

# **ACTUAL PROBLEMS OF MODERN SCIENCE**

**Edited by**

**Skyba Mykola**

Khmelnyskyi National University, Ukraine

**Topoliński Tomasz**

UTP University of Science and Technology,  
Bydgoszcz, Poland

**Musiał Janusz**

UTP University of Science and Technology,  
Bydgoszcz, Poland

**Polishchuk Oleh**

Khmelnyskyi National University, Ukraine

**Bydgoszcz – 2019**

**Actual problems of modern science.** Monograph: edited by Skyba M., Topoliński T., Musial J., Polishchuk O. – 2019. – 342 p.

Monograph is prepared at the Khmelnytskyi National University in cooperation with UTP University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland.

Article in monograph are presented in the author's original version. Authors are responsible for materials and interpretation.

## **EDITORIAL BOARD**

**Bilyi L.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Bonek M.** (Poland, Gliwice), **Buratowski T.** (Poland, Krakow), **Burmistenkov O.** (Ukraine, Kyiv), **Chorny O.** (Ukraine, Kremenchuk), **Debinski A.** (Poland, Lublin), **Drapak H.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Dykha O.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Dzenis L.** (Poland, Bialystok), **Gonchar O.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Giergiel M.** (Poland, Krakow), **Hryshchenko I.** (Ukraine, Kyiv), **Kalaczyński T.** (Poland, Bydgoszcz), **Karmalita A.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Katseiko P.** (Poland, Lublin), **Kazior Ya.** (Poland, Krakow), **Krotofil M.** (Poland, Torun), **Lenik K.** (Poland, Lublin), **Maievski V.** (Poland, Bydgoszcz), **Matiukh S.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Matsko M.** (Poland, Bydgoszcz), **Matushevski M.** (Poland, Bydgoszcz), **Mazurkevich A.** (Poland, Bydgoszcz), **Miezhyk A.** (Poland, Gliwice), **Misiats V.** (Ukraine, Kyiv), **Musial Ya.** (Poland, Bydgoszcz), **Muślewski Ł.** (Poland, Bydgoszcz), **Oleksandrenko V.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Panasiuk I.** (Ukraine, Kyiv), **Radek N.** (Poland, Kielce), **Roshchak S.** (Poland, Torun), **Sadovyi B.** (Poland, Warsaw), **Shorobura I.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Skyba M.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Slomka T.** (Poland, Krakow), **Sniadkovskiy M.** (Poland, Lublin), **Sorokatyi R.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Syniuk O.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Tomaszuk A.** (Poland, Bialystok), **Topoliński T.** (Poland, Bydgoszcz), **Trampchynski V.** (Poland, Kielce), **Tretyn A.** (Poland, Torun), **Voitsitska-Mihasiuk D.** (Poland, Lublin), **Voinarenko M.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Vozny Ya.** (Poland, Bydgoszcz), **Yokhna M.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Zashchepkina N.** (Ukraine, Kyiv), **Zduniak A.** (Poland, Poznan), **Zlotenko B.** (Ukraine, Kyiv), **Yashchuk I.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Zhurba I.** (Ukraine, Khmelnytskyi).

## **REVIEWERS:**

**Binytska K.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Bojar P.** (Poland, Bydgoszcz), **Bromberek F.** (Poland, Bydgoszcz), **Charlak M.** (Poland, Lublin), **Gadomski A.** (Poland, Bydgoszcz), **Januszewski A.** (Poland, Bydgoszcz), **Horiashchenko S.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Landowski B.** (Poland, Bydgoszcz), **Maidan P.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Mroziński A.** (Poland, Bydgoszcz), **Paraska O.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Podlewska N.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Rybak R.** (Poland, Torun), **Smutko S.** (Ukraine, Khmelnytskyi), **Zaremba O.** (Ukraine, Khmelnytskyi).

**Responsible Secretary:** Romanets T.

**Technical Secretariat:** Lisevych S., Łukasiewicz M.

**ISBN: 978-83-938655-4-3**

# CONTENT

|   |            |
|---|------------|
| <b>1 UKRAINE - EUROPEAN UNION: STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS.....</b>   | <b>5</b>   |
| 1.1 STRATEGIC INSTRUMENTS AND PROCEDURES FOR ENERGY MANAGEMENT OF ROOF SOLAR POWER PLANTS ON THE BASIS OF ENERGY SECURITY ( <i>Voynarenko M., Skorobogata L.</i> ).....                         | 5          |
| 1.2 TRADE PHENOMENON OF HUMAN ORGANS - A THREAT TO THE SAFETY OF CONTEMPORARY COUNTRIES ( <i>Ożóg J.</i> ).....   | 13         |
| 1.3 PARLAMENT EUROPEJSKA – POWYBORCZA PANORAMA ( <i>Szymborski W.</i> )....   | 24         |
| 1.4 INTERNATIONAL LOGISTICS DEVELOPMENT IN THE GLOBALIZATION OF THE WORLD ECONOMY ( <i>Vasylykivskiy D., Matiukh S., Dziuba M.</i> ) .....  | 35         |
| 1.5 WYCENA W ZARZĄDZANIU POTENCJAŁEM PRZEDSIĘBIORCZYM WE WSPÓŁCZESNYCH PRZEKSZTAŁCENIACH INTEGRACJI RYNKU ( <i>Gonchar O., Khachatryan V.</i> ).....  | 44         |
| 1.6 INTEGRACJA EUROPEJSKA JAKO WEKTOR INNOWACYJNEGO ROZWOJU POTENCJAŁU PRZEDSIĘBIORCZEGO ( <i>Trocikowski T.</i> ) .....  | 54         |
| 1.7 MANAGERIAL DECISION-MAKING USING FUZZY PREFERENCE RELATIONS ( <i>Hryhoruk P., Khrushch N., Grygoruk S.</i> ).....   | 66         |
| 1.8 THE SCIENTIFIC COOPERATION OF KHMELNITSKY HUMANITARIAN PEDAGOGICAL ACADEMY AND THE UNION OF POLES OF KHMELNITSKY REGION ( <i>Yashchuk I., Binytska K., Binytska O.</i> ) .....              | 78         |
| 1.9 PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF SECOND-LANGUAGE LISTENING COMPREHENSION SKILLS DEVELOPMENT ( <i>Kharzhevskaya O., Oleksandrenko K., Pilishek S., Rudoman O., Yakymchuk YU., Peshkova T.</i> )..... | 86         |
| 1.10 STRATEGIC PRIORITIES FOR THE DEVELOPMENT OF THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES ( <i>Mykoliuk O., Bobrovnyk V.</i> ).....  | 95         |
| <b>2 MODERN ENGINEERING AND TECHNOLOGY .....</b>  | <b>104</b> |
| 2.1 OBRÓBKA ELEMENTÓW Z NIECIĄGŁOŚCIAMI GEOMETRYCZNYMI ( <i>Stomion M., Wojciechowski A., Matuszewski M., Mazurkiewicz A.</i> ) .....   | 104        |
| 2.2 ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS (HPP) ON THE ECOSYSTEMS OF THE PLAIN RIVERS IN UKRAINE ( <i>Zub L., Panasik I.</i> ) .....                                     | 120        |
| 2.3 MODELING PROCESS OF COATING THE SURFACE ( <i>Horiashchenko S., Horiashchenko K., Musial J.</i> ).....   | 130        |
| 2.4 HEMP GATHERING TECHNOLOGY AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION ( <i>Nalobina O., Herasymchuk O., Puts V., Lobanov V., Melnyk P.</i> ) .....  | 140        |
| 2.5 THE PRACTICAL USAGE OF THE PATH GENERATING LINKAGE MECHANISMS AND DWELL MECHANISMS ON THEIR BASIS ( <i>Kharzhevskiy V., Nosko P., Marchenko M.</i> ) .....                                  | 150        |
| 2.6 OCENA ODDZIAŁYWANIA LUDZI NA BEZPIECZEŃSTWO PRZEWOZÓW KOLEJOWYCH ( <i>Bojar P., Znaczko W.</i> ).....   | 160        |

|   |     |
|---|-----|
| 2.7 THE ACCELERATION OF THE ELECTRON AND THE LORENTZ EQUATION<br>( <i>Bilyi L, Skyba M., Polishchuk O., Ramskyi A., Lisevych S., Śniadkowski M.</i> ).....  | 174 |
| 2.8 OCENA STANU TECHNICZNEGO TABORU TRAMWAJOWEGO WYBRANEGO<br>OPERATORA TRANSPORTU PUBLICZNEGO ( <i>Bojar P., Znaczko W.</i> ).....   | 179 |
| 2.9 BASIC PROCESSES OF TECHNOLOGICAL BASIS IMPROVEMENT OF<br>INFORMATION-COMMUNICATION SYSTEMS ( <i>Mikhalevskiy V., Mikhalevska G.</i> ) .....   | 192 |
| 2.10 SYSTEM ENERGETYKI ODNAWIALNEJ POLITECHNIKI BIAŁOSTOCKIEJ<br>( <i>Tomasz A.</i> ).....  | 201 |
| 2.11 ON IMPROVING THE QUALITY OF FLAX TRUSTS THRESHING PROCESS<br>( <i>Nalobina O. , Holotiuk M., Bundza O., Markova O.</i> ) .....   | 211 |
| 2.12 ANALYZING REGULARITIES CONCERNING THE INTERACTION BETWEEN<br>A HUMAN AND MANUFACTURING AND TRAINING EQUIPMENT WITH THE USE OF<br>A COMPUTER TRAINER SIMULATOR ( <i>Zachepa N., Zachepa Yu., Chorny O., Kuznetsova<br/>Y., Tryputen Myk.</i> ).....           | 222 |
| 2.13 ANALYTICAL STUDY OF A DEVICE FOR LOADING OF PET BOTTLES IN<br>ROTARY CRUSHERS ( <i>Misiats V., Skyba M., Polishchuk O., Rubanka M., Misiats O.,<br/>Musial J.</i> ).....   | 234 |
| 2.14 INNOVATIVE METHODS OF THE COMPLEX RESEARCH OF MATERIAL<br>PROPERTIES ( <i>Paraska O., Radek N., Rak T.</i> ).....  | 245 |
| 2.15 STUDY OF THE INFLUENCE OF WOOL FABRICS PREPARATION<br>TECHNOLOGY ON THE PHOTOFADING PROCESS OF COLOURS OF ACID DYES<br>( <i>Semeshko O., Asauliyuk T., Saribeykova Yu.</i> ).....  | 251 |
| 2.16 COMPLEX TRAINING OF SPECIALIST IN THE FIELD OF AUTOMATION<br>USING A LABORATORY BENCH ( <i>Tryputen Myk., Kuznetsova Y., Kuznetsov V., Tryputen<br/>Mak., Kuznetsova A.</i> ) .....  | 267 |
| 2.17 ENGINEERING METHOD FOR CALCULATING THE WEAR OF A<br>CYLINDRICAL SLIDING BEARINGS ( <i>Dykha O., Babak O., Makovkin O., Dytyniuk V.</i> ) .   | 277 |
| 2.18 QUALITY CONTROL OF FRYING OILS BY SELECTED OPTICAL METHODS<br>OF ANALYSIS ( <i>Zashchepkina N., Taranov V., Nakonechnyi O.</i> ).....  | 288 |
| 2.19 LASER WELDING OF STEELS USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY<br>( <i>Radek N., Pietraszek J.</i> ).....   | 298 |
| 2.20 KRYTERIA OCENY WPŁYWU MODYFIKACJI UKŁADU DOLOTOWEGO<br>SILNIKA NA JEGO PARAMETRY EKSPLOATACYJNE ( <i>Kalaczynski T., Kasprowicz T.,<br/>Jagodziński D., Liss M.</i> ).....   | 307 |
| 2.21 INCREASING THE DURABILITY TRANSMISSION PARTS OF THE<br>TRANSPORT SYSTEMS BY FRICTION - MECHANICAL METHOD ( <i>Kostyuk M.,<br/>Kosiuk M.</i> ) .....  | 325 |
| 2.22 EXPERIMENTAL RESEARCH OF SPRING-BACK EFFECT DURING<br>SEQUENTIAL FORMING WITH DIFFERENT INNER ANGLE, THICKNESS AND<br>BENDING WIDTH OF BLANK ( <i>Kukhar V., Nahnibeda M., Radushev O., Markov O.<sup>2</sup>,<br/>Anishchenko O., Prysiashnyi A.</i> )..... | 333 |
| ALPHABETICAL INDEX OF AUTHORS.....  | 342 |

# **1 UKRAINE - EUROPEAN UNION: STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS**

## **STRATEGIC INSTRUMENTS AND PROCEDURES FOR ENERGY MANAGEMENT OF ROOF SOLAR POWER PLANTS ON THE BASIS OF ENERGY SECURITY**

Voytarenko M., Skorobogata L.  
Khmelnitskyi National University, Ukraine

### **The main research**

The active introduction of energy-saving technologies, especially renewable energy technologies, in particular solar radiation and environmental heat, is closely linked to the problems of energy independence of domestic enterprises. A moderate approach to the integrated or integrated use of such energy resources will make it possible to obtain the reliability and availability of uninterrupted energy supply to major energy users (industrial, utility and public sector).

In this context, the problem of reliable energy supply, including through the use of energy from renewable sources, should be considered in terms of the competitive enterprise problem when formulating enterprise energy security strategies.

When developing strategies for implementing innovative energy-saving technologies, it is necessary to take into account the research of foreign scientists, in particular, J. Jewell [1], who proposed a tactical (short-term) model of energy security, taking into account external factors (political, economic, demographic, international trade, etc.).

Energy security is a key determinant of survival in global economic markets, as a component of economic security at all hierarchical levels (micro-, macro-, mega-economics) presented at the European Science School, both Anglo-Saxon [2-4] and Continental [5-7].

Due to the novelty of the theoretical and methodological foundations of the energy security of the enterprise, there are some differences regarding the diagnostics of the energy security of the enterprise. For example, Nadtonka TB, Amelnitskaya OV [8], to assess the energy security of an enterprise, consider threats that are characterized by the energy efficiency of an industrial enterprise. Baev IA and Karimova TG [9], when assessing the energy security of enterprises, offer a certain

set of indicators that are related to the possibility of obtaining information about the acceptability or unacceptability of decentralization of energy supply of industrial enterprises, etc. V. Samborsky [10] considers the assessment of energy security of an enterprise as a component of its energy security strategy.

The introduction of innovative technologies for the use of renewable energy in technological processes and industrial energy supply systems determines the urgency of developing energy security indicators, on the basis of which it will be possible to formulate a strategy for ensuring the energy security of the enterprise. The decisive factor is the fact that Ukraine has significant technical and achievable potential for the production of energy from renewable energy sources and alternative fuels, which is over 98.0 million tonnes. n. per year [11].

**The purpose of the article** is to determine the indicators of effective energy security assessment in the implementation of innovative technologies at enterprises, including technologies for the transformation of energy from renewable sources into thermal and electrical energy. To achieve this goal, the following tasks were set:

- defining the requirements for strategic instruments of energy management of elements and systems of energy supply, which use renewable energy;
- establishment of energy management procedures for the implementation of renewable energy technologies for timely identification of threats to the energy supply of the enterprise and factors of influence of the external and internal business environment of the enterprise in determining energy security;
- outlining the main aspects of the calculation of the integrated energy security indicator in the implementation of renewable energy sources;
- determination of methodological approach to the calculation of the integral index of energy security of the enterprise.

Energy security is to a large extent guaranteed by the stability of providing the necessary heat and electricity for carrying out certain technological processes that are specific and differ in energy intensity for different industrial fields. It should be noted that in Ukraine fuel and energy resources are the most consumed in the production of electricity produced by thermal power plants and thermal power plants (about 20.66% of their total use), pig iron (12.33%), thermal energy produced and fired by boiler plants (11 , 67%), thermal energy produced and released by power plants (5%), for the activity of pipeline transport for transportation of natural gas (2.09%), in the production of ores

and concentrates of iron, non-agglomerated (2.06%), concentrates of iron ore agglomerated (2.06%) for extraction non-agglomerated coal (1.74%), etc. [11].

It should be noted that 85% of coal, 13% of natural gas, 0.27% of heavy fuel oil, 1.73% of other fuels are consumed by thermal power plants [11]. It is undeniable that almost all thermal energy is produced from fossil energy resources, the use of which leads to significant pollution of the environment by harmful substances. The combustion of hydrocarbon fuels produces carbon dioxide, which causes the greenhouse effect in the atmosphere. At the nuclear power plants, public attitudes are wary of the possibility of serious accidents with radiation contamination in large areas. Increasing the use of renewable energy sources will contribute to solving the energy problem and reducing environmental pollution in Ukraine (along with the further development of traditional energy and implementing energy-saving measures).

In order to choose the best option for energy systems using renewable energy, they take into account a set of requirements that take into account the appropriate ratio between the benefits and costs [12].

A number of the most essential requirements are presented, which are presented in Table 1, where the energy supply system is proposed according to the energy security parameters, which will provide the creation of the correct methods of their calculation taking into account the output data of a particular user, which will help to minimize the total cost of the project. A number of the most essential requirements are presented, which are presented in Table 1, where the energy supply system is proposed according to the energy security parameters, which will provide the creation of the correct methods of their calculation taking into account the output data of a particular user, which will help to minimize the total cost of the project.

**Table 1. Justification of the energy supply system by energy security parameters**

| Postulate   | Content of postulate  |
|---|---|
| 1. Taking into account the peculiarities of the climate and the local landscape | When designing energy generation systems and forecasting industrial energy consumption, the geographical features of their location should be explored and made full use of. The characteristics of the flux of solar radiation determine the feasibility of using solar installations of one type or another. Wind energy resources are determined by the average annual wind speeds and the average annual probability in a certain wind speed gradation, which makes it possible to assess the feasibility of using wind turbines. |

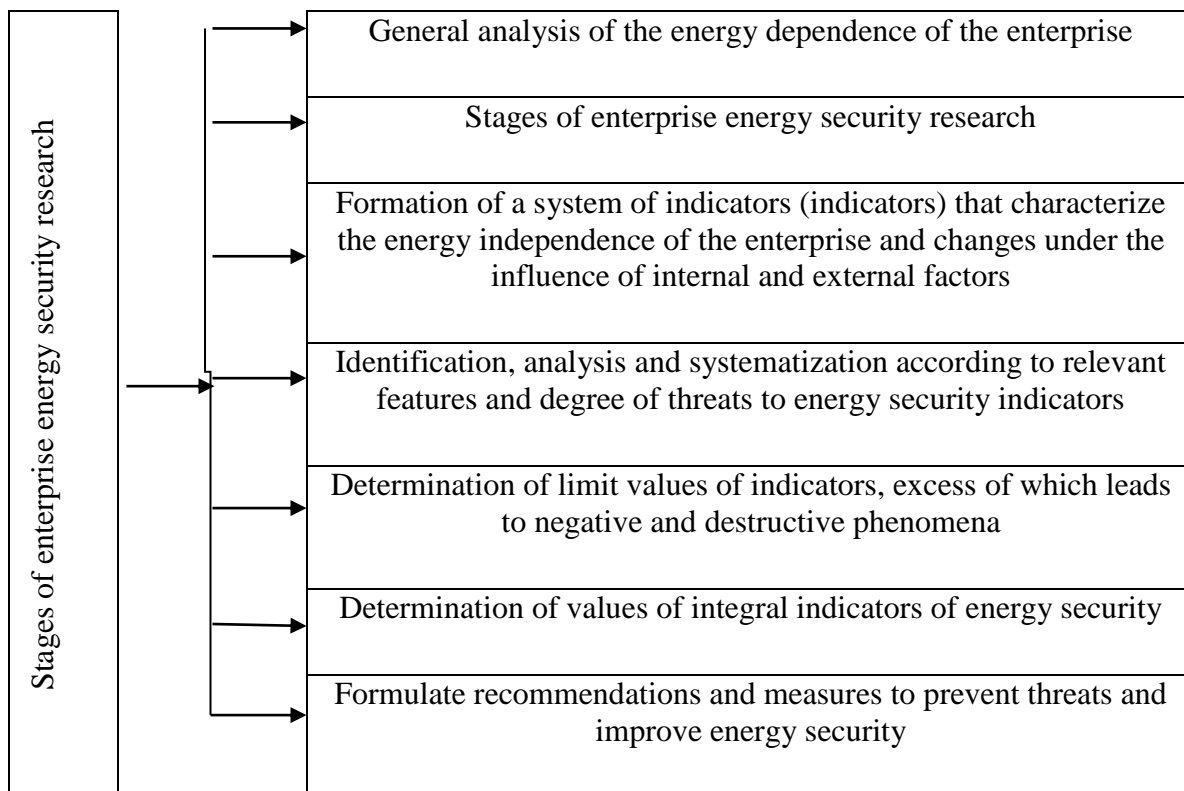
|  |  |
|--|--|
| 2. Modularity  | The block-modular construction of combined heat and power generation systems enables the introduction of relatively small capacities and increases them when needed. This allows for a rapid restructuring of the architecture of the power generation system, based on the needs of the consumer and the availability of a particular type of renewable energy.   |
| 3. Mutual-complement   | Uneven supply of different types of renewable energy sources is one of the main reasons for their limited use. Improvement of technical and economic indicators and stability of operating parameters of power equipment can be achieved with complex use of renewable energy, on the assumption that the intensity of their receipt does not coincide in time. At the same time, as well as the introduction of reliable and efficient energy storage systems, the stability of power systems and the utilization rate of power equipment are increased.  |
| 4. Integration of storage systems for different types of energy. | The combination of electric, thermal and mechanical energy accumulators results in an increase in the total specific energy consumption of the integrated battery and an improvement in its performance.   |
| 5. Focusing on local energy supply.                              | The energy supply of industrial plants with combined use of renewable energy sources are designed as local energy systems and do not compete with traditional TPPs, TPPs and HPPs in terms of capacity levels.   |
| 6. Ecological safety.  | The use of alternative sources of energy in industrial energy supply systems should help to improve the environmental situation of the location due to the reduction of harmful substances generated by the combustion of organic fuels into the environment and heat through cooling systems (cooling towers, water-cooling). The main directions of energy efficiency improvement and realization of energy saving potential are not only the mentioned technological modernization of energy supply systems. The use of renewable energy sources, subject to technological modernization of energy supply, implies the cessation of the production of energy inefficient products and the introduction of the latest technologies, equipment and devices. |

There are diverse views among scientists who are researching on energy security issues about interpreting the definition of "enterprise energy security". Thus, Mykytenko VV defines energy security as a system of combining potentials - economic, political, technical, technological, resource and, in fact, energy, as well as factors of scientific, geographical, organizational, managerial, etc., without taking into account any analysis of any security impossible [13].

Shydlovsky AK, Kavalko MP consider energy security as one of the most important components of economic security: it is a state of providing the state with fuel and energy resources, which guarantee its full vital activity and a state of security



of the energy complex and the ability of energy to ensure the normal functioning of the economy, energy independence of the country, the enterprise [14]. On the basis of [15], a system of interconnected stages was identified, enabling the study of energy security (Fig. 1).



**Figure 1. Research on energy security in the energy management system**

A common point that brings together different approaches to building indicators is a set of specific threats to the enterprise's energy supply. At the same time, in our opinion, it is necessary to investigate with the help of SWOT the impact of the external and internal business environment of the enterprise in determining energy security (Table 2).

**Table 2. SWOT analysis of the impact of external and internal business environment in determining the energy security of the enterprise**

| "O" – OPPORTUNITIES   | "T" – THREATS  |
|---|--|
| Environment   |  |
| Significant potential of unconventional natural gas reserves (methane from coal deposits, shale, biogas from solid waste landfills, etc.); branched and developed oil and gas pipeline systems; auction system for the sale of oil, | The threat of acts of terrorism at energy sites, in the territories of countries that carry out transit transportation of energy resources; the threat of nuclear terrorism, the problem of non-proliferation of nuclear materials; economic |

|  |  |
|--|--|
| condensate and liquefied gas; significant energy saving potential in industry, transport, budgetary and household sectors; integration into the European energy system; significant greenhouse gas emission reduction potential; branched district heating system; auctions of permits and licenses for the development of hydrocarbon fields. | threats (unfavorable market conditions); environmental (large-scale accidents, greenhouse gas emissions that threaten the entire planet); energy poverty (lack of access to sufficient numbers); speculation in the media, which is a negative manifestation of the modern globalized world (the artificial creation of panic that leads to the destabilization of energy markets); social threat (high production accident, strikes and other possible protests, etc.).   |
| ”S” — STRENGTH   | ”W” — WEAKNESS   |
| Internal environment   |  |
| The level of provision of the enterprise with its own energy resources; fuel and energy balance of the enterprise; technical condition and level of energy efficiency of the enterprise; environmental situation at the enterprise; change of accounting policy of the enterprise; change of energy (alternative) and supplier.                | Monopoly dependence on one supplier or route of energy supply; under-financing of works on search of alternative sources of electricity, reduction of their volumes; high dependence on imports of natural gas and oil; outdated production facilities and a significant proportion of the enterprise's non-usable fixed assets; setting appropriate tariffs, coefficients for enterprises; low level of investment and innovation activity in the fuel and energy complex of enterprises; absence of foreign investments in the enterprises of the fuel and energy complex; necessity of modernization, re-equipment and production restructuring with continuation of technological resource of production capacities at the enterprises |

Enterprises are involved in the management of energy security in three areas of management: energy management (mastery of energy flow management in order to achieve optimum socio-environmental and economic effect); energy audit (a complex of services for checking the energy efficiency of the facility); energy marketing (marketing support for the implementation of energy-saving systems in the enterprise), etc. Energomarketing is exploring the development of a comprehensive mechanism for providing logistics services and organizing marketing logistics distribution during the planning and coordination of energy and information flows, marketing communication support for the promotion of the latest energy-saving technologies. Energy security is closely linked to energy independence, which is the

level of autonomy of the company's management in formulating and implementing policies that are independent of external and internal interference and pressure.

## Conclusions

With the introduction of renewable energy technologies, the use of strategic tools is a requirement for structural elements and the construction of energy supply systems, which will increase the efficiency and reduce the energy consumption of production.

Clearly identify the opportunities, threats, advantages, disadvantages of the external and internal business environment of the enterprise in determining energy security in the implementation of renewable energy technologies will allow the use of the results of the conducted SWOT analysis. This will facilitate the implementation of measures that will reduce the threats to the energy supply of the enterprise when using energy from renewable sources.

## References

1. Jewell, J. The IEA Model of Short-term Energy Security (MOSES) [Text] / J. Jewell. – Primary Energy Sources and Secondary Fuels, 2011. – 48 p. – Available at: [https://www.iea.org/media/freepublications/2011/moses\\_paper.pdf](https://www.iea.org/media/freepublications/2011/moses_paper.pdf)
2. Willenborg, R. Europe's oil defenses. An analysis of Europe's oil supply vulnerability and its emergency oil stockholding systems [Text] / R. Willenborg, Ch. Tonjes, W. Perlot. – Clingendael International Energy Programme, 2004. – P. 56–79.
3. Charting the Gaps: EU regulation of gas transmission tariffs in the Netherlands and the UK – Klop M. [Text]. – Oxford Institute for Energy Studies, 2009. – 105 p.
4. Energy 2020: A strategy for competitive, sustainable and secure energy. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions (10 November 2010) [Electronic resource]. – European Commission's Directorate-General for Energy and Transport – Available at: [http://ec.europa.eu/energy/strategies/2010/2020\\_en/htm](http://ec.europa.eu/energy/strategies/2010/2020_en/htm)
5. Energy Supply Security and Geopolitics. Final Report [Text]. – Clingendael International Energy Programme (CIEP), 2004. – 279 p.
6. Jong, J. D. Smart EU energy Policy. Final report [Text] / J. D. Jong, J.M. Glachant, M. A. Hafner. – Clingendael International Energy Programme (CIEP). – The Hague, 2010. – 20 p.
7. Łoskot Strachota, A. Nałęcz Ekspansja Gazpromu w UE – kooperacja czy dominacja [Text] / A. Łoskot Strachota, K. Pełczyńska. – Raport OSW, 2008. – 27 p.
8. Nadtonka, T. B. Enerhetychna bezpeka pidpriemstva yak instrument zabezpechennia yoho staloho sotsialno-ekonomichnoho rozvytku [Tekst] / T. B. Nadtonka, O. V. Amelnytska // Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia. – 2010. – № 2 (8). – S. 15–23.
9. Baev, I. A. Indikativnyj analiz energeticheskoy bezopasnosti predpriyatiya [Tekst] / I. A. Baev, T. G. Karimova // Vesnik YUURGU. Seriya: Ekonomika i menedzhment. – 2009. – № 8 (141). – S. 53–58.
10. Samborskyi, V. O. Otsinka enerhetychnoi bezpeky pidpriemstva yak skladova yoho stratehii enerhetychnoi bezpeky [Tekst] / V. O. Samborskyi // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 34 (1077). – S. 163–168.

11. Informatsiinyi biuleten NKRE №8: za stanom 27 serpnia 2013 r. [Tekst]. – NKRE. –K.: KVITs, 2013. – 308 s.
12. Nakashidze, L. V. Osnovnye elementy innovacionnoj kompleksnoj sistemy klimatizacii, s ispol'zovaniem energii al'ternativnyh istochnikov [Tekst] / L. V. Nakashidze, V. A. Gabrinec // Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie. Seriya: Sozdanie vysokotekhnologicheskikh ekokompleksov v Ukraine na osnove koncepcii sbalansirovannogo (ustojchivogo) razvitiya. Sb. nauchn. trudov. – 2013. – Vyp. 68. – S. 112–116.
13. Mykytenko, V. V. Na chomu bazuietsia enerhetychna bezpeka derzhavy [Tekst] / V. V. Mykytenko // Visnyk NAN Ukrainy. – 2005. – № 3. – S. 41–47.
14. Palyvno-enerhetychnyi kompleks Ukrainy na porozi tretoho tysiacholittia / Za zah. red. A. K. Shydlovskoho, M. P. Kovalka. – K.: UEZ, 2001. – 398 s.
15. Svirchevska, Yu. A. Sutnist enerhetychnoi bezpeky krainy ta chynnyky, shcho na nei vplyvaiut [Tekst] / Yu. A. Svirchevska // Neopolytyka y ekoheodynamyka rehyonov. – 2014. – T. 10, Vьp. 2. – S. 222–228.

# TRADE PHENOMENON OF HUMAN ORGANS - A THREAT TO THE SAFETY OF CONTEMPORARY COUNTRIES

Ożóg J.

Bydgoska Szkoła Wyższa, Poland

## Introduction

In ancient times, the immoral problem of human trafficking originates. The problem of human organ trafficking is no less immoral. In addition, it has covered virtually the entire world, and the mere fact of trade is difficult to identify. This article describes the areas of activity that would help to deal with this problem.

## The main research

The conceptual apparatus characterizing trafficking in human organs has not remained fully unified, and this concept has not been given one binding definition. Normative acts in a more or less detailed formulate the scope of the analyzed phenomenon, its manifestations, scope, or social harmfulness [27, 28, 29]. One common definition was not formed, allowing for the classification of trafficking in human organs as a separate phenomenon, which is treated in many international normative acts [28, 29, 30] as a form of trafficking in human beings.

Trade-in human organs is a complex and complicated phenomenon. It ought to be understood as interference in the integrity of the human person, which is manifested in the denial of the human body to make a profit.

Characteristics of trafficking in human organs are debatable matter, which does not allow for its unambiguous definition. Doubts can be raised by the very meaning of the concept, which allows it to grasp it in *the stricto and largo* sense. Each definition will be correct if its subject is the scope of action taken to deprive a human being of organs, tissues or cells, with his consent or against her will.

When analyzing the conceptual apparatus of trafficking in human organs, one should indicate the etymology of the concept of "trade" itself, which in various areas of life adopts a different definition and meaning. Depending on the scope of its application, it should be noted that "trade" in general means a specific exchange of one good for another, which is associated with a free-market economy, allowing the possibility of not only exchanging products but also buy-sell transactions [14]. When there is a demand for a particular type of good, the market gives the opportunity to find the right group that will be the producer of goods for which there is a demand.

When analyzing the concept of "trade", in the scope of the existence of the market for human organs, it can be cautiously stated that man, with a fully commercialized mechanism of a functioning economy, has become a kind of reservoir of spare parts and is treated in such a way when there are a demand for organs, tissues and cells [10]. It should be noted that the dynamically progressing and multi-directional commercialization of human life, as well as increased consumerism, contribute to expanding the search for new solutions that can become one of the elements affecting the extension of life, in the case of long waiting for organ transplantation.

Defining trafficking in human organs is difficult because the very meaning of the word trafficking, which is used in international law to describe this practice, raises linguistic doubts. The etymology of the word suggests that it originates from the concept of trade meaning trade. Therefore, it is possible to make a word cluster and indicate that trade of organs will mean trade in organs [21]. However, the term trafficking indicated is used in a negative connotation when characterizing concepts related to trafficking in human organs [16]. Its meaning alone does not allow defining the phenomenon of organ trafficking, because it is too general and combines various types of activities aimed at "legally" or "illegally" taking human organs in order to use them as spare parts for people who need them survival or prolongation of life.

The concept of trafficking in human organs was characterized for the first time in legal terms in the Joint Report of the Council of Europe and the UN [12, 35], where the typology and the dual definition of the concept of trade were clearly defined. The title of the indicated report indicates two concepts of trafficking in human organs - the first: trafficking in organs, tissues and cells - which means trafficking in organs, tissues and cells (definition of sense largo) and the second: trafficking in human beings for the purpose of organ removal- where trafficking in human beings was indicated for removing the organ (as a strict sense) [4].

The typology made by international bodies for the first time gives the opportunity to show the complexity of the problem of trafficking in human organs, where not the act itself is forbidden, but also any actions that accompany it and provide an incentive to perform organ donations for illegal transplantation. The purpose of trafficking in human beings for the purpose of taking internal organs from them is by law illegal. Both of these forms have a different range of impact - where the goal can be to take organs or assassinate people to remove an organ.

It is only possible to analyze detected cases of trafficking in human organs, in which man is most often not the target of organized criminal groups involved in trafficking in human organs, but only a means to achieve it [2].

Human commercialization [7, 8], its reification and reduction to the usefulness of a usable object brings significant benefits and results from the growing deficit of organs for transplants on the legal market of transplant services. This problem concerns a large part of countries on the map of the modern world.

Trafficking in human organs is one of the problems whose territorial scope is increasing with increasing dynamics. The man living in a world dominated by economics focused on reaping benefits becomes an object to achieve the goal. It can even be cautiously stated that almost every authority can be a source of marketing. In this world, problems regarding the highest values such as health or life of the individual and the community require deeper reflection [24].

In the modern world, the phenomenon of trafficking in human organs is a significant legal and criminological problem [11]. Its analysis appears not only in police statistics or research of international organizations (including the European Union, the United Nations, Organs Watch and other located in countries whose indicated problem concerns or may relate to), but also become a socio-economic issue of global scope, which is beginning to be discussed.

A consumerism-based society focused on the intensive development of modern technologies, and medical engineering treats the human being as almost perfect. New solutions introduced in transplantology, related to the search for "alternative solutions" allowing for transplants, despite their advancement, are not yet fully developed to ensure an adequate supply of organs with the existing demand.

Comprehensive analysis of phenomena related to and trafficking in human organs as a socially negative phenomenon allows to analyze its size, taking into account the "dark number" [11] of committed crimes, dynamics and severity, as well as a structure that can only be assessed on the basis of disclosed acts of trafficking in human organs in various countries.

The size of trade in human organs can only be approximated. The actual number of crimes and their perpetrators [20] is difficult to indicate because there are significant discrepancies between disclosed and undisclosed crime. It is also problematic to prove to commit a criminal act, which is trafficking in human organs.

The indicated procedure remains a great unknown, and the few cases of its disclosure [26] may constitute only a small percentage of the entire scale of the phenomenon.

The number of crimes related to carrying out illegal transplants is increasing every year. An example of the intensification of this phenomenon is the expansion of the group of countries in which the abovementioned practice occurs [2]. It should be noted that the shortage of organs in the market of transplantation services has a significant impact on shaping the shadow economy, which causes the operation of the illegal market of human organs trade [26].

The specifics of the "business" analyzed are changing, ways of reaching organ traffickers, intermediaries who are a group of people who directly contact donors and recipients, or supervise the proper course of the transaction itself, using new methods of obtaining organs for transplantation. One thing remains unchanged - the constantly growing demand for organs, which affects the severity of pathological phenomena associated with the trafficking of human organs and its impact on increasing the threat to the security of modern countries.

It seems impossible to fully analyze the number of phenomena associated with organ trafficking and to indicate its scale. An assessment of the dynamics of the development of crime related to trafficking in human organs is theoretically possible, but the black market should be fully explored, where the commercialization of the human body, both living and dead, is most common. It can be concluded that due to the growing demand for organs, with a relatively constant [18] number of transplants carried out by transplant centers, it is not possible to stop this practice, which is naturally driven by demand.

The authorities of modern countries, having within their jurisdiction to maintain public order and security, are increasingly revealing cases of organ trafficking. However, just proving and establishing it requires the indication of tangible evidence in the form of recognition of criminals committing acts related to the sale of human organs or donors themselves and recipients who, in fear of losing their lives (if they are living donors), do not report violations of their dignity through organ donation [13].

It is impossible to assess the real dynamics of its development and intensity, without real recognition of the problem and implementation of procedures aimed at reducing the number of crimes committed on the human body. Incidental, isolated



cases of trafficking in human organs [25] described in the media are only the "tip of the iceberg."

The assessment of the structure of crime in the area of trafficking in human organs refers to the individual cases of countries where it occurs.

The main reason causing an increase in the number of criminal phenomena associated with the paid purchase and sale of organs is their shortage on the legal market of transplant services [9].

It can be assumed that the authorities of modern countries, trying to implement legal regulations [31,33,34,32,34], find a solution to this situation, even by introducing implied consent [17], meaning the possibility of taking organs from a deceased person, if he/she is not alive it expressed a clear opposition to the situation. The letter of the law determines the theory that should be applied, while practice shows that doctors, taking into account moral or religious reasons, attach great importance to the will of the deceased person's family, which often makes the final decision about the possibility of taking or not collecting organs for transplant.

It can be cautiously stated that the indicated situation is one of the causes of a large organ shortage that could be used to help people awaiting transplantation [23]. Despite increasing awareness and the importance of transplants, societies still do not have adequate knowledge about the importance of these activities for the functioning and development of transplant medicine.

The lack of organs, or rather too small their number, is one of the determinants influencing the continuous strengthening of the "black market" of human organs trade [6]. The situation of recipients searching for organs generates not only a threat to the development of legal transplants but in economic terms it brings significant losses to the financial functioning of states.

An equally important reason, which has a significant impact on increasing the market of human organs trade, is the increasing poverty, poverty, lack of work, and resources for a normal life. People who, having no opportunity to function with dignity in society, due to the lack of sufficiently large financial resources needed to support themselves and their family, decide on the possibility of paid disposal of an internal organ. Extreme cases of this practice can be observed on the example of the poor districts of Rio de Janeiro, the province of Nepal, Moldova, poor African countries, cities, and villages in Romania, Georgia and Turkey [36].

In addition to the above, one of the important determinants affecting the increase in the scale of the phenomenon of trafficking in human organs for modern societies is the attempt to get rich quickly, and the body is treated as a means of making a profit [5].

You can find information on the willingness to sell organs for a fee on websites. In motivation, the potential "donor" gives the reason for the need to get money. However, the situation not always indicated is due to poor social situation or poor social and living conditions.

Increasing the importance of trafficking in human organs is increasingly due to the desire to obtain a source of financial resources, not for individual sellers (donors, brokers), but for organized criminal groups for which it is a form of lucrative practice [28].

In view of the thesis that a man "as a whole" will not bring as much financial profit as a man "in parts", it should be noted that criminals are able to use the opportunities offered by the poor legal transplant market and corruption, where for money, in an efficient and perfectly camouflaged way you can buy almost anything.

Analyzing the activities of organized criminal groups focused only on making a profit, it should be noted that selling parts of man - organs, tissues, and bones is potentially an excellent source of income. In the situation of using the human - the donor - as a "reservoir" of spare parts, it can be seen that all boundaries of respect for human dignity are blurring. Man as an individual is forced to become a donor - without the possibility of refusing (as a result of kidnapping, abduction, coercion to work) [37].

Imagining the territorial scope and scale of the phenomenon of trafficking in human organs would not be fully possible without defining the phenomenon of transplant tourism, which is becoming a form of camouflage, for illegal organ donations and transplants. The very concept of transplant tourism [19] is associated with trips of recipients from the most-rich, highly developed countries, to developing countries, where they will be able to receive, in a much shorter time than it is when waiting for a legal organ for transplantation. Transplant tourism is somehow a "response" to the constant shortage of organs for transplants, which determines the growing demand for them [15, 19].

The exact and matter-of-fact definition of transplant tourism has been indicated comprehensively based on the Istanbul Declaration [8] in the definition part:

"Transplantation travel is the activity of moving organs, donors, recipients, or a transplantation team outside the jurisdiction of the state for transplantation purposes. Transplantation travel becomes transplant tourism if it involves organ trafficking and / or transplant commercialization, or if the means (organs, transplant teams, transplant centers) involved in providing transplants to patients from abroad reduce the country's ability to provide transplant services for its citizens. "

The very name of the phenomenon of traveling abroad to find the possibility of receiving a transplant illegally - by way of the purchase-sale transaction indicates the existence of a deeply rooted problem of the intense development of the phenomenon of trafficking in human organs [18].

The method of making transplant tourism has been defined in the UNOS (United Network for Organ Sharing) document: "Transplant tourism should be understood as the purchase of a transplanted organ abroad, which is associated with the need to circumvent the laws, procedures, and policies of one or all of the countries involved."

Increasingly, transplant tourism is referred to as health imperialism [3], whose creators can be considered the modern states of "suppliers" of spare parts, where the procedure itself takes place and which, as part of their activities, give silent consent to criminal groups involved in committing the crime of trafficking in human organs. Transplant tourists, taking advantage of the indicated possibility of obtaining the necessary organ due to legal restrictions in the countries of their origin, flee from investigations regarding the possible origin of organs that have been transplanted.

It should be noted that there is currently no one common model of transplant tourism, but four models have been created that were presented at the Second World Consultation on Human Transplants in Geneva in 2007 [3].

Model 1 indicates a situation in which the recipient (from country B) travels to country A, where the donor and transplant center is located. For model 2, the donor (from country A) travels to country B, where the recipient and transplant center is located. Model 3 illustrates the situation in which the donor and recipient come from one country (A) and travel to country B, where the transplant center is located. Model 4 indicates the situation when the donor from country A and the recipient from country B travel to country C, where the transplant center is located [3].

Due to intensive globalization and an increase in access to various forms of communication between countries, latent, but real human trafficking occurs [1].

Exploiting the poor life situation of the poor, who go as far as possible to get funds to maintain their home and family, has become a showcase, a keynote and response to the need for transplant organs [36, 37].

Lack of elementary knowledge regarding the risk of organ harvest and indication the demand for organs causes constant strengthening of the phenomenon of transplant tourism, which gives the opportunity to bypass the classic "waiting list" and at the same time, a chance for health and life [25].

Paradoxically, it is difficult to accept that transplant tourism has become the reason for the rapid development of human organ trafficking. However, there are places which in their specificity and assumption have organ trafficking [22] - an example of the indicated practice is the so-called Kidney Vakkam - a kidney village that was founded and operated in the Indian city of Madras [22].

Another example of a decision-making state in the field of transplant tourism is Israel as the most significant country in terms of use from the services of illegal clinics to transplant organs to residents. Transplant tourism is almost every day for the inhabitants of Israel and is quite transparent in the indicated country. A highly educated society, having knowledge about the functioning of transplants organized by the state, avoids receiving organs from deceased people, which is the reason for the increase in the number of transplant trips abroad.

It should be emphasized that the continuous lack of organs for transplantation and the ubiquitous poverty and poverty constitute the basis for the functioning of transplant tourism, which gives a kind of opportunity - on the one hand for recipients who receive an organ, and on the other a donor - who receives money by donating the organ. Therefore, the problem is looping due to mutual benefits for both donors and recipients. However, the indicated form allows you to bypass the legal prohibitions to acquire organs illegally, because since the state prohibits something in issued documents, the easiest way is to go to another, which gives you the opportunity to implement the plan without unnecessary complications [8, 13, 19].

The plan to obtain an organ for transplantation not only brings benefits for the recipient but a specific risk for the donor. The recipient becomes a consumer - a buyer requiring a good quality organ at a reasonable price. Therefore, it can be cautiously stated that in view of the thesis, the donor becomes a secondary character, as well as ways of obtaining organs. Omnipresent commercialization has its mark on the strength with which transplant tourism is developing. However, until the

availability of legal transplant services on the market increases, the problem will certainly not disappear.

It should also be noted that proving that a specific type of act committed by a donor and recipient traveling outside the country to carry out organ transplantation is transplant tourism, is extremely difficult because currently many countries in the world have not developed an appropriate transplantation policy in their functioning, which results in lack of transplant centers and medical options for transplantation.

It is controversial that trade in human organs has become one of the very dangerous and lucrative forms of making a profit, receiving funds without unnecessary effort. The indicated phenomenon, despite attempts to limit it, reduce it and close it within the limits of the legal framework, will not bring the expected effect until drastic legal and organizational measures are taken that can increase the public awareness of the importance of transplantation in the modern world. It will also not be possible to reduce the scale of the phenomenon of trade in human organs and the dynamics of its development. Without increasing the number of organs on the legal transplant market, it will not be possible to limit the purchase and sale of organs on the black market. What has been emphasized many times - until the time when demand exists, supply is naturally fueled, and the guarantor of its existence is money as a form of payment for services rendered, which is sometimes a goal, and sometimes a means to achieve the goal.

## **Summary**

Trafficking in human organs remains a phenomenon that is still not fully recognized. It is a manifestation of interference in the integrity of the human person, which is manifested in the reification of the human body to make a profit. Therefore, only the characteristics of the detected cases of its occurrence are possible. Trafficking in human organs brings significant profits and results from the reasons associated with the deficit of organs on the legal market of transplant services, and it is a complicated and complex phenomenon that threatens the security of modern countries.

The need to increase awareness of the threat posed by trafficking in human organs forces us to review existing normative acts in this area and to indicate possible solutions that will allow for the harmonization of prosecution procedures for this crime.

The geography of the phenomenon of trafficking in human organs indicates the expansion of the territorial area of its occurrence from individual countries to almost all on the map of the modern world. The territorial distribution of crime in the indicated area is of great diagnostic importance, because it allows to determine potential directions of development of the phenomenon of illegal organ donation and transplantation, and thus the analysis of its current internal issues, evaluation perspectives, and interrelationships that affect the structure and dynamics of phenomena occurring there criminal.

## References

1. Capron A.M., Delmonico F.L., Preventing Trafficking in Organs for Transplantation: An Important Facet of the Fight Against Human Trafficking, *Journal of Human Trafficking*, 2015.
2. Buczyński S.M., Snopek P., Aspekty kryminologiczne nielegalnego obrotu narządami, tkankami oraz komórkami ludzkimi, „Hygeia Public Health” 2013.
3. Budiani-Saberi A., Delmonico F.L., Organ Trafficking and Transplant Tourism: A Commentary on the Global Realities, „American Journal of Transplantation” 2008.
4. Caplan A., Dominguez-Gil B., Matesanz R., Prior C., Trafficking in organs, tissues and cells and trafficking in human beings for the purpose of the removal of organs, Directorate General of Human Rights and Legal Affairs Council of Europe 2009.
5. Carey, B. (2013, August 29). Which Organs Can I Live Without, And How Much Cash Can I Get For Them? Retrieved April 2017.
6. Dobrowolska B., Próby komercjalizacji idei transplantacyjnej w świetle rozstrzygnięć w prawie międzynarodowym, „Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu” 2011, t. 17, nr 2.
7. Albarán E.S., Duarte N., Santos D., Transnational Trafficking of Organs, Tissues and Cells, No. 13, The Global Observatory of Transnational Criminal Networks, Vortex Foundation, Bogota 2017.
8. Gałuszka M., Komercjalizacja ciała ludzkiego w społeczeństwie ryzyka biomedycznego, „Acta Universitatis Lodzianis” 2015, Folia Sociologica 55.
9. Guzik-Makaruk E.M., Transplantacja organów, tkanek i komórek w ujęciu prawnym i kryminologicznym, Białystok 2008.
10. Guzik-Makaruk M., Oleksiuk-Okomska M., Wybrane aspekty transplantacji narządów w Stanach Zjednoczonych, „Zeszyty Prawnicze, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku” 2017, nr 17.2.
11. Hołyst B., Kryminologia, wyd. 11, Warszawa 2016.
12. Joint Council of Europe/United Nations Study on trafficking in organs, tissues, and cells and trafficking in human beings for the purpose of the removal of organs.
13. Keitel S. (red.), Organs, Tissues, and Cells – Safety, Quality and Ethical Matters Concerning Procurement, Storage and Transplantation (Council of Europe Convention, Recommendations, Resolutions and Reports), European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare, Strasburg 2012.
14. Kopaliński W., Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych z almanachem, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2018.
15. Matas D., Kilgour D., Uaktualniony raport w sprawie zarzutów o pozyskiwanie narządów wewnętrznych od praktykujących falun gong w Chinach, Ottawa 2007.
16. De Jong J.E.C., Human trafficking for the purpose of organ removal, Utrecht University Repository, Siegel - Rozenblit, 2017.

17. Pabisiak K., Autoryzacja pobrania narządów do transplantacji – czy ma znaczenie dla identyfikacji dawców?, „Anestezjologia Intensywna Terapia” 2015, t. 47, nr 2.
18. Piaseczny J., Nerka z czarnego rynku, „Tygodnik Przegląd” 2012, nr 23.
19. Scheper-Hughes N., Biopiractwo i globalna pogoń za ludzkimi narządami, [w:] Z. Lasocik (red.), M. Wiśniewski, Handel narządami ludzkimi etyka, prawo i praktyka, Ośrodek Studiów Handlu Ludźmi, Katedra Kryminologii i Polityki Kryminalnej IPSiR UW, Warszawa 2006.
20. Stec T., Handel organami ludzkimi – problem nadal aktualny, „Tarnowskie Studia Teologiczne” 2017, t. 36, nr 1.
21. Taephant N., IOM Training Manual on Psychosocial Assistance for Trafficked Persons, International Organization on Migration 2010.
22. Taylor J.S, Stakes and Kidneys: Why Markets in Human Body Parts are Morally Imperative, New York 2005.
23. Voo T.Ch., Campbell A.V., de D Castro L., The Ethics of organ transplantations: Shortages and Strategies, Komentarz, „Annals Academy of Medicine” 2009.
24. Wedeł – Domaradzka A., Prawne i etyczne problemy handlu organami, Studia i Analizy Europejskie, Wydawnictwo WSG, Bydgoszcz 2010.
25. Wesołowska E., Egipskie części zamienne, „Angora” 2011, nr 50.
26. Zwoliński A., Handel narządami ludzkimi, „Miesięcznik Egzorcysta”, maj 2018, nr 69.
27. Konwencja o ochronie praw człowieka i godności jednostki ludzkiej w dziedzinie zastosowania biologii i medycyny z dnia 4 kwietnia 1997 r. (ETS 164 ).
28. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/53/ UE z dnia 7 lipca 2010 r. w sprawie norm jakości i bezpieczeństwa narządów ludzkich do przeszczepów.
29. Protokół o zapobieganiu, zwalczaniu oraz karaniu za handel ludźmi, w szczególności kobietami i dziećmi, uzupełniający Konwencję Narodów Zjednoczonych przeciwko międzynarodowej przestępczości zorganizowanej, przyjęty przez Zgromadzenie Ogólne Narodów Zjednoczonych dnia 15 listopada 2000 r. (Dz. U. 2005 nr 18 poz. 160 ze zm.).
30. II protokół Dodatkowy do Konwencji z Oviedo z dnia 24 stycznia 2002 r.(ETS nr 186).
31. Ustawa z dnia 1 lipca 2005 r. o pobieraniu, przechowywaniu i przeszczepianiu komórek, tkanek i narządów (Dz. U. 2017 poz. 1000, tj. z dnia 11 maja 2017 r.).
32. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 1 grudnia 2006 r. w sprawie sposobu prowadzenia centralnego rejestru przeciwwów oraz sposobu ustalania istnienia wpisu w tym rejestrze (Dz. U. nr 228, poz. 1671).
33. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 12 marca 2010 r. w sprawie sposobu działania ośrodków kwalifikujących do przeszczepiania oraz sposobu kwalifikacji potencjalnego biorcy (Dz. U. nr 54 poz. 331).
34. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 14 grudnia 2009 r. w sprawie krajowej listy osób oczekujących na przeszczepienie (Dz. U. nr 213 poz. 1655).
35. Decyzja (78)29 Komitetu Ministrów z dnia 11 maja 1978 r. w sprawie harmonizacji przepisów państw członkowskich dotyczących usuwania, wszczepiania i transplantacji substancji ludzkich.
36. Film dokumentalny, Human Organs Trafficking, Roberto Orazi, Włochy 2009.
37. Film dokumentalny, Mroczny handel ludzkimi częściami, Martina Keller, Francja 2012.

# PARLAMENT EUROPEJSKA – POWYBORCZA PANORAMA

Szyborski W.

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

## Wstęp

Na wiele miesięcy przed wyborami do Parlamentu Europejskiego (23-26 maja 2019 r.) zadawano sobie dwa powiązane ze sobą pytania: jak daleko idącemu osłabieniu ulegną wpływy frakcji o szeroko rozumianej orientacji pronunijnej oraz na ile zyskają przeciwnicy Unii Europejskiej w dzisiejszej formule (eurosceptycyzm). Na szczęście nie sprawdziły się obawy o znaczącej zmianie układu sił, który mógłby spowolnić, zatrzymać, a może nawet odwrócić proces integracyjny.

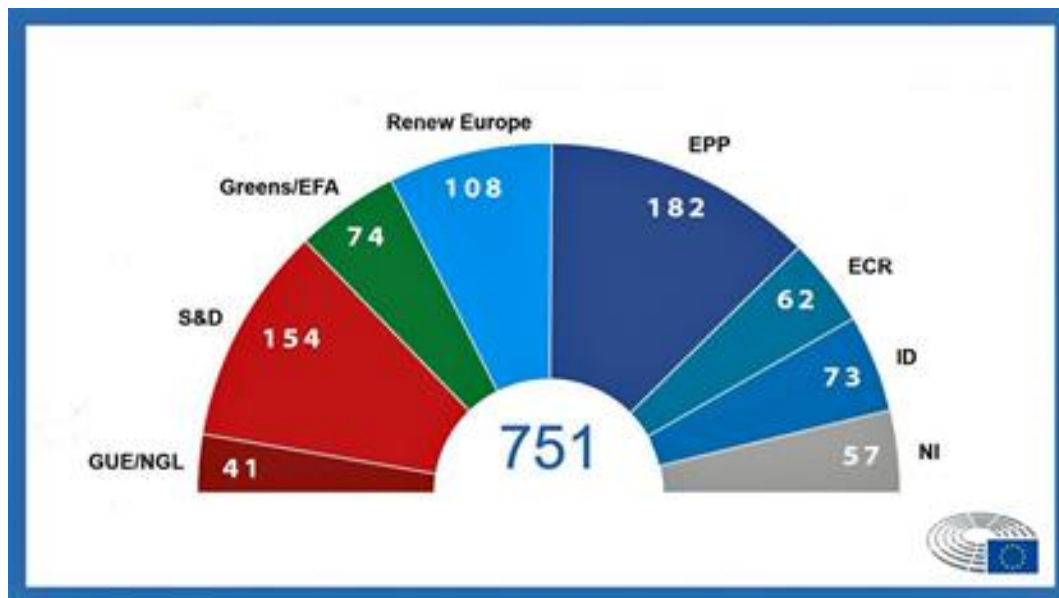
## Układ sił w PE

Ażeby lepiej uchwycić nowy układ sił, należy zatrzymać się na wykresie pamiętając, że w PE obowiązuje podział na frakcje tworzone przez eurodeputowanych o podobnych poglądach politycznych, nie zaś na podstawie ich przynależności narodowej. Największą liczbę eurodeputowanych wprowadziła EPP (wszystkie skróty odnoszą się do języka angielskiego), czyli Europejska Partia Ludowa, zrzeszająca partie chrześcijańsko-demokratyczne, ludowe, konserwatywno-liberalne i demokratyczne (w jej skład weszli członkowie Platformy Obywatelskiej i PSL). Drugą co do wielkości frakcją jest S&D, czyli Postępowy Sojusz Socjalistów i Demokratów, skupiający eurodeputowanych o poglądach socjalistycznych i socjaldemokratycznych (w jej składzie znaleźli się przedstawiciele SLD oraz Wiosny Roberta Biedronia). Od chwili pierwszych wyborów do PE (1979 r.) obie te frakcje tworzyły koalicję, która dawała im bezwzględną większość miejsc i co za tym idzie pełną możliwość przy obsadzaniu unijnych stanowisk. Tym razem tak się nie stało i aby stworzyć większość należało znaleźć koalicjanta, którym mogli zostać członkowie frakcji Renew Europe, świeżo powołanej frakcji liberałów i demokratów lub Greens/EFA – przedstawiciele Zielonych/Wolnego Sojuszu Europejskiego. Ostatecznie dwie najsilniejsze frakcje zdecydowały się na sojusz z demokratami, co daje im 444 miejsca spośród 751 członków PE.



## Parlament Europejski: 2019-2024

Na lewo od Zielonych funkcjonuje jeszcze frakcja GUE/NGL (Zjednoczona Lewica Europejska – Nordycka Zielona Lewica), grupująca partie socjalistyczne, komunistyczne i ekosocjalistyczne [1].



Rys. 1. Parlament Europejski: 2019-2024

Po prawej stronie określanej mianem populistycznej lub eurosceptycznej znalazła się ID – Tożsamość i Demokracja, jednocząca głównie przedstawicieli włoskiej Ligii Północnej Matteo Salvini, francuskiego Zjednoczenia Narodowego Marine Le Pen i Alternatywy dla Niemiec. M. Salvini miał nadzieję, że wraz z ECR (Europejscy Konserwatyści i Reformatorzy, (wśród nich znajdują się europosłowie PIS) oraz częścią NI (eurodeputowani niezrzeszeni) uda się stworzyć eurosceptyczną koalicję zdolną do zgromadzenia nawet 250 europosłów, co – zdaniem Europejskiej Rady Spraw Międzynarodowych – „przy taktycznych sojuszach pozwoliłoby im blokować procedury z Artykułu 7, związane z ochroną praworządności w państwach członkowskich, a nawet doprowadzić do rozpadu UE” [2].

Eurosceptyków w PE cechuje duża różnorodność. Znajdują się wśród nich nie tylko typowe partie antysystemowe, zwykle radykalnie prawicowe i odrzucające integrację europejską („twardy” eurosceptycym) oraz te, które nie opowiadają się wyraźnie za rozwiązaniem Unii Europejskiej czy przeciwko jakiegokolwiek integracji, ale podchodzą do niej z dystansem lub jawną krytyką („miękki” eurosceptycym) [3]. To, że chadekom, socjaldemokratom i liberałom udało się zawrzeć koalicję, a w rezerwie pozostają jeszcze Zieloni, nie może w żaden sposób „przykryć” faktu

skokowego wzrostu eurosceptycyzmu wśród obywateli państw członkowskich, co ma przełożenie na skład PE. O ile frakcje o „twardym” i „miękkim” poziomie eurosceptycyzmu stanowiły w kadencji 2009-2014 ponad 8% składu PE, w latach 2014-2019 – blisko 12%, to w obecnej kadencji jest ich już około 19%. Przyczyn takiego stanu rzeczy jest sporo i leżą one zarówno po stronie elit politycznych poszczególnych państw członkowskich, jak i praktyki politycznej instytucji unijnych (analiza tej materii wymagałaby jednak osobnego tekstu).

Ostatnie wybory odwróciły spadkową tendencję dotyczącą frekwencji. Podczas pierwszych wyborów wyniosła ona 63%, przy każdych kolejnych obniżała się aż do poziomu 43% w 2014 r. Obecny wzrost o 8% [4] można byłoby uznać za zjawisko pozytywne, gdyby nie fakt, że stało się tak dzięki zwiększonej aktywności elektoratu eurosceptycznego. Pozytywnym zjawiskiem jest coraz większy udział europosełek – z 19% w 1979 r. do 41% obecnie (w przypadku naszego kraju udział kobiet to jedynie 35%). Z uznaniem należy również przyjąć fakt, że 435 spośród 751 eurodeputowanych zasiada w PE po raz pierwszy. Samo w sobie nie daje to jednak rękami lepszego przygotowania merytorycznego, poziomu pracowitości, czy chociażby tak elementarnego wymogu jak znajomość języka angielskiego (chodzi tu głównie o europosłów pochodzących z państw tzw. nowej Unii).

Przeciętny wiek członka izby wynosi 55 lat z czego najmłodszy ma 28, a najstarszy 90 lat. W przypadku Polski przeciętna wieku wynosi 61 lat (pod tym względem zajmujemy ostatnie miejsce), przy czym najmłodszy europoseł ma 42 lata, a najstarszy 80.

### **Obsada unijnych stanowisk**

Rada Europejska, czyli przywódcy państw członkowskich, dokonali 2 lipca 2019 r. wyboru kandydatów na cztery najważniejsze unijne stanowiska, którzy formalnie musieli jeszcze uzyskać aprobatę PE. Przewodniczącym Rady Europejskiej został dotychczasowy belgijski premier Charles Michel, przewodniczącą Komisji Europejskiej obecna jeszcze minister obrony Niemiec Ursula von der Leyen, Wysokim Przedstawicielem UE ds. Zagranicznych i Polityki Bezpieczeństwa dotychczasowy minister spraw zagranicznych Hiszpanii Josep Borell, zaś prezesem Europejskiego Banku Centralnego wybrano Francuzkę Christine Lagarde, zajmującą dotąd funkcję dyrektora zarządzającego Międzynarodowego Funduszu Walutowego. Osiągnięto w ten sposób pełen parytet płci: dwie kobiety i dwóch mężczyzn [5]

Żadne z wymienionych stanowisk nie przypadło politykowi pochodzącemu z państw „nowej UE”, a szczególnie regionu Europy Środkowej. W związku z tym jedynymi reprezentantami tego regionu byli Polacy z rekomendacji Platformy Obywatelskiej: Jerzy Buzek oraz Donald Tusk [6]. Taki podział najważniejszych unijnych stanowisk znacząco zaburza niezbędną równowagę pomiędzy „starą” a „nową” Unią. Jedną z przyczyn jest niewątpliwie pasywna polityka państw naszego regionu i to mimo licznych zapewnień obecnego rządu polskiego, że mamy do czynienia ze sprawnie działającą koalicją (pod przewodnictwem Polski), mającą skutecznie artykułować wspólne interesy tak, aby przynajmniej częściowo zrównoważyć pozycję państw „starej” Unii.

Dzień po mianowaniu przez Radę Europejską kandydatów na wspomniane wyżej stanowiska eurodeputowani przystąpili do wyboru Przewodniczącego PE. Kandydaturę może zgłosić, za zgodą zainteresowanego, frakcja polityczna lub co najmniej 40 europosłów. W regulaminie PE podkreśla się, że „podczas wyboru Przewodniczącego, wiceprzewodniczących i kwestorów wskazane jest zapewnienie sprawiedliwej reprezentacji państw członkowskich oraz opcji politycznych”. Ostatecznie funkcję tą objął włoski socjalista David Sassoli, zaś w gronie 14 wiceprzewodniczących znalazła się, jako reprezentantka EPP, była premier Ewa Kopacz.

Jak zwykle najwięcej kontrowersji wywołuje wybór przewodniczącego Komisji Europejskiej, którego kandydaturę Rada Europejska przedstawia PE do zatwierdzenia. Jeszcze w 2012 r. PE przyjął rezolucję, która miała skłonić europejskie partie polityczne do przedstawiania własnych kandydatów na szefa Komisji, tak aby spośród nich dokonać ostatecznego wyboru. W 2019 r. wysuniętych zostało sześciu „wiodących kandydatów” (termin wszedł do obiegu politycznego pod niemiecką nazwą „Spitzenkandidaten” [7], z których dwóch – Manfred Weber ze strony chadeków oraz Franz Timmermans ze strony socjalistów – miało największe szanse na wybór. Pomijając wątki zakulisowych rozgrywek wydawało się, że niemal pewnym faworytem stał się Timmermans. Wówczas przeciwko tej kandydaturze wystąpili m.in. Włosi oraz Grupa Wyszehradzka (Polska, Węgry, Czechy i Słowacja), przy czym najgłośniej protestującym był premier M. Morawiecki, dla którego Timmermans był twarzą sporu rządów PiS z unijnymi instytucjami. Żaden inny polityk europejski nie był tak często i zajadle atakowany i demonizowany przez pisowskich polityków oraz wierne partii media. Chodziło tu przede wszystkim o

kwestie przestrzegania w naszym kraju zasad praworządności w kontekście zmian w systemie sądowym.

Ostatecznie na nową przewodniczącą Komisji została nominowana niemiecka chadeczką Ursula von der Leyen pierwsza kobieta, mająca objąć to stanowisko od momentu zapoczątkowania procesu integracyjnego. Utrącenie kandydatury Timmermansa, premier Morawiecki przedstawił jako wielki sukces polskiej dyplomacji i można się z tym zgodzić tylko wtedy, gdy całą naszą strategię sprowadzimy do hasła: każdy tylko nie Timmermans. M. Morawiecki gratulował von der Leyen wyboru i podkreślił, że rząd od początku opowiadał się za kandydatem, który „dawał nadzieję na pojednanie” (i jest w tym względzie „ostrożnym optymistą”), a nie za tym, który „poucza, beszta, dzieli i tworzy konflikty w Europie”. Trudno powiedzieć, jak na dłuższą metę będzie układała się współpraca z nową przewodniczącą, jeśli już w pierwszym wystąpieniu przed PE uznała ona kwestię przestrzegania praworządności za jedną z wiodących, jeśli wiceprzewodniczącym Komisji będzie dalej F. Timmermans z tym samym zakresem kompetencji no i jak to się da pogodzić z często artykułowanym germanofobizmem obozu rządzącego.

Przyjęta przez Polskę, resztę Grupy Wyszehradzkiej oraz częściowo Bułgarię i Rumunię strategia „każdy tylko nie Timmermans” zmniejsza szanse na przywrócenie koniecznej równowagi pomiędzy „starą” a „nową” Unią. Nie formułując jasnego przekazu co do wizji przywrócenia tej równowagi i skupiając się jedynie na deklaracjach o konieczności jej przywrócenia sami utrwalamy wizerunek naszego regionu jako Europy drugiej kategorii. Premier Morawiecki oczekuje od „starej Unii” zrozumienia dla naszej postkomunistycznej specyfiki; zgoda, tylko jeżeli drużyna w piłkę nożną w kategorii do 21 lat decyduje się na grę z seniorami, to nie może oczekiwać od sędziego (w tym przypadku jest im Trybunał Sprawiedliwości UE), że nie zauważy on jej spalonego, faulu lub tzw. ręki. Prezydent Macron często powtarza, że Unia nie jest supermarketem, w którym każdy wybiera sobie tylko to na co ma ochotę, natomiast jest wspólnotą o niespotykanych w innych regionach świata więzach gospodarczych, wyposażoną we własny budżet umożliwiający w ramach polityki spójności zmniejszać różnice rozwojowe pomiędzy „starą” a „nową” Unią oraz dziejącą w oparciu o jasno zdefiniowane zasady i wartości, z których praworządność należy do kluczowych.

## **„Składanie” Komisji**

Ursula von der Leyen chciała „złożyć” skład Komisji w ciszy i poufności, spotykając się z przywódcami państw UE, tak aby ocenić kompetencje potencjalnych kandydatów oraz ich szanse na akceptację przez komisje parlamentarne. Wynik przesłuchań ma kluczowe znaczenie dla ostatecznego głosowania nad całym składem Komisji, gdyż jako ciało kolegialne jest ona powoływana i odwoływana w całości. Dla Przewodniczącej istotnym elementem jest również zachowanie parytetu płci stąd prosiła ona przywódców o zgłaszanie dwóch kandydatur, kobiety i mężczyzny [8].

Przesłuchania trwają około trzech godzin i są transmitowane satelitarnie i w Internecie, umożliwiając każdemu obserwowanie ich przebiegu. W przeszłości komisje kilkakrotnie odrzucały konkretnego kandydata, co zmuszało jego rząd do przedstawienia innej kandydatury. Jeden przykład: w 2004 r. Rocco Buttiglione został wystawiony przez rząd włoski jako kandydat na członka Komisji. Ówczesny przewodniczący KE włączył go do listy nominowanych jako swojego zastępcę i komisarza do spraw sprawiedliwości. Kandydatowi wytknięto podczas przesłuchania konserwatywne poglądy m.in. dotyczące homoseksualizmu i roli kobiety w rodzinie. Frakcje socjalistów i zielonych przedstawiły zastrzeżenia co do jego zdolności do podjęcia działalności politycznej w sferze praw obywatelskich. Ostatecznie Komitet ds. Wolności Obywatelskich, Sprawiedliwości i Spraw Wewnętrznych PE głosował w stosunku 27:26 za nieprzyjęciem nominacji [9].

25 lipca 2019 r. podczas wizyty U. von der Leyen w Warszawie, premier Morawiecki przedstawił Krzysztofa Szczerskiego (szef gabinetu prezydenta Dudy) jako polskiego kandydata na komisarza. Nastąpiło to tydzień po przegraniu przez niego batalii o stanowiska zastępcy sekretarza generalnego NATO i trzy dni po oświadczeniu przez Konrada Szymańskiego (wiceminister ds. europejskich), że władze są „zdecydowane stworzyć system stałych konsultacji polskiego komisarza z premierem”, czyli że polski komisarz będzie otrzymywał instrukcje z Warszawy [10]. To sytuacja bez precedensu, gdyż unijne traktaty zobowiązują członków KE do zachowania neutralności i wprost zakazują im konsultowania się z jakimkolwiek rządem. Same państwa członkowskie są też zobligowane do niewywierania wpływu na swoich komisarzy [11]. Jeśli ten system zostałby wdrożony Polskę czekać będzie kolejny blamaż w UE.

Etap wstępnych sondaży i uzgodnień, czyli dyplomatycznej kuchni, zakłócił premier Morawiecki, ujawniając nazwisko polskiego kandydata oraz oczekiwany

przez nas podział resortów. Premier stwierdził, że rząd spodziewa się objęcia przez polskiego komisarza jednego z ważniejszych resortów gospodarczych, a do takich należą wolny rynek, budżet, handel i energetyka. Takie postawienie sprawy skazywało nas z góry na porażkę, albowiem K. Szczerski po pierwsze nie zna się na gospodarce i nigdy nie zajmował żadnych stanowisk rządowych, po drugie, jest bodaj najbardziej eurofobicznym kandydatem wśród nazwisk, które pojawiały się na tzw. giełdzie i po trzecie aktywnie popierał niezgodne z prawem unijnym zmiany w systemie sądowniczym. Był to zatem kandydat polityczny, czy wręcz ideologiczny, a nie technokratyczny i aż dziw bierze, że PiS mógł liczyć na zaakceptowanie jego kandydatury.

Kiedy okazało się, że Polsce przypadnie resort rolnictwa, K. Szczerski zrezygnował z teki unijnego komisarza, przyznając że brakuje mu w tej sferze kompetencji. Na jego miejsce zgłoszony został Janusz Wojciechowski były prezes Polskiego Stronnictwa Ludowego, w 2014 r. z listy PiS został wybrany do Parlamentu Europejskiego, a od 2016 r. pełni funkcje audytora w Trybunale Obrachunkowym UE.

### **Unijna perspektywa Ukrainy**

Krótką analizę stosunków pomiędzy Ukrainą i UE należy poprzedzić przypomnieniem kilku podstawowych faktów. Formalno-prawną podstawę współpracy ukraińsko-unijnej zapoczątkował podpisany 14 czerwca 1994 r. układ o partnerstwie i współpracy, a 28 listopada 1994 r. Rada Unii Europejskiej (zrzeszająca ministrów państw członkowskich) przyjęła wspólne stanowisko, określające cele i priorytety współpracy. Do pierwszego „szczytu” UE-Ukraina doszło we wrześniu 1997 r. w Kijowie, podczas którego ówczesny prezydent L. Kuczma potwierdził dążenie Ukrainy do stowarzyszenia z Unią, a następnie akcesji. Układ o partnerstwie i współpracy wszedł w życie 1 marca 1998 r., ustanawiając jednocześnie „Radę Współpracy UE-Ukraina”, która zebrała się po raz pierwszy 9 czerwca 1998 r. (w sumie odbyło się 21 posiedzeń tej Rady).

Kluczowym warunkiem przystąpienia Ukrainy do UE jest przestrzeganie wymogów zdefiniowanych przez Radę Europejską w 1994 r. w Kopenhadze. Kryteria kopenhaskie (uzupełnione przez kryteria madryckie z 1996 r.) posiadają trzy komponenty: polityczny, gospodarczy i prawno-instytucjonalny. Ten pierwszy zakłada budowę systemu gwarantującego stabilną demokrację, rządy prawa,

poszanowanie praw człowieka oraz praw mniejszości, drugi, funkcjonowanie gospodarki rynkowej gotowej sprostać konkurencji i wolnemu rynkowi funkcjonującemu w UE, zaś trzeci zdolność/deklarowaną chęć do przyjęcia dorobku prawnego i instytucjonalnego UE i zdolność/deklarowaną chęć przyłączenia się do unii politycznej, gospodarczej i walutowej [12].

Powolna implementacja wymogów zawartych w kryteriach kopenhaskich zdecydowanie opóźniła negocjacje na temat umowy stowarzyszeniowej, niezbędnej do rozpoczęcia negocjacji akcesyjnych. Ukraina borykała się i nadal boryka z wieloma problemami wewnętrznymi, które osłabiają jej wiarygodność na arenie międzynarodowej, zmniejszając tym samym szanse na rychłą akcesję. Mamy tu bowiem do czynienia z szeregiem negatywnych zjawisk takich jak: przewlekły stan braku konsolidacji ustrojowej, trwałe tendencje separatystyczne na wschodzie i zachodzie kraju, silne wpływy struktur oligarchicznych i mafijnych, bardzo wysoki poziom korupcji [13], stan głębokiej zapaści gospodarczej [14], czy też częste zmiany ekip rządzących, artykułujące często rozbieżne stanowiska wobec przystąpienia do UE [15.]

Obecna, szeroko rozumiana sytuacja na Ukrainie jest następstwem Euromajdanu, swoistego ruchu społecznego związanego z falą manifestacji i protestów, które miały miejsce w listopadzie 2013 r. po tym, jak ówczesny prezydent W. Janukowycz nie podpisał umowy stowarzyszeniowej z Unią Europejską. Euromajdan uruchomił ciąg wydarzeń, które aż do dziś mają znaczący wpływ na ukraińską politykę wewnętrzną i pozycję międzynarodową.

Bezpośrednią konsekwencją Euromajdanu było usunięcie w lutym 2014 r. W. Janukowycza z urzędu prezydenta, który wraz z liczną grupą współpracowników wyjechał do Rosji. Dla W. Putina była to znakomita okazja do podjęcia szybkich działań mających na celu „przyłączenie Krymu do Rosji”, łamiących w ten sposób jedną z podstawowych zasad prawa międzynarodowego. W tym samym czasie w dwóch ukraińskich obwodach – ługańskim i donieckim – położonych we wschodnich regionach graniczących z Rosją, zaczęło dochodzić do demonstracji zwolenników szerokiej autonomii lub wręcz przyłączenia obu obwodów do Rosji. W maju 2014 r. prorosyjscy separatyści proklamowali samowłańczą „Doniecką Republikę Ludową” i „Ługańską Republikę Ludową” (obie te części Ukrainy określane są od dawna mianem Donbasu), pozbawiając władze centralne w Kijowie władztwa nad blisko 8% terytorium i 9 mln obywateli oraz dostępu do bogatych złóż głównie węgla oraz rud

żelaza i związanego z tym przemysłu ciężkiego, tworzących w sumie 20% ukraińskiego PKB oraz jedną czwartą eksportu. Nie mogło to nie stać się zasadniczą przyczyną zapaści gospodarczej.

Z drugiej strony usunięcie W. Janukowycza przełożyło się na stosunki Ukrainy z UE, czego efektem było podpisanie w marcu i czerwcu 2014 r. układu stowarzyszeniowego [16], mogącego stać się w przyszłości podstawą do rozpoczęcia negocjacji akcesyjnych. Wybrany w tym samym czasie na urząd prezydenta Petro Poroszenko w znaczącym stopniu przybliżył Ukrainę do szeroko rozumianego Zachodu, znajdując zrozumienie w UE jako całości, w poszczególnych państwach członkowskich (np. w Niemczech czy Francji) oraz w Stanach Zjednoczonych. I tak, latem 2014 r. powstała Normandzka czwórka (zwana też „formatem normandzkim”) – grupa składająca się z przedstawicieli Ukrainy, Francji, Niemiec i Rosji, mająca na celu uregulowanie konfliktu w Donbasie. Mimo intensywnych wysiłków, które doprowadziły do podpisania porozumień „Mińsk-1” i „Mińsk-2” udało się jedynie osiągnąć stan kruchego rozejmu zamiast trwałego pokoju. Choć USA nie były zaangażowane w negocjacje w ramach formatu normandzkiego popierały pokojowe wysiłki Niemiec, Francji i Ukrainy. Prezydent B. Obama zdecydował się wesprzeć Ukrainę finansowo (350 mln USD pomocy bezpośredniej oraz 1 mld USD w formie pożyczki), powstrzymując się jednak od dostaw broni ofensywnej.

Od momentu podpisania w 1994 r. układu o partnerstwie i współpracy ukraińscy politycy nie poprzestawali na prognozach co do ostatecznej daty akcesji do UE. Ten zwyczaj trwa dalej i cechuje go spory rozrzut czasowy: dla jednych to perspektywa 5 lat, dla innych – 15-20 lat.

Opublikowana w marcu 2017 r. Biała Księga w sprawie przyszłości Europy zawiera pięć scenariuszy integracji europejskiej, poczynając od kontynuacji obecnego modelu, poprzez skupienie się jedynie na jednolitym rynku, następnie wykształcenie się systemu Unii dwóch prędkości, dalej ograniczenie pól integracji przy bardziej efektywnym wykorzystaniu pozostałych aż do znaczącego przyspieszenia działań integracyjnych w wszystkich dziedzinach, co kolokwialnie określa się mianem „gaz do dechy” („to floor”) [16]. Powstaje zatem pytanie jak będzie wyglądała UE za 10-15 lat i do jakiej Unii miałyby przystąpić Ukraina.

Wychodząc z założenia, że obecna Ukraina ani nie jest gotowa do wstąpienia do Unii, ani Unia nie jest gotowa na przyjęcie Ukrainy powstaje pytanie co dalej. Dla przeciwników ukraińskiej akcesji kluczowym wydaje się fakt, że Kijów nie spełnia



politycznych i gospodarczych kryteriów zawartych w mechanizmie kopenhaskim, stąd należy w pierwszej kolejności zintensyfikować współpracę w ramach ustanowionego 10 lat temu Partnerstwa Wschodniego (Ukraina i pięć innych państw poradzieckich miały zacieśniać współpracę i promować wartości europejskie). Nie mniej ważnym czynnikiem jest stosunek Unii do Rosji. Wprawdzie w dalszym ciągu obowiązują sankcje nałożone na ten kraj po aneksji Krymu to jednak liczna grupa zachodnich polityków jest za ich „poluzowaniem”, a poza wszystkim obawia się, że przyjęcie Ukrainy do Unii to gdyby zaimportowanie nowych problemów geopolitycznych.

W relacjach Unia-Ukraina inicjatywa należy do tej pierwszej. Ukraińscy politycy, przedsiębiorcy, różne podmioty kształtujące opinię publiczną, jak też miliony Ukraińców pracujących w państwach członkowskich [18] powinni otrzymać sygnał, że akcesja jest możliwa, jednak pod jasno określonymi warunkami. Nie czyniąc tego Unia ogranicza szanse wpływania na sytuację w Ukrainie, ułatwiając tym samym Rosji prowadzenie twardej polityki wobec Krymu i Donbasu.

Szanse nowego otwarcia we wzajemnych stosunkach stwarza wybór Wołodymyra Zełenskigo na urząd prezydenta Ukrainy, a Ursuli von der Leyen na stanowisko Przewodniczącej Komisji Europejskiej. Mimo że obejmuje ona swój urząd dopiero od 1 listopada 2019 r. to już opowiedziała się za przyspieszeniem integracji z Ukrainą m.in. poprzez określenie „realistycznych ram” współpracy, w tym w pierwszym rządzie wyznaczenie nowych celów programu „Partnerstwo Wschodnie”.

## References

1. Parlament Europejski: 2019-2024. Źródło: <https://wyniki-wybory.eu/wyniki-wyborow/2019-2024/>.
2. Artykuł 7 Traktatu o Unii Europejskiej (TUE).
3. A. Moroska-Bonkiewicz, Eurosceptycy – nowe wyzwanie dla niemieckiej sceny politycznej, *Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego* 2015, vol. 9, nr 1, s. 106-107.
4. <https://wyniki-wybory.eu/frekwencja/>
5. Who are the EU's new leaders? w: <https://euobserver.com/news/145344>.
6. J. Buzek był przewodniczącym PE w latach 2009-2012, zaś D. Tusk pełni od 2014 r. funkcje przewodniczącego Rady Europejskiej.
7. European elections 2019: What is a spitzenkandidat?, w: <https://www.euronews.com/2019/04/24/european-elections-2019-what-is-a-spitzenkandidat>, [dostęp: 10.09.2019].
8. How are the Commission President and Commissioners appointed? <http://www.europarl.europa.eu/news>
9. EU panel opposes justice nominee, w: [www.bbc.co.uk](http://www.bbc.co.uk), 11 października 2004, [dostęp: 2019.07.23].

10. Szymański „wprowadzimy system konsultacji komisarza z r zadem. To zapowiedź łamania traktatów UE, w: [www.okopres](http://www.okopres.pl), [dostęp: 14.09.2019].
11. Artykuł 17 TUE
12. [https://eur-lex.europa.eu/summary/glossary/accession\\_criteria\\_copenhagen.html?locale=pl](https://eur-lex.europa.eu/summary/glossary/accession_criteria_copenhagen.html?locale=pl), [dostęp: 18.08.2019].
13. W Corruption Perceptions Index 2018 Ukraina zajmuje 120 miejsce na 180 zaklasyfikowanych państw. Wyższy współczynnik spośród państw Europy ma Rosja, <https://www.transparency.org/cpi2018>, [dostęp: 19.06.2019].
14. <http://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>, [dostęp: 15.07.2019].
15. Cz. Partacz, Krytyczne spojrzenie na europejskie aspiracje Ukrainy i stanowisko Polski, Rocznik Integracji Europejskiej, 2017, Nr 11, <https://repozytorium.amu.edu.pl>, [dostęp: 15.07.2019].
16. Wszedł on w życie 1 września 2017 r. Pełen tekst układu stowarzyszeniowego w: <http://orka.sejm.gov.pl>, [dostęp: 01.09.2019]; Szerzej w: Ukraine & the EU, Overview of Political Relations, [http://eeas.europa.eu/archives/delegations/ukraine/eu\\_ukraine/political\\_relations/index\\_en.htm](http://eeas.europa.eu/archives/delegations/ukraine/eu_ukraine/political_relations/index_en.htm) [dostęp: 01.09.2019].
17. White Paper on the Future of Europe, First published on 01 March 2017, [https://ec.europa.eu/commission/publications/white-paper-future-europe\\_pl](https://ec.europa.eu/commission/publications/white-paper-future-europe_pl), [dostęp: 12.08.2019].
18. <https://forsal.pl/artykuly/1399705,praca-ukraincow-za-granica-przelewy-od-nich-odpowiadaly-za-prawie-14-proc-ukrainskiego-pkb.html> [dostęp: 18.07.2019].

# INTERNATIONAL LOGISTICS DEVELOPMENT IN THE GLOBALIZATION OF THE WORLD ECONOMY

Vasylykivskyi D., Matiukh S., Dziuba M.

Khmelnitskyi National University, Ukraine

## **Introduction**

In recent decades, representatives of most large companies have realized the need to explore the opportunities offered by the global market. Thus, many companies interested in more efficient use of logistics and organization of material resources management began to evaluate the potential of foreign sources of raw materials. In order to maximize the export of finished products and more effective penetration into international markets, international logistics systems are organized worldwide and logistics chains are being set up.

## **Analysis of recent research and publications**

In the discussion on the genesis of the concept of international logistics management, much attention is paid to the need to separate the terms "logistics", "supply chain management" and "international logistics". In 1962, P. Drucker called the physical distribution of goods a "dark space of the economy" [2], and I. Little in 1977 characterized the identification of logistical costs at the firm as a "tricky business" [8]. But as early as the 1980s, A. Ballou convinced that logistics as a strategy covers such areas as customer service, transportation, inventory management and localization of items in the logistics chain model [1]. However, in the 1990s both in theory and in practice, the concepts of logistics and supply chain management were still regarded as interchangeable.

In 1998, the Cranfield Institute of Logistics and Transport (UK) published the terms used in logistics and gave them an explanation, emphasizing that the main difference between logistics and supply chain management is not that the chain brings together different organizations but in because logistics as a strategic management of the entire supply chain covers different product ranges, ordering, production, distribution [3].

The main difference between "logistics" and "international logistics", according to P. Sheri and T. Larson, the latter is the totality of solutions in all points of the international supply chain [4]. This set forms the basis, an exit point for global decision-making.

## **Presentation of main materials**

The trend of globalization is clearly visible in the development of macrologistic systems, which on the one hand affects the markets of finished goods, production, supply of material resources, labor, capital, characteristic of large transnational corporations and financial-industrial groups, and on the other - the creation and development of interstate transport - logistic, telecommunication, distribution and other macrologistic systems.

International Supply Chain Management involves the design, planning, execution, control and monitoring of activities in the international supply chain to create net worth, build competitive infrastructure, leverage international logistics, synchronize supply and demand, measure the performance of the international supply chain as a whole.

Large companies are geographically expanding their marketing research to find new markets for commodities and raw materials. In the implementation of global logistics concepts, a number of businesses see the opportunity to gain competitive advantages through the expected increase in labor productivity, increased production efficiency and differentiation of manufactured products.

In the practical approach to this issue, logistics professionals have to perform a large amount of work to adapt the basic concept to their conditions, to plan and implement logistics initiatives that are effective globally.

In addition, in the realities of a particular organization, the application of an international logistics approach requires logistics, marketing and procurement services to have a high degree of coordination.

Systematic analysis of the phenomenon of business globalization allows us to identify six complex factors that explain its causes (Table 1).

With the expansion of new production and information systems and technologies, the globalization of business is leading to increased international competition. In many countries, mergers, acquisitions or, conversely, the separation of organizations are actively pursued in various industries to ensure a higher level of competitiveness.

In general, business globalization has a positive effect on the efficiency of the economy, but some industries are under increasing pressure from foreign competitors.

**Table 1. Factors determining business globalization**

| <b>Factors</b>                     | <b>Short description</b>   |
|------------------------------------|--|
| 1. Economic                        | Huge concentration and centralization of capital;<br>Development of transnational corporations and financial-industrial groups;<br>International cooperation and division of labor; International marketing;<br>E-commerce; International logistics  |
| 2. Political                       | State borders, becoming more and more transparent, provide freedom of movement for people, goods and capital   |
| 3. International                   | Major international events:<br>- creation of the European Union;<br>- creation of a World Trade Organization;<br>- creation of a World Customs Organization;<br>Adoption of the European Act proclaiming freedom in the international movement of goods, people, services and capital, etc |
| 4. Technical                       | Development of modern means of transport, information systems and technologies, communication and telecommunications, flexible automated industries for the purpose of rapid dissemination of information, technologies, goods, financial resources  |
| 5. Public                          | The weakening of the role of traditions, social ties and customs contributes to the mobility of people in geographical, spiritual and emotional terms  |
| 6. Liberalization and deregulation | Liberalization of customs, trade, tax legislation in many countries and deregulation of transport have increased the tendency to internationalize economic activity  |

Globalization requires a sound foreign economic policy, especially with regard to the import-export of capital. Practice shows that globalization exacerbates competition, which is unstoppably pushing competitors out of the market, technologically and technologically inferior to existing foreign competitors.

The main drivers of globalization of business in logistics:

- economic growth;
- prospects for the development of global markets;
- global competition;
- regionalization of the economy;
- technology expansion;
- deregulation of transport and development of logistics infrastructure.

If we make a brief excursion into the history of globalization, it should be mentioned that the post-war economic development of many countries was characterized by the tendency of economic growth and recovery, the expenses in the

sphere of world trade and logistics were constantly increasing. The volume of international trade was expanding at a rate that was twice the rate of growth of world production, so that since 1950 the volume of international trade export has increased almost ten times, and the volume of world production of goods - five times.

The stable, steady growth of international trade was influenced by the following factors:

- development of international division of labor and internationalization of production;
- scientific and technological revolution (progress), due to which the fixed capital was renewed, new branches of economy appeared and the reconstruction of the old ones accelerated;
- active activity of multinational corporations in the world market;
- regulation (liberalization) of international trade through the measures of the General Agreement on Tariffs and Trade (GATT);
- liberalization of trade in many countries, the creation of free economic zones, which implies the elimination of quantitative restrictions on imports and a significant reduction in customs duties;
- development of processes of trade and economic integration, regional barriers that foresee elimination, formation of common markets and free trade areas;
- the acquisition of political independence by the former colonial countries and the transformation of some of them into so-called "new industrial countries" (South Korea, Singapore, Hong Kong, Taiwan, Mexico, Argentina, Brazil, Malaysia, Thailand, Indonesia, Philippines) with a model economy, oriented to foreign market.

In the second half of the XX century, there was a clear uneven dynamics of foreign trade, which affected the balance of power in the world market. The dominant position of the United States was in question. So, if in the 1950s the US accounted for a third of world exports, then in the 1990s - only eighth. The main center of international trade was Western Europe, whose exports nearly quadrupled US exports. In the last quarter of the XX century, the role of the Asia-Pacific region in the system of international economic relations, including in the field of international trade, increased. According to the World Bank, by 2020, more than 40% of world trade will be concentrated in the Pacific.

A notable trend is the rapid development of trade between developing countries, especially the export expansion of new industrialized countries.

The processes taking place in world trade are greatly influenced by liberalization: a significant reduction in the level of customs duties, the abolition of restrictions, quotas, and the like. At the same time, new challenges are emerging, in particular, the rise of protectionist tendencies at the level of economic groups, trade and economic blocs of opposing countries.

The creation of free trade zones was the impetus for the formation of trade and economic blocs. Among the most famous:

- European Free Trade Association (EFTA);
- the European Union (EU);
- North American Free Trade Area (NAFTA);
- Organization of Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) and others.

According to the World Bank, around 42% of world trade was conducted at the turn of the 1990s. According to the documents of the General Agreement on Tariffs and Trade (GATT), the states reduced customs duties, but at the same time compensated them with non-tariff barriers - subsidies to national production, introduction of different standards and norms, certification of goods.

The international division of labor and cooperation have helped to create a large number of transnational companies that use international logistics chains and channels in business (especially in the distribution of goods). Prospects for the development of the latter are associated with an increase in return on invested capital, lower tariffs for logistics intermediaries in other countries, improving financial and other conditions. Large international freight forwarding organizations, insurance companies and global telecommunications networks also play a significant role.

International logistics is sensitive to the factor of regionalization, which is most noticeable in countries with common borders. There are numerous examples of successful macro-logistical regional structures and systems in the Benelux, EU, Southeast Asia, the United States and Canada. From this series - the creation of an integrated European market, which includes more than 320 million consumers.

The regional dimension of international logistics is exacerbating the trend of globalization of business due to such aspects as:

- similarity of political systems and economic level of the countries of the region;
- closeness of social life, traditions, historical roots of the device;
- population migration;

- the only sources of energy and raw materials;
- general transport system and road infrastructure;
- unified telecommunications;
- absence of customs and trade barriers, etc.

The General European Act, adopted in 1987, aimed at removing trade barriers between EU Member States and facilitating the movement of goods, services, capital and people.

Of the many changes foreseen in the Single European Market Concept, three have the greatest impact on international logistics:

1) simplifying the procedures for documenting cargoes by using a single administrative document reduces the time spent crossing the border;

2) reduction of the number of customs formalities in respect of cargoes that are transiting to other countries (for example, in intermodal schemes of container transportation), saves time for passing customs control at ports and customs terminals;

3) simplifying the process of moving goods between countries allows to transform Europe's production and distribution logistics chains into a single compact international chain that requires less technological equipment.

In addition, changing trade relations and introducing a single Euro currency ensures a level playing field in European Union Member States. New entrants are coming on the market, both from Europe and beyond the ocean. For example, many US companies involved in changes in the European market environment are engaged in the development and implementation of logistics concepts aimed at the European market.

The potential of international logistics should be aimed at achieving the strategic goals of the organization and creating competitive advantages.

Key factors for competitive advantage in the global economy are:

- leadership in the quality of products and services;
- cost leadership;
- differentiation;
- strategic focus.

Differentiation means positioning in the market of products (services) where a global company asserts itself as one of a kind before its existing and potential buyers.



Strategic focus means the desire of the company to achieve competitive advantage in one or more segments of the world market by concentrating efforts (focusing) on certain strategic areas.

These key factors can be used by any competing company, so for the successful operation of a global company must constantly introduce new approaches and innovative ideas in strategic areas of quality, cost, differentiation and focus.

Properly designed International Logistics System (MLS) provides these opportunities. It should be noted that in today's world the international logistics system is becoming increasingly important for achieving strategic focus. Obviously, the desire of logistics agents of a global company (for example, in distribution systems, sales organization, pre-sales and after-sales service) to maximize profits, can significantly increase the total value and price of the goods at the end consumer. Therefore, logistical monitoring of costs in the international full value logistics chain is essential, and a high priority is given to those logistics functions that are not supported by the company itself to monitor the market situation and fulfill strategic objectives.

One of the conditions for the success of competition in international logistics is to achieve a level of production comparable to the global scale. This is not only necessary to enter a new market or promote a product. Large volumes of production provide a low level of unit logistics costs per unit of production.

Strategic goals at global companies are based on the productive synergy of four components: technology, marketing, production and logistics, with the first three based on the global foundation of the international logical system. It is necessary to take into account that in the modern conditions of business globalization the logistics system itself is a factor of competitive advantage. For example, the world's largest auto corporation spare parts sales and distribution systems have had a significant impact on the globalization of car assembly.

International competition has four distinctive features. First, companies competing globally are striving to create standard marketing concepts. In the second, the product life cycle is constantly decreasing and sometimes does not exceed a year. This applies to certain high-tech products, such as computers and computer peripherals, photographic equipment, audio and video equipment. Third, an increasing number of global companies use foreign raw materials in production or move production directly to the territory of foreign countries. Fourth, the marketing

and production activities of companies that have gone global are striving for rapprochement and better coordination.

The driving force of technology is manifested in the globalization of logistics systems through the mutual rapid penetration of modern technological solutions, know-how, projects, research into the economy of most developed countries. In a highly integrated global economic and information space, virtually no country can reap the long-term benefits of using new technologies, as they are quickly becoming the assets of other countries (companies), having crossed national borders.

The introduction of high technology also means monitoring the physical distribution and organization of sales of goods through international information logistics systems and telematics. Here you can point to the use of satellite communication and navigation systems such as Inmarsat - C and GPS Navstar, scanning barcodes, automatic identification of loads and documents, electronic data exchange systems in the standards of EDI and EDIFACT and others.

Of course, structural changes in the system of world trade at the level of organized commodity markets are also needed: creation of modern international freight forwarding logistics structures, foreign trade centers, logistics centers, holdings, centers for studying and analyzing the situation of commodity markets, etc.

Finally, deregulation procedures conducted by many countries (EU, US and Canada) to remove trade, customs, transport and financial barriers to the development of international trade, economic, socio-political are essential for promoting international logistics. and economic relationships.

In recent years, there have been changes in the transport legislation of several countries (especially the US and EU countries), which have had a positive impact on the development of transport service in logistics. Thus, a wide range of laws, administrative and legal acts aimed at reducing the public sector in transport, removing transport barriers, coordinating the work of different modes of transport, improving transport service, reducing prices and tariffs, has emerged.

Such measures contributed to the development of free competition and, as a result, served as an important impetus for the development of integrated logistics, the creation of international transport and logistics systems. Changes in market regulation have led to the practice of concluding contracts for the provision of transport and freight forwarding services; giving trunk carriers the right to take independent steps regarding tariffs and services; provision of intermodal transportation service at a

single tariff (end-to-end freight rate) and a single transport document (bill of lading for intermodal transportation).

## **Conclusion**

The globalization of the world economy has called for good logistical management. Enterprises from different countries enter the world market with a desire for market growth. Internationally expanding trade requires adequate logistics services. Due to the development of international economic relations, the boundaries in the economic activity of enterprises are being eliminated, but serious barriers remain in the way of international logistics development - many trade, financial, customs and other restrictions due to differences in political systems, economic and social levels of development of countries, differences in living standards of their population, etc.

Due to current global economic trends, the potential of instability of the international logistics system has increased, so that the achievement of strategic business goals has required both the further integration of links in the international logistics system itself and the interpenetration of the latter with a dynamic external environment.

## **References**

1. P.Gorbachev. The New Concept of Modeling Population Needs in Urban Travel by Urban Passenger Transport [Text] / Gorbachev P. // Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. - 2017.– № 27. - P. 210 - 214.
2. Drucker P. Effective management. Economic problems and optimal solutions / P. Drucker ; trans. with English. - M. : FAIR-PRESS, 1988. - 284 p.
3. N. Lyashenko. Model of optimization of the three-level distribution subsystem in the integrated logistics supply chain / N. Lyashenko // Development of methods of management and management in transport: Collection of scientific works. - Odessa, 2016 - Issue 27. - P. 137 - 149.
4. Problems of transport systems: monograph [Text] / ed. V. Dolly. - Kharkov: KhGADTU, 1999. - 100 p.
5. D.Waters. Logistics. Supply Chain Management / D. Waters // M. : UNITI-DANA, 2018. - 503 p.
6. Cooper M., Lambert D., Pagh J. Supply chain management: More than a new name for logistics / Cooper M., Lambert D., Pagh J.// The International Journal of Logistic Management 8 (1), 1997. – P. 1–14.
7. T. Fratar. Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation [text] / T. Fratar // Traffic Quarterly. – 1954. – № 8. – P. 53 – 65.
8. I. Little. A Critique of Welfare Economics / I. Little. – Oxford University Press, 2012.– 324 p.

# WYCENA W ZARZĄDZANIU POTENCJAŁEM PRZEDSIĘBIORCZYM WE WSPÓLCZESNYCH PRZEKSZTAŁCENIACH INTEGRACJI RYNKU

Gonchar O.<sup>1</sup>, Khachatryan V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khmelnytskyi National University, Ukraine,

<sup>2</sup> Vinnytsia Trade and Economic Institute KNTEU, Ukraine

## Główne badania

W kontekście globalizacji zmian procesów gospodarczych jednym z głównych kierunków poprawy relacji gospodarczych jest wprowadzanie innowacji, tworzenie korzystnego otoczenia biznesowego i rozwój potencjału przedsiębiorczego. Procesy integracji międzynarodowej mają decydujący wpływ na rozwój działalności przedsiębiorczej zarówno na szczeblu krajowym i regionalnym, jak i ogólnie na rozwój gospodarek narodowych. Wraz z przejściem do warunków rynkowych wzrosły różnice we wskaźnikach rozwoju regionalnego. Wynika to ze stopnia wykorzystania ich potencjału zasobów, pojawienia się systemu gospodarczego opartego na rynku, działalności przedsiębiorczej.

Nowoczesne reformy rynkowe w gospodarce krajów europejskich mają na celu zapewnienie zrównoważonego rozwoju i stają się coraz bardziej systemowe, zapewniając możliwość zwiększenia potencjału przedsiębiorczości jako jednego z najważniejszych czynników w funkcjonowaniu gospodarki rynkowej, przyczyniającego się do innowacyjności procesów gospodarczych. Sektor małych firm ma znaczący wpływ na te procesy. Małe podmioty gospodarcze, będące atrakcyjnymi obiektami inwestycyjnymi działalności gospodarczej, zajmujące odpowiednią niszę rynkową, najskuteczniej rozwiązują problemy dodatkowego zatrudnienia ludności, zapewniają konkurencyjność środowiska, w którym działają, oraz przyczyniają się do uzupełnienia lokalnych budżetów. Ponadto ważnym aspektem rozwoju społeczno-gospodarczego kraju jest zarządzanie potencjałem przedsiębiorczym średnich i dużych przedsiębiorstw oraz promowanie jego rozwoju. Perspektywy rozwoju gospodarek narodowych, ich konkurencyjność zależą zatem od nowoczesnych reform integracji gospodarczej, wprowadzania innowacji, skutecznego zarządzania potencjałem przedsiębiorczym podmiotów gospodarczych.

Wielu ekonomistów [1; 2; 3] określić konkurencyjność kraju zgodnie z rozwojem gospodarczym, wskazując trzy główne etapy rozwoju gospodarczego:

1) pierwszy etap - etap zorientowany na zasoby. Na tym etapie głównymi czynnikami konkurencyjnymi są podstawowe warunki produkcji, takie jak tania siła robocza i surowe zasoby naturalne. Gospodarki zorientowane na czynniki są wrażliwe na globalne cykle gospodarcze, ceny towarów, zmiany kursów walutowych;

2) drugi etap, koncentrujący się na wydajności. Kraje osiągają korzyści z wysoce wydajnej produkcji, zastosowania zaawansowanych technologii oraz produkcji wyrafinowanych towarów i usług. Duże inwestycje w efektywną infrastrukturę, promocja rozwoju biznesu, podnoszenie kwalifikacji pracowników, poprawa dostępu do kapitału inwestycyjnego, tworzenie sprzyjających warunków do przyciągania inwestycji do dalszych inwestycji pozwalają osiągnąć znaczący wzrost wydajności i efektywności działalności gospodarczej oraz umocnić pozycję kraju na rynku międzynarodowym;

3) etap zorientowany na innowacje charakteryzuje się zdolnością do wytwarzania innowacyjnych produktów i usług przy użyciu zaawansowanych globalnych technologii i zaawansowanych technik. Innowacje są źródłem przewagi konkurencyjnej dla poszczególnych firm i krajów. Zorientowana na innowacje gospodarka charakteryzuje się specjalnymi producentami towarów i dużym udziałem usług w gospodarce i jest dość odporna na wpływy zewnętrzne. Charakterystyczną cechą krajów o gospodarce zorientowanej na innowacje jest wytwarzanie i eksport nowej wiedzy globalnej (technologii, metod i technik) niezbędnej do rozwoju innowacji i dalszego wzrostu społeczno-gospodarczego krajów), aktywnie stymulując inwestycje państwa w innowacje.

Kraje, które znajdują się na etapie rozwoju gospodarczego zorientowanego na zasoby, konkurują ze sobą kosztem niskiej wydajności ekonomicznej produkcji towarów i niskiej wartości dodanej produktów. W pierwszym etapie należy zauważyć wysoki poziom samozatrudnienia pozarolniczego (praca dla siebie). Poszczególne przedsiębiorcy najprawdopodobniej należą do najmniejszych firm produkcyjnych i usługowych.

Należy również zauważyć, że na etapie rozwoju gospodarczego kraju ukierunkowanego na zasoby można wziąć pod uwagę następujące czynniki: wykorzystanie na eksport lub koncesję dostępnych surowców naturalnych; niska produktywność, niska wydajność pracy i niskie koszty pracy; niski poziom wykształcenia ludności i niskie kwalifikacje pracowników; znacząca przewaga w produkcji i utrzymaniu niewykwalifikowanej siły roboczej; słabe ramy

instytucjonalne (słabo rozwinięte i nieprzejrzyste instytucje ustawodawcze i prawne); słaba orientacja na stosunki rynkowe, wartości demokratyczne, obecność autorytarnych metod rządzenia krajem i zarządzania procesami gospodarczymi itp.

Gospodarki krajów zorientowanych na zasoby mają niewielkie lub wcale nie tworzą wiedzy na potrzeby innowacji, a eksport wiedzy jest mało lub wcale. Aby przejść do drugiego zorientowanego na wydajność etapu rozwoju gospodarki kraju, konieczne jest zwiększenie wydajności produkcji i szkolenia siły roboczej, aby móc się przystosować w dalszej technologicznej fazie rozwoju. Aby skutecznie konkurować w tym - drugim etapie, kraje muszą mieć zaawansowaną produkcję i efektywne praktyki handlowe (metody produkcyjne) na dużych rynkach, które pozwolą przedsiębiorstwom korzystać z ekonomii skali. Przemysł jest producentem towarów lub świadczy podstawowe usługi na tym etapie. Efektywnie zorientowany etap rozwoju gospodarczego charakteryzuje się spadkiem tempa samozatrudnienia (praca dla siebie).

Istnieje kilka powodów, dla których uczeni zwracają uwagę, że działalność przedsiębiorcza, jako szczególna aktywność poszczególnych obywateli, powinna się zmniejszać w miarę rozwoju gospodarki. Zakładając, że ludzie mają różny poziom wiedzy zarządczej i umiejętności organizacyjnych, jeśli gospodarka się wzbogaci, średnia wielkość firm powinna wzrosnąć kosztem lepszych menedżerów zarządzających firmami. Średnia wielkość firmy jest rosnącą funkcją bogactwa gospodarki, jeśli kapitał i praca są wymienne. [8. c. 220]. Kiedy kapitał i praca są zamienne, podwyższenie kapitału zakładowego zwiększa zwrot z pracy i zmniejsza zwrot z zarządzania. Gospodarki krajów zorientowanych na zasoby mają niewielkie lub wcale nie tworzą wiedzy na potrzeby innowacji, a eksport wiedzy jest mało lub wcale. Aby przejść do drugiego zorientowanego na wydajność etapu rozwoju gospodarki kraju, konieczne jest zwiększenie wydajności produkcji i szkolenia siły roboczej, aby móc się przystosować w dalszej technologicznej fazie rozwoju. Aby skutecznie konkurować w tym - drugim etapie, kraje muszą mieć zaawansowaną produkcję i efektywne praktyki handlowe (metody produkcyjne) na dużych rynkach, które pozwolą przedsiębiorstwom korzystać z ekonomii skali. Przemysł jest producentem towarów lub świadczy podstawowe usługi na tym etapie. Efektywnie zorientowany etap rozwoju gospodarczego charakteryzuje się spadkiem tempa samozatrudnienia (praca dla siebie).

Istnieje kilka powodów, dla których uczeni zwracają uwagę, że działalność przedsiębiorcza, jako szczególna aktywność poszczególnych obywateli, powinna się zmniejszać w miarę rozwoju gospodarki. Zakładając, że ludzie mają różny poziom wiedzy zarządczej i umiejętności organizacyjnych, jeśli gospodarka się wzbogaci, średnia wielkość firm powinna wzrosnąć kosztem lepszych menedżerów zarządzających firmami. Średnia wielkość firmy jest rosnącą funkcją bogactwa gospodarki, jeśli kapitał i praca są wymienne [1. c. 220]. Kiedy kapitał i praca są zamienne, podwyższenie kapitału zakładowego zwiększa zwrot z pracy i zmniejsza zwrot z zarządzania.

Innymi słowy, menedżerowie inni niż podstawowi rozumieją, że mogą zarobić więcej pieniędzy, jeśli pracują dla kogoś innego (zostaną zatrudnieni przez kogoś innego). W tym modelu rozwoju gospodarczego zwiększenie kapitału własnego (poprzez prywatne przedsiębiorstwa, bezpośrednie inwestycje zagraniczne lub własność publiczną) zwiększy zwrot z prowadzenia działalności gospodarczej. W tym modelu związek między biznesem a rozwojem gospodarczym będzie negatywny. Oznacza to, że wraz z rozwojem gospodarki liczba osób prowadzących działalność gospodarczą będzie się zmniejszać.

Istnieją inne, prostsze wyjaśnienia, dlaczego wielkość spersonalizowanej działalności gospodarczej może spadać w miarę rozwoju gospodarki w kraju. Zatem poprawa infrastruktury gospodarki, takiej jak rynki transportu, telekomunikacji i rynków kredytowych, prawdopodobnie zwiększy przewagę dużych firm nad mniejszymi. Ulepszenia w transporcie i telekomunikacji zmniejszą koszty rozszerzenia naszych produktów i usług na większe obszary. Oczekuje się, że korzyści skali wzrosną do punktu, w którym bardziej wydajne systemy dystrybucji umożliwią przedsiębiorstwom współpracę z większymi jednostkami produkcyjnymi, które z kolei mogą obsługiwać większe rynki [1. c. 220–221].

Etap zorientowany na innowacje charakteryzuje się wzrostem przedsiębiorczości. Od ponad wieku istnieje tendencja do działalności gospodarczej, która jest widoczna praktycznie we wszystkich krajach uprzemysłowionych, od małych firm po duże organizacje.

Wiele badań, a także globalny raport GEM 2018 [4], wykazały systematyczny związek między PKB na mieszkańca, jego wzrostem gospodarczym i poziomem oraz rodzaj prowadzonej działalności gospodarczej. Na tej podstawie koncepcyjny model

krajowego wzrostu gospodarczego zaproponowany w raportach projektu Global Entrepreneurship Monitor [4].

W modelu GEM czynniki środowiskowe są podzielone na dwie grupy. Pierwszą grupą czynników są ogólne warunki ekonomiczne, takie jak: otwartość rynków; polityka państwa w zakresie tworzenia i regulacji działalności firmy; stan rynków finansowych, rynek pracy, rozwój instytucji. Czynniki te łącznie wpływają na działalność istniejących dużych i małych i średnich przedsiębiorstw. Krajowe statystyki demograficzne i inne wtórne informacje środowiskowe są wykorzystywane do analizy tej grupy czynników.

Druga grupa obejmuje czynniki rozwoju przedsiębiorczości, które wpływają na zdolność do tworzenia firmy oraz rozwój umiejętności i umiejętności przedsiębiorczych, a także czynniki motywujące do tworzenia firm przedsiębiorczych. Zgodnie z metodologią projektu istnieje 10 warunków dla rozwoju przedsiębiorczości. Podsumowując, czynniki te wpływają na motywację i zdolność przedsiębiorcy do pozyskiwania zasobów, tworzenia wartości, a tym samym wpływają na wzrost gospodarczy i zatrudnienie w gospodarce.

Z drugiej strony jednym z ważnych wskaźników poziomu rozwoju gospodarczego kraju jest Globalny Indeks Konkurencyjności (GCI), który jest globalnym badaniem i towarzyszącym mu rankingiem krajów pod względem konkurencyjności gospodarczej. GCI oblicza się zgodnie z metodologią Światowego Forum Ekonomicznego. Metodologia ta opiera się na kombinacji publicznie dostępnych statystyk i wyników globalnej ankiety wśród kadry kierowniczej firmy. Obejmuje 12 punktów odniesienia (podstawowe determinanty lub czynniki), które określają konkurencyjność kraju:

- 1). Instytucje jakości.
- 2). Infrastruktura.
- 3). Stabilność makroekonomiczna.
- 4). Zdrowie i edukacja podstawowa.
- 5). Szkolnictwo wyższe i szkolenia.
- 6). Wydajność rynku produktów i usług.
- 7). Efektywność rynku pracy.
- 8). Rozwój rynku finansowego.
- 9). Poziom rozwoju technologicznego (gotowość technologiczna).
- 10). Wielkość rynku wewnętrznego.



11). Wysoki rozwój biznesu i konkurencyjność firm.

12). Potencjał innowacyjny.

Według globalnego raportu na temat konkurencyjności z 2016 r. [5] Wskaźniki 1-4 są podstawą do przypisania gospodarki kraju do kategorii krajów o gospodarkach zorientowanych na czynniki lub gospodarkę zasobową, wskaźniki 5-10 - do kategorii krajów o gospodarkach zorientowanych na wydajność, a wskaźniki 11-12 - do krajów o gospodarkach zorientowane na innowacje.

W przypadku krajów zorientowanych na zasoby nacisk kładziony jest na podstawowe warunki, takie jak: rozwój instytucjonalny, infrastruktura, stabilność makroekonomiczna, zdrowie i edukacja podstawowa. Wymagania te wspierają przymusową przedsiębiorczość „opartą na potrzebach” („przedsiębiorczość opartą na potrzebach”) i słabo stwarzają możliwości rozwoju dobrowolnej przedsiębiorczości opartej na możliwościach.

W procesie rozwoju gospodarczego i wzrostu gospodarki ze względu na wzrost skali produkcji ważne stają się inne warunki zapewniające niezawodne funkcjonowanie rynku i efektywność ekonomiczną (gospodarki zorientowane na efektywność). Należą do nich szkolnictwo wyższe i szkolenia, efektywność rynków towarowych i rynku pracy, rozwój rynku finansowego, gotowość technologiczna.

W przypadku gospodarek opartych na innowacjach (gospodarki zorientowane na innowacje) warunki ramowe dla przedsiębiorczości są ważniejszymi czynnikami napędzającymi rozwój gospodarczy niż podstawowe warunki lub warunki wydajności ekonomicznej. Podsumowując, czynniki te przyczyniają się do tworzenia nowych firm i wpływają na klimat przedsiębiorczości, wpływając w ten sposób na wzrost gospodarczy i zatrudnienie w gospodarce. [3; 4; 5].

Osobliwości rozwoju przedsiębiorczości na Ukrainie do etapu jej niezależności wpłynęły zarówno na obecne podejście do przedsiębiorców, jak i na motywy ich działalności. Jeśli pod koniec XX wieku. cały świat koncentrował się już na uspołecznieniu gospodarki i wzmocnieniu roli wiedzy w kształtowaniu potencjału przedsiębiorczego, na Ukrainie w ciągu ostatnich 20 lat wartość tego ostatniego stopniowo ulegała erozji.

Spółeczna odpowiedzialność rodzimego przedsiębiorcy generalnie pojawia się sporadycznie i zależy od czasu jego wysiłków i motywów przedsiębiorczych.

Specyfika przedsiębiorczości na Ukrainie naprawdę wpływa na kształtowanie się cech rodzimego przedsiębiorcy, wobec którego oprócz tradycyjnej niechęci do

ryzyka istnieje chęć obejścia ograniczeń legislacyjnych (co tłumaczy wysoki poziom tonu gospodarczego), a także niski poziom odpowiedzialności wobec społeczeństwa (który jest wzmocniony). także poczucie pobłażliwości ze strony nieuczciwych przedsiębiorców).

Chociaż cechy krajowe mają oczywiście miejsce na określonym terytorium i w określonym momencie, ale określając treść potencjału przedsiębiorczego, nadal zaleca się stosowanie nie tylko metody dialektycznej, ale także metody abstrakcji, która wymaga uwzględnienia nie wszystkich możliwych cech badanego zjawiska, ale tylko najbardziej znaczący.

Niewątpliwie zrozumienie treści potencjału przedsiębiorczego uwarunkowane jest wizją istoty przedsiębiorczości z jednej strony i istoty potencjału z drugiej strony. Pozycja, według której potencjał przedsiębiorczości jest rozpatrywany z punktu widzenia podejścia opartego na zasobach jako zbiór produkcji, finansów, pracy, marketingu i innych elementów [5; 6]. Z naszego punktu widzenia dyskusyjność takiego stanowiska polega na jego niespójności z podstawowymi cechami potencjału przedsiębiorczego. Jak udowodniono w [7; 8], potencjał zależy od możliwości spowodowanych dostępnością zasobów, umiejętności i kompetencji w celu stworzenia propozycji wartości. Ponieważ tworzenie wartości w wyniku działalności przedsiębiorczej wykracza poza realizację wyłącznych interesów przedsiębiorcy jako głównego przedmiotu przedsiębiorczości, wskazane jest określenie potencjału przedsiębiorczego bez koncentrowania się na jego celu. Z naszego punktu widzenia potencjał przedsiębiorczości jako całości to zestaw osobistych cech, umiejętności, doświadczenia, szkolenia zawodowego, psychologicznej gotowości do zmian, gotowości do ciągłego doskonalenia się oraz zdolności do przewidywania i zapobiegania ryzyku powstającemu w trakcie działalności przedsiębiorczej.

Podstawą proponowanej definicji potencjału przedsiębiorczego jest jego składnik niematerialny - obecność u przewoźnika takich potencjalnych określonych umiejętności (zawodowych, psychofizjologicznych, społeczno-kulturowych), wiedzy, umiejętności i kompetencji.

Proces kształtowania i zarządzania potencjałem przedsiębiorczym opiera się na wynikach jego oceny. Podsumowanie propozycji praw autorskich i istniejących podejść do dobierając zasady oceny potencjału przedsiębiorczego, sformułowaliśmy ich system, obejmujący grupę ogólnych (w tym ogólnych naukowych) zasad oraz grupę szczegółowych wymagań i reguł (tabela 1).

**Tabela 1. System zasad oceny przedsiębiorczości potencjał jako czynnik rozwoju gospodarczego przedsiębiorstwa**

| Grupa zasad | Nazwa zasady  | Treść zasady w kontekście oceny potencjału przedsiębiorczego  |
|-------------|---|---|
| Często      | Prostota  | Procedura oceny powinna być przejrzysta i zrozumiała pracownicy   |
|             | Elastyczność  | Skład wskaźników i parametrów można dostosować w zależności od celów i warunków oceny   |
|             | Poprawność  | Wskaźniki i metody oceny powinny być spójne z dostępnymi danymi wejściowymi i wymaganymi danymi wyjściowymi   |
|             | Złożoność   | Zdolności i kompetencje zidentyfikowane jako obiekty są wystarczająco kompletne, aby opisać potencjał przedsiębiorczości                            |
|             | Wiarygodność  | Wskaźniki i cechy powinny odzwierciedlać rzeczywistą sytuację nabywania przez pracowników określonych umiejętności i kompetencji                    |
|             | Porównywalność wyników  | Uzyskane wyniki należy porównać według kategorii personelu, na poziomie różnych przedsiębiorstw lub w czasie  |
|             | Modułowość wskaźników   | Wybrane wskaźniki można połączyć w docelowe moduły (bloki) oceny, co pozwala scharakteryzować potencjał przedsiębiorczości według różnych kryteriów |
|             | Systematyczne   | Potencjał przedsiębiorczości musi być określony przez cały kompleks powiązań między jego indywidualnymi cechami i cechami                           |
|             | Dodatkowość   | Zapewnia niejednorodność potencjalnych obiektów oceny i pozwala im zidentyfikować ich wzajemny wpływ  |
|             | Racjonalność  | Eliminuje to możliwość badania w tym samym systemie oceny przeciwnych wskaźników i kryteriów  |
| Celowość    | Ocena zdolności i kompetencji przedsiębiorczych pracowników nie powinna wykraczać poza jej cele |   |
| Specyficzne | Reklama (otwartość)   | Dostarczenie wyników oceny pracownikom  |
|             | Wyrazy uznania dla oceny  | Stymulowanie aktywizacji umiejętności i kompetencji przedsiębiorczych w celu osiągnięcia celów rozwoju przedsiębiorczości                           |
|             | Integracja z systemem zarządzania   | Rzeczywiste wykorzystanie wyników oceny potencjału przedsiębiorczego przy podejmowaniu decyzji zarządczych  |

Jeśli zasady określają zasady oceny, wówczas stosuje się różne podejścia do opisanego ogólnego wektora i sposobu jego realizacji. Analiza publikacji naukowych

pokazuje, że ogólnie przyjęte do oceny potencjału przedsiębiorczości na dowolnym poziomie są podejścia systemowe i zintegrowane.

Prawie wszyscy naukowcy, którzy badali różne aspekty pomiaru zdolności przedsiębiorczych, badali ogół związków między ich elementami oraz biorąc pod uwagę zewnętrzne i wewnętrzne warunki ich powstawania i wdrażania.

Odnosząc się do ogólnych podejść menedżerskich podkreślonych przez R. Fatkhutdinova [9], a także biorąc pod uwagę problematyczny obszar oceny potencjału przedsiębiorczego jako czynnika rozwoju

Nowoczesne przedsiębiorstwa, wśród głównych podejść, proponujemy również przypisywać dynamiczne, innowacyjne i behawioralne.

Dynamiczne podejście do oceny możliwości biznesowych wymaga wdrożenia go w określonej przestrzeni czasowej, nie jako jednorazowego działania, ale jako ustalony proces okresowy, którego wyniki są badane, porównywane i uwzględniane w przyszłych decyzjach. Jest to podejście dynamiczne, które najbardziej ściśle łączy się z zadaniem badania zasobów potencjału przedsiębiorczego w celu aktywizacji rozwoju przedsiębiorstwa przemysłowego. Rzeczywiście, aby zaplanować zmiany, zbadać ich wykonalność, gotowość rynkową przedsiębiorstwa przemysłowego do ich wdrożenia, należy zrozumieć, czy przedsiębiorcze wysiłki kierownictwa i personelu produkcyjnego są wystarczające, czy istnieją takie ukryte możliwości, kiedy i jak można je aktywować, aby odpowiednio zareagować lub nawet przewidywać zewnętrzne zmiany i wyzwania.

Innowacyjny wektor oceny powinien mieć na celu znalezienie nowych metod i technik, które pozwolą na najbardziej kompletny i kompleksowy opis potencjału przedsiębiorczości według kryteriów niezbędnych dla konkretnego przedsiębiorstwa.

Opierając się zatem na usystematyzowaniu światowego doświadczenia naukowego w rozwoju teorii przedsiębiorczości, powinniśmy wziąć pod uwagę, że jego najbardziej znaczącymi etapami są rozważanie przedsiębiorczości jako działalności ryzykownej, racjonalizacji czynników produkcji, kształtowania ducha przedsiębiorczości, działalności innowacyjnej, aktywności w celu optymalizacji wymiany, pewnego rodzaju zachowania i zarządzanie, aktywność w zakresie przemian społecznych na podstawie innowacji, introwersja. W oparciu o badanie istniejących podejść i identyfikację podstawowych cech potencjału przedsiębiorczego przedsiębiorstwa, wizję autora jego zawartości jako zestawu osobistych cech, umiejętności, doświadczenia, szkolenia zawodowego, psychologicznej gotowości do

zmiany, gotowości do ciągłego samodoskonalenia, formułowania doskonałości przedsiębiorczej, formułowania i osiągnięć swoje cele.

Aby skutecznie zarządzać realizacją potencjału przedsiębiorczego, zdefiniowane są zasady jego oceny, które zbiorczo charakteryzują treść, przedmioty (odpowiednie umiejętności i kompetencje personelu), cele i zadania, zasady, podejścia, metody oceny oraz pozwalają na stworzenie teoretycznej podstawy do jej wdrożenia w przedsiębiorstwach. Aby określić zasady i cechy porównywania obiektów oceny potencjału przedsiębiorczego przedsiębiorstwa, uzasadniony jest szereg kryteriów oceny (dostępność, poziom rozwoju, aktywność realizacji i inne). Ich realizacja pomoże poprawić zarządzanie potencjałem przedsiębiorczym, zwiększyć konkurencyjność zarówno pojedynczych przedsiębiorstw, jak i gospodarki całego kraju.

### Literatura

1. Acs, Z.J., Desai, S., Hessels, J. Entrepreneurship, economic development and institutions // Small Business Economics, 2008. – Vol. 31. – Is. 3. – Pp. 219–234.

2. The Global Competitiveness Report 2001–2002. World Economic Forum: Geneva, Switzerland, 2001 / Ed. Porter, Michael, Jeffrey D. Sachs, Peter K. Cornelius, John W. McArthur, and Klaus Schwab. New York: Oxford University Press, 2002. – 76 p. (Pp. 16–25). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nectec.or.th/pld/indicators/documents/WEF-%20Global%20Competitiveness%20Report%202001.pdf> (Дата звернення: 08.06.2019).

3. The Global Competitiveness Report 2008–2009. World Economic Forum: Geneva, Switzerland, 2008 / Ed. Porter, Michael, and Klaus Schwab. Geneva: 2008. – 513 p. (Pp. 7-9) – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://members.weforum.org/pdf/GCR08/GCR08.pdf> (Дата звернення: 12.07.2019).

4. Глобальный мониторинг предпринимательства (GEM), 2018 г. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://gsom.spbu.ru/gsom/research\\_statistics/gem/](https://gsom.spbu.ru/gsom/research_statistics/gem/) (Дата звернення: 10.07.2019).

5. The Global Competitiveness Report 2016–2017 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://jp.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2017-2018> (Дата звернення: 11.07.2019).

6. Cambridge Enterprise of University of Cambridge. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.enterprise.cam.ac.uk](http://www.enterprise.cam.ac.uk), [enquiries@enterprise.cam.ac.uk](mailto:enquiries@enterprise.cam.ac.uk) (Дата звернення: 01.07.2019).

7. Khachatryan V.V. Zmistovni osoblyvosti katehorii «pidpriemnytskyi potentsial» v umovakh yevrointehratsii ta hlobalizatsii / V.V. Khachatryan, N.M. Bohatska - Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky, 2016, vyp.13. – S. 98-101.

8. Gonchar O.I. Scientific and methodical bases of perfection enterprise capacity assessment / O.I.Gonchar // Науковий вісник Полісся. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – № 1 (9). – Ч. 2. – С. 134-139.– [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nvp.stu.cn.ua/en/component/k2/item/673-gonchar-o-i-scientific-and-methodical-bases-of-perfection-enterprise-capacity-assessment.html>.

9. Fathutdinov R. A. Strategicheskij menedzhment / R. A. Fathutdinov. – М. : Delo, 2005. – 448 s.

# INTEGRACJA EUROPEJSKA JAKO WEKTOR INNOWACYJNEGO ROZWOJU POTENCJAŁU PRZEDSIĘBIORCZEGO

Trocikowski T.

Wyższa Szkoła Pedagogiczna im. J. Korczaka w Warszawie, Polska

## Główne badania

Koncepcję integracji europejskiej można przedstawić w ogromnym skrócie jako ideę jedności Europy. W wymiarze historycznym idea ta pojmowana była w sposób bardzo zróżnicowany, oznaczając zjednoczenie w aspekcie politycznym, gospodarczym, społecznym. W rozmaity sposób rozumiano także samo pojęcie „Europy” [1], która pod względem geograficznym czy kulturowym obejmowała w poszczególnych epokach rozmaite obszary i kręgi.

W latach czterdziestych XX wieku atmosfera satysfakcji z zakończenia wojny ustępowała rozgoryczeniu niepewnymi owocami zwycięstwa.

Powojenna ekspansja Związku Radzieckiego [2] była coraz częściej postrzegana jako ostrzeżenie, tym bardziej że partie komunistyczne Europy Zachodniej nie ukrywały, iż w zimnowojennym konflikcie stoją zdecydowanie po stronie ZSRR.

W Europie Zachodniej [3] obawiano się konfrontacji z blokiem radzieckim, ale także niezbyt chętnie patrzono na ochronę wojskową USA przed zagrożeniem ze wschodu. Ochronę tę postrzegano często jako amerykańskie dążenie do dominacji nad Starym Kontynentem.

Innym czynnikiem [4] skłaniającym państwa zachodnioeuropejskie do przewyciężenia danych konfliktów i lęków były kłopoty, na jakie największe z tych państw napotykały w swoich imperiach kolonialnych.

Szybka odbudowa gospodarcza ze zniszczeń wojennych, możliwa w dużej mierze dzięki pomocy amerykańskiej w ramach planu Marshalla, nasuwała rządów zachodnioeuropejskim myśl, że przyszłość należy raczej do „poziomej integracji” państw rozwiniętych, a nie „integracji pionowej” metropolii z koloniami.

Tak więc, pojęcie integracji naszego kontynentu, tak często obecnie używane, nie odnosi się wyłącznie do czasów najnowszych [6]. Dążenia do zjednoczenia Europy mają bowiem swoją długą historię, chociaż w kolejnych okresach wynikały one z bardzo zróżnicowanych motywacji ideologicznych, oraz rachub geopolitycznych. Najczęściej miały za podłoże ekspansjonistyczną politykę

moocarstwowa wsparta aspiracjami dynastycznymi lub też dążeniami określonych ruchów politycznych.

Zdaniem autora publikacji proces integracji europejskiej był nie unikniony, podzielony świat, podzielona Europa szukały wyjścia z tej sytuacji. Zadania do wykonania związane ze zniszczeniami drugiej wojny światowej były ogromne, widmo wybuchu nowych konfliktów nie uniknione.

Wydaje się, że najważniejszym powodem integracji europejskiej dla społeczności Europy Zachodniej, bo od nie rozpoczął się ten proces była chęć życia w „lepszim świecie”. Wprawdzie nie było tak dobrych systemów łączności jak obecnie ale zachodni Europejczycy wiedzieli, że w Stanach Zjednoczonych żyje się lepiej niż w Europie.

**Tabela 1. Zasadnicze motywy kierujące zwolennikami jedności europejskiej**

| <b>Motywy zwolenników jedności europejskiej</b>  | <b>Punkt widzenia autora monografii</b>  |
|--|--|
| Dążenia do odrzucenia katastrofalnej w skutkach polityki nacjonalizmu i totalitaryzmu. | Zdaniem autora był to słuszny motyw ponieważ polityka nacjonalizmu oraz totalitaryzmu wyrządziła wiele szkód w społeczeństwach objętych tymi systemami. W ramach polityki totalitaryzmu głoszone hasła skrajnie nacjonalistyczne, antydemokratyczne i antyliberalne, zmierzające do stworzenia państwa totalitarnego . Totalitaryzm jest formą sprawowania rządów, która polega na całkowitym podporządkowaniu sobie jednostki i wszystkich warstw życia społecznego. Człowiek staje się jedynie funkcją państwa lub społeczeństwa. Totalitaryzm to całkowite zaprzeczenie liberalizmu.  |
| Ugruntowanie systemu demokratycznego;  | Autor pracy kwestie wprowadzenia systemu demokratycznego przedstawi na przykładzie Polski. Polska po 1989 roku starając się o członkostwo w Unii Europejskiej musiała dokonać głębokich przemian w naszym kraju, wymagał tego system demokratyczny. Generalnie rzecz polega na tym, iż w Unii Europejskiej obowiązują pewne standardy prawne, ekonomiczne, polityczne, które Polska musiała spełnić aspirując do członkostwa we Wspólnotach. Jednak chodzi nie tylko o to, aby zaspokoić żądania Unii Europejskiej. My Polacy mieliśmy potrzebę i dążenia do tego aby znaleźć się w systemie demokratycznym zjednoczonej Europy. |
| Pragnienie umocnienia pokoju i osiągnięcia poczucia bezpieczeństwa;                    | Pragnienie umocnienia pokoju i osiągnięcia poczucia bezpieczeństwa było jednym z pierwszych oczekiwań społeczeństw zamieszkujących Europę po zakończeniu II wojny światowej. Niestety Europa wtedy została podzielona na dwa „walczące” ze sobą obozy, Europę Zachodnią i Europę Wschodnią i każdy z tych systemów na swój sposób umacniał pokój i bezpieczeństwo. Zdecydowana zmiana nastąpiła po 1989 kiedy doszło do zjednoczenia Niemiec, kiedy rozpadł się Związek Radziecki i kiedy w Polsce dokonała się zmiana ustroju.  |

|  |  |
|--|--|
| <p>Nadzieje na szybsze uzyskanie wspólnym wysiłkiem dobrobytu;</p>   | <p>żyć w dobrobycie to marzenie każdego człowieka, taka nadzieje mieli również ludzie zamieszkujący tereny Europy Zachodniej. Po drugiej wojnie światowej nastąpił okres wielkich wyrzeczeń i poświęcenia przy odbudowie zniszczonych krajów. Proces integracji europejskiej dawał nadzieje na lepsze jutro.</p> |
| <p>Rachuby na odzyskanie – dzięki połączeniu narodowych potencjałów przynajmniej części wpływów i znaczenia politycznego, jakie utraciły państwa europejskie na rzecz umacniających swą potęgę supermocarstw: Stanów Zjednoczonych i Związku Radzieckiego;</p> | <p>Według autora pracy kraje Europy Zachodniej chciały się zjednoczyć aby stanowić niejako przeciwwagę dla Stanów Zjednoczonych, ale przede wszystkim dla Związku Radzieckiego.</p>  |
| <p>Obawa, aż do czasów najnowszych wpływająca w ogromnym stopniu na politykę Europy Zachodniej przed rosnącym potencjałem militarnym ZSRR i jego wschodnioeuropejskich sojuszników.</p>  | <p>W tym czasie w Europie Zachodniej popularne było określenie potęgujące bojaźń przed ewentualnym atakiem na Europę Zachodnią a ze strony Związku Radzieckiego.</p>   |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [7].

W opinii autora pracy [8] głównymi przesłanki polityczne i ekonomiczne integracji w Europie były:

- dążenie Europejczyków do znalezienia korzystnego miejsca w dwubiegunowym układzie sił (USA-ZSRR);
- potrzeba włączenia Niemiec do współpracy międzynarodowej oraz uregulowania stosunków niemiecko-francuskich;
- konieczność odbudowy gospodarki po zniszczeniach wojennych;
- odrzucenie wojny jako środka działań międzynarodowych i obranie pokojowej drogi rozwoju;
- współpraca państw Europejskich w ramach Planu Marshalla.

Autor pracy sądzi, że główną cechą charakterystyczną powojennych procesów integracyjnych był ich uniwersalny charakter. Przejawiało się to w obejmowaniu przez nie niemal wszystkich sfer życia politycznego, gospodarczego, społecznego i kulturalnego państw Europy Zachodniej.

W związku z tym zdaniem piszącego idea jedności europejskiej nie została „zawłaszczona” [9] przez żadną pojedynczą orientację polityczną bądź światopoglądową, pozostając koncepcją o założeniach bardzo ogólnych i możliwych do zaakceptowania praktycznie przez każdego obywatela Europy.



W procesie formułowania założeń oraz realizacji idei integracji wykształciło się kilka zasadniczych koncepcji:

*Koncepcja konfederacyjna* - zakłada utworzenie związku państw (konfederacji). Opiera się na współpracy międzynarodowej, a nie ponadnarodowej. Integracja na podstawie związku suwerennych państw zachowujących swoje podstawowe kompetencje i realizujących współpracę o charakterze międzyrządowym; Suwerenność państw nie byłaby zawężana, a decyzje organów ponadnarodowych miałyby ograniczone znaczenie.

Wyrazem tej koncepcji jest „Europa Ojczyzn”, której propagatorem był francuski mąż stanu, generał Charles de Gaulle [10].

*Koncepcja federacyjna* - zakładała utworzenie państwa związkowego - federacji. Zgodnie z tą koncepcją państwa powinny zrzec się swoich suwerennych kompetencji i przekazać je wspólnym, ponadnarodowym organom. Według tej koncepcji integracja europejska powinna dążyć do stworzenia „europejskiego państwa federalnego” o charakterze ponadnarodowym, przejmującego znaczną część, a docelowo większość czy wręcz całość uprawnień państw członkowskich [11].

Federacyjny model integracji europejskiej propagowany był przede wszystkim przez Konrada Adenauera, Waltera Halsteina, Paula Spaaka.

Dlatego też omawiana koncepcja znalazła wielu zwolenników w Niemczech, Holandii i Luksemburgu i we Włoszech.

*Koncepcja funkcjonalistyczna* - trzecia z nich, to koncepcja funkcjonalistyczna. Zakłada, że integracja powinna się odbywać w sposób ewolucyjny i ma zacząć się od współpracy w obszarze gospodarki oraz stopniowo przesuwając suwerenne kompetencje ze szczebli krajowych na wspólnotowe. Proces ten powinien być naturalny. W konsekwencji powstać miałyby wspólnota polityczna, rozwijana stopniowo na bazie zdobywanych doświadczeń. Zwolennikami tej koncepcji byli Jean Monnet i Robert Schuman.

Ponadto niekiedy wyróżnia się również koncepcje, które wyodrębniły się nieco później:

*Koncepcja neofunkcjonalistyczna* - Jej podstawy sformułował pod koniec lat 50 XX w. Ernst B Haas, rozwinął ją Leon Lindberg według tej koncepcji uczestnicy procesu integracji najpierw podejmują decyzje o charakterze ekonomiczno-społecznym, a następnie rozszerzają ją o sferę polityczną. Jej twórcy dużą wagę przywiązywali do mechanizmu współpracy regionalnej. Twierdzili, że integracja

ekonomiczna i polityczna są ze sobą powiązane na zasadzie efektu rozprzestrzeniania się, integracja jest wynikiem działania sił politycznych, które poprzez współpracę dążą do rozwiązywania sporów – dochodzą do porozumienia i powierzają swoje kompetencje wspólnym organizacjom wyposażonym w ponadnarodowe uprawnienia.

Podstawowa różnica między funkcjonalizmem a neofunkcjonalizmem dotyczy poglądu na rozprzestrzenianie się idei integracyjnych, funkcjoniści uważają, iż jest to proces automatyczny, natomiast neofunkjoniści twierdzą, iż automatyzm ten jest ograniczony i wymaga decyzji politycznych [12].

*Koncepcja komunikacyjna* - sformułowaną na początku lat sześćdziesiątych XX wieku przez K. Deutscha. Zgodnie z nią integracja oznacza pewną wspólnotę państw o wysokim poziomie współpracy międzynarodowej na szczeblu rządowym (dyplomatycznym), gospodarczej, społecznej kulturalnej.

Głównym jej celem ma być suwerenność państw i bezpieczeństwo integrujących się, utrzymanie pokoju, między innymi poprzez pokojowe rozwiązywanie sporów. Integracja winna rozwijać się na szczeblu międzyrządowym, społecznym i jednostkowym.

Wśród tzw. nowoczesnych koncepcji integracji europejskiej należy wymienić:

*Koncepcja Europy a la carte* – sformułowana przez Dahrendorfa. Jego zdaniem, każde państwo powinno mieć swobodę w wyborze obszaru integracji, w jakim zamierza brać udział. Nie powinien też istnieć minimalny poziom integracji, który musiałby być przyjęty.

*Idea Europy zmiennych prędkości* – powstała w połowie lat 70, do jej powstania przyczynili się Willy Brandt oraz Leo Tindemans. Jej istotą jest to, że każde państwo może kroczyć według własnego rytmu, z uwzględnieniem swoich możliwości i roli. Jednocześnie wszystkie państwa akceptują cele, które przez nie wszystkie powinny być ostatecznie osiągnięte.

*Europa o twardym jądrze* zakłada natomiast, że zostanie wyodrębniona grupa państw, która będzie stanowiła siłę napędową integracji europejskiej oraz siłę przyciągającą państwa członkowskie spoza tej grupy aby dołączały do państw twardego jądra.

*Koncepcja Europy o zmiennej geometrii* przedstawia model integracji w którym wszystkie państwa członkowskie mają zaakceptować minimalny zestaw zobowiązań zaś w pozostałym zakresie istniała by swoboda.

Pierwsze poglądy na temat powojennej integracji zaprezentowane zostały w maju 1950 roku przez ówczesnego minister spraw zagranicznych Francji Robert Schuman, zaprezentował swoją propozycję zjednoczenia Europy znaną jako plan Schumana – wydarzenie to uważa się za początek tego, co dziś nazywamy integracją europejską, która ostatecznie doprowadziła do utworzenia Unii Europejskiej. Plan Schumana zakładał m.in. koordynację francuskiej i niemieckiej gospodarki węglem i stalą jako krok ku jedności europejskiej.

Pokłosiem Planu Schumana było podpisanie porozumienia pomiędzy delegacjami Francji, RFN, Włoch, Belgii, Holandii i Luksemburga o utworzeniu Europejskiej Wspólnoty Węgla i Stali, stawiając pierwszy realny krok na drodze ku integracji, miało to miejsce w kwietniu 1951 roku w Paryżu. Wszystkie parlamenty krajów-sygnatariuszy układu ratyfikowały go do czerwca 1952 roku, w lipca 1952 roku na mocy Traktatu Paryskiego powstała Europejska Wspólnota Węgla i Stali.

Według oficjalnych źródeł celem tej organizacji było istnienie wspólnego rynku surowców i produktów przemysłu węglowego i stalowego państw członkowskich: Belgii, Francji, Holandii, Luksemburga, Niemiec i Włoch.

Natomiast zdaniem autora niniejszej pracy prawdziwym powodem rozpoczęcia procesu integracji w Europie było zbudowanie przeciwwagi dla Związku Radzieckiego.

Podstawy integracji do struktur Unii Europejskiej.

Zgodnie z artykułem 49 Traktatu o Unii Europejskiej Zasady, o których mowa to: wolność, demokracja, poszanowanie praw człowieka i podstawowych wolności, poszanowanie państwa prawa. Są one wspólne dla państw członkowskich.

Kraje kandydujące do Unii Europejskiej muszą spełnić kryteria kopenhaskie określone przez przywódców krajów UE na szczycie w Kopenhadze w 1993 r. Zalicza się do nich:

1. kryteria polityczne: stabilne instytucje demokratyczne, państwo prawa, poszanowanie praw człowieka oraz poszanowanie i ochrona mniejszości;
2. kryteria ekonomiczne: sprawnie działająca gospodarka rynkowa i zdolność do stawienia czoła konkurencji i siłom rynkowym w UE;
3. zdolność do przyjęcia na siebie wymogów członkostwa, włączając w to przestrzeganie celów unii politycznej, gospodarczej i walutowej;

4. przyjęcie całego prawnego dorobku wspólnotowego (*acquis communautaire*) oraz zapewnienie jego skutecznego wprowadzania w życie przez odpowiednie struktury administracyjne i sądownicze.

Proces przystąpienia do Unii Europejskiej, nazywany procesem akcesyjnym, składa się z trzech etapów, a zamknięcie każdego z etapów wymaga zatwierdzenia ze strony wszystkich państw członkowskich:

**Tabela 2. Etapy przystępowania państwa do UE**

| <b>Etap</b> | <b>Opis etapu w procesie integracji przystąpienia do Unii Europejskiej</b>  |
|-------------|---|
| <b>I</b>    | Złożenie wniosku o członkostwo – wniosek o członkostwo składany jest na podstawie art. 49 TUE i stanowi początek starania się państwa o wstąpienie w struktury Unii. Wniosek o członkostwo przekazywany jest Radzie Unii Europejskiej, ale także przedstawiany jest Parlamentowi Europejskiemu oraz wszystkim parlamentom narodowym.  |
| <b>II</b>   | Wydanie opinii przez Komisję Europejską – wydanie opinii nie jest wiążące dla Rady Unii Europejskiej. Rada może podjąć pozytywną decyzję o rozpoczęciu negocjacji pomimo negatywnej opinii, ale także negatywną decyzję w przypadku pozytywnej opinii Komisji. Nie istnieje również określony termin, w jakim Komisja jest zobowiązana do wydania opinii. Przekazywanie opinii w dotychczasowych procedurach akcesyjnych trwało od 3 miesięcy do 3 lat.   |
| <b>III</b>  | Uzyskanie oficjalnego statusu kandydata – państwo zostaje uznane za oficjalnego kandydata do UE podczas szczytu Rady Europejskiej.  |
| <b>IV</b>   | Rozpoczęcie negocjacji akcesyjnych – negocjacje prowadzone są przez Komisję Europejską i mają miejsce w czasie konferencji międzyrządowych pomiędzy Unią i państwami kandydującymi. Negocjacje akcesyjne składają się z dwóch etapów. Pierwszy, zwany <i>screening</i> , polega na analizie zgodności dorobku prawnego państwa z dorobkiem prawnym Unii. Drugi etap to negocjacje właściwe, w których państwo kandydujące prowadzi z Unią negocjacje dotyczące konkretnych obszarów. Negocjacje zostają zakończone dopiero gdy państwo spełni kryteria referencyjne, które są wymagane do ukończenia danego rozdziału negocjacji. Oprócz tego państwo jest zobowiązane do przyjęcia wspólnego stanowiska Unii Europejskiej, wypracowanego przez Komisję i przyjętego jednogłośnie przez Radę. |
| <b>V</b>    | Przygotowanie instrumentów akcesji: traktat akcesyjny, akt akcesji i akt końcowy – traktat akcesyjny jest zazwyczaj stosunkowo krótki, zawiera preambułę i trzy artykuły. Akt akcesji zawiera z kolei warunki przystąpienia państwa do UE. Z kolei akt końcowy to akt, w którym potwierdza się przyjęcie aktu i traktatu akcesyjnego, protokółów oraz aneksów.  |
| <b>VI</b>   | Podpisanie traktatu akcesyjnego.  |
| <b>VII</b>  | Ratyfikacja traktatu członkowskiego – traktat musi zostać ratyfikowany przez wszystkie państwa członkowskie oraz państwo kandydujące. W państwach członkowskich ratyfikacja następuje za pośrednictwem parlamentów narodowych, z kolei w państwie kandydującym przeważnie za pomocą referendum.   |
| <b>VIII</b> | Oficjalne członkostwo w UE.   |

Źródło: opracowania własne na podstawie: [13].

Formy międzynarodowej integracji ponadnarodowej.

**Tabela 3. Formy międzynarodowej integracji gospodarczej**

|                             | Sfery integracji      | Likwidacja ceł i ograniczeń poza taryfowych | Wspólna polityka handlowa wobec krajów trzecich | Harmonizacja wszystkich rodzajów polityk mających wpływ na warunki konkurencji | Pełna integracja gospodarcza<br>wspólna waluta | Unifikacja części lub całości polityki zagranicznej i obronnej |
|-----------------------------|-----------------------|---|---|--|--|--|
| <b>Formy stowarzyszenia</b> | Strefa wolnego handlu |   |   |  |  |  |
|                             | Unia celna            |   |   |  |  |  |
|                             | Unia ekonomiczna      |   |   |  |  |  |
|                             | Unia walutowa         |   |   |  |  |  |
|                             | Unia polityczna       |   |   |  |  |  |

Źródło opracowania własne na podstawie : [14].

Generalny System Preferencji – kraje wysoko rozwinięte, integrując się z partnerami słabiej rozwiniętymi, przyznaje im najpierw jednostronne ułatwienia handlowe (jednostronne obniżenie stawek celnych) Generalny System Preferencji Celnych Unii Europejskiej został stworzony w 1968r. Założeniem tego systemu jest udzielanie przez kraje unijne preferencji celnych wszystkim krajom rozwijającym się i najmniej rozwiniętym, w myśl hasła "Rozwój poprzez handel". Preferencje celne w ramach w/w systemu nie są wzajemne. Mają charakter autonomiczny. Unijny system GSP przyznaje produktom importowanym z krajów najmniej rozwiniętych (LDC) bezcłowy dostęp do rynków UE dla wszystkich towarów z wyjątkiem broni, amunicji, bananów, cukru i ryżu. Natomiast dla wszystkich pozostałych krajów przewiduje obniżki stawek celnych, opierając się na wrażliwości (sensitivity) produktów. Specjalnymi obniżkami stawek celnych objęte są kraje, które:

- przestrzegają przepisów dotyczących prawa pracy zdefiniowanych przez konwencje Międzynarodowej Organizacji Pracy lub
- stosują się do zaleceń w zakresie ochrony środowiska oraz
- zwalczają produkcję i przemysł narkotyków.

W unijnym GSP przewidziano także możliwość zastosowania typowej klauzuli ochronnej w handlu (safeguard) lub tzw. klauzuli wycofania preferencji (temporary withdrawal clause) wobec państwa, które stosuje nieuczciwe praktyki (np. niewolnictwo, pranie brudnych pieniędzy, nieefektywną kontrolę przemysłu narkotyków, naruszenie konwencji międzynarodowych).

Strefa wolnego handlu – likwidacja ceł i ograniczeń ilościowych w handlu między określoną grupą krajów. Kraje te zachowują jednocześnie autonomiczną zewnętrzną taryfę celną i prowadzą własną niezależną politykę handlową wobec krajów trzecich. Przykładem strefy wolnego handlu jest EFTA (Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu).

Unia celna – kraje tworzące strefę wolnego handlu wprowadzają ujednolicone cła zewnętrzne (wobec krajów trzecich). Unia celna sprzyja rozwojowi handlu wzajemnego krajów członkowskich i ogranicza rozwój handlu z krajami trzecimi. Można, zatem wyróżnić preferencyjne i dyskryminacyjne działanie cła w unii celnej, tzn. preferowanie importu z krajów unii i dyskryminowanie importu z krajów trzecich. Unia celna wywiera dwojaki wpływ na handel zagraniczny krajów unii wywołując: efekt przesunięcia i efekt kreacji handlu.

efekt przesunięcia handlu - wyraża się w zwiększeniu udziału krajów należących do unii celnej w handlu krajów-członków unii oraz w zmniejszeniu udziału krajów trzecich, w wyniku przesunięcia się źródeł zakupu określonych towarów z krajów nawet o niższych kosztach produkcji, lecz pozostających na zewnątrz unii, do krajów wchodzących w skład unii celnej. U podstaw efektu przesunięcia znajduje się zróżnicowanie stawek celnych; wewnątrz unii są one zniesione, natomiast w stosunkach z krajami trzecimi są nadal stosowane efekt kreacji handlu - wyraża się we wzroście wolumenu wzajemnych obrotów handlowych krajów tworzących unię celną – w wyniku usunięcia ceł i innych barier w handlu między krajami unii oraz wprowadzenia wspólnej zewnętrznej taryfy celnej. Zniesienie ceł wewnątrz unii powoduje, iż pewne rodzaje towarów wytwarzane w poszczególnych krajach unii mogą być, odwrotnie niż poprzednio, oferowane na rynkach innych krajów unii po cenach konkurencyjnych w stosunku do towarów miejscowych.

Wspólny rynek – jest wyższą od strefy wolnego handlu i unii celnej formą integracji. Oznacza on zniesienie ceł we wzajemnych obrotach, wprowadzenie wspólnej taryfy celnej wobec krajów trzecich, a także swobodę przepływu kapitału i siły roboczej w obrębie ugrupowania integracyjnego. Utworzenie wspólnego rynku wymaga zwłaszcza ujednoczenia polityki cenowej. Klasycznym przykładem jest wspólny rynek produktów rolnych Unii Europejskiej.

Unia walutowa – jest wyższą od strefy wolnego handlu, unii celnej i wspólnego rynku, formą integracji. Obejmuje dodatkowo koordynację (lub

unifikację) polityki walutowej prowadzonej przez kraje wchodzące w skład ugrupowania integracyjnego. W zakres koordynacji wchodzi: ograniczenie wahań kursów walutowych, tworzenie wspólnych rezerw walutowych, wprowadzenie jednolitej waluty międzynarodowej, bezwarunkowa pomoc kredytowa itp.

Unia ekonomiczna – obejmuje, poza strefą wolnego handlu, unią celną, wspólnym rynkiem i unią walutową, koordynację (lub unifikację) poszczególnych dziedzin polityki ekonomicznej, ogólnej jak i w poszczególnych działach gospodarki. O pełnej unii ekonomicznej można by mówić wówczas, gdy na obszarze integrujących się państw wszystkie ważniejsze z punktu widzenia funkcjonowania wspólnego rynku dziedziny polityki gospodarczej zostałyby objęte wspólną lub skoordynowaną polityką, wprowadzono by wspólną walutę, a władzę ekonomiczną w najważniejszych dziedzinach sprawowałyby organy ponadnarodowe.

Unia polityczna – oznacza koordynację (lub unifikację) zarówno polityki wewnętrznej jak i zewnętrznej (zagranicznej). W praktyce ta właśnie sfera napotyka szczególnie duże kłopoty w procesie integracji regionalnej i jest traktowana jako ukoronowanie dążeń integracyjnych krajów członkowskich.

**Tabela 4. Model integracji biznesowej na tle modelu integracji państw**

| Etap | Opis etapu w modelu integracji gospodarczej państw  | Opis etapu w modelu integracji biznesowej przedsiębiorstw  |
|------|---|--|
| I    | SWH (strefa wolnego handlu): <ul style="list-style-type: none"> <li>• zniesienie taryf i ograniczeń ilościowych między państwami członkowskimi strefy;</li> <li>• łączenie podmiotów zwykle o ograniczonym „psychologicznym” dystansie, zasięgu regionalnym;</li> <li>• handel dobrami zróżnicowanymi („narodowymi”)</li> </ul> | Umowy o współpracy – zwykle w ramach łańcucha produkcyjnego: <ul style="list-style-type: none"> <li>• zróżnicowana oferta produktowa podmiotów współpracujących;</li> <li>• współpraca małych przedsiębiorstw krajowych; aglomeracja – dystrykty przemysłowe;</li> <li>• ekspansja przedsiębiorstw poprzez ustanawianie oddziałów, zwykle o zasięgu regionalnym</li> </ul>   |
| II   | UC (unia celną): <ul style="list-style-type: none"> <li>• SWH + wspólna zewnętrzna taryfa celna;</li> <li>• jednolita polityka wobec krajów trzecich;</li> <li>• wspólne zawieranie umów z partnerami zewnętrznymi;</li> <li>• dominujące powiązania regionalne</li> </ul>  | Stała kooperacja przedsiębiorstw krajowych prowadzi do ich konsolidacji: <ul style="list-style-type: none"> <li>• „monopolizacja narodowa” (małe kraje) lub „oligopolizacja narodowa” (duże obszary, np. USA czy UE);</li> <li>• wspólne przedsięwzięcia – zawieranie umów <i>joint venture</i> z podmiotami z własnej branży, zwykle na bliskich kulturowo i geograficznie rynkach (wspólne wzorce konsumpcyjne)</li> </ul> |

|     |  |  |
|-----|--|--|
| III | <p>WR (wspólny rynek):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• obszar bez granic wewnętrznych;</li> <li>• oparty na czterech swobodach: <ul style="list-style-type: none"> <li>– przepływu towarów</li> <li>– przepływu usług</li> <li>– przepływu siły roboczej</li> <li>– przepływu kapitału</li> </ul> </li> </ul>   | <p>Jednolita polityka handlowa produktu (klasy produktów, segmenty rynku)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– specjalizacja: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ukształtowanie wiodących działów sieci – konsolidacja sfer aktywności w kilku obszarach (zwykle 2–5);</li> <li>• stabilizacja oraz intensyfikacja powiązań;</li> <li>• w tych sferach (produkcja, dystrybucja, przepływ technologii, kapitału i zasobów ludzkich);</li> <li>• ustanawianie czterech typów filii,</li> <li>• firm satelitarnych (produkcyjnych, handlowo-usługowych, technologicznych, strategicznych)</li> </ul> </li> </ul>  |
| IV  | <p>UE (unia ekonomiczna):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• WR + koordynacja polityk gospodarczych uczestników, w tym np. polityki konkurencji;</li> <li>• ponadnarodowe instytucje zarządzająco-koordynujące</li> </ul>  | <p>Globalna koordynacja systemu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• alianse strategiczne, intensyfikacja fuzji i przejęć międzynarodowych (M &amp; As);</li> <li>• wyłanianie strategicznych komórek organizacyjnych nastawionych na koordynowane globalnie rozproszonych funkcji, centra kompetencji sieci.</li> </ul>  |
| V   | <p>UW (unia walutowa):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• usztywnienie kursów wymiany walut;</li> <li>• możliwa wspólna waluta;</li> <li>• stopniowe ujednocianie rynku kapitałowego;</li> <li>• konieczność zmian instytucjonalnych w wyniku pogłębienia integracji</li> </ul>  | <p>Portfel marek / marka globalna</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– segmenty rynku globalnego: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ustalenie portfela marek z podziałem na obsługiwane segmenty rynku (pozycjonowanie marek, produktów);</li> <li>• możliwe stworzenie wspólnej marki (z niegdyś samodzielnych) lub „wciągnięcie” ich pod parasol wspólnej marki;</li> <li>• systematyczne ujednocianie standardu obsługi klienta globalnego</li> </ul> </li> <li>– konkurowanie „miękką” wartością dodaną;</li> <li>• reorganizacja struktury zarządzania w wyniku implementacji nowej strategii konkurencyjnej.</li> </ul>                             |
| VI  | <p>UP (unia polityczna):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ponadnarodowe instytucje – przeniesienie na poziom ponadnarodowy decyzji o „politycznych”;</li> <li>• pewien stopień dobrowolnego ograniczenia suwerenności nadal samodzielnych państw;</li> <li>• wspólne stanowiska (kompromis) jako wyraz współpracy konkurujących (nawet stale państw) walczących o pozycję dominującą w rozwiązywaniu problemów globalnych - kooperencja</li> </ul> | <p>Globalne Sieci Biznesowe (GSB) jako mechanizm regulacji – system „gospodarczo-polityczny”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• globalny „zarząd” sieci skupiającej „zewnątrznie” samodzielne podmioty – <i>orchestrator</i> jako lider, koordynator i dyrygent sieci;</li> <li>• ukształtowane obszary kluczowych kompetencji;</li> <li>• oligopole branżowo-regionalne;</li> <li>• koncepcja współpracy na bazie strategicznie zorientowanego łańcucha tworzenia wartości;</li> <li>• kooperencja – współpraca bezpośrednich konkurentów;</li> <li>• uczestnictwo w przedsięwzięciach potwierdzających „społeczną odpowiedzialność” organizacji.</li> </ul> |

Źródło: opracowania własne na podstawie [15].



## Literatura

1. Delanty G., Odkrywanie Europy. Idea, tożsamość, rzeczywistość, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Kraków 1999, s. 25.
2. Lewis G. J., Zimna wojna. Historia podzielonego świata, Kraków 2007, s. 26 – 39.
3. Ciamaga L., Latoszek E., Małachowska – Gorywoda K., Unia Europejska, PWN, Warszawa 2002, s. 25
4. Bartnicki A., Konflikty kolonialne 1869-1939, Warszawa 1971, s. 50.
5. Rutkowska I., Od Wspólnot Europejskich do Unii Europejskiej, część I: Ekonomiczne i prawne podstawy oraz ewolucja integracji zachodnioeuropejskiej, Wydawnictwo Zachodniopomorskiej Szkoły Biznesu, Szczecin 1998.
6. Unia Europejska, Integracja Polski z Unią Europejską, redakcja naukowa i koordynacja E. Kawecka-Wyżykowska i E. Synowiec, Instytut Koniunktur i Cen Handlu Zagranicznego, Warszawa 1997.
7. Barburska O., Milczarek D., Historia integracji europejskiej w zarysie, Centrum Europejskie UW, Warszawa 2013, s. 105.
8. Davies N., „Europa. Między Wschodem a Zachodem”, przeł. Bartłomiej Pietrzyk, wyd. Znak, Kraków 2007, s. 25.
9. Unia Europejska, Integracja Polski z Unią Europejską, redakcja naukowa i koordynacja E. Kawecka-Wyżykowska i E. Synowiec, Instytut Koniunktur i Cen Handlu Zagranicznego, Warszawa 1997, s. 21.
10. Ładyka S., Z teorii integracji gospodarczej, Warszawa 2001, „Każde państwo europejskie, które szanuje zasady określone w artykule 6 ustęp 1, może się ubiegać o członkostwo w Unii”.
11. W. Szymborski: Międzynarodowe stosunki polityczne, W ydawnictwo Wers , Bydgoszcz 2008, s. 292.
12. Dolwa-Klepacki Z. M., Integracja europejska, Białystok 2001, s. 23., Halizak E., Integracja europejska, w: Stosunki międzynarodowe. Geneza, struktura, dynamika, red. E. Halizak, R. Kuźniar, Warszawa 2006, s. 483., M. Chmaj, M. Żmigrodzki, Wprowadzenie do teorii polityki, Lublin 1998, s. 89.
13. Wojtaszczyk K., Jakubowski W., Europeistyka, Warszawa 2012, Warszawa 2012, s.9–10.
14. Ładyka S., Z teorii integracji gospodarczej, Wydawnictwo SGH, Warszawa 2000.

# MANAGERIAL DECISION-MAKING USING FUZZY PREFERENCE RELATIONS

Hryhoruk P., Khrushch N., Grygoruk S.

Khmelnitskyi National University, Ukraine

## Introduction

The quality of economic systems management directly depends on the ability to accurately describe their development and predict the decisions' consequences. Moreover, the complexity of formalization is caused by both the multiplicity and different impact directions of environmental factors, and the presence of feedback loops and time lags in the reaction of the economic system to external influences. As a result, a variety of reasons, like the measurement procedures' imperfection, incomplete data, rapid variability of the environment, lack of reliable information on the activities of competitors, consumer behavior and motivation, changing their preferences, as well as the fact that people in research (experts, consumers) are a main source of information concerning the issues under investigation, the data may be inaccurate, incomplete, possess a high degree of subjectivity in the respondents' assessments of the object studied and therefore be inconsistent. As a result, we often obtain accurate data in the required volume is practically impossible, leading to the use of simplified models of reality. They can actually lead to clear and valid conclusions, then the more detailed and more accurate models. This is reflected in the principle of incompatibility formulated by L. Zadeh [27, p. 201], associated with the human processes of perception and reasoning, which have follows essence: the more complex the system, the less we are able to provide accurate and at the same time having a practical value judgments about it behavior.

Accuracy and practical sense are mutually exclusive features for systems whose complexity exceeds a certain threshold level. In this sense, the quantitative analysis of economic systems does not have significant practical value for real social, economic and other challenges related to the participation of one person or group. As a result, we use generic, inaccurate and subjective understanding about the studied system. Currently, the fuzzy set approach to make managerial decisions is one of the most promising in the formalization of uncertainties. This success is due to the fact that fuzzy mathematics allows you to make decisions based on limited information about the control object. And since in rare cases the manager has complete, reliable, accurate and quantitative information at his disposal, the tools that allow you to make decisions in conditions of its deficit are in demand. In particular, fuzzy set models

successfully used in accounting for uncertainty in all areas of management: finance, economics, risk management, insurance, option pricing, investment, marketing, trade, and many others.

Paper [1] considered both of the score-based and fuzzy choice values approaches to decision making, the modifications that account for the model with positive and negative attributes are put forward and discussed for the most common fuzzy negation In paper [4] has studied the construction of financial distress pre-warning fuzzy regression model for investors and risk supervisors. Using fuzzy regression approach to estimate and forecast volatility of option prices has been considered in [18]. Yu et al. [26] have used fuzzy approach to analyze and evaluate the risk levels of credit applicants over a set of pre-defined criteria for support final decision of credit-granting institutions. Walle and Turoff [25] considered information market game. They studied the participants' rankings of the best share in the market based on fuzzy relations and compare the most successful trader to the other traders.

The main results of this analysis is that a substantial number of traders is indeed following the market leader. An efficient and dynamic investment resource allocation mechanism within the framework of a cooperative game with fuzzy coalitions has been introduced in the [3]. Authors shown that this resource investment is influenced by the satisfaction of the players in regard to better performance under a cooperative setup. In the report of Casualty Actuarial Society [23] authored by Shang and Hossen has been studied the applying of fuzzy logic to analyze and assess risks with limited data and knowledge and to estimate the cost of risk mitigation. Early warning bankruptcy models for enterprises using fuzzy logic has been developed by Korol [11].

These models are an “open“ application and can be easily used by financial managers as a decisional aid tool in the process of evaluating the financial situation of enterprises and consumers. Lan et al. [12] are developed a bilevel fuzzy principal-agent model for optimal nonlinear taxation problems with asymmetric information, in which the government and the monopolist are the principals, the consumer is their agent. This model may be used with the purpose of maximizing the expected social welfare and the monopolist's expected welfare under the incentive feasible mechanism. A fuzzy attractiveness of market entry model has been developed in [24] to address the decision-making problem of product introduction into alternative markets. Model uses expert opinions regarding four factors: fit of the firm's marketing mix in each market; the fit of its key competitor's marketing mix in each

market; environmental conditions in each market; and the strategic importance of each market to the firm.

In papers [15], [16] intuitionistic fuzzy sets introduced by Atanassov [2] have been proposed to build soft decision-making models that can accommodate imprecise information, and two solution concepts about the intuitionistic fuzzy core and the consensus winner for group decision-making have also been developed by other researchers using intuitionistic fuzzy sets. Ideas of using the intuitionistic fuzzy set were evolved in tools of data envelopment analysis [7]. Authors proposed a model for assessment the relative efficiency of a set of congruent decision-making units in finance and credit institution. Modifications of Black–Scholes Option pricing model (OPM) which use a fuzzy approach considered in [8], [13].

Some issues of using the fuzzy sets and fuzzy logic in marketing decision-making have been studied in papers [5] [6], [14], [17], [22]. In particular, Ghaderi and Maihami [6] describes fuzzy expert system for marketing decision model using knowledge-based system. The marketing decision model is used to determine the entrance time of a new product into market. In paper [17] has considered fuzzy analytic hierarchy process (AHP) method as an analytical tool to determine a unique competitive marketing strategy for a small tourism venture. Using a fuzzy logic for multi-agent-based hybrid intelligent systems in support of international marketing planning has studied in [14].

Samadi at al. [22] considered the development of inventory models in a fuzzy environment. They took into account that the quality of services that are offered to customers of a product, the cost parameters in real inventory systems such as price, marketing and service elasticity to demand are imprecise and uncertain in nature. Proposed model uses geometric programming and fuzzy optimization techniques for decision-making.

Taking into account these and many other studies on the application of fuzzy logic and fuzzy sets to solve problems in the area of decision-making, it should be noted that some issues related to the selection of an acceptable alternative under multiple criteria remain open.

### **The choice of managerial decisions based on fuzzy preference relations**

The task of decision-making in the most common formulation is to choose the best alternative from some of the plural. The selection is based on the manager 's preference relationship defined on a set of alternatives. We will be to understand under the preference the estimation of usefulness or quality of the alternative based

on the subjective understanding by manager the value and effectiveness of decision. It can be a result of comparing alternatives by the manager in accordance with a generated system of criteria, his intuitive reasoning, the result of the recommendations of the expert group or consultants in decision making. One fairly common approach to estimating the preferences is a paired comparison, having a high degree of objectivity of expert evaluation and independence from criterion's dimension. Thus it is possible to use this approach for both scalar and vector criteria.

The result is a matrix of paired comparisons. An example of this approach is a quantitative representation of the results of comparison in the form of scale Saaty [21] used in the method of analysis of hierarchies. Representation of preference relations in this case has a verbal description. The result may also be in the form of fuzzy preference relation's assessments, in which the degree of preference is given by a numerical value from 0 to 1. Fuzzy preference relations allow, unlike conventional, to take into account the intensity and force of some preference over other options, therefore the using of such relations as a models of expert data representation allow to improve the adequacy of the description of the system of manager's preference and its sensitivity.

Ordering such preference relations take in direction of implementing the search procedures of decisions, so it can be called a priori research of decision-making model. In our opinion, Among the main distinguishing features of marketing decisions can be noted the multiplicity of participants interested in the obtained results, also multi-variant development of the market environment. It leads to the possibility of the emergence of a set of multidirectional criteria for the choice of the best decision. Provided that different participants may have differing optimal in their opinion, behavior strategies, there is a need optimal matching sets of these strategies. This implies the need not organize individual elements of the set of admissible situations, but its subsets Such issues can be solved within a posteriori study of models of decision making, that realizes the reusable searching the set of optimal decision.

Following the ideas described in [9], to make the managerial decision we use such algorithm.

First step, an initial set of alternatives  $A^{(0)} = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  is constructed. This set can be described with a certain degree of precision. On the set  $A^{(0)}$  we construct the fuzzy subset  $A$  having membership function  $\mu_D(A)$  that describes the extent of the

admissibility of each of the alternative decision is given in the original set of  $A^{(0)}$ . Then, a rational decision can be regarded as a one that will be selected from the subset of alternatives  $A^{(D)}$ , with the maximum degree of admissibility:

$$A^{(D)} = \left\{ A_i \mid A_i \in A, \mu_D(A_i) = \max_j \mu_D(A_j) \right\}, \quad (1)$$

where  $i, j = 1..m$ .

Next step, constructing a set of partial effectiveness criteria  $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_k\}$  is carried out. Then, for each pair of alternatives  $(A_i, A_j)$  we construct membership function  $\mu_{ij} = \mu(A_i, A_j)$  of fuzzy preference relationship, which reflected the degree of preference  $A_i$  over  $A_j$ . For this goal we use formula like (2)

$$\mu_{ij} = \begin{cases} \max_{1 \leq s \leq k} w_s (Q_{si} - Q_{sj}) \cdot \frac{k_{ij}}{k}, & Q_{si} - Q_{sj} \geq 0; \\ 0 & , Q_{si} - Q_{sj} < 0. \end{cases}, \quad (2)$$

where  $Q_{st}$  is a value of  $s$ -th criterion for  $t$ -th alternative,  $w_s$  – weight of  $s$ -th criterion,  $k_{ij}$  – number of values for  $i$ -th and  $j$ -th alternatives, for which the condition  $Q_{si} - Q_{sj} \geq 0$  is met,  $i, j = 1, 2, \dots, m$ ,  $s = 1, 2, \dots, k$ ,  $t = 1, 2, \dots, m$ . Other methods for construction the membership functions are describes in [9].

On the third step, a fuzzy strict preference relationship  $P^S$  with membership function like (3) is constructed:

$$\mu_{ij}^S = \begin{cases} \mu_{ij} - \mu_{ji}, & \mu_{ij} - \mu_{ji} \geq 0; \\ 0 & , \mu_{ij} - \mu_{ji} < 0. \end{cases} \quad (3)$$

where  $i, j = 1, 2, \dots, m$ .

Then we identify a fuzzy subset of non-dominated alternatives  $A^{ND}$  which has a membership function like (4):

$$\mu_i^{ND} = 1 - \max_{j=1,2,\dots,m} \mu_{ji}^S, \quad (4)$$

and a subset of a strictly non-dominated alternatives  $A^{UND}$ , for which the follow condition is met:

$$\mu_i^{UND} = 1, \quad (5)$$

where  $i = 1, 2, \dots, m$ .

In paper [19] this subset of alternatives is called as a Pareto set. It is obvious that the search of decisions should be implemented among a subset of strictly non-dominated alternatives.

Optimal decision is chosen from this subset as any of its alternatives. If subset  $A^{UND}$  is empty, we define a subset of  $r$  - non-dominated alternatives like (6). A value of  $r$  is chosen according to the (7).

In the general case, the set  $A^{UND}$  may be empty, which complicates the argued choice of decision. In our opinion, in this case, is it appropriate to consider a subset of  $r$ -non-dominated alternatives:

$$A^{ND}(r) = \{A_i \in A \mid \mu_i^{ND} \geq r\}, \quad (6)$$

which contain alternatives non-dominated at some level of  $r < 1$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ . Decisions should be sought in a subset of  $r^*$  - non-dominated alternatives, where  $r^*$  is determined according to the rule:

$$r^* = \left\{ \max_{0 \leq r \leq 1} r \mid A_r^{ND} \neq \emptyset \right\}. \quad (7)$$

### Practical use

Consider practical use presented approach for choice the most appropriate alternatives, provided there are several criteria. Let we have a matrix of normalized values for eight alternatives assessing by the five metric criteria, that presented at the Table 1.

**Table 1. Normalized values for eight alternatives assessing by the five criteria**

| Alternatives | Criteria |       |       |       |       |
|--------------|----------|-------|-------|-------|-------|
|              | $Q_1$    | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ | $Q_5$ |
| $A_1$        | 0,00     | 0,00  | 0,00  | 0,05  | 0,00  |
| $A_2$        | 0,70     | 0,19  | 0,17  | 0,00  | 0,40  |
| $A_3$        | 0,50     | 0,22  | 0,67  | 0,14  | 0,60  |
| $A_4$        | 0,33     | 0,25  | 1,00  | 1,00  | 0,20  |
| $A_5$        | 0,55     | 1,00  | 0,40  | 0,56  | 0,70  |
| $A_6$        | 0,63     | 0,95  | 0,20  | 0,86  | 0,60  |
| $A_7$        | 0,55     | 0,30  | 0,42  | 0,77  | 1,00  |
| $A_8$        | 1,00     | 0,48  | 0,33  | 0,68  | 0,70  |

Analysis of table shows that none of the alternatives have clear preference on others, that predetermines the necessity of additional calculation. Values of membership function of fuzzy preference relationship  $\mu_{ij}$  are presented at the Table 2,  $i, j = 1, 2, \dots, 8$ .

**Table 2. Values of membership function of fuzzy preference relationship**

| Alternatives | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$        | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_2$        | 0,56  | 0,00  | 0,04  | 0,15  | 0,03  | 0,02  | 0,03  | 0,00  |
| $A_3$        | 0,67  | 0,40  | 0,00  | 0,16  | 0,05  | 0,19  | 0,05  | 0,07  |
| $A_4$        | 1,00  | 0,60  | 0,51  | 0,00  | 0,24  | 0,32  | 0,23  | 0,27  |
| $A_5$        | 1,00  | 0,65  | 0,62  | 0,45  | 0,00  | 0,12  | 0,28  | 0,31  |
| $A_6$        | 0,95  | 0,69  | 0,58  | 0,42  | 0,12  | 0,00  | 0,39  | 0,19  |
| $A_7$        | 1,00  | 0,62  | 0,50  | 0,48  | 0,24  | 0,16  | 0,00  | 0,18  |
| $A_8$        | 1,00  | 0,68  | 0,43  | 0,41  | 0,27  | 0,23  | 0,18  | 0,00  |

Using the values of Table 2 we calculate a membership function of fuzzy strict preference relationship  $\mu_{ij}^s$ . Result are shown at the Table 3.

**Table 3. Values of membership function of fuzzy strict preference relationship**

| Alternatives | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$        | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_2$        | 0,55  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_3$        | 0,67  | 0,36  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_4$        | 1,00  | 0,45  | 0,35  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_5$        | 1,00  | 0,62  | 0,57  | 0,21  | 0,00  | 0,00  | 0,04  | 0,04  |
| $A_6$        | 0,95  | 0,67  | 0,40  | 0,10  | 0,00  | 0,00  | 0,23  | 0,00  |
| $A_7$        | 1,00  | 0,59  | 0,45  | 0,25  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_8$        | 1,00  | 0,68  | 0,36  | 0,14  | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,00  |

Further we construct a membership function of fuzzy set of non-dominated alternatives  $\mu^{ND}$  (Table 4) and determine according to (7) subset of strictly non-dominated alternatives.

**Table 4. Values of membership function of fuzzy set of non-dominated alternatives**

| Alternatives |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$        | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ |
| 0,00         | 0,32  | 0,43  | 0,75  | 1,00  | 0,96  | 0,77  | 0,96  |



Table 4 shows that in this case subset  $A^{UND}$  has only single alternative –  $A_5$ , which should be choose as a decision. At the same time, it should also be noted high value of membership functions for the sixth and eighth alternatives. If we assume that assessing alternatives have realized by the first four criteria, then values of membership functions  $\mu_{ij}, \mu_{ij}^S, \mu_i^{ND}$  be in the other form (Tables 5-7).

**Table 5: Values of membership function of fuzzy preference relationship for four criteria**

| Alternatives | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$        | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_2$        | 0,53  | 0,00  | 0,05  | 0,09  | 0,04  | 0,02  | 0,04  | 0,00  |
| $A_3$        | 0,67  | 0,38  | 0,00  | 0,04  | 0,07  | 0,12  | 0,06  | 0,08  |
| $A_4$        | 1,00  | 0,75  | 0,64  | 0,00  | 0,30  | 0,40  | 0,29  | 0,34  |
| $A_5$        | 1,00  | 0,61  | 0,58  | 0,38  | 0,00  | 0,10  | 0,35  | 0,26  |
| $A_6$        | 0,95  | 0,64  | 0,55  | 0,35  | 0,15  | 0,00  | 0,49  | 0,23  |
| $A_7$        | 0,72  | 0,58  | 0,47  | 0,11  | 0,16  | 0,05  | 0,00  | 0,05  |
| $A_8$        | 1,00  | 0,68  | 0,40  | 0,34  | 0,23  | 0,19  | 0,23  | 0,00  |

**Table 6. Values of membership function of fuzzy strict preference relationship for four criteria**

| Alternatives | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$        | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_2$        | 0,51  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_3$        | 0,67  | 0,32  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_4$        | 1,00  | 0,66  | 0,60  | 0,00  | 0,00  | 0,05  | 0,18  | 0,00  |
| $A_5$        | 1,00  | 0,57  | 0,52  | 0,08  | 0,00  | 0,00  | 0,19  | 0,03  |
| $A_6$        | 0,95  | 0,62  | 0,43  | 0,00  | 0,05  | 0,00  | 0,44  | 0,05  |
| $A_7$        | 0,72  | 0,54  | 0,41  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_8$        | 1,00  | 0,68  | 0,32  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,18  | 0,00  |

**Table 7. Values of membership function of fuzzy set of non-dominated alternatives for four criteria**

| Alternatives |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$        | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ |
| 0,00         | 0,32  | 0,40  | 0,92  | 0,95  | 0,95  | 0,56  | 0,95  |

Analysis results presented in the Table 7 shows that subset  $A^{UND}$  is empty. Therefore, it is need to define subset of  $r^*$  - non-dominated alternatives. In this case we have a result:  $r=0,95$ ;  $A^{ND}(0,95) = \{A_5, A_6, A_8\}$ .

Therefore, it is necessary to use additional information about each alternative for choice the decision, in particular, to include one more criterion for assessing.

Let we consider case, when assessing alternatives is fulfilled by six criteria, among them first four are metric and last two – rank. Initial data are presented in the Table 8.

**Table 8. Normalized values for eight alternatives assessing by the six mixed criteria**

| Alternatives | Criteria |       |       |       |       |       |
|--------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | $Q_1$    | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ | $Q_5$ | $Q_6$ |
| $A_1$        | 0,00     | 0,00  | 0,00  | 0,05  | 2     | 3     |
| $A_2$        | 0,70     | 0,19  | 0,17  | 0,00  | 1     | 5     |
| $A_3$        | 0,50     | 0,22  | 0,67  | 0,14  | 5     | 7     |
| $A_4$        | 0,33     | 0,25  | 1,00  | 1,00  | 4     | 1     |
| $A_5$        | 0,55     | 1,00  | 0,40  | 0,56  | 6     | 8     |
| $A_6$        | 0,63     | 0,95  | 0,20  | 0,86  | 8     | 6     |
| $A_7$        | 0,55     | 0,30  | 0,42  | 0,77  | 7     | 2     |
| $A_8$        | 1,00     | 0,48  | 0,33  | 0,68  | 3     | 4     |

Values of membership function of fuzzy preference relationship and membership function of fuzzy strict preference relationship are presented in Tables 9, 10.

**Table 9. Values of membership function of fuzzy preference relationship for six mixed criteria**

| Alternatives | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$        | 0,00  | 0,17  | 0,00  | 0,17  | 0,00  | 0,00  | 0,17  | 0,00  |
| $A_2$        | 0,52  | 0,00  | 0,03  | 0,23  | 0,03  | 0,01  | 0,19  | 0,17  |
| $A_3$        | 0,78  | 0,58  | 0,00  | 0,36  | 0,04  | 0,24  | 0,21  | 0,39  |
| $A_4$        | 0,83  | 0,67  | 0,43  | 0,00  | 0,20  | 0,27  | 0,19  | 0,39  |
| $A_5$        | 1,00  | 0,74  | 0,72  | 0,58  | 0,00  | 0,23  | 0,40  | 0,51  |
| $A_6$        | 0,97  | 0,76  | 0,53  | 0,57  | 0,27  | 0,00  | 0,66  | 0,49  |
| $A_7$        | 0,65  | 0,55  | 0,48  | 0,41  | 0,27  | 0,04  | 0,00  | 0,20  |
| $A_8$        | 1,00  | 0,62  | 0,27  | 0,39  | 0,15  | 0,13  | 0,32  | 0,00  |

**Table 10. Values of membership function of fuzzy strict preference relationship for six mixed criteria**

| Alternatives | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$        | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_2$        | 0,34  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_3$        | 0,78  | 0,55  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,12  |
| $A_4$        | 0,67  | 0,44  | 0,07  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_5$        | 1,00  | 0,72  | 0,68  | 0,38  | 0,00  | 0,00  | 0,13  | 0,36  |
| $A_6$        | 0,97  | 0,75  | 0,29  | 0,30  | 0,03  | 0,00  | 0,62  | 0,36  |
| $A_7$        | 0,48  | 0,36  | 0,27  | 0,21  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| $A_8$        | 1,00  | 0,45  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,12  | 0,00  |

The membership function of fuzzy set of non-dominated alternatives in this case is showed in the Table 11.

**Table 11. Values of membership function of fuzzy set of non-dominated alternatives for six mixed criteria**

| Alternatives |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$        | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ |
| 0,00         | 0,25  | 0,32  | 0,62  | 0,97  | 1,00  | 0,38  | 0,64  |

Analysis results shows, that in this case alternative  $A_6$ , which is strictly non-dominated alternative, is the best.

Presented calculations snows, that use additional criteria for assessing alternatives may cardinaly change preference of decision-maker and fundamentally effect on his choice.

## Conclusions

At the present time, fuzzy set approach in the field of decision-making is one of the most used. One of the most important issue is the construction of the fuzzy preference relations. We propose the scientific-methodical approach to choosing the most suitable alternative as a managerial decision. It allows to construct a set of Pareto-effectiveness alternatives and to choose the best one as a decision. If we have several alternatives, we should make a choice based on additional reasoning, in particular, using expert assessments, analysis of non-price indices of effectiveness, applying the criterion of minimization of charges and so on.

## References

1. Alcantud J.C.R. (2016), Fuzzy Soft Set Decision Making Algorithms: Some Clarifications and Reinterpretations. In: Luaces O. et al. (eds) *Advances in Artificial Intelligence. CAEPIA 2016. Lecture Notes in Computer Science*, vol 9868. Springer, Cham
2. Atanassov, K. T. (1986), Intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 20, No. 1, pp. 87–96. doi:10.1016/S0165-0114(86)80034-3.
3. Borkotokey, S. and Neog, R. (2014), Dynamic resource allocation in fuzzy coalitions: a game theoretic model, *Fuzzy Optimization and Decision-making*, Vol. 13, No. 2, pp. 211-230. doi 10.1007/s10700-013-9172-y.
4. Cheng, W.-Y., Ender, S. & Sheng-Jung, L. A. (2006), Financial distress pre-warning study by fuzzy regression model of TSE-listed Companies, *Asian Academy of Management Journal of Accounting and Finance*. Retrieved from: <http://web.usm.my/journal/aamjaf/vol%202-2/2-2-5.pdf>.
5. Dubuois, D. (2011). The role of fuzzy sets in decision sciences: old techniques and new directions, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 184, No. 1, pp. 3–28.
6. Ghaderi, K. & Maihami V. (2012), Fuzzy expert system for marketing decision model using development knowledge-based system. In: 2 International Conference on Software and Computer Applications (ICSCA 2012). IACSIT Press, Singapore. Retrieved from: <http://www.ipcsit.com/vol41/001-ICSCA2012-S002.pdf>.
7. Hajiagha, S. H. R., Akrami, H., Zavadskas, E. K. & Hashemi, S. S. (2013), An Intuitionistic Fuzzy Data Envelopment Analysis for Efficiency Evaluation Under Uncertainty: Case of a Finance and Credit Institution, *E+M Ekonomie a Management*, Vol. 16, No. 1, pp. 128-137.
8. Heng, A., Chen, Q. and Tan, Y. (2014), Fuzzy Optimization of Option Pricing Model and Its Application in Land Expropriation, *Journal of Applied Mathematics*. Retrieved from: <http://www.hindawi.com/journals/jam/2014/635898/>. doi:10.1155/2014/635898.
9. Hryhoruk, P. M., Khrushch, N. A. and Grygoruk S. S. (2017), An approach to construct fuzzy preference relationships for managerial decision making, *Scientific Bulletin of Polissia*. No. 4(12), part 2, pp. 92-99.
10. Jha, S., Kumar, R., Son, L.H., Jyotir Moy, Chatterjee, J.M., Khari, M., Yadav, N., and Smarandache, F (2019). Neutrosophic soft set decision making for stock trending analysis. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s12530-018-9247-7>.
11. Korol, T. (2012), Fuzzy logic in financial management. Retrieved from: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/32889.pdf>. doi: 10.5772/35574.
12. Lan, Y., Zhao, R. & Tang, W. (2011), A bilevel fuzzy principal-agent model for optimal nonlinear taxation problems, *Fuzzy Optimization and Decision-making*, Vol. 10, No. 3, pp. 211-232. doi 10.1007/s10700-011-9103-8.
13. Lee, C. F., Tzeng, G. H. & Wang S. Y. (2005), A new application of fuzzy set theory to the Black-Scholes option pricing model, *Expert Systems with Applications*, vol. 29, No. 2, pp. 330-342. doi:10.1016/j.eswa.2005.04.006.
14. Li, S. & Li, J. Z. (2010), Agents International: Integration of multiple agents, simulation, knowledge bases and fuzzy logic for international marketing decision-making, *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, No.3, pp. 2580–2587.
15. Li, D.-F. (2005), Multiattribute decision-making models and methods using intuitionistic fuzzy sets, *Journal of Computer and System Sciences*, Vol. 70, No. 1, pp. 73–85.
16. Lin, L., Yuan, X.-H. & Xi, Z.-Q. (2007), Multicriteria fuzzy decision-making methods based on intuitionistic fuzzy sets, *Journal of Computer and System Sciences*, Vol. 73, No. 1, pp. 84–88. doi:10.1016/j.jcss.2006.03.004.
17. Lin, C.-T., Lee, C. & Wu. C.-S. (2010), Fuzzy group decision-making in pursuit of a competitive marketing strategy, *International Journal of Information Technology & Decision-making*, Vol. 9, No. 2, pp. 281-300. doi: 10.1142/S0219622010003828.

18. Muzzioli, S., Ruggieri, A. & De Baets B. (2015), A comparison of fuzzy regression methods for the estimation of the implied volatility smile function, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 266, pp. 131–143. doi:10.1016/j.fss.2014.11.015.
19. Orlovski, S. (1978). Decision-making with a fuzzy preference relation. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(3), 155-168. ISSN 0165-0114. doi:10.1016/0165-0114(78)90001-5.
20. Rajput, D. H., Khare, N. (2016), Fuzzy soft set decision-making model for social networking sites, *International Journal of Social Network Mining*, Vol. 2, Iss. 3.
21. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill.
22. Samadi, F., Mirzazadeh, A. & Pedram, M. M. (2013), Fuzzy pricing, marketing and service planning in a fuzzy inventory model: A geometric programming approach, *Applied Mathematical Modelling*, vol. 37, No. 10–11, pp. 6683–6694. doi:10.1016/j.apm.2012.12.020.
23. Shang, K. & Hossen, Z. (2013). *Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making*. Casualty Actuarial Society, Canadian Institute of Actuaries, Society of Actuaries. Retrieved from: <http://www.soa.org/Research/Research-Projects/Risk-Management/research-2013-fuzzy-logic.pdf>.
24. Shipley, M. F., Johnson, M., Pointer, L., & Yankov N. (2013), A fuzzy attractiveness of market entry (FAME) model for market selection decisions, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 64, pp. 597–610. doi:10.1057/jors.2012.59.
25. Van de Walle, B. & Turoff M. (2009), Fuzzy relations for the analysis of traders' preferences in an information market game, *European Journal of Operational Research*, Vol. 195, No. 3, pp. 905–913. doi:10.1016/j.ejor.2007.11.022.
26. Yu, L., Shouyang, W. & Kin, K. L. (2009), An intelligent-agent -based fuzzy group decision-making model for financial multicriteria decision support: the case of credit scoring, *European Journal of Operational Research*, Vol. 195, No. 3, pp. 942–959. doi:10.1016/j.ejor.2007.11.025.
27. Zadeh, L. A. (1975), The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Part I. *Information Sciences*, Vol. 8, No. 3, pp. 199–249.

# **THE SCIENTIFIC COOPERATION OF KHMELNITSKY HUMANITARIAN PEDAGOGICAL ACADEMY AND THE UNION OF POLES OF KHMELNITSKY REGION**

Yashchuk I., Binytska K., Binytska O.

Khmelnytsky humanitarian pedagogical Academy, Ukraine

## **Presenting main material**

Today Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy is actively working on the development of new directions and models of educational and scientific cooperation with universities of the Republic of Poland. The presence of a significant Ukrainian Diaspora in this country, and also the formation of the so-called fourth wave of emigration, which includes tens of thousands of young Ukrainian guest workers and Ukrainian students as well, creates the preconditions for attracting this category of citizens to different forms of education through joint educational programs.

We accentuate that the Agreement "On cooperation in the field of education" had been signed between the Ministry of education and science of Ukraine and the Minister of national education of the Republic of Poland in 2015. The governments of Ukraine and the Republic of Poland, on the basis of the principles of reciprocity and equality, have agreed to cooperate on: exchange of information about education systems, plans of their development and directions of reforming; promoting of joint events by interested institutions, in particular, conferences, symposia, olympiads and competitions for youth, etc; development of direct links and cooperation between educational establishments of all levels, including cultural and educational centers established by public organizations of the Polish national minority in Ukraine, and educational establishments and educational institutions in the Republic of Poland, in accordance with the legislation of the States of the Parties [8].

It is also advisable to emphasize that the problem of scientific cooperation is relevant for the countries of the European Union. Thus, the European cooperation in the field of education and science is carried out according to the document of the ET 2020 Frame. The frame of ET 2020 offers opportunities for the development of the best practices of educational policies for the collection, systematization and dissemination of information and for the development of reforms in education policies at the national and regional levels. The structure of the collaboration is based on a life-long learning approach. That is why they include learning results from early

childhood to higher education, as well as lifelong learning. Cooperation in the field of education extends to all educational contexts: formal, non-formal and out-formal.

Four common EU general goals: implementation of the concept of lifelong learning and educational and scientific mobility; improving the quality and effectiveness of education; promoting equality, social cohesion and civic engagement; stimulating creativity and innovations, also the entrepreneurship at all levels of education are implemented in the process of educational and scientific cooperation (within the framework of ET 2020), [9].

It is clear that not all this cooperation is equal. We have institutional connections, with others – the cathedral, and even simply – human with some educational establishments and foreign scientific institutions. But, of course, they all provide a useful experience of communication, which mutually enriches them all. And such educational and scientific diplomacy is the key to effective and real entering of establishments of education to the European and world intellectual community.

**The purpose of our article** is to highlight the features of scientific cooperation between Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy and the Union of Poles of Khmelnytsky region.

The cooperation between Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy and the Union of poles of Khmelnytsky region is long-term and productive in various fields of activity. One of the areas of this cooperation is the holding of scientific and practical round tables for the Independence Day of the Republic of Poland, which was launched in 2014. The feature of scientific cooperation is setting-up cooperation between higher education establishments of Ukraine and the Republic of Poland and the Union of Poles of Khmelnytsky region. **The purpose of this scientific cooperation** is coordinating and implementing joint researching projects which would violate the current problems of modern education, common cultural and spiritual traditions of Ukraine and the Republic of Poland and would highlight their scientific discourse. Four international round tables (2014-2017) were held within the framework of cooperation.

On November 10, 2014 the International round table "The Independence of the Republic of Poland, the Independence of Ukraine – the way to European integration," was held. The organizers of the scientific forum were: Khmelnytsky humanitarian-pedagogical academy, Ukrainian-Polish center of Khmelnytsky national university,

Khmelnitsky regional branch of the Union of Poles of Ukraine, Institute of Theological sciences (Horodok), Higher Banking School (Poznan, Poland), Pomorsk academy (Slupsk, Poland) [4].

The high activity of the scientific publicity of Ukraine and the Republic of Poland became the evidence of the relevance of the chosen problems. The International round table is held in accordance with the work plan of Khmelnitsky humanitarian pedagogical academy (Ukraine).

The scientists from leading establishments of higher education of Ukraine, the Republic of Poland took part in the conference. They represented the leading scientific and higher educational institutions, in which the scientific researches on the subject of the conference have been conducted. In total, 112 applications were submitted to the committee for participation in the conference, among them were 20 doctors of sciences, professors, 30 candidates of sciences, associate professors, as well as doctoral students, graduate students of higher educational establishments of Ukraine and the Republic of Poland.

On November 18, 2015, the second annual international round table "Outstanding Poles in Podillia" was held. The topic of the plenary reports was devoted to the consideration of activities of outstanding representatives of the Polish people, taking into account the historical retrospective and the modern development of Podillia. In the circle of attention of researchers were representatives of a number of social sciences – unexplored or less researched figures of Polish origin, who were native or worked in Podillia. The monography published by the results of the conference is designed for scientists – historians, philosophers, sociologists, economists, teachers, as well as students and all those who are interested in local history problems of the Podillia region [1, p. 4].

Khmelnitsky humanitarian pedagogical academy, Ukrainian-Polish center of Khmelnitsky national university, Khmelnitsky regional branch of the Union of Poles of Ukraine, Institute of Theological sciences (Horodok), Higher Banking School in Poznan, Economic Department in Szczecin (Poland), the department of M. T. Rylskiy Podilskiy Institute of art studies, folklore and ethnology of National Academy of Sciences of Ukraine, Mariya Hzhhezhzhevska Academy of special pedagogy of Warsaw (Republic of Poland) were the organizers of the scientific forum [1].

For the first time in Ukraine the presentation of the collective monography "Outstanding Poles in Podillia" was held during the conference [1].



On November 23-24, 2016, the international conference "Repressions against Poles and other nationalities in Podillia: role and place in the history of the region" was held. The conference was focused on consideration the problems of political repression of the Soviet era. During the conference the archival documents, historical and documentary-journalistic essays about the inhabitants of the region (Poles and other nationalities), who during the totalitarian regime suffered groundless, unjustified repressions, biographical notes about the Poles and representatives of other nationalities and residents of Khmelnytsky region, who suffered unjustified political repression had been published [5].

The wide range of participants: local historians, historians, political scientists, philosophers, sociologists, teachers, theologians, also students and all those who were interested in the problems of political repression in Podillia of the Soviet era took part in the conference.

Khmelnytsky national university, Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy, Institute of Theological sciences (Horodok), State archive of Khmelnytsky region, Khmelnytsky regional Institute of postgraduate pedagogical education, the department of M. T. Rylskyi Podilskyi Institute of art studies, folklore and ethnology of National Academy of Sciences of Ukraine, Khmelnytsky regional branch of the Union of Poles of Ukraine, the Union of teachers-polonists of Khmelnytsky region, Yan Pavlo II Lublin Catholic University. (Lublin, Republic of Poland), Institute of national memory (Warsaw, Republic of Poland) were organizers of scientific forum.

Approximately 200 participants from different regions of Ukraine and the Republic of Poland took part in the conference: representatives of the diplomatic corps, representatives of the administration of Khmelnytsky and Khmelnytsky region, clergy, heads of leading establishments of higher education, teachers and students. Among the honorary guests of the event were: Consul of the Republic of Poland in Vinnytsia, Voitsekh Mrozovskyi and scientists from Yan Pavlo II Lublin Catholic University.

On November 23, the plenary session of the international conference was held in the St. Anna Roman catholic church of Khmelnytsky [3].

On November 24, 2016 in the framework of the international scientific and practical conference and on the occasion of Independence Day of the Republic of Poland the Competition of scientific works of students of Khmelnytsky region was summed up [2].

The collective monography, which was based on documentary materials of the State archive of Khmelnytsky region, materials of scientific libraries of Ukraine, periodicals of the second half of the twentieth century. family members' memories of the life of the repressed citizens, reference and bibliographic literature had been presented, the tragic events of Stalin's repressions, the material about the fate of the repressed podolyans had been reflected during the conference.

The main purpose of the international conference was to honoring the memory of victims of political repression in Podillia. As a great warning lesson to all of us that any regime that is directed against human rights and freedom, has a threat to humanity itself.

The organizers of the conference had the purpose to summarize modern knowledge about the repressions against Poles and citizens of other nationalities in Khmelnytsky region during Stalinism period. The relevance of this scientific forum was also that an impartial analysis of archival and investigative cases had been conducted to determine the degree of completeness and reliability of the information contained in them. And research of various aspects of the history of repression, will increase the meaningful impact of this type of mass sources, will make them more accessible for study and inclusion in the orbit of scientific treatment, also it will increase the cognitive capabilities of researchers [5, p. 4].

The authors attention focused on essays, scientific articles, biographical notes, certificates and researches of scientists, students and pupils of Khmelnytsky region about the crimes of the Stalin's regime.

During the conference the members of the organizing committee made a sincere gratitude to f. Henrik Dziadosh for the creation of the oratorio dedicated to the persons of repression in the time of Stalinism-communism in the St. Anna Church in Khmelnytsky, also for the idea of holding the international scientific conference "Repression against Poles and other nationalities in Podillia: the role and place in the history of the region." The international conference was occurred on the occasion of the year of God's Mercy (2016 had been declared by Pope Francisc the year of God's Mercy).

It should be noted that students of the faculty of primary education and philology of Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy have taken an active part in the international conference with the guidance and mentoring of the Dean of the faculty, doctor of pedagogical sciences, professor Inna Petrivna Yashchuk.

According to the results of scientific and research work, the study of 66 students of the faculty of primary education and philology were published in a documentary and journalistic essay "Repressions against Poles and other nationalities in Podillia: the role and place in the history of the region." The tragic events of Stalin's repressions had been reflected, the material about the fate of the repressed podolyans had been stated in documentary and journalistic essays of students of the faculty of primary education and philology of Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy on the basis of documentary materials of the State archive of Khmelnytsky region, scientific libraries of Ukraine, periodicals of the second half of the twentieth century, memories of family members, reference and bibliographic literature [6].

On November 25, 2016 in the framework of scientific cooperation of Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy and the Union of Poles Khmelnytsky region was held all-Ukrainian round table "Education in Europe for students' youth: realities and prospects." The organizers of the round table were V. Hnatiuk Ternopil national pedagogical university and Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy.

The next event in the constellation of scientific events was the holding of the all-Ukrainian round table with international participation "Tendencies of the development of higher education in the European Union: realities and prospects" on November 23, 2017. The organizers of the event were the Higher Banking School (Poznan) and Khmelnytsky humanitarian and pedagogical academy [7].

The main purpose of conducting the all-Ukrainian round table was the implementing of scientific communication leading scientists and practitioners-teachers to familiarize with the foreign theoretical developments and practical experience concerning the tendencies of the implementation and further development of education in the leading European countries; the directing of the results of scientific research for the modernization of educational activity of educational establishments; facilitating the systematization and dissemination of modern European educational tendencies in Ukraine [7, p. 3].

According to the results of the scientific meeting materials of conference proceedings had been published, the authors attention focuses in essays, scientific articles and scientific researches of students, master's students, postgraduates, doctoral students and researchers on problems: of higher education development in Ukraine: methodology, theory and practice; the formation of education systems in countries of the European Union in the context of a unified space of higher education;

the characteristics of educational systems of the countries of the European Union; the main tendencies of development of higher education in the countries of the European Union; the introduction of the experience of modernization system of higher education in the countries of the European Union in Ukraine; the international education programs funded by the European Union in the field of higher education; the formation of educational and scientific strategies in the context of Ukraine's joining the single European space of higher education.

The friendly atmosphere and high-quality organization of all scientific events provided maximum opportunities for scientists, historians, local historians to present and discuss the results of their scientific research, to demonstrate their creative abilities and creative potential. Probably, it is advisable to hold such representative scientific conferences with the involvement of the widest possible range of participants annually. This opinion was expressed by the absolute majority of conference participants.

According to the participants and organizers, analyzed by us above scientific conferences were productive, lively, useful for scientific and pedagogical workers, students and for the community of Khmelnytsky region. It should be noted that many reports and speeches caused lively discussions, which underlined the non-indifference of the forums present at them to the clarified problems and the desire to find ways to their solving.

After analyzing the scientific cooperation of the Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy and the Union of Poles of the Khmelnytsky region, it can be confidently stated that such cooperation has a positive impact on the cultural, spiritual, historical, educational directions of development of Podillia.

In the future, the scientific and pedagogical staff of the Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy is planning to continue productive cooperation with the Union of Poles of the Khmelnytsky region in the scientific direction.

## References

1. Outstanding Poles in Podillia: the collective monography – Khmelnytsky: Scientific publishing department of KHPA, 2015. pp. 21–25.
2. Polish Word: The newspaper. URL: [http://www.wizyt.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=7117%3Aponad-200-gocina-konferencji-powiconej-represjom-wobec-polakow-w-chmielnickim&catid=109%3Aobwod-chmielnicki&Itemid=218](http://www.wizyt.net/index.php?option=com_content&view=article&id=7117%3Aponad-200-gocina-konferencji-powiconej-represjom-wobec-polakow-w-chmielnickim&catid=109%3Aobwod-chmielnicki&Itemid=218) (last accessed: 03.09.2018).
3. Repressions against Poles and other nationalities in Podillia: role and place in the history of the region: International scientific and practical conference. URL: <http://ksf.khnu.km.ua/res/8-6.pdf> (last accessed: 09.09.2018).

4. Independence of the Republic of Poland, independence of Ukraine – the way to European integration: materials of the international round table. Khmelnytsky: Scientific and publishing department, 2014. 136 p.

5. Repressions against Poles and other nationalities in Podillia: role and place in the history of the region: collective monography. Khmelnytsky: FOP Tsiupak A.A., 2016. 442 p.

6. Repressions against poles and other nationalities in Podillia: role and place in the history of the region. Documentary and journalistic essays of students of Khmelnytsky humanitarian pedagogical academy: materials of the international conference (Khmelnytsky, 23–24.11.2016). Scientific publishing department, 2016. 105 p.

7. Tendencies in the development of higher education in the European Union: realities and prospects: Materials of the all-Ukrainian round table with international participation / comp. Binytska K. M., Rashina I. O., Motsna T. A.]. Khmelnytsky: Scientific and publishing department, 2017. 335 p.

8. Agreement between the Ministry of education and science of Ukraine and the Minister of national education of the Republic of Poland about cooperation in the field of education. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/616\\_180](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/616_180) (last accessed: 04.08.2019).

9. Europejska współpraca w dziedzinie kształcenia i szkolenia (ramy ET2020) URL: [https://ec.europa.eu/education/policies/european-policy-cooperation/et2020-framework\\_pl](https://ec.europa.eu/education/policies/european-policy-cooperation/et2020-framework_pl) (last accessed: 05.08.2019).

# PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF SECOND-LANGUAGE LISTENING COMPREHENSION SKILLS DEVELOPMENT

Kharzhevskaya O., Oleksandrenko K., Pilishek S.,  
Rudoman O., Yakymchuk Yu., Peshkova T.

Khmelnytskyi National University, Ukraine

## Introduction

The training practice of listening comprehension skills is an integral component of the teaching process of speaking, reading, and writing, as well as a learning tool used in oral presentation of speech material and communicative receptive-reproductive exercises. The practical task of listening comprehension teaching is to train students to understand the foreign language offered by teachers in the classroom or by listening to the authentic speaker's speech.

However, listening is a complex psychological and physiological process that involves perceptual, mental, mnemonic activity. We call it a perceptual activity because the auditory perception of speech is performed. It can be also thought-provoking because it involves a number of mental operations, such as analysis, synthesis, induction, deduction, comparison, abstraction. The mnemonic activity is determined by the fact that during perception the selection and assimilation of the informative features of the linguistic and lexical units, as well as transformation of the auditory image and recognition, are stored by means of long-term memory as a result of comparison. Listening is a complex foreign language activity that involves a number of mental processes, such as: hearing, attention, recognition, comparison of speech types, their identification. They are fundamental in the psychological aspects of listening [1,11].

But usually the teacher may encounter some difficulties while conducting or teaching listening comprehension activities. The success of audition depends on:

- the listener (the levels of his or her voice comprehension development, memory, attention, interest, etc.), his individual psychological characteristics;
- the linguistic features of the audio text and its relevance to the students' speech experience and general knowledge;
- the conditions of perception of audio text [2, p.123].

So we can see that the perception of listening first of all depends on the listener. The qualities such as respond to signals of oral speech communication (pauses, logical stresses, rhetorical questions, communication phrases, etc.) play a

great role, his ability to switch from one mental activity to another, quickly to pertain the aim of the message that is pertinent to the whole context. These skills are developed in the process of learning many subjects especially including foreign language. The individual and psychological characteristics of students, the level of development of auditory differentiated sensitivity, auditory memory, the mechanism of probable prediction and the level of attention are also important [11].

### **The analysis of recent sources and publications**

The problem of assessing foreign language skills due to the development of working memory span has been researched in a number of works by many psychologists such as: Burstall C., Carroll J., Carpenter P., Daneman M., Kabardov M., Leontiev A., Pimsleur P., Poelmans P., Sapon S., Vigotskiy L., Zimnyaya I., and they all took into consideration the learners' peculiarities of native language as well. The speech production is influenced by the level of verbal intelligence and logical mind.

The Pimsleur Language Aptitude Battery (PLAB) was developed to measure language learning aptitude. Language learning aptitude does not refer to whether or not an individual can or cannot learn a foreign language (it is assumed that virtually everyone can learn a foreign language being given an adequate opportunity). The Pimsleur Language Aptitude Battery is an assessment developed to predict student success in foreign language learning, or language learning aptitude, and for diagnosing language learning disabilities.

According to John Carroll and Stanley Sapon, the authors of the MLAT (a similar language aptitude test intended for older subjects), language learning aptitude does refer to the "prediction of how well, relative to other individuals, an individual can learn a foreign language in a given amount of time and under given conditions" [5].

A test that is typically used as a measure of working memory is the reading span test, originally developed by Daneman and Carpenter (1980). In the test both components of working memory are involved: the processing component for dealing with the current sentence and the storage component for storing words to be remembered. In each test trial, participants are given some sentences that are presented one by one. Participants are asked to read them out loud and to try to remember the last word of each sentence. Reading involves the processing component of working memory, while rehearsal of the sentence final words involves

its storage component. Participants are told that the number of sentences per trial increases over the course of the test. Their reading span is defined as the maximum number of sentences that they can read while correctly recalling the last word. Examples of tests that are used for measuring the capacity of the phonological loop are the non-word repetition test, and the serial recognition test [6, 7]

A listening span test was constructed and used as a measure of working memory capacity differing from Daneman and Carpenter's original reading span test in terms of modality [7]. It is scored in a simple way by calculating the number of words correctly recalled. There are several adapted versions of the reading span test. Differences between the derived and the original tests can be found in the modality of input presentation (e.g., written vs. oral) or in the sentence processing assignment (e.g., reading aloud vs. making a semantic judgment on sentence content).

### **Presentation of the main research material**

Among the techniques which allow the students to make sure that they have correctly understood the news bulletin, guided listening gives them the opportunity to make fairly rapid progress, if it is followed (in the language laboratory for example) by individual comprehension exercises in some depth, or by written tests such as dictation, with or without omissions rapid note-taking questions: which need a precise answer with a choice of two answers (true or false) with multiple choice answers.

For the students whose reading comprehension is more advanced than their listening comprehension, it is worthwhile to approach the radio news bulletin by way of written news, comparing the newspapers' versions with the news broadcast the same day on television or radio – the last one is the most difficult, without text, illustration or visible speaker. After this work, it can be recommended to compare the different versions of news and comments, which are basically the same yet different according to whether they are presented in the press, on television or on radio, (considering for example sentence structure, repetition, use of indirect speech, etc.)

As for the linguistic features of the text itself, the difficulties of listening comprehension of foreign text depends on certain factors. The primary factor is the duration of the message. It is easier to keep in memory and understand short messages. The longer the message, the more difficult it is to separate the value centers, keep them in memory and detect the content of the text as a. For the pre-



intermediate level of study 3-4 minutes are necessary, for the intermediate – 4-5 minutes, for the upper-intermediate – 5-7 minutes. Besides the duration of the message, there is another factor that is a visual support, so called illustration of the content of the message. Drawing a picture (or explaining a movie) is easier for the audience than the same story without relying on clarity [3, p.17].

The listening is a complicated both psychological and physiological processes. In order to communicate adequately it is important for a listener to understand what the speaker says. Understanding of spoken language can be described as an inferential process based on the perception of several cues rather than a simple match between sounds and meaning. As it was noted by Poelmans P. [10], the listening comprehension process is a combination of four sub-processes or modules:

- hearing: the auditory reception of an acoustic signal (perception), as is also performed on non-speech sounds;
- categorization of sounds: categorizing incoming sounds in terms of the sound categories of the language;
- word recognition: breaking up the stream of sounds into linguistic units (morphemes, words) and retrieving their meaning from long term memory;
- comprehension: integrating the meanings of the words in their sequence into an interpretation of the entire utterance, so to say a reconstruction of the speaker's communicative intention.

Obviously, the third and fourth modules draw heavily on linguistic knowledge. Both lexical knowledge, ability to recognize words, and knowledge of the rule system of the language, ability to decode the grammatical relationships among the words that make up the sentence, are part of the listener's linguistic competence. However, especially at the third stage, knowledge of the world, i.e., non-linguistic knowledge, plays an often-indispensable role in the listening process. [10, p.10]

Listening comprehension must be active work. It has been a longstanding tendency of language teaching in Ukraine to do nothing more than have students listen to a recording (too often a recording of a written text — a newspaper article or an extract from some literary work) and then to ask questions leading the students to reconstitute or reformulate the content of the recording. This sort of work is often artificial, firstly because of the choice of text, and secondly because the problem of answering a series of questions and reconstituting what one has just heard is not a situation which arises in the normal course of events. Besides which, the students'

attitude is very passive during their listening, and it is rare to see them keep up their attention for more than a minute or two.

If, on the other hand, listening is accompanied by some activity, the students receive the listening comprehension exercise in a completely different way.

The student is guided by explaining what he should be looking for or what problem he should be solving, the teacher's task is to guide his attention in a particular direction. Again, having some activity to pursue corresponds much more to reality. Whether we are listening to the news on the radio, to a conversation between friends, or to some incident told by a colleague, we cannot help wondering about what is to follow, in terms of a familiar situation — the current news, what we know of our friends, the circumstances which have led to the colleague telling his story, etc. It is often just the situation, known to both speaker and listener — the knowledge they share — which is lacking in so many listening comprehension exercises; and it is this that we are trying to reinstate by giving the students a definite task to do. Moreover, the student often appreciates these exercises as a game, a problem to which he has to find the solution [12].

1. It is important not to dissociate listening comprehension from other skills. Most of the following exercises have visual written support, and give opportunity for free expression afterwards.

2. It is important to use authentic texts for listening comprehension ("authentic" is here the meaning that which truly belongs to spoken language and not to oral written language) — that is to say, to use, if possible, "spontaneous" recordings, made without a script prepared in advance. Such recordings are often more difficult, since the language used has not been simplified in advance; this should not, however, pose too great a problem if we consider that students should be taught a holistic comprehension before comprehension in detail, and that it is the type of activity given to the students more than the language used in the recording which makes an exercise more or less difficult [3].

According to Kabardov M. (1985) the ability to speak a foreign language takes into account the peculiarities of the native language of the learners. "No one was able demonstrate a brilliant command of a foreign language with poor development of their native language" [8, p.198].

The process of expression is influenced primarily by the degree of development of verbal intelligence and logical thinking. One of the essential

indicators of learning is the ability to independently establish the language pattern in terms of verbal formulation, and in terms of practical linguistic action, which characterizes both the general ability to learn and special ability to "advance" in language. Some of these indicators are more related to mental activity, others have the relevance to features of mnemonic activity [9].

Specificity of thinking-mnemic activity in general and speech activity in particular are determined namely by two indicators: the verbal memory span and the quantity of actual verbal hypotheses in the given context. The verbal memory span is revealed in speech activity and implies the work of long-term memory. We show keen interest to study the hearing differential sensibility that is often a key component in the complex of foreign language abilities and is necessary for the development of listening comprehension skills among the students of high educational establishments. Batteries of tests developed by such foreign authors as Carroll J., Carpenter P., Daneman M., Pimsleur P., Sapon S. have many things in common and define the following indicators:

- 1) auditory sensitivity, that is, the ability to distinguish, memorize sounds;
- 2) the correlation of sound with the corresponding symbol, that is "sound-symbol" relevance;
- 3) grammatical ability, or grammatical sensitivity, in particular, the ability to deduce grammatical rules from linguistic material;
- 4) verbal memory span.

Here we can single out the abilities that are directly involved in the foreign language activity and are necessary for a real mastery of a second language listening comprehension skills. The following are the main indicators of cognitive processes related to language activity: the level of auditory differential sensitivity, the verbal memory span, the ability of prediction in language activities, generalization and selection of foreign language patterns.

1. The level of auditory differential sensitivity. There can be studied a number of true and false differentiations.

2. The amount of verbal memory. The criteria for estimating the amount of verbal memory are the following:

3. Prediction in language activities. It is estimated by two parameters:

- a) the speed of formulation of linguistic hypotheses, which is measured by the average number of hypotheses per phrase;

b) the flexibility of thought processes that provide linguistic prediction, which is measured by a number of different types of hypotheses.

4. Generalization and selection of language patterns. The correct translation of sentences from native into English language and visa versa [4].

Here we suggest several tasks that aim to teach the students to predict the further events. The theme is connected with the academic study and current students' routine. The students are offered to listen to the school assembly about how to study and do the following exercises by practising and improving their listening skills. The learners do this exercise before listening.

**Task 1.** Preparation: grouping. Put the study ideas in the correct group.

1. Just read your notes, but don't highlight them or write anything extra
2. Think long term
3. Make a study timetable
4. Take regular breaks
5. Answer email, text messages and Facebook messages immediately
6. Work where there are distracting noises

**Task 2.** Checking understanding. True or false statements. True/False

1. The students will be taking exams soon.
2. A revision timetable could be from one to six weeks.
3. No one can really concentrate properly with music on.
4. You should try to forget about the internet, text messages, Twitter, Facebook, etc. while you're studying.
4. You should try not to have a break until you really need one.
5. Underlining or highlighting your notes is better than writing more notes.
6. Mind maps are good because they mirror the way the brain works.
7. The most important thing is to remember the information. You don't have to understand it.

**Task 3.** Checking vocabulary: gap-fill

1. Some of you are probably fantastic at studying, really organized and \_\_\_\_\_.
2. It's a good idea to have some kind of \_\_\_\_\_ or \_\_\_\_\_.
3. If you're studying for an important exam, it's important to think \_\_\_\_\_.
4. Make sure the place where you're going to study is \_\_\_\_\_, with no distracting \_\_\_\_\_.

5. If you have to work near a TV, you might have to use \_\_\_\_\_ to drown out the sound of the TV.

6. While you're studying, you should \_\_\_\_\_ the internet, text messages, Facebook, etc.

7. You should plan your studying and take regular \_\_\_\_\_.

8. It is better to write notes, so your mind is \_\_\_\_\_ the information more.

9. Mind maps seem to work in the same way the \_\_\_\_\_ works.

10. Which study method you choose all depends on your personal \_\_\_\_\_.

**Task 4.** Match the vocabulary with the correct definition and write a – h next to the numbers 1– 8.

| Word            | Definition  |
|-----------------|---|
| 1. a divide     | a. compared with, against   |
| 2. to make up   | b. a big system consisting of many parts that are                           |
| 3. universal    | c. to make a big thing or number from smaller things or numbers             |
| 4. abstract     | d. annoyed or upset because you cannot achieve what you want                |
| 5. frustrated   | e. something that exists as an idea, not a real thing you can see and touch |
| 6. vague        | f. a difference or separation   |
| 7. a network    | g. not very clear or detailed   |
| 8. versus (vs.) | h. existing everywhere and for everyone                                     |

An important component of an optimal motivation model is foreign language ability. We believe that knowing everyone's abilities is very important while organizing a foreign language course or academic lesson. This will allow the teacher to set the students appropriate tasks and demands, to effectively carry out an individual approach, to offer special tasks for the development of foreign language auditory abilities.

## Conclusion.

Summarizing theoretical and methodological foundations of analysis and research on the formation of listening comprehension skills and development of working memory span, the following conclusions can be done. Listening is one of the most important types of second-language speaking activity without which it is impossible to communicate a foreign language. Effective teaching of listening comprehension to the students requires taking into consideration their psychological features, particularly of this type of mental activity, keeping in mind the difficulties that occur when students work with audio texts, and to use the systems of exercises skillfully. Carefully selected authentic material, professionally-oriented academic guidance reduce problems, misunderstanding and handicaps of the learners while listening to the audio texts, and thus contribute to the increase of students' motivation.

## References

1. Barsalou L. (1999). Language comprehension: Archival memory or preparation for situated action? *Discourse Processes*, 28(1), 61-80.
2. Bigych O. B. (2011) Methodology of formation of foreign language competence in listening for the students of linguistic specialties. *Methodology of formation cross cultural communicative competence of foreign languages: course of lectures*. K.: Lenvit, 2011. – P. 175-188. [in Ukrainian].
3. Brindley G. (1998). Assessing listening abilities. W. Grabe et al. (eds.), *Annual Review of Applied Linguistics 18: Foundations of second language teaching*. New York: Cambridge University Press. 171-191.
4. Brumfit Ch. (1990). *Communicative Methodology in Language Teaching*. Cambridge University Press, 234 p.
5. Daneman M., Carpenter P. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
6. Daneman M., Hannon B. (2001). Using working memory theory to investigate the construct validity of multiple-choice reading comprehension tests such as the SAT. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 208–223.
7. Daneman M., Merikle P.M. (1996). Working memory and comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3, 422–433.
8. Kabardov M.K. (1985). On the Diagnostics of Language Aptitude. *Psychological and Psychophysiological Research of Speech*. Moscow, Nauka [in Russian].
9. Leontiev A.A. (1969). *Language, Speech, Speech Activity*. Moscow, Russia: Prosveschenie [in Russian].
10. Poelmans Petra. Developing second-language listening comprehension: Effects of training lower-order skills versus higher-order strategy [https://englishagenda.britishcouncil.org/sites/default/files/attachments/f044\\_elt46\\_the\\_teaching\\_of\\_listening\\_comprehension\\_v3.pdf](https://englishagenda.britishcouncil.org/sites/default/files/attachments/f044_elt46_the_teaching_of_listening_comprehension_v3.pdf)/(date of access 02.09.2019). [in English].
11. Vigotskiy L. S. (1982). *Thinking and Speech*. Moscow, Russia [in Russian].
12. Zimnyaya I.A. (1985) *Psychological Aspects of Teaching of Foreign Language Speaking*. Moscow, Russia [in Russian].

# STRATEGIC PRIORITIES FOR THE DEVELOPMENT OF THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Mykoliuk O., Bobrovnyk V.  
Khmelnyskyi National University, Ukraine

## Introduction

Given the increasing exhaustion of traditional energy resources and the aggravation of global contradictions in economic development, one of the main national strategic objectives is to ensure energy security. This problem can be solved, first of all, through the diversification of energy resources, optimization of the model for energy consumption and implementation of energy-efficient technologies based on renewable energy sources. Over the last decade, renewable energy has not just become a mere tool for realizing the idea of low carbon society. It can be an economically viable alternative to fossil fuels. Between 2006 and 2016, the global consumption of renewable energy increased from 93.2 to 419.6 million tonnes or by 4.5 times. In 2015, the total global annual capacity growth of renewable energy exceeded that of traditional generation, which emphasizes the competitiveness of renewable energy production [1; 2].

## Typology of knowledge

Nowadays, renewable energy is rapidly spreading, replacing traditional and environmentally unfriendly energy sources. Renewable energy is based on the use of solar, water, wind and natural heat. In EU legislation, the definition of renewable energy sources was introduced in 2009 in Directive 2009/28/EC [3] on the promotion of electricity produced from renewable sources in the internal electricity market. The term “renewables energy sources” should be understood as nonfossil energy sources (wind, solar, geothermal energy, waves and tides, hydropower, biomass, organic waste gas, waste gas and biogas) [4]. The most thorough definition of the term “renewable energy” was published in 2002 by the International Energy Agency (IEA). According to its classification, renewable energy sources include:

1) combustible renewables and biomass waste, namely solid biomass and animal products (biological mass, including any plant material used directly as fuel or converted to other forms before burning (wood, vegetable and animal waste; charcoal derived from solid biomass); gas or liquid from biomass produced in the process of anaerobic fermentation of biomass and solid waste and burned for electricity or heat

generation; municipal waste, namely waste from residential, commercial and public sectors that are burned to generate heat and electricity; industrial waste, namely solid and liquid materials that are burned to generate heat and electricity at specialized enterprises;

2) hydropower, that is a potential or kinetic energy of water converted to electrical energy by large and small hydropower plants;

3) geothermal energy, that is thermal energy coming from the bowels of the Earth, usually in the form of hot steam or water; it is used for electricity generation or directly as a heat source for heat supply systems, agriculture needs, etc .;

4) solar energy, that is the radiation of the sun used as thermal and electrical energy;

5) wind energy, that is kinetic wind energy used to generate electricity in wind turbines;

6) tidal, wave and ocean energy, that is the mechanical energy of tidal flows or waves used to generate electricity [5–7].

The world community has discovered the most promising way to address the issue of energy supply. It is to use renewable energy sources that are characterized by an inexhaustible resource potential and environmental friendliness. One of the major events contributing to the development of renewable energy is the 2015 United Nations Climate Change Conference in Paris. Indeed, 195 countries have signed a historic agreement on a global climate change issue and pledged to double investment in the study of clean energy over the next five years. The Paris Agreement entered into force on November 4, 2016. Its main mission is to limit warming to 1.5 °C. The main objective of the Paris Agreement is to increase the capacity of the participating countries to deal with the effects of climate change. To achieve these ambitious goals, they have envisaged certain flexible opportunities for funding, technology transfer and strengthening of institutions that can be applied to countries with different levels of economic development [1]. It must be noted that Ukraine was one of the first to accede to the Paris Agreement and submit its proposals on the intended nationally determined contributions. An important practical step towards its implementation, as well as a step towards the implementation of European environmental standards, is the approval by the Government of Ukraine of a National Emission Reduction Plan for Large Combustion Plants in November 2017, whose implementation is aimed at the gradual and substantial reduction of emissions from thermal generation. In



September 2015, Ukraine informed the UNFCCC Secretariat of its goal of not exceeding 60% of the 1990 greenhouse gas emissions level in 2030. The Paris Agreement calls on countries to periodically review their commitments to reduce their greenhouse gas emissions and introduce a cyclical mechanism for updating the parties' targets. Thus, each party is required to report (submit to the UNFCCC Secretariat) every five years, starting in 2020, the replacement of the intended nationally determined contributions, which were recorded in 2015 [8].

An effective mechanism used by the EU to stimulate the development of renewable, alternative energy sources are national strategies, programmes and plans. The issues of energy efficiency and energy security in Ukraine are dealt with by the State Agency for Energy Efficiency and Energy Conservation (State Energy Efficiency), Association for Energy Efficiency and Energy Conservation. Some issues are covered by the Bioenergy Association of Ukraine and the Institute for Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. Globally, the analysis of energy efficiency is conducted by the IEA, Enerdata, Bloomberg, British Petroleum; about the use of renewable energy – by the Renewable Energy Policy Network for the 21st century (REN 21), etc.

The development of renewable energy has necessitated a clear regulation of the economic, legal and organizational aspects of the use of renewable energy. Therefore, in 2003, the Law of Ukraine “On Alternative Energy Sources” was adopted. It defines the term as follows: “alternative energy sources – renewable energy sources, which include solar, wind, geothermal, wave and tidal energy, hydropower, biomass energy, organic waste gas, sewage treatment plants, biogas and secondary energy resources, namely blast furnace and coke oven gases, coal bed methane, conversion of the waste energy potential of technological processes”. Thus, in line with the Ukrainian law, “alternative energy” is a slightly broader concept than “renewable energy” since it targets not only clean renewables but also secondary energy resources. It must be noted that today the state is encouraging the use of renewable energy to replace traditional energy resources, in particular, imported natural gas and oil. To clearly understand the distinction between alternative and renewable energy, one must bear in mind that there is still no single approach to defining these categories. Also, the concepts of “non-traditional” and “renewable” sources of energy are quite often used in the scientific literature. Therefore, it is important to interpret

these categories. Theoretical approaches of different scholars and researchers to defining the concept of alternative energy sources are presented in Table 1.

According to international law, there are several types of alternative energy sources, namely renewable, new, non-traditional ones, etc. The ECOSOC Resolution of 1956 is the first international act in this field that divides all energy sources into traditional and new ones. In turn, EU countries use the terms “alternative sources” and “renewable energy sources”. The Ukrainian legislation accepts the term “alternative energy sources”. This term is quite appropriate as today and later in the future, the energy from these sources will be used along with (alternatively) coal, oil and gas.

There is currently no clear understanding as to what to refer to alternative sources. In the EU, alternative sources first included the liquefaction and gasification of solid fuels, exploitation of geothermal fields, as well as the use of solar energy (Regulation (EEC) No 2039/82 as regards the granting of financial support to projects to exploit alternative energy sources).

**Table 1. Approaches to defining such concepts as “alternative energy sources” and “renewable energy sources”**

| Author/source                                      | Definition   |
|--|--|
| The law of Ukraine “On Alternative Energy Sources” | Renewable energy sources which include solar, wind, geothermal, wave and tidal energy, hydropower, biomass energy, organic waste gas, sewage gas, biogas. Secondary energy sources include blast furnace and coke coal gas, coal bed methane, conversion of the waste energy potential of technological processes. |
| H. Pivniak   | Sources based on permanent or temporary natural processes, as well as the life cycle of flora and fauna and life activity of individuals.  |
| Yu. Sibikin, M. Sibikin                            | Energy sources that are inexhaustible, environmentally friendly and do not alter the energy balance of the Earth.  |
| Ye. Shkuridin                                      | Renewable, permanent or temporary energy sources that are an alternative (substitute) to relevant traditional (non-renewable) energy sources.  |
| J. Twidell, A. Weir                                | Sources based on energy flow in the environment that are not the result of purposeful human activity.  |
| O. Bělohávek                                       | Sources or means of production other than the burning of fossil fuels.   |
| I. Pidhirnyi                                       | Ways, devices or other methods for obtaining energy from the energy of renewable or practically inexhaustible natural resources and phenomena which can replace a traditional energy source operating on oil, gas or coal.   |
| S. Naraievskiyi                                    | Input elements of the energy system that are transformed into secondary energy (electrical, thermal, mechanical) through the use of alternative  |

|  |  |
|--|--|
|  | conversion technologies.   |
| M. Syrotiuk  | Renewable energy sources in the geographic environment of the Earth are solar, wind, geothermal energy, as well as bioenergy and river hydropower. They are practically inexhaustible and environmentally friendly.  |
| V. Baranovska,<br>S. Berzina,<br>O. Bohdan,<br>O. Voznyi   | Renewable energy sources exist permanently or temporarily as energy streaming from the sun, wind, Earth heat, wave and ocean energy, river hydropower, biomass.  |
| O. Borodina  | Alternative energy sources are renewable sources including energy from solar radiation, wind, seas, rivers, biomass, Earth heat. Secondary energy resources exist permanently or temporarily.  |
| A. Shevtsov,<br>M. Zemlianyi,<br>T. Riauzova   | Non-traditional and renewable energy sources include hydroelectric power plants (large, average and small), geothermal, solar, photovoltaic, thermal, tidal, ocean and wind energy, solid biomass, biomass gases, liquid biofuels and municipal renewals, which the IEA defines as renewable energy sources.   |
| O. Melnykova,<br>A. Prakhovnyk,<br>Dag Arne Hoystad,<br>Ye. Inshenkov,<br>V. Deshko,<br>A. Konechenkov | Renewable energy sources are those that are constantly renewed in nature (solar radiation, biomass, river and ocean waters, geysers, etc.) and exist based on the permanent or temporary flows of energy, namely solar radiation (biomass, solar, wind and wave energy); the gravitational interaction between the sun, the moon and the Earth (which results in sea tides); thermal energy of the Earth's core, as well as chemical reactions and radioactive decay in its bowels (geothermal energy of geysers). |
| L. Klymenko,<br>S. Soloviov,<br>G. Nord  | Self-renewable energy sources include energy from sunlight, wind, geothermal, tides, etc.  |
| A. Prokip  | Renewable energy resources are resources that are constantly generated naturally or anthropogenically.   |

Eventually, they started to separate the legal regulation of the generation, transportation, exploitation and consumption of electricity from renewable sources from renewable transport fuels.

Under the Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market [9], they include wind, the sun, waves and other hydropower sources, geothermal energy sources. etc.

The Directive 2009/28/EC [2] considers renewable energy sources as a whole and indicates that energy from renewable non-fossil sources includes wind, solar,

aerothermal, geothermal and ocean energy, hydropower, biomass, organic gas, purified gas sewage and biogas. It is noted that aerothermal energy is obtained in the form of heat in the atmospheric air, geothermal energy – in the form of heat from the surface of the earth, hydrothermal energy – in the form of heat of surface waters, biomass – biological share of production, waste and residues of biological origin from agriculture, including plant and animal substances, forestry and related industries, fisheries and aquaculture, as well as biological part of industrial and household waste [10; 11].

According to the Statute of the International Renewable Energy Agency (IRENA), the term “renewable energy” encompasses all forms of energy continuously produced by all renewable sources such as bioenergy, geothermal energy, hydropower, ocean energy, including tidal, wave and thermal energy, solar energy, wind energy. Consequently, the IEA singles out the following types of renewable sources: biomass energy, geothermal energy, hydropower, ocean energy, solar energy, wind energy.

According to Art. 1 of the Law of Ukraine “On Alternative Energy Sources”, alternative energy sources are recognized as renewable energy sources, which include solar, wind, geothermal, wave and tidal energy, hydropower, biomass energy, organic waste gas, sewage gas, biogas. In turn, secondary energy resources include blast furnace and coke oven gases, coal bed methane, conversion of the waste energy potential of technological processes.

The study of “REMAP 2030. Renewable Energy Prospects for Ukraine”, published in April 2015 by the IRENA, proves that Ukraine has significant potential for renewable energy, which is more than 98.0 million tonnes of fuel equivalent per year (see Table 2).

Given its large potential of renewable energy sources estimated at 98 million tonnes, Ukraine currently uses it by only 5%. Only 11% of final consumption in Ukraine is to be generated from renewable energy sources under the provisions of ESU-2035 (The Energy Strategy of Ukraine until 2035), the obligations to the Energy Community and the objectives of the National Renewable Energy Action Plan until 2020.

However, this was a political task rather than an objective assessment of realistic investment opportunities. Thus, the likelihood of its implementation is rather low. It must be noted that between 2007 and 2017 there was a gradual increase in

installed capacity of renewable energy sources in Ukraine. However, the difficult economic situation in the country did not contribute to the achievement of the goals adopted in the National Renewable Energy Action Plan, which aims to achieve 11% share of renewable energy sources in energy consumption (see Table 3).

**Table 2. The technically achievable potential of energy generation from renewable energy sources and alternative fuels**

| Areas for utilizing renewable energy sources         | The technically achievable potential of energy generation, million tonnes of fuel equivalent per year |
|--|---|
| 1. Wind energy                                       | 28.0  |
| 2. Solar energy, including                           | 6.0   |
| 2.1) electricity                                     | 2.0   |
| 2.2) thermal energy                                  | 4.0   |
| 3. Small hydropower                                  | 3.0   |
| 4. Bioenergy, including                              | 31.0  |
| 4.1) electricity                                     | 10.3  |
| 4.2) thermal energy                                  | 20.7  |
| 5. Geothermal heat energy                            | 12.0  |
| 6. Environmental energy (heat pumps)                 | 18.0  |
| Total replacement of traditional fuel energy sources | 98.0  |

**Table 3. Energy consumption based on renewable energy sources (between 2007 and 2017)**

| Year  |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 2007  | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015  | 2017  |
| <b>1. Total primary energy supply, thousand tonnes oil equivalent</b> |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
| 139330  | 134562 | 114420 | 132308 | 126438 | 122488 | 115940 | 105683 | 90090 | 91658 |
| <b>2. Hydropower, thousand tonnes oil equivalent</b>                  |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
| 872   | 990    | 1026   | 1131   | 941    | 901    | 1187   | 729    | 464   | 660   |
| <b>3. Total percentage, %</b>   |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
| 0.6   | 0.7    | 0.9    | 0.9    | 0.7    | 0.7    | 1.0    | 0.7    | 0.5   | 0.7   |
| <b>4. Biofuel energy and waste, thousand tonnes oil equivalent</b>    |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
| 1508  | 1610   | 1433   | 1476   | 1563   | 1522   | 1875   | 1934   | 2102  | 2832  |
| <b>5. Total percentage, %</b>   |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
| 1.1   | 1.2    | 1.3    | 1.1    | 1.2    | 1.2    | 1.6    | 1.8    | 2.3   | 3.1   |
| <b>6. Wind and solar energy, thousand tonnes oil equivalent</b>       |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
| 4   | 4      | 4      | 4      | 10     | 53     | 104    | 134    | 134   | 124   |

|  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>7. Total percentage, %</b>  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  |
| <b>Total energy from renewable energy sources</b>                                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| <b>8. Total energy supply from renewable sources, thousand tonnes oil equivalent</b> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2384   | 2604 | 2463 | 2611 | 2514 | 2476 | 3166 | 2797 | 2700 | 3616 |
| <b>9. Share of energy supply from renewable sources, %</b>                           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1.7  | 1.9  | 2.2  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.7  | 2.6  | 3.0  | 3.9  |

As of year-end 2017, 1.117 MW capacity of renewable energy sources was installed, producing about 1% of the total electricity generated. Wind and solar power plants account for the largest share of renewable energy sources in Ukraine, generating 925 GWh and 492 GWh of electricity in 2017, respectively.

## Summary

Therefore, the main ways for developing renewable energy sources can be the following: to implement a stable and anticipated policy for stimulating the construction of solar power stations and wind farms; to conduct international communication campaigns to encourage the entry of foreign strategic and financial investors into the renewable energy market of Ukraine; to construct and force in application renewable energy sources of 5 GW capacity; to increase the use of biomass in the generation of electricity and heat.

## References

1. The role and place of Ukrainian energy in the world energy processes. – Kyiv, 2018.
2. Modern energy is renewable energy [Electronic source]. – Available at <http://www.epravda.com.ua/publications/2016/11/24/612079/>.
3. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources [Electronic source] // Based on the materials of the European Union Law official website. – Available at <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32009L0028>.
4. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market // Official Journal L 283. – 27/10/2001. – P. 33–40.
5. On alternative energy sources: the Law of Ukraine of 20.02.2003, No 555 IV // Information of the Verkhovna Rada of Ukraine. – 2003. – No 24. – Art. 155.
6. On renewable energy [Electronic source] // Official site of the International Energy Agency. – Available at <http://www.iea.org/topics/renewables/>.
7. On Electricity, the Law of Ukraine on the promotion of the use of alternative energy sources: the Law of Ukraine of 01.04.2009, No 1220–VI // Information of the Verkhovna Rada of Ukraine. – 2009. – No 32–33. – Art. 496.
8. Christoph Frei Secretary General, World Energy Council World Energy [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/03/2016-World-Energy-Issues-Monitor-Full-report.pdf>

9. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market // Official Journal L 283. – 27/10/2001. – P. 33–40.

10. Towards a green economy modernization: sustainable consumption and production model: a report / S. V. Berzina et al. – Kyiv, 2017. – 138 p.

11. Building a globally competitive industry through the use of innovations and modernization [Electronic source]. – Available at <http://strategy-council.com/uk/events/ukrainskij-forum-masino/buduvanna-ta-inzyniringu>.

## 2 MODERN ENGINEERING AND TECHNOLOGY

### OBRÓBKA ELEMENTÓW Z NIECIĄGŁOŚCIAMI GEOMETRYCZNYMI

Słomion M.<sup>1</sup>, Wojciechowski A.<sup>2</sup>, Matuszewski M.<sup>3</sup>, Mazurkiewicz A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Zarządzania, Poland

<sup>2</sup> ODEKA – Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, Bydgoszcz, Poland

<sup>3</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Poland

#### **Wprowadzenie**

Do jednych z najważniejszych technik wytwarzania zalicza się obróbkę skrawaniem, w której skład wchodzi między innymi takie metody jak np.: toczenie, frezowanie czy wiercenie. Kształtowanie części maszyn tymi metodami obejmuje ok. 70% wszystkich technik wytwarzania, a udział obróbki skrawaniem w przemyśle maszynowym wynosi obecnie ok. 50%. Problematyka występująca w tych procesach jest dość obszerna, gdyż trzeba zwrócić uwagę na to, iż obróbka skrawaniem, a przede wszystkim w metalu, jest procesem, który przebiega pod dużymi obciążeniami. Występujące siły tarcia, naprężenia oraz opór jaki stawia element obrabiany względem ostrza, przyczyniają się do dużego wzrostu temperatury. Wpływa to wszystko na zmiany warstwy wierzchniej, a w szczególności na cechy struktury geometrycznej powierzchni, obrabianych elementów oraz na ostrza narzędzi. Aby sprostać tym warunkom, ostrza muszą posiadać odpowiednie właściwości, być poprawnie dobrane do danej obróbki oraz muszą być właściwie ustalone warunki obróbki (parametry technologiczne, chłodzenie i smarowanie strefy obróbki, itp.). Dodatkowo proces skrawania nie zawsze przebiega w warunkach standardowych. Bardzo często zwłaszcza przy regeneracji spotkać można się z obrabianiem elementów, które na powierzchni obrabianej posiadają tzw. nieciągłości geometryczne. W literaturze rozróżnia się dwa rodzaje nieciągłości: geometryczne oraz strukturalne. Do pierwszej grupy zalicza się nieciągłości powstałe na skutek wytwarzania elementu, bądź będące efektem zaprojektowania. Do grupy tej należą otwory, gwinty, rowki itp. Natomiast nieciągłościami strukturalnymi są wszelkiego rodzaju wtrącenia niemetaliczne, pory, połączenia spawane oraz zgrzewane itp. [1, 4, 9].

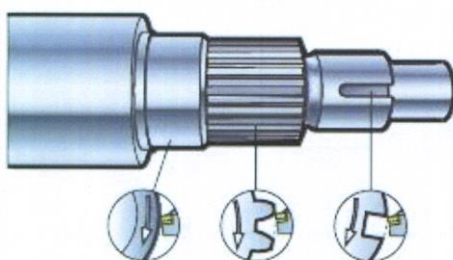
W nieciągłościach geometrycznych podczas rozciągania i zginania powierzchni elementu na dnie występują złożone stany naprężeń i naprężenia te przekraczają naprężenia normalne. Przyczynia to się do tego, że miejsca te są



osłabione i najczęściej w tych miejscach występują uszkodzenia, co w efekcie prowadzi do utraty zdolności całej maszyny [7].

Podczas obróbki części z nieciągłościami geometrycznymi dochodzą dodatkowo obciążenia dynamiczne, które oddziałują na krawędź skrawającą, co prowadzi do szybszego zużycia ostrza. Zużycie ostrza przejawia się w postaci zmian geometrycznych krawędzi skrawającej, zazwyczaj w formie ubytku jego materiału poprzez starcie, wykruszenia bądź wyszczerbienia lub wyłamania ostrza. Warunki pracy przy nieciągłościach geometrycznych i zużycie ostrza przekładają się z kolei na kształtowaną strukturę geometryczną powierzchni elementów maszyn [2, 5, 9, 11].

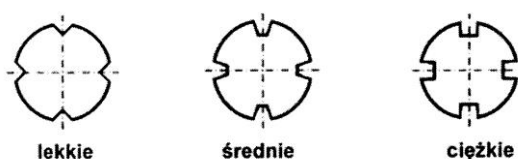
Przykłady powierzchni nieciągłych geometrycznie podlegających obróbce skrawaniu jest wiele, są to na przykład koła zębate, wałki wpustowe i wielowypustowe, wałki z otworami poprzecznymi, tarcze, piasty itp. (rys. 1).



**Rys. 1. Przykład wałka z powierzchniami nieciągłymi geometrycznie [3]**

Obróbka elementów, najczęściej poprzez toczenie, w takich warunkach jest wykonywane głównie podczas regeneracji, gdzie dany element podlega np. przetoczeniu na inny wymiar nominalny. Przy produkcji nowych elementów problem ten nie występuje gdyż w procesie technologicznym np. wałka, elementy takie jak otwory, wpusty wykonuje się w końcowym etapie.

Naprężenia jakie powstają na ostrzu noża podczas obróbki przerywanej są uzależnione w dużej mierze od wielkości kąta wejścia ostrza w materiał. I tak można przyjąć trzy rodzaje uderzenia na ostrzu, lekkie, średnie i ciężkie. Im mniejszy kąt wejścia ostrza w materiał, tym mniejszy przyrost naprężenia na ostrzu (rys. 2).



**Rys. 2. Przykład wałka z powierzchniami nieciągłymi geometrycznie [3]**

Istotną rzeczą przy tego rodzaju obróbce jest także udział skrawania przerywanego, który uzależniony jest od wielkości powierzchni oraz ilości elementów nieciągłych występujących na powierzchni elementu obrabianego (rys. 3).



Rys. 3. Względny udział skrawania przerywanego w stosunku do powierzchni całkowitej [3]

### Nieciągłości geometryczne a zużycie ostrza

Katastroficzne stępienie ostrza, polegające na gwałtownym przyroście zużycia, wykruszeniu lub wyłamaniu znacznych jego fragmentów, może wystąpić nie tylko na końcu okresu trwałości, lecz także niespodziewanie nawet w początkowym okresie jego pracy. Niebezpieczeństwo to jest szczególnie duże przy trudnych warunkach skrawania takich jak np. obróbka elementów nieciągłych geometrycznie zwana także obróbką przerywaną, polegająca na cyklicznym zagłębianiu się ostrza w materiale obrabianym i wychodzenia z niego. Podczas tego rodzaju obróbki ostrze jest narażone na obciążenia mechaniczne udarowe oraz cieplne. Skrawanie przerywane przyspiesza zużycia ściernie ostrza, choć nie zmienia w sposób zasadniczy proporcji wpływu poszczególnych warunków skrawania. Przyczyną przyspieszenia zużycia ostrza przy skrawaniu przerywanym są przeważnie mikrowykruszenia powstające na krawędzi skrawającej [5, 6].

Zużycie ostrza przejawia się w postaci zmian geometrycznych krawędzi skrawającej, zazwyczaj w formie ubytku jego materiału poprzez starcie, wykruszenia bądź wyszczerbienia lub wyłamania ostrza. Podczas skrawania występują znaczne naciski jednostkowe działające na ostrze oraz duże temperatury, co prowadzi w efekcie do ubytku oraz zmian właściwości. Mechanizm zużycia jest bardzo złożony, uwarunkowany działaniem cieplnym, zjawiskami adhezji, dyfuzji oraz utleniania. Czynniki te odgrywają mniejszą lub większą rolę, zależnie od warunków skrawania [5, 8].

W zależności od warunków skrawania, zużycie ostrza koncentruje się głównie na powierzchni przyłożenia oraz natarcia. Zużycie powierzchni przyłożenia jest widoczne na ostrzu w postaci szeregu równoległych rys, tworzących na całej czynnej długości tej powierzchni charakterystyczny ślad zużycia o nierównomiernej szerokości. Przy zużyciu powierzchni przyłożenia krawędź traci pierwotny zarys,

odsuwając się w głąb ostrza, a wierzchołek cofa się w stosunku do pierwotnego położenia, powodując zmniejszanie głębokości skrawania. Na skutek nadmiernego zużycia powierzchni przyłożenia proces skrawania musi zostać przerwany, gdyż dalsza praca może spowodować znaczny wzrost chropowatości powierzchni, a nawet zniszczenia ostrza [5, 8].

Zużycie powierzchni natarcia objawia się w nieco inny sposób niż zużycie powierzchni przyłożenia. W miejscu zetknięcia się wióra z powierzchnią natarcia, w pewnej odległości od krawędzi skrawającej, powstaje ślad tego zetknięcia w postaci niewielkiego rowka. Powierzchnia tego rowka wzrasta z upływem czasu skrawania powodując zbliżanie się krawędzi ostrza do krawędzi rowka. Część ostrza pomiędzy tymi krawędziami staje się coraz słabsza i w pewnej chwili ulega przerwaniu, co uniemożliwia dalszą pracę narzędzia z obawy przed jego całkowitym zniszczeniem [5, 8].

Zużycie w postaci rowka na powierzchni natarcia do chwili przerwania krawędzi ostrza nie wywiera szkodliwego wpływu na stan warstwy wierzchniej i na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotu obrabianego. Jest natomiast kłopotliwe w pomiarze ponieważ wymaga wyłączenia narzędzia z pracy i stosowania specjalnych przyrządów pomiarowych. Zużycie powierzchni przyłożenia prawie od samego początku wpływa niekorzystnie na proces skrawania. Powoduje stopniowe pogarszanie jakości powierzchni obrobionej, a zwłaszcza jej gładkości, wzrost temperatury skrawania, sił oraz poboru mocy skrawania. Te niepożądane zjawiska wywołane są głównie niekorzystnymi zmianami kąta przyłożenia i wzrostem pola współtrzących powierzchni styku ostrza z materiałem obrabianym. Z tego względu zużycie powierzchni przyłożenia najczęściej ogranicza czas pracy ostrza [5, 6, 8].

Do prawidłowego przebiegu procesu skrawania, niezbędna jest ocena stopnia zużycia ostrza. Jego miarą jest określona wielkość mierzalna lub zjawisko, które charakteryzuje to zużycie. Stępieniu się ostrza towarzyszy szereg zjawisk, które mogą służyć za kryterium warunkujące uznanie ostrza za zużyte (niezdatne do pracy). Do takiej oceny posłużyć się można następującymi kryteriami [6, 9]:

- kryterium fizyczne – wskaźnikami zużycia są tutaj zmiany wartości takich wielkości jak temperatura w strefie kontaktu, siła i moment skrawania, amplituda i częstotliwość drgań ostrza, emisja akustyczna itp.,

- kryterium ekonomiczne – wskaźniki zużycia są wyznaczone na podstawie kosztów własnych obróbki, czyli dla największej wydajności określonej np. liczbą wykonanych przedmiotów przez ostrze,

- kryterium geometryczne – wskaźnikami zużycia są zmiany geometryczne ostrza,

- kryterium technologiczne – wskaźnikami zużycia są zmiany chropowatości powierzchni (najczęściej podczas obróbki wykańczającej), oraz wymiarów przedmiotu obrabianego.

Kryteria fizyczne określania stopnia zużycia narzędzia wymagają specjalistycznej aparatury, a wyniki takich pomiarów stanowią raczej względny sposób oceny zużycia narzędzia. Kryteria technologiczne zaś pozwalają na szybką ocenę raczej przydatności narzędzia do dalszej pracy niż stopnia jego zużycia. Kryteria te służą zazwyczaj do oceny zmian w zadanych wymiarach i kształcie obrabianego elementu. Za najdokładniejsze, a przede wszystkim bezpośrednio pomiary zużycia narzędzia, uznaje się pomiary według kryteriów geometrycznych. Pomimo pracochłonności i uciążliwości pomiary te pozwalają na najbardziej precyzyjną ocenę przydatności narzędzia do dalszej pracy [[6, 9].

Parametry zużycia ostrza określające zmiany geometrii krawędzi skrawającej zostały znormalizowane i zawarte w polskiej normie [10]. Na rysunku 4 przedstawiono bezpośrednio wskaźniki zużycia ostrza zdefiniowane w normie na podstawie których, określa się geometrycznie stopień zużycia określonych powierzchni oraz krawędzi. Norma ta zawiera również dopuszczalne wartości geometrycznych wskaźników zużycia, które odpowiadają umownym stanom stopienia ostrza dla podstawowych materiałów stosowanych na ostrza narzędzi.

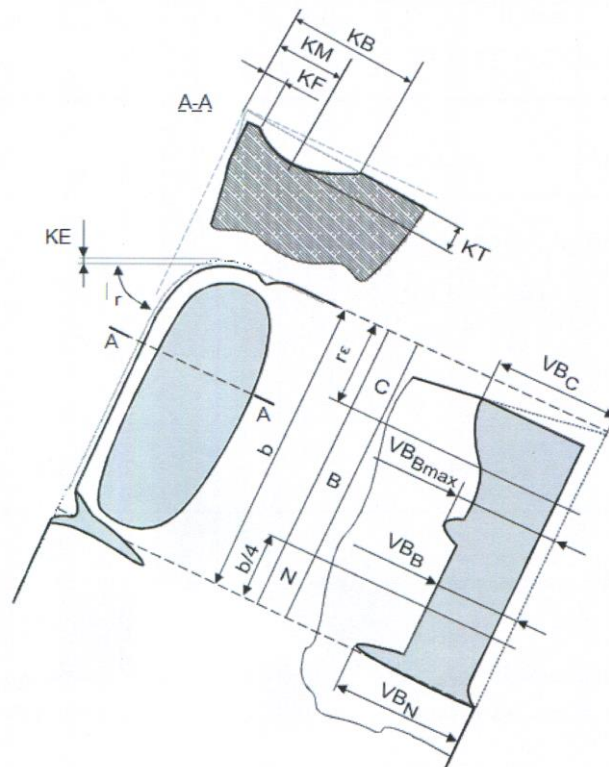
Zużycie powierzchni przyłożenia zostało określone i opisane następująco [10]:

- szerokość pasma zużycia naroża VBC,
- średnia szerokość pasma zużycia VBB,
- największa szerokość pasma zużycia VBBmax,
- średnia szerokość pasma zużycia VBA w strefie kontaktu krawędzi skrawającej z materiałem obrabianym,
- szerokość zużycia wrębowego (wyżłobienia) VBN.

Zużycie powierzchni natarcia zostało określone poprzez [10]:

- największa głębokość rowka zużycia KT,

- odległość pomiędzy pierwotną główną krawędzią skrawającą a największą głębokością rowka zużycia KM,
- odległość pomiędzy pierwotną główną krawędzią skrawającą a najbardziej odległą krawędzią rowka zużycia KB,
- współczynnik rowka określony ilorazem KT/KM.



**Rys. 4. Bezpośrednie wskaźniki zużycia ostrza [10]**

Dodatkowe wskaźniki określające parametry geometryczne zużycia ostrza to [10]:

- cofnięcie naroża ostrza (zużycie promieniowe)  $KN$  – określone odległością od płaszczyzny bocznej  $P_f$  przechodzącej w jego położeniu pierwotnym,
- odkształcenie naroża – odkształcenie plastyczne (w przypadku węglików spiekanych) lub odpuszczenie (stale szybko tnące),
- wyszczerbienia, wykruszenia, wyłamania, pęknięcia
- uszkodzenie katastroficzne – gwałtowne uszkodzenie ostrza pod wpływem obciążenia i/lub wzrastającej temperatury.

Ponadto w celu dokonania pomiaru zużycia narzędzia, norma dzieli główną krawędź na cztery strefy, przy czym trzy strefy (A, B, C) leżą na odcinku kontaktu ostrza z materiałem obrabianym (na czynnej krawędzi skrawającej) [10]:

- strefa A – obejmująca  $\frac{1}{4}$  długości krawędzi b, najbardziej oddalonej od naroża,
- strefę B – obejmująca pozostałą prostoliniową część krawędzi skrawającej pomiędzy strefami A i C,
- strefę C – obejmująca krzywoliniową część krawędzi skrawającej przy narożu,
- strefę N – rozciągającą się poza odcinkiem kontaktu materiału obrabianego z ostrzem na długości 1-2mm, wzdłuż krawędzi skrawającej.

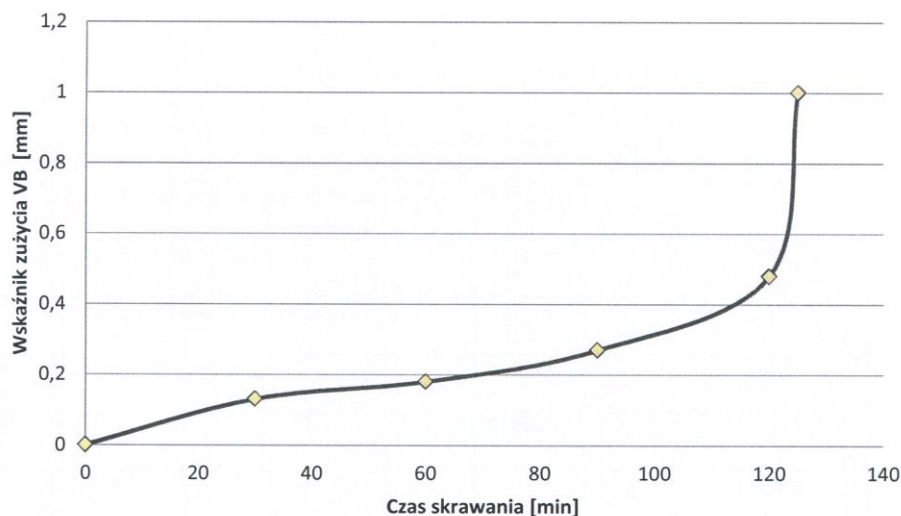
Wskaźniki stopienia ostrza są to założone umownie wartości określanego zjawiska, powodujące utratę własności skrawanych ostrza w danych warunkach skrawania. Przyjęte wskaźniki stopienia ostrza ograniczają okres trwałości ostrza, a co jest z tym związane wydajność obróbki.

W celu weryfikacji wpływu nieciągłości geometrycznych na zużycie ostrza przeprowadzono badania doświadczalne. Zostały one przeprowadzone dla wałków zakończonych obustronnie rowkiem pod wpust przyzmatyczny. Materiał z jakiego wałki zostały wykonane to stal węglowa C45 ulepszana cieplnie o twardości powierzchni  $40 \pm 2$  HRC. Odcinki wałków, które poddano obróbce posiadały średnicę 40mm oraz rowki na wpust o długości 60 mm. Do badań zostały użyte dwa rodzaje noży tokarskich: z płytką z węgliku spiekanego oraz ze stali szybko tnącej, przy następujących warunkach: obróbka na sucho, przy prędkości skrawania  $V_c = 100$  m/min (prędkość obrotowa wyniosła  $n = 800$  obr/min), posuw  $f = 0,2$  mm oraz głębokość skrawania  $a_p = 0,5$  mm. Wszystkie pomiary zostały przeprowadzone na mikroskopie warsztatowym o dokładności 0,01 mm.

Na rysunku 5 przedstawiono wykres przebiegu zużycia ostrza z węgliku spiekanego, które wyznaczono parametrem VB jako średnią z pięciu pomiarów wzdłuż krawędzi skrawającej.

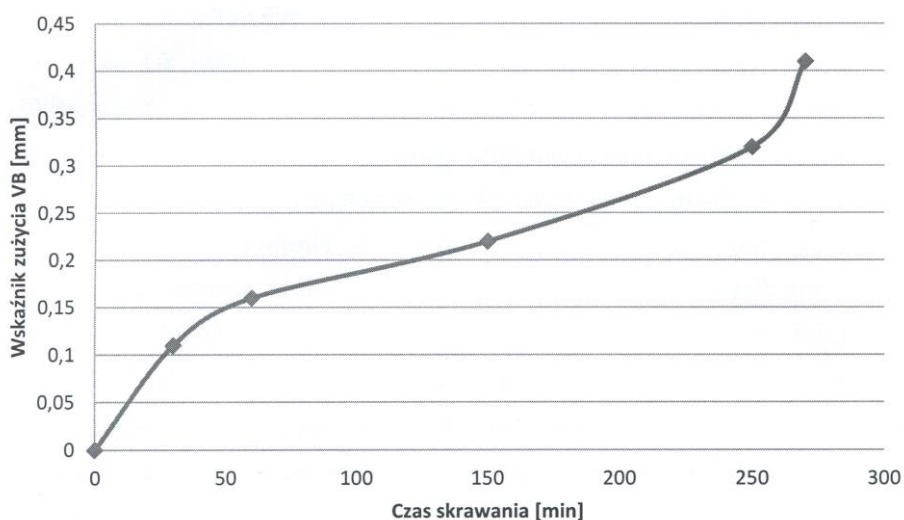
Przebieg zużycia dla noża z płytką z węgliku w początkowej fazie badań przebiegał w sposób typowy, lecz ze stałym wzrostem zużycia. Po niespełna godzinie toczenia, widoczne było pogorszenie się jakości powierzchni obrabianej, która z upływem kolejnych minut zauważalnie wzrastała. Przy kolejnym punkcie pomiarowy (60 min), wartości wskaźnika VB przekroczyła dopuszczalną wartość zawartą w normie, a jakość powierzchni obrabianej gwałtownie się pogorszyła. Dalsza próba przeprowadzenia badań zakończyła się po około 5 minutach wykruszeniem krawędzi skrawającej płytki, co poprzedziła głośna praca tokarki oraz wzrost temperatury

zarówno noża jak i elementu obrabianego. Krawędź płytki nie nadawała się już do dalszej pracy.



**Rys. 5. Krzywa zużycia dla noża z płytką z węgla spiekanego**

Natomiast na rysunku 6 przedstawiono wykres przebiegu zużycia ostrza ze stali szybko tnącej, które określono analogicznie jak dla ostrza z węgla spiekanego.



**Rys. 6. Krzywa zużycia dla noża ze stali szybko tnącej**

Przebieg zużycia dla noża ze stali szybko tnącej od początku do końca odbywał się zgodnie z typowymi charakterystykami zużycia, lecz w przyspieszonym tempie co sprawiło, że po około 250 minutach pracy w warunkach skrawania nieciągniętego, wskaźnik zużycia *VB* przekroczył wartości dopuszczalne. Jednak pomimo przekroczenia tej wartości, ostrze nadal nadawało się do dalszej pracy. Jakość powierzchni obrabianej ulegała stopniowo nieznacznemu pogorszeniu.

Otrzymane wartości wskaźników stopienia ostrza podczas toczenia przerywanego zostały porównane z dopuszczalnymi wartościami podanymi w normie (PN-ISO 3685). Na podstawie badań można stwierdzić, że nieciągłości geometryczne występujące w elementach obrabianych mają duży wpływ na zużycie się krawędzi ostrza noża. Obciążenia mechaniczne udarowe i cieplne, na które narażone jest ostrze podczas skrawania nieciągłego, prowadzą do powstawania mikropęknięć na krawędzi. Skutkuje to znacznie szybszym zużyciem ściernym narzędzia poprzez zachodzące mikrowykruszenia, które w dalszej fazie mogą doprowadzić do zniszczenia katastroficznego noża.

Z otrzymanych wyników wynika również, który z zastosowanych materiałów ostrza nadaje się bardziej do tak trudnych warunków skrawania oraz jakimi właściwościami powinien charakteryzować się materiał w tego rodzaju obróbce. Węgiel spiekany jest materiałem bardzo twardym, lecz wrażliwym na zmiany temperatury, które zachodzą podczas skrawania przerywanego. Dodatkowo charakteryzuje się także dużą wrażliwością na obciążenia udarowe, które w porównaniu do stali hartowanej są o 2-3 razy niższe. Podczas przeprowadzania badań, stan ostrza z węgla spiekane go już w początkowej fazie uległ pogorszeniu i z biegiem czasu zużycie to pogłębiało się coraz bardziej. Także stopniowo pogarszała się jakość powierzchni obrabianej oraz można było zaobserwować coraz to głośniejszą pracę tokarki. Już po dwóch godzinach pracy, nóż z płytką z węgla spiekane go uległ zużyciu katastroficznemu. Wykruszenie krawędzi było na tyle duże, iż nóż nie nadawał się do dalszego użytku.

W przypadku noża ze stali szybko tnącej, zużycie przebiegało w sposób naturalny, bez jakichkolwiek uszkodzeń krawędzi skrawającej. Nie zaobserwowano także znaczącego pogorszenia się jakości powierzchni obrabianej. Na końcu badania, po dokładnych pomiarach parametrów zużycia i porównaniu wyników z wartościami dopuszczalnymi zawartymi w normie, stwierdzono umiarkowany wpływ nieciągłości geometrycznych na zużycie się krawędzi skrawającej. Duży wpływ na to ma duża ciągliwość stali szybko tnącej, dzięki czemu narzędzie ze stali szybko tnącej dość dobrze sprawdza się w warunkach skrawania, które były przedmiotem badań.

### **Nieciągłości geometryczne a struktura geometryczna powierzchni**

W celu weryfikacji wpływu nieciągłości geometrycznych na cechy kształtowanej struktury geometrycznej powierzchni przeprowadzono badania



doświadczalne. Zostały one przeprowadzone dla próbek wykonanych ze stali konstrukcyjnej C45 ulepszonej cieplnie o twardości powierzchni  $40\pm 2$  HRC z wykonanymi nieciągłościami geometrycznymi.

Próbka 1 miała kształt prostopadłościanu o wymiarach 111x34x36 mm, w której wykonano rowek na powierzchni górnej o szerokości 10 mm i głębokości 5,5 mm przez całą długość. Próbka przedstawiona została na rysunku 7.



**Rys. 7. Próbka do badań z wykonanym rowkiem**

Próbka 2 miała również kształt prostopadłościanu o wymiarach 111x34x36 mm, w której na powierzchni górnej nawiercono 4 otwory o średnicy 7 mm i głębokości 12 mm oddalone od siebie o 19 mm. Próbka przedstawiona została na rysunku 8.



**Rys. 8. Próbka do badań z wykonanymi otworami**

Podczas obróbki szlifowaniem element chłodzony był koncentratem cieczy syntetycznej do obróbki metali ARTESol Ultra EP producent Atrefakt w postaci emulsji wodnej o stężeniu 4%.

Próbki zostały obrobione z jednakową prędkością obrotową wrzeciona wynoszącą 2740 obr/min oraz bez posuwu poprzecznego. Pozostałe parametry technologiczne były następujące: głębokość skrawania  $a_p = 0,01$  i  $0,04$  mm oraz posuw wzdłużny  $f = 8$  i  $20$  m/min. Ściernica wykonana była z elektrokorundu zwykłego ze spoiwem żywicznym, wielkość ziarna 46 o średniej twardości.

Ocenę cech struktury geometrycznej powierzchni wyznaczono na podstawie pomiaru parametrów chropowatości – parametru amplitudowego  $Ra$  i nośności  $Rk$ .

Pomiary zostały wykonane za pomocą profilometru stykowego MARSURF XR 20 MIT GD 120 firmy Mahr.

Próbki z otworami zostały podzielone na dwa obszary pomiarów. Pierwszy pomiar został wykonany na powierzchni płaskiej. Natomiast drugi w możliwie najbliższej odległości od krawędzi otworu.

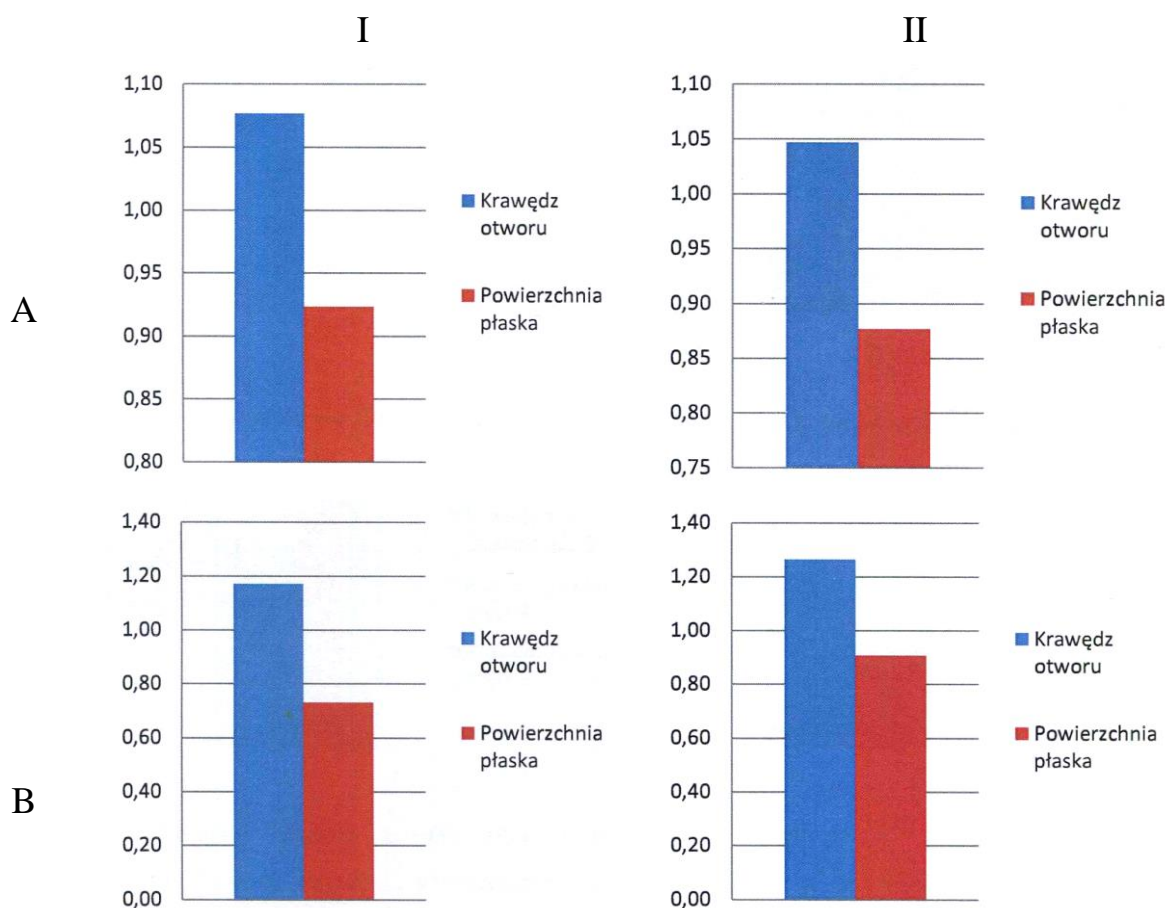
Próbki z rowkiem zostały podzielone na cztery obszary pomiarów. Pierwszy pomiar został wykonany na powierzchni płaskiej (na wykresie oznaczenie *A*) jest to powierzchnia przed rowkiem, od której zaczynał się proces szlifowania. Drugi obszar pomiarów to krawędź rowka od strony od której zaczynał się proces szlifowania. Chropowatość została wyznaczona w możliwie najbliższej odległości od krawędzi. Trzeci obszar pomiarów to krawędź rowka za nieciągłością geometryczną, również chropowatość została wyznaczona możliwie najbliższej od krawędzi rowka. Czwarty obszar to powierzchnia płaska znajdująca się za rowkiem (na wykresie oznaczenie *B*).

Na rysunku 9 i 10 przedstawiono wyniki badań (średnia arytmetyczna z pięciu pomiarów) w postaci wykresów dla próbki z nieciągłościami geometrycznymi w postaci otworów.

Analizując histogramy próbek z otworami można zauważyć, że średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej  $R_a$  na krawędzi otworu jest większe niż na powierzchni płaskiej bez względu na wartość usuniętego materiału oraz bez względu na zastosowany posuw. Porównując chropowatość powierzchni płaskiej do chropowatość w obszarze przy krawędzi otworu można zaobserwować, że różnice są znaczące przy usunięciu naddatku 0,01 mm. Natomiast przy usunięciu podczas szlifowania naddatku 0,04 mm, różnice te są mniejsze.

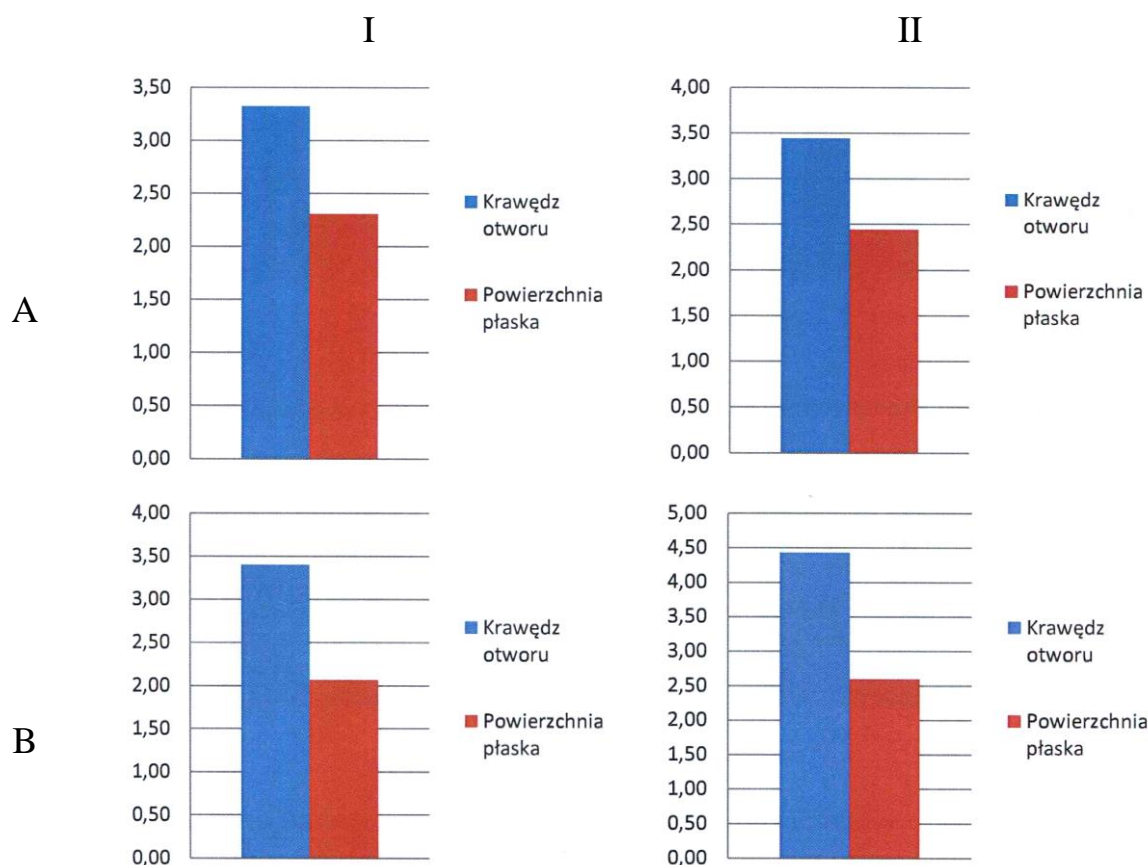
Z histogramów dotyczących parametru nośności  $R_k$ , można zauważyć, że parametr jest zawsze większy na krawędzi otworu niż na powierzchni płaskiej. Zależności związane z głębokością skrawania są odwrotne niż w przypadku średniego arytmetycznego odchylenia profilu od linii średniej  $R_a$ . W próbkach, w których usunięto 0,04 mm  $R_k$  na powierzchni płaskiej jest zdecydowanie większe niż przy naddatku 0,01 mm.

Na kolejnych rysunkach – 11 i 12 zobrazowano wyniki badań (średnia arytmetyczna z pięciu pomiarów) w postaci wykresów dla próbki z nieciągłościami geometrycznymi w postaci rowka.



**Rys. 9. Zmiany parametru chropowatości  $R_a$  w  $\mu\text{m}$  dla próbki z otworami, przy następujących parametrach technologicznych: A – głębokość skrawania  $a_p = 0,01$ , B – głębokość skrawania  $a_p = 0,04$ ; I – posuw wzdłużny  $f = 8 \text{ m/min}$ , II – posuw wzdłużny  $f = 20 \text{ m/min}$**

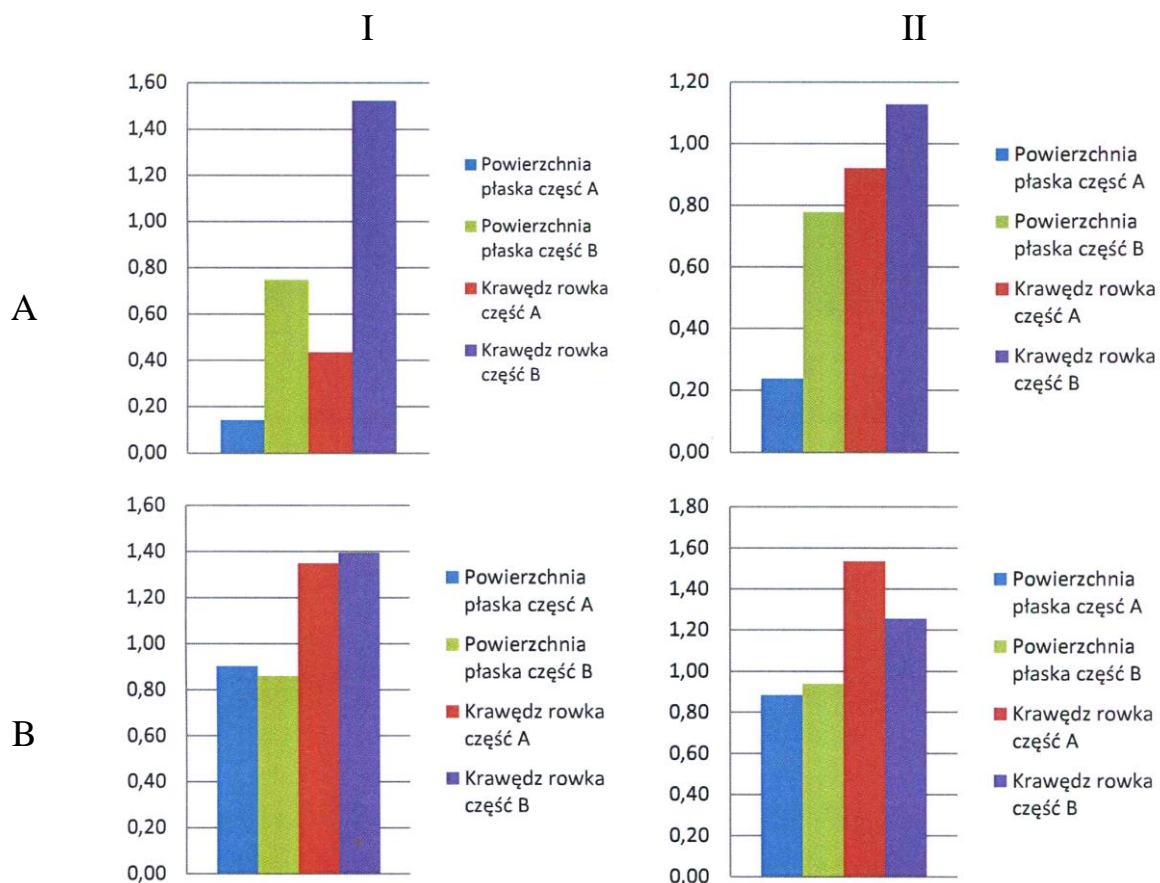
Z histogramów można zaobserwować, że średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej  $R_a$  przy krawędzi rowka jest zawsze większe niż na przylegającej do krawędzi powierzchni płaskiej. Kolejna cecha, która można zauważyć jest to, że wartość  $R_a$  jest największa na krawędzi za nieciągłością. Jedynie przy głębokości, w której usunięto 0,04 mm oraz przy posuwie 20 m/min nie wystąpiła ta zależność. Natomiast najniższa wartość parametru  $R_a$  zawsze występuje na powierzchni płaskiej, od której zaczął się proces szlifowania.



**Rys. 10. Zmiany parametru chropowatości  $R_k$  w  $\mu\text{m}$  dla próbki z otworami, przy następujących parametrach technologicznych: A – głębokość skrawania  $a_p = 0,01$ , B – głębokość skrawania  $a_p = 0,04$ ; I – posuw wzdłużny  $f = 8$  m/min, II – posuw wzdłużny  $f = 20$  m/min**

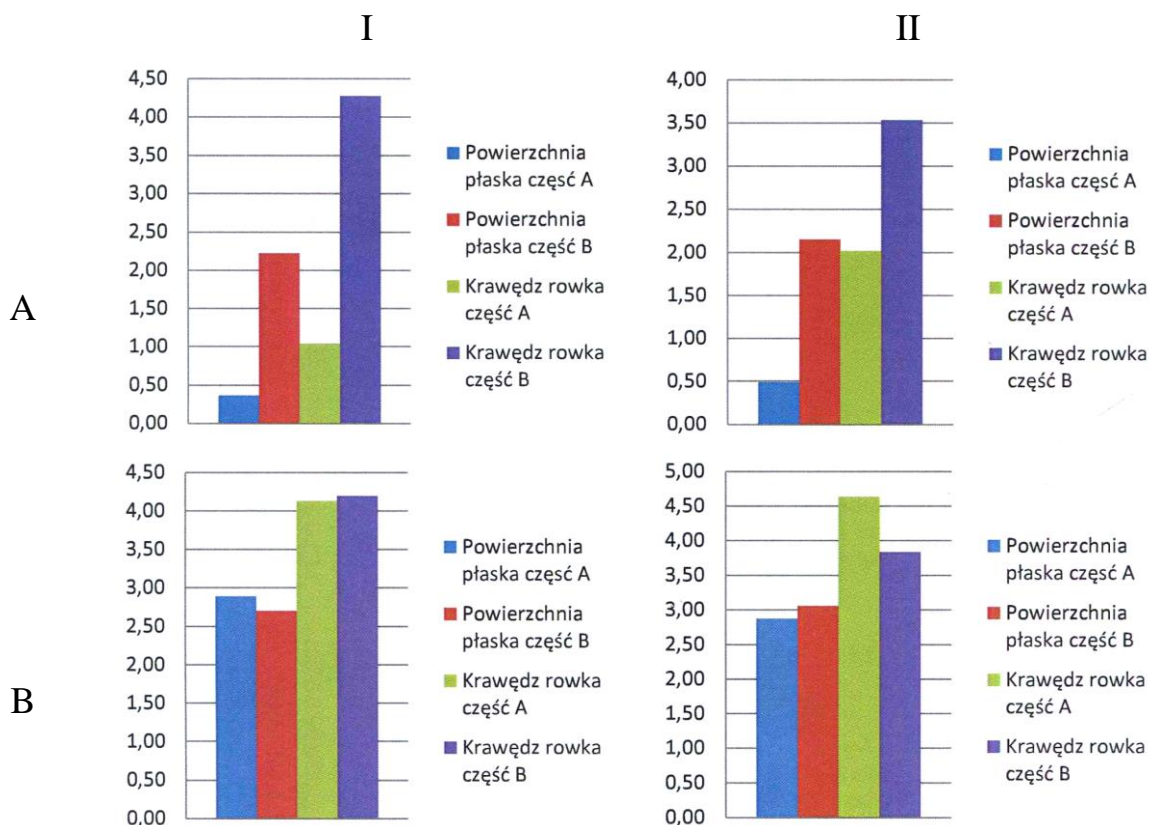
Porównując wartość parametru chropowatości  $R_k$  dla próbki z rowkiem można zauważyć, że w próbkach, w których usunięto 0,01 mm najniższą chropowatość posiada powierzchnia płaska A. Natomiast najwyższą chropowatość posiada obszar przy krawędzi rowka od strony płaszczyzny B. W próbkach w których zebrano 0,04 mm można zauważyć, że powierzchnia płaska posiada mniejsza chropowatość niż przy krawędzi.

Z otrzymanych wyników wynika, że cechy struktury geometrycznej powierzchni, wyznaczone parametrami chropowatości, przy krawędzi nieciągłości geometrycznej różnią się od cech struktury powierzchni płaskiej próbki. Z reguły wyznaczone parametry chropowatości miał większą wartość niż dla powierzchni płaskiej bez nieciągłości geometrycznej. Z przeprowadzonego badania można więc wywnioskować, iż takie czynniki jak obciążenia dynamiczne oraz zmienność temperatury podczas obróbki mają wpływ na kształtowaną strukturę geometryczną powierzchni.



**Rys. 11. Zmiany parametru chropowatości  $R_a$  w  $\mu\text{m}$  dla próbki z rowkiem, przy następujących parametrach technologicznych: A – głębokość skrawania  $a_p = 0,01$ , B – głębokość skrawania  $a_p = 0,04$ ; I – posuw wzdłużny  $f = 8$  m/min, II – posuw wzdłużny  $f = 20$  m/min**

Wyniki badań eksperymentalnych zweryfikowały również ogólnie wpływ parametrów technologicznych na konstytuowanie struktury powierzchni przy nieciągłościach geometrycznych. W celu uszczegółowienia zaobserwowanych zależności, należałoby przeprowadzić bardziej rozbudowane badania doświadczalne, w których zarówno zbiór i zakres zmiennych niezależnych jak i zależnych byłby rozszerzony.



**Rys. 12. Zmiany parametru chropowatości  $Ra$  w  $\mu\text{m}$  dla próbki z rowkiem, przy następujących parametrach technologicznych: A – głębokość skrawania  $a_p = 0,01$ , B – głębokość skrawania  $a_p = 0,04$ ; I – posuw wzdłużny  $f = 8$  m/min, II – posuw wzdłużny  $f = 20$  m/min**

## Podsumowanie

Z przeprowadzonego badania dotyczącego określenia wpływu nieciągłości geometrycznych na zużycie narzędzia, można wywnioskować, iż takie czynniki jak obciążenia dynamiczne występujące przy takiej obróbce oraz zmienność temperatury podczas toczenia, mają spory wpływ na szybkie zużywanie się krawędzi skrawającej, zwłaszcza wtedy gdy zastosujemy ostrza z materiałów, których właściwości nie odpowiadają tym warunkom skrawania. Poza węglikiem spiekany do tej grupy zaliczyć można także stale węglowe i niskostopowe oraz diament i cermetale.

Natomiast z otrzymanych wyników dotyczących określenia wpływu nieciągłości geometrycznych na kształtowane cechy struktury geometrycznej powierzchni wynika, że cechy te, wyznaczone parametrami chropowatości, przy krawędzi nieciągłości geometrycznej różnią się od cech struktury powierzchni płaskiej próbki. Z reguły wyznaczane parametry chropowatości miały większą wartość niż dla powierzchni płaskiej bez nieciągłości geometrycznej. Z przeprowadzonego badania można więc wywnioskować, iż takie czynniki jak

obciążenia dynamiczne oraz zmienność temperatury podczas obróbki mają wpływ na kształtowaną strukturę geometryczną powierzchni.

### **Literatura**

1. Almsyah C., Dillich S., Pettit A.: The effect of surface finish on cam wear. *Wear* 134/1989, 29-47.
2. Bernardos P.G., Vosniakos G.C.: 2003. Predicting surface roughness in machining: a review. *International Journal Machine Tools Manufacture* 43/2003, 833-844.
3. Biłous P., Rozumek D., Łagoda T.: Trwałość próbek z karbem geometrycznym wykonanym ze stali S355N. *Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, Mechanika* 9, Kraków 2010.
4. Burakowski T., Wierzchoń T.: *Inżynieria powierzchni metali*. WNT, Warszawa 1995.
5. Grzesik W.: *Podstawy skrawania materiałów metalowych*. WNT, Warszawa 1998.
6. Jemielniak K.: *Obróbka skrawaniem*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
7. Kolman R.: *Mechaniczne wzmocnienie powierzchni części maszyn*. WNT, Warszawa 1965.
8. Marzec St., Pytko St.: *Tribologia procesów skrawania metali: nowe ciecze chłodząco-smarujące*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 1999.
9. Olszak W.: *Obróbka skrawaniem*. WNT, Warszawa 2009.
10. PN-ISO 3685:1996. *Badanie trwałości noży tokarskich punktowych*.
11. Toh C.K.: Surface topography analysis in high speed finish milling inclined hardened steel. *Precision Engineering* 28/2004, 386-398.

# ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS (HPP) ON THE ECOSYSTEMS OF THE PLAIN RIVERS IN UKRAINE

Zub L.<sup>1</sup>, Panasiuk I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute for evolutionary ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

<sup>2</sup> Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

## Introduction

Hydropower can not be undeniably considered as a renewable energy source, such as the energy of wind, sun, or biomass. Construction of hydro units of HPP, including small HPP, usually results in significant violations of the natural state of river ecosystems. The intensity of these violations depends on the region of construction of small HPP. Construction of hydro-units on mountain rivers is mainly done by the derivative type, on plain rivers it is usually accompanied by the construction of dams. That is why the construction of small HPP on plain rivers leads to fragmentation of the river, which prevents its natural flow. The created water reservoirs completely transform the river ecosystems, giving them lake features. Excessive watercourse regulation as a result of the construction of the hydropower cascades causes significant environmental changes. They lead to the violation of the natural hydrological regime of the watercourse, the loss of continuity of the river and its division into separate ecosystems. The work of HPP is accompanied by annual and daily fluctuations of levels that are not characteristic for the river, a violation of natural seasonal rhythms, primarily of the passage of spring flood (Table 1).

However, small HPP have significantly less environmental impact than thermal and nuclear power plants; their advantages are also the simplicity and reliability of electricity production, high technological capacity, and shorter construction time. According to the National action plan for renewable energy for the period up to 2020, Ukraine plans to double its electricity production by small HPP. It is supposed to do this by rebuilding existing small HPP and building new ones.

Such an increase of the HPP role in the functioning of certain regions of the state is extremely important and requires detailed scientific research to predict their impact on the natural environment.



**Table 1. Changes in the hydroecological parameters of the river under the influence of the work of reservoirs of small HPP**

| Parameter                                | Action compared to the natural situation  |
|--|---|
| Seasonal mode of river runoff            | Alignment of the regime, reduction of natural fluctuations of the river runoff, leveling of the influence of spring and seasonal floods   |
| Daily mode of river runoff               | Emergence of unnatural daily fluctuations in river flow   |
| Status of the ecosystem                  | Damming the bed of reservoirs as a result of the settling of suspended particles, which brings the watercourse; transition of the river ecosystems in the lake ones; strengthening the processes of eutrophication and waterlogging |
| Integrity of the ecosystem               | Fragmentation of the river ecosystem, destruction of natural habitats and migratory routes of hydrobionts   |
| Condition of the river basin             | Destruction of floodplain complexes in areas of regulation and destruction of biotopes suitable for the habitation of wetland plant and animal species  |
| Complexes of hydrobionts                 | Simplification of the species composition and restructuring of cenoses of bottom hydrobionts. Increase of quantitative indicators of individual groups, first of all "lake" type and species capable of withstand organic pollution |
| Productivity indicators of the ecosystem | Increase in the biomass of invertebrates, primarily due to the species of the pelophilic complex and the euryvalent species which are indicators of low quality water   |

The influence of the operation of three small HPP on the hydrophysical parameters and biotic diversity of the river in the conditions of the forest-steppe zone was estimated on the basis of complex hydrobiological, hydrochemical and hydrotechnical studies. The research was conducted in the summer period on the river Ros. The impact of the work of Bohuslavskaya, Sutisa and Korsun-Shevchenkivska

small HPP was estimated. The condition of the hydro ecosystem was also assessed on an unregulated section of the river near the village of Yablunivka and the Bila Tserkva upper reservoir where there is no HPP. We used methods for assessing the ecological status based on the results of multicriterial analysis of the components of the aquatic ecosystem: hydrological parameters, hydrochemical indicators, and the composition of the main groups of hydrobionts (phytoplankton, zooplankton and aquatic plants). The indicators of biogenic load, as a factor of anthropogenic influence, were evaluated.

The Ros River basin is characterized by a large area of agro-landscapes and a very low percentage of natural complexes. Only 20% of the territory of the basin is occupied by natural forests, meadows and swamps. Over the past 20-25 years the area of antropogenously transformed territories has increased by 6%. Ros is among the most regulated rivers in Ukraine. The total number of ponds and reservoirs erected on the river and its tributaries is 2167. Ten river-bed reservoirs were constructed on the river, the total volume of which is 59.97 million m<sup>3</sup>. Five of them are within the existing small HPP. It is precisely the work of small hydroelectric units that determines the ecological regime of the river today.

### **Typology of knowledge**

The implementation of the assessment of the ecological status of surface waters in accordance with the EU Water Framework Directive 2000/60 / EC [1-3] provides:

- definition of ecoregion and type of water object;
- assessment of the specificity of surface waters on the basis of typing systems of water objects of the corresponding type;
- allocation of the main types of biotopes in a water facility;
- analysis of the violation of the hydromorphological characteristics inherent in the water facility or its part;
- determination of reference conditions and reference state of biotic components of a water object;
- comparison of the values of the studied surface water quality indicators with the corresponding indicators in the reference conditions.

We summarized the research results, the requirements of the EU Water Framework Directive 2000/60/EC and the methods proposed by the Institute of

Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine [4-6]. On this basis, we have created an assessment scale for the ecological state of hydro ecosystems of reservoirs at small HPP (Table 2). It has the form of a matrix for five categories of ecological status, from the best to the worst. The category is determined by the values of eight major ecosystem indicators: water quality, saprobity, trophication, biotic diversity (species and groupings), groupings structure, productivity (the level of biomass development), peculiarities of the biotopic structure, and the presence of rare species and groups requiring protection. Note that the table is created for conditions of the forest-steppe zone of Ukraine.

**Table 2. Matrix for estimation of the ecological state of hydro ecosystems at small HPP in the conditions of the forest-steppe zone of Ukraine**

| Indicator   | Category of ecological status |                       |                  |                         |                                    |
|---|-------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|------------------------------------|
|   | Excellent                     | Good                  | Satisfactory     | Bad                     | Very bad                           |
| 1. Water quality class  | 1-2                           | 3                     | 4-5              | 6                       | 7                                  |
| 2. Saprobity  | $\alpha$ -oligo-saprobic      | $\beta$ -mesosaprobic |                  | $\alpha$ -meso-saprobic | Polysaprobic                       |
| 3. Trophication (prevailing type)                             | Mesotrophic waters            | Meso-eutrophic waters | Eutrophic waters | Polytrophic waters      | Hypertrophic and dystrophic waters |
| 4. Species richness   | Medium                        | Medium                | High             | Low                     | Very low                           |
| Number of species*:   |                               |                       |                  |                         |                                    |
| - phytoplankton   | ~50                           | 30-60                 | >60              | 15-29                   | <15                                |
| - zooplankton   | ~ 20                          | 15-30                 | >30              | 5-14                    | <5                                 |
| - benthos   | ~ 25                          | 11-30                 | >30              | 5-10                    | <5                                 |
| - macrophytes   | ~ 20                          | 11-25                 | >25              | 5-9                     | <5                                 |
| 5. Structure of the groupings                                 |                               |                       |                  |                         |                                    |
| Correlation of ecologic groups (river : lake : marsh species) | 3:1:0                         | 2:1:0                 | 1:1:1            | 0:1:1                   | 0:0:1                              |
| Level of plankton   | Medium                        | High                  | Low              | Very                    | Very low                           |

|   |        |         |          |                         |                         |
|---|--------|---------|----------|-------------------------|-------------------------|
| development by number                       |        |         |          | high                    |                         |
| phytoplankton, mln.cel/dm <sup>3</sup>      | 10-15  | 20-40   | 5-9      | >40                     | <5                      |
| zooplankton, th.ind/m <sup>3</sup>          | 50-100 | 110-300 | 10-49    | >300                    | <10                     |
| Abundance of benthic groups                 | High   | Medium  | Low      | Low                     | Very low                |
| th.ind/m <sup>3</sup>                       | >30    | 10 -30  | 5 -9,5   | 2 -4, 5                 | <2                      |
| 6. Productivity indicators                  |        |         |          |                         |                         |
| Level of biomass development                | Medium | High    | Low      | Very high               | Very low                |
| phytoplankton, mg/M <sup>3</sup>            | 5-10   | 11-50   | 1-5      | >50                     | <1                      |
| zooplankton, g/m <sup>3</sup>               | 1-3    | 4-6     | 0,1-0,9  | >6                      | <0,1                    |
| benthos, g/m <sup>2</sup>                   | 10-20  | 21-60   | 6,0-10,0 | >60                     | <6,0                    |
| 7. Diversity of biotopes                    | Medium | High    | Low      | Homogeneous environment | Homogeneous environment |
| Number of zones of macrophytes              | 2-3    | 3       | 4        | 2                       | 1                       |
| 8. Presence of species requiring protection | +      | +       | -        | -                       | -                       |

\* In the forest-steppe zone of Ukraine in summer period.

The ecosystem parameters of the unregulated river section were taken as "excellent" ecological status. This state is characterized by average indicators of quantitative and qualitative composition of biotic diversity (average values of species richness and groupings due to the predominance of stenobionta or rheophilic species), somewhat simplified structure of groupings (absence or insignificant share in the structure of limnophilic and eutrophic marsh components), insignificant diversity of

biotopes (due to the uniformity of the environment) and a significant proportion of rare species (rare, relict, endemic or those with a different level of protection).

Integral assessment of water quality of investigated hydro objects showed significant anthropogenic eutrophication of reservoirs constructed at small HPP. The quality of water there can be estimated as "satisfactory" (class 3), 4-5 categories – "satisfactory and mediocre (slightly polluted and moderately polluted) waters". Bohuslav and Korsun-Shevchenkivskiy water reservoirs, which were built according to the derivative scheme, were characterized by higher water quality indices.

A retrospective comparison of data with those for the Ros River in 2011 showed a significant deterioration in the quality of water (Table 3).

**Table 3. Retrospective analysis of the quality of water in reservoirs by average integral indicators**

| Reservoir              | 2011 (according to [7]) |      |                         | 2017 |      |                             |
|------------------------|-------------------------|------|-------------------------|------|------|-----------------------------|
|                        | Igi*                    | Ibs# | Integral assessment     | Igi* | Ibs# | Integral assessment         |
| Bila Tserkva           | 1,3                     | 3,5  | good / clean            | 3,4  | 5,8  | satisfactory / satisfactory |
| Bohuslav               | 1,7                     | 4,0  | good / clean            | 3,8  | 5,1  | satisfactory / satisfactory |
| Stebliv                | 1,3                     | 4,3  | good / clean            | 4,4  | 5,9  | satisfactory / mediocre     |
| Korsun-Shevchenkivskiy | 1,7                     | 4,4  | satisfactory / polluted | 3,9  | 5,6  | satisfactory / satisfactory |

\* Igi - index of average values of general indicators ( $= (K_{pH} + K_{cond} + K_{ds}) / 3$ , where:  $K_{pH}$ ,  $K_{cond}$ ,  $K_{ds}$  - categories according to pH, electrical conductivity and amount of salt ions, respectively);

# Ibs - index of average values of biogenic substances content ( $= (K_{NH_4} + K_{NO_2} + K_{NO_3} + K_N + 2K_{PO_4}) / 6$ , where  $K_{NH_4}$ ,  $K_{NO_2}$ ,  $K_{NO_3}$ ,  $K_N$ ,  $K_{PO_4}$ ,  $K_P$  – categories by content indexes, respectively, of ammonium, nitrite, nitrate and total nitrogen, phosphorus phosphates)

The surveyed water reservoirs were characterized by formed groupings of aquatic hydrobionts, which were similar in their structure to hydrobionts of unregulated areas of the Ros River in its middle flow. The vast majority of species of

hydrobionts refer to limnophilic and eutrophic-marsh complexes. The number of rheophilic species was extremely limited. Ecosystems had a larger species composition of producers (phytoplankton and macrophytes) and a smaller number of reductants (zooplankton) as compared with the Bila Tserkva upper reservoir, where the HPP is absent.

The conducted studies have shown that over time man-made reservoirs are becoming integral components of the environment and take over the functions of the lost natural floodplain complexes. They also create new biotopes, suitable for the settlement of aquatic organisms.

According to the trophic status and productivity indicators, all investigated reservoirs belonged to the eutrophic type. The value of saprobity index (by Pantle and Bucca method in modification of Sladeczek) fluctuated within 1.5-2.0; which corresponded to the  $\beta$ -mesosaprobic zone. For the Stebliv and Korsun-Shevchenkivskyi reservoirs there was a tendency to increase the values of the saprobity index from the upper to the lower part of the reservoir. For the Bohuslav reservoir there was a reverse trend.

According to the composition of aquatic organisms, reservoirs of small HPP in the conditions of the forest-steppe zone of Ukraine are water objects with ecosystems of lake type. This determines the maintenance of acceptable water quality in them and the levels of productivity of groups of hydrobionts, sufficient for self-purification and self-healing.

In all reservoirs there is a tendency towards working of self-cleaning potential of the reservoir.

Accordingly, investigated reservoirs are classified as those that preserve a good and satisfactory state of aquatic ecosystems (Table 4).

Finally, we want to point out the need to comply with ecological requirements for the operation of hydro-units, aimed at maintaining / simulating natural processes. Environmental requirements for the operation of the HPP must be developed individually for each river or its part. The system of environmental monitoring of the operation of small HPP in the conditions of plain rivers should be aimed at tracking / preventing changes in:

- structure of groupings of hydrobionts;
- progress of productivity processes of species which are water-quality indicators;

- trophic status of the ecosystem;
- the state of populations of rare species and groupings;
- structure of the biotopes.

**Table 4. Estimation of ecological state of hydro ecosystems of model water reservoirs**

| Ecological groups                        | Number of types    |             |            |                   |             |            |                                  |              |            |
|--|--------------------|-------------|------------|-------------------|-------------|------------|----------------------------------|--------------|------------|
|  | Bohuslav reservoir |             |            | Stebliv reservoir |             |            | Korsun-Shevchenkivskyi reservoir |              |            |
|  | Upper part         | Middle part | Lower part | Upper part        | Middle part | Lower part | Upper part                       | Middle part  | Lower part |
| Environment quality                      | Satisfactory       |             | Good       | Satisfactory      |             |            | Good                             | Satisfactory |            |
| Number of species                        |                    |             |            |                   |             |            |                                  |              |            |
| Phytoplankton                            | 36                 | 47          | 19         | 33                | 45          | 45         | 39                               | 35           | 40         |
| Zooplankton                              | 21                 | 20          | 11         | 32                | 25          | 28         | 31                               | 33           | 26         |
| Macrophytes                              | 20                 | 21          | 15         | 17                | 18          | 10         | 14                               | 21           | 16         |
| Biomass                                  |                    |             |            |                   |             |            |                                  |              |            |
| Phytoplankton, mg/m <sup>3</sup>         | 1,2                | 2,4         | 0,3        | 51,1              | 4,6         | 6,8        | 4,2                              | 5,5          | 10,3       |
| Zooplankton, kg/m <sup>3</sup>           | 0,05               | 0,03        | 0,8        | 3,0               | 1,9         | 3,2        | 0,9                              | 2,0          | 1,1        |
| Abundance                                |                    |             |            |                   |             |            |                                  |              |            |
| Phytoplankton, mln.cel/l                 | 5                  | 7           | 2          | 42                | 25          | 45         | 26                               | 21           | 48         |
| Zooplankton, th.ind/m <sup>3</sup>       | 6                  | 2           | 1          | 178               | 112         | 119        | 49                               | 153          | 43         |
| Ratio of helophytes:hydrophytes          | 2:1                | 1:1         | 1:1        | 1:2               | 1:2         | 1:2        | 1:1                              | 1:2          | 1:2        |
| Number of zones of macrophytes           | 3                  | 2           | 3          | 3                 | 3           | 3          | 2                                | 3            | 3          |
| Presence of species requiring protection | +                  |             | +          |                   |             | +          |                                  | +            | +          |
| Value of integral                        | 3,9                | 3,6         | 3,4        | 4,1               | 4,3         | 4,2        | 3,3                              | 4,1          | 4,0        |

|                                 |                   |     |      |                   |     |     |      |                   |     |
|---------------------------------|-------------------|-----|------|-------------------|-----|-----|------|-------------------|-----|
| water quality indicators        |                   |     |      |                   |     |     |      |                   |     |
| Biological indicators           | 3,5               | 2,5 | 2,5  | 2,5               | 3,5 | 3,5 | 3,0  | 3,5               | 3,0 |
| Tropho-hydrochemical indicators | 4,4               | 4,6 | 4,3  | 5,7               | 5,1 | 4,8 | 4,5  | 4,7               | 5,1 |
| Water quality                   | Slightly polluted |     | Good | Slightly polluted |     |     | Good | Slightly polluted |     |
| Environment quality             | Satisfactory      |     | Good | Satisfactory      |     |     | Good | Satisfactory      |     |

The introduction of a special system of environmental monitoring of the impact of small HPP on the hydro ecosystems will optimize the operation of hydro-units and minimize the impact on the environment. Under such conditions, hydropower can be considered as an alternative, "green" type of energy.

### Summary

The groupings of aquatic hydrobionts in the surveyed reservoirs, according to their species structure and quantitative indicators, are similar to the groups in the middle and lower parts of the Ros River.

Water reservoirs formed at small HPP in the conditions of the forest-steppe zone of Ukraine are water objects with ecosystems of lake type. They are characterized by small areas of overgrown shallow water, relatively high productivity of hydrobiocenoses, a satisfactory gas regime and significant biotic diversity. This causes maintenance of acceptable water quality and levels of development of biocenoses that are sufficient for self-purification and self-healing.

The work of small HPP on model water reservoirs provides a good and satisfactory quality of the water ecosystem. Bohuslav and Korsun-Shevchenkivskyi reservoirs, the HPP of which were built according to the derivative scheme, are characterized by higher indicators of water quality and the state of the ecosystem.

Management of the operation of reservoirs should ensure the maintenance of hydrological, hydrochemical and hydrobiological regimes, which are as close as possible to natural. Environmental monitoring and environmental quality assessment methods should be targeted at this.



## References

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities. – L. 327, vol.43, 22.12.2000. – 72 p.
2. Updated Recommendations on Environmental Standards. River Basin Management (2015-21). UK TAG. – Draft (SR3 - 2012), 2012. – 77 p.
3. 28. European Communities. WFD CIS Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)/ Guidance document № 10 River and lakes – Typology, reference conditions and classification systems. – Luxembourg, 2003. – 87 p.
4. Romanenko V.D., Liashenko A.V., Afanasyev S.A., Zorina-Sakharova Ye.Ye. Biological Indication of Ecological Status of the Water Bodies within Kiev City Boundaries. Hydrobiological Journal. V. 46, 2010 Is. 4. P. 3-24
5. Afanasev S.A. Razvitie evropeyskih podhodov k biologicheskoy otsenke sostoyaniya gidroekosistem v monitoringe rek Ukrainyi // Hidrobiol. zhurn. – 2001. – T. 37, № 5.– C.3–18.
6. Afanasiev S.O., Vasylychuk T.O., Lietytska O.M., Bilous O.P. Otsinka ekolohichnoho stanu richky Pivdennyi Buh u vidpovidnosti do vymoh Vodnoi Ramkovoï Dyrektyvy YeS./ za red. S.O. Afanasieva. – Kyiv, 2012 – 28 p.
7. Babii P.O., Vyshnevskiy V.I., Shevchuk S.A.. Richka Ros ta yii vykorystannia, Kyiv: Interpres LTD, 2016.

# MODELING PROCESS OF COATING THE SURFACE

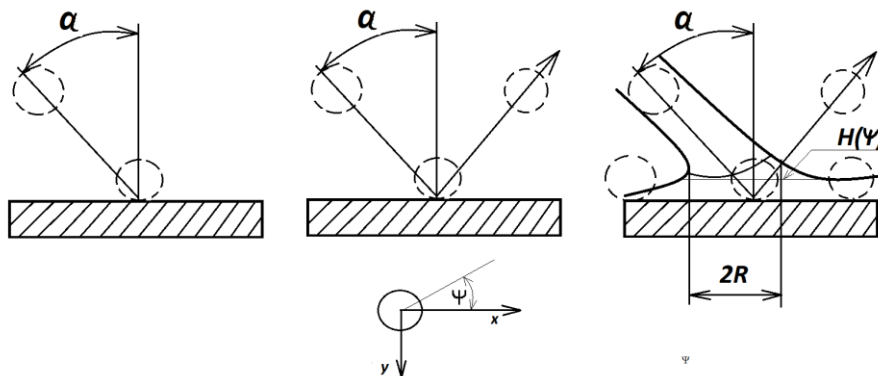
Horiashchenkko S.<sup>1</sup>, Horiashchenkko K.<sup>1</sup>, Musial J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khmelnytskyi National University, Ukraine

<sup>2</sup> UTP - WIM – Bydgoszcz, Poland

## Introduction

Three different drop-wall models were considered by Reitz [1], as depicted in Fig. 1. In the first and simplest called Stick, drops that reach the wall stick to the wall at the impingement location and continue to vaporize. In the second model called Reflect, drops that reach the wall rebound with their tangential and normal velocity components unchanged, but the normal velocity component has opposite sign (specular reflection). In the third model called Jet, it is assumed that an incident drop leaves tangent to the surface in the manner of a liquid jet. The motivation for using this jet analogy can be seen by considering the limiting case of the impingement of a continuous stream of closely spaced drops, which would be expected to behave like a liquid jet.



**Fig. 1. Schematic diagrams of the Stick model (drops adhere to wall), Reflect model (drops rebound) and Jet model**

## Typology of knowledge

Considered the problem of a liquid jet impinging on an inclined wall. The jet is transformed into a sheet that flows outward along the wall [2.3]. The problem can be solved analytically for a two-dimensional (planar) inviscid jet. In three dimensions (round jet) considerations of mass and momentum conservation alone (which are all that is needed in the 2-D case) are incapable of giving the angular distribution of thickness of the outgoing sheet,  $H(Y)$  (see Fig.1). Naber and Reitz [1] introduced an empirical approach where the sheet thickness was assumed to be given by

$$H(\psi) = H_{\pi} \exp(\beta(1 - \psi/\pi)), \quad (1)$$

where  $a$  is the jet inclination angle, 'a' is the radius of the approaching jet and R is the radius of the circle at which the sheet thickness, H( $\Psi$ ) is defined (see Fig.1). The fluid which flows out between  $\Psi$  and  $\Psi + d\Psi$  is proportional to the sheet thickness since in potential flow the liquid velocity (speed), q, does not change along streamlines [1]. Combining Eqs. (2) and (3) gives

$$\sin\alpha H \int_0^{\pi} (\psi) d\psi = \int_0^{\pi} H(\psi) \cos\psi d\psi$$

or, with Eq. (1)

$$\sin\alpha = \left( \frac{\exp(\beta)+1}{\exp(\beta)-1} \right) / 1 + (\pi/\beta)^2 . \quad (4)$$

which is the expression for p.

It was further assumed that the angle, Y, at which an impinging drop leaves the surface can also be found from the liquid jet analysis. In this case the function H(W) is interpreted as the probability that a drop leaves in a direction between w and dw, and the angle is obtained by integrating Eq. (1) as

$$\psi = -\frac{\pi}{\beta} \ln \{1 - p(1 - \exp(-\beta))\} \quad (5)$$

where  $p$  is a random number uniform on the interval (0,1). This assumption is consistent with the stochastic method of solution of the spray equations used by [1, 2].

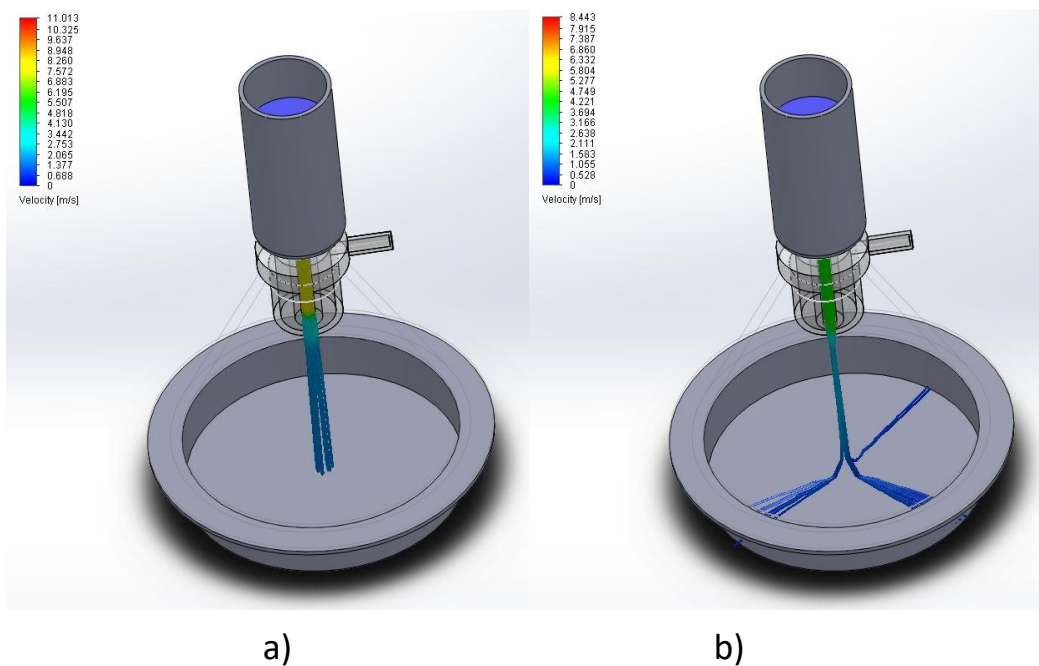
Located at the pole of the mesh on the top face of the cylinder, and the injector orifice diameter was 0.18 mm.

There is little interaction between the spray and the wall at high impingement angles, as shown in Fig.2, which compares predicted and measured spray outlines at different wall impingement angles. For large values of the entire spray is deflected away from the wall. The agreement between the computed and measured spray outlines is reasonably good. However, the computed spray generally underestimates the measured spray outlines. This could be because photographs of sprays are most

sensitive to the smallest drops (which scatter light efficiently) and the computations consider only a limited range of drop size.

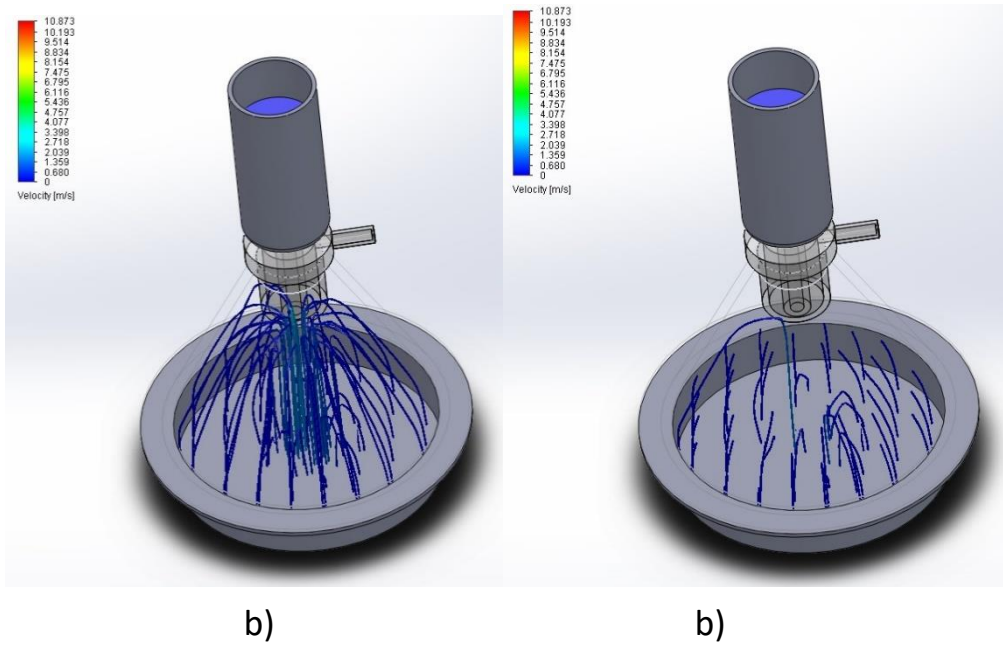
The expansion of the fluid (Fig.3 and Fig.4) with a slight deviation progresses intensively, but is quickly within 4-8 m/s. In the repeated simulation with the corresponding deviation, we note a significant higher velocity of fluid motion.

Mathematical modeling confirms the possibility of the liquid being opened in the air, thus achieving a fluid velocity of up to 12,108 m / s, as well as the required one, which denotes liquids flowing into the central chambers and, as a rule, opens to the sides. Thus, it is possible to predict the location of the tissue in which other chambers are placed.

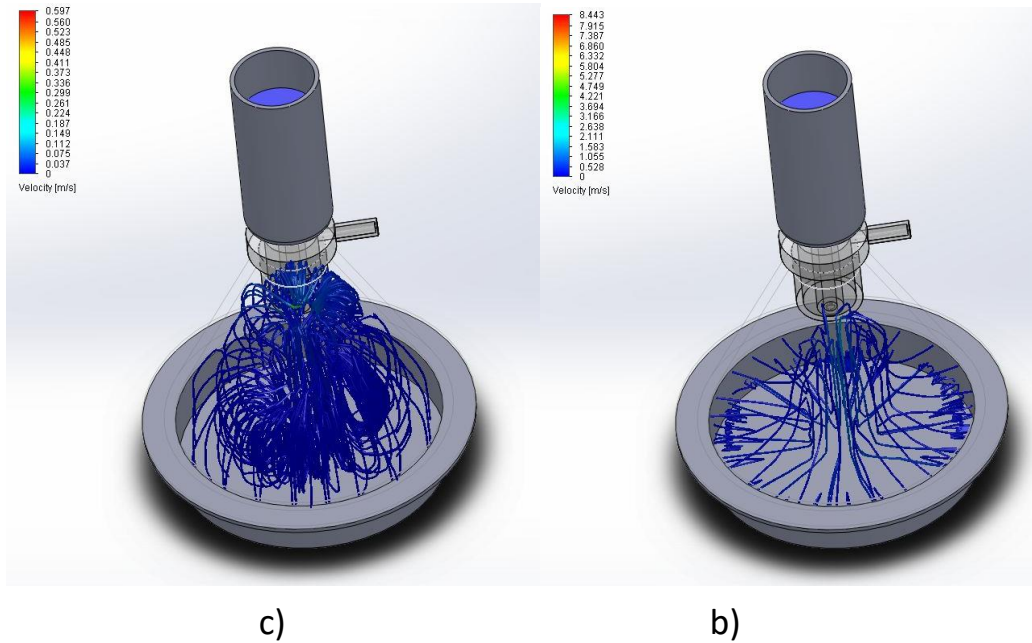


**Fig. 2. Modelling interaction between the spray and the wall**

This lends itself to effective page coverage. In addition, its two-phase flow, which is made of polymer and air, which is formed in a drop, is obtained. Determination of the geometric characteristics of the droplets sprayed at certain values of the pressure of the air.



**Fig. 3. Modelling interaction between the spray and the wall:**  
 a) time - 4 ms, b) time- 10 ms



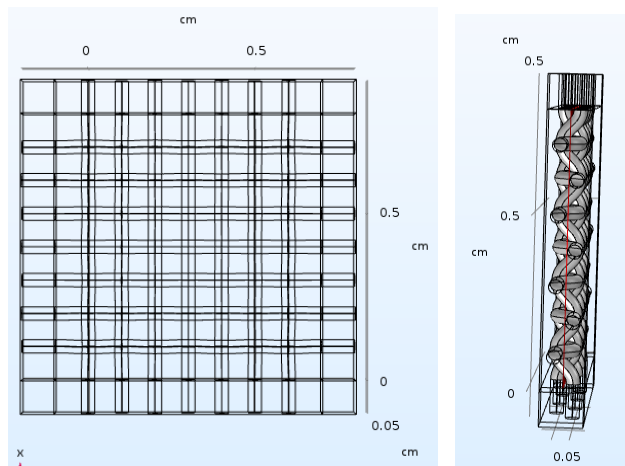
**Fig. 4. Predicted sprays for impingement distance of: a) 8MPa and b) 4 MPa**

We assumed that the drop's diameter does not change during the wall interaction in both the drop rebound and slide regimes. In reality, impinging drops at high Weber numbers disintegrate following the wall interaction. In [6, 7] experimentally identified six possible modes of breakup when a drop impinged on a hot surface at atmospheric pressure including modes: where the drop rebounds from the surface with or without subsequent atomization; where vapor bubbles from the

hot surface blow through the liquid film on the surface causing breakup; and where the drops do not contact the surface due to the presence of a thin vapor film.

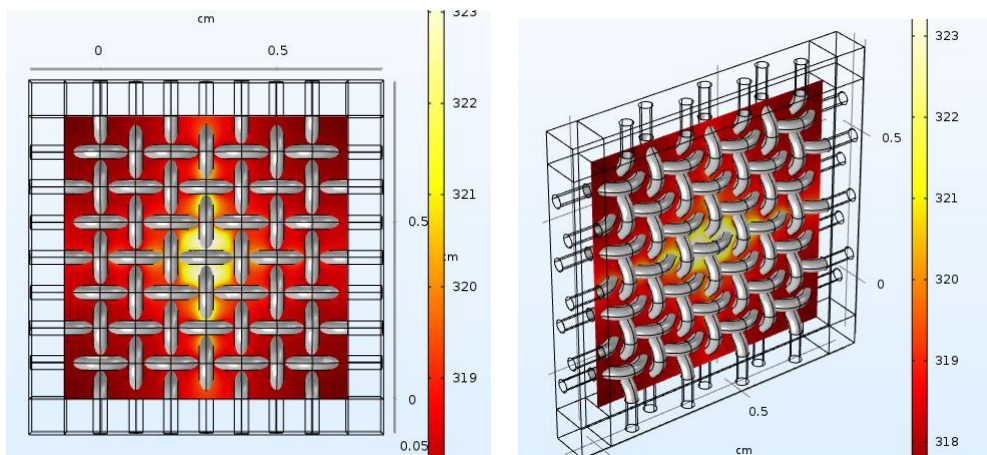
The breakup of drops that impact the wall was considered. We modeled enhanced secondary breakup of drops that impinge on the wall surface by setting the breakup time model constant for those drops that impinge on a wall, consistent with the results for drops that are suddenly exposed to a violent disturbance. The computations were performed using SOLIDWorks shown in Fig. 5, and comparisons were made with the experimental data.

As can be seen, the predicted spray penetration after impingement depends strongly on the value of the breakup model constant (Fig.6).



**Fig. 5. Model of substrate of complex form**

This suggests that drops that suddenly impact a solid surface, or drops that are suddenly exposed to a high velocity air stream are destabilized, and that this destabilization process can be accounted for by using a smaller value of the breakup time constant.



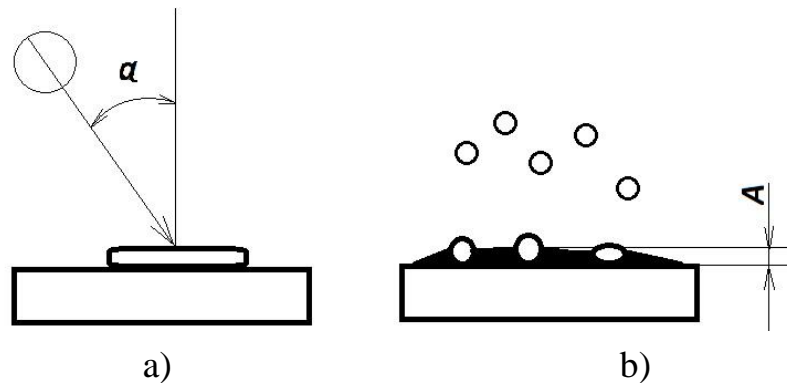
**Fig. 6. Modeling the impact of a drop on a solid surface**

The formation of a continuous liquid film that wets the wall is also not described by the wall interaction model. Liquid film details influence heat transfer and vaporization rates in high temperature applications. In the flooded case heat transfer is modeled based on boundary layer correlations. In the non-flooded regime heat transfer is modeled by considering correlations for individual drops impinging on a surface.

The total heat transfer from the surface to a drop or film is found from

$$Q = hA(T - T_s) t_{res} + Q_g, \quad (6)$$

Where  $A$  is the liquid area in contact with the wall,  $h = \text{Nu} K/d$  is the convective heat transfer coefficient,  $\text{Nu}$  is the Nusselt number,  $d$  is equal to the drop diameter,  $d$ , or, for flooded cases, to the film thickness.  $K$  is the liquid thermal conductivity,  $T$  is the liquid drop or film temperature,  $T_s$  is the surface temperature,  $t_{res}$  is the residence time for the liquid on the surface and  $Q_g$  is the heat transfer from the gas (only relevant when a film is present).

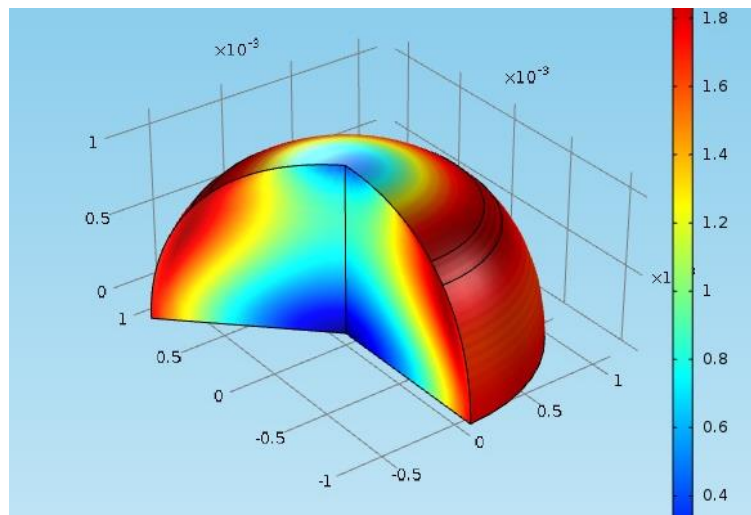


**Fig. 7. Drop spreading on impact: a) representation liquid film formation of thickness, b) The film is the collection of impinged drops with  $W_{ei} > 40$**

A drop with an incoming Weber number greater than 40 was assumed to slide along the surface for heat transfer purposes, following the Jet impingement model of [1, 3]. A drop with an incoming Weber number less than 40 was assumed to rebound from the surface after a residence time in contact with the surface equal to the first order vibration period of the drop during which heat is transferred to the drop.

$$\tau_4 = (\pi/4) \sqrt{\rho d^3 / \sigma}. \quad (7)$$

Drops with Weber numbers less than 40 do not contribute to a film since they rebound from the surface or film. Computed the film thickness,  $A$ , (see Fig. 7) by taking the total mass of drops whose impingement Weber number was greater than 40, and dividing by the fuel density, and the surface area of the cell. The film temperature was the mass average temperature of all film drops. For an impinging drop that slides along the surface, whether or not that drop is part of a film, the residence time is the time it stays in contact with the wall, and the area of contact with the surface in the flooded regime is surface area of the flooded cell. However, for an individual impinging drop the average contact area,  $A=n(D_{max}/4)^2$ , is based on the spreading equation of [3], where the drop spreading diameter  $D_{max}=0.613 d We_i^{0.39}$  (see Fig. 8).



**Fig. 8. Modeling of heat transfer of deformed droplet**

The gas phase heat transfer was found using the modified law-of-the wall. The liquid phase heat transfer in the flooded regime was based on heat transfer correlations for boundary layer flow of the form  $Nu = 3.32 Pr^{1/3}$ . To compute the temperature change of a drop or film in contact with the wall, an energy balance is performed of the form

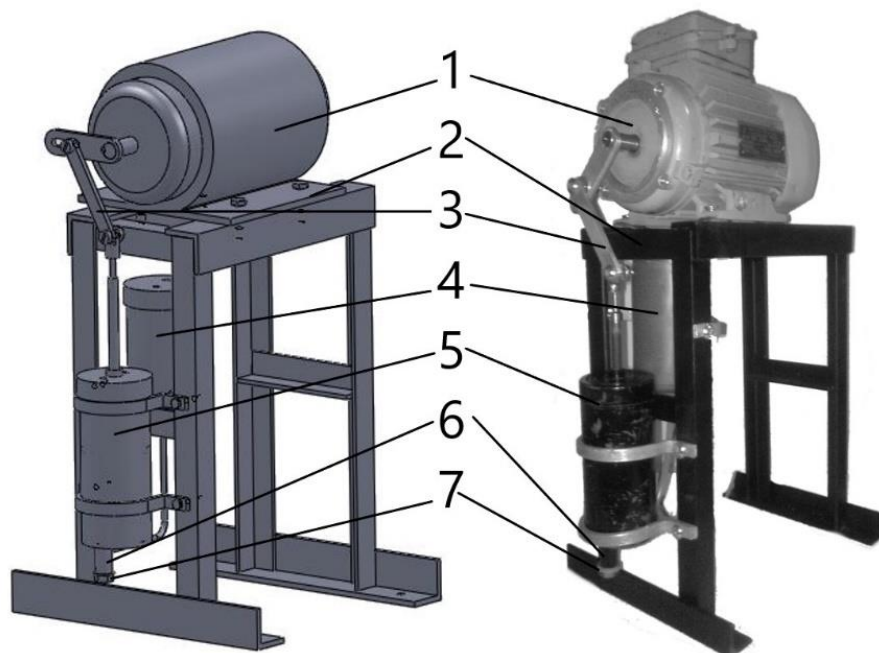
$$\Delta T = Q/mC_l, \quad (8)$$

where  $C_l$  is the specific heat of gas, and  $m$  is the film or drop mass. In the flooded regime this computation is performed on an individual cell basis, and in the non-flooded and rebounding cases it is done for each individual drop.



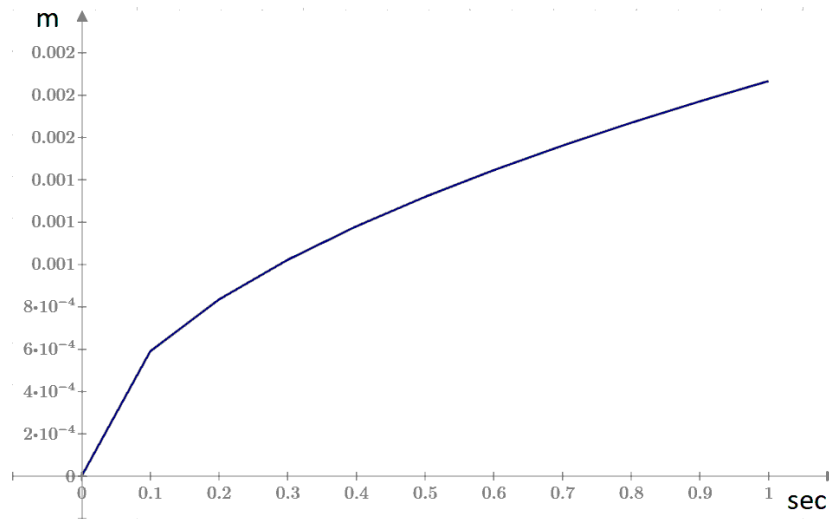
$$h_{\pi} = \frac{cS\Delta T}{W} \sqrt{\frac{Pt}{\eta} \frac{2r_{ki}}{h_{ki}}}, \quad (9)$$

Computer model of a liquid spraying device in SolidWorks was performed and an experimental sample of equipment capable of spraying a certain amount of polymer (Fig. 9). The installation consists of an electric motor 1, a frame 2, a crank mechanism 3, a tank for heating the polymer 4, a pump with a mixing chamber 5, a spray 6 with a controlled nozzle 7. The predicted spray breakup pattern for an impingement distance of 200 mm is shown in Fig. 9. The spray breaks up and is mostly vaporized by the time it impinges at about 1 sec after injection. The predicted heat flux due combined gas and liquid phase heat transfer is shown in Fig.8, and is in reasonable agreement with the experimental results, but the computed heat flux is larger than that measured at the end of the comparison period. This could be due to uncertainties in the injection velocity which was assumed to be constant in the simulations while in the experiments the injection pressure varied with time.

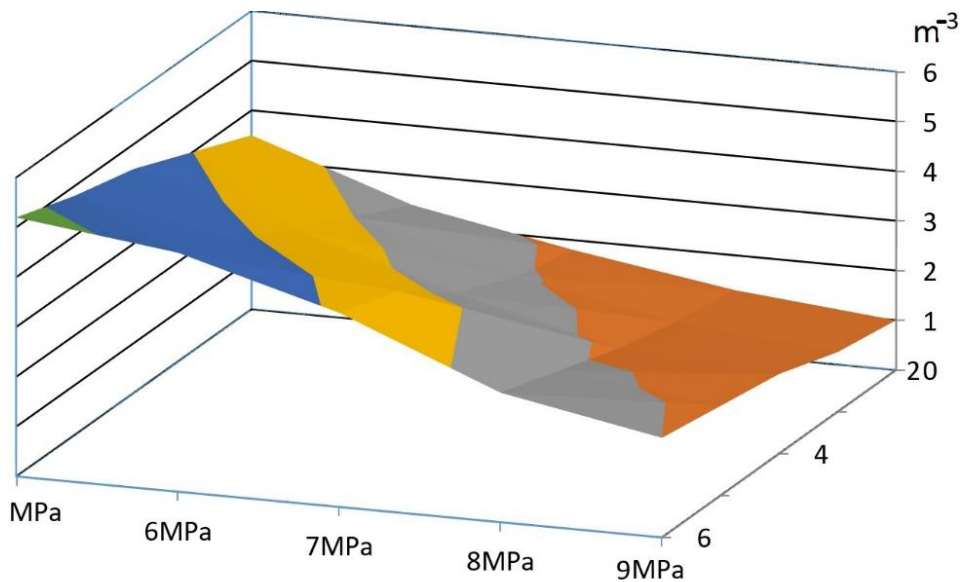


**Fig.9. Model and photo of liquid spraying device**

The obtained coating properties are presented in Fig.10. It is shown that most often they have the most widespread coatings for a variety of vats on polymer substrates. In particular, good agreement with the experimentally measured spray penetration is obtained. Dependence of coating thickness on pressure showed in Fig. 11.



**Fig. 10. Dependence of coating thickness on spray time**



**Fig. 11. Dependence of coating thickness on pressure**

### Summary

Thus, the processes occurring in the spray were modeled. Effective velocity of fluid flow at the outlet within 7.5-8.2 m/s, at which the pressure inside the system is optimal.

The obtained values showed that the existing approaches for the application of polymeric materials do not give a qualitative result due to the instability of the temperature fields in the process of forming the spray stream. There is also rapid cooling of the polymer, which causes it to thicken even before it collides with the surface of the materials. The above application method is suitable for the application of polymeric materials having a temperature range from 10<sup>0</sup>C to 50<sup>0</sup>C.

## References

1. Wu, K.-J., Reitz, R.D. and Bracco, F.V. Measurements of Drop Size at the Spray Edge near the Nozzle in Atomizing Liquid Jets, *Physics of Fluids*, Vol. 29, 1986. P. 941-951,
2. Adler, P. i Clark, K. (1991), Behind the learning curve: a sketch of the learning process, *Management Science*, Vol. 37, No. 3.
3. Sen, A.K. *Coated Textiles: Principles and Applications*. Second Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.
4. Berger-Neto, A.; de Souza Jaccoud-Filho, D.; Wutzki, C. R.; Tullio, H. E.; Cunha Pierre, M. L.; Manfron, F.; Justino, A. Effect of spray droplet size, spray volume and fungicide on the control of white mold in soybeans, *Crop Protection*, vol. 92, 2017. P. 190 - 197.
5. Tratnig, A.; Brenn, G. Drop size spectra in sprays from pressure-swirl atomizers, *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 36, iss. 5, 2010. P. 349 - 363.
6. Horiashchenko, S. Research Spray and Device for Polymer Coatings on Fabric/ *Mechanika 2015 Proceedings Of The 20th International Scientific Conference*, Kaunas, 2015. P.101-104.
7. Horyashchenko, S., Golinka, I. Simulation of particle flow of the polymer droplets using ultrasonic spraying / *22th International Scientific Conference: Mechanika 2017 - Proceedings*. Kaunas. P.134-137.
8. Reitz R.D. *Computer Modeling of Sprays*, Spray Technology Short Course, Pittsburgh, PA, Mechanical Engineering Department, University of Wisconsin, Madison, 1996. 115 p.
9. Horiashchenko S. Research spray and device for polymer coatings on fabric, *20th International Conference: MECHANIKA 2015 – Proceedings*, P. 101-104.
10. Modeling and reserch of polymer coating on clothing materials. S. Horyashchenko, G. Paraska, S. Petegerych. // *Innovation in textile materials&protective clothing*. Monograph, Warsaw, 2012. P.151-159.

# HEMP GATHERING TECHNOLOGY AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

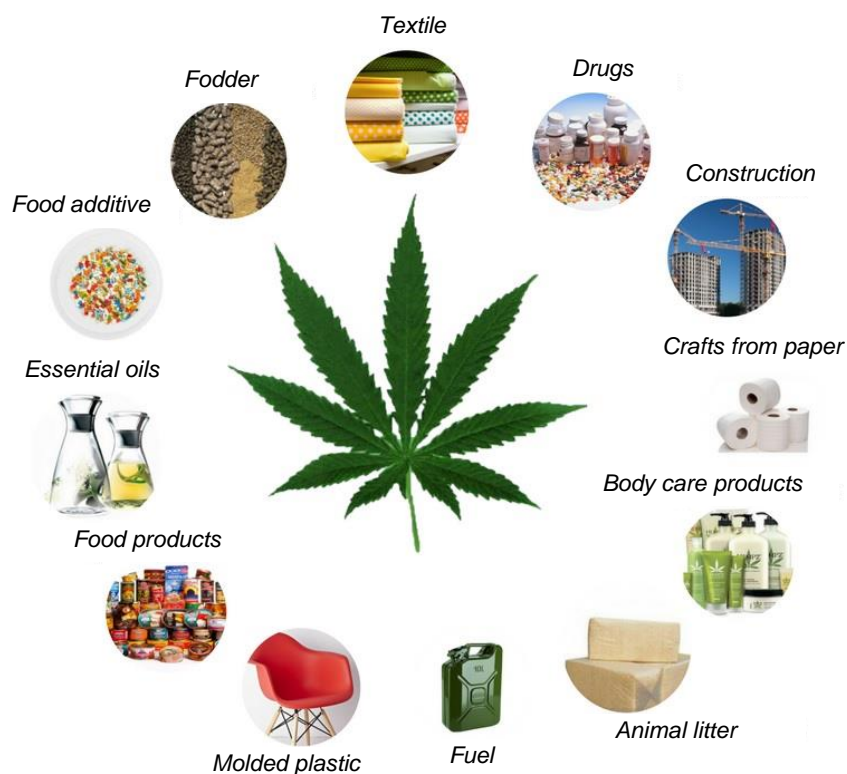
Nalobina O.<sup>1</sup>, Herasymchuk O.<sup>2</sup>, Puts V.<sup>2</sup>, Lobanov V.<sup>1</sup>, Melnyk P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National University of Water Management and Nature Management, Ukraine

<sup>2</sup> Lutsk National Technical University, Ukraine

## Introduction

Hemp farming is a promising industry for Ukraine. The diversity of culture hemp is explained by its uniqueness, diversity of use. Hemp is grown to produce only fibre or only seeds, or seeds and fibres, which requires the use of a variety of technologies and technical means that are currently costly and do not provide quality products. From hemp, it is possible to make up to 50 thousand various products (Fig. 1).



**Fig. 1. Scope of industrial hemp**

Bast fibres are natural fibres of plant origin. Hemp fibre is long, rough, but has great strength and does not rot during prolonged stay in water. Textiles made of them, made in the style of «eco-naturel», enjoy wide popularity worldwide due to their specific appearance and a set of positive properties. They have special biomedical and protective properties, which is not enough for cotton products. Due to the unique complex of properties of bast fibres, such as high strength, low electrical resistance,

comfort, natural bactericide and hygiene, worldwide demand for textile (hemp) products is growing not only for technical but also for household purposes.

One of the promising areas is the use of hemp in the pulp and paper industry, which currently uses wood as a raw material. The content of cellulose in hemp fibre is 70-77%. From one hectare of hemp, it is possible to receive about six tons of cellulose a year. This is significantly more than the annual growth of one hectare of forest. Trees grow for decades, and hemp crops can be harvested just 120 days after planting.

In addition, hemp paper has a number of advantages:

- does not require whitening;
- is not yellow;
- has high strength and durability;
- resistant to getting wet;
- can be reworked many times;
- paper production requires significantly less chemical consumption.

The development of this direction will allow to preserve forests in Ukraine (the use of technical hemp as a raw material for the pulp and paper industry will reduce deforestation by 42%) and enter the world market with high quality and relatively inexpensive products.

Intensification of the expansion of the use of hemp in Ukraine should be based on the development of innovative technologies for their production and domestic technical means, in particular to ensure the gathering process.

The process of collecting hemp is characterized by complexity and labour intensive. The implementation of the technological gathering process is characterized by the use of a whole complex of technical means that must meet the basic requirement – the ability to interact with stems that have fibrous components in their composition.

Mechanization of harvesting and processing of hemp remains an urgent problem that requires the development of new efficient, simple in design and reliable machines.

### **Typology of knowledge**

Scientific developments aimed at the development of drug - free varieties of hemp with a high fibre content of Ukrainian scientists Vyrovets V.H. [1, 2], Mihal

N.D. [3, 4] became the basis for improving the methods of collecting hemp, making trusts from stems and technology of its primary processing [5-8].

Special attention should be paid to scientific developments of specialists of the Institute of bast crops of the National Academy of agrarian Sciences of Ukraine (city Hlukhiv) [9-11].

Scientists have developed an innovative technology for collecting industrial hemp, which is based on the use of high-performance agricultural machinery for general purposes. Their implementation and use can reduce energy costs; reduce production costs and manual labour costs.

According to the proposed technology, the seed component of the crop is harvested by a combine harvester with a keyboard straw and a reaper, which has a significant lifting height. The stems that remained in the field, it is proposed to collect in the autumn with the use of mowers or in the spring with the use of rotary rakes.

The analysis of the proposed technological processes revealed the following drawbacks:

- the use of autumn technology is characterized by a high probability of loss trusts, due to the influence of weather factors;

- lack of collection of stem part of spring technology is the inability of selection formed rotary rake swath pick-up balers of the existing design through a substantial length of the stems (over 1 m) which enter the chamber in the form of inelastic chaotic mass.

With this in mind, the task was to improve the spring method of collecting stems by developing a device that will ensure the breaking of stems, the formation of a uniform roll with parallel placement of stems in it. Which will simplify the formation of rolls from the roll by the baler and improve the quality of the resulting raw materials.

## **Materials and methods**

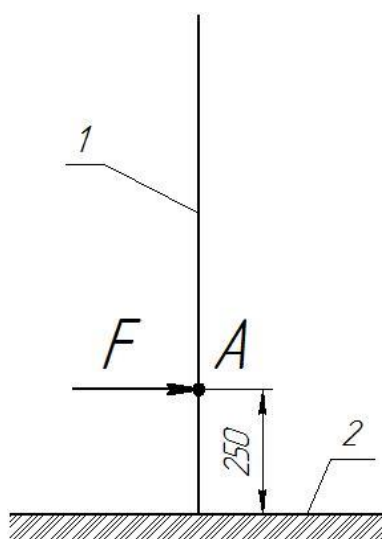
The authors set a task to improve the method of harvesting hemp stems by using a device that will ensure the breaking of the stems, the formation of a uniform roll with parallel placement of the stems in it, simplify the formation of rolls from the roll by a baler and improve the quality of the obtained raw materials [12].

The development of a new method of harvesting hemp and devices for its implementation was carried out in two stages:

- 1) formation of the concept of the method of cleaning.;
- 2) development of the device design.

The collection of hemp is known to be carried out both in the autumn and in the spring. For the final selection of the most rational time of harvesting, preliminary experimental studies were conducted. The study aims to establish the magnitude of the fracture force of stems in the autumn and spring periods.

The experiments were carried out in the field. To determine the fracture force of the stems, a dynamometer was used, which was attached to the stem at a distance of 250 mm from the ground line (Fig.2).



**Fig. 2. Scheme of the study: 1 – stem; 2 – soil; A – the point of application of force; F – the fracture force of the stem**

The fracture force for technical hemp stems of different diameters was determined.

The obtained average values are presented in table 1.

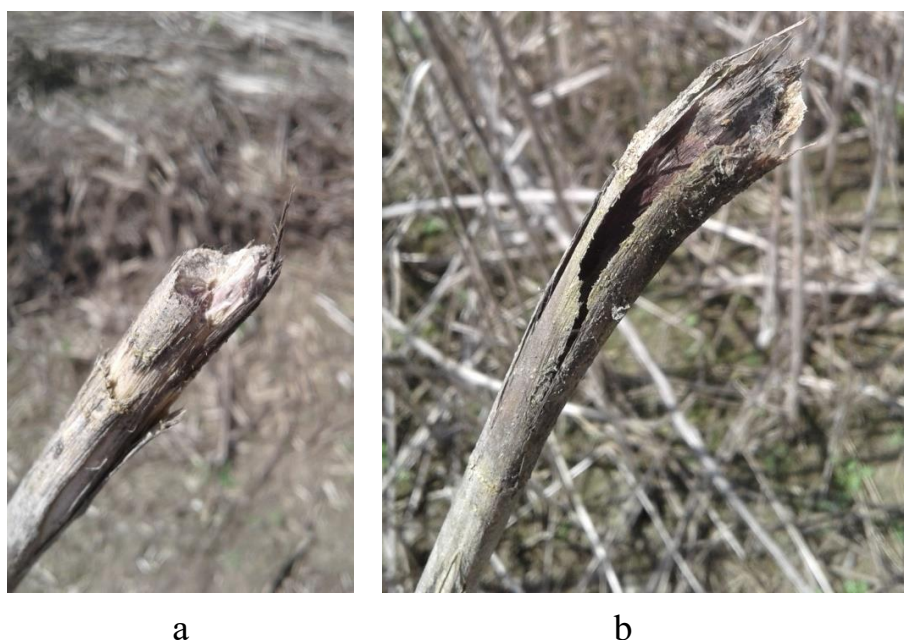
At the time of the studies in the autumn, the process of rotting of the basal part of the hemp stem was partially started, which explains the significant range of the obtained values of the fracture force of the stems.

For the fracture of the stems, provided the organization of the process of collecting them in the spring, you need to make much less effort, the difference between the average values of the fracture force of hemp stems in the autumn is greater than in the spring.

**Table1 – Values of stem fracture forces in autumn and spring**

| №              | Efforts of the fracture, period |        | №  | Efforts of the fracture, period |        |
|----------------|---------------------------------|--------|----|---------------------------------|--------|
|                | Autumn                          | Spring |    | Autumn                          | Spring |
|                | H                               | H      |    | H                               | H      |
| 1              | 12,86                           | 4,72   | 6  | 14,87                           | 7,96   |
| 2              | 11,02                           | 2,98   | 7  | 9,37                            | 3,71   |
| 3              | 8,27                            | 9,12   | 8  | 13,60                           | 5,40   |
| 4              | 15,76                           | 7,43   | 9  | 12,43                           | 6,02   |
| 5              | 11,71                           | 6,24   | 10 | 14,43                           | 5,81   |
| Average values |                                 |        |    | 12,77                           | 5,95   |

A significant decrease in the fracture force, on average 2.14 times, is explained by almost complete rotting of the basal part of the stem during the winter period (Fig. 3), which greatly facilitates the cleaning of the stems, since it does not require a technological cutting operation, which is the most laborious, since the stems are quite rigid.



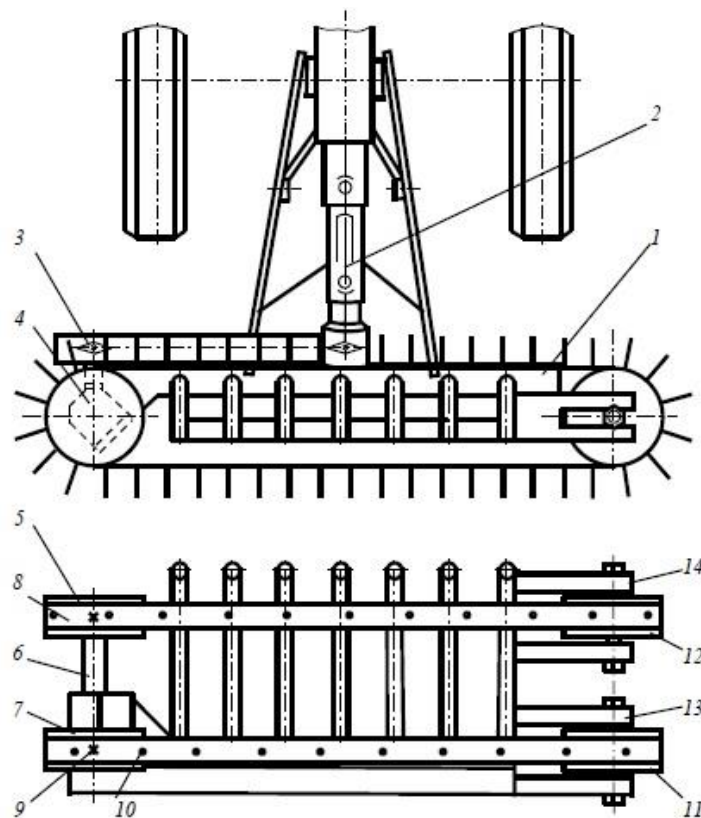
**Fig. 3. Basal part of the stem of technical hemp in different periods of the year:  
a – autumn; b – spring**



As you can see, the strength of the fracture in the autumn is much less in comparison with the spring, which facilitates the process of harvesting the stems of technical hemp, which makes it advisable to perform harvesting in the spring.

A device [12] is proposed to perform the gathering process. The schematic diagram of the device for collecting hemp stems is shown in Fig. 4.

The device comprises a frame 1, of welded round pipes, cardan transmission 2, chain transmission 3, the bevel gear 4, a drive pulley 5, the shaft 6, pulley 7, pass 8, 9 with fingers 10 are driven by the pulleys 11, 12 and the tensioner 13, 14. Fingers 10 are placed on passes 8 and 9 in staggered order.



**Fig. 4. Device for harvesting hemp stems**

The process of collecting hemp stems is as follows.

The device moves across the field tractor. During the movement of the device, the stems fall between the fingers of 6 passes 4 and 5. Belts 4 and 5 rotate on twin pulleys 2 and 3. The stems are clamped between the fingers of 6 passes 4 and 5, cracked in the basal part, transported by them and displayed on the side. After exposure of the fingers on the stems, the last field laid out on the side of the device, forming a windrow.

Testing of the proposed device was carried out in the field (Fig. 5). Characteristics of hemp stems are shown below (table. 2).

**Table 2 – Trust parameters**

| № | Parameter                 | Value    |
|---|---------------------------|----------|
| 1 | Average stem height       | 117,1 cm |
| 2 | Average diameter of stems | 9,43 cm  |

To compare the parameters of the formed rolls, in addition to the proposed device, rotary rakes were used (Fig. 6).



**Fig. 5 . Harvesting hemp stems**

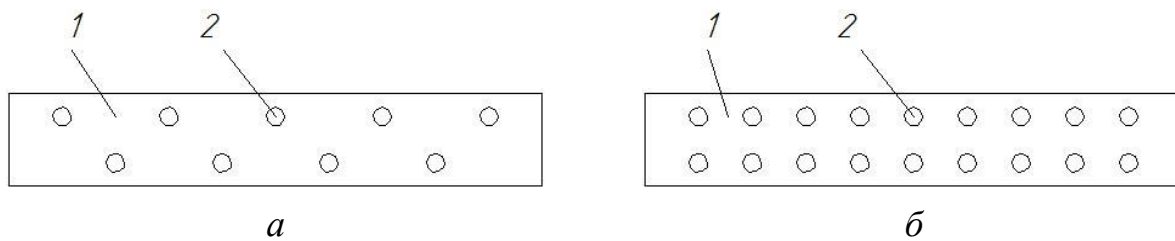


**Fig. 6. Use of rotary rakes when harvesting hemp stems**

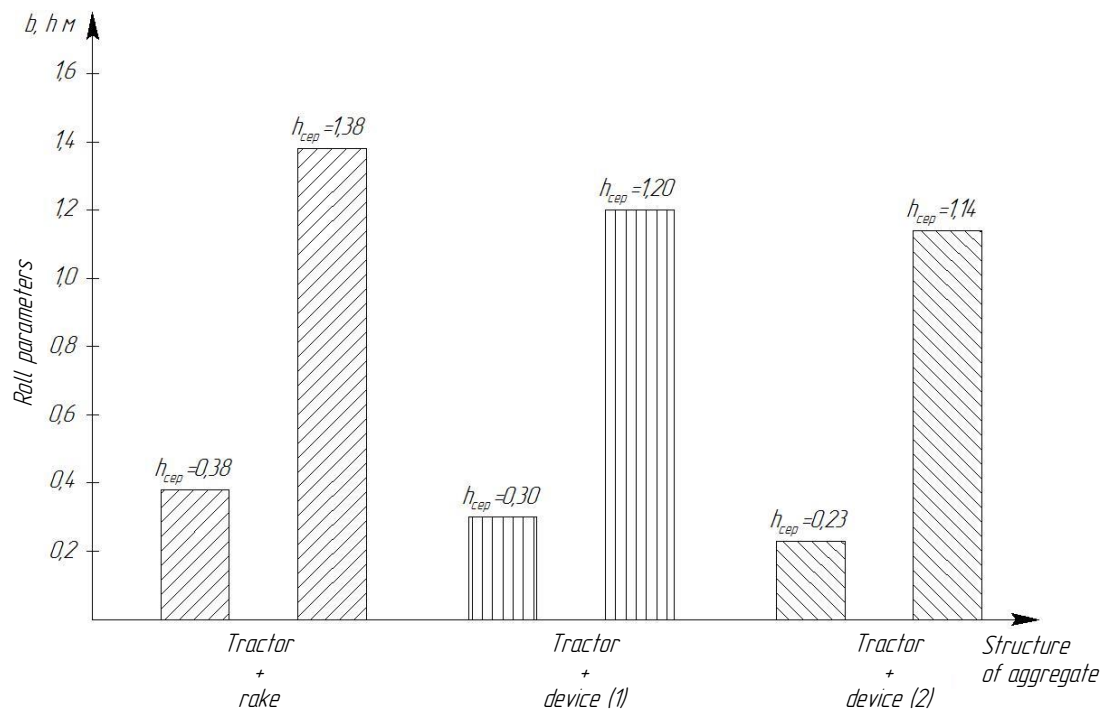
The rolls obtained during the harvesting were evaluated according to the following parameters: width of the roll, deviation of the stems in the roll from the

longitudinal axis (direction of movement of the unit); the number of stems left unbroken after passing the technical means.

Fig. 7 shows graphically the results of the tests. It should be noted that Fig. 7 presents the results obtained using two variants of the device: device (1) – fingers on the belts are staggered; device (2) is a structure that was previously equipped with straps with fingers, which are arranged in parallel rows (Fig. 8).



**Fig. 7. Schemes of placing fingers on the belt: a – chess order; b – parallel:  
1 – pass, 2 – fingers**



**Fig. 8. Roll parameters (average value at 10m length): b – roll width, m;  
h – height, m**

As seen in Fig. 9 application of the proposed design of the device allows reducing by 39% the height and 17,4% the width of the roll due to the ordered (almost parallel) laying of the stems. These rolls are well chosen baler, with reduced drive and loss of the trusts during the retrieve.

In addition, it was found that under the condition of the location of the fingers on the passes, the strings provide a complete scrapping of all the stems that fall into the zone of their influence. At the same time, under the influence of fingers that are staggered, on average, 10% of the stems were not subject to scrapping. This led to a significant shift of stems, their crossing and departure of stems in the opposite direction to the direction of rotation of the pass.

## **Conclusion**

A method of harvesting hemp stems in the spring and a device for its implementation are proposed. The use of this device provides a break stems and laying them in the roll, which is characterized by a uniform arrangement of stems in it. The average deviation of the stems from the longitudinal axis of the roll in the direction of movement of the unit is 20.70.

The use of the device allowed reducing the downtime of the baler by reducing the scoring by 11,4%.

## **Summary**

Given the results analysis of known technologies and techniques for hemp harvesting a method of harvesting hemp stems in the spring and a device for its implementation are proposed. In the course of the experimental studies, the expediency of spring harvesting technology was proved. Field tests of the device proved its efficiency and advantage over well-known technology based on the use of rotary rake.

## **References**

1. Vyrovets V.H., Barannyk V.H., Hiliazetdinov R.N. (2011). Konopli: monohrafiia [Hemp: monograph] – Sumy: Vydavnychi budynok "Ellada" [in Ukrainian].
2. Vyrovets V.H. (2015). Seleksiya nenarkoticheskoi posevnoi konopli: monohrafiya [Selection of non-narcotic sowing hemp: monograph]. Sumy: Ellada [in Russian].
3. Myhal M.D. (2011). Biolohiia lubianykh volokon konopel [Biology of bast fiber hemp]. Sumy: TOV «TD «Papyrus» [in Ukrainian].
4. Myhal M.D. (2015). Biolohiia formuvannia nasinnievoi produktyvnosti konopel: monohrafiia [Biology of formation of hemp seed productivity: monograph]. Sumy: Vydavnychi budynok "Ellada" [in Ukrainian].
5. Firsov I. P. Pererabotka konopli na volokno [Processing of hemp for fiber]. Retrieved from: <http://megafermer.ru/article/557> [in Russian].
6. Hiliazetdinov R. Technologii dlia konopli [Technology for cannabis]. Retrieved from: <http://tku.org.ua/news/2970> [in Russian].
7. Primakov O. Sovremennaya tekhnika kak faktor razvitiya tekhnologii sbora tekhnicheskoy konopli [Modern technology as a factor in the development of technical hemp harvesting technology]. Retrieved from: <http://tku.org.ua/news/2369> [in Russian].

8. Primakov O. (2013). Technichni konopli v Ukraini – pohliad v maibutnie. [Technical hemp in Ukraine - looking to the future] Suchasnia ahrarni tehnolohii – Modern agrarian technologies. No5., 36–40 [in Ukrainian].

9. Marynchenko I. O. Konoliana dyversyfikatsiia [Hemp diversification Zhurnal The Ukrainian Farmer – Magazine The Ukrainian Farmer 10 December 2014 Retrieved from – <https://www.pressreader.com/> [in Ukrainian].

10. Kabanets V.M. (2009). Halusi lionarstva i konopliarstva Ukrainy: stan ta perspektyvy [Areas of flax production and hemp production in Ukraine: status and prospects]. Zbirnyk naukovykh prats Instytutu lubianykh kultur – Collection of scientific works of the Institute of bast cultures of UAAS. – Issue. 5. – Sumy: SOD, 3-7 [in Ukrainian].

11. Marynchenko I.O. (2009). Perspektyvy rozvytku konopliarstva Ukrainy [Prospects for the development of hemp production in Ukraine]. Posibnyk ukrainskoho hliboroba. – Handbook of the Ukrainian farmer. No1. [in Ukrainian].

12. Patent 116268 A01D 45/00. Ukraina. Prystrij dlia zbyrannia konopel. [Ukraine. Device for harvesting hemp]. Nalobina O.O., Herasymchuk O.P., Koropchenko S.P., Kovalchuk R.VB. Claimed12.012.2016 Published10.05.2017. Bulletin No 9 [in Ukrainian].

# THE PRACTICAL USAGE OF THE PATH GENERATING LINKAGE MECHANISMS AND DWELL MECHANISMS ON THEIR BASIS

Kharzhevskiy V.<sup>1</sup>, Nosko P.<sup>2</sup>, Marchenko M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khmelnytskyi National University, Ukraine

<sup>2</sup> National Aviation University, Ukraine

## Introduction

The intermittent motion of the output link of the mechanisms during continuous rotation of the input link is necessary in many cases and is required in different types of modern machines. During the periodic dwell of the output link a technological operation can be performed, for that purpose the various types of mechanisms can be used, for example: cam mechanisms, nonfull teeth gear mechanisms, Geneva-type mechanisms etc. As known, that problem can be also solved with the linkage mechanisms which have only lower kinematic pairs and geometric closure of the links, unlike the other types of mechanisms. It enables to significantly increase the working velocities of machines, their durability and reliability and increase the load-carrying capacity. But the main problem of the practical usage of linkage mechanisms is their complicated kinematic synthesis.

For designing the mechanisms with a periodic dwell of the output link, path generating linkages can be used. In particular, basic circular and straight-line path generating mechanisms. Nowadays, many methods of such mechanisms' synthesis are developed, which have two main directions: the first one is the usage of algebraic Chebyshev's methods and the second one is the usage of the kinematic geometry methods which are grounded by Burmester L. Further development of the Chebyshev's methods was carried out, in particular, by Blokh, Kinytskyi [4], Sarkissyan [11], Gassmann [1]. The kinematic geometry methods were further developed by Müller [8], Beyer, Lichtenheldt, Cherkudinov, Murray [6], Yin, Han [13]. The modern state of the theory of synthesis of linkages is presented in the works of McCarthy [7], Wang [14].

The main principle of the synthesis by kinematic geometry methods, according to the curvature theory, is to find such special points in the coupler plane of the mechanism, that can be taken as trace points, which are the multiple knots of interpolation, and which satisfy the criteria of the high order tangency of coupler curve to its tangent circle in this point. In particular, one of special points of the coupler plane that can be used to synthesize straight-line and circular path generating

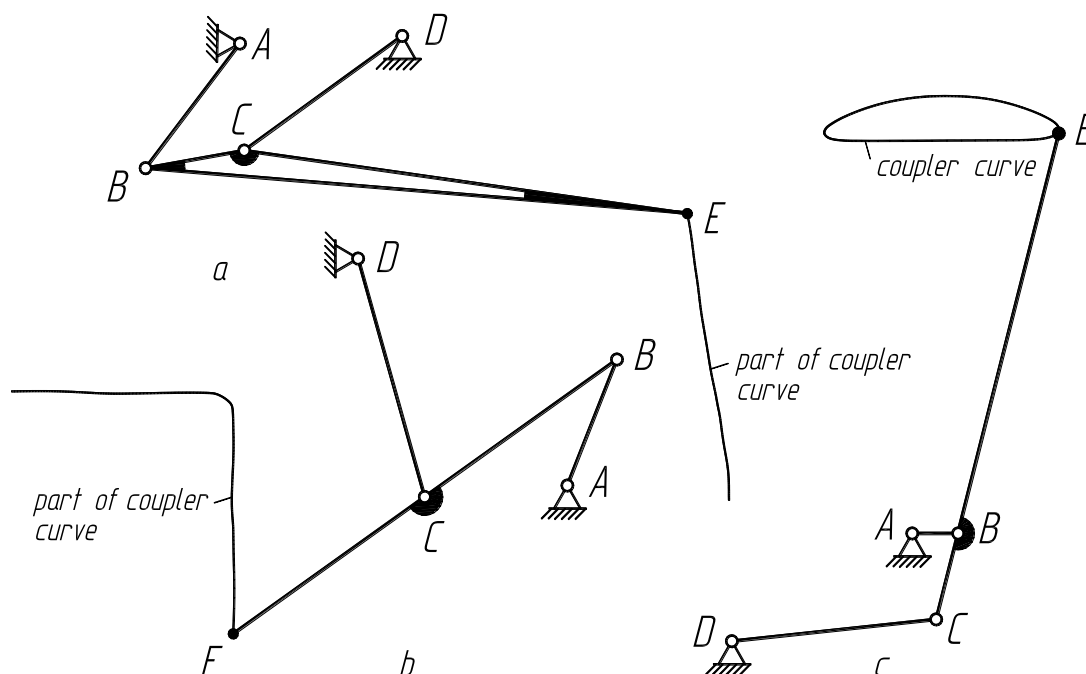
linkages with good approximation to an arc or to the straight line are: Ball's point, Burmester point, Chebyshev's point (Ball-Burmester) which are defined for several infinitesimally close positions of the coupler of the mechanism.

Linkage mechanisms are widely used in various fields of modern engineering, in particular in light industry, food, agricultural, printing, hoisting and many other machines. As revealed by the analysis of literary sources, planar linkage mechanisms are characterized by a variety of structural schemes and usually have from 4 to 14 links. The simplest one is a four-bar linkage mechanism, which can be used as a straight-line and circular path generating mechanism, as well as a basic mechanism for designing mechanisms with a dwell of the output link, as we are going to show below.

Thus, the main goal of the article is to show the samples of path generating linkages and dwell linkages in several practical cases.

## 2. Samples of straight-line linkage mechanisms and their application.

In Fig. 1, *a* the mechanism that is intended for the attachment of the coulters of the seed drill is shown. This mechanism is specific, it has no input link, and is driven by a connecting coupler, which is the axis of attachment of the disk coulters.



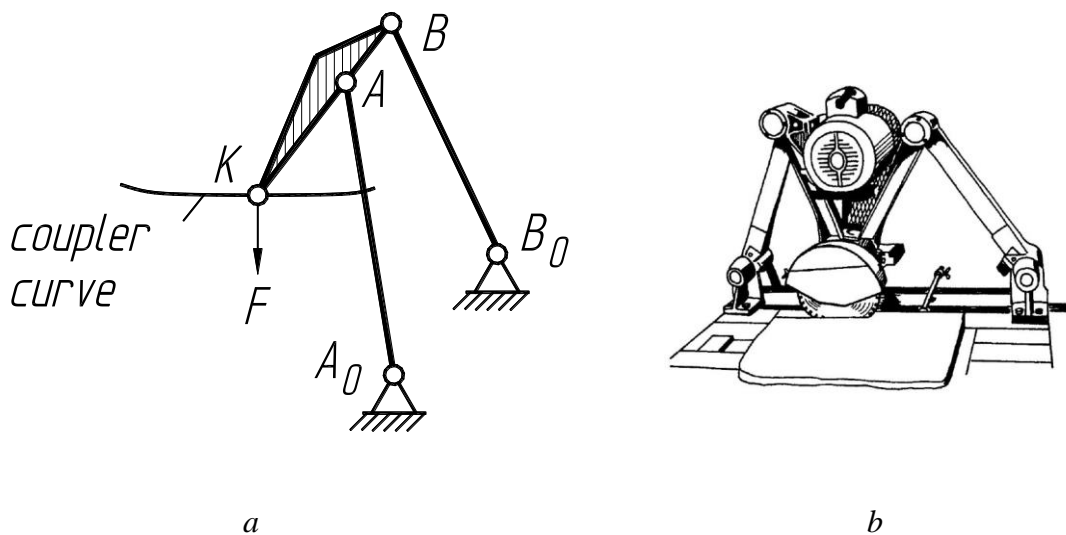
**Fig. 1. Straight-line four-bar linkage mechanisms [3]:**

**a) mechanism of attachment of the seed drill coulters; b) drive mechanism for the traverse of tire vulcanizer; c) picking mechanism of the loom**

The mechanism reproduces the predetermined linear motion of the coulters and was synthesized by Kikin A.B. [3]. In Fig.1, *b* a path generating mechanism that is designed to drive the top traverse of a tire vulcanizing machine is shown. The trajectory of the working point of the mechanism has two straight-line sections, located at an angle of 90 degrees. [3].

In the picking mechanism of the loom [3], shown in Fig. 1, *c*, the working point trajectory has a 300 mm straight-line section that corresponds to the crank angle  $\alpha_{\Sigma} = 90^{\circ}$ . The contact between the picker and the shuttle occurs only on the specified straight-line section, with a maximum deviation from the straight line of 0.25 mm. Mechanisms of this type are also used by «Saurer» company.

In Fig. 2, *a*, a lifting arm of the crane mechanism that acts as a two-balance four-bar mechanism is shown. As required, a lifting arm must retract and return with the lowest energy cost, and its point *F* should trace a trajectory approaching a straight line. The mechanism of power-saw benches [1] that is based on the four-bar straight-line linkage mechanism is shown in Fig. 2, *b*. The circular saw receives rotary motion from the motor located on the connecting coupler. During the cutting process the saw is moved along the straight line. Not all the connecting coupler curve is used, but only its straight section.

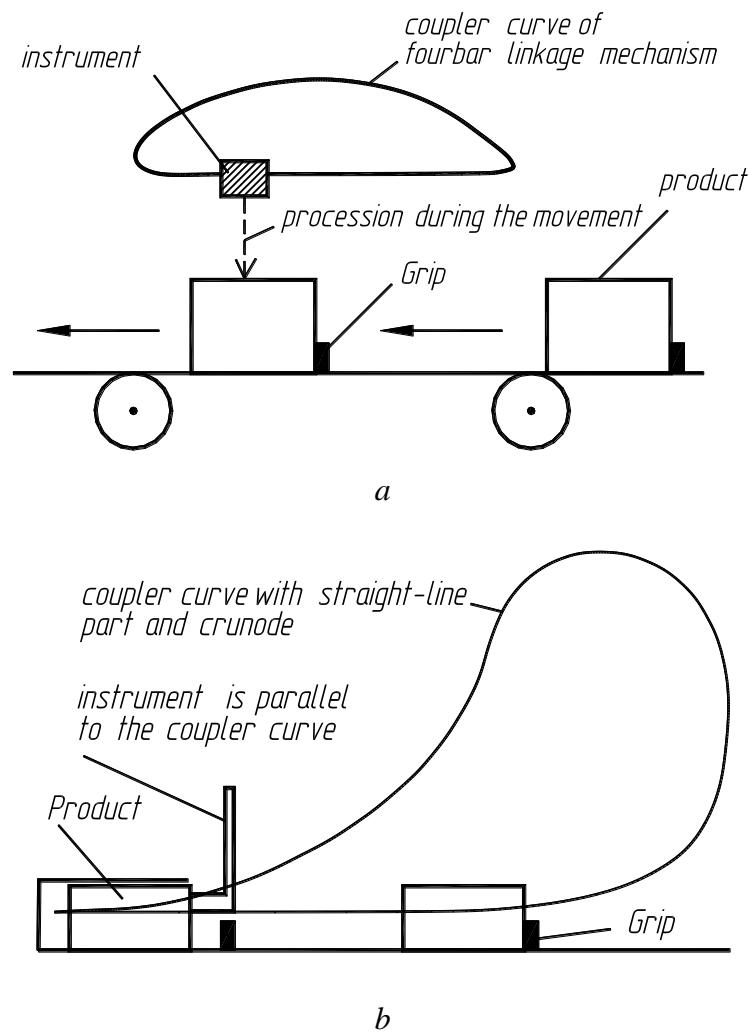


**Fig. 2. Examples of application of straight-line four-bar mechanisms:  
a) portal crane mechanism; b) mechanism of power-saw bench**

One of the modern fundamental works that is dedicated to the synthesis of the Chebyshev's straight-line linkage mechanisms, by means of numerical methods, is the dissertation paper of Gassmann F. [1]. There are several practical examples of



such mechanisms in this paper, some of which are shown in Figs. 3. In particular, in Fig. 3, *a* a diagram of parts' processing on a belt conveyor is shown. To save time, products must be processed while moving at constant speed. For example, a label may be stuck on, drilling operation can be performed, or a bottle can be filled. In the first two cases, it is necessary to provide a straight-line directional movement for the tool, and in the third case it is sufficient to point the filling head-dispenser on the top of the bottle. The movement is carried out in accordance with a predetermined stroke, to prevent collision with the next product a linkage four-bar mechanism with a D-shaped coupler curve is required.



**Fig. 3. Examples of the use of straight-line four-bar linkage mechanisms [1]**

In the work [1] is also shown the case of the practical usage of the Chebyshev's mechanism, its connecting coupler's curve is completely approaching to the straight line. This mechanism is used to receive products from the conveyor belt, then a predetermined movement to the next stage of processing can be performed [1]. In Fig. 3, *b* a diagram of inserting a tool into a narrow pipe is shown. The task is to

insert the tool into a narrow pipe or the workpiece into a magazine (for example, in the form of a rotary revolver head). In the paper [1] it was shown that by using a path generating linkage mechanism with a straight section of a coupler curve and a cusp point, it is possible to refuse the usage a folding mechanism and thereby simplify the construction.

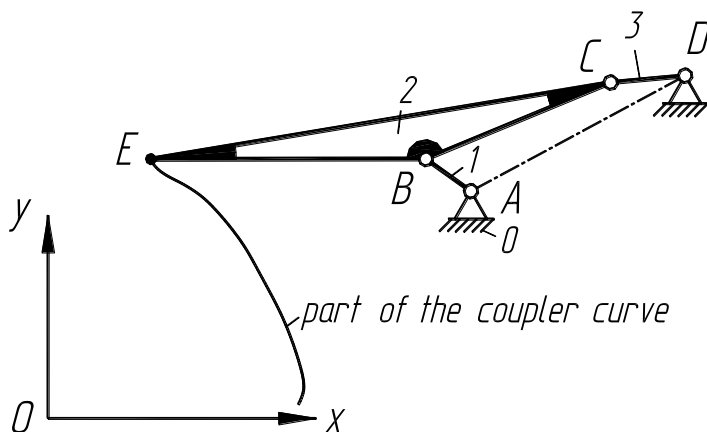
In the paper of Polyakov B.N. [10] it was shown the solution of the problem of synthesis of a four-bar linkage mechanism of ingots (blanks) pusher in order to reproduce a given straight-line trajectory of its executive link – a coupler. The task was to synthesize a mechanism with the length of a straight section (the distance between the axes of the fixed joints was taken as a unit). In addition to the above examples, the four-bar linkage mechanism is used as a basic straight-line mechanism in many other machines, among which there is a mechanism for compensating position errors during automatic assembly [1], a straight-line mechanism for the needles of high-performance sewing machines [1]. In the work of Semin A.G. [12] a four-bar linkage straight-line mechanism is used to design the six-linked needle mechanism of a overlock sewing machine of 508 class, its coupler is opened, that causes the needle to move exclusively in a straight line.

### **3. Samples of circular path generating linkage mechanisms.**

Several examples of straight-line path generating mechanisms have been considered above, but circular path generating mechanisms are also used in mechanical engineering to approximate some part of the coupler curve to the arc of the circle, as well as six-linked mechanisms with the dwell of the output link on their basis. Such mechanisms will be considered below.

*Mechanism for the traverse drive of the Schlafhorst winding machine.* In the Fig. 4 a kinematic diagram of a circular path generating mechanism for the drive of the traverse mechanism of a winding machine is shown, the synthesis of which was considered by Kikin A.B. [3]. The task was to upgrade the existing winding machine produced by the German company Schlafhorst, which uses a circular path generating four-bar mechanism, the part of the coupler curve approximates to the arc with a radius of  $R = 236.1$  mm, the swing angle is  $64^\circ$ . As was established, the existent mechanism was characterized with non-optimal transmission angles with the minimal value of  $\mu = 16^\circ$ , maximum deviation from the specified trajectory was 8.4 mm. As a result of optimization synthesis, using the numerical methods given in [3], the author

was able to increase the minimum transmission angle to the  $\mu = 19^\circ$ , deviation was reduced to the value of 3.1 mm.



**Fig. 4. Mechanism for the traverse drive of the Schlafhorst winding machine**

It should be noted that in order to provide better transmission angles, a six-linked path generating mechanisms (instead of four-bar) were synthesized and as it is shown in [3], in that case the theoretical deviations can be reduced and the minimum transmission angle may be increased, but the main disadvantages of such mechanisms is a complexity of the structure: in this case the mechanism already has seven hinges.

**The linkage mechanisms of the “Kokett” warp-knitting machine.** Modern warp-knitting machines often use linkage mechanisms instead of cam mechanisms in order to increase their speed and productivity. As noted in [2], the most difficult task is the design of linkage mechanisms which provide dwells of the looping mechanisms at the certain angles of rotation of the main shaft of the machine. At the same time, it is noted in [2] that six-link mechanisms are usually used to provide the dwell of the output link with the duration of  $\alpha_{\Sigma} < 90^\circ$ , and for longer dwells the number of links must be increased. In the “Kokett” warp-knitting machine, the looping process is carried out by means of compound needles using linkage mechanisms (Fig. 5).

In particular, in Fig. 5, *a*, the scheme of the mechanism of the needles, driven by a crankshaft  $O_1A$ , which is a crank. An  $MO$  linkage is pivotally connected to the connecting rod  $AB$  of the mechanism at point  $M$ , which drives the needle  $H$  with needles. The position of the point  $M$  on the coupler is chosen in a way that its trajectory has a part with approximately constant radius of curvature  $R$ . If the length of the link  $MO$  is taken equal to the radius  $R$ , then the needle will have practically no vertical movement in the upper position, as the hinge  $M$  moves along its trajectory  $\alpha - \alpha$ . Using the same principle, other mechanisms of the “Kokett” machine work, in

particular – mechanism that drives the eyelet (Fig. 5, *b*) and the compound needles (Fig. 5, *c*).

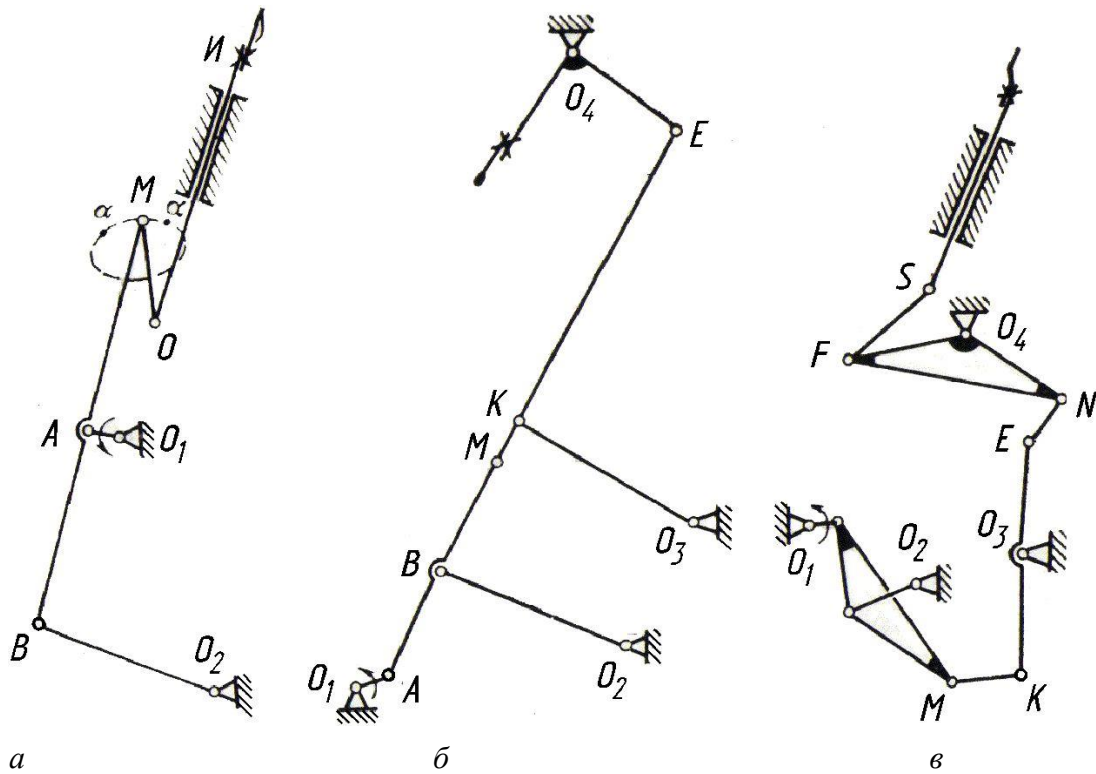


Fig. 5. Linkage mechanisms for “Kokett” warp-knitting machine [2]

**Tilter for multilayer baking hearth furnace.** In Fig. 6 a tilter for the multilayer baking hearth furnace [5] is shown, which automatically removes bakery goods 2 from the steel belt 1 (mesh) of the conveyor of the top layer furnace and places them on the belt 6 (grid) of the lower layer of the conveyor.

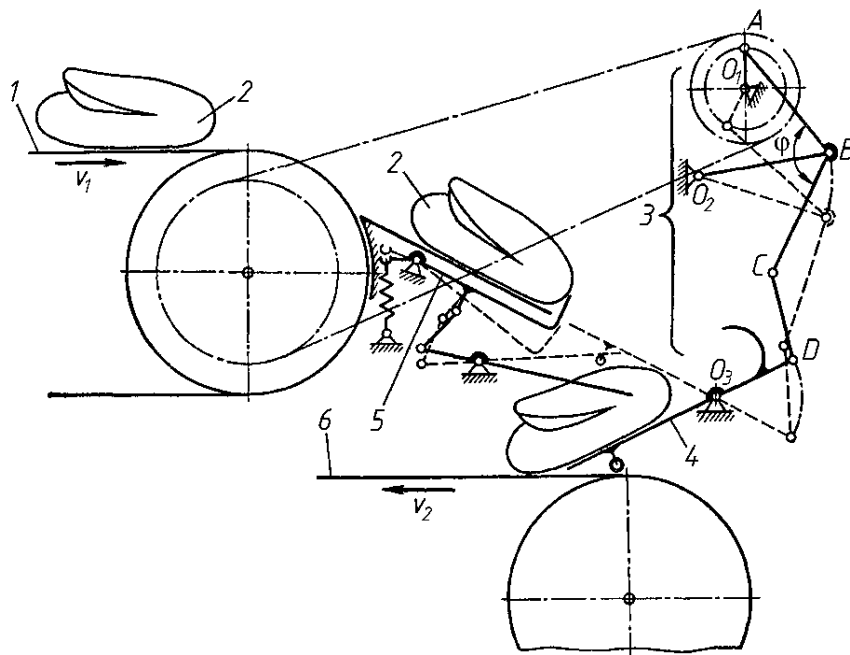
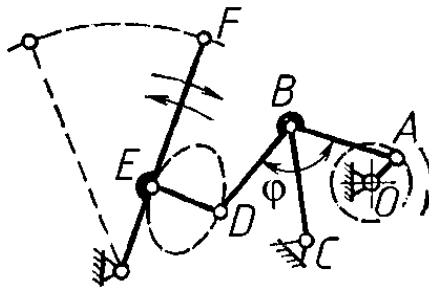


Fig. 6. Tilter for multilayer baking hearth furnace



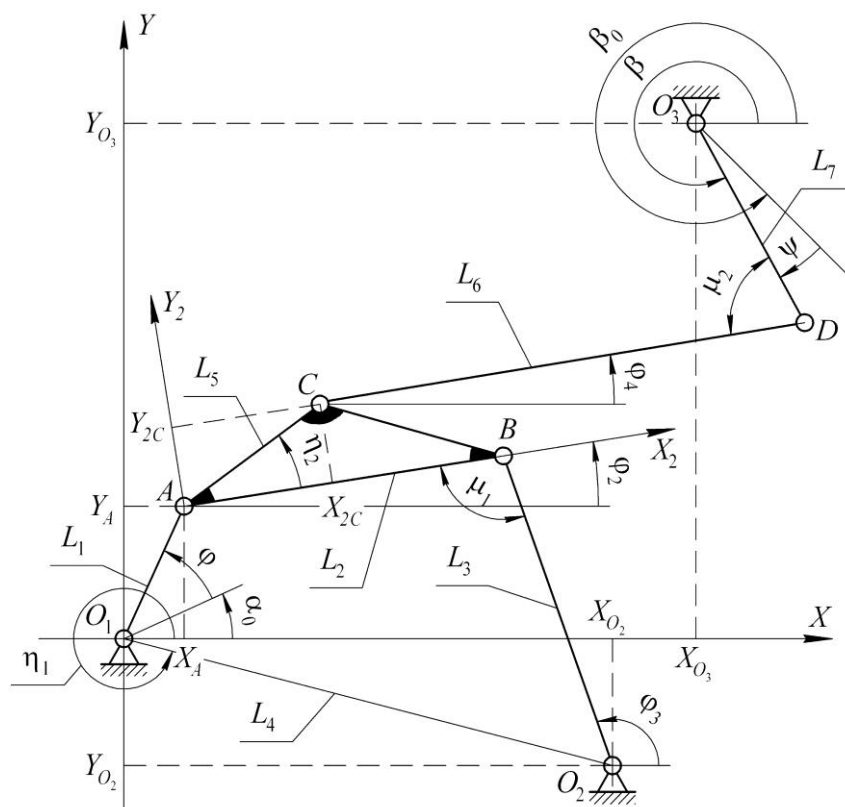
**Fig. 7. Kinematic diagram of the tipping mechanism**

The tilter consists of a chopper 5, a gripper 4, which performs oscillatory movement and a six-linked mechanism 3, which provides oscillations of the gripper 4 with its long dwell in the lower position and synchronous operation of the mechanism of the chopper. Chopper 5 and gripper 4 are located inside the furnace, and the coupled mechanisms that drive them are located on the outside of the furnace [5].

The scheme of the mechanism is shown in Fig. 7, which principle of work is similar to the mechanism that is shown in Fig. 5, a.

The mentioned mechanism is a mechanism of II class, which is based on a circular path generating four-bar linkage mechanism, with the joined structural group of the 2<sup>nd</sup> order of 1<sup>st</sup> type (according to the Assur-Artobolevsky classification). The length of the connected coupler of the joined structural group is chosen equal to the radius of the approximated part of the coupler curve. When the coupler point passes through this part of the coupler curve, the output link of the mechanism will have an approximate dwell.

*The mechanism of transportation of materials in the sewing machine of 131 class* (Fig. 8). In modern sewing machines, a number of different linkage mechanisms are used to drive the working mechanisms. The most complicated and loaded mechanism of the sewing machine is the mechanism of transportation of materials. The operation of this mechanism significantly affects the quality of the stitching, the productivity of the sewing machine, its vibration and noise. As noted in the dissertation paper of Polotebnov V.O. [9], one of the directions of improving the mechanisms of material transportation is to obtain a straight section of the trajectory of the gear rack, parallel to the needle plate. It also should be taken into account the conditions of timely interaction of the working mechanisms of the sewing machine in different modes of its operation.



**Fig. 8. Six-linked kinematic chain with a dwell of the output link in the mechanism of transportation of materials of the sewing machine of the 131 class [9]**

In the paper [9], a method of synthesis of a kinematic chain of vertical displacements of a rack and a kinematic scheme of the mechanism of material transportation were developed. To implement the necessary function of moving the output link, a six-linked linkage mechanism with a dyad attached to the connecting rod of a basic linkage four-bar mechanism was used, its kinematic scheme is shown in Fig. 8. According to the cyclogram of the machine, this mechanism should provide periodic dwell of the output link  $O_3D$ , and in the paper [9] this problem was solved by the optimization methods and thus the author obtained 3 kinematic diagrams of the mechanism with the dwell of the output link respectively  $\alpha_s = 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$ .

**4. Conclusion.** Linkage path generating mechanisms are widely used to drive the various technological machines. As mentioned above, there are mechanisms, working points of which in some part of the trajectory should move along a straight line or along the arc of a circle. Such mechanisms can also provide a dwell of the output link. In particular, such movement of working bodies is necessary in the warp-knitting, combing, winding and other light industry machines, other various fields of modern engineering. But the main problem of the practical usage of such

mechanisms is their complicated kinematic synthesis, which can be successfully solved by using numerical and analytical kinematic geometry methods.

## References

1. Gassmann V. (2000) Synthese von Geradföhrungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss.
2. Garbaruk V.N. (1980) The designing of the raschel machines: Textbook for the students of higher educational institutions, specialty "Machines and Devices of textile industry", 2<sup>nd</sup> ed.; Mashynostroenie [in Russian].
3. Kikin A.B. (2006) The development of the methods and techniques for the structural and kinematic designing of the linkage mechanisms of the light industry: diss. DSc: 05.02.13; Saint Petersburg State Univ. of Technology and Design. Saint Petersburg [in Russian].
4. Kinytskyi Ya. (1990) T. Chebyshev's linkages with dwell of the output link. – Kyiv: Vyshcha shkola [in Russian].
5. Marchenko M.V. (2009) Kinematic synthesis of "slot and crank" linkage mechanisms with the dwell of the output link: Diss. Cand. Eng. Sc.: 05.02.02, Khmelnytskyi [in Ukrainian].
6. McCarthy, J., Soh G. (2011) Geometric Design of Linkages, 2nd edition. – Springer-Verlag, New York.
7. Murray A., McCarthy J. (1995) Determining Burmester points from the analysis of a planar platform // Trans. ASME J. Mech. Des., Vol. 117, P. 303-307.
8. Müller R. (1892) Konstruktion der Burmesterschen Punkte für ein ebenes Gelenkviereck, Zeitschrift Mathematik und Physik.
9. Polotebnov V.O. (2010) The optimization of structural, kinematic and dynamic characteristics of the mechanisms of transportation of materials in sewing-machines: Diss. Cand. Eng. Sc.: 05.02.18. Saint Petersburg [in Russian].
10. Polyakov B.N. (2009) Optimization of the kinematic parameters of linkage four-bar mechanisms. Theory of mechanisms and machines. No1, Vol. 7, P. 86-92. [in Russian].
11. Sarkissyan Y.L. (2012) Approximations in Synthesis of Mechanisms /State Engineering University of Armenia Proceedings, series "Mechanics, Machine Science, Machine-building", Issue 15, No2, P. 9-21.
12. Semin A.G., Timofeev A.M., Krasner C. Yu., Miheeva N.I. (2013) The application of the coupler curves for the synthesis of linkage mechanisms // Herald of Kyiv National University of Technology and Design. No1. P. 80-83. [in Russian].
13. Yin L., Han J., Huang J., Yang T. (2012) A General Method for Synthesizing Straight-Line Linkage with Ball and Burmester Points. Applied Mechanics and Materials, Vols 215-216, P. 138-141.
14. Wang D., Wang W. (2015) Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages – John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.

# OCENA ODDZIAŁYWAŃ LUDZI NA BEZPIECZEŃSTWO PRZEWOZÓW KOLEJOWYCH

Bojar P.<sup>1</sup>, Znaczkó W.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bydgoska Szkoła Wyższa, Poland

<sup>2</sup> Politechnika Gdańska, Poland

## Wstęp

Jedną z najważniejszych potrzeb człowieka jest konieczność przemieszczania. Potrzeba ta może być zaspokojona poprzez bardzo szeroko rozumianą komunikację, przez pojęcie której możemy określić różnego rodzaju formy kontaktu między różnorodnymi podmiotami w celu przemieszczenia ludzi lub zwierząt, a także różnych przedmiotów oraz ważnych informacji. Można więc stwierdzić, że komunikacja stanowi pojęcie nadrzędne i obejmuje jednocześnie transport, ale i także łączność [1].

Potrzeby transportowe, ogólnie, można zdefiniować jako konieczność przemieszczania osób, zwierząt, ładunków rzeczowych, energii i informacji w danym przedziale czasu i na wyznaczoną odległość [2]. Najważniejszym źródłem potrzeby transportowej jest duże zróżnicowanie położenia przestrzennego wielu składników ważnych dla działalności każdego człowieka.

W literaturze przedmiotu [3, 4] pojęcie transport jest pojęciem wieloznacznym i jest bardzo różnie definiowane. Taka duża różnorodność definiowania pojęcia może wynikać m.in. z tego, że transport jako złożony proces, istotny dla gospodarki każdego kraju, jest badany z poziomu wielu dziedzin nauki. Każda z tych dziedzin, transport definiuje biorąc pod uwagę najistotniejsze dla siebie kryteria spełniające założenia wybranej nauki, a to wpływa bezpośrednio na różnorodność znaczenia pojęcia transport. Na podstawie analizy definicji dostępnych w literaturze przedmiotu [5, 6] dla przedstawionej pracy, przyjęto definicję transportu o brzmieniu: transport to celowa działalność ludzka, wykorzystująca ogół środków służących do przemieszczania osób, ładunków rzeczowych oraz energii z jednego miejsca na drugie.

Transport traktując jako szereg środków oraz wszelkich działań związanych z przemieszczaniem (osób i ładunków), w każdej narodowej gospodarce odgrywa wiele funkcji. Do najważniejszych z nich należy funkcja ekonomiczna oraz funkcja stanowiąca część integracji między obszarami zurbanizowanymi, ale także w miejskich aglomeracjach.



Zaspokojenie potrzeb związanych z przemieszczaniem między aglomeracjami odbywać się może przy wykorzystaniu indywidualnego środka transportu, ale również ogólnie rozumianego transportu zbiorowego. Transport zbiorowy (w porównaniu z transportem przy użyciu indywidualnego środka transportu) charakteryzuje możliwość transportu (jednorazowo) o wiele większej ilości osób, zmniejszenie natężenia ruchu wielu pojazdów oraz wielokrotne zmniejszenie natężenia hałasu i emisji spalin do środowiska. Oprócz ważnego transportu miejskiego musimy wspomnieć o transporcie kolejowym, który wraz z istotnym postępem technicznym i technologicznym w zakresie konstrukcji, eksploatacji i utrzymania taboru oraz dróg kolejowych stał się szczególnym środkiem transportu i rozpoczął walkę konkurencyjną. Przejawem walki kolei z innymi środkami transportu jest: duża prędkość w ruchu pasażerskim (rzędu 200 km/h i większe) oraz znaczny wzrost prędkości w ruchu towarowym i zwiększenie dopuszczalnych nacisków osi [7].

Mimo znacznej poprawy poziomu bezpieczeństwa oraz wielu zalet, transport kolejowy jest źródłem wielu różnego rodzaju zagrożeń. W pracach [8, 9, 10] autorzy przedstawiają zagrożenia jako możliwość powstania strat w wyniku jednego niepożądanego zdarzenia.

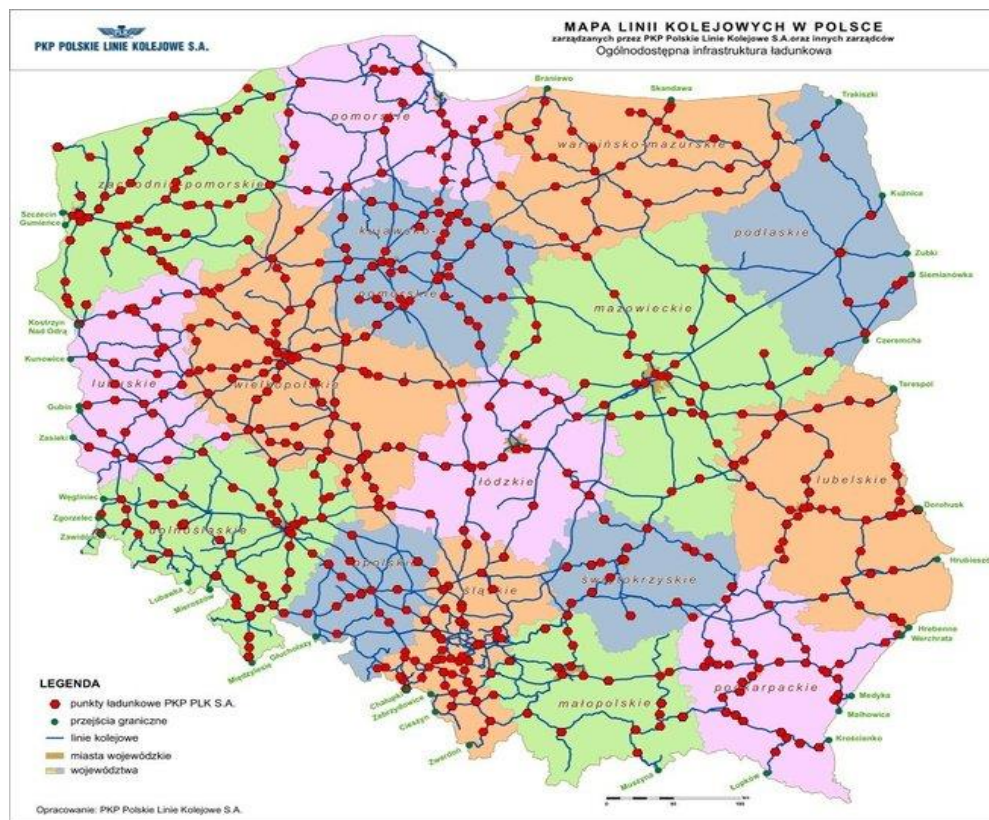
Jako zdarzenie niepożądane, w pracy, założono zdarzenie w wyniku którego powstają straty materialne lub dochodzi do utraty zdrowia, a nie rzadko życia człowieka usytuowanego w systemach lub jego otoczeniach. Jedną z głównych, przyczyn powstawania zdarzeń niepożądanych są niewłaściwe działania ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu [11].

Podstawowymi dokumentami źródłowymi ewidencji wypadków kolejowych są rejestry wypadków i incydentów kolejowych [12], w których za najczęstsze przyczyny zajść zdarzeń kolejowych wskazano niewłaściwe działania czynnika ludzkiego. Można do nich zaliczyć m.in. nadmierną prędkość lokomotywy, brak reakcji na sygnalizację świetlną i dźwiękową, brak ostrożności na przejazdach niestrzeżonych jak również przechodzenie przez torowiska w miejscach niedozwolonych.

### **Obiekt i przedmiot badań**

Obiektem badań jest system transportu kolejowego w Polsce, przedmiotem badań jest ocena bezpieczeństwa przewozów wykonywanych na infrastrukturze

kolejowej zarządzanej przez Polskie Linie Kolejowe S.A. [15]. Obecnie sieć linii podległych PLK wynosi ponad 19 tysięcy kilometrów. Spółka zarządza i synchronizuje ruch około 6,5 tys. pociągów pasażerskich i towarowych należących do 74 licencjonowanych przewoźników. Właścicielem pakietu większościowego spółki (85,9%) jest bezpośrednio Skarb Państwa, natomiast pozostałe 14,1% jest własnością spółki PKP.



Rys. 1. Mapa linii kolejowych w Polsce zarządzanych przez PKP PLK S.A.

## Działania człowieka jako przyczyna zdarzeń niepożądanych

System transportowy należy do grupy systemów socjotechnicznych na bezpieczeństwo którego wpływ oddziaływanie czynników: roboczych uzależnionych od stanu technicznego środka transportu, zewnętrznych wynikających z oddziaływania otoczenia oraz antropotechnicznych wynikających z działań ludzi usytuowanych w systemie i jego otoczeniu.

Zagrożenia wynikające z działania zestawu szynowego [34]:

- możliwość skażenia terenu,
- zanieczyszczenie wód i atmosfery,
- zwiększony hałas i drgania,

- uszkodzenie zestawu kolejowego będące bezpośrednią przyczyną zagrożenia dla życia człowieka,
- kongestia transportowa,
- niedopasowanie zgodności wymogów techniki do cech operatora.

Wśród przyczyn powstawania zagrożeń wynikających z oddziaływania otoczenia można wyodrębnić [14]:

- niewystarczającą infrastrukturę szlaków kolejowych,
- stan nawierzchni kolejowej,
- nieprawidłowe rozmieszczenie przystanków kolejowych,
- nieprawidłowe umiejscowienie przejazdów i przejść kolejowych,
- brak podstawowych informacji na temat przepisów o ruchu kolejowym,
- inne.

W każdym systemie transportowym, ważną rolę odgrywa człowiek stanowiący element tego systemu. Dzięki temu spełnia wielorakie funkcje, takie jak: operator obiektu technicznego, pasażer pojazdu, a także występuje w otoczeniu systemu. Mając na uwadze powyższe można powstawanie zdarzeń niepożądanych analizować zależnością usytuowania człowieka w systemie.

Do najczęstszych przyczyn powstawania zagrożeń stwarzanych przez operatora możemy zaliczyć [4]:

- indywidualne cechy operatora,
- niewystarczający stopień wykształcenia operatora,
- brak lub niski stopień motywacji,
- brak właściwej organizacji miejsca pracy,
- stan zdrowia operatora,
- niewłaściwa (lub jej brak) reakcja na możliwość wystąpienia zagrożenia.

Do podstawowych i najważniejszych obowiązków dyżurnego ruchu należą:

- obsługa urządzeń sterowania ruchem kolejowym, dzięki którym tworzy się drogi przebiegu pociągu,
- nadzór nad pracą nastawniczego, zwrotnicowego i konserwatora zwrotnic,
- koordynacja prac manewrowych na stacji,
- organizacja prawidłowego ruchu pociągów w obrębach stacji,
- koordynacja prac służb kolejowych, związanych z pracą stacji,
- współpraca z posterunkami w obrębie stacji.

Niewłaściwe wykonanie tych obowiązków może stanowić przyczynę powstawania zagrożeń w ruchu kolejowym.

Wśród naruszeń rutynowych popełnianych przez maszynistę możemy wymienić kilka bardzo istotnych:

- kierowanie lokomotywą pod wpływem alkoholu,
- kierowanie lokomotywą pod wpływem działania środków odurzających,
- kierowanie lokomotywą po spożyciu różnych leków, które w znaczący sposób obniżają zdolność motoryczną maszynisty,
- kierowanie lokomotywą w trakcie trwania choroby,
- kierowanie lokomotywą, kiedy stan psychiczny maszynisty, w znaczny sposób ogranicza zdolność pracy
- nieprawidłowa prędkość lokomotywy, niedostosowana do warunków ruchu,
- nieprawidłowa reakcja na sygnalizację świetlną i mechaniczną,
- nieprawidłowa reakcja na sygnalizację świetlną i dźwiękową wewnątrz lokomotywy,
- niedostateczna obserwacja torowiska, a w szczególności położenia rozjazdów kolejowych,
- nieprawidłowe ruchy manewrowe na stacjach i bocznicach kolejowych,
- nieprawidłowa reakcja na zachowania pasażerów, służb pomocniczych,
- brak sygnalizacji dźwiękowej w trakcie zbliżania się do strzeżonych, a szczególności niestrzeżonych przejazdów kolejowych,
- inne.

Spośród najmniej wpływających na powstawanie zagrożeń stwarzanych przez człowieka jest zachowanie pasażera. W wyniku ograniczonego dostępu pasażera do operatora lokomotywy (względny bezpieczeństwa), powstawanie zdarzeń niepożądanych może wynikać między innymi z:

- rozpraszania pracy maszynisty:
- wychylanie się w trakcie jazdy poza skrajnię torowiska,
- wyskakiwanie z trakcie jazdy,
- używanie hamulca bezpieczeństwa w sytuacjach nieuzasadnionych,
- nieuzasadniona agresja wobec innych pasażerów,
- wybryki chuligańskie wywołane przez kibiców.

Ostatnią grupą osób uczestniczących w ruchu kolejowym, są osoby usytuowane w otoczeniu system zarówno jako piesi oraz inni uczestnicy ruchu, kierujący pojazdami samochodowymi rowerzyści i inni. Ich zachowania są jedną z najczęstszych przyczyn powstawania wypadków w ruchu kolejowym. To właśnie ich zachowania najczęściej prowadzą do zdarzeń nie rzadko ze skutkiem śmiertelnym.

Do wielu niewłaściwych i głównych nieprawidłowych zachowań ludzi w otoczeniu, mogących stanowić przyczynę zdarzeń niepożądanych możemy zaliczyć:

- przekraczanie (pieszo lub pojazdem) torowiska w miejscach niedozwolonych,
- brak reakcji na sygnalizację świetlną i dźwiękową na przejazdach i przejściach kolejowych,
- nieuzasadnione wejście i chodzenie po torowisku,
- wskakiwanie do poruszającego się pociągu,
- niewłaściwe zachowanie na peronie w trakcie przyjazdu i odjazdu pociągu,
- zachowania samobójcze człowieka,
- dewastacja infrastruktury kolejowej.

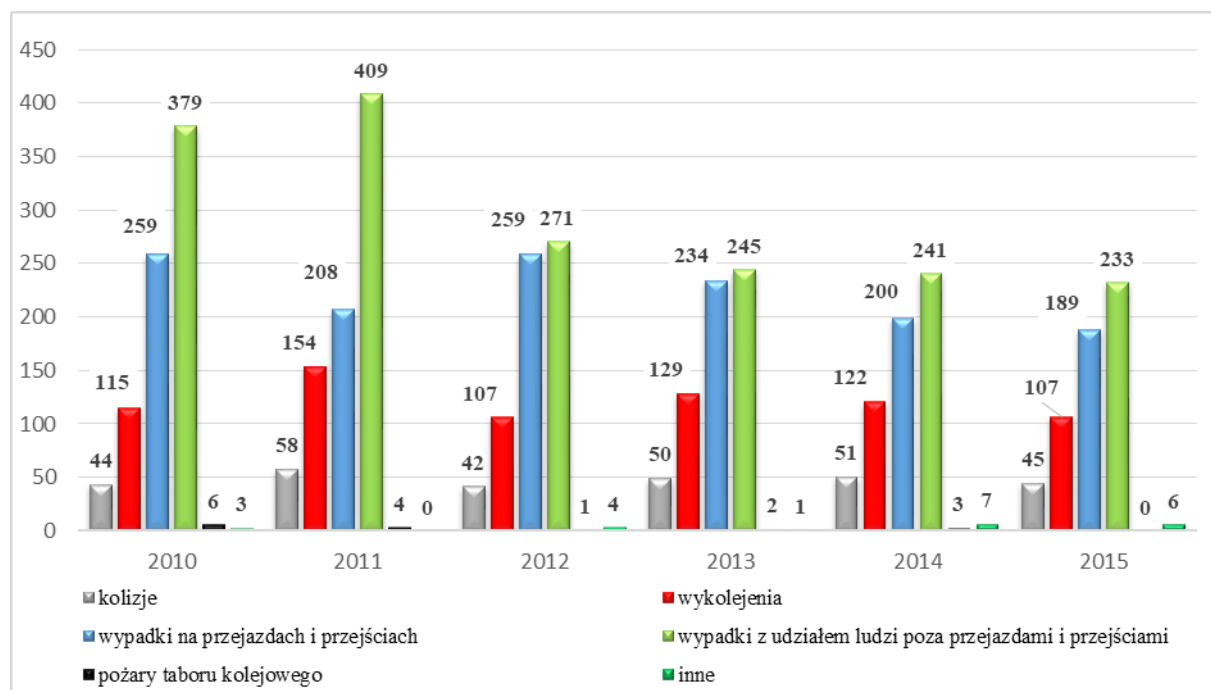
### **Badania bezpieczeństwa transportu kolejowego**

Badania i wszelka rejestracja wypadków, dogłębna analiza powstawania i okoliczności ich powstawania, ale także analizy wewnątrz samego systemu, stanowią ważny element monitorowania bezpieczeństwa przewozów, pracy zaangażowanych w proces pracowników i podległych służb. Ma także wpływ i znaczenie dla działań prewencyjnych i niejednokrotnie ważne z punktu widzenia ubezpieczeń wypadkowych.

Rzetelne i wszechstronne analizowanie okoliczności każdego zdarzenia niepożądanego stanowi podstawę ustalenia prawdziwych przyczyn wszystkich zdarzeń. Mając na uwadze powyższe, w pracy przedstawiono dane ilościowe oraz informacje na temat przyczyn, ofiar śmiertelnych i rannych zaistniałych wypadków, zebrane na podstawie raportów rocznych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. za lata 2010 – 2015.

Jak wynika z danych na rysunku 1., liczba zdarzeń w transporcie kolejowym wykazują tendencję malejącą. W analizowanym przedziale czasowym, ilość zdarzeń niepożądanych zmniejszyła się o 253 zdarzenia, w porównaniu do najgorszego roku

jakim był 2011, co stanowi 30,4%. Mając na uwadze średnią za lata 2010 ÷ 2015, która wyniosła 698 zdarzeń, z analizy danych wynika, że najlepszy rok (2015) uzyskał o 16,9% lepszy wynik w stosunku do średniej.

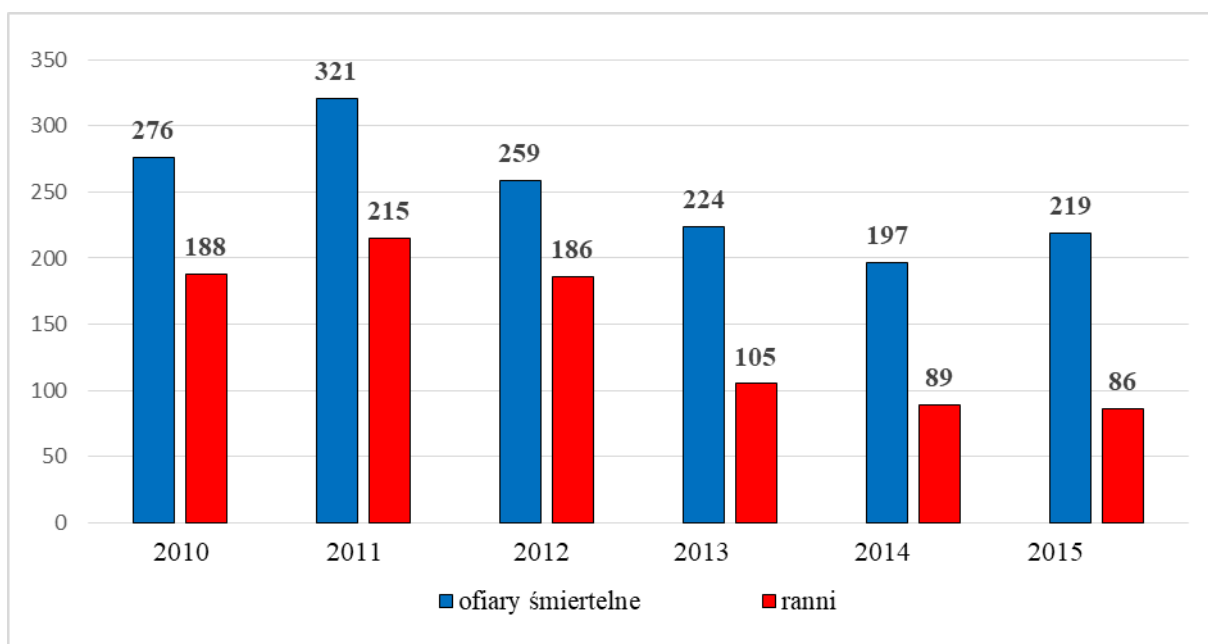


**Rys. 1. Zestawienie ilości zdarzeń w podziale na przyczynę powstania w latach 2010 ÷ 2015**

Na szczególną uwagę zasługuje liczba zdarzeń zaistniałych na przejściach i przejazdach kolejowych oraz wypadków z udziałem ludzi poza przejazdami i przejściami. Z analizy danych zawartych w tabeli 3 wynika, że ilość tych zdarzeń stanowi 74,7% wszystkich, zaistniałych w latach 2010 ÷ 2015 wypadków. Niechlubną statystykę tworzą liczby związane z następstwami wszystkich zdarzeń, których wynikiem są ofiary śmiertelne i ranni.

**Tabela 1. Liczba osób zabitych i rannych zaistniałych na skutek zajścia zdarzeń niepożądanych w latach 2010 ÷ 2015**

|                          | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Suma        |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| <b>ofiary śmiertelne</b> | 276  | 321  | 259  | 224  | 197  | 219  | <b>1496</b> |
| <b>ranni</b>             | 188  | 215  | 186  | 105  | 89   | 86   | <b>869</b>  |



**Rys. 2. Zestawienie liczby osób zabitych i rannych w transporcie kolejowym w Polsce w latach 2010 ÷ 2015**

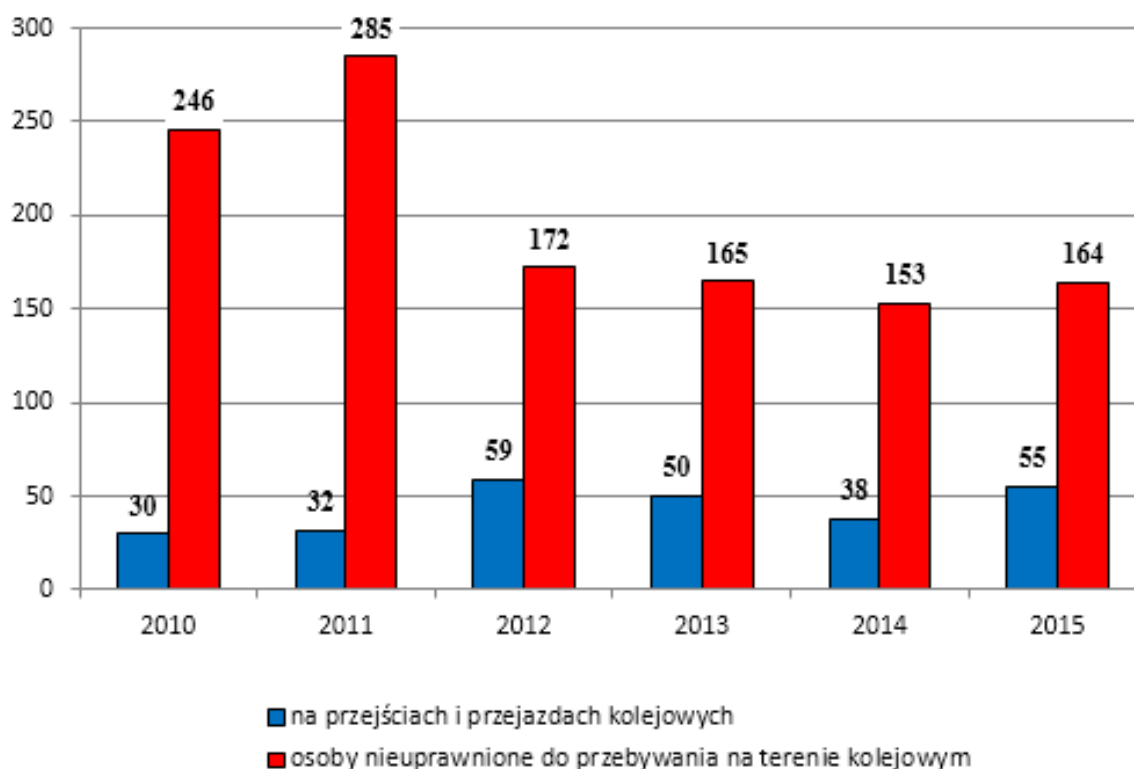
Po analizie danych z rysunku 2., można stwierdzić, że o ile liczba osób rannych przejawia tendencję spadkową, o tyle liczba zdarzeń śmiertelnych utrzymuje się w granicach średniej, wyliczonej na 249 ofiar, za lata 2010 ÷ 2015.

Spośród wszystkich zdarzeń śmiertelnych, których liczba w latach 2010 ÷ 2015 wyniosła 1496 osób, można wyodrębnić dane, obrazujące największe źródła ich powstawania. Źródłami powstawania większości liczby zdarzeń ze skutkiem śmiertelnym są:

- zdarzenia na przejściach i przejazdach kolejowych,
- zdarzenia z udziałem ludzi nieuprawnionych do przebywania na terenach kolejowych.

**Tabela 2. Liczba zdarzeń śmiertelnych zaistniałych na przejściach i przejazdach kolejowych oraz terenach kolejowych w latach 2010 ÷ 2015**

|   | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Suma |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| na przejściach i przejazdach kolejowych                 | 30   | 32   | 59   | 50   | 38   | 55   | 264  |
| osoby nieuprawnione do przebywania na terenie kolejowym | 246  | 285  | 172  | 165  | 153  | 164  | 1185 |



**Rys. 3. Zestawienie liczby zdarzeń śmiertelnych z podziałem na miejsce wystąpienia w latach 2010 ÷ 2015**

Z danych publikowanych w raportach PKP PLK wynika, że do około 97% zdarzeń ze skutkiem śmiertelnym dochodzi na przejściach i przejazdach kolejowych. Jest to krytyczny punkt infrastruktury w którym jest największa śmiertelność wypadków.

**Tabela 3. Liczba zdarzeń spowodowanych niewłaściwym zachowaniem dyżurnego ruchu w latach 2010 ÷ 2015**

| Dyżurny ruchu   | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Suma |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| kolizje   | 26   | 35   | 25   | 30   | 31   | 27   | 174  |
| wykolejenia   | 85   | 116  | 80   | 97   | 91   | 75   | 544  |
| wypadki na przejazdach i przejściach                    | 65   | 52   | 65   | 58   | 50   | 47   | 337  |
| wypadki z udziałem ludzi poza przejazdami i przejściami | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |



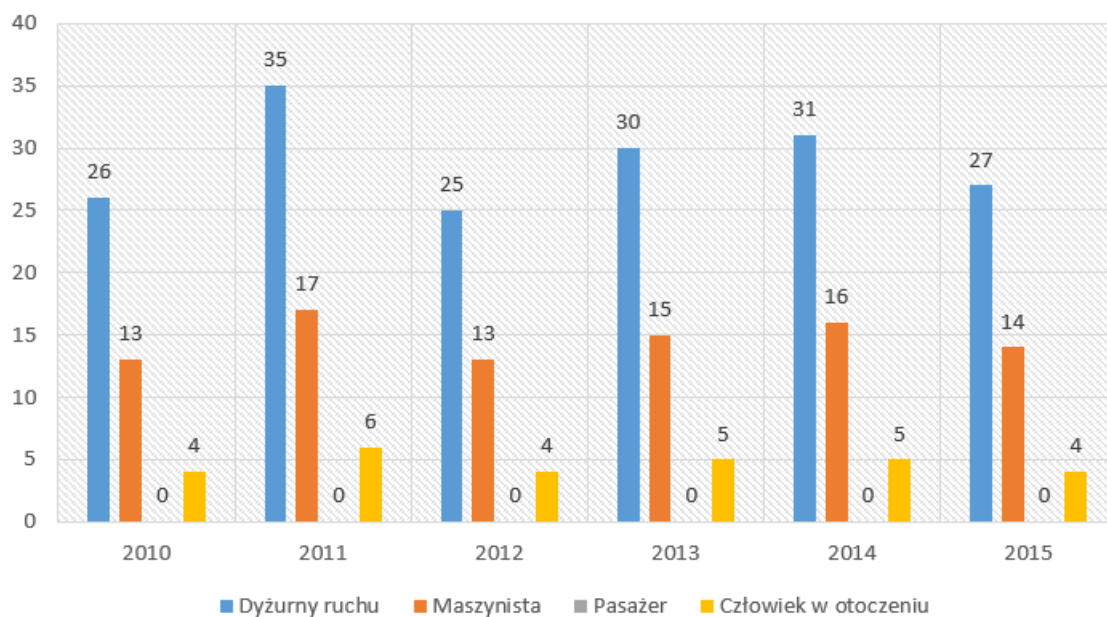
**Tabela 4. Liczba zdarzeń spowodowanych niewłaściwym zachowaniem maszynisty w latach 2010 ÷ 2015**

| Maszynista  | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Suma       |
|---|------|------|------|------|------|------|------------|
| kolizje   | 13   | 17   | 13   | 15   | 16   | 14   | <b>88</b>  |
| wykolejenia   | 17   | 23   | 15   | 19   | 18   | 28   | <b>120</b> |
| wypadki na przejazdach i przejściach                    | 13   | 10   | 13   | 12   | 10   | 10   | <b>68</b>  |
| wypadki z udziałem ludzi poza przejazdami i przejściami | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | <b>0</b>   |

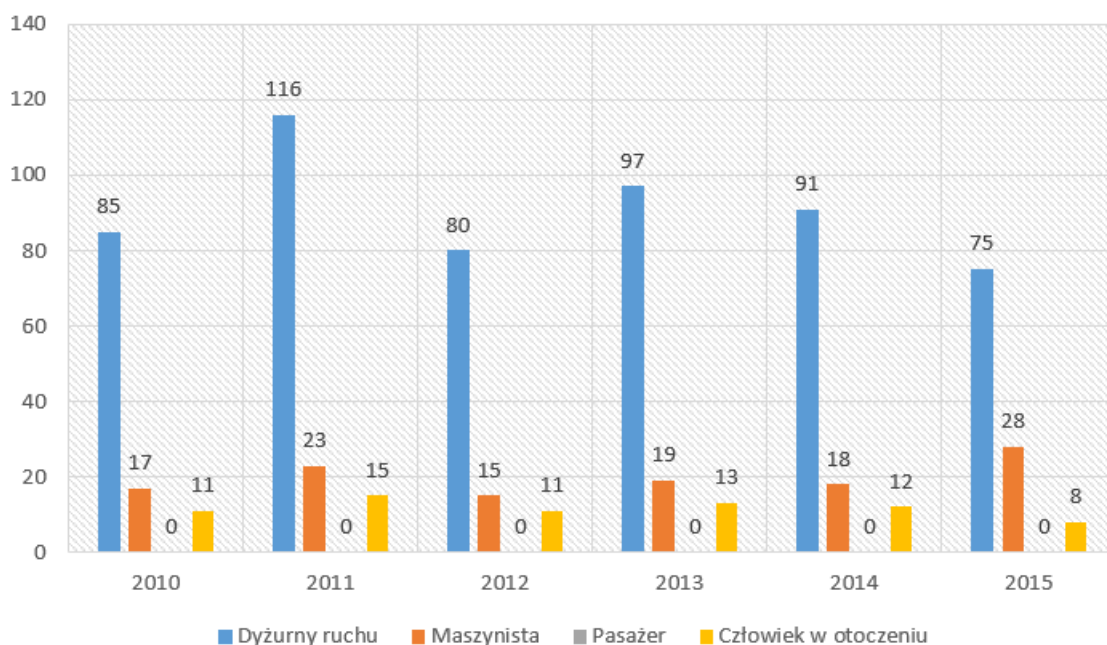
**Tabela 5. Liczba zdarzeń spowodowanych niewłaściwym zachowaniem człowieka usytuowanego w otoczeniu systemu**

| Człowiek w otoczeniu                                    | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Suma        |
|---|------|------|------|------|------|------|-------------|
| kolizje   | 4    | 6    | 4    | 5    | 5    | 4    | <b>28</b>   |
| wykolejenia   | 11   | 15   | 11   | 13   | 12   | 8    | <b>70</b>   |
| wypadki na przejazdach i przejściach                    | 181  | 146  | 181  | 164  | 140  | 132  | <b>944</b>  |
| wypadki z udziałem ludzi poza przejazdami i przejściami | 379  | 409  | 271  | 245  | 241  | 233  | <b>1778</b> |

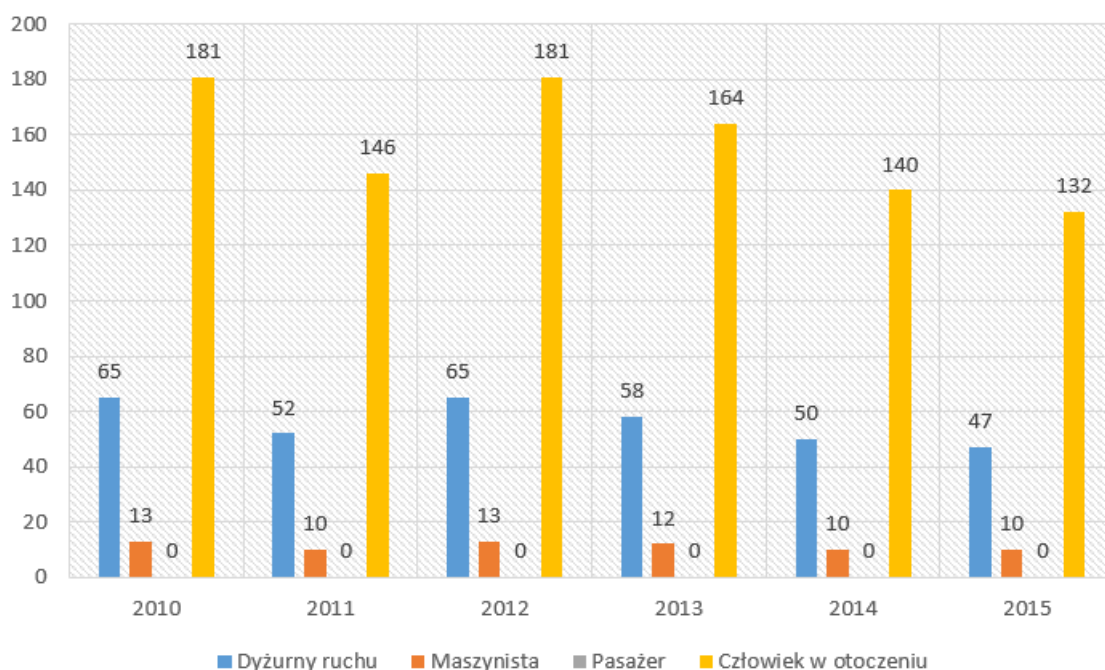
Po analizie danych zawartych w tabelach 3 ÷ 5, można stwierdzić, że do większości zdarzeń niepożądanych, których wynikiem są ofiary śmiertelne, doszło na przejściach i przejazdach kolejowych oraz spowodowane były przez osoby nieuprawnione do przebywania na terenie kolejowym. Szczególną uwagę należy zwrócić na zdarzenia niepożądane, które są wynikiem niewłaściwych zachowań dyżurnego ruchu, maszynisty, pasażera oraz człowieka usytuowanego w otoczeniu systemu. To ich działania powodują największą liczbę zdarzeń kolejowych.



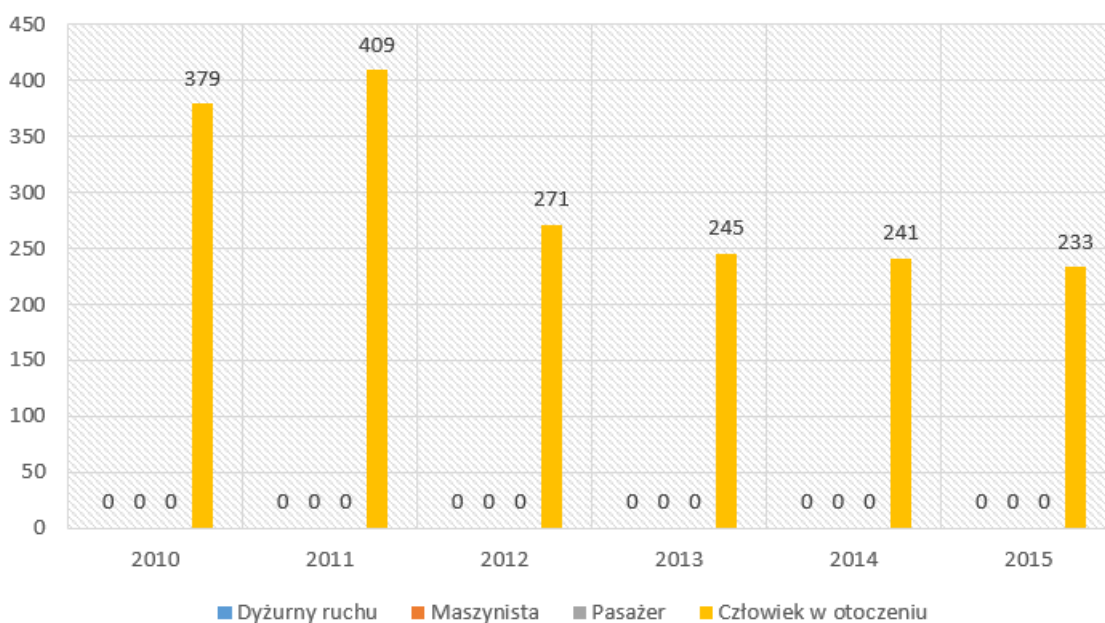
**Rys. 4. Liczba kolizji zaistniałych na skutek niewłaściwych oddziaływań poszczególnych ludzi usytuowanych w systemie bądź jego otoczeniu**



**Rys. 5. Liczba wykolejzeni zaistniałych na skutek niewłaściwych oddziaływań poszczególnych ludzi usytuowanych w systemie bądź jego otoczeniu**



**Rys. 6. Liczba wypadków zaistniałych na przejazdach i przejściach na skutek niewłaściwych oddziaływań poszczególnych ludzi usytuowanych w systemie bądź jego otoczeniu**



**Rys. 7. Liczba wypadków z udziałem ludzi zaistniałych poza przejazdami i przejściami na skutek niewłaściwych oddziaływań poszczególnych ludzi usytuowanych w systemie bądź jego otoczeniu**

Na podstawie analizy porównawczej przedstawionych danych można określić procentowy udział poszczególnych grup ludzi w powstawaniu zdarzeń drogowych, przedstawia się to następująco:

- udział dyżurnego we wszystkich zdarzeniach niepożądanych stanowi:

- kolizje 60%,
- wykolejenia 75%,
- zdarzenia na przejazdach i przejściach kolejowych 25%,
- zdarzenia poza przejazdami i przejściami kolejowymi 0%;
- udział maszynisty we wszystkich zdarzeniach niepożądanych stanowi:
- kolizje 30%,
- wykolejenia 15%,
- zdarzenia na przejazdach i przejściach kolejowych 5%,
- zdarzenia poza przejazdami i przejściami kolejowymi 0%;
- udział człowieka usytuowanego w otoczeniu systemu:
- kolizje 10%,
- wykolejenia 10%,
- zdarzenia na przejazdach i przejściach 70%,
- zdarzenia poza przejazdami i przejściami kolejowymi 100%.

## **Podsumowanie**

Zrealizowane badania obrazują jaki jest udział poszczególnych grup ludzi na powstawanie określonych zdarzeń niepożądanych. Często zdarzenia te zachodzą na skutek świadomego łamania przepisów oraz braku świadomości. Uczestników ruchu drogowego. Jeżeli kierowca świadomie wjedzie na przejazd kolejowy w momencie opuszczania szlabanów to nie ma innego rozwiązania jak jechać dalej. Szlabany są tak skonstruowane, że dojdzie do pęknięcia element konstrukcji szlabanu który służy jako bezpiecznik. Jedyną konsekwencją dla kierowcy będzie mandatek karny oraz koszty naprawy szlabanu. Nie warto ryzykować i próbować ustawiać auto równoległe do torów. Spory odsetek stanowią niewłaściwe zachowania osób odpowiedzialnych za nadzór ruchu pojazdów. W tym przypadku należy kontynuować badania w celu identyfikacji najczęściej popełnianych błędów i wprowadzić działania naprawcze mające na celu ich ograniczenie lub wyeliminowanie.

## **Literatura**

1. Lubczyński M.G., Załuska A.: Przewozy międzynarodowe pojazdami samochodowymi, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1998.
2. Woropay M., Żurek J., Migawa K.: Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym, WiZPITE, Bydgoszcz-Radom 2003.
3. Grzywacz W., Brunewicz J.: Ekonomia transportu, WKiŁ, Warszawa 1989.
4. Smalko Z. Jaźwiński J.: Wybrane problemy oceny wpływu czynnika ludzkiego na bezpieczne działanie systemów transportowych, Antropocentryzm – Problemy Maszyn Roboczych, Zeszyt 19 2002, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2002

5. Madeyski M., Lisowska E., Morawski W.: Transport, rozwój i integracja, WNT, Warszawa 1979.
6. Piskobuz A.: Gospodarowania w transporcie, WKiŁ, Warszawa 1982
7. Towpik K.: Infrastruktura transportu kolejowego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
8. PN-IEC 60300-3-9: Analiza ryzyka w systemach technicznych, Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa 1999
9. Ratajczak Z.: Problemy pracy człowiek-operator w sytuacjach trudnych prowadzących do zagrożenia bezpieczeństwa, Materiały na kolokwium Niezawodności Bezpieczeństwa, Kiekrz 1986.
10. Szopa T.: Drzewo pojęć i terminów nauki o bezpieczeństwie, Materiały seminarium naukowego nt. Bezpieczeństwa Systemów, Informator ITWN, Zeszyt 1, Kiekrz 1994
11. Woropay M., Bojar P.: Evolution of the effects of Feather conditions on the transport system safety, Konbin 2006.
12. Rejestr wypadków i incydentów kolejowych , Instrukcja Ir-8, załącznik nr 10.
13. Woropay M., Bojar P.: Algorithm of the influence of the road transport system on its operational safety. Journal of KONES 17, 55-61.
14. Bojar P., Migawa K., Woropay M.: Proposal of a method to evaluate of include of the undesirable human factors on safety operation of the transport system. Journal of KONES 17, 33-39.
15. [https://pl.wikipedia.org/wiki/PKP\\_Polskie\\_Linie\\_Kolejowe](https://pl.wikipedia.org/wiki/PKP_Polskie_Linie_Kolejowe).

# THE ACCELERATION OF THE ELECTRON AND THE LORENTZ EQUATION

Bilyi L.<sup>1</sup>, Skyba M.<sup>1</sup>, Polishchuk O.<sup>1</sup>,  
Ramskyi A.<sup>1</sup>, Lisevych S.<sup>1</sup>, Śniadkowski M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khmelnytskyi National University, Ukraine

<sup>2</sup> Lublin University of Technology, Poland

## Introduction

In the study of electrostatic and magnetic interaction of charges with the help of numerous experimental data it is established that the appearance of a magnetic component is possible only in the case of their accelerated motions. This interaction is described by the Lorentz equation. From the standpoint of theory, it is interesting to study the case of slow motion charges.

## Typology of knowledge

According to ancient Hindu legend, the Earth is placed on the back of an elephant standing on the back of a turtle. This story does not give information about the points of support of the turtle.

In this legend, with all the ridiculousness of the original idea, there is a deep thought that any sequential study of the causes of the physical phenomenon is limited to certain boundaries, depending on the level of physical knowledge. From some stage of the study, it is impossible to answer the question “why?” without further, deeper information. This means that any explanation must be limited to its “turtle”.

Today, no one can say when a person first drew attention to the amazing ability of amber: if it is rubbed against wool, it will attract various objects placed nearby. However, it took more than two millennia before a systematic study of the phenomenon of electrification began from a scientific standpoint.

The impetus for this was the already open law of universal gravitation. Cavendish, while studying gravitational forces, also investigated the interaction of electrostatic charges. The law is named after Coulomb since he published it. Coulomb's law strikingly coincides with Newton's law and this made it possible to consider the magnitude of the charge by analogy with mass as a certain amount of electricity [1,2,3,4].

If in Newton's law of gravity

$$\bar{F}_{12} = \gamma \frac{m_1 m_2}{\gamma_{12}} \bar{\gamma}_{12}, \quad (1)$$

where  $m_1, m_2$  – masses of interacting bodies;

$\gamma$  – constant;

$\bar{\gamma}_{12}$  – the distance between the bodies, replace the masses of bodies by charges and change the constant, then we get the Coulomb law.

$$\bar{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}} \bar{r}_{12}, \quad (2)$$

where  $q_1, q_2$  – interacting charges;

$r_{12}$  – distance between charges;

$k$  – constant;

$\bar{r}_{12}$  – orth, directed between bodies or charges;

$\bar{F}_{12}$  – force vector.

Modern physics for understanding the origin and transfer of forces that arise between fixed charges, suggests that there is some kind of physical agent involved in this interaction. An electric field is proposed as such agent [5,6,7,8,9]. And to the question what a field is, the answer is: “When an electric charge appears anywhere, an electric field arises around it. The main property of an electric field is that any other charge placed in this field is subject to force”.

This completely omitted the connection between the matter of which the charge is composed, and the matter of which the field is composed. And the existence of such a connection is a prerequisite for the existence of a charge with a field, and vice versa, a field with a charge.

Using the concept of “interaction force”, electrical engineering introduces the concept of electric field strength [10,11,12].

If we consider some distribution of fixed electric charges  $q_1, q_2, \dots, q_N$  in space, and if it is necessary to find the interaction of these charges with some electric charge  $q$  with the known coordinates  $x, y, z$ , then the force is calculated according to (2):

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^N k \frac{q \cdot q_i}{r_i^2} \bar{r}_i, \quad (3)$$

where  $r_i$  – distance from the  $i$ -th charge to the charge with the coordinates  $x, y, z$ ;

$\bar{r}_i$  – spatial ort.

If we take  $q$  out of the sign of the sum, we get

$$\bar{F} = q \cdot \bar{E}, \quad (4)$$

where

$$\bar{E} = \sum_{i=1}^N k \frac{q_i}{r_i^2} \bar{r}_i = \bar{E}(x, y, z). \quad (5)$$

The vector quantity (5) is called the electric field intensity vector (unit of measurement  $V/m$ ). The function  $\bar{E}(x, y, z)$  can be calculated at any point in space. So the question arises: does it characterize a physical substance, called an electric field, or is it just a convenient factor that is enough to multiply by a charge to get the value of force.

Much effort has been spent on geometrically constructing field pictures, but all of them are imperfect because they do not reflect the physical nature.

Introducing the ether would put all dots on “i” and solve virtually all problems of the theory of electric field, but physics still prefers mathematical abstraction – fields are considered as mathematical functions of coordinates and time.

**An analysis of electron dynamics.** Modern physics, by combining electrostatic interactions with magnetic interactions, called these interactions electromagnetic. The mathematical image of this association is the well-known Lorentz equation [13].

$$\bar{F} = q[\bar{E} + (\bar{V} \times \bar{B})], \quad (6)$$

where  $\bar{F}$  – force vector;

$\bar{V}$  – speed of charge movement;

$\bar{B}$  – vector of magnetic induction.

The force of the electric field on a fixed charge in this equation is determined by the first additive, which corresponds to (4).

In the case of a moving charge, this vector receives an additional component due to the intensity of the magnetic field and the speed of motion.

A well-known factor is the emission of an electron only when motion is accelerated or slow, i.e. at  $V = var$ .



Another example that confirms the presence of a magnetic field due to the acceleration of electrons is the voltage drop across the electric circuit.

Expression (6) for the variable of the charge velocity will look like:

$$\bar{F} = q \left[ \bar{E} + \frac{d}{dt} (\bar{V} \times \bar{B}) \right]. \quad (7)$$

The derivative of the first factor in parentheses is the acceleration:

$$\bar{W} = \frac{d\bar{V}}{dt}. \quad (8)$$

The derivative of the second factor is determined by the second Maxwell equation:

$$\frac{d\bar{B}}{dt} = -\text{rot}\bar{E}. \quad (9)$$

Substituting expressions (8) and (9) into expression (7), we obtain the Lorentz equation for static and dynamic fields:

$$\bar{F} = q \left[ \bar{E} + \bar{W} \times (-\text{rot}\bar{E}) \right]. \quad (10)$$

The right-hand side of the Lorentz equation (10) operates a product of charge on the electric field strength.

## Summary

The Lorentz equation describes electrostatic and magnetic interactions of charges, the latter being determined by their velocities. Numerous experimental data of physics indicate that the appearance of a magnetic component of charges is possible only in the case of their accelerated motions.

In this publication, the Lorentz equation is extended to cases of accelerated and slow-motion charges.

## References

1. Mario L'occi. Istoriya fiziki. – M.: Mir, 1970. – 464 p.
2. J.C.Poggendorff, Geschichte der Physik. – Berlin, 1879. – 937 p.
3. A. Ejnshtejn, L.Infel'd. Evolyuciya fiziki. Per. s angl., 2-e izd., – M.: Nauka, 1956. – 249 p.
4. Ejnshtejn A. Sobr. nauchnyh trudov. T.4. Stat'i, recenzii, pis'ma. Evolyuciya fiziki. – M.: Nauka, 1967, p. 357-543.
5. R.Rejnman, R. Lejton, M.Sends. Fejnmanovskie lekcii po fizike. t.5. – M.: Mir, 1966. – 296 p.
6. Tamm I. E. Osnovy teorii elektrichestva: Ucheb. posobie dlya vuzov. – 11-e izd., ispr. i dop. - M.: FIZMATLIT, 2003. – 416 p.
7. Berkleevskij kurs fiziki. Tom 1. Kittel' CH., Najt V., Ruderman M. Uchebnoe rukovodstvo. 3-e izd., ispr. – M.: Nauka, 1983. – 446 p.
8. A.N. Matveev. Elektrichestvo i magnetizm. Uchebnoe posobie dlya vuzov. – M.: Vysshaya shkola, 1983. – 464 p.
9. Fizika s osnovami elektrotehniki. Ucheb. posob. / A. A. Pinskij, G. YU. Grakovskij, V.N. Homyakov. - M. : Vysshaya shkola, 1985. - 384 p.
10. Fizika s osnovami elektrotehniki. Ucheb. posob. / A. A. Pinskij, G. YU. Grakovskij, V.N. Homyakov. - M. : Vysshaya shkola, 1985. - 384 p.
11. SHimoni K. Teoreticheskaya elektrotehnika. – M.: Mir, 1964, – 770 p.
12. Lorentc G.A. Teoriya elektronov i ee primenenie k yavleniyam sveta i teplovogo izlucheniya. 2-e izd., ispr. i dop. – M.: Gosizdat, 1953. – 472 p.

# OCENA STANU TECHNICZNEGO TABORU TRAMWAJOWEGO WYBRANEGO OPERATORA TRANSPORTU PUBLICZNEGO

Bojar P.<sup>1</sup>, Znaczkowski W.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bydgoska Szkoła Wyższa, Poland

<sup>2</sup> Politechnika Gdańska, Poland

## Introduction

Obecne trendy w zakresie ekologii i zrównoważonego rozwoju powodują, że w coraz większym stopniu stawia się na transport niskoemisyjny zarówno pod względem emisji zanieczyszczeń do środowiska jak również emisji drgań i hałasu, który jest ich pochodną. Dlatego też producenci taboru, w tym również szynowego prześcigają się w nowatorstwie stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, spełniających oczekiwania operatorów transportu zbiorowego w miastach, a tym samym mieszkańców tych miast.

Stan techniczny urządzeń i maszyn zmienia się wraz z upływem czasu użytkowania przez co proporcjonalnie zmniejsza się ich efektywność i wydajność. Tak, więc wyznaczanie trendów zużycia konkretnych elementów pozwala na lepsze zorganizowanie zarządzania oraz planowania utrzymania taboru. Wszystkie te działania mają na celu usprawnianie i prognozowanie dalszej niezawodnej eksploatacji [1, 9].

Najistotniejszą rolę we wszystkich procesach transportowych odgrywa problematyka zapewniania ciągłego procesu przewozu. Wszelkie wyłączenia pojazdów z ruchu powodują nie wywiązanie się z zadania przewozowego podpisanego w formie umowy z organizatorem transportu na terenie danego miasta. Skutkiem wyłączenia są opóźnienia, a w konsekwencji – ponoszenie kar finansowych na podstawie ustaleń zawartych w umowie z klientem [2]. Ocena stanu technicznego jest więc niezbędna dla zapewnienia prawidłowego funkcjonowania systemu transportowego, zagwarantowania jego bezpieczeństwa oraz zadowolenia klienta i pasażerów.

## Fazy istnienia i stan obiektu technicznego

Celem istnienia maszyn i urządzeń zwanymi również obiektami technicznymi jest ich eksploatacja podczas, której spełniają nie tylko swoje zadania, ale również określone potrzeby. Obiekt techniczny to każdy wytwór cywilizacji technicznej np. most, samochód czy książka. Wyróżnia się 4 fazy jego istnienia:

- sformułowanie potrzeb (SP) – określenie potrzeby i przejście do jej wartościowania – czyli stwierdzenie czy potrzeba może zostać zaspokojona istniejącymi już obiektami technicznymi, jeżeli nie to należy wdrożyć działania prowadzące do powstania nowego obiektu,
- konstruowanie (K) – opracowanie koncepcji działania, struktur mechanizmu i dokumentacji konstrukcyjnej. Jej odbiór/zatwierdzenie przez konkretnego odbiorcę jest w tej fazie wartościowaniem,
- wytwarzanie (W) – wszelkie działania związane z produkcją, projektowaniem procesów technologicznych czyli realizacją wcześniej założonego projektu. Wartościowaniem w tej fazie jest odbiór techniczny gotowego wyrobu,
- eksploatacja (E) – realizacja założonych celów przez obiekt techniczny, do których został wytworzony. Faza trwa od czasu zakończenia produkcji do likwidacji obiektu. To ten moment, w którym pojawiają się błędy wynikające z uszkodzeń oraz zużycia. Wartościowaniem w fazie eksploatacji jest obsługa obiektu technicznego oraz jego likwidacja.

Dla użytkowników obiektów technicznych ważne jest także określenie ich stanu technicznego oraz eksploatacyjnego w celu oceny wielkości zmian. Wyróżnia się wiele stanów obiektu technicznego, lecz można skupić się na określeniu trzech podstawowych czyli stan zdatności, częściowej zdatności (dopuszczalnej) i niezdatności [3].

Stan zdatności – to stan, w którym obiekt funkcjonuje poprawnie, a zdatnością jest zdolność do wykonywania swoich funkcji wyznaczonych przez dokumentację, natomiast stan niezdatności następuje w momencie, gdy obiekt nie może wykonywać funkcji, do których został przeznaczony [3].

Analizie poddaje się zbiór chwilowych wartości cech danej maszyny lub urządzenia co pozwoli na określenie potencjalnego jego stanu obecnie jak i w przyszłości.

Stan techniczny może zmieniać się poprzez zużywanie, starzenie, wszelkie obciążenia i wiele innych procesów prowadząc do np. nieprawidłowości działania maszyny. Zachodzące zmiany dzielone są na:

- dopuszczalne – zagrożenie: racjonalny sposób wykorzystania maszyny,
- graniczne – zagrożenie: utrata wydajności maszyny,
- krytyczne – zagrożenie: życia, zdrowia, środowiska.

Takie zmiany stanu obiektu technicznego mogą prowadzić do powstawania uszkodzeń, usterek i zniszczeń oraz niesprawności działania. Do momentu, aż obiekt nie osiągnie wartości dopuszczalnej – uznaje się, że jest sprawny technicznie i może dalej spełniać swoje funkcje [3].

Należy również zaznaczyć, iż w pojazdach, w których występuje tarcie ślizgowe zazwyczaj wyróżnia się trzy okresy przebiegu zużycia:

- okres starzenia wstępnego – to początkowa współpraca elementów, gdzie następuje przekształcenie stanu warstw wierzchnich w stan optymalny ze zwiększoną odpornością na zużycie,
- okres zużycia normalnego – czyli stała intensywność zużycia zależąca głównie od czynników eksploatacyjnych,
- okres zużycia przyśpieszonego – moment, w którym zostały przekroczone luzy współpracujących elementów. Następuje wzmożone obciążenie dynamiczne, które wywołuje bardziej intensywne odkształcenia, rośnie chropowatość powierzchni, zwiększają się ubytki w materiale co może prowadzić do powstania awarii podzespołów [4].

Spośród wszystkich cech jakie charakteryzują samą maszynę jak i jej sprawność można wyróżnić takie cechy, które pojawiają się tylko w momencie niepełnej zdolności lub uszkodzenia. Nazywa się je symptomami i wynikają one z przekraczania dopuszczalnych granic wytrzymałościowych, obciążeniowych, a także przez jakiegokolwiek naruszenie podstawowych zasad pracy danego obiektu technicznego. Przykładem takiego symptomu mogą być nadmierne drgania silnika [5].

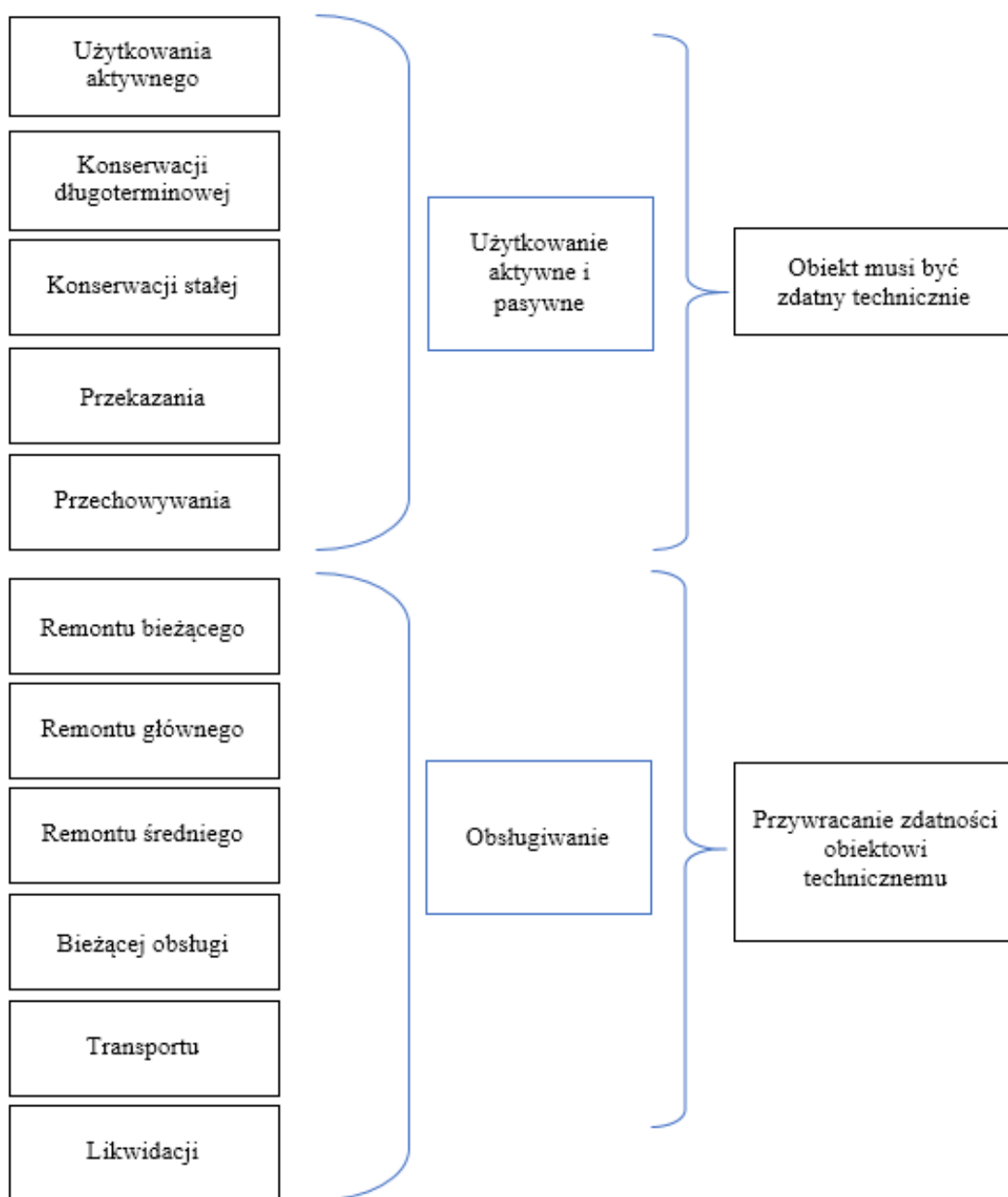
Stan eksploatacyjny obiektu technicznego ma za zadanie określić co dzieje się z obiektem podczas eksploatacji w danej chwili [3]. Cechami obiektu w stanie eksploatacyjnym nazywa się dane wielkości ekonomiczne, fizyczne lub funkcje, które go charakteryzują [6]. Jego rodzaje zostały przedstawione na poniższym rysunku 1.

### **Uszkodzenia obiektu technicznego**

Uszkodzenie definiowane jest jako przekroczenie wartości granicznej wybranej cechy obiektu technicznego opisującej ten obiekt z danego punktu widzenia. Jeżeli chodzi o klasyfikację uszkodzeń to można tu wyróżnić uszkodzenia ze względu na:

1. Istotność uszkodzonego podsystemu na możliwość realizacji zadania:
  - Nieistotne,

- Mało ważne,
  - Ważne,
  - Krytyczne,
2. Możliwość naprawy:
- Naprawialne,
  - Nienaprawialne.
3. Czas wystąpienia:
- Parametryczne,
  - Katastroficzne.



**Rys. 1. Stany eksploatacyjne obiektu technicznego [3]**

Uszkodzenia można dzielić również ze względu na wielkości skutków jakie spowodowały: usterka, uszkodzenie, awaria, zniszczenie; ze względu na związek między uszkodzeniami: niezależne i zależne oraz ze względu na wpływ danych uszkodzeń na działanie maszyny: częściowe i całkowite. Przy wystąpieniu uszkodzeń środków transportowych pierwszym i najbardziej istotnym zadaniem jest znalezienie przyczyny uszkodzenia, jego rodzaju oraz lokalizacji, dzięki czemu w szybkim czasie będzie można określić jaki wpływ ma dane uszkodzenie na działanie środka transportowego oraz czy trzeba będzie wyłączyć go z eksploatacji i na jak długo [3]. Istnieją również sytuacje, w których maszyna chwilowo traci zdatność, ale nie dyskwalifikuje to jej do wykonania swoich zadań. Mowa tutaj o zdatności funkcjonalnej – czyli takiej, gdy maszyna jest zdatna do realizowania każdego zadania ze zbioru zadań, które są możliwe do zrealizowania w wybranej chwili t. Należy jeszcze zwrócić uwagę na zdatność zadaniową, która oznacza, iż wartości niektórych cech mogą nie spełniać wymaganych kryteriów z punktu widzenia realizacji zadania.

Istotnym jest, aby podczas dokonywania klasyfikacji uszkodzeń dokładnie przeanalizować stany techniczne maszyny, w których niemożliwe jest wykonywanie przez nią określonych zadań. Taka analiza pozwoli na konkretną klasyfikację uszkodzeń [7]. Wprowadzanie działań mających na celu przywrócenie zdatności urządzeniom zależy od rodzaju uszkodzenia, jego zasięgu oraz lokalizacji. Takie czynniki mają wpływ na szybkość naprawy. Podstawowymi sposobami usuwania uszkodzeń są: wyłączenie i naprawa uszkodzenia lub wyłączenie i zastąpienie uszkodzonego elementu innym – sprawnym. W pojazdach trakcyjnych specyficzne jest to, iż każde z uszkodzeń powoduje wycofanie z eksploatacji [8]. Co stanowi koszt operatora transport.

### **Obiekt i przedmiot badań**

Obiektem badań niniejszej pracy jest przedsiębiorstwo komunikacji miejskiej funkcjonujące w miejscowości liczącej powyżej 400 tys. mieszkańców. Przedsiębiorstwo świadczy usługi przewozów tramwajowych, gdzie aktualnie kursuje 20 linii, a długość całej sieci wynosi 125,1 km. Dysponuje ono 250 tramwajami oraz dwoma zajezdniami tramwajowymi.

Badane przedsiębiorstwo stawia przede wszystkim na bezpieczeństwo i nowoczesność mając na celu jak najbardziej komfortowe przemieszczanie się

mieszkańców miasta do swoich miejsc docelowych. Niemniej ważna jest jakość pojazdów, od której oczekuje się najwyższej niezawodności. Przedsiębiorstwo podąża za najnowszymi technologiami i stara się oferować swoim pasażerom innowacje stosowane jako pierwsze na rynku.

Nowoczesne pojazdy szynowe jakimi dysponuje są eksploatowane w mieście od ponad roku. Są to tramwaje niskopodłogowe wyposażone w najnowocześniejszy system informacji pasażerskiej oraz wszelkie udogodnienia. Do ogromnych plusów można zaliczyć to, iż w razie awarii systemu trakcyjnego, tramwaj może przemieszczać się jeszcze przez ok. 3 km dzięki energii zawartej w baterii. Pojazd mieści ok. 300 pasażerów, jest całkowicie klimatyzowany, wyposażony w monitoring oraz nowoczesne kasowniki z możliwością zakupu biletów.

Głównymi zadaniami Zarządu jest rozwój przedsiębiorstwa, ustanowienie krótko i długo dystansowych celów mających na uwadze rozwój i udoskonalanie komunikacji miejskiej.

Przedmiotem badań niniejszej pracy jest analiza stanu technicznego nowoczesnych tramwajów. Analiza ta polegała na weryfikacji zaistniałych uszkodzeń podczas eksploatacji, sklasyfikowaniu ich do konkretnych obszarów pojazdu oraz zaprezentowaniu, gdzie pojawiały się najczęściej. Przedstawiono również jaki wpływ miały na realizację usług przewozowych oraz na jak długo klasyfikowały pojazdy do wyłączenia ich z ruchu. Tak więc, analizie poddano 14 tramwajów dwukierunkowych (001 ÷ 014) oddanych do użytku w grudniu 2017 roku. Wszystkie z nich poruszały się po tej samej trasie na odcinku 9,3 km. Dziennie pojazdy wykonują 20 kursów, tak więc oszacowano, iż łącznie każdy z nich pokonuje trasę 186 km. Zestawienie uszkodzeń zaistniałych w czasie eksploatacji tramwajów jest zestawieniem rocznym 2018 roku.

### **Teza i cel pracy**

Uszkodzenia pojazdów powodują również starty ekonomiczne w przedsiębiorstwach transportowych, dlatego bezawaryjne ich działanie jest problemem nadrzędnym, na który należy zwrócić szczególną uwagę [5]. Wszelkie cechy techniczno-eksploatacyjne pojazdów zbiorowego transportu determinowane są również przez parametry tras jakie pokonują na co dzień (np. zdolność przewozowa czy prędkość komunikacyjna) [19]. Tak, więc ocena i analiza stanów technicznych



taboru jest niezmiernie ważna ze względu na efektywne sterowanie procesem eksploatacji.

Celem pracy jest ocena stanu technicznego pojazdów szynowych poprzez sklasyfikowanie uszkodzeń zaistniałych w czasie eksploatacji. Ocena polega również na przedstawieniu i sklasyfikowaniu jaki wpływ miały zauważone uszkodzenia na realizację usług przewozowych przez przedsiębiorstwo komunikacji miejskiej oraz wyróżnienie, w których obszarach pojawiało się ich najwięcej.

Na podstawie takiej oceny istnieje możliwość podwyższenia niezawodności taboru i zwiększenie poziomu efektywności przedsiębiorstwa transportowego.

### **Badania eksploatacyjne**

Badania dokonano na podstawie spisu uszkodzeń zarejestrowanych w formularzach zgłoszenia niezdatności. Badaniem objęto 14 tramwajów (001 ÷ 014) kursujących po tej samej trasie. Pierwszym etapem badań było sporządzenie bazy danych z zarejestrowanych zgłoszeń przez przedsiębiorstwo komunikacji miejskiej. W pierwszej kolejności sklasyfikowano uszkodzenia ze względu na obszar wystąpienia oraz ze względu na jego rodzaj.

W drugiej części badań skupiono się na stworzeniu zestawień zaistniałych uszkodzeń, zaprezentowaniu ich z podziałem na lokalizację wystąpienia, przedstawieniu ilościowym wystąpień w danym obszarze, a także ilości ich występowania z podziałem na konkretny pojazd. Dokonano również zestawień dotyczących rodzaju uszkodzenia w ujęciu miesięcznym i z podziałem na każdy z pojazdów.

Trzecia część badań dotyczyła oceny ilościowej zarejestrowanych przestojów w ujęciu miesięcznym jak również podziałem na konkretne pojazdy poddane badaniom. Dodatkowo oszacowano ilość kilometrów i dni w których tramwaje były zdatne i niezdatne do użytku. W tej części badań skupiono się na całościowej analizie uzyskanych danych.

W celu uzyskania konkretnych informacji do analiz dokonano klasyfikacji wszystkich zarejestrowanych uszkodzeń z pojazdów według obszarów wystąpienia jakie pojawiały się w czasie eksploatacji przez okres jednego roku (2018), który zaprezentowano w tabeli 1, badaniom poddano zestawienia dotyczące występowania uszkodzeń w poszczególnych podsystemach tramwajów 001 ÷ 014.

Największą liczbę uszkodzeń zarejestrowano na wózkach tramwajowych (297 uszkodzeń), w obszarze elektryki (137 uszkodzeń), nadwozia (133 uszkodzenia) oraz monitoringu (108 uszkodzeń) i układzie hamulcowym (106). Wózki stanowiły 28% wszystkich uszkodzeń zarejestrowanych przez kontrolerów Wydziału Tramwajowego. Najmniej odnotowanych uszkodzeń dotyczyło obszarów układu ogrzewania (2%) i układu napędowego (1%).

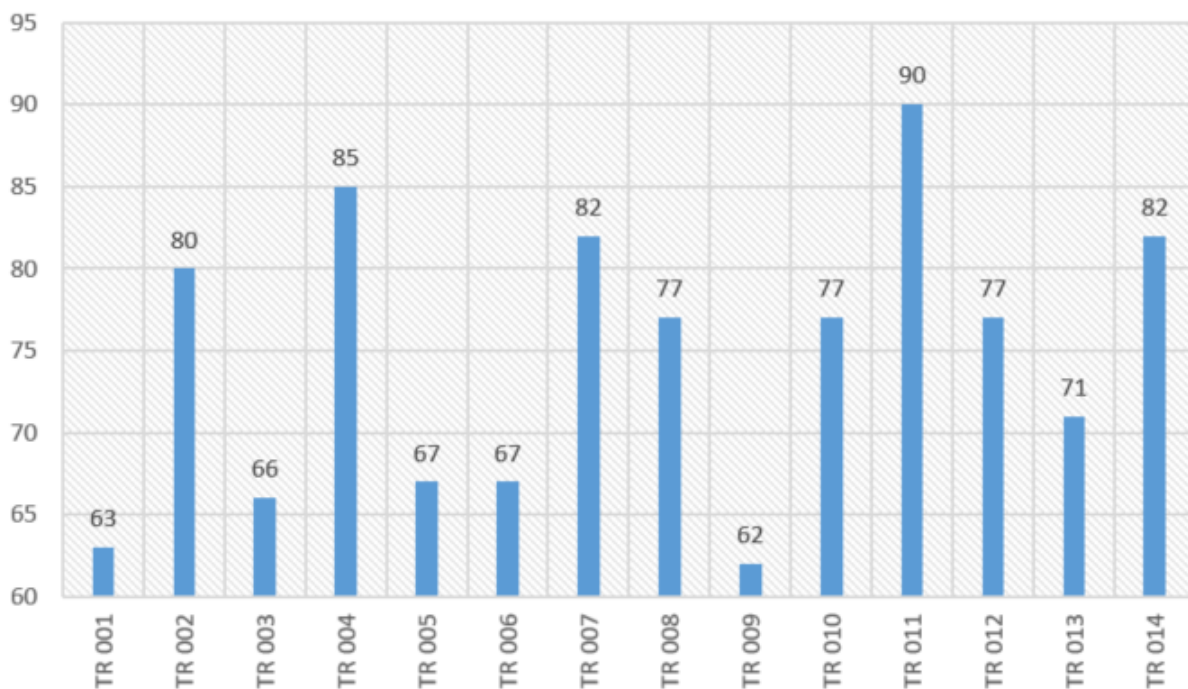
Jak wynika z danych zawartych w tab. 1., podsystemem charakteryzującym się największą liczbą uszkodzeń jest system wózków napędowych i tocznych. Jest to podsystem który w sposób bezpośredni oddziałuje z torowiskiem i jest on narażony na jego oddziaływanie i wymuszenia wynikające ze stanu torowiska.

**Tab.1. Zestawienie uszkodzeń z podziałem na poszczególne tramwaje**

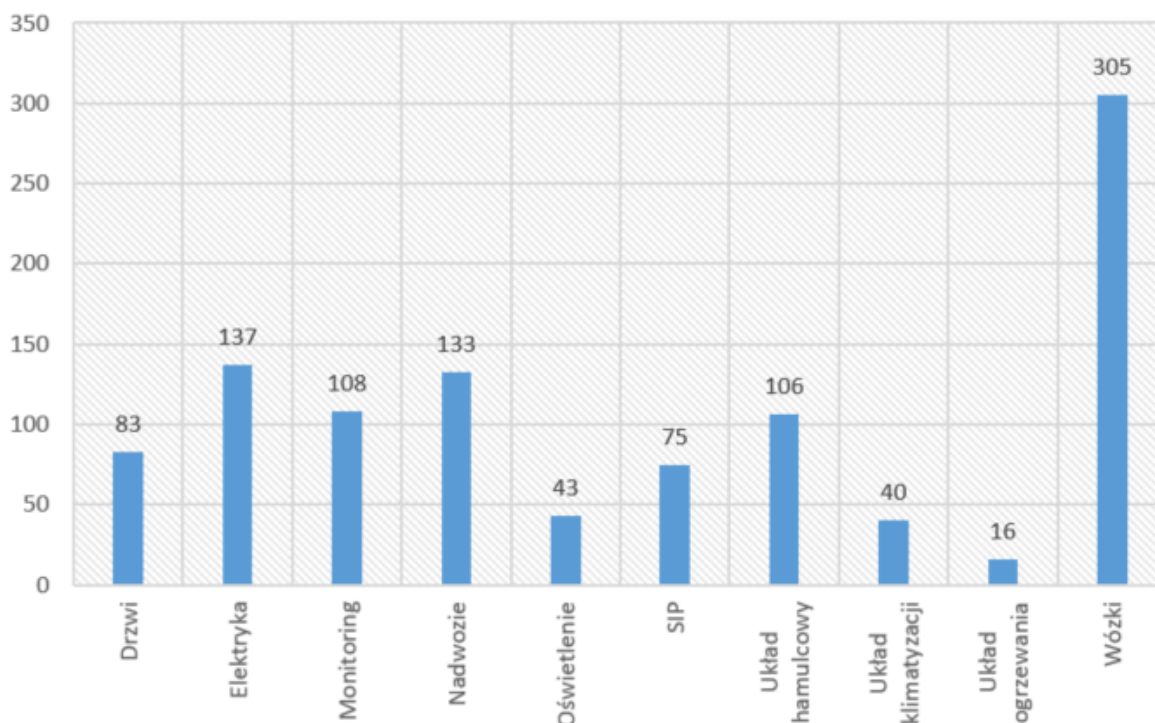
| Uszkodzony podsystem    | TR 001    | TR 002    | TR 003    | TR 004    | TR 005    | TR 006    | TR 007    | TR 008    | TR 009    | TR 010    | TR 011    | Tr 12     | TR 013    | TR 014    | Łączni e    |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Wózki toczne i napędowe | 8         | 20        | 26        | 24        | 25        | 18        | 32        | 28        | 16        | 22        | 18        | 24        | 29        | 15        | <b>305</b>  |
| Elektryka               | 12        | 17        | 8         | 10        | 10        | 9         | 15        | 12        | 5         | 3         | 7         | 8         | 7         | 14        | <b>137</b>  |
| Nadwozie                | 3         | 6         | 8         | 17        | 3         | 16        | 9         | 13        | 9         | 11        | 7         | 19        | 3         | 9         | <b>133</b>  |
| Monitoring              | 11        | 4         | 4         | 4         | 8         | 6         | 7         | 8         | 5         | 14        | 16        | 6         | 5         | 10        | <b>108</b>  |
| Układ hamulcowy         | 5         | 13        | 3         | 13        | 4         | 2         | 10        | 2         | 4         | 1         | 13        | 8         | 10        | 18        | <b>106</b>  |
| Drzwi                   | 4         | 7         | 5         | 9         | 7         | 8         | 3         | 4         | 9         | 5         | 6         | 1         | 7         | 8         | <b>83</b>   |
| SIP                     | 5         | 8         | 2         | 3         | 4         | 7         | 3         | 3         | 5         | 6         | 15        | 4         | 3         | 7         | <b>75</b>   |
| Oświetlenie             | 2         | 4         | 6         | 3         | 2         | 0         | 2         | 3         | 3         | 6         | 4         | 6         | 1         | 1         | <b>43</b>   |
| Układ klimatyzacji      | 6         | 1         | 3         | 2         | 3         | 0         | 0         | 4         | 5         | 7         | 4         | 1         | 4         | 0         | <b>40</b>   |
| Układ ogrzewania        | 7         | 0         | 1         | 0         | 1         | 1         | 1         | 0         | 1         | 2         | 0         | 0         | 2         | 0         | <b>16</b>   |
| <b>Łącznie</b>          | <b>63</b> | <b>80</b> | <b>66</b> | <b>85</b> | <b>67</b> | <b>67</b> | <b>82</b> | <b>77</b> | <b>62</b> | <b>77</b> | <b>90</b> | <b>77</b> | <b>71</b> | <b>82</b> | <b>1046</b> |

Jak wynika z danych zawartych na rys.4 największa liczba uszkodzeń to pierwsze półrocze, ponadto widać, że liczba ta jest zintensyfikowana na początku roku następnie stabilizuje się w okolicach miesiąca lipca aby od września kształtować się na średnim poziomie 25 uszkodzeń na miesiąc. Taka sytuacja jest wynikiem tego, że w chwili rozpoczęcia eksploatacji był to produkt nowy i jako taki wykazywał cechę normalną do produktów nowych, tzn. Przechodził okres wieku dziecięcego w

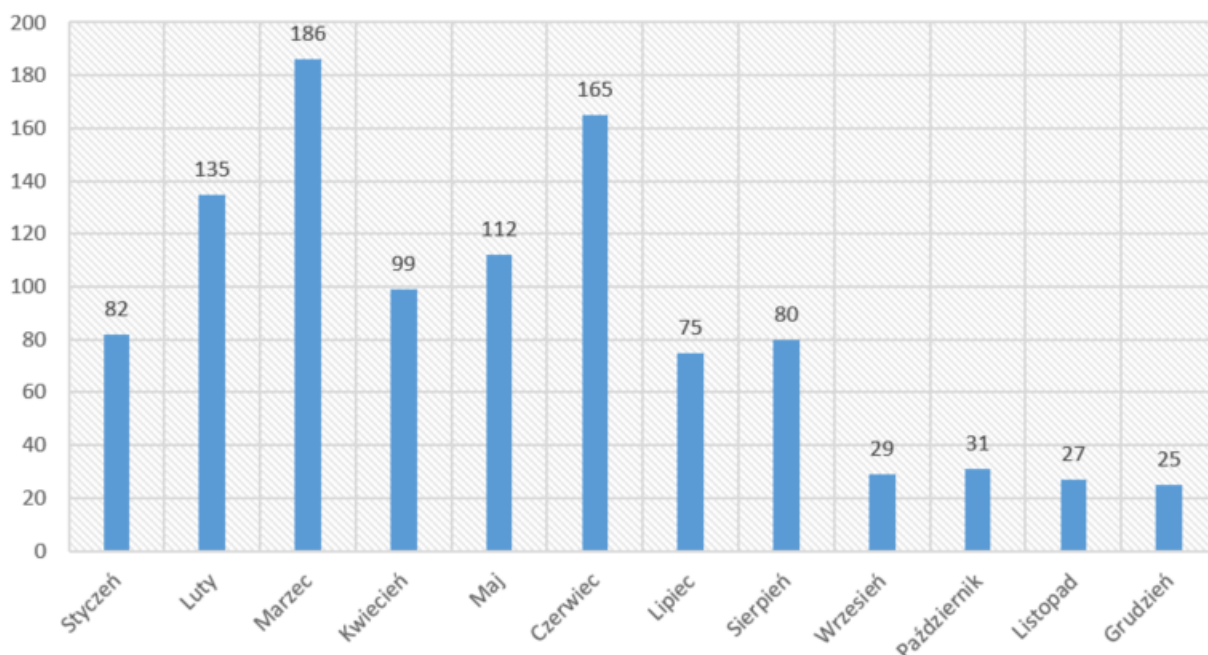
którym to na początku procesu eksploatacji ujawniały się błędy na etapie montażu oraz błędy użytkowania. Z upływem czasu liczba uszkodzeń ustabilizowała się na stałym poziomie.



Rys. 2. Sumaryczna liczba uszkodzeń zaistniała na poszczególnych wozach



Rys. 3. Sumaryczna liczba uszkodzeń zaistniała na poszczególnych podsystemach analizowanego taboru



**Rys. 4. Sumaryczna liczba uszkodzeń zaistniała w analizowanym taborze w ciągu roku**

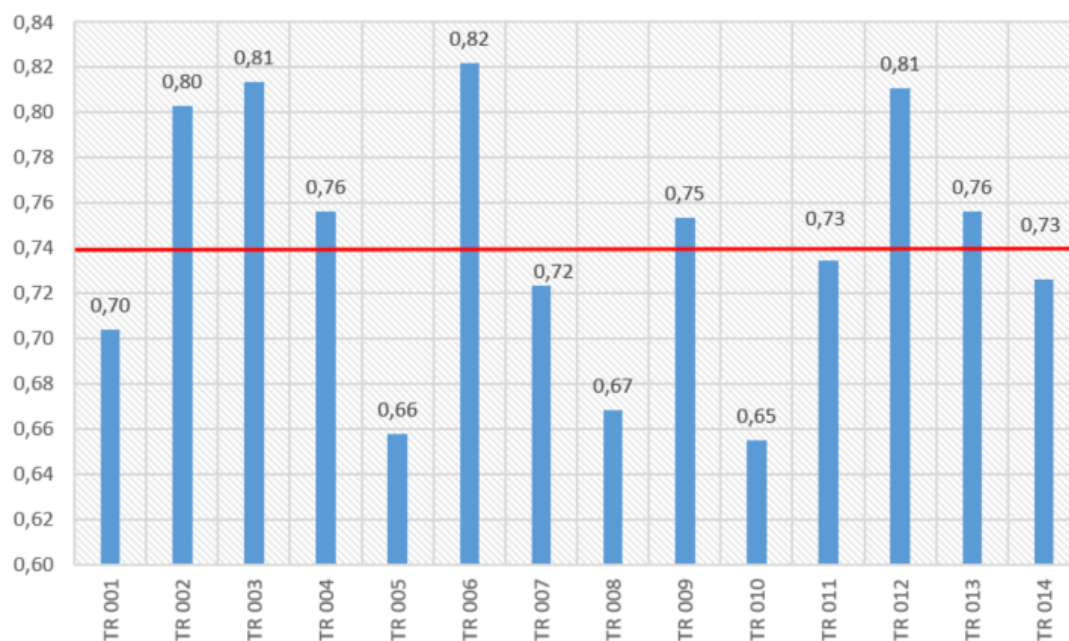
Ze względu na charakter i postać uszkodzenia różnie one wpływały na proces naprawy oraz czas jej realizacji. W trakcie badań wyznaczono również czasy (liczbę dni) potrzebnych na naprawę danego tramwaju w ciągu roku a tym samym czas jego użytkowania. Ten parameter jest szczególnie istotny z punktu widzenia planowanej pracy przewozowej. Na podstawie tych danych można wyznaczyć wartość wskaźnika gotowości technicznej dla poszczególnego tramwaju. W tabeli 3 przedstawiono czasy napraw poszczególnych wozów i czasy ich użytkowania oraz wartość wskaźnika gotowości  $T_g$  dla wozu i średnia wartość tego wskaźnika dla całego analizowanego taboru.

Konsekwencją niskiego stanu wskaźnika gotowości technicznej jest poziom wykonanej pracy przewozowej mierzony w pckm (pociągokilometrach). Poziom wykonania pracy przewozowej odzwierciedla wartość wskaźnika gotowości, tylko wówczas jeżeli założymy, że określony plan ma wykonać 100 % taboru, tzn nie zachowamy, rezerwy na wypadek wyłączeń wozów z ruchu. W warunkach racjonalnej eksploatacji około 10 % wozów pozostających w dyspozycji operatora jest utrzymywana jako rezerwa techniczna. Ostatnią dosyć istotną kwestią w planowaniu i nadzorowaniu procesu eksploatacji są uszkodzenia krytyczne powodujące dłuższe wyłączenia taboru z ruchu.

Tab. 2. Wartość wskaźnika gotowości technicznej taboru

| Nr wozu | Łączny czas naprawy | Łączny czas użytkowania | Tg   |
|---------|---------------------|-------------------------|------|
| TR 001  | 108                 | 257                     | 0,70 |
| TR 002  | 72                  | 293                     | 0,80 |
| TR 003  | 68                  | 297                     | 0,81 |
| TR 004  | 89                  | 276                     | 0,76 |
| TR 005  | 125                 | 240                     | 0,66 |
| TR 006  | 65                  | 300                     | 0,82 |
| TR 007  | 101                 | 264                     | 0,72 |
| TR 008  | 121                 | 244                     | 0,67 |
| TR 009  | 90                  | 275                     | 0,75 |
| TR 010  | 126                 | 239                     | 0,65 |
| TR 011  | 97                  | 268                     | 0,73 |
| TR 012  | 69                  | 296                     | 0,81 |
| TR 013  | 89                  | 276                     | 0,76 |
| TR 014  | 100                 | 265                     | 0,73 |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Wartość średnia Tg dla taboru | 0,74 |
|-------------------------------|------|



Rys.5. Wartości wskaźnika gotowości technicznej Tg dla poszczególnych wozów

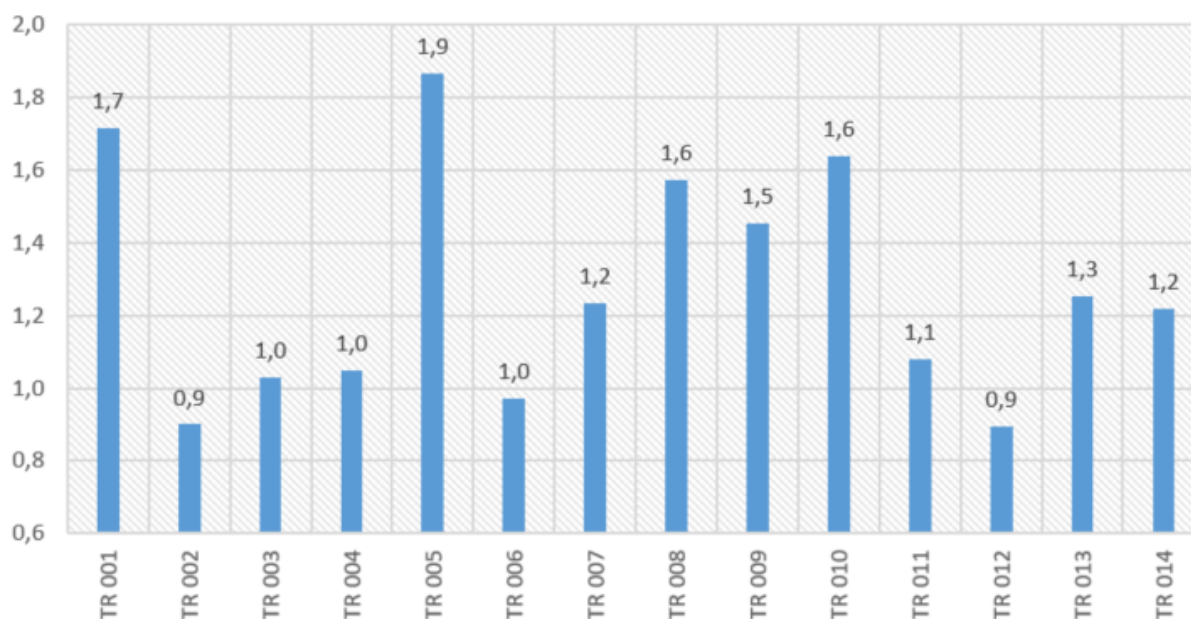
W celu określenia istotności uszkodzenia wyznaczono wskaźnik istotności  $W_i$  będący ilorazem liczby dni wyłączenia na jedno zdarzenie.

$$W_i = \frac{L_{dw}}{L_u} \quad (1)$$

gdzie:

$L_{dw}$  – liczba dni wyłączenia z ruchu

$L_u$  – liczba uszkodzeń



**Rys. 5. Wartości wskaźnika istotności uszkodzeń dla badanego taboru w analizowanym roku**

Jak wynika z danych zawartych na rys 5 tramwaj TR001 i TR005 cechowały się największą wartością wskaźnika istotności uszkodzeń. W przypadku Tramwaju TR 005 wartość wskaźnika wyniosła 1,9 co oznacza, że średnio jedno uszkodzenie powodowało wyłączenie tramwaju na dwa dni. Oczywiście problemem do rozwiązania na przyszłość jest to aby szczegółowo zidentyfikować które z uszkodzeń powodowały najdłuższe wyłączenia, co było ich przyczyną, aby na przyszłość te przyczyny wyeliminować lub ograniczyć ich częstość występowania w procesie eksploatacji.

## Podsumowanie

Badaniom poddano nowoczesny tabor tramwajowy produkowany przez jednego z liderów rynku pojazdów szynowych. Badania wykonano w systemie transportowym jednej z europejskich aglomeracji miejskich, dotyczyły one oceny

stanu technicznego 14 sztuk nowych tramwajów, jednocześnie należy zaznaczyć, że nie jest to jedyny tabor operatora, nie mniej jednak jako taki był obiektem badań. Otrzymane wyniki badań stanowią cenny materiał dla decydentów odpowiedzialnych za proces racjonalnej eksploatacji środków transportu. Pozwalają na identyfikację czynników determinujących przerwy w tym procesie co w znaczny sposób wpływa na efektywność przedsiębiorstwa i jakość świadczonych usług. Ponadto dane stanowią istotny materiał do analizy dla konstruktorów pojazdów szynowych, wskazują słabe ogniwa projektu możliwe do korekty w kolejnych partiach wytwórczych.

### **Literatura**

1. Sivets. O., Automatyizacja procesów monitorowania stanu technicznego taboru kolejowego z wykorzystaniem technologii widzenia maszynowego, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Warszawa 2016.
2. Szkoda M., Lorenc A., Analiza gotowości i niezawodności taboru kolejowego z uwzględnieniem rezerwy eksploatacyjnej, Pojazdy szynowe 3/2014, Instytut Pojazdów Szynowych Tabor.
3. Legutko S., Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne spółka Akcyjna, Warszawa 2004.
4. Tylicki H., Żółtowski B., Zmiana stanu maszyny w czasie eksploatacji, Metody Badań przyczyn i skutków uszkodzeń, Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu, Szczyrk 2005.
5. Słowiński B., Inżynieria eksploatacji maszyn, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010.
6. Będkowski L., Dąbrowski T., Podstawy Eksploatacji, Część I, Podstawy diagnostyki technicznej, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Warszawa 2000.
7. Woropay M., Podstawy racjonalnej eksploatacji, Wydawnictwo Akademii Technologiczno–Rolniczej, Bydgoszcz–Radom 1996.
8. Magiera J., Uszkodzenia lokomotyw elektrycznych a opóźnienia pociągów pasażerskich, Metody Badań przyczyn i skutków uszkodzeń, Sekcja Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu, Szczyrk 2005.
9. Bojar P., Migawa K.: Bezpieczeństwo jako kryterium eksploatacji środków transportu. Czasopismo Logistyka nr 3/2014.

# BASIC PROCESSES OF TECHNOLOGICAL BASIS IMPROVEMENT OF INFORMATION-COMMUNICATION SYSTEMS

Mikhalevskyi V., Mikhalevska G.

Khmelnitskyi National University, Ukraine

## **Introduction**

The end of the twentieth and the beginning of the new century was a time of rapid technological change in the information and communication sphere. Today, to a large extent, the market itself stimulates various technological innovations and changes, which are the necessary response to different consumer demands for voice, video, information and use of information resources. At the same time, the communication infrastructure is relegated to the background, giving way to a variety of services, databases and information resources implemented on the basis of that infrastructure. Essentially, there is a process of improving the technological basis of information and communication systems, that form and develop the intellectual superstructure of the information society [1, 2].

## **The main part**

The evaluation of the results of the movement to the information society, achieved at different stages of the transition, is based on monitoring the development of the information environment with the help of different indicators. Some of them are evaluative in nature, while others are in the process of processing statistics. The most common indicators are correlated with the parameters of socio-economic development (GDP per capita, the share of spending on education in the state budget, the parameters of aggregate solvent demand for information products and services, the size of investment in high-tech industries, the percentage of employed in the field of information processing and information computing service). The other group of indicators characterizes the development of the technological base of the information society and its individual components directly. For example, the dynamics of growth in the number of Internet users, the number of Ukrainian-language websites and the Internet, the capacity of the information market can be used. For the same purposes, there should be used statistics on the number and types of databases, the number of operating libraries, cultural information and educational centers equipped with computer equipment, the number of subscribers of these libraries and centers, including in remote regions, the number and types, communication channels, number



and types of telecommunication networks and their connected terminals in the country as a whole, regions, regions, organizations and enterprises, forms of ownership. The positive dynamics of these indicators over an average of 10-20% over a year or several years will indicate a continuous development of the technological basis of the information environment. The extent and depth of consumption of information and communication technologies, information products and services in different spheres of public life should also be assessed: in the sphere of work and employment, organization of everyday life and leisure. Taken together, these exponents and indicators will characterize the country's consistent progress along the path to the information society [3, 4].

The process of formation and development of the information society in Ukraine has a global character and the inevitable entry of our country into the information community. In technical and technological terms, the main attention should be focused on: formation and development of information and communication infrastructure of the society, ensuring the implementation of processes of creation, preservation, dissemination and use of information and providing access to it by the general population; improvement and development of the system of national information resources and technologies of access to them (databases and databases, archives, libraries); improvement and development of computing resources (home computers, system and application software, service system, etc.); improvement and development of telecommunication resources (lines and channels of communication of all kinds, communication equipment, complexes of transmission systems and equipment, computer telephone communication); creation and development of new information, computer and telecommunication technologies that ensure the process of collection, accumulation, transfer of information, its integrity, accessibility and confidentiality); improvement and development of technical base and media technologies (computer equipment for electronic and print media, radio and TV studios, transceivers, etc.).

The national policy of development of the information society in Ukraine is based on the following principles: priority of the national-technical and innovative development of the state; formation of the necessary legislative and favorable economic conditions; publicly available information infrastructure, information resources, and universal access to telecommunications services and information and communication technologies; promoting the diversity and quantity of electronic

services, ensuring the creation of publicly available electronic information resources; improvement of human resources; enhancing motivation for the use of information and communication technologies; widespread introduction of information and communication technologies in science, education, culture, health care, environmental protection.

On August 21, 2019, a technology presentation "Electronic Ukraine" was held in Kyiv, in which the unique achievements of Ukrainian scientists, technologists and industrialists in the field of development and implementation of electronic ID-documents and IT-systems were presented.

They are all part of the Industrial Innovation Group (IIG), which is recognized as the world leader in this field. During the technological show, the IIG TOP Managers declared their readiness to set up an Electronic State system in record time in Ukraine. In confirmation of this, the Industrial Innovation Group of Companies demonstrated its technological and production capacities, emphasizing that in the process of creation of electronic Ukraine our state does not need any foreign technologies and any technological assistance: in the eyes of all present four documents were produced at once - ID-card , driver's license, foreign passport and vehicle technical passport. It is part of the range of services for the development of elements of "electronic Ukraine" and the closed cycle of production of electronic documents that create the technological basis for all services of e-government.

Today there is an active formation of a single global economic, legal, information space to ensure the free and efficient business activity of all entities on the Internet.

The global information space includes a system of supports (services), the most important of which are:

- Data / Computation Services - means of placing data and transporting them between applications, access to computing and network resources;
- Information Services - means of submitting, processing, storing and accessing information;
- Knowledge Services - means of accumulating, submitting, restoring, publishing, finding and processing knowledge.

Service is the economic category of process and product unity, characterized by the combination of processes of creating and consuming a service (material services), as well as the physical form of the process and product of labor in creating

a service (intangible services). The service is a business activity aimed at meeting the needs of consumers.

An important type of information services are Web services provided to users through Web technologies. In a broad sense, with the support of ICT, Web services are a standardized way of integrating applications that operate on the basis of XML, SOAP, WSDL and UDDI standards. Web services serve to communicate heterogeneous applications based on the use of common standards and protocols. With Web services, the features of any application are made available over the Internet, meaning you can create distributed applications whose components will interact freely with each other. This makes it possible to provide joint services to enterprises without having to change their economic and technological base [2, 4].

Sometimes the terms "Service Oriented Architecture (SOA)" or "Web Services Architecture (WSA)" are used to describe Web services.

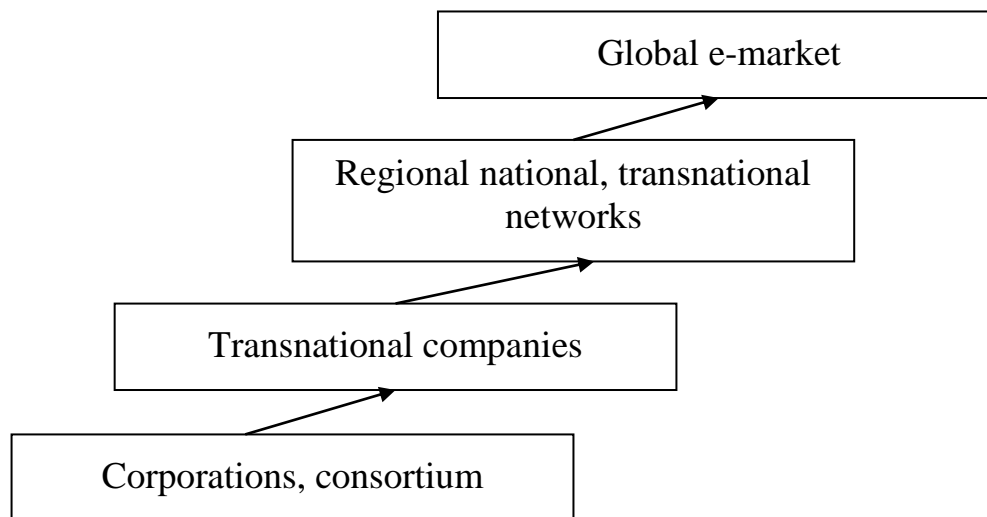
To implement Web services, you must provide:

- interoperability of information systems providing and receiving Web services;
- support for Internet protocols and technologies;
- standardization of interfaces;
- support for different programming languages;
- support for a distributed environment.

The standardization and specification of Web services contribute to the creation of a unified electronic environment, which is the economic and technological basis for globalization of the world economy and integration of business participants, information, business processes, production on a planetary scale.

It is advisable to distinguish the following principles of transformation of traditional business into electronic (known international concept "4C"): 1) commerce; 2) content; 3) community; 4) collaboration.

The ways in which transactions are concluded change - they become electronic; information is provided and processed electronically, and methods of interaction between organizations and people, businesses and markets are also becoming electronic. The evolutionary process of development of the world economy can be demonstrated in the form of a diagram, which shows the stages of development, each of which, based on the previous, represents a new level of integration of business processes and the way of business organization (Fig. 1).



**Fig. 1. Stages of development of electronic business**

The modern era can be called the era of business process management, and the decisive factor in improving efficiency nowadays is the optimization of expanded business processes and unloading of business processes, covering both internal areas of activity of the enterprise and external.

Information and Communication Technologies (ICTs) are becoming more business-oriented, and the value of these technologies is measured not so much by their technological excellence, but by the quality of the business processes that are formed on the basis of these technologies. The global nature of ICTs and their widespread usage are increasingly determining the structure of the economic system, affecting labor productivity as a whole and the revenue generated. Businesses use tools that allow them to easily and quickly build optimal business process models around the strategy.

With the help of Web services, the company distributes component applications in such a way that they ensure efficient production activity of all business areas, taking into account the requirements of all structural units and even all participants of business processes.

Intermediary exclusion enables telecommunications and the Internet to select the most profitable suppliers and consumers, helping to successfully co-exist with small businesses alongside large corporations. This factor attracts small and medium-sized businesses to the globalization processes, promotes the specialization of international labor.

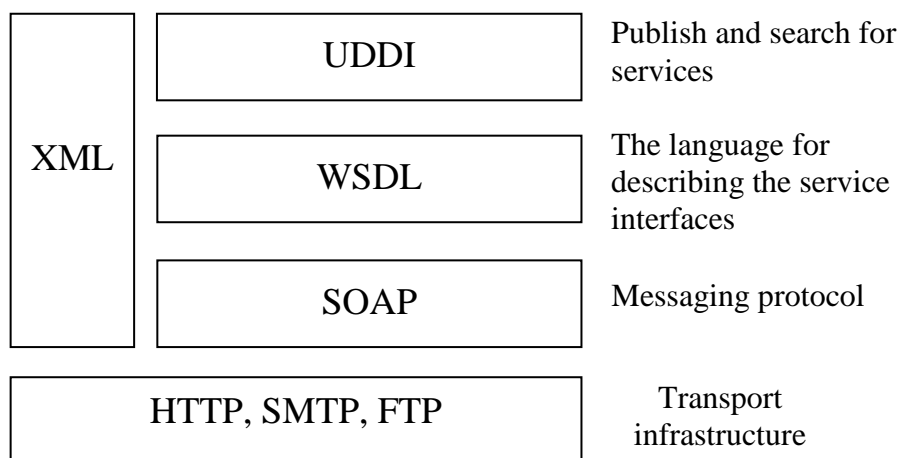
Telecommunication business networks that carry out corporate governance of autonomous entities in the information economy are of particular importance.

The concept of Web services emerged in the late 1990s and has become the industry standard in the ICT field. Web service standards are developed by companies such as IBM, Microsoft, Ariba, Sun Microsystems, SAP with the support of the W3C Consortium. Within the W3C, the Web Services Architecture Working Group was set up to publish a glossary of terms in the field of Web services.

Web services use XML to communicate data across applications, regardless of operating system, hardware platform, or developer. A web service is a set of logically related functions that can be programmatically invoked over the Internet. Web service is a program that is identified by a URI whose interface can be represented in XML.

Web Services are a software-implemented system for supporting intercomputer communication of telecommunications networks, supported by the following standards: SOAP (Simple Object Access Protocol) - messaging protocol; WSDL is a language for describing Web services programming interfaces; UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) is a classifier of Web services.

The ICT implementing the Web Services architecture is shown in Fig. 2.



**Fig. 2. Technologies of implementation of Web-services**

Dynamic, flexible Web services simplify business processes for businesses and enable them to quickly find business partners. The concept of enterprise web cache architecture has the following advantages:

- optimization of enterprise management processes by simplifying procedures for combining information flows and business processes;

- the ability to create integrated end-to-end business processes that meet the requirements of the business, using both its own Web services and services of other enterprises;
- the possibility of flexible change and continuous improvement of business processes of enterprises due to the presence of a single methodology for supporting, controlling and processing information changes, greatly facilitates the process of making interconnected changes within the entire business architecture;
- simplified integration of new functionality into the corporate system by replacing some services with others, removing outdated ones and adding new ones while maintaining the choice of information services in the market;
- data sharing and business functions - previously isolated systems will be able to interact with each other, giving business process participants new opportunities for collaboration;
- the ability to establish closer relationships with business partners, which reduces costs and improves the quality and quality of customer service.

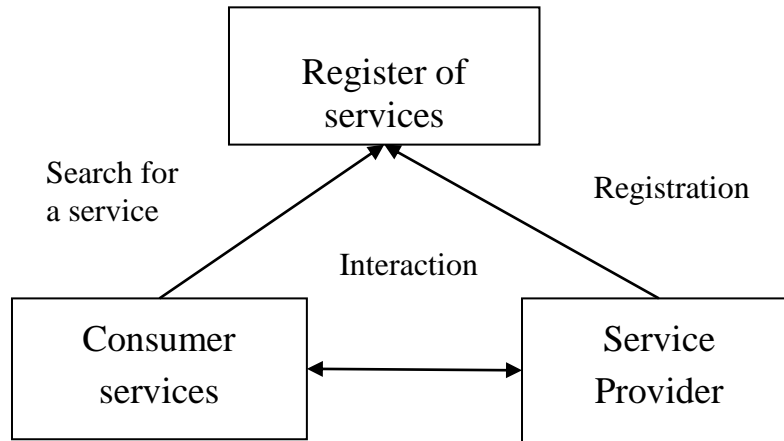
The concept of service-oriented architecture emerged during the development of the Web Services concept. Web services architecture is one of the COA implementations (there are other approaches to COA implementation as well: Java RMI (from Sun Microsystems), CORBA (from OMG consortium), DCOM (from Microsoft), DCE (offered by Open Group Association), etc. COA has the following characteristics: distributed, where function module interface is such, that the usage of the modules is independent of the technology or platform within they are implemented; dynamic search and connection of the required functional modules is possible; the architecture is based on generally accepted industry standards.

Service Oriented Architecture (COA) is the concept of designing, developing, and managing functional modules (services), where each of them is available over the network and capable of performing certain actions.

COA creates a communication environment for modules that implement application business logic. Module information is published in such a way, that their usage does not require knowledge of the solutions and technologies used in them. The developer is not required to know how the program works, it is only necessary to understand what input and output are required and how these programs are called to execute.

The basis of a service-oriented architecture is the interaction of its participants:

the provider, the consumer, and the service registry (Fig. 3).



**Fig. 3. The scheme of interaction of the participants of SOA**

The concept of Web services means that they have some limited functionality. Multiple services need to be used to solve complex problems. Therefore, in the process of developing the architecture of Web services, the concept of layout of Web services and the flow of Web services arose, or else use the term orchestration (Web Service Choreography) and choreography (Web Service Choreography) Web services. These concepts reflect the interaction of services and the sequence of their delivery. Web-based applications are based on Workflow-based applications.

Distributed computing over the Internet causes a fundamental change in doing business, and it is Web services that provide an open mechanism for integrating business processes. Business processes are managed in an automated manner. So, using simulation methods, you can verify the correctness of the business logic presented in the diagrams, and then automatically get a description of these diagrams in XML languages for managing business processes.

This approach helps simplify the call to Web services from anywhere, based on business rules. Thanks to this, companies can implement rapid change of business rules.

The strategic value of Web services is to reduce project implementation time, increase productivity, quick integrate business systems and their applications.

Gartner predicts that a service-oriented paradigm will be the preferred practice of program design and development. And of course, a number of businesses in various industries, including financial services, insurance, aerospace, healthcare, pharmaceuticals, retail, public sector and industry, are launching their own Web services.

## Conclusions

Various institutional structures on the Internet create their own information models through the Website, creating certain information and economic spaces by means of intellectualized software (multiagent systems or software agents as agents of economic agents) in a global electronic environment or object oriented Software (site, portal, e-mail box, etc.). It is the Web server, a kind of business card of an enterprise, representing a set of interconnected Web pages, presents the company and its services.

Today, Web2 and Web3 technologies are replacing Web technologies. They are based on social networks, a collaborative effort to develop information resources. The corporate blogs, Wiki encyclopedias etc. are functioning on these new technologies.

The new ideology of the Web-based production of the information industry helps to attract small and medium-sized enterprises to the electronic markets, enabling them to acquire reasonably priced, functional solutions that meet their objectives. The standardization and specification of Web services contribute to the creation of a unified electronic environment, which is the economic and technological basis for globalization of the world economy and integration of business participants, information, business processes, production on a planetary scale. The strategic value of Web services is to reduce project implementation time, increase productivity, quick integrate business systems and their applications.

## References

1. Informatsiine suspilstvo: sutnist ta perspektyvy rozvytku v Ukraini. Pryhoda V.M. s. 24-33. «Ekonomika i upravlinnia» №3, 2008. -140 s.
2. Pleskach V.L. Informatsiini tekhnolohii ta systemy. -K.: Knyha, 2005. -520s.
3. Pro Natsionalnu komisiuu, shcho zdiisniue derzhavne rehuliuвання u sferi zviazku ta informatyzatsii: ukaz Prezydenta Ukrainy vid 23 lystop. 2011 r. № 1067/2011 // Ofitsiinyi visnyk Ukrainy. - 2011. - № 94. - St. 3417.
4. Ursul A.D. Globalizaciya, ustojchivoe razvitie, noosferogenez: Informacionnye aspekty / A.D. Ursul, T.A. Ursul// NTI. – Ser.1. – 2005. - №4. – S.1-15.



# SYSTEM ENERGETYKI ODNAWIALNEJ POLITECHNIKI BIAŁOSTOCKIEJ

Tomasz A.

Politechnika Białostocka - WE – Białystok, Polska

## Introduction

Członkostwo w Unii Europejskiej i zapisy Traktatu Akcesyjnego nakładają na Polskę zobowiązanie przestrzegania unijnych dyrektyw, w tym 2009/28/WE, z dnia 23 kwietnia 2009 r., w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (OZE) [1]. Hybrydowy system małej energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej przeznaczony do zasilania w energię elektryczną Centrum Badawczo-Dydaktycznego Wydziału Elektrycznego przy ul. Zwierzynieckiej 10 w Białymstoku jest przykładem realizacji polityk i strategii regionalnych, krajowych i wspólnotowych. Wykonany został w ramach projektu nr WND-RPPD.05.02.00-20-034/12, pt. „Poprawa efektywności energetycznej infrastruktury Politechniki Białostockiej z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii”, Osi Priorytetowej V. Rozwój infrastruktury ochrony środowiska, Działania 5.2 Rozwój lokalnej infrastruktury ochrony środowiska, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podlaskiego. Funkcjonowanie systemu wytwórczego w warunkach miejskich było badane w ramach projektu nr WND-RPPD.01.01.00-20-015/12, pt. „Badanie skuteczności aktywnych i pasywnych metod poprawy efektywności energetycznej Infrastruktury z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii” Osi Priorytetowej I. Wzrost innowacyjności i wspieranie przedsiębiorczości w regionie, Działania 1.1. Tworzenie warunków dla rozwoju innowacyjności, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz budżetu państwa w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podlaskiego.

## Hybrydowy system małej energetyki OZE

Mini elektrownia słoneczno-wiatrowa Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej przeznaczona do pracy w warunkach miejskich została oddana do eksploatacji w grudniu 2014 r. Głównym generatorem energii jest zestaw paneli fotowoltaicznych o mocy szczytowej 9 kW, pracującego w różnych konfiguracjach geometrycznych zgodnych z rodzajami budynków występujących w województwie

podlaskim: system nadążny z trackerem śledzącym ruch Słońca, system ustawiony optymalnie do pracy całorocznej oraz system montażu pionowego, zorientowany w kierunkach wschód – południe i południe – zachód. Turbiny wiatrowe z generatorami synchronicznymi z magnesami trwałymi, o konstrukcji pionowej oraz poziomej o łącznej mocy szczytowej 10 kW uzupełniają system energetyczny podwyższając niezawodność dostarczania energii (rys. 1). Panele fotowoltaiczne oraz generatory wiatrowe przekazują wygenerowaną energię elektryczną bezpośrednio do systemu elektroenergetycznego Politechniki Białostockiej. Instalacja jest przyłączona do sieci elektroenergetycznej PGE Dystrybucja S.A, przy czym zawarta umowa nie przewiduje wprowadzania energii do sieci energetyki zawodowej.

Elektrownię fotowoltaiczną tworzą 4 konfiguracje paneli z modułami polikrystalicznymi ESP 250 6P:

- panel fotowoltaiczny (PV1) zainstalowany nieruchomo na dachu budynku pod kątem  $38^\circ$  w kierunku południowym, składający się z 12 modułów o łącznej mocy 3 kWp. Panel jest połączony poprzez rozdzielnicę, posiadającą układ zabezpieczeń złożonych z 2 rozłączników P-SOL 20A i ochronnika przepięć, z inwerterem SMA typ SUNNY BOY 3000 HF. Ta sekcja ma możliwość regulacji kąta pochylenia, aby optymalizować zyski energetyczne w krótszych okresach czasu;

- panel fotowoltaiczny (PV4) zainstalowany na dachu budynku na układzie nadążnym (trackerze), składający się z 12 modułów o łącznej mocy 3 kWp, zabezpieczenie i inwerter jak wyżej. Dwuosiowy układ nadążny śledzi ruch słońca w zakresie: kąt obrotu wschód - zachód (azymut) wynosi  $270^\circ$ , w kierunku północ - południe (wysokość) -  $80^\circ$ ;

- panel fotowoltaiczny (PV2) zainstalowany nieruchomo na południowo-wschodniej ścianie budynku (azymut  $160^\circ$ ), składający się z 6 modułów o mocy 1,5 kWp;

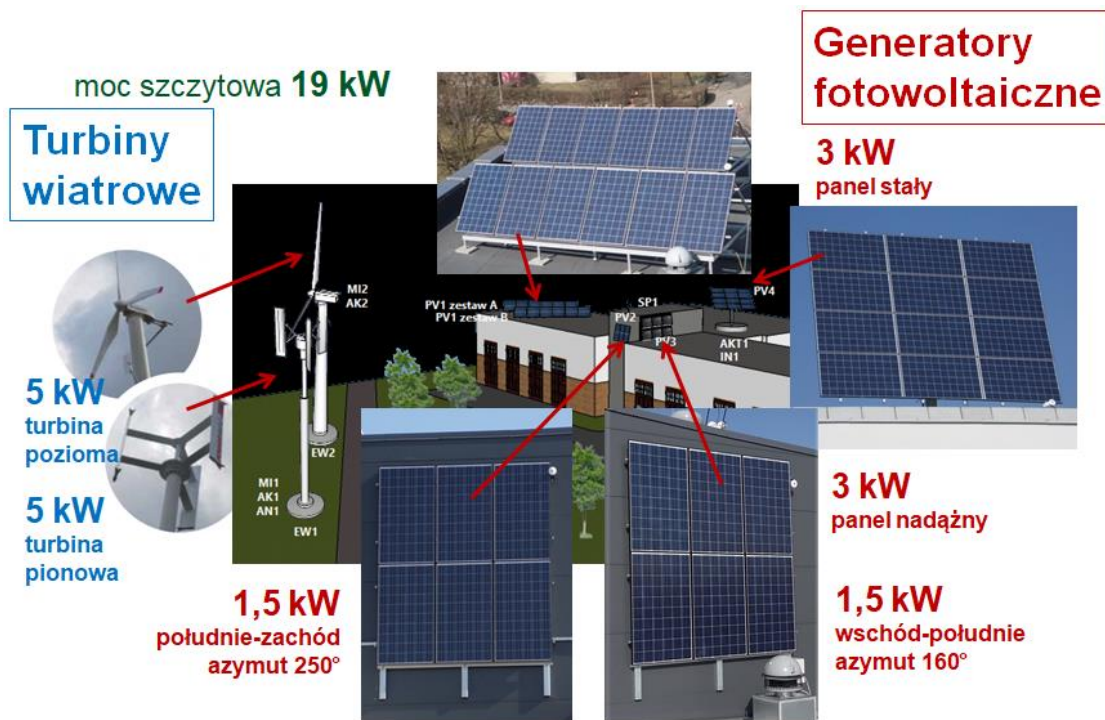
- panel fotowoltaiczny (PV3) zainstalowany nieruchomo na południowo-zachodniej fasadzie budynku (azymut  $250^\circ$ ), składający się z 6 modułów o mocy 1,5 kWp.

W skład elektrowni wiatrowej wchodzi:

- turbina wiatrowa o pionowej osi obrotu (EW1) typu H-Darrieus zainstalowana na maszcie stalowym na wysokości 15,61 m, trójłopatowa (średnica 3,5 m, wysokość łopat 3 m), o mocy znamionowej 5 kW. Generator jest połączony poprzez rozdzielnicę, posiadającą układ zabezpieczeń składający się z 2 rozłączników

FR303 32 A i ochronnika przepięć, z trójfazowym inwerterem sieciowym TWERD typ PZGS/5,5kW;

- turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu (EW2), zainstalowana na maszcie stalowym na wysokości 15,27 m trójłopatowa (średnica 4,8 m), o mocy znamionowej 5 kW, zabezpieczenie i inwerter jak wyżej.



Rys. 1 Generatory OZE elektrowni hybrydowej

Energia wyprodukowana w elektrowni hybrydowej jest wykorzystywana w całości do poprawy efektywności energetycznej budynku Centrum Badawczo-Dydaktycznego Wydziału Elektrycznego. Z założenia obiekt ten ma pełnić funkcję budynku wzorcowego w zakresie dobrych praktyk efektywności energetycznej i wykorzystania odnawialnych źródeł energii dla jednostek samorządu terytorialnego i przedsiębiorstw, chcących dostosować istniejące oraz powstające obiekty do wymagań normy IEC 60364-8-1:2019 *Low-voltage electrical installations - Energy efficiency* [2]. Centrum Badawczo-Dydaktyczne Wydziału Elektrycznego pełni funkcję miejsca transferu wiedzy oraz innowacyjnych rozwiązań technicznych. Prowadzone w obiekcie szkolenia oraz przekazywanie przedsiębiorstwom i samorządom doświadczeń z zakresu eksploatacji obiektu spełniającego wymagania normy ma na celu ułatwienie dostępu do nowoczesnych technologii oraz podniesienie innowacyjności oferowanych przez nich rozwiązań poprawiając tym samym ich pozycję na rynku.

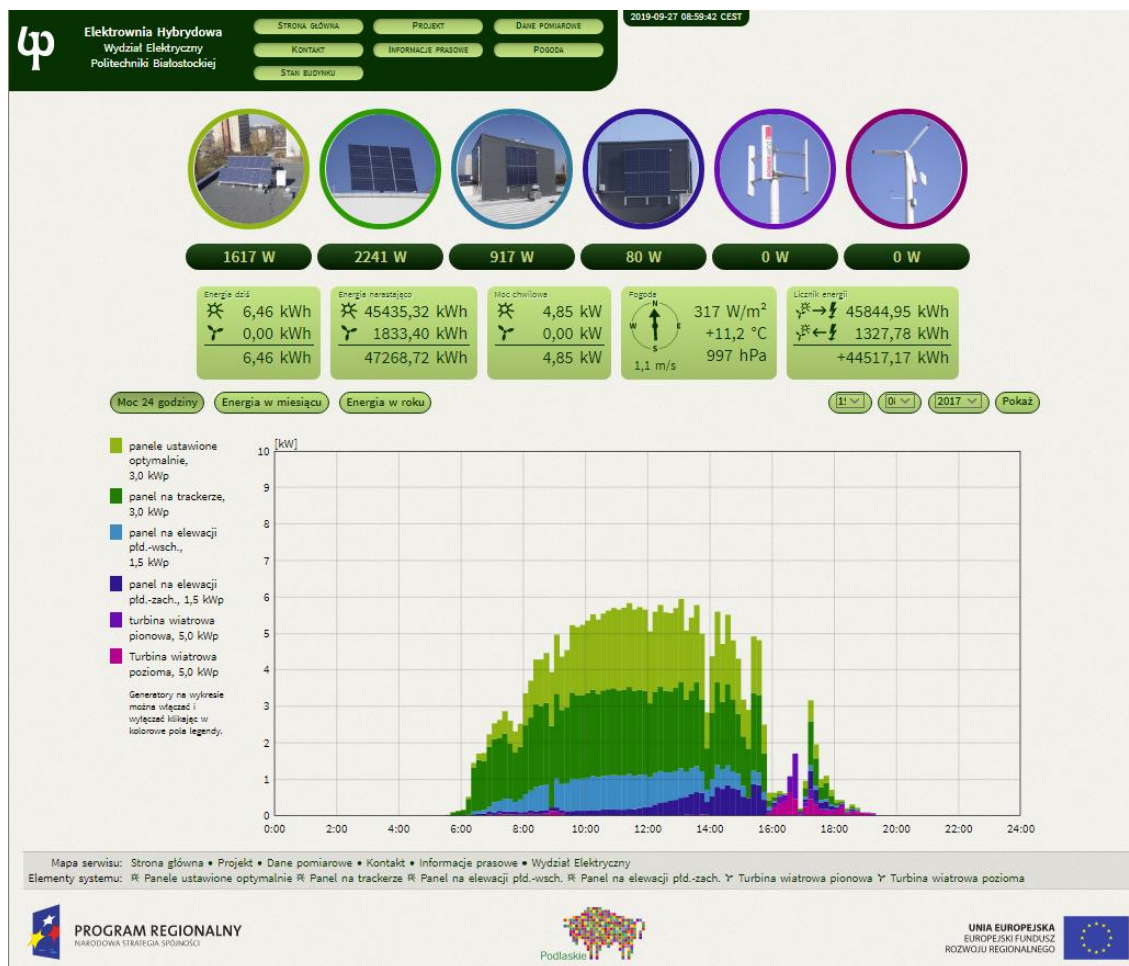
Obiekt zlokalizowany w otoczeniu Kampusu PB pełni jednocześnie funkcję centrum kompetencyjnego, w którym pracownicy PB mogą prowadzić badania i szkolenia nad możliwościami dalszej poprawy efektywności wykorzystania odnawialnych źródeł energii w zasilaniu urządzeń elektrycznych oraz obniżeniu energochłonności procesów związanych z użytkowaniem energii elektrycznej.

Istotnym elementem systemu OZE jest także możliwość określania parametrów jakości energii elektrycznej, wpływających na efektywność energetyczną obiektu oraz poprawność pracy zasilanych z instalacji urządzeń elektrycznych. Monitoring tych parametrów jak też monitoring poziomu szybkozmiennych napięć stanowi logiczne uzupełnienie systemu pomiaru mocy i energii wyprodukowanej przez mini elektrownię pracującą na sieć uczelni.

Hybrydowy system wytwarzania energii elektrycznej współpracuje z opracowanym na Uczelni systemem pomiarowym wszystkich istotnych parametrów pracy turbin wiatrowych, generatorów fotowoltaicznych, inwerterów oraz wybranych instalacji elektrycznych w referencyjnym budynku – Centrum Badawczo-Dydaktycznym Wydziału Elektrycznego. Parametry pracy elektrowni hybrydowej prezentowane są na bieżąco na ekranach synoptycznych i na stronie internetowej [www.elektrownia.pb.edu.pl](http://www.elektrownia.pb.edu.pl) (rys. 2).

Wybrane parametry związane z produkcją energii systemu hybrydowego oraz parametry środowiskowe są dostępne publicznie i możliwe do wykorzystania przy projektowaniu instalacji OZE na Podlasiu [3, 4].

Różne rozwiązania i konfiguracje zastosowanych generatorów OZE miały na celu wsparcie w znajdowaniu optymalnych rozwiązań zasilania obiektów w warunkach miejskich województwa podlaskiego, tj. w lokalnej przestrzeni infrastrukturalnej i klimatycznej. Analiza wyprodukowanej energii małej elektrowni hybrydowej oraz właściwości energetycznych budynku jak również jakości wygenerowanej energii elektrycznej z OZE pozwoliły na opracowanie wskaźników funkcjonowania systemów konwersji energii słonecznej i wiatrowej, w warunkach miejskich województwa podlaskiego.



Rys. 2 Widok strony głównej serwisu internetowego elektrowni hybrydowej [www.elektrownia.pb.edu.pl](http://www.elektrownia.pb.edu.pl)

## Założenia i cele

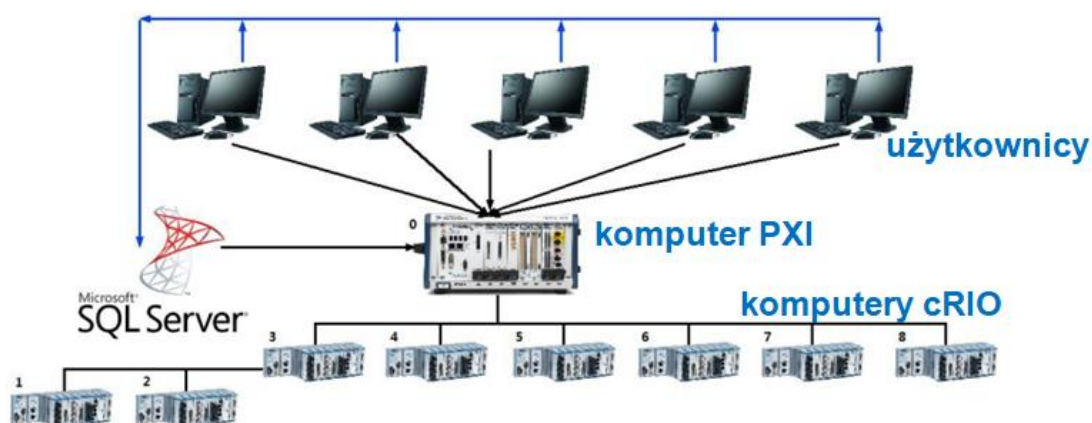
Mini elektrownia słoneczno-wiatrowa Wydziału Elektrycznego powstała w odpowiedzi na niską świadomość społeczną w zakresie odnawialnych źródeł energii, brak dostępu do zaplecza technicznego w procesie dydaktycznym i naukowym oraz wciąż niewielki udział energii odnawialnej w skali ogólnej produkcji energii. Celem naukowym przedsięwzięcia było przeprowadzenie wszechstronnych prac badawczych hybrydowego systemu wytwórczego energii elektrycznej oraz opracowanie pogłębionych analiz techniczno-ekonomicznych i raportów z przeprowadzonych badań, obejmujących przede wszystkim:

- analizę opłacalności inwestycji wyposażonej w prosumenckie systemy wytwarzania energii elektrycznej bazujące na elektrowniach wiatrowych małej mocy (o pionowej i poziomej osi obrotu) i panelach fotowoltaicznych (o różnych konfiguracjach pozycji pracy) w terenie zurbanizowanym;

- analizę wskaźników technicznych wykorzystania odnawialnych źródeł energii elektrycznej w instalacjach elektrycznych budynku referencyjnego, uwzględniającą lokalne warunki klimatyczne i wymagania jakościowe energii elektrycznej;
- analizę przepięć powstających w obwodach elektrycznych odnawialnych źródeł energii oraz w instalacjach elektrycznych budynku referencyjnego [4].

### Infrastruktura badawcza

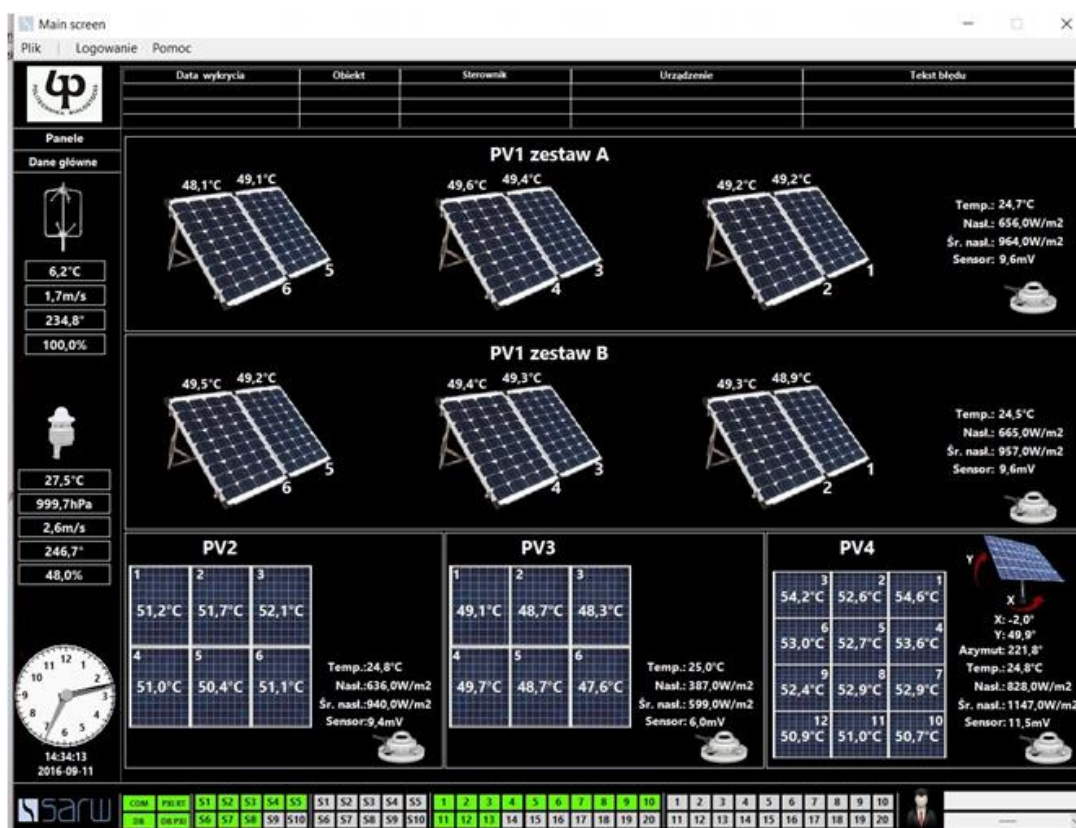
Dodatkowo, układ hybrydowy jest wyposażony w systemem SCADA do rejestracji danych pomiarowych, archiwizacji i wizualizacji pracy systemu. W ramach systemu SCADA elektrowni hybrydowej zintegrowano dane: z komputera PXI (system WSAd), serwera KNX (BMS budynku), serwera iGP (licznik energii zielonej), dane z inwerterów elektrowni fotowoltaicznej oraz z falowników elektrowni wiatrowych. System gromadzi i przetwarza także informacje o warunkach pogodowych, w tym parametrach wiatru i Słońca, temperaturze poszczególnych modułów fotowoltaicznych, wchodzących w skład paneli oraz rejestruje hałas i wibracje generowane przez turbiny wiatrowe. Zmierzone wielkości elektryczne i nieelektryczne archiwizowane są na serwerze bazodanowym. Wielokanałowy system akwizycji danych składa się z 8 węzłów kontrolno – pomiarowych wykonanych na komputerach cRio (National Instruments) z modułami rozproszonymi, zintegrowanymi w środowisku LabView na komputerze przemysłowym PXIe-8108 (rys. 3) [5 - 7]. Strona internetowa [www.elektrowania.pb.edu.pl](http://www.elektrowania.pb.edu.pl) korzysta z dostępu do bieżących i archiwalnych danych pomiarowych za pomocą języka zapytań SQL.



Rys. 3 Architektura systemu pomiarowego [8]

Wykonana przez firmę SARW aplikacja WSAd (rys. 4) gromadzi i udostępnia informacje o warunkach pogodowych, w tym parametrach wiatru i Słońca,

temperatury modułów fotowoltaicznych oraz rejestruje hałas i chwilowe wartości napięć i prądów generatorów wiatrowych.



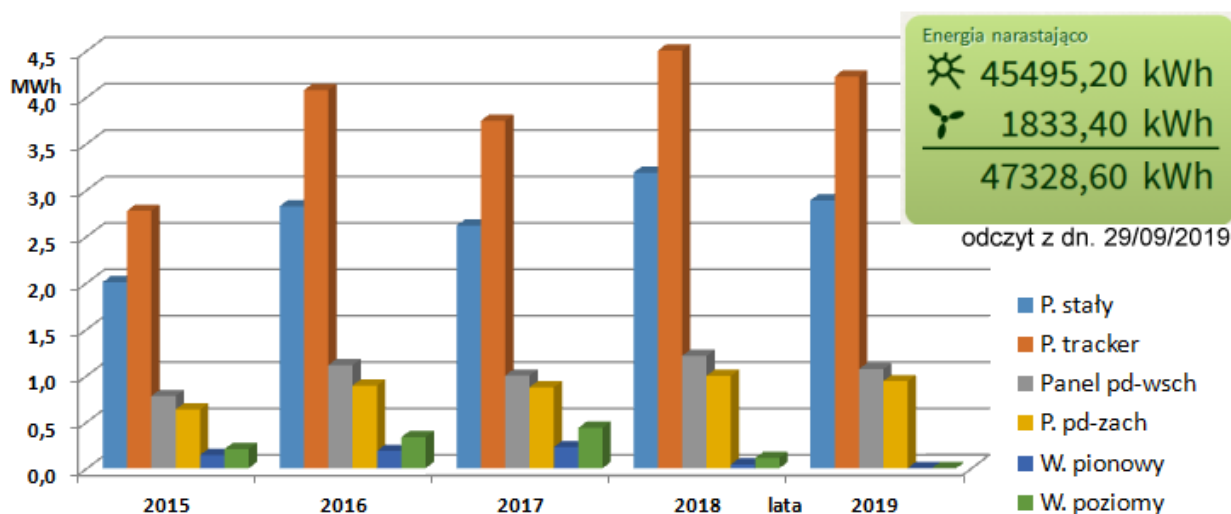
Rys. 4 Aplikacja WSAd – parametry paneli fotowoltaicznych i trackera

Dostęp do wszystkich archiwalnych danych zgromadzonych na serwerze bazodanowym jest możliwy również z poziomu strony [www.elektrowania.pb.edu.pl](http://www.elektrowania.pb.edu.pl) (zakładka „dane pomiarowe”). Dane dostępne uzyskuje się po podpisaniu z Politechniką Białostocką umowy o udostępnienie danych pomiarowych lub umowy intencyjnej.

## Wyniki badań

Wyniki badań przeprowadzonych w ramach projektu wykazują, że teren województwa podlaskiego charakteryzuje się zmiennością natężenia promieniowania słonecznego od 975 do 1033 kWh/m<sup>2</sup> w roku, przy czym średnio w roku słońce operuje przez 1576 godzin. Przeprowadzony, na podstawie pomiarów promieniowania słonecznego ze stacji aktynometrycznej położonej w pobliżu systemów fotowoltaicznych, bilans promieniowania słonecznego wykazał znaczący udział promieniowania rozproszonego (sięgający 50%) w promieniowaniu całkowitym [9].

W okresie od marca 2015 roku do września 2019 roku mini elektrownia słoneczno-wiatrowa Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej wyprodukowała ok. 47,3 MWh energii, przy czym na generatory fotowoltaiczne łącznie przypada ok. 45,5 MWh, zaś na turbiny wiatrowe ok. 1,8 MWh (rys. 5).

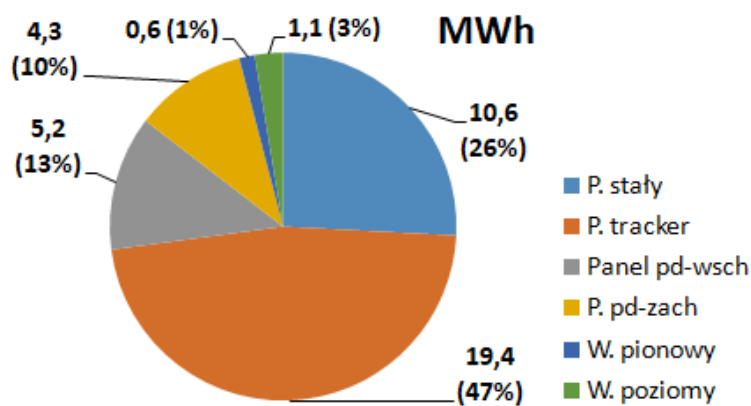


**Rys. 5 Zestawienie rocznych produkcji energii generatorów OZE**

Spośród paneli fotowoltaicznych największym uzyskiem energetycznym charakteryzuje się panel na trackerze - 19,4 MWh, co stanowi 47% wyprodukowanej dotąd energii. 26% energii przypada na panel stały (10,6 MWh) i łącznie 23% na panele zainstalowane na ścianach budynku (9,5 MWh), a ok. 4% (1,7 MWh) to udział energii wyprodukowanej przez turbiny wiatrowe w okresie ich bezawaryjnej pracy. Panel stały wyprodukował o 10% mocy więcej w porównaniu z panelami o tej samej mocy (3 kW łącznie) zainstalowanymi na ścianach budynku. Rysunek 6 przedstawia bilans procentowy produkcji energii z ponad 4,5 roku pracy mini elektrowni hybrydowej.

Dotychczasowe badania wykazują, że możliwości wytwórcze panelu nadążnego charakteryzują się lepszym o co najmniej 42% średnio w roku uzyskiem energii elektrycznej brutto w stosunku do panelu ustawionego optymalnie [4]. Stąd wynika, że instalacja panelu nadążnego jest efektywna ekonomicznie na terenie województwa podlaskiego, jeżeli łączne koszty inwestycji nie przekroczą 140% kosztów systemu PV mocowanego na stałe pod kątem 38° na dachu lub na ziemi.





**Rys. 6 Bilans produkcji energii generatorów OZE**

Źródła energii elektrycznej ze względu na swoją lokalizację są narażone w bardzo dużym stopniu na negatywne skutki wyładowań piorunowych. Niniejszy projekt stwarza unikatową możliwość obserwacji w warunkach rzeczywistych zjawisk będących następstwem wyładowań piorunowych bezpośrednich jak i w sąsiedztwie. Dokonuje się ciągłego monitoringu poziomu napięć w analizowanej sieci, który wymaga kontynuacji ze względu na losowy i nieprzewidywalny charakter tych zjawisk [10].

W ramach badań wykonano również ocenę efektywności energetycznej instalacji elektrycznej budynku Centrum Badawczo-Dydaktycznego Wydziału Elektrycznego zgodnie z wymaganiami normy PN-HD 60364-8-1:2015-3 [11]. Instalację elektryczną w analizowanym obiekcie można przyporządkować do kategorii EIEC 3, tj. instalacji o zaawansowanej efektywności energetycznej.

W raporcie z 2015 r. podsumowano pierwszy etap przeprowadzonych badań skuteczności aktywnych i pasywnych metod poprawy efektywności energetycznej infrastruktury z wykorzystaniem OZE [4].

## **Podsumowanie**

Mini elektrownia słoneczno-wiatrowa Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej jest referencyjną instalacją umożliwiającą wsparcie rozwoju energetyki odnawialnej w północno-wschodniej Polsce. Korzystając z tej infrastruktury zespół badawczy złożony z 16 osób zrealizował dotąd 7 projektów badawczych, których wyniki zostały opublikowane w czasopiśmie naukowych, 17 dyplomantów opracowywało swoje prace w oparciu o dostęp do zgromadzonych danych pomiarowych. Podczas wizyt studyjnych około 320 osób zapoznało się z projektem elektrowni hybrydowej. Łącznie 11 przedsiębiorstw i uczelni korzysta z dostępu do

zgrupowanych danych archiwalnych. Projekt elektrowni hybrydowej przez ponad 4,5 roku dostarcza kompleksowych danych umożliwiających analizę możliwości wytwórczych hybrydowego systemu fotowoltaiczno-wiatrowego w wybranych konfiguracjach pracy oraz badanie efektywności energetycznej budynku referencyjnego,

w odniesieniu do warunków miejskich obszaru województwa podlaskiego.



**PROGRAM REGIONALNY**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



FUNDUSZE EUROPEJSKIE - DLA ROZWOJU WOJEWÓDZTWA PODLASKIEGO

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podlaskiego na lata 2007-2013

## Literatura

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE (2009), w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca, w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
2. IEC 60364-8-1:2019 (2019), Low-voltage electrical installations, Part 8-1: Functional aspects – Energy efficiency.
3. Studium wykonalności projektu (2012) „Poprawa efektywności energetycznej infrastruktury Politechniki Białostockiej z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii”.
4. Raport pod red. Banaszuk P. (2015), Badanie skuteczności aktywnych i pasywnych metod poprawy efektywności energetycznej infrastruktury z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Politechnika Białostocka.
5. Trzasko W. (2016), Analiza eksploatacji instalacji fotowoltaicznej z modułami stałymi i na trackerze. Interdyscyplinarna Konferencja Środowisk Naukowych nt. „Energetyka Prosumencka w Wymiarach Zrównoważonego Rozwoju” (EPwWZR).
6. Trzasko W. (2018), Analiza wydajności dwuosowego solarnego układu nadążnego, Pomiary, Automatyka, Robotyka, R. 22, nr 1, s. 11-17.
7. Walendziuk W. (2016), Using the LabVIEW Environment for Measurement of a Small Hybrid Power System at Bialystok University of Technology. Case study, NI 2016.
8. Instrukcja obsługi Wielokanałowego Systemu Akwizycji Danych (2015), SARW.
9. Zajkowski M., Prorok M. (2015), Analiza propagacji promieniowania słonecznego w systemach solarnych typu "zimny dach". Przegląd elektrotechniczny, R. 91, nr 7.
10. Wiater J. (2015), Stany przejściowe w infrastrukturze wykorzystującej odnawialne źródła energii. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, nr 45/2015, s. 63-66.
11. PN-HD 60364-8-1:2015-3 (2015), Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 8-1: Efektywność energetyczna.

# ON IMPROVING THE QUALITY OF FLAX TRUSTS THRESHING PROCESS

Nalobina O. , Holotiuk M., Bundza O., Markova O.  
National University of Water and Environmental Engineering, Ukraine

## Introduction

The cultivation and processing of flax in Ukraine have centuries-old roots. Flax fiber is a source of natural raw materials for the production of a wide range of household and technical products. In recent years, despite the high importance of flax growing, this industry has come to a state of decline in Ukraine.

The flax crops in Ukraine decreased by 10% to 1300 ha in 2018. At the same time, the country purchases flax fibers from Belarus and Russia much more than exports them – \$ 5.4 million and \$ 1.2 million respectively [6]. Unfortunately, the processing of flax raw materials is also declining in Ukraine.

Such enterprises as linen fabrics in Rivne, Zhytomyr, Odessa and Lviv regions are listed in the State Register. But they retained only their brands. So, Rivne linen fabric (TM GOLDI) deals with cotton, polyester and viscose; Orshansky linen fabric (Odessa Region) is the seller of Belarusian flax products. Some linen fabrics are destroyed (Yemilchinsky, Novograd-Volynsky, Zhytomyr, Volodarsky-Volynsky and Korostyshivsky). There is no sense for agricultural enterprises in growing flax without linen mill nearby. The effectiveness of the combination of two units of agro-industrial complex - the cultivation and processing of plant products - is proven in Sumy region, where the linen mill “Linen of Desna” successfully operates. The need for raw materials of this enterprise leads to the cultivation of flax. Hlukhiv region is the largest area of spinning flax in Ukraine – over 400 hectares.

Given the current state of the flax industry with its importance and prospects for Ukraine, it is necessary to combine different links of the flax complex, to identify significant technical and technological factors affecting product quality produced by them and to create conditions for obtaining high quality and competitive linen goods.

It is known that the quality of flax fiber largely depends on the conditions of implementation of the recycling process on breaking-threshing apparatus, on the parameters and operating modes and on the design features of technological equipment.

Taking into consideration the above-mentioned, it is an important and urgent task for today to improve the technology of linen trust processing by upgrading breaking-threshing apparatus. This will improve the quality of the flax fiber and the linen products.

## Typology of knowledge

The stabilization of linen products is possible provided the creation of production structures which are able to ensure optimal use of climatic conditions in order to obtain high-quality raw materials, scientific and production potential for creating and introducing effective technologies of its primary processing.

The technological value of flax fiber is determined by the quality of the product (yarn) it receives. The fiber's properties depend on the quality of the linen trust which determines also the loss of the long fiber.

In order to create the conditions for contributing of increasing the output of long fibers, the improvement of the facilities for primary processing is underway in several main directions. While threshing, it is important to ensure optimal parameters of the impact of the drum on the fiber. With that, it is necessary to take into account the characteristics of the fiber, namely its moisture, separability, strength and flexibility.

Significant contribution to research of flax processing was made by: V.V. Markov [7]; A.M. Ipatov [5]; V.A. Dyachkov [4]; Anthony [1]; Danny E. and other. [2]; Foulk, Akin, Dodd, [3]. According to research by Pashin E.L., the optimization of the threshing parameters increases the yield of the long fiber by 15-20% (relative). The process of threshing is complex and quite profoundly covered in the literature.

E.L. Pashin [9] provides a classification of the causes of waste generation during flax threshing: the blurring of strands under the clamping of the first or the subsequent threshing sections; the bowing of strands, different lengths of strands, the uneven layer thickness; the rigid nature of the load; the uneven load distribution along the length of strands and the availability of technological transitions. Threshing happens with the help of two mechanisms: the clamping conveyor and the threshing drum. The clamping conveyor holds the raw material by the threshing drums to be processed and moves it along the threshing apparatus. According to research [4, 7, 8] more than 60% of the fiber is lost during the threshing process. This is due to the high dynamics of this process.

According to research by the authors [7, 8, 9, 10] the main causes of losses during the threshing process are: - the blurring of strands under the influence of the first or the subsequent threshing sections; defects in the structure of the layer: the bowing of strands, different length of strands, the uneven layer thickness; availability of technological transitions from breaking apparatus to threshing apparatus.

Alongside this, threshing is the final operation of the primary processing, that's why all accumulated from the previous stages lost productions are detected during its

processing. As can be seen from the above list, the imperfection of the clamping conveyor design and the nature of the pressure distribution along the length of the lever are not outlined as the reason of the loss of long fiber in breaking-threshing apparatus. They determine the reliability of obtaining fibers in the transporting lever undoubtedly during their threshing. These issues represent a certain scientific interest and were explored in our work.

## **Materials and methods**

The restoration of the flax industry requires advanced equipment at processing plants. Take into account the low financial capacity of operating enterprises with outdated equipment, our research has been aimed at improving the quality of finished products – flax trusts and reducing its losses.

The research hypothesis is formed on the basis of long-term observations on the functioning of the apparatus with the TL-40 flax threshing apparatus. The flax threshing apparatus TL-40 allows to processing a humidity trust of not more than 19% with a technical length from 0.4 to 1.0 m. The TL-40 operates in the apparatus with a breaking apparatus. The same observations established that the uneven arrangement of the clamping rollers on the upper branch of the conveyor leads to uneven pressure in the lever, which creates the conditions for pulling out strands and loss of fiber.

With that in mind, the upgrading of the design of the clamping conveyor is carried out in the following directions: optimization of parameters of clamping rollers; identification of the optimal distance between the axis of the rollers.

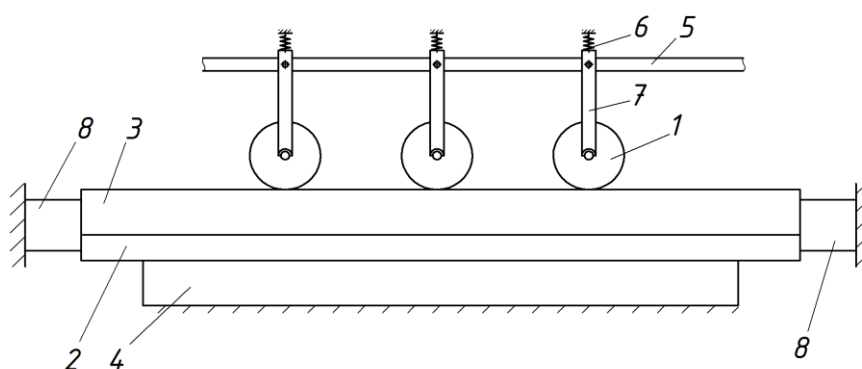
The first direction provides the solution of two problems: 1) to substantiate the rational diameter of the roller, which will allow to create the required pressure in the conveyor channel and at the same time to provide material-saving construction; 2) to substantiate the configuration of the clamping roller, which will ensure a uniform clamping of strands both in length and width of the clamping lever of the conveyor.

A number of experimental studies were performed to solve these problems, which included: 1) identification of the force of locking strands in the conveyor channel; 2) identification of the force of extraction of the raw.

A laboratory installation (fig. 1) which simulates the clamping channel of the TL-40 apparatus conveyor was designed and manufactured to investigate the clamping force.

For the purpose of the research on a fixed table 4 was imposed a segment of the lower belt of the clamping conveyor TL-40 (the length of the belt – 1m), on the top of

which was imposed the segment of the upper belt of the same length. The belt tension was secured by hooks on the end faces of the straps, which were secured to the bar by which the straps were tensioned. For the experiments, a set of rollers of different diameters was manufactured: 130mm; 150mm; 250mm; 200mm. The efforts of clamping the rollers were adjusted by springs that had undergone previous calibration. The pressure between the straps was measured with a sensitive sensor. The signal came from the analog-to-digital converter to the PC. The experiments were performed in triplicate with rollers of each diameter. According to the results obtained, the mean values of the pressure were determined within each of the plots in fig. 2. Thereafter, pressure distribution plots were constructed.

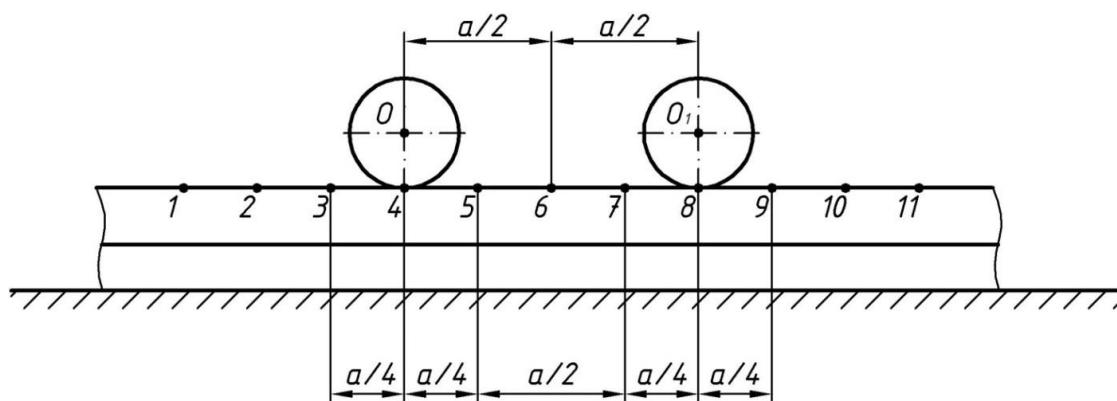


**Fig. 1. A laboratory installation for determining the force of clamping of linen raw:**  
**1 – a roller clamping, 2 – a lower pass, 3 – an upper pass, 4 – a support-table, 5 – a bar,**  
**6 – a spring, 7 – a glass, 8 – tensioning devices**

The distances between the centers of rollers  $O$  and  $O_1$  and the points of the diagram (fig. 2) were respectively indicated: the distances between the points 4 and 8 were equal to  $a$ , where  $a$  – is the distance between the centers of the rollers; the distances between the points 4 and 3, 4 and 5, 6 and 7, 7 and 8, 8 and 9, the were equal to  $0.25 a$ ; the distances between the points 4 and 1, 8 and 11 were equal to  $a$ ; the distances between the points 1 and 2, 4 and 6, 6 and 8, 8 and 10, were equal to  $0.5a$ .

Here: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – numbering of points at which measurements were made (fig. 2). The laboratory installation from fig. 3 and fig. 4 was used to carry out experiments of determining the force of extraction of raw. In order to determine the effort of extraction of raw, a lump of trust which was selected from the batch processing party was processed manually between the bands. The strain gauges were attached to the individual strands, which were able to move due to the movement of the stock 5. The movement of the stock was transmitted from the electric motor 6 through the coupling 7, the worm gearbox 8 and

the screw 9. The data from the strain gauges 4 were transmitted via ADC to a personal computer.



**Fig. 2. A diagram of sensor mounting for measuring pressure:  
1, 2, 3,..., 11 – sensor mounting points**

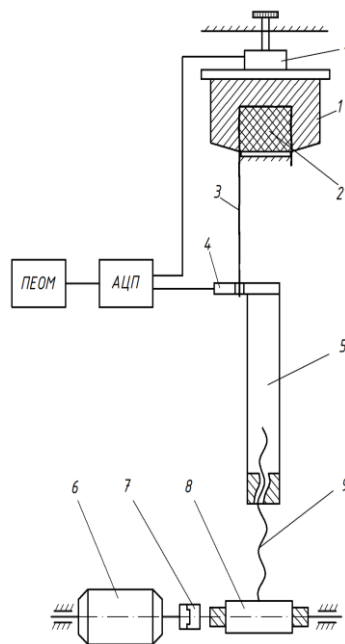
The research was conducted with a trust, which was obtained from flax of different varieties, namely – Charivny and Mogilevsky during the laying on the ceiling. The trust was formed into rolls by using of a roll press - baler PRP-1500.

The obtained rolls were unwound and passed on the breaking equipment. After that, portions of the washed trust were used for the studies described above, which involved the use of the installation shown in fig. 4. According to the results of the evaluation of the clamping force and the linear pressure, it is established that the maximum value of the pressure intensity becomes in the area against the axis of the rollers and decreases in the areas between them. The intensity of pressure on the sections between the rollers depends essentially on the distance between them. The intensity of the load increases with the compression force of the spring.

From the diagrams shown in fig. 5 we see that pressure profile do not overlap at a distance between the axis of the rollers  $a = 360$  mm and their diameter  $d_p = 130$  mm (that corresponds to the basic design). Such a distribution of pressure profiles proves the above-stated assumption of the presence of areas in the clamping duct where the pressure is practically absent. Under these conditions, the strands of raw are not clamped in the conveyor channel at the moment when the designated sections pass, and are pulled out of it under the influence of the drum beats.

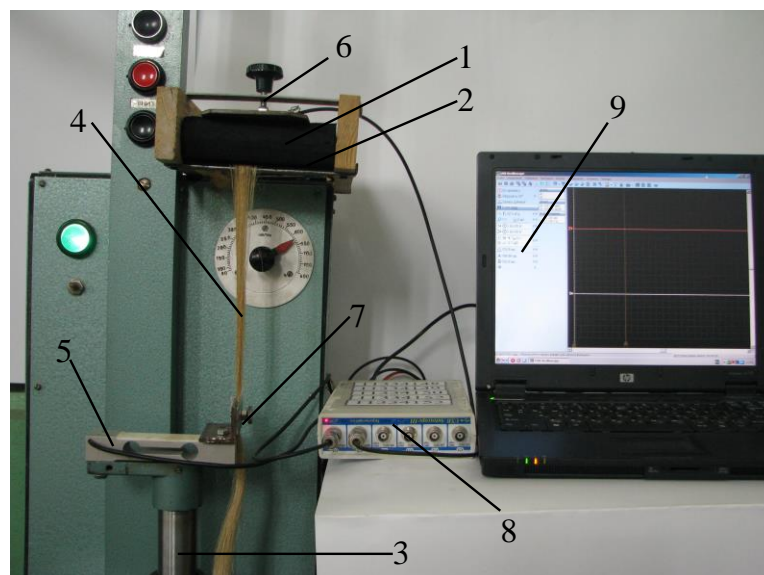
With that in mind, it can be concluded that increasing of the distance between the rollers is not appropriate because of increasing of strands being pulled out during combing (the profiles do not have a section of intersection that indicates the absence the clamping between the rollers). Reducing the distance between the axis of the

rollers by 16% (fig. 5, a profile 3) made possible to increase the reliability of the clamping of the strands.



**Fig. 3. A diagram of the installation for determining the force of extraction of raw:**  
**1 – an upper pass; 2 – a lower pass; 3 – a strand; 4 – strain gauges; 5 – a stock; 6 – an electric motor; 7 – a coupling; 8 – a worm gearbox; 9 – a screw.**

The pressure profiles (fig. 5) are overlapped if the distance between the axis of the rollers is reduced. The overlapping of pressure profiles proves the absence of areas where pressure is absent, that creates conditions for permanent secure clamping of strands.



**Fig.4. A photo of the installation for determining the force of extraction of strands:**  
**1 – an upper pass; 2 – a lower pass; 3 – a movable rack; 4 – a strand; 5, 6 – strain gauges;**  
**7 – a clamping plate; 8 – an analog-to-digital converter Autoscope III; 9 – PC**



The research was performed not only for different distances between the axis of the rollers, but also if the diameter of the pressure rollers was changed.

The analysis of the results of the experiments revealed that reducing the diameter of the pressure roller by 30mm (from 130mm to 100mm) leads to a decrease of pressure in the lever if the distance between the axis of rollers is constant. The pressure extends to sections whose length is:  $\frac{a}{2}$  ( $a$  – is the distance between the axis of the adjacent rollers) at the pressures of the roller springs 30H and 60H. Provided that the springs are compressed with a force of 120H, the pressure created by the roller in the conveyor channel will extend over a stretch of length greater than in the previous case, namely  $\frac{3}{4} a$ . If the pressure of the roller springs is increased to 150H, the pressure created by the roller in the conveyor channel will spread over the entire length of the section of the lever that is located between the rollers, that is, the distance  $a$ .

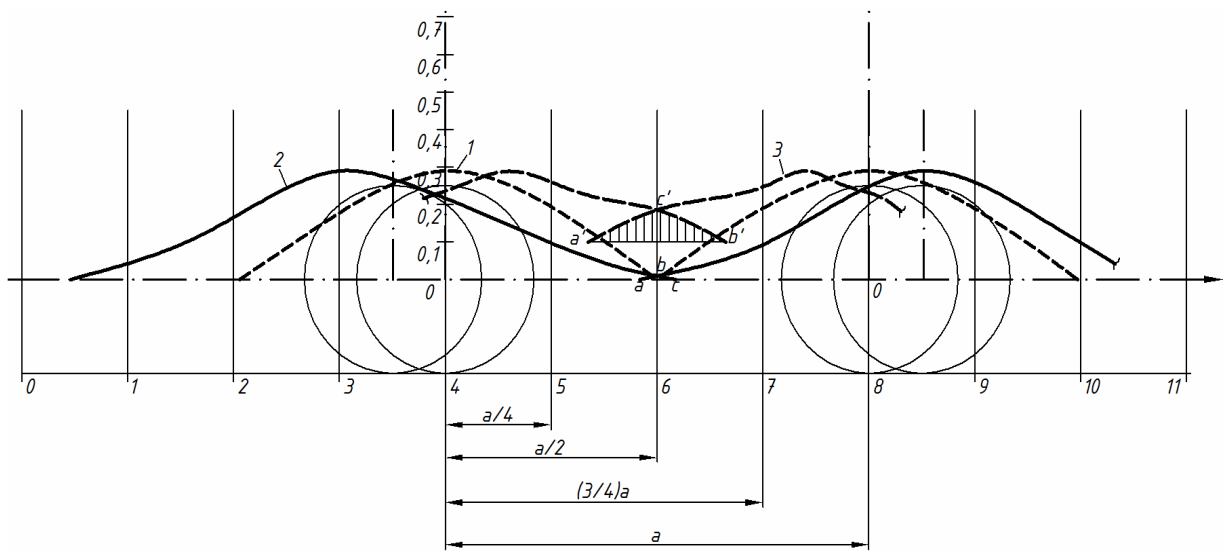
The 180H and 210H pressures will also provide a uniform pressure distribution across the length of the lever section between the two rollers.

It follows from the above that the pressure distribution along the lever of the clamping conveyor is influenced by: the diameter of the clamping rollers, the distance between the axis of the clamping rollers and the compression force of the springs of the clamping rollers.

Installing rollers with  $d_p = 100$  mm instead of rollers with  $d_p = 130$  mm at a distance of  $a = 360$  mm does not affect the quality of the clamp only with considerable effort applied to the springs (no less 210 H). However, increasing the compression force up to 210 H leads to damage of the strands of the raw, especially if there is a thin, uneven layer.

As shown by experimental studies, reducing the diameters of the rollers to 100mm is advisable, if the distance between their axis is reduced to 200mm.

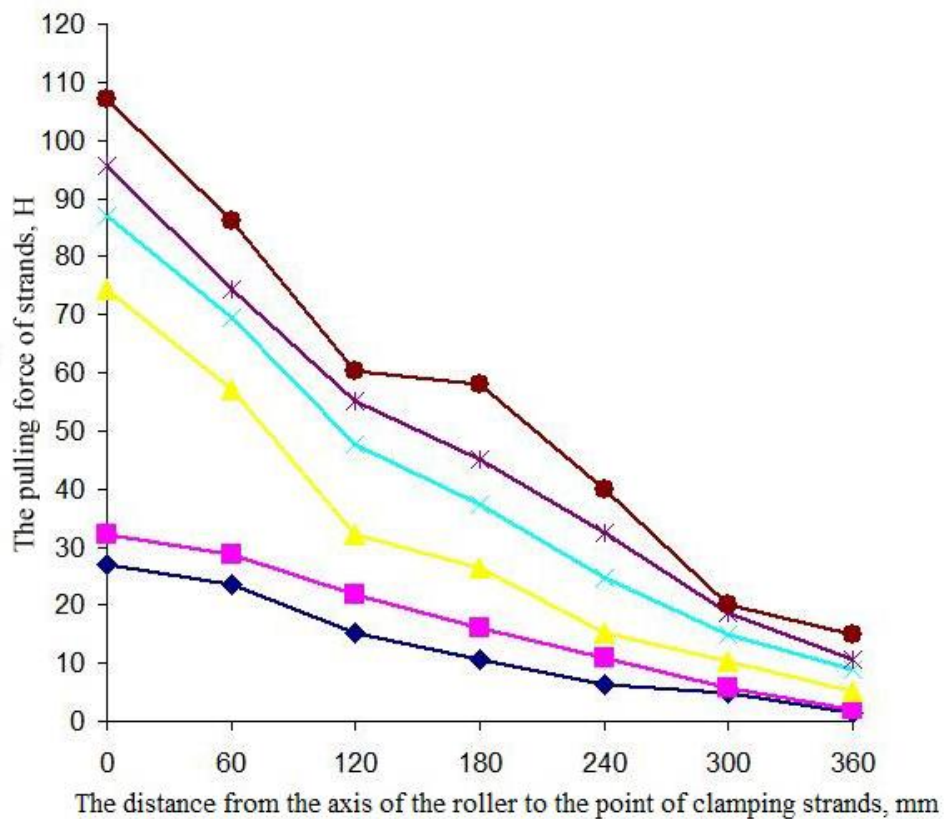
An analysis of the obtained results of the measurement of strands pulling forces from the conveyor channel revealed that the greatest efforts should be made for pulling of strands in the areas near the center of the clamping rollers. Much less effort is required to remove strands from the axis. As we can see from fig. 6 the strands pulling force decreases with distant clamping points from the roller axis. While the force of clamping the spring of the roller increases, the force of clamping the upper belt to the lower increases.



**Fig. 5. A profile of linear average pressure at compression force of 60H:**

**1 –  $a = 360$  mm;  $d_p = 130$  mm; 2 –  $a = 400$  mm;  $d_p = 130$  mm; 3 –  $a = 300$  mm;  $d_p = 130$  mm**

The change of the pulling force is insignificant if there are slight compressive forces of the roller springs 30-60H and the distance from the roller axis is 200mm.



**Fig. 6. The distribution of the pulling force along the length of the clamping section between the two rollers by the force of compression of the spring:**

◆ 30 H; ■ 60 H; ▲ 120 H; ◆ 150 H; ✱ 180 H; ● 210 H.

In view of the data obtained in the experimental studies outlined above, changes were made to the design of the clamping conveyor. After that, the quality indices of the threshing process were evaluated. The results are shown in Table 1.

**Table 1. Threshing process parameters**

| Experiment number | The content of defects, % | The impurity content, % | The output of long fibers, % | Note                                       |
|-------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|--|
| 1                 | 2,9                       | 4,3                     | 16,4                         | Roller diameter 130 mm,<br>distance 300 mm |
| 2                 | 2,7                       | 4,3                     | 16,9                         |  |
| 3                 | 2,7                       | 4,2                     | 16,9                         |  |
| 4                 | 2,4                       | 4,4                     | 16,4                         |  |
| 5                 | 2,5                       | 4,2                     | 16,6                         |  |
| Average value     | 2,58                      | 4,28                    | 16,64                        |  |
| 1                 | 2,5                       | 4,3                     | 16,7                         | Roller diameter 100 mm,<br>distance 200 mm |
| 2                 | 2,6                       | 4,4                     | 16,9                         |  |
| 3                 | 2,5                       | 4,2                     | 16,9                         |  |
| 4                 | 2,6                       | 4,4                     | 16,8                         |  |
| 5                 | 2,5                       | 4,2                     | 16,8                         |  |
| Average value     | 2,48                      | 4,26                    | 16,82                        |  |

From the data of Table 1 we can see that the improvement of the design of the clamping conveyor allowed to reduce the content of defects and to increase the output of long fibers (fig. 7).

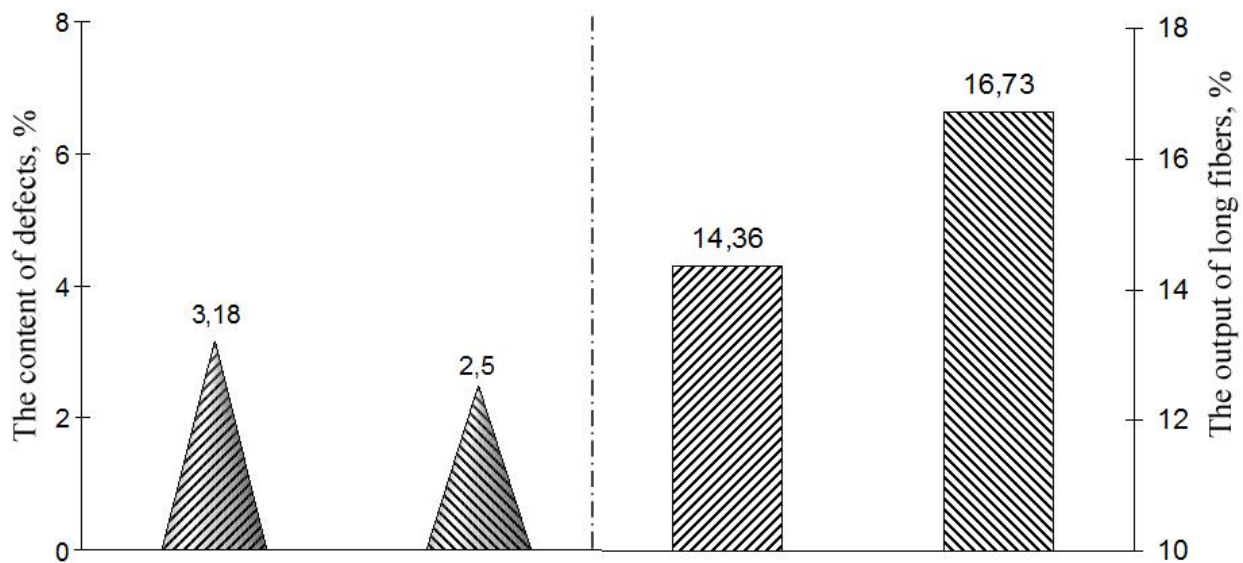
## Summary

The regularities of pressure changes along the length of the lever of the clamping conveyor were experimentally established. It was established that reducing the diameter of the rollers to 100mm is advisable if the distance between the axis is reduced to 200mm.

With the aim of increasing the reliability of clamping of raw in the conveyor channel, it is necessary to provide: 1) overlapping of pressure plots in the lever; 2) uniform pressure distribution not only along the length but also across the width of the belt; 3) creating conditions for rapid change in the compression force of the roller springs.

The fulfillment of the first condition eliminates the presence of sections along the lever of the clamping conveyor, which are characterized by the lack of clamping force. The second condition is fulfilled if there is the unevenness of the portions of raw along its length and deformation of the belt. The effect of deformation is particularly evident with the increase in the force of clamping the springs and the distance from the roller to the checkpoint.

Experiments proved that the pulling force of the strands are achieved the highest values in the areas located near the axis of the rollers. The pulling force of the strands decreases with distance clamping points from the roller axis.



**Fig. 7. Assessing the threshing process:**

◻, △ – basic technology; ◻, △ – advanced technology

The fulfillment of the third condition provides the reliability of the clamping of the raw layer with an uneven thickness. In order to create the conditions for the fulfillment of the above requirements, we have proposed a new constructive solution to change pressure in a short period automatically.

Experiments proved that the application of the above design changes allows to: ensure uniform pressure distribution in the lever of the clamping conveyor not only in length but also in width; reduce the content of defects by 2.5%; increase the output of long fibers from 14.36% to 16.73%.

## References

1. Anthony W.S. (2005). Development of machines to separate fiber and shive from seed flax straw. In *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 21(6). pp.1057-1063. ISSN: 1943-7838.
2. Danny E., Akin B., Foulk A. (2005), Pilot plant for processing flax fiber. In *Industrial Crops and Products*, vol. 21. pp. 369-378. ISSN: 0926-6690.
3. Foulk J., Akin B., Foulk A. (2008), Processability of flax plant stalks in to functional bast fibers. In *Composite Interfaces*, vol. 15, no. 2-3. pp. 147-168. ISSN: 0927-6440.
4. Dyachkov V.A. (2009), *Theoretical foundations of bast fibers production technology*. Kostroma, Publishing house of Kostroma State Technical University, 271p.
5. Ipatov A.M. (1989), *Theoretical basics of mechanical treatment of bark stalks*. Moscow. Legprombizdat p.
6. Karpenko A. (2019), In the long run: how much can be earned on growing flax and what difficulties should be prepared?, *Technical cultures. Publications*. [Electronic resource]. Access mode: <https://agravery.com/uk/posts/section/show/publications>.
7. Markov V.V. (1977), Primary treatment of bast fibers. *News of high schools. Textile Technology*, Vol. 3, P.27-31.
8. Markov V.V. (1981), *Primary treatment of flax and other bast crops: A textbook*, Moscow, Light and food industry, 376 p.
9. Pashin E.L. (1995), On the causes of waste generation during flax flutter, Glukhov, Dep. in the State Technical Library of Ukraine 10.07.95 31769.- P.32
10. Pashin E.L. (2001), Dependence of technological quality of flax on its properties and production conditions, *Newspaper RASHN*, Vol. 3. – pp. 78-81.

# **ANALYZING REGULARITIES CONCERNING THE INTERACTION BETWEEN A HUMAN AND MANUFACTURING AND TRAINING EQUIPMENT WITH THE USE OF A COMPUTER TRAINER SIMULATOR**

Zachepa N.<sup>1</sup>, Zachepa Yu.<sup>1</sup>, Chorny O.<sup>1</sup>, Kuznetsova Y.<sup>2</sup>, Tryputen Myk.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

<sup>2</sup> National Metallurgical Academy of Ukraine, Ukraine

<sup>3</sup> National TU Dnipro Polytechnic, Ukraine

## **Introduction**

Use of modern theories as well as training technologies, basing currently upon IT and being embodied among other things in specific electronic learning and checking programs, is one of the efficient tendencies to improve the efficiency of educatory processes and processes for staff training and retraining. The above involves various trainings, checking programs, laboratory courses, training equipment, games, visual-oriented environments, training modeling, business games, tutorials, case studies, psychological testing etc. [1]. Development of such e-resources depends upon the necessity to train specialists up to their full and efficient participation in everyday, social, and professional life under the conditions of information society.

## **Research methods and results**

To evaluate information acquisition and analyze human-manufacturing environment interaction in the context of production environment, operation schedules, industrial equipment, and training equipment, experiments have been carried out with students of two groups upgrading their skills in specialism area 141 – Power Engineering, Electric Engineering, and Electromechanics. A model by Donald Kirkpatrick has been applied to evaluate efficiency of specialists training as well as efficiency of safe performance of technological operations by them using a computer simulator (CS). The model by Donald Kirkpatrick involves the four quality-control levels [2]: one – responses of the participants to the training; two – monitoring of the gained knowledge; three – implementation of the gained knowledge and skills; and four – evaluations of the training results.

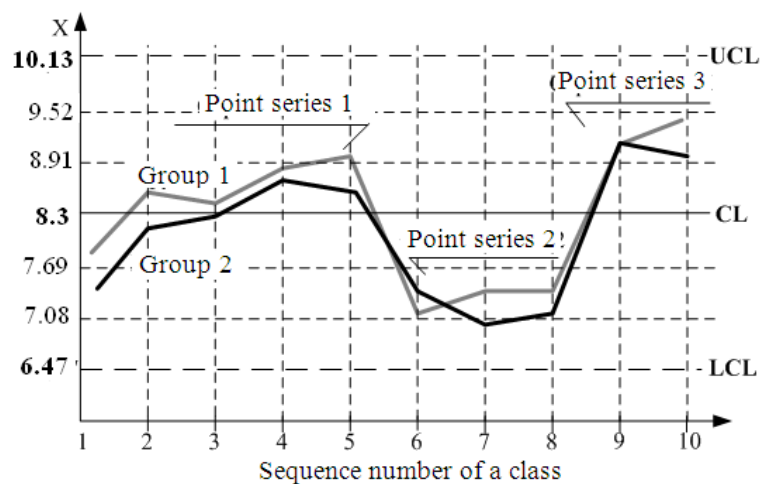
Level one is to evaluate education/training satisfaction. The obtained information is important since negative response to the education process will impact both motivation and implementation of the gained knowledge and skills. Generally, questionnaire is applied. Questionnaire evaluated a course rating (i.e. its topicality

and content, applicability of the gained knowledge and skills etc.) as well as the instructor rating (i.e. his/her competence, availability of the material presentation, communicability etc). Such a traditional questionnaire in the context of professional training/retraining is used to evaluate quality of the given classes post factum with no further effect on the educational process.

Statistical management of the educational process quality with the use of control Shewart charts was applied for the repeated short-term courses. Fig. 1 represents control chart of “Autonomous supply sources in electric drive” course rating for junior executives and mid-level executives of power management as well as labour protection authorities of industrial enterprises [3].

Average course rating (i.e.  $XCL = 8.3$  if ten-point scale is applied) has been taken as a central CL line which was obtained as a result of previous training. As a consequence of statistical processing of the information, upper control limit (i.e.  $XUCL = +3s$ ), and lower control limit (i.e.  $XLCL = -3s$ ) have been determined where  $s=0.61$  of the point is average value of quadratic deviations of a course rating of training subgroups.

The educational process is in the statistically controlled state if rating deviations from the specified state depends upon random causes only. Rating overrun results from the specific causes, which should be determined, excluded, or weakened. Three point series are identified within the course-rating graph.



**Fig. 1. Control chart of “Autonomous supply sources in electric drive” course rating**

Series one of points 1, located in the neighbourhood of the central line, means that the educational process is the statistically controlled state; its quality is forecasted; and the training process meet the demands being made. However, starting

from point five a tendency to the process controllability loss is observed. During the stage, training providers should visit one of the classes as supervisors, analyze the training schedule whether it is topical, and clarify if there is a conflict between the class time and job duties of the students, and their possibilities. Unfortunately, such actions were not performed; as a result, critical situation has been happened when the educational process left the state of statistical controllability – three points of series 2 (classes 6-8) are in the dangerous vicinity of the lower control limit. Analysis of the given classes has helped determine following nonrandom causes: a teacher devoted too much time to theory when the students intended to hone their practical skills; starting from lesson eight, classes become work-based. Due to the fact that students felt tired, a process of the material understanding became complicated. After the course program was corrected (i.e. CS introduction and improvement of class procedure), the problems have been solved successfully which favoured qualitative improvement of the educational process - point series three (classes 9 and 10) are located above the central line. Moreover, the series have positive dynamics up to the upper control limit.

Level two is a procedure when the knowledge, gained during the educational process, is measured. According to the training results, knowledge of the students was monitored with the help of express diagnostics in the form of testing. Closed form answers and open form answers were applied. Closed form answer tasks (i.e. when answer is within the tasks and is recognized by a student) were used to monitor knowledge before the educational process started and when it finished [4].

Figures 2 and 3 represent testing results of students (their names are changed and results can be found in r.u.) in the context of “Autonomous supply sources in electric drive” course. Each class involved 20-question test with 5-6 answers. 10 tests of such type were carried out.

Results of such testing demonstrate changes in knowledge of students as well as their competences during the whole training period. In this case, two-month upgrading training (or 52 academic days) is meant.

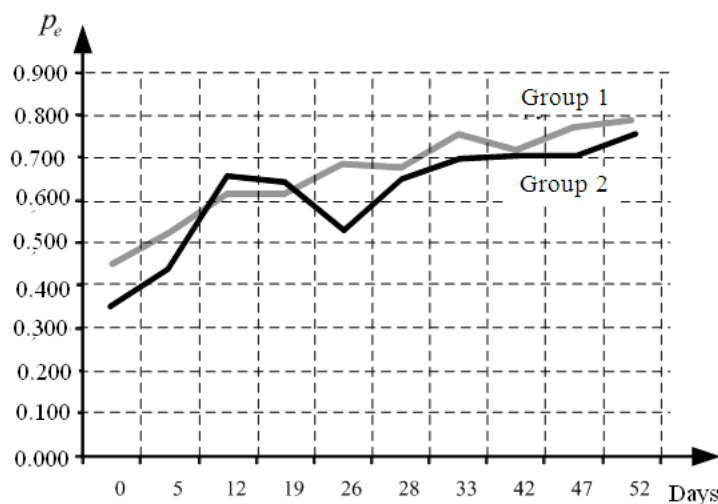
The testing made it possible to evaluate awareness level reliably and effectively. If it is required, the educational programs can be corrected taking into consideration capabilities of the students as well as their interest in the information perceiving (classes 6–8 according to Fig. 1) and gaps in their knowledge.

Objective of *level three* is to evaluate a degree of the gained knowledge and

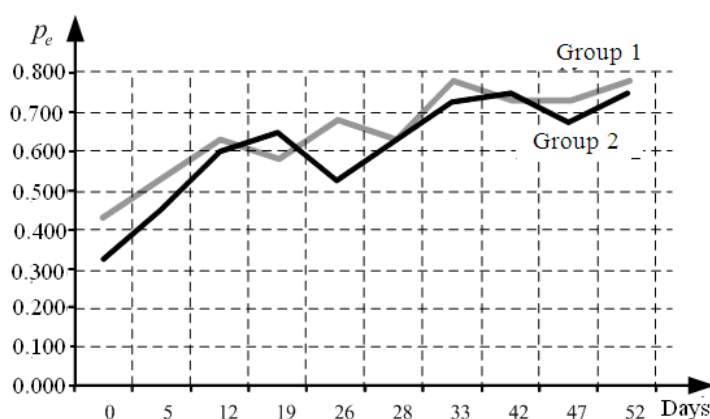


skills implementation. Qualitative putting into practice of the training results can be evaluated while assessing the results of undertaken practical and laboratory activities, these by specialists where topics are connected directly with solving problems of specific enterprise subdivision being a job of the student. Thesis defense or passing an exam to a commission, formed from the authorities of the specialist, makes it possible to evaluate a degree of the material mastering as well as skill training.

An experiment has been carried out for the listed group of students which objective was to compare efficiency of skill training as for the manufacturing procedure performing with the help of laboratory practicum using physical laboratory benches, CSs, being identical to real physical benches.



**Fig. 2. Average success value of students from groups 1 and 2 according to the testing results**



**Fig. 3. Median success value of students from groups 1 and 2 according to the testing results**

The students carried out the four laboratory-based works: analysis of run modes of DDG and processes of AG self-excitation; DDG operation for alternative

current consumers; DDG operation for direct current consumers; and analysis of energy process transformation within a DDG with a fuzzy controller.

Students from group one carried out the laboratory-based works using a physical bench; students from group two applied CS. During the laboratory-based work defense, the students were proposed 10-task test, which included answers concerning theory of processes within the systems under study, and electric circuits as well as carrying-out of a laboratory-based works. Tables 1 and 2 represent results of the answers, namely the number of correct answers.

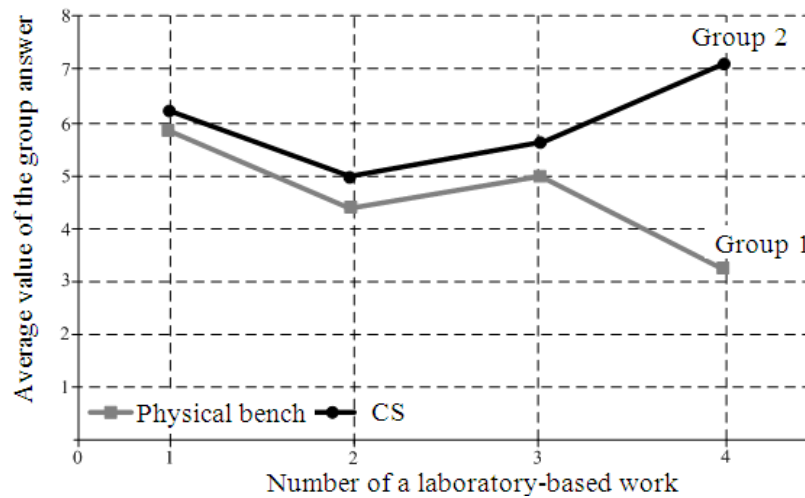
**Table 1. Answer results of students from group 1 according to the outcomes of laboratory practicum with the use of a physical bench**

| Name           | Laboratory-based work |            |            |            |
|----------------|-----------------------|------------|------------|------------|
|                | <b>1</b>              | <b>2</b>   | <b>3</b>   | <b>4</b>   |
| C 1            | 4                     | 3          | 3          | 2          |
| C 2            | 4                     | 2          | 6          | 6          |
| C 3            | 8                     | 6          | 7          | 4          |
| C 4            | 4                     | 4          | 2          | 3          |
| C 5            | 6                     | 7          | 4          | 5          |
| C 6            | 6                     | 6          | 6          | 4          |
| C 7            | 5                     | 7          | 6          | 2          |
| <b>Average</b> | <b>5.9</b>            | <b>4.5</b> | <b>5.0</b> | <b>3.3</b> |

**Table 2. Answer results of students from group 2 according to the outcomes of laboratory practicum with the use of a CS**

| Name           | Laboratory-based work |            |            |            |
|----------------|-----------------------|------------|------------|------------|
|                | <b>1</b>              | <b>2</b>   | <b>3</b>   | <b>4</b>   |
| C 8            | 8                     | 4          | 5          | 6          |
| C 9            | 6                     | 5          | 6          | 7          |
| C 10           | 7                     | 6          | 5          | 8          |
| C 11           | 1                     | 4          | 7          | 9          |
| C 12           | 9                     | 6          | 5          | 5          |
| C 13           | 9                     | 3          | 6          | 8          |
| C 14           | 4                     | 4          | 6          | 7          |
| <b>Average</b> | <b>6.3</b>            | <b>5.0</b> | <b>5.7</b> | <b>7.1</b> |

Fig. 4 explains a chronology of final results, demonstrated by students in the process of defense of laboratory-based works. Analysis of the curves shows exact tendency towards testing results degradation in group one, and their improvement in group two.



**Fig. 4. Answer distribution in the process of testing of groups of students**

Average value of answer difference among the groups in the context of the three works is minor exclusive of a work four where rapid increase takes place (Table 3, Fig. 5). Consequently, quality of the obtained results was evaluated statistically.

**Table 3. Average value of the answers in terms of the student groups**

|                   | Laboratory-based work |            |            |            |
|-------------------|-----------------------|------------|------------|------------|
|                   | 1                     | 2          | 3          | 4          |
| Group 1           | 5.9                   | 4.5        | 5.0        | 3.3        |
| Group 2           | 6.3                   | 5.0        | 5.7        | 7.1        |
| <b>Difference</b> | <b>0.4</b>            | <b>0.5</b> | <b>0.7</b> | <b>3.8</b> |

Average value is calculated as  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  where  $x$  is answer value according to

Tables 1 and 2. Unbiased estimated variance is [3]:

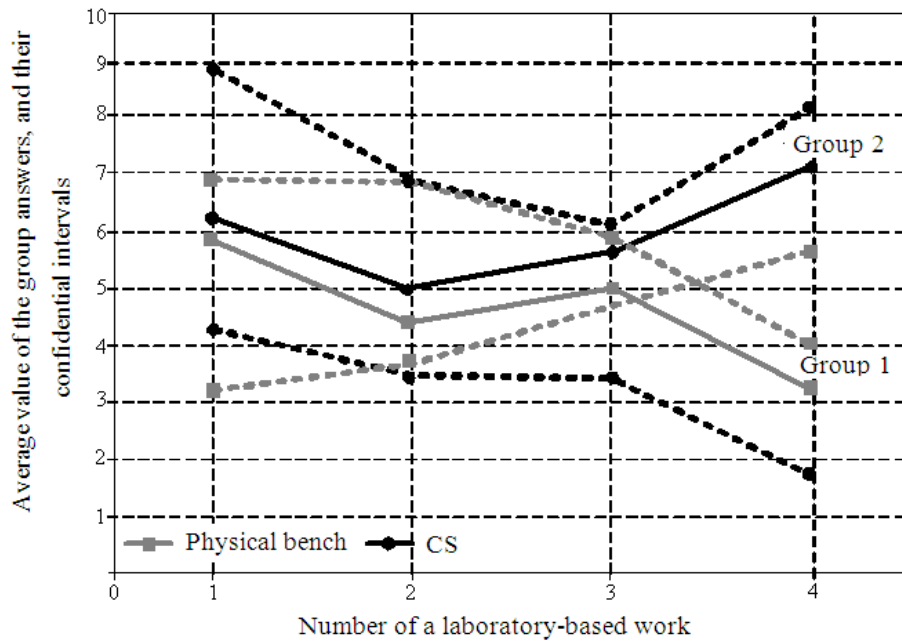
$$\hat{\sigma}^2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Limits of confidential interval are

$$\bar{x} - \frac{t_{1-\alpha/2} \tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} < \bar{x} < \bar{x} + \frac{t_{1-\alpha/2} \tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

where  $1 - \alpha/2$  is Student's t-distribution quantile. Assuming probability factor as  $\alpha = 0,05$ , determine  $t_{1-\alpha/2} = 2,262$  for group one with nine degrees of freedom; and  $t_{1-\alpha/2} = 2,447$  for group two with six degrees of freedom.

Taking into consideration confidential intervals, distribute answers of the students (Fig. 5).



**Fig. 5. Distribution of answers and their confidential intervals in the process of the student group testing**

As the Figure demonstrates, CS use increases a share of educational information mastering which is observed as a cumulative effect after laboratory-based work three, i.e. rapid increase in the number of correct answers in the context of the group where laboratory practicum was carried out with the help of a CS. Hence, it is possible to state that the stage is mastering of theorizes and the students start performing consciously tasks of the laboratory practicum rather than follow the program of laboratory operations manual.

It is also possible to monitor the gained knowledge in the form of coaching when either instructor or a person-in-charge (for instance, power engineer of the production unit or labour safety department manager) examines the employee right

at his/her workplace, and provides recommendations concerning filling the knowledge gaps.

*Level four* determines changes in economic performance of the subdivision or the enterprise resulting from the training. It is rather difficult thing to calculate economic performance of training since a number of factors, which isolation is almost impossible, effect the indices. Thus, economic performance is evaluated at the last level rarely. However, a paper for the integrated quality evaluation of training and information mastering proposes a criterion of gaining skills to perform technological operations:

$$K_{mn} = 1 - \overline{x_n}, \quad (3)$$

where  $K_{mn}$  is a coefficient of mastering skills to perform technological operations;  $\overline{x_n} = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K x_n^*$  is average value of erroneous actions or surplus actions by staff while developing a certain algorithm of a technological cycle;  $K$  is minimum permissible number of operations to perform certain algorithm of a technological cycle;  $x_n, x_n^* = x_n / K$  is actual number of operations and the normalized number of operations performed by an employee during his/her mastering of a certain algorithm of a technological cycle.

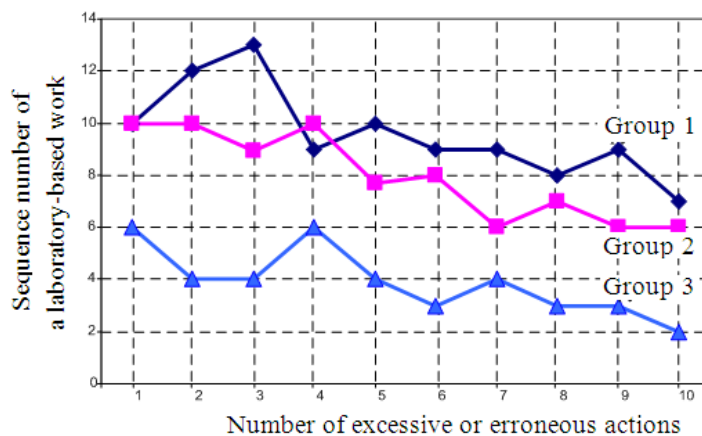
Hence, to evaluate efficiency of a CS use as an addition to the accepted system intended to train labour protection and master skills of safe performance of technological operations, an experiment has been carried out. Laboratory-based practicum (consisting of 10 lessons) for three groups of fourth-year full-time students in the subject “Systems of Electric Drive Control” was organized as follows: group one did practicum using physical bench; group two used CS; group three was trained with the help of CS and the results were recorded during the physical-bench practicum. Appendix B shows list of laboratory-based works, appearance of a physical bench, front panel of CS, and results of practicum accomplishment. Table 4 represents the data concerning average number of excessive operations done by students during a laboratory-based practicum.

According to the results of Table 4, graphs (Fig. 6) of dynamics of reductions in the number of excessive operations done by students during a laboratory-based practicum have been built.

**Table 4. Average number of excessive operations done by students during a laboratory-based practicum**

| Group | Laboratory-based work |    |    |    |    |   |   |   |   |    |
|-------|-----------------------|----|----|----|----|---|---|---|---|----|
|       | 1                     | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1     | 10                    | 12 | 13 | 9  | 10 | 9 | 9 | 8 | 9 | 7  |
| 2     | 10                    | 10 | 9  | 10 | 8  | 8 | 6 | 7 | 6 | 6  |
| 3     | 6                     | 4  | 4  | 6  | 4  | 3 | 4 | 3 | 3 | 2  |

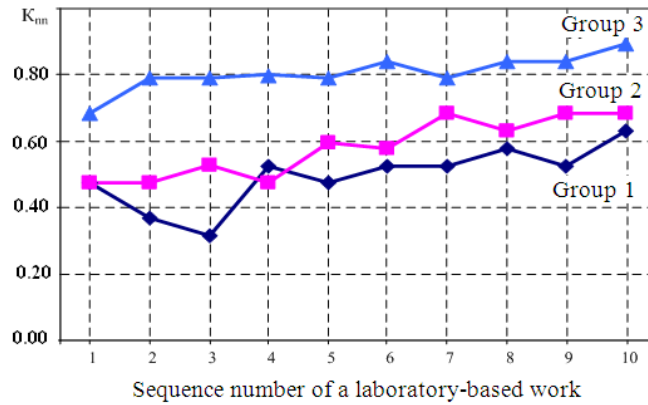
Table 5 demonstrates calculation data concerning determination of  $K_{nn}$  coefficient of mastering skills of the performance of technological operations. According to the results of Table 5, graphs (Fig. 7) of changes in  $K_{nn}$  coefficient have been built characterizing degree of the efficiency of CS use as the integrated assessment of the criterion of mastering skills of the performance of technological operations.



**Fig. 6. Average number of excessive operations performed by students in terms of the groups**

**Table 5. Value of  $K_{nn}$  coefficient**

| Group | Laboratory-based work |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 1                     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| № 1   | 0.47                  | 0.37 | 0.32 | 0.53 | 0.47 | 0.53 | 0.53 | 0.58 | 0.53 | 0.63 |
| № 2   | 0.47                  | 0.47 | 0.53 | 0.47 | 0.60 | 0.58 | 0.68 | 0.63 | 0.68 | 0.68 |
| № 3   | 0.68                  | 0.79 | 0.78 | 0.79 | 0.82 | 0.8  | 0.84 | 0.84 | 0.86 | 0.89 |



**Fig. 7. Average value of  $K_{nn}$  coefficient in terms of the groups**

Thus, according to the results of the experiment, it has been determined that average value of  $K_{nn\_cp}$  coefficient of mastering skills of the performance of technological operations is as follows:

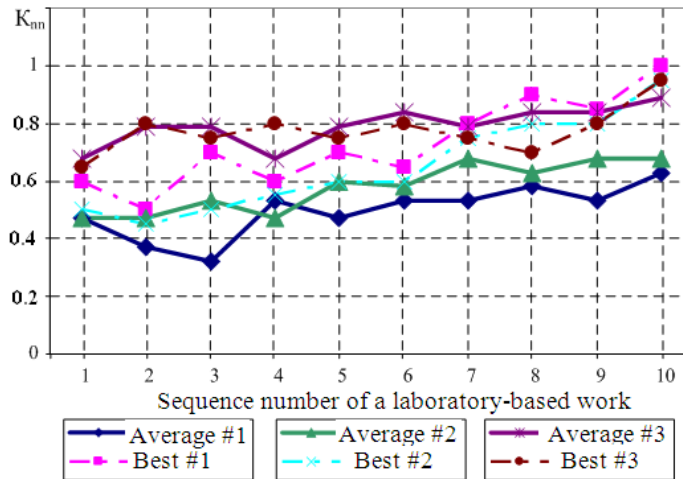
- group one – 0.49;
- group two – 0.58;
- group three – 0.809.

The obtained results of the value of  $K_{nn}$  coefficient as the integrated assessment of the criteria (3) of mastering skills to perform technological operations correlate completely with the model by Donald Kirkpatrick: levels 1, 2 – Fig.2., level 3 – Fig. 4., and level 4 – Fig. 7.

To validate adequacy and automation of the calculation of the criterion of mastering skills to perform technological operations safely, it is required to obtain a generalized model basing on the respondents' data. In terms of such statement, the problem will reduce to the use of approximation methods [5-6]. A least-square method is one of the efficient methods to set up average squared approximation [7].

Fig.8. represents dynamics of changes in  $K_{nn}$  coefficient depending upon the chronological accomplishment of the laboratory-based practicum in terms of average value of the coefficient in the corresponding group (average # 1 – 3, Table 5) and the data on the best student of that group (best # 1 – 3, Table X.2–X.4).

According to Fig.8. and the data concerning each respondent of the experiment (Appendix X) including the best student of the group, average value of  $K_{nn}$  coefficient (data of Table 5) reflects dynamics of its changes rather accurately depending on the chronology of accomplishing the laboratory-based practicum.



**Fig. 8. – Dynamics of changes in  $K_{mn}$  coefficient in terms of its average value in a group and data on the best student of that group**

Consequently, to perform further synthesis of a regression model, only results of Table 5 were used. According to the results of studying a set of models  $K_{mn} = f(\bar{x}_n)$  depending on the average value of  $K_{mn}$  coefficient for each laboratory-based work and their number for group three, following model is taken:

$$K_{mn} = a(\bar{x}_n)^b \quad (4)$$

where  $a = 0.68189432$ ;  $b = 0.10084136$  are values of the regressive equation coefficients.

Thus, assessment of the training efficiency is a reliable tool to control the results of training and retraining of specialists; it helps implement the strategy of providing and supporting high quality of the training process improving both workers' qualification and their readiness to observe labour conditions and safety requirements at workplaces while being involved in working and manufacturing processes. Moreover, efficiency of practical training with the help of CS similar to real physical benches has been determined and proved statistically [3].

## Summary

Efficiency of the implementation of computer simulators to learn theoretical and practical information during practical training of specialists has been proved. That helps implement the strategy of providing and supporting high-quality training process to improve both worker's qualification and working conditions at the



workplace as well as safety of technological processes, machinery, mechanisms, facilities, and other types of production. It has been defined that use of computer simulators improves the quality of learning the required information by not less than 13%.

Quantitative evaluation of the training quality in the form of the coefficient of mastering skills of safe performance of technological operations and the obtained dependence of the efficiency of the use of computer simulators have been proposed. It has been determined that the implementation of computer simulators in the current training system dealing with labour protection issues helps improve qualitative characteristics of training the skills of safe performance of technological operations by at least 30%.

### References

1. Efremova O. S. Obuchenie i instruktirovanie rabotnikov po ohrane truda. – M.: Alfa-Press, 2004. – 128 s
2. Chernov E. D. Proektirovanie vyisokonadezhnyih sistem bezopasnosti proizvodstvennyih protsessov. – Novosibirsk, 1995. – 382 s
3. Zachepa N.V. Otsinka efektyvnosti protsesu navchannia ta pidvyshchennia rivnia bezpeky pry vykonanni tekhnolohichnykh operatsii / N.V. Zachepa, O.P. Chornyi, Yu.V. Zachepa, S.V. Sukach, S.A. Serhiienko // Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku: zbirnyk naukovykh prats. – Poltava: Poltavskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet imeni Yurii Kondratiuka, 2017. – Vyp. 5/2017 (45). – S. 128–132.
4. Sivyakova G.A. Distantionnoe testirovanie v vuzah – za i protiv / G.A. Sivyakova, A.P. Chernyy // Vestnik Karagandinskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta. – Temirtau: KGIU, 2017. – Vyip. 1(17). – S. 132-139.
5. Albert A. Regressiya, psevdoinversiya i rekurrentnoe otsenivanie / A. Albert. – M. : Nauka, 1977. – 224 s.
6. Vuchkov I. N. Prikladnoy lineynyy regressionnyy analiz / I. N. Vuchkov, L. N. Boyadzhieva, E. B. Solakov : per. s bolg. Yu. P. Adler. – M : Finansyi i statistika, 1987. – 239 s.
7. Dreyper N. Prikladnoy regressionnyy analiz / N. Dreyper, G. Smit. – M. : Finansyi i statistika, 1986. – 365 s.

# ANALYTICAL STUDY OF A DEVICE FOR LOADING OF PET BOTTLES IN ROTARY CRUSHERS

Misiats V.<sup>1</sup>, Skyba M.<sup>2</sup>, Polishchuk O.<sup>2</sup>, Rubanka M.<sup>1</sup>, Misiats O.<sup>2</sup>, Musial J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kyiv National University of Technology and Design, Ukraine

<sup>2</sup> Khmelnytskyi National University, Ukraine

<sup>3</sup> UTP - WIM – Bydgoszcz, Poland

## Introduction

When grinding the waste of sheet polymeric materials, the rotary crusher has a fairly high productivity and uniformity of work. The main criterion for these indicators is the correct loading of waste into the working chamber, which is carried out manually by the operator.

However, the grinding of used bottles made of polyethylene terephthalate revealed a significant drawback of the process of loading them into the crusher. The containers getting into the working chamber are in contact with the movable blades of the rotor, are chaotically reflected from them and the process of grinding is accompanied by delays. The reason is the proportionality of the space between the knives and the size of the containers.

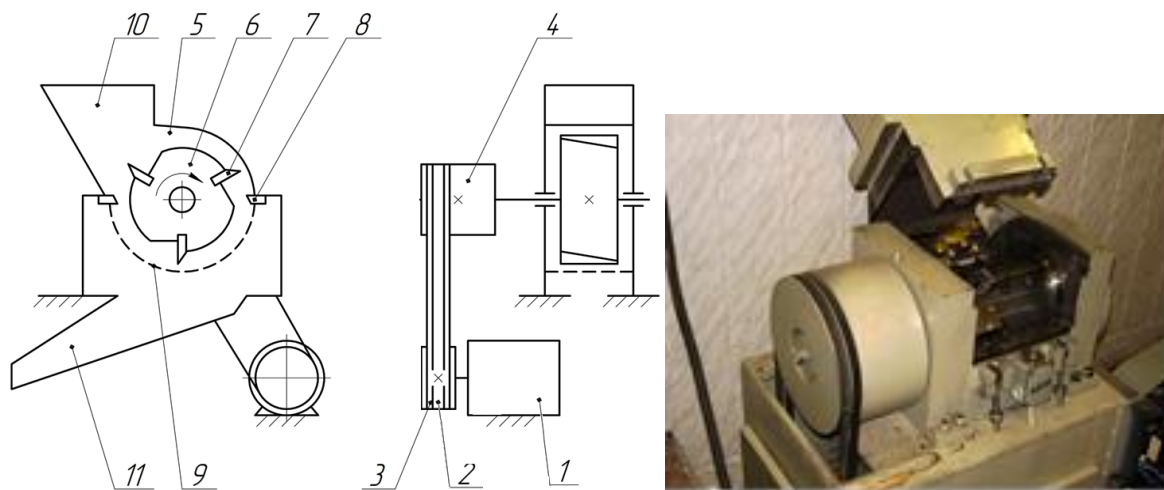
## Research results

Rotary knife crushers [1, 2] concentrate the cutting of waste with knives, which are located both in the rotor and in the stator.

For the studies, a rotary crusher was used, the kinematic scheme and appearance of which are presented in Figs. 4.1 and 4.2 respectively.

The rotary crusher consists (Fig. 1) of the housing 5, the hopper 10, the tray 11, the rotor 6 with the knives 7 fixed thereto, the fixed knives 8, fixed on the housing, the variable calibrated grating 9, the size of the holes of which specifies the required dispersion of the crushed materials. The torque is transmitted from the motor shaft 1 to the rotor by a belt drive consisting of a pulley 3, a flywheel with a pulley 4 and a wedge belt 2.

The process of grinding the material begins with its loading in the window 10, from where it enters the rotor and its blades. The material is crushed by the interaction with the rotor blades and the fixed stator blades. After that, the material is sifted through the grid and falls into the hopper of the finished product. This type of shredder is quite widely used in the chemical, pulp and paper, food, construction and light industries [3].



**Fig. 1. Rotary knife crusher: a - kinematic scheme; appearance; 1 - electric motor; 2 - wedge belts; 3 - pulley; 4 - flywheel with pulley; 5 - grinding chamber; 6 - rotor; 7 - rotor blades; 8 - fixed knives; 9 - calibrated mesh; 10 - loading window; 11 – tray**

We carried out preliminary experiments [4], during which the time of grinding of bottles with a capacity of 2 liters was determined with successive continuous loading. Experiments have shown that when loading bottles that are cut, along the three parts, the crushing performance is 5... 6 times higher than when loading a whole container.

As a result of the experiment, it was concluded that it is advisable to equip the crusher with a roller for deforming and pre-cutting the used bottles, which should be installed at the entrance to the working chamber.

The scheme of the device is presented in Fig. 2. It consists of two rolls, which are profiled in such a way that in the middle part a reliable grip of the neck of the containers is possible due to their sufficiently large thickness and rigidity.

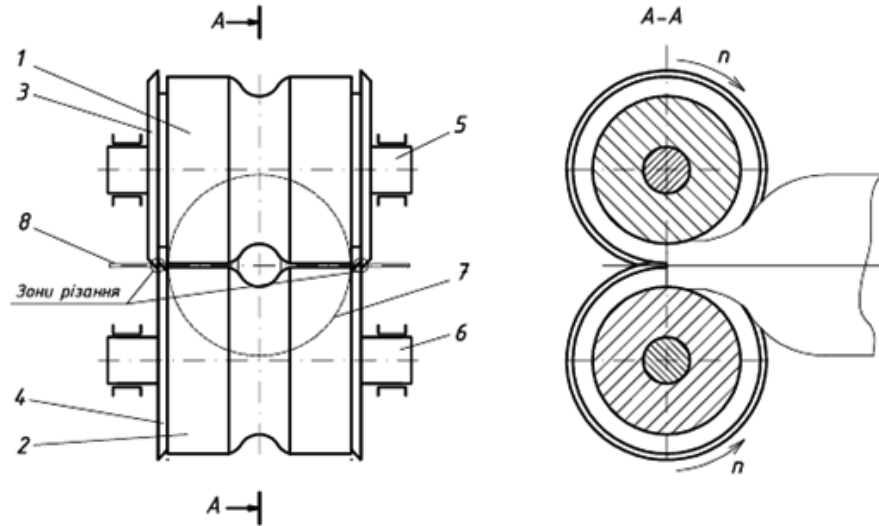
Two pairs of disc blades 3 and 4 are secured to the end surfaces of the rolls, which, after deformation of the thin-walled part of the container, are cut into three sections by rolls. When feeding the cut pieces to the working chamber of the crusher, the intensity of the further grinding process will increase significantly.

The proposed design of the roller device requires analytical study of its performance and experimental verification.

Consider the conditions of material capture (PET bottles) by rollers.

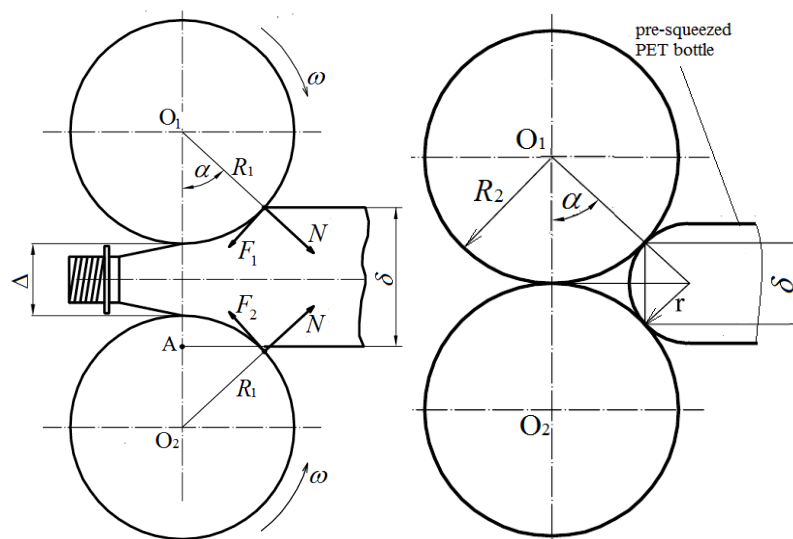
Due to the progressive movement of the material and the inevitable roughness of the contact surfaces of the bottles and shafts under certain conditions, the material is captured by the rolls and drawn into the space between the rolls.

The center angle between the line joining the centers of the shafts and the radius passing through the point of contact of the contacting surface of the material with the shafts is called the angle of capture. The normal and tangential forces applied to the material through its contact surfaces act on the shaft.



**Figure 2. Scheme of the roller device for deformation and preliminary cutting of used thin-walled containers when loaded into a rotary crusher: 1, 2 - profiled rolls; 3, 4 - pairs of disc knives; 5, 6 - shafts; 7 - capacity in the deformed state; 8 - capacity after compression in between the roll gap**

Determine the condition of capture of the material by the rolls at the initial moment of transportation. The material in contact with the rolls is initially affected by the forces of normal pressure  $N$  and friction,  $F_1$ ,  $F_2$  (Fig. 3a).



**Fig. 3. Schemes of interaction of PET bottles with rolls: a - in the central part; b - in the compression zones**

We design the vectors of active forces on the X-axis and obtain the condition of material trapping by rolls:

$$(F_1 + F_2)\cos\alpha > 2N\sin\alpha, \quad (1)$$

where  $\alpha$  - the angle of capture of the material by rolls;  $N$  - the normal force of the rolls pressure on the material;  $F_1$ ,  $F_2$  friction forces between the rolls and the material.

Provided that the surfaces of the rolls are the same and that they are in contact with the material  $F_1 = F_2 = F_{mep}$ .

$$F_{mep} = N \cdot f, \quad (2)$$

where  $f$  - the coefficient of friction of the material on the surface of the rolls. Taking into account (2), from (1) we obtain the condition of material trapping by rolls at the initial moment of transportation:

$$tg\alpha < f. \quad (3)$$

According to the scheme in Fig. 3a we can write the equation:

$$R_1 + \frac{\Delta}{2} = R_1 \cos\alpha + \frac{\delta}{2}.$$

Hence

$$\Delta_{\min} = \delta - 2R_1(1 - \cos\alpha). \quad (4)$$

From the scheme in Fig. 3a shows that

$$AO_2 = R_1 - \frac{\delta - \Delta}{2}, \text{ or } AO_2 = R_1 \cdot \cos\alpha. \quad (5)$$

From (4) and (5) we get:

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\delta - \Delta}{2R_1}. \quad (6)$$

Let us imagine  $tg\alpha$  in a:

$$tg\alpha = \frac{\sqrt{1 - \cos^2\alpha}}{\cos\alpha}. \quad (7)$$

Given expression (6), formula (7) takes the form:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{\delta - \Delta}{2R_1}\right)^2}}{1 - \frac{\delta - \Delta}{2R_1}}. \quad (8)$$

We introduce the notation  $\frac{\delta - \Delta}{2R} = x$  and rewrite (8) with (3) in the form:

$$f = \sqrt{1 - (1 - x)^2} / (1 - x). \quad (9)$$

Perform the algebraic transformations of expression (9) and obtain the equation:

$$(1 + f^2)x^2 - 2(1 + f^2)x + f^2 = 0. \quad (10)$$

The solution of the obtained quadratic equation (10) is:

$$x_{1,2} = \frac{1}{2} \left( 1 \pm \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right). \quad (11)$$

We are satisfied with the solution (11), in which the points of contact of the material are in the middle part of the rolls (as in Fig. 3a), ie with the sign "minus". Substitute in (11) instead of its value and obtain after transformations:

$$R_1 = \frac{\delta - \Delta}{\left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right)}. \quad (12)$$

The obtained formula (12) allows us to determine the minimum radius of the rolls, which provides the condition of trapping of the material, with known values of its initial thickness  $\delta$ , clearance between the rollers  $\Delta$  and the coefficient of friction  $f$ .

In the case of initial contact of the rolls and the bottle, which is pre-compressed to a thickness  $2r$  (Fig. 3b) the value can be found according to the scheme in Fig. 3b and is expressed by the formula:

$$\delta = 2r \cdot R_2 / (r + R_2). \quad (13)$$

Because  $\Delta \ll \delta$ , for simplicity we consider  $\Delta = 0$ , then formula (12), taking into account (13), takes the form:

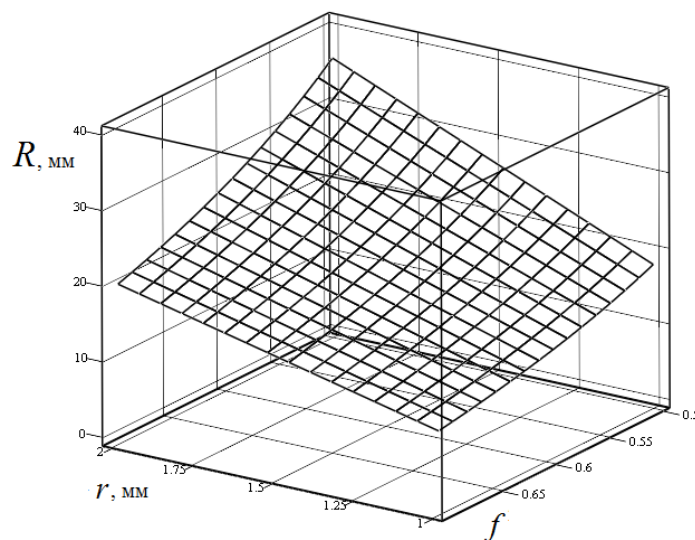
$$R_2 = \frac{2r}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+f^2}}\right)} - r. \quad (14)$$

The coefficient of friction of polyethylene terephthalate on steel depends on the condition of the contact surfaces and matters  $f = 0,5 \dots 0,7$ .

In Fig. 4 presents a graph of the minimum required radius of the rolls to capture them PET bottles from  $r$  and the friction coefficient obtained by formula (14).

The graph shows that the capture of even almost fully compressed bottles, smooth rolls (when  $r_{ni} = 1$  mm) guaranteed possible with  $R > 20$  mm.

Further studies will need to perform mathematical modeling of the process of cutting compressed bottles with disc blades and to determine the design and energy parameters of the entire device.



**Fig. 4. Graph of the dependence of the minimum required radius of the rolls to capture their PET bottles from  $r$  and the coefficient of friction  $f$**

## Analytical study of disk scissors

Disc blades in the roller device are used to cut pre-compressed rolls of bottles into three longitudinal parts. To obtain high-quality cutting, the disc blades are installed with radial overlap  $\Delta$ .

The scheme of cutting material with disk knives is presented in Fig. 5. As can be seen from the diagram (Fig. 5), knives of the same radius  $R_n$  have overlapping magnitudes  $\Delta_n$ , whereby a steam is formed. The material is thick  $h$  (when cutting PET bottles  $h$  is equal to twice the thickness of the walls of the bottle) is fed to the knives and in the area of the ABC (Fig. 5) is its cut.

Because the thickness of the material is much smaller than the knife radius ( $h \ll R_n$ ), then to simplify the arc of the BC and AC (Fig. 5) we replace the corresponding chords.

The angle of capture of the material with knives  $\beta$  (the angle of inclination of the cutting chord of the AC (see Fig. 5)) depends on the radius  $R_n$ , thickness  $h$  and blade overlap values  $\Delta_n$  and can be found from the ratio of the segments of the lengths of the DC and AC (see Fig. 5):

From the scheme in Fig. 5 shows that:

$$\operatorname{tg} \beta = h / 2DC . \quad (15)$$

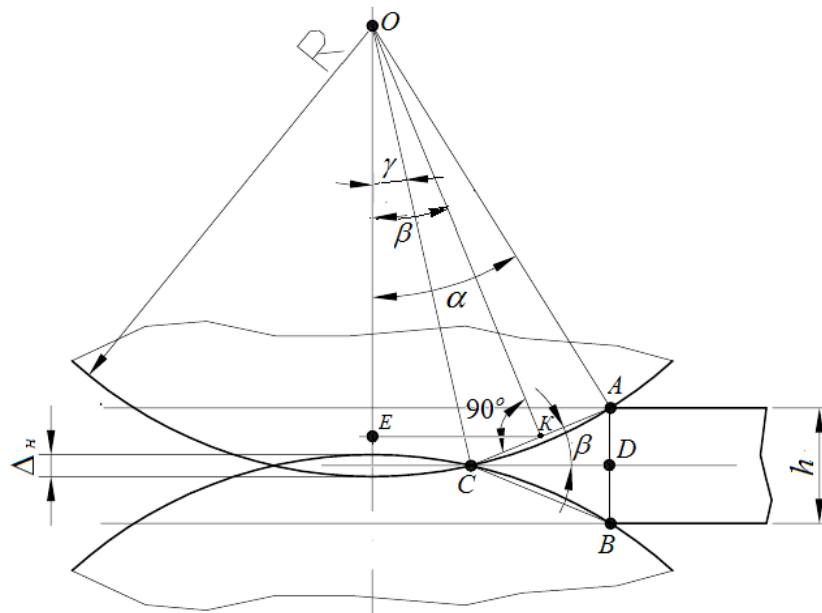


Fig. 5. Scheme of cutting material with scissors

Disc blade overlap angle  $\gamma$  (fig. 5) can be defined from the expression:



$$\cos \gamma = \left( R_h - \frac{\Delta_h}{2} \right) / R_h, \text{ or } \cos \gamma = 1 - \frac{\Delta_h}{2R_h}. \quad (16)$$

Chord angle of cutting  $AC$  -  $\alpha$  (fig. 5), which can be defined from the expression:

$$\cos \alpha = 1 - (h + \Delta_h) / 2R_h. \quad (17)$$

If expressions are known for  $\alpha$  and  $\gamma$ , then the length of the segment  $DC$ , which is included in formula (15) can be found by means of the trigonometric relation (Fig. 5):

$$DC = R_h \sin(\alpha) - R_h \sin(\gamma). \quad (18)$$

Let us represent (18) as:

$$DC = R_h \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} - R_h \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}. \quad (19)$$

Substitute in (19) the expressions (16), (17) and obtain:

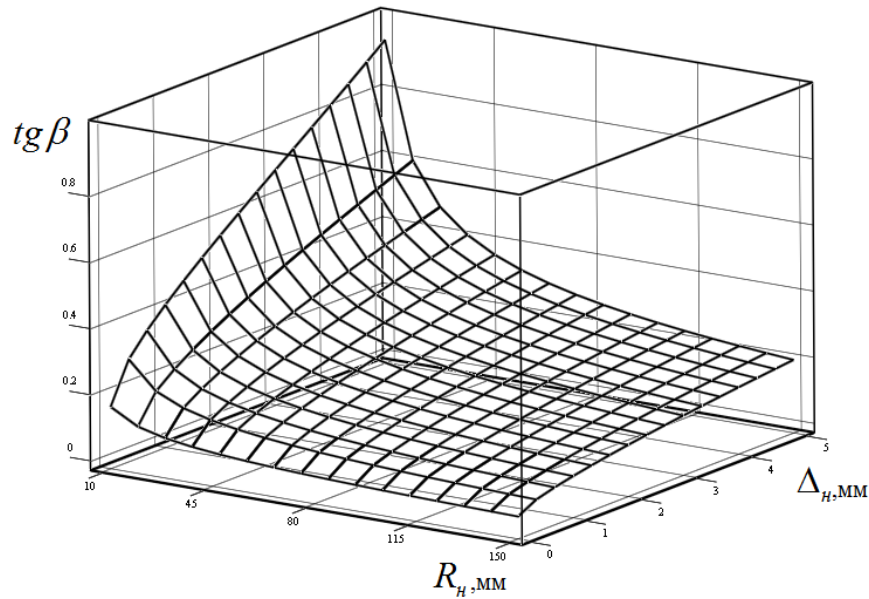
$$DC = R_h \left( \sqrt{1 - \left( 1 - \frac{h + \Delta_h}{2R_h} \right)^2} - \sqrt{1 - \left( 1 - \frac{\Delta_h}{2R_h} \right)^2} \right). \quad (20)$$

Substitute in (15) the expression (20) for  $DC$  and obtain:

$$tg \beta = \frac{h}{2R_h \left( \sqrt{1 - \left( 1 - \frac{h + \Delta_h}{2R_h} \right)^2} - \sqrt{1 - \left( 1 - \frac{\Delta_h}{2R_h} \right)^2} \right)}. \quad (21)$$

In Fig. 6 shows a plot of the values  $tg \beta$  from the knife radius  $R_h$  and the magnitude of their overlap  $\Delta_h$ , which is obtained from the formula (21) (at a material thickness  $h = 1$  mm).

From the graph in Fig. 6. it is visible that at small diameters of disk knives and the big value of their overlapping  $\Delta_h$  material capture may not occur.



**Fig. 6. Graph of value dependence  $tg\beta$  from the knife radius  $R_H$  and the magnitude of their overlap  $\Delta_H$  (at material thickness  $h = 1$  mm)**

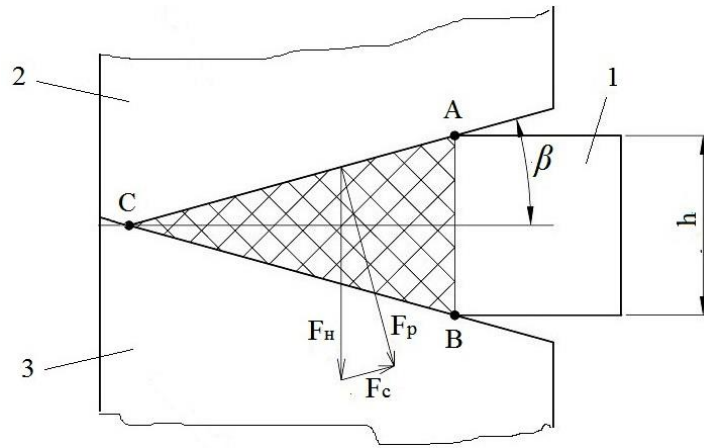
At the thickness of the material  $h = 0,6$  mm (double the thickness of the bottle wall), the value of the knife overlap  $\Delta_H = 2$  mm and their radius  $R_H = 52$  mm,  $tg\beta$  will obtain:

$$tg\beta = \frac{0,6}{104 \left( \sqrt{1 - \left(1 - \frac{0,6 + 2}{104}\right)^2} - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2}{104}\right)^2} \right)} = 0,24.$$

Therefore, the value of the friction coefficient of PET  $f_{mep} = 0,6$  the condition of grabbing the material with knives will be fulfilled.

### **Determination of the cutting power of disc shears**

Because the thickness of the material is much smaller than the knife radius ( $h \ll R_H$ ), then to simplify the arc  $BC$  and  $AC$  (fig. 5) we can replace the corresponding chords. In this case, the process of cutting with circular knives will be similar to the process of cutting straight slopes with straight knives (Fig. 7).



**Fig. 7. Scheme of cutting with inclined straight knives: 1 - cutting material; 2, 3 - knives**

In such a scheme of interaction of the cutting tool with the material, the maximum technological cutting force will be determined from the condition of the shear strength [5]:

$$F_H = \sigma_{3p} \cdot S_{3p}, \quad (22)$$

where  $S_{3p}$  - the area was cut;  $\sigma_{3p}$  - the ultimate strength of the material at the cut.

From the scheme in Fig. 7 the material cutoff will be:

$$S_{3p} = h^2 / \operatorname{tg} \beta. \quad (23)$$

Then given (23), (22) takes the form:

$$F_H = \sigma_{3p} h^2 / \operatorname{tg} \beta. \quad (24)$$

The tensile strength of the material at the cut, corresponding to the breaking stress  $\sigma_{3p} = \sigma_p$ , can be determined experimentally for each test material separately.

The moment of resistance  $M_{on}$  corresponds to the time of cutting  $M_p$ , which is determined by the formula:

$$M_p = F_H \cdot R_H. \quad (25)$$

Substituting (24) into (25) and taking into account (21) we obtain a formula for determining the moment of resistance of a rotary knife crusher, which has the following form:

$$M_{on} = \sigma_p h R_h^2 \left( \sqrt{1 - \left(1 - \frac{h + \Delta_h}{2R_h}\right)^2} - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\Delta_h}{2R_h}\right)^2} \right). \quad (26)$$

Power consumed by cutting two disc blades:

$$N_{pi3} = 2M_{on} \cdot \omega. \quad (27)$$

## Summary

Thus, we have obtained the main dependencies that can be used in the calculation of the structural and technological parameters of the device for pre-cutting the container of polyethylene terephthalate when loaded into rotary crushers.

## References

1. Rubanka M.M. & Misiats V.P. (2016). Eksperymentalni doslidzhennia dynamiky rotornoj drobarky dlia pererobky vidkhodiv lehkoj promyslovosti [Experimental studies of the dynamics of a rotary crusher for the processing of waste of light industry]. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, 1 (94), 27-36 [in Ukrainian].
2. Misiats V.P. & Rubanka M.M. (2014). Eksperymentalna ustanovka dlia doslidzhennia dynamichnykh kharakterystyk rotornoj nozhovoi drobarky [The experimental fluidizer research of dynamic characteristics of rotary knife crusher]. Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu – Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi, 1(43), 78-82 [in Ukrainian].
3. Rubanka M.M. & Misiats V.P. (2015). Vidkhody lehkoj promyslovosti, sposoby pererobky ta oblasti podalshoho vykorystannia [Waste of light industry, types of recycling and the follow-use]. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, 4 (88), 34-39 [in Ukrainian].
4. Misiats V.P. & Misiats, O.V. (2018). Udoskonalennia rotornoj drobarky dlia podribnennia vykorystanoi tary z polietylentereftalatu [Improvement of the rotor crusher for grinding of used polyethylene terephthalate container]. Proceedings from ETSEP '18: Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Inzheneriia ta tekhnolohii: nauka, osvita, vyrobnytstvo» - International Scientific and Technical Conference «Engineering and Technology: Science, Education, Production». (pp. 168-170). Lutsk : LNTU [in Ukrainian].
5. Misiats V.P., Misiats O.V., Skyba M.Ye., Zozulia P.F. & Polishchuk A.O. (2018). Matematyчне modeliuвання prystroiu dlia poperednoho rozrizannia tary z polietylentereftalatu pid chas zavantazhennia v rotorni drobarky [Mathematical modeling of a device for pre-cutting the container from polyethylene terephthalate during loading into rotary crushers]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu - Herald of Khmelnytskyi national university, Vol. 2, 6 (267), 34-38 [in Ukrainian].

# INNOVATIVE METHODS OF THE COMPLEX RESEARCH OF MATERIAL PROPERTIES

Paraska O.<sup>1</sup>, Radek N.<sup>2</sup>, Rak T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khmelniyskiy National University, Ukraine

<sup>2</sup> Kielce University of Technology, Poland

## Introduction

Global trends in industrial development are characterized by the active implementation of advanced technologies such as information, nano, bio, plasma, laser ones, etc., which combine the achievements of various fields of science and technology. The use of such technologies allows to obtain materials with a complex of new consumer properties, to expand the fields of their application [1].

The textile and light industry market is dynamic and is constantly expanding due to the replenishment of the range of new textile materials based on a combination of natural, artificial and synthetic fibers with the use of textile effects and special types of fittings. The combination of fabrics and materials, non-standard cut, decorating require a special, exclusive attitude to the cleaning of modern products.

However, from a practical point of view, the issues of the impact of the latest materials on the environment, the human body and the ways of care for such products have not been sufficiently studied. The solution of this problem is possible with the use of modern methods of research (X-ray diffraction, scanning and transmission electron microscopy, methods of IR spectroscopy, X-ray structural analysis, etc.). One of the prospective methods for the materials surface's studies is a comprehensive study of changes in the properties of textile products during their exploitation.

## Formulation of the problem

The process of exploitation of fabrics and the products from them is accompanied by complex processes of deposition of dirt on the fiber, the penetration of contaminants into the it and their fastening on the material. The main result of contamination of products is the change of their properties [2, 3]: decrease of brightness and purity of color, decrease of durability, deterioration of hygienic properties, appearance of unpleasant odour, creation of environment for development of pathogenic organisms.

The development of innovative formulas for detergent compositions can combine the high efficiency of contaminant removal with the provision of textile materials with special types of equipment.

Some authors have identified the major changes [4] that occur in the process of textile products exploitation, namely – there is a process of wearing out of clothing, stretching, squeezing, bending, twisting. It has been substantiated that in order to preserve the appearance [5 – 7], the form of clothing, the increase of the shelf life, it is necessary to use compositions based on environmentally friendly substances (bioSAS) in the process of wet cleaning. Manufacturing tests have confirmed that the treatment of products with bioSAS compositions, promotes care of products in the processes of washing, wet cleaning is technologically feasible and economically advantageous for giving the textile products elasticity, softness and smoothness of the surface.

### **Results of the research and discussion**

Textile product performance researches were carried out on cotton, polyester fiber fabrics and their mixtures, which are presented on the Ukrainian market and in accordance with the quality standards ISO 105 ISO 5077 EN 340:2004 PN-P-84525, ISO 14184-1.

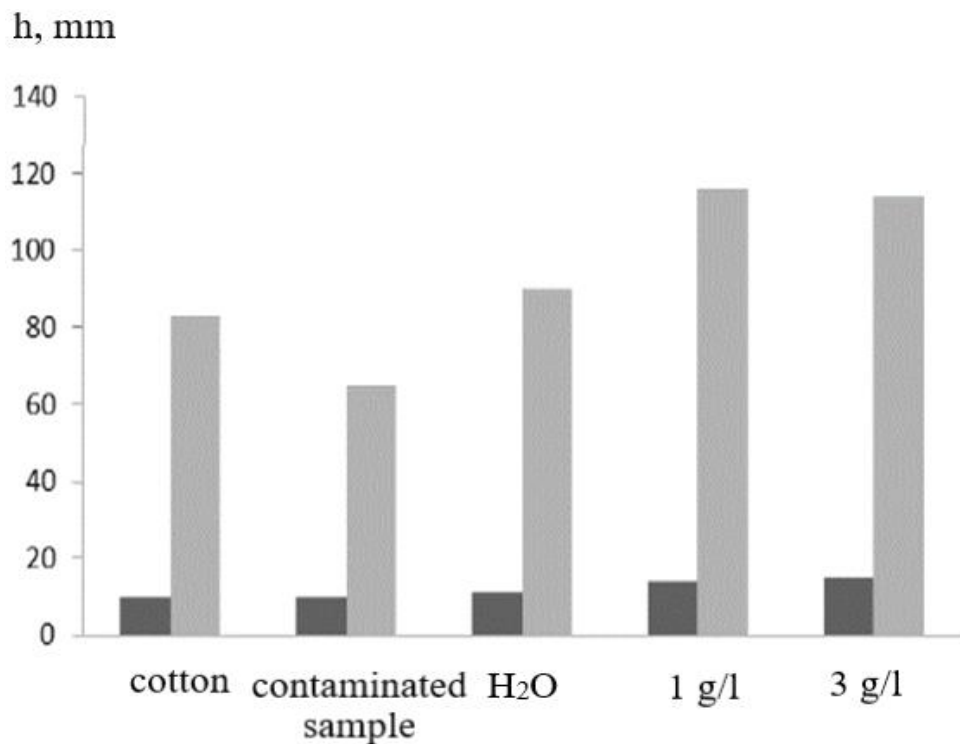
To determine the efficiency of wet cleaning of textile materials with bioSAS compositions was researched for the hydrophilization of their surface by the capillarity of cotton and polyester fabrics according to the requirements of DSTU GOST 3816:2009. The results of the study are shown in Fig. 1.

As can be seen on the diagram, the contaminated sample has the low capillarity, due to the fact that the pores contain particles of contaminants that prevent the penetration of liquid into the textile material. The use of bioSAS compositions improves capillarity, which confirms the high quality of contaminant removal thus improving the penetration of liquid into the pores of the tissue.

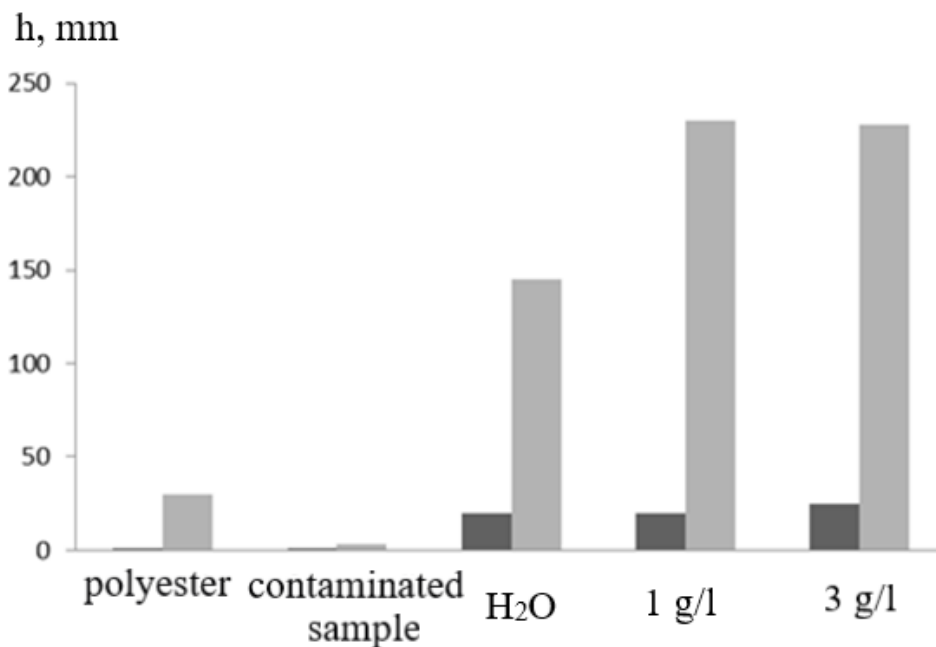
Cotton specimens have less pronounced changes in capillarity than in polyester, which may be due to differences in the structure and thickness of the tissues examined.

Studies show that bioSAS compositions remove impurities and other substances that remain on the fabric during its operation, that is, the pores are cleaned on the surface of textile materials. And also they increase the capillarity of textiles

from 120 mm to 145 mm (for cotton fabrics) and from 151 mm to 240 mm (for polyester fabrics), which is expressed in improving their wettability by aqueous solutions due to the presence on the materials of adsorbed bioSAS.



a)



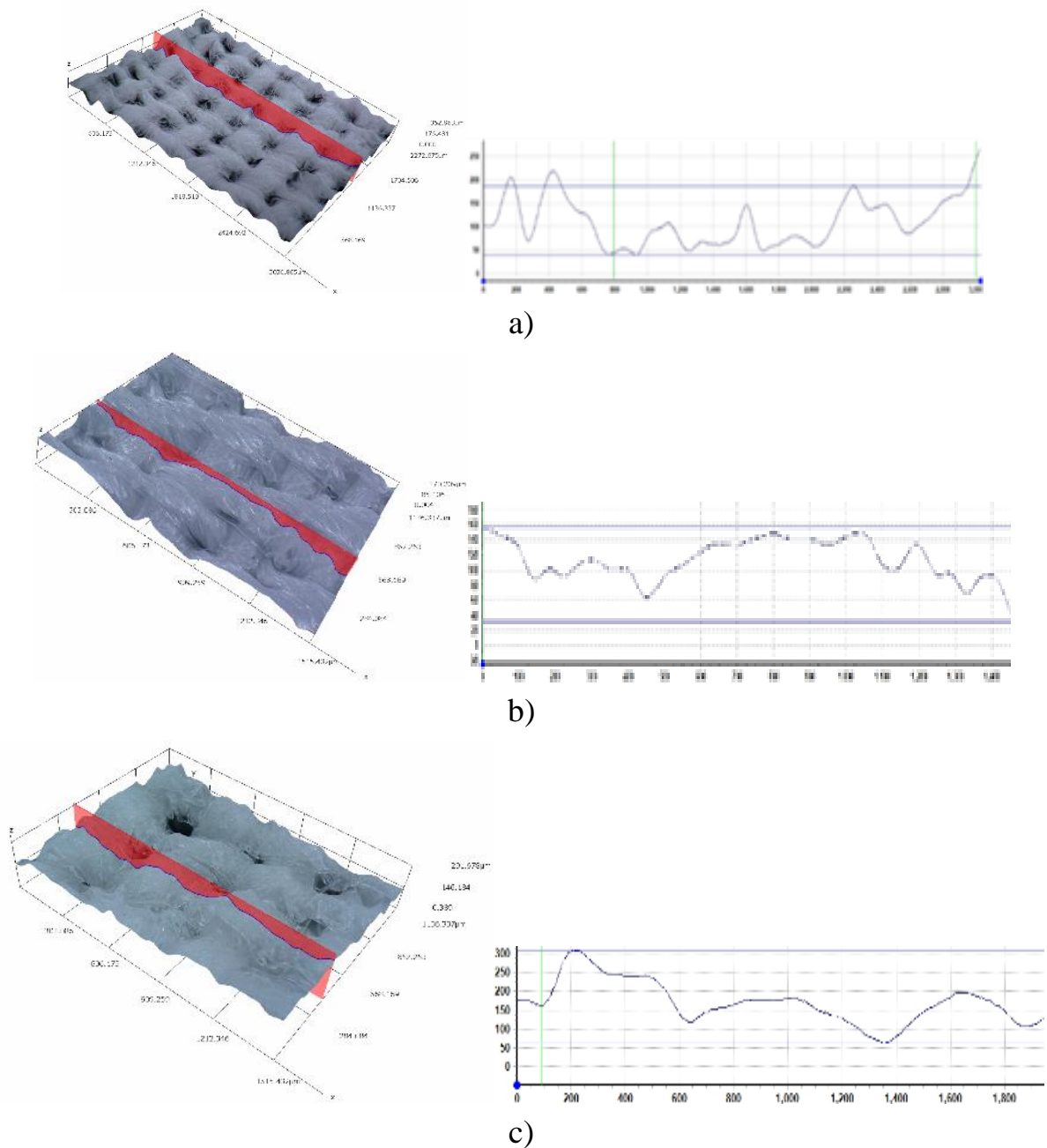
b)

**Fig. 1. Capillarity of cotton (a) and polyester (b) fabric after wet cleaning with bioSAS**

**composition: ■ – capillarity of tissue at the beginning of measurements, min;**

**■ – tissue capillarity after 1 hour**

With the help of a digital microscope Hirox® KH-8700 (Japan), the embossed surface of cotton (a), mixed (b) and polyester fabrics (b) was observed (Fig. 2) and the change in geometric parameters of the filaments after water treatment in bioSAS compositions was determined (Table 1). This model of the microscope is a new generation of 3D microscopes that allows you to perform three-dimensional visualization of objects under research. The microscope is equipped with a touch panel and video camera that shoots at 24 frames per second, using a Genex GPU, and displays the image on an HD monitor.



**Fig. 2. Surface image and cross-section of cotton (a), mixed (b) and polyester (c) fabrics after wetting with bioSAS compositions**



Image analysis shows that the surface of the materials after wet cleaning with the bioSAS composition becomes smooth, shiny and denser due to the quality cleaning of the pores of the material from contamination.

**Table 1. Changing the geometric parameters of the yarns after wet cleaning with bioSAS compositions,  $C_{com} = 1 \text{ g / l}$**

| Material                       | $d_{cont}$ , mm | $d_{wet}$ , mm | $d_{tr}$ , mm |
|--------------------------------|-----------------|----------------|---------------|
| Cotton, 100 %                  | 0,873           | 1,483          | 1,225         |
| Cotton, 55 % / Polyester, 45 % | 1,085           | 1,686          | 1,679         |
| Polyester, 100 %               | 1,092           | 1,599          | 1,424         |

Note:  $d_{cont}$ ,  $d_{wet}$ ,  $d_{tr}$  – diameter of contaminated, wetted and treated yarns with bioSAS compositions, mm.

Studies have shown (Table 1) that in the process of water cleaning of the materials with bioSAS compositions, there is a change in the diameter of the yarns from 0,873 mm to 1,225 mm for cotton fabrics, from 1,085 mm to 1,679 mm for mixed fabrics, from 1,092 mm to 1,424 mm for polyester fabrics. Increasing the diameter of the yarns after treatment with bioSAS compositions is due to the removal of contamination from the material, which contributes to the loosening of the yarns, the elasticity of the surface of the fabric.

## Summary

The results of the study confirm the effectiveness of comprehensive research of the properties of materials and the feasibility of using the bioSAS compositions for water cleaning of household and special purpose textile products (for military, athletes, etc.). The results of the study will help to reduce the ecological impact on the environment and human health. In addition, it ensures the preservation of the consumer properties of textile products during their exploitation.

## References

1. Paraska, O., Sioma, A., Karvan, S. (2012). Vision methods of examining the cleanliness of textile materials. *Mechanics and control*. Vol. 31. 1. P. 44 – 50.
2. Galyk, I., Semak, B., Semak, Z. (2013). Influence of textile technologies on ecological safety of textiles, human and environment. *Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade*. № 1 (57). P. 38 – 46.
3. Paraska, O., Rak, T., Rotar, D., Radek. (2019). The research on the effect of compositions of ecologically safe substances on the hygienic properties of textile products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 1, No 10 (97). P. 43 – 49.
4. Paraska, O., Rak, T., Radek, N. (2018). Investigation of the operational properties of textile products after treatment with compositions based on environmentally safe substances. *Herald of Khmelnytskyi national university Technical Sciences*. No. 6 (267). P. 103 – 108.
5. Paraska, O., Rak, T., Chervonyuk, D. (2015). Use of ecologically friendly surface active substances in the finishing of textiles. *Innovations in clothing design, materials, technology and measurement methods : monograph / ed. by Iwona Frydrych, Grazina Bartkowiak, & Maria Pavlowa*. Poland, Lodz. P. 218-225.
6. Paraska, O., Rak, T., Karvan, S. (2019). Composition of ecologically safe surfactants for wet cleaning of textiles. Patent for the invention № 133668 Ukraine. D 106M 11/00.
7. Paraska, O., Radek, N., Bonek, M. (2015). *Ecological innovation: Monograph*. Poland. 311 p. ISBN 978-83-62150-15-1.

# **STUDY OF THE INFLUENCE OF WOOL FABRICS PREPARATION TECHNOLOGY ON THE PHOTOFADING PROCESS OF COLOURS OF ACID DYES**

Semeshko O., Asauljuk T., Saribyeikova Yu.

Kherson National Technical University, Ukraine

## **Introduction**

Wool due to its unique chemical structure is a universal raw material that is suitable for the production of both thin worsted fabrics and knitwear, as well as for the production of “heavy” coat fabrics and carpets. Although mostly wool clothes are not used in the summer, there are still things whose colour can be subject to the destructive effect of sunlight in the cold season. This is primarily men's and women's suits, ceremonial military uniforms, shawls, etc. In addition, wool carpets and carpeting are exposed to sunlight irrespective of the time of year.

## **Literature review and problem statement**

In the textile industry, wool fibers of natural light shades, namely white, dairy, cream, are especially valuable. For the production of textile worsted materials and knitwear, high-quality fine wool of light shades is used, which can be relatively easily bleached to obtain a variety clean and bright colours. Carpets are made of semi-coarse and coarse wool in light shades. However, taking into account the acute shortage of wool in the world, methods of the mordant oxidative bleaching of wool, which has a natural dark colour (gray, brown), have been developed in order to expand the raw material base of the wool textile industry [1–6].

Traditionally, the wool is washed, bleached and dyed in the form of fibers or roving, and then knitted fabrics or fabrics are already obtained [7]. During washing, natural fat, mineral and vegetable contaminants are removed from the wool fiber with detergents. The washing of wool fiber according to the classical technology does not change over the years and is characterized by a long-term exposure to wool of detergent solutions and mechanical stress, which causes damage to the fiber. In addition, it is important to achieve the degree of removal of fatty contaminants from wool that is required by GOST, which is often not achieved with the use of classical technology [7–10].

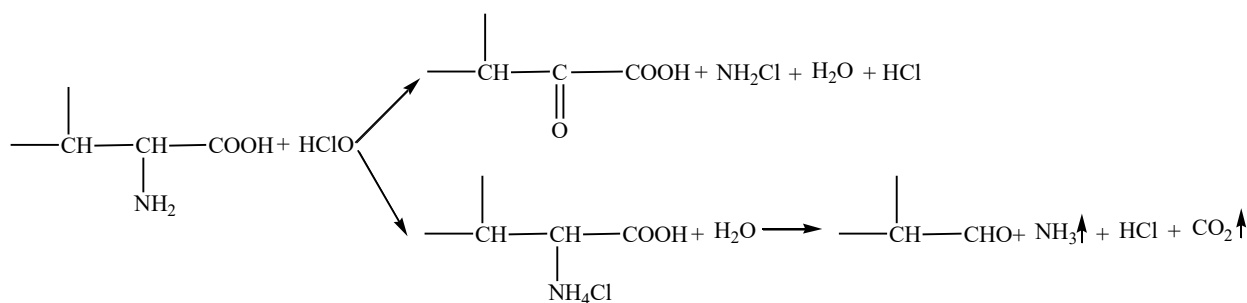
The effect of oxidizing agents on the wool leads to the formation of various products of its oxidation, which are a protein with a set of different functional groups

that arise, as a rule, during the oxidation of disulfide and peptide bonds. It is the disulfide bonds and sulfhydryl groups of wool keratin that are most easily oxidized. The action of hydrogen peroxide in various conditions leads to the formation of the following products:  $-\text{CH}_2-\text{SO}-\text{S}-\text{CH}_2-$  (monoxide),  $-\text{CH}_2-\text{SO}-\text{SO}-\text{CH}_2-$  (dioxide),  $-\text{CH}_2-\text{SO}_2-\text{SO}-\text{CH}_2-$  (trioxide),  $-\text{CH}_2-\text{SO}_2-\text{SO}_2-\text{CH}_2-$  (tetraoxide). When the disulfide bond is broken, residues of the following acids may form:  $\text{R}-\text{CHSOH}$  – cysteinesulfenic,  $\text{R}-\text{CHSO}_2\text{H}$  – cysteinesulfinic,  $\text{R}-\text{CHSO}_3\text{H}$  – cysteine.

In addition, under certain conditions, a number of oxidizing agents can affect phenolic, indole, thiophenol, imidazole groups, as well as peptide bonds, which leads to oxidation of the corresponding amino acid residues and partial destruction of the polypeptide chains.

Hydrogen peroxide, when exposed to keratin, primarily oxidizes sulfur-containing amino acid residues, namely cysteine and methionine. In the presence of organic acids or metal ions, the reaction proceeds more widely, affecting cystine, tryptophan, and tyrosine residues [7, 11, 12]

The oxidizing effect of halogens, in particular chlorine, and chlorine-containing bleaches (sodium hypochlorite) occurs by two mechanisms: oxidation and chlorination of amino acids by amino groups disposition (Fig. 1). In this case, hypochlorous acid acts as the main reagent.



**Fig. 1. Scheme of wool chlorination reactions**

The whole complex of reactions can lead to hydrolytic destruction of the wool, since hydrochloric acid is released. Chlorine is able to oxidize most amino acid residues, but it acts especially intensely on cystine and tyrosine. In addition, in an alkaline environment, sodium hypochlorite solutions cause yellowing and coarsening of the fiber [7, 11 12].

Today, the most common method of wool bleaching is oxidative peroxide bleaching due to its efficiency, economy, and environmental friendliness. In addition, for this purpose, the use of chlorine-containing compounds is known [7, 11]. When

bleaching wool, fiber destruction occurs to some extent, since the pigment grains that give the colour of the wool are inside fiber [7, 11]. Therefore, the main disadvantage of these technologies is the loss of strength of the wool, which increases during subsequent dyeing, which occurs at the boiling point.

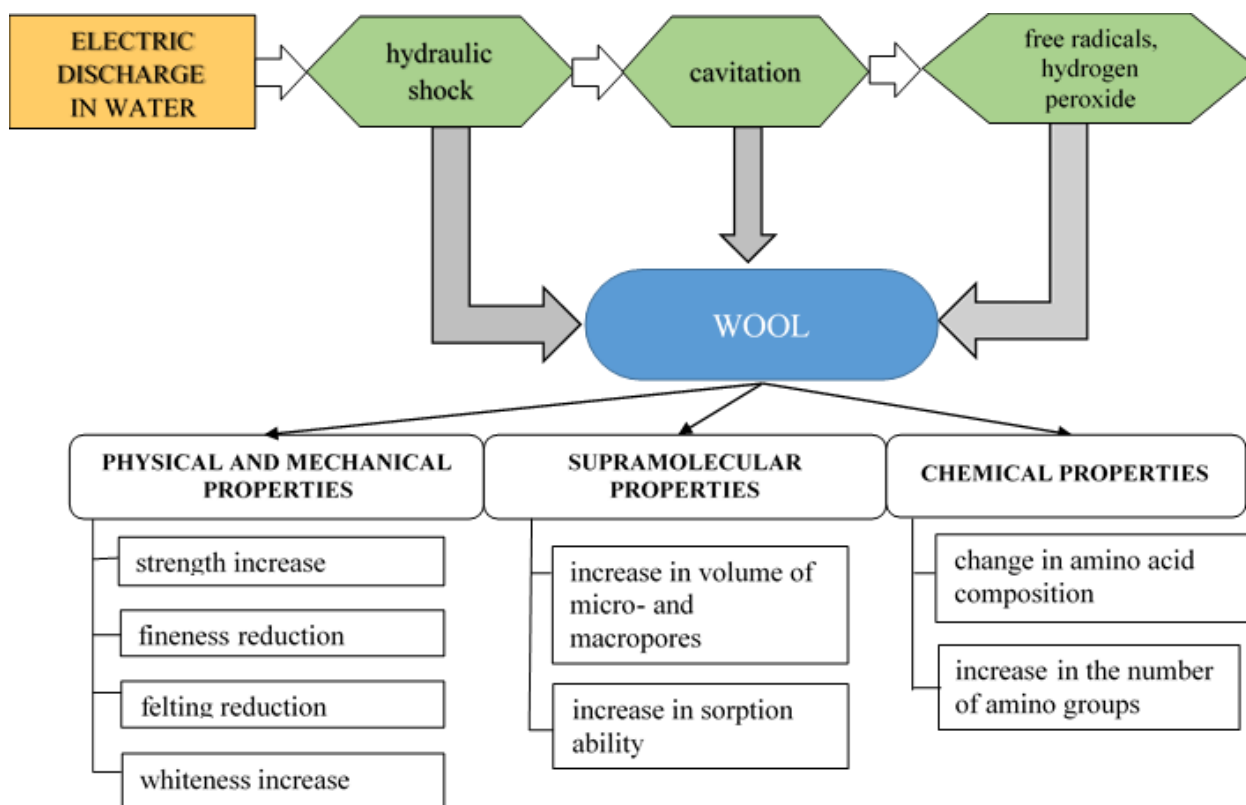
An effective way to increase the functionality and competitiveness of wool products can be a modification of wool, which is a directed change in the physicochemical properties of the fiber to improve the operational properties of textile materials based on it [12, 14].

It is known that the process of wool fiber modifying is carried out by chemical, biochemical or physical methods [15]. In recent years, special attention has been paid to physical methods of exposure to fiber [16].

An analysis of the scientific and technical literature [17–30] shows that processes based on the use of electrophysical effects are recognized as one of the most promising directions for modifying the surface of fibers, because they are the most effective, economically and environmentally friendly. Such processes include high-voltage electric pulse discharge in a liquid, accompanied by the occurrence of electric-discharge nonlinear bulk cavitation (EDNBK). The practical application of this phenomenon in various technological processes of production was first proposed by the Soviet scientist L.O. Yutkin. Under his leadership, the principal designs of industrial equipments for various purposes were developed, devices and technological processes were prepared for implementation and partially implemented, allowing the electro-hydraulic effect to be effectively used in many industries [31].

At the Kherson National Technical University under the guidance of Doctor of Technical Sciences, Professor Saribeykova Yu.G. a scientific school was created, the scientists of which developed technologies for the application of electric discharge in washing [32–35], dyeing [36–38], bleaching [39–41] and modification [42–45] of wool fibers, as well as in purification of waste water after the initial washing of wool [46–48].

During wool fiber modification, the main acting factors of electric-discharge nonlinear bulk cavitation are the direct influence of electric-hydraulic shock on the medium and wool being treated, as well as free radicals and hydrogen peroxide formed in water under the influence of cavitation, which affect the wool fiber (Fig. 2) [44].



**Fig. 2. The mechanism of action of EDNBK on wool fiber in the process of its modification**

As a result of a comprehensive study of changes in the physicochemical, sorption, and chemical properties of wool treated by the action of EDNBK, the modification phenomenon of wool fiber under the influence of electric-discharge treatment, which consists in changing the properties of wool at the surface, supramolecular, and molecular levels, was experimentally confirmed and scientifically substantiated [44]. After modification by electric-discharge treatment, wool is obtained with higher physical and mechanical properties compared to wool fiber samples obtained using existing chemical and biochemical methods [44]. By means of thermogravimetric, X-ray diffraction and adsorption analysis methods, it was determined that wool fiber after electric-discharge treatment has increased hygroscopicity and micropore volume and, as a result, high sorption indices with respect to dyes [44].

Based on the amino acid analysis of wool after electric-discharge treatment, a chemical change in the internal structure of the fiber is shown. In accordance with the proposed mechanism of the wool fiber modification during its electric-discharge treatment, the disulfide bonds of wool keratin are restored and reoxidized under the influence of electrohydraulic shock and active particles resulting from water splitting. The formation of new covalent bonds between polypeptide chains leads to an

increase in strength, in resistance to hydrolysis, and also to a reduction of wool felting during treatment and operation of finished products [40, 43, 45].

Thus, it was established that the influence of the complex of acting factors of electric-discharge treatment on the wool leads to a change in the physicommechanical, supramolecular and chemical properties of the fiber without significant destruction of the keratin structure (Fig. 2) and also leads to obtain unique properties of the wool during the modification process.

The goal of the work is to study the influence of wool fabric preparation technologies on quality indicators after dyeing with acid dyes: coloristic characteristics, photofading kinetics of colours and resistance of obtained colours to physical and chemical effects.

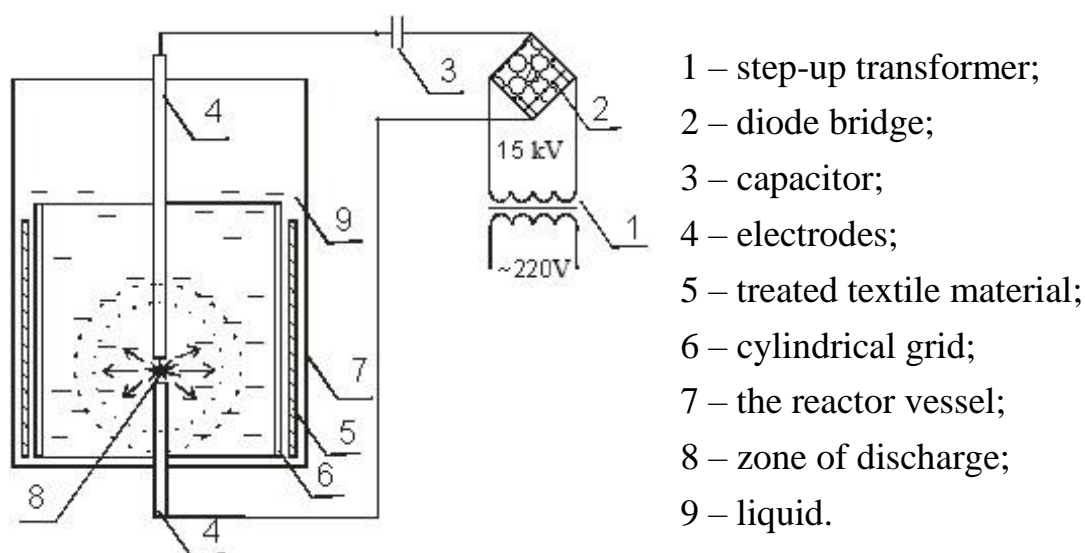
### **Materials and methods**

A plain weave wool fabric with a surface density of 150 g/cm<sup>2</sup> (an article 1C128BM) made from merino fiber at the Pavlovo Posad Shawl Manufactory has been examined.

Wool fabric was chlorinated at a temperature of 18–20°C and a liquor ratio of 50:1 with an acid solution of sodium hypochlorite, which contains: active chlorine – 1 g/l, sulfuric acid (conc.) – 1 ml/l. Treatment was carried out for 40 minutes with stirring. Next, the material was washed with cold water, then in a solution of sulfuric acid at a concentration of 5% for 2–3 minutes and again with cold water. After that, for the purpose of antichlorination, the material was subjected to treatment with sodium sulfite solution at a concentration of 2%, a liquor ratio 50:1, a temperature of 40°C for 15 minutes. Then the wool was washed and dried.

Peroxide bleaching of wool textile material was carried out by a periodic method. The fabric was placed in a bleaching solution of the following composition (g/l): hydrogen peroxide (30%) – 5, sodium silicate – 2, sodium carbonate – 0.5, water – up to 1000 ml. The treatment was carried out at liquor ratio of 30:1 at a temperature of 50–55°C for 45 minutes. At the end of the bleaching process, the fabric was washed with cold water. To neutralize the alkali residue, the textile material was processed in the cold for 10 minutes in a solution of acetic acid with a concentration of 2 g/l, and then was washed with cold water and dried.

Electric-discharge treatment of wool fabric was carried out on a laboratory setup, a schematic diagram of which is shown in Fig. 3.



**Fig. 3. Schematic diagram of the laboratory setup for electric-discharge treatment**

The whiteness of the wool fabric after preparation was evaluated using a PCE-TCR 200 colorimeter.

The determination of the relative breaking load of the wool fabric was carried out on a tensile testing machine RT-250M.

The solubility of the wool in NaOH was determined by the gravimetric method after dissolution in 0.1 N solution.

The acid and chrome dyes were used in the work, the chemical structure of which is given in Table 1 [49].

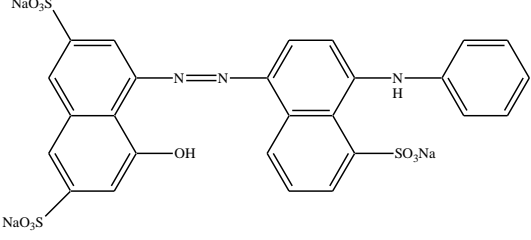
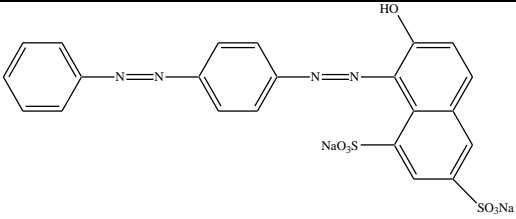
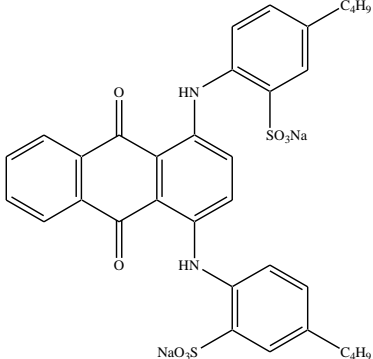
Dyeing with acid dyes was carried out according to the following technology. The liquor ratio was 50:1, the mass of the sample was 2 g, the volume of the dye bath was 100 ml. The composition of dye bath (in % of the fabric weight): dye – 1, sodium sulfate – 10, acetic acid (30%) – 4. Sodium sulfate and an acid agent were introduced into the total volume of water, then solution was heated to a temperature of 40°C and the wool samples were placed in solution. Treatment was carried out for 10 minutes. Then the samples were removed, the dye was added to the solution, and the fabric was again immersed. The dye bath was heated to a boil for 30 minutes and dyeing was carried out at the boil for 45 minutes. The dyed samples were washed with cold water and dried [50, 51].

Dyeing with chrome dye Acid green 27 was carried out by a method with afterchroming process. The composition of the dye bath and the dyeing conditions were the same as for dyeing with acid dyes. After dyeing at the boil for 45 minutes a concentrated sulfuric acid in the amount of 1.5% by the fabric weight was introduced into the dyeing bath and dyeing was continued at the boil for 20 minutes. After that,



the temperature was lowered to 80°C by adding cold water and potassium dichromate was introduced in the form of a solution in the amount of 1% by weight of the textile material. Afterchroming process was carried out at the boil for 20 minutes. After that, wool fabric samples were washed with cold water and dried [50, 51].

**Table 1. Characterization of acid dyes**

| № | Name          | Chemical structure   |
|---|---------------|--|
| 1 | Acid blue 92  |    |
| 2 | Acid red 150  |    |
| 3 | Acid green 27 |  |

Colour characteristics of dyed wool in CIE 1976  $L^*a^*b^*$  were obtained using a colorimeter PCE-TCR 200.  $L^*$  represents the difference between light (where  $L^* \rightarrow 100$ ) and dark (where  $L^* \rightarrow 0$ ),  $a^*$  represents the difference between green ( $+a^*$ ) and red ( $-a^*$ ) and  $b^*$  represents the difference between yellow ( $+b^*$ ) and blue ( $-b^*$ ). Chroma (C) is a measure of intensity or saturation of colour and Hue angle (H) is derived from the two coordinates  $a^*$  and  $b^*$ .

The degree of photofading of acid dyes on wool was evaluated after insolation on a device with a mercury-tungsten lamp RF 1201 BS (REFOND) and determination of colour differences  $dE$  on a PCE-TCR 200 colorimeter.

The colour fastness to physicochemical affects was evaluated according to GOST 9733-83.

## Results and discussion

At the first stage of the study, the influence of preparation technologies on the physicochemical properties of wool fabric was determined. The results are shown in Table 2.

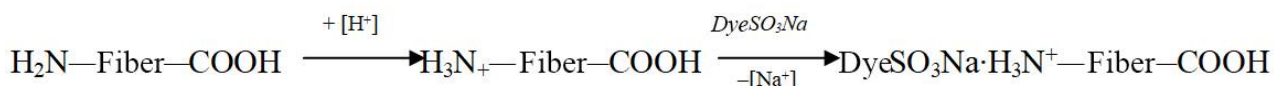
**Table 2. Influence of preparation technology on the physicochemical properties of wool**

| Indicator                      | Preparation technology |              |                    |                       |
|--------------------------------|------------------------|--------------|--------------------|-----------------------|
|                                | grey fabric            | chlorination | peroxide bleaching | modification by EDNBK |
| Whiteness degree, %            | 33.5                   | 37           | 48.9               | 45.3                  |
| Relative breaking load, cN/tex | 5.62                   | 4.87         | 5.25               | 6.15                  |
| Solubility in NaOH, %          | 7.5                    | 17.7         | 7.2                | 5.5                   |

It was found that chlorination causes a slight increase in the whiteness of the fiber, but its significant damage. Thus, the solubility in the alkali solution increases by 10%, the relative breaking load of the textile material after treatment decreases from 5.62 to 4.87 cN/tex. Peroxide bleaching contributes to the greatest increase in whiteness from 33.5 to 48.9%. Also, a decrease in fiber strength is observed, as evidenced by a decrease in the breaking load and an increase in the solubility of the wool fabric in NaOH. After modification by EDNBK, the wool fabric bleaches, although the whiteness does not reach the values obtained by bleaching with hydrogen peroxide, but the strength of the textile material increases, as shown by the results of determining the breaking load and solubility in NaOH. The modifying effect of electric-discharge treatment on the wool fiber is confirmed by the results of determining the physicochemical properties of the wool fabric.

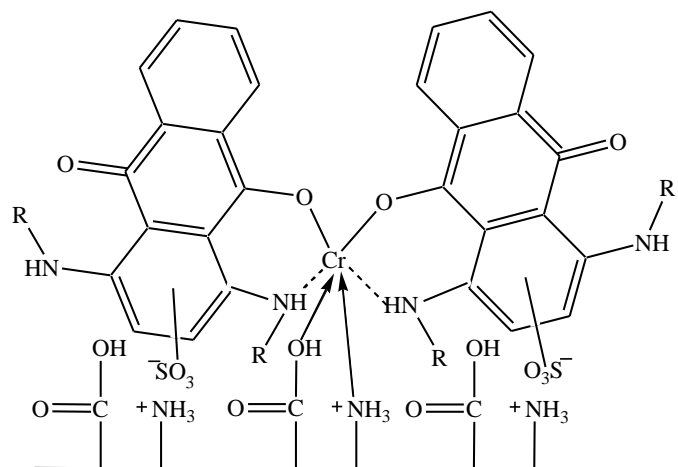
Usually wool is dyed with acid dyes, which are characterized by bright clean and relatively resistant colours. During dyeing, acid dyes and wool interact with the formation of ionic bonds, which explains the relatively low washing resistance of the obtained colours.

The interaction of acid dyes with wool is due to ionic bonds of dye anions with amino groups of fiber protonated in an acidic medium (Fig. 4) [7, 11].



**Fig. 4. The reaction of acid dyes with wool fiber in the dyeing process**

Chrome dyes are, in fact, acid dyes that are capable of entering into a complexation reaction with metal atoms, more often with chromium. The introduction of a metal into the dye molecule leads to the formation of 5–6-membered cycles (Fig. 5) and the formation of colours resistant to physicochemical effects.



**Fig. 5. Scheme of the interaction of chrome dyes with wool fiber**

The influence of the known preparation technologies of wool textile materials (chlorination, peroxide bleaching and modification by EDNBK) on the colour characteristics of the obtained colours, the process of their photofading and indicators of resistance to physicochemical effects has been studied in this work.

The Table 3 shows the results of determining the colour characteristics of dyed wool fabric prepared by the studied technologies, namely, colour tone H, lightness L and saturation C, as well as colour coordinates  $a^*$  and  $b^*$ . Specified parameters are significant for determining of effectiveness of preparation and dyeing technologies and have an important aesthetic value. The comparison was carried out with a sample prepared according to the classic technology of peroxide bleaching.

It has been established that colours obtained on wool after chlorination are darker compared to peroxide bleaching, have a greenish-yellow shade irrespective of colour, are less saturated and duller, and also significantly differ in colour tone. This is due to the fact that wool was damaged and turned yellow in the process of

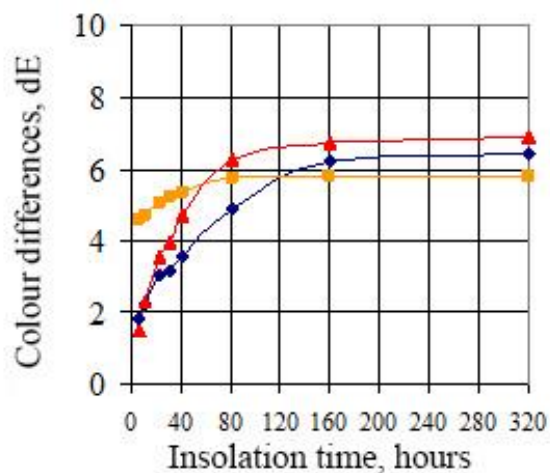
preparation. It is known that damaged wool fibers are more susceptible to dyes, but the resulting colour will be unstable to the physicochemical effects [7, 11].

**Table 3. Influence of preparation technology on the colour characteristics dyed wool fabric**

| Preparation technology | Lightness, L*   | Colour coordinates                |                                     | Saturation, C                        | Colour tone, H |
|------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------|
|                        |                 | a*                                | b*                                  |                                      |                |
| <b>Acid red 150</b>    |                 |                                   |                                     |                                      |                |
| Peroxide bleaching     | 53.38           | 53.27                             | 30.31                               | 61.29                                | 29.64          |
| Chlorination           | 44.45<br>darker | 55.30<br>less red,<br>more green  | 35.31<br>less blue,<br>more yellow  | 60.82<br>less saturated,<br>duller   | 24.59          |
| Modification by EDNBK  | 41.21<br>darker | 53.59<br>more red,<br>less green  | 28.18<br>more blue,<br>less yellow  | 63.85<br>more saturated,<br>brighter | 30.54          |
| <b>Acid blue 92</b>    |                 |                                   |                                     |                                      |                |
| Peroxide bleaching     | 26.06           | 0.56                              | -19.90                              | 19.91                                | 271.59         |
| Chlorination           | 24.39<br>darker | 0.46<br>less red,<br>more green   | -15.66<br>less blue,<br>more yellow | 15.67<br>less saturated,<br>duller   | 271.67         |
| Modification by EDNBK  | 25.12<br>darker | 0.63<br>more red,<br>less green   | -21.20<br>more blue,<br>less yellow | 23.15<br>more saturated,<br>brighter | 271.85         |
| <b>Acid green 27</b>   |                 |                                   |                                     |                                      |                |
| Peroxide bleaching     | 35.28           | -16.75                            | -10.78                              | 19.92                                | 212.78         |
| Chlorination           | 37.91<br>darker | -16.48<br>more red,<br>less green | -5.45<br>less blue,<br>more yellow  | 17.36<br>less saturated,<br>duller   | 198.30         |
| Modification by EDNBK  | 36.19<br>darker | -17.06<br>less red,<br>more green | -16.05<br>more blue,<br>less yellow | 22.14<br>more saturated,<br>brighter | 215.45         |

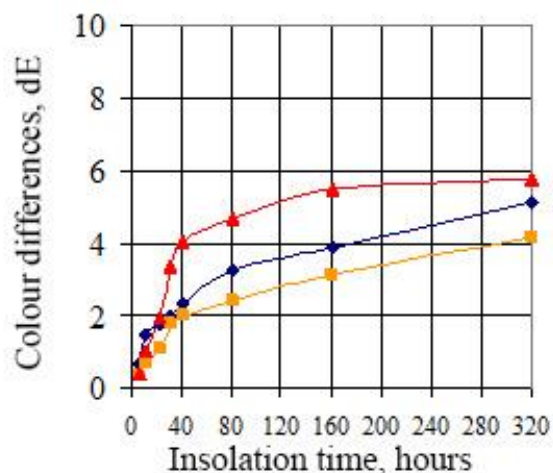
The colour of the wool fabric samples modified by EDNBK is darker than bleached ones, has no yellowness. The shade corresponds to the main colour, is more saturated and brighter, and almost does not differ in colour tone. Thus, the results obtained indicate that the modification of wool by the action of EDNBK provides obtaining colours with high colour indicators.

Further, the influence of the preparation method on the photofading of colours obtained on wool fabric was investigated in the work. The Fig. 6 shows the results of changes in colour differences of the studied samples of wool fabric under the influence of light for 320 hours.



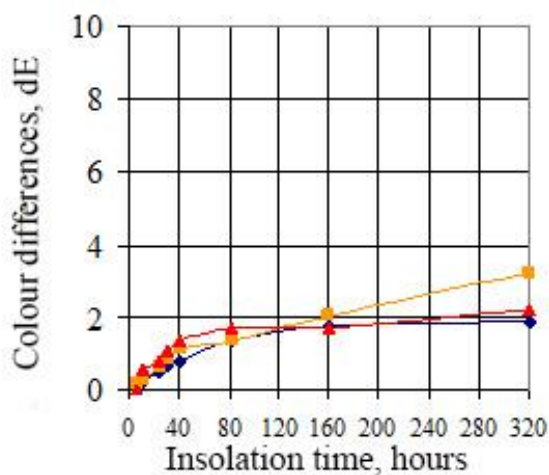
◆ Acid blue 92  
 ■ Acid red 150  
 ▲ Acid green 27

a)



◆ Acid blue 92  
 ■ Acid red 150  
 ▲ Acid green 27

b)



◆ Acid blue 92  
 ■ Acid red 150  
 ▲ Acid green 27

c)

**Fig. 6. The influence of preparation technology on the kinetics of photofading of colours:**  
 a) peroxide bleaching; b) chlorination; c) modification by EDNBK

The results shown in Fig. 3 mean that the preparation technology affects the lightfastness of the studied samples. The samples that were prepared using the chlorination technology have the lowest lightfastness of colours. The colours of wool fabric samples after peroxide bleaching have the slightly higher lightfastness. After peroxide bleaching, the dyed wool loses its colour gradually, and the dependences of the colour changes have the character of logarithmic curves. The chlorinated wool fabric already at the beginning of insolation fades significantly, and then minor colour changes occur and the dependences take on a linear character. The wool textile material prepared using EDNBK has the lowest indicators of photofading of colours and, as a result, the best lightfastness.

The main quality indicators of wool fabric prepared by the studied technologies and dyed with acid dyes were determined. The resistance of the obtained colours to washing, dry cleaning, dry and wet friction, perspiration, as well as the strength of the textile material, which is characterized by its solubility in NaOH, are presented in Table 4.

The experimental results indicate a low resistance to physicochemical effects of the colours obtained after chlorination. The results of determining the alkaline solubility of wool fabric show that the samples were subjected to a greater degree of oxidative degradation under the influence of chlorination than under the influence of hydrogen peroxide. Thus, the action of a chlorine-containing oxidizing agent is more aggressive towards wool than hydrogen peroxide. Subsequent dyeing damages the fiber even more, and the solubility index in NaOH increases. Wool fabric is most damaged during dyeing with chrome dye Acid green 27 according to the technology with afterchroming process regardless of the method of preliminary preparation.

Thus, preparation methods of wool textile materials using oxidizing agents do not provide colours with high resistance to physicochemical effects, in particular to light, and lead to a loss of fiber strength.

The results of determining the indicators of colour fastness to physicochemical influences show that the use of EDNBK as a preparation method provides high quality of dyed wool fabric.

**Table 4. Influence of wool fabric preparation technology on the resistance of colours of acid dyes to physicochemical effects and on the material strength**

| Acid dye              | Resistance to physicochemical effects, points |              |              |              |              | Alkaline solubility, % |
|-----------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
|                       | washing №1                                    | dry cleaning | dry friction | wet friction | perspiration |                        |
| Grey fabric           |   |              |              |              |              |                        |
| –                     | –   | –            | –            | –            | –            | 7.2                    |
| Peroxide bleaching    |   |              |              |              |              |                        |
| undyed fabric         | –   | –            | –            | –            | –            | 7.5                    |
| Acid blue 92          | 4/4/5   | 4/5/5        | 5            | 4            | 4/4/4        | 7.6                    |
| Acid red 150          | 4/4/4   | 4/5/5        | 4            | 5            | 4/3/3        | 7.7                    |
| Acid green 27         | 4/4/5   | 4/5/5        | 4            | 4            | 4/4/5        | 7.8                    |
| Chlorination          |   |              |              |              |              |                        |
| undyed fabric         | –   | –            | –            | –            | –            | 17.7                   |
| Acid blue 92          | 4/5/5   | 4/5/5        | 4            | 4            | 4/2/4        | 17.7                   |
| Acid red 150          | 4/4/4   | 4/5/5        | 3            | 4            | 4/2/4        | 17.7                   |
| Acid green 27         | 4/3/3   | 3/4/5        | 3            | 4            | 4/3/4        | 17.9                   |
| Modification by EDNBK |   |              |              |              |              |                        |
| undyed fabric         | –   | –            | –            | –            | –            | 5.5                    |
| Acid blue 92          | 4/5/5   | 4/5/5        | 5            | 5            | 4/4/4        | 5.5                    |
| Acid red 150          | 4/4/4   | 4/5/5        | 4            | 5            | 4/3/3        | 5.5                    |
| Acid green 27         | 4/5/5   | 5/5/5        | 4            | 5            | 4/4/5        | 5.8                    |

## Summary

The study of influence of the preparation technologies of wool textile materials, namely chlorination, peroxide bleaching and modification by the action of EDNBK on the physicochemical properties of the prepared textile materials showed that the wool fabric is most damaged after chlorination, but after the electric-discharge treatment the strength of wool fibers increases. This is due to the modifying effect of EDNBK on the wool. With the simultaneous action of electrohydraulic shock and active particles arising from the splitting of water, new covalent bonds are formed between the polypeptide chains, which leads to an increase in strength and an increase in the resistance of wool to hydrolysis.

The study of the colour characteristics of the obtained colours with acid dyes, the kinetics of their photofading and resistance to physicochemical influences showed that the modification of the wool fabric by EDNBK contributes to the maximum preservation of the natural properties of wool fibers and does not reduce the strength characteristics of the textile material. This preparation method ensures uniform and bright colours resistant to physical and mechanical effects.

## References

1. Montazer, M., Zargaran, M., Rahimi, A. (2009), Depigmentation of Pigmented Wool, *Textile Research Journal*, Vol. 79, No. 3.
2. Korotowski, W., Sarna, T. (1990), Bleaching of melanin pigments, *The Journal of Biological Chemistry*, Vol. 265, No. 21.
3. Arifoglu, M., Marmer, W.N. (1990), Sequential Oxidative and Reductive Bleaching of Stained and Pigmented Wool in a Single Bath, *Textile Research Journal*, Vol. 60, No. 9.
4. Bereck, A. (1994), Bleaching of Pigmented Speciality Animal Fibres and Wool, *Review of Progress in Coloration*, Vol. 24, No. 1.
5. Khishigsuren, A., Nakajima, M., Takahashi, M. (2001), Effects of Ferrous Mordanting on Bleaching of Camel Hair, *Textile research journal*, Vol. 71, No. 6.
6. Oh, K., Park, M., Kang, T. (1997), Effect of mordant bleaching on the optical and mechanical properties of black human hair, *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, Vol. 113, No. 9.
7. Novoradovskaya, T.S. (1986), *Chemistry and chemical technology of wool*, Moscow, 200 p. (in Russian).
8. Lewin, M., Pears, E.M. (1998), *Handbook of fiber chemistry*, New York, 1024 p.
9. Fraser, R.D.B., Lennox, F.G. (1962), The structure of the wool fiber, *Textile Journal of Australia*, Vol. 37, No. 1.
10. Bradbury, J.H. (1973), *Advances in Protein Chemistry*, New York, 111 p.
11. Krichevsky, G.E. (2000), *Chemical technology of textile materials*. In 3 volumes. V. 1. Theoretical foundations of technology. Fibers Pollution Preparation of textile materials, Moscow, 436 p. (in Russian).
12. Alexander, P., Hudson, R.F. (1958), *Physics and chemistry of wool*, Moscow, 392 p. (in Russian).
13. Razumeev, K.E. (2006), Development of scientific foundations and industrial development of new technologies aimed at improving the competitiveness of products of the woolen and mixed sectors of the textile and light industries, Moscow, 236 p. (in Russian).
14. Safonov, V.V. (2001), The main trends in the development of technological finishing of textile materials, *Textile industry*, No. 5. (in Russian).
15. Grosvenor, A., Dyer, J. (2011), *Protein Fibre Surface Modification, Natural Dyes*. Monograph: [ed. by E. Akcakoca Kumbasar], Rijeka.
16. Ammayappan, L. (2013), Eco-friendly surface modifications of wool fiber for its improved functionality: an overview, *Asian journal of textile*, Vol. 3, No. 1.
17. Wang, X., Zhao, Y., Li, W., Wang, H. (2015), Effect of surface modifications on the thermal and moisture behavior of wool fabric, *Applied Surface Science*, Vol. 342. doi:10.1016/j.apsusc.2015.03.027.
18. Sajed, T., Haji, A., Mehrizi, M. K., Nasiri Boroumand, M. (2018), Modification of wool protein fiber with plasma and dendrimer: Effects on dyeing with cochineal, *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 107. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.09.038.



19. Pan, Y., Hurren, C. J., Li, Q. (2018), Effect of sonochemical scouring on the surface morphologies, mechanical properties, and dyeing abilities of wool fibres, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 41. doi:10.1016/j.ultsonch.2017.09.045.
20. Zhang, Y., Pang, G., Zhao, Y., Wang, X., Bu, F., Zhao, X. (2016), Pulsed electrohydraulic discharge for wool fiber cleaning, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 112. doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.023.
21. Asaulyuk, T.S., Semeshko, O.J. (2016), Modification of disulfide bonds of keratin during electric discharge treatment of wool, *Materials of V International scientific and technical conference of young researchers and students «Current issues in modern technologies»*, Ternopil, 17-18 of November, 2016.
22. Ryu, J., Wakida, T., & Takagishi, T. (1991), Effect of Corona Discharge on the Surface of Wool and Its Application to Printing, *Textile Research Journal*, Vol. 61(10). doi:10.1177/004051759106101006.
23. Guly, G.A. (1977), *Electric discharge in a liquid and its use*, Kiev, 176 p. (in Russian).
24. Vitenko, T.M. (2009), *Hydrodynamic cavitation in mass transfer, chemical and biological processes: monograph*, Ternopil, 224 p. (in Ukrainian).
25. Priymak, O.V. (2009), *Energy saving liquid technologies of textile materials processing based on thermal, electrical and magnetic methods: abstract. diss. for the sciences degree of Doctor of Technical Sciences*, Kherson, 44 p. (in Ukrainian).
26. Malyushevsky, P.P. (1977), *The use of electro-hydraulic effect in industry*, Kiev, 20 p. (in Russian).
27. Malyushevsky, P.P. (1983), *Basics of discharge-pulse technology*, Kiev, 272 p. (in Russian).
28. Malyushevsky, P.P., Yushchishina, A.N. (2001), *Electric explosion in chemical-technological processes (part 1)*, *Electronic processing of materials*, No. 4.
29. Malyushevsky, P.P., Yushchishina, A.N. (2001), *Electric explosion in chemical-technological processes (part 2)*, *Electronic processing of materials*, No. 5.
30. Korytov, V.A., Malyushevsky, P.P. (1977), *The use of electric discharge in water to intensify the processing of materials by pressure*, *Pulse methods of processing materials*, Minsk, 86 p. (in Russian).
31. Yutkin, L.A. (1986), *Electro-hydraulic effect and its application in industry*, Leningrad, 253 p. (in Russian).
32. Ermolaeva, A.V., Saribekova, Yu.G., (2006), *Intensification of primary treatment of wool based on the method of electric-discharge nonlinear bulk cavitation*, *Bulletin of the Kherson National Technical University*, No. 3 (26). (in Russian).
33. Saribekova, Yu.G., Yermolaeva, A.V., Myasnikov, S.A., Zlotenko, B.M., Matvienko, O.A. (2008), *Investigation of the pore structure of wool prepared by the method of non-linear volumetric volume cavitation*, *Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design*, No. 6. (in Ukrainian).
34. Ermolaeva, A.V., Saribekova, Yu.G., Myasnikov, S.A. (2008), *Justification of the choice of a two-stage technology for wool processing based on the method of electric-discharge nonlinear bulk cavitation and optimization of its parameters*, *Bulletin of the Khmelnytsky National University*, No. 1. (in Russian).
35. Yermolaeva, A.V. (2009), *Development of technology of wool fiber purification using electro-discharge non-linear bulk cavitation: abstract. PhD: Special. 05.19.03 – technology of textile materials, garments and knitwear*, Kherson, 24 p. (in Ukrainian).
36. Semeshko, O.Ya., Saribekova, Yu.G., Ermolaeva, A.V. (2010), *Studies of the effect of electric-discharge nonlinear bulk cavitation on the process of dyeing wool with acid dyes*, *Bulletin of the Kherson National Technical University*, No. 1 (37). (in Russian).
37. Semeshko, O.Ya., Saribekova, Yu.G., Ermolaeva, A.V. (2011), *Studies of the effect of electric discharge treatment of acid dye solutions on the dyeing rate of wool fiber* *Bulletin of the Khmelnytsky National University*, No. 1. (in Russian).

38. Semeshko, O.Ya. (2011), Intensification of the technology of dyeing wool fiber with acid dyes using electric discharge nonlinear bulk cavitation: abstract. PhD, Kherson, 24 p. (in Ukrainian).
39. Asauluk, T.S., Saribekova, Yu.G., Semeshko, O.Ya. (2013), Determination of optimal technological parameters of electric-discharge processing of wool fiber before bleaching, Bulletin of the Khmel'nitsky National University. Technical sciences, No. 5 (205). (in Russian).
40. Asauluk, T.S., Saribekova, Yu.G., Semeshko, O.Ya. (2015), The effect of preliminary electric discharge treatment on the surface of a wool fiber during bleaching, Bulletin of the Khmel'nitsky National University. Technical sciences, No. 5 (229). (in Russian).
41. Asauluk, T.S. (2016), Development of technologies for wool fiber bleaching using electric discharge nonlinear bulk cavitation: abstract. PhD, Kherson, 24 p. (in Ukrainian).
42. Semeshko, O., Saribekova, J., Asauluk, T., Myasnikov, S. (2014), The influence of electrical discharge nonlinear bulk cavitation on the structural and chemical changes in water during the wool fiber bleaching, Chemistry & chemical technology (Ch&ChT), Vol. 8, No. 4.
43. Saribekova, Yu.G., Semeshko, O.Ya., Saribekov, G.S. (2012), Investigation of the properties of modified wool textile materials, Problems of light and textile industry of Ukraine, No. 2 (20). (in Russian).
44. Saribekova, Yu.G., Ermolaeva, A.V. (2008), The influence of the electrohydraulic effect on the fiber surface during the initial preparation of wool, Bulletin of the Khmel'nitsky National University, No. 6. (in Russian).
45. Saribekova, Yu.G. (2013), The scientific basis of modification of wool fibers using electric discharge nonlinear bulk cavitation: abstract. diss. for the sciences degree of Doctor of Technical Sciences, Kyiv, 44 p. (in Ukrainian).
46. Kuznetsova, E.G., Saribekova, Yu.G. (2011), The use of electric discharge treatment for wastewater treatment after washing wool, Bulletin of the Khmel'nitsky National University, No. 3. (in Russian).
47. Kuznetsova, E.G., Saribekova, Yu.G. (2011), Study of the influence of electric discharge treatment on the degree of wastewater treatment in the processes of coagulation and flocculation, East European Journal of Advanced Technologies, No. 4/6 (52). (in Russian).
48. Kuznetsova, O.G. (2012), Improvement of the technology of washing of wool fibers: abstract. PhD, Kherson, 24 p. (in Ukrainian).
49. Stepanov, B.I. (1984). Introduction to the chemistry and technology of organic dyes, Moscow, 253 p. (in Russian).
50. Kricheskiy, G.Ye. (ed.) (1995), Laboratory Workshop on Chemical Technology of Textile Materials, Moscow, 260 p. (in Russian).
51. Byal'sksy, A.L., Karpov, V.V. (ed.) (1971), Dyes for the textile industry. Color Guide, Moscow, 180 p. (in Russian).

# COMPLEX TRAINING OF SPECIALIST IN THE FIELD OF AUTOMATION USING A LABORATORY BENCH

Tryputen Myk.<sup>1</sup>, Kuznetsova Y.<sup>2</sup>, Kuznetsov V.<sup>2</sup>, Tryputen Mak.<sup>3</sup>, Kuznetsova A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> National TU Dnipro Polytechnic, Ukraine

<sup>2</sup> National Metallurgical Academy of Ukraine, Ukraine

<sup>3</sup> Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

## Introduction

Training of experts who possess modern knowledge and practical skills of synthesis and analysis of technological processes automatic control system (ACS) requests real control objects or their physical simulator in classrooms and the most up-to date hardware and software controlling devices in the classrooms. Introduction of ACS physical simulators into teaching and learning activities will give the opportunity to provide a more profound and more efficient study of automatic control theory objectives and the issues involving development of optimal control systems in particular.

Analysis of Ukrainian laboratory bench has shown that virtually the only chance to renovate laboratory equipment for the purposes of staff training on the issues of technological objects control is application of technical products of world-famous companies like Siemens, ABB, Moeller, Shneiderelectric [1]. Application of modern devices in laboratory courses allows to train future engineers in the field of automation who will be competitive on labor markets. However, laboratories created in such a way have certain disadvantages: low adaptation to teaching and learning activities and unavailability of methodological support. Enhancement of efficiency of application of laboratory equipment in teaching and learning activities due to its adaptation to solving of the tasks of synthesis of optimal and quasi-optimal ACS [2]. The goal of this paper is development of optimal ACS in the context of its operation speed by thermal unit (laboratory bench) for the purposes of teaching objectives.

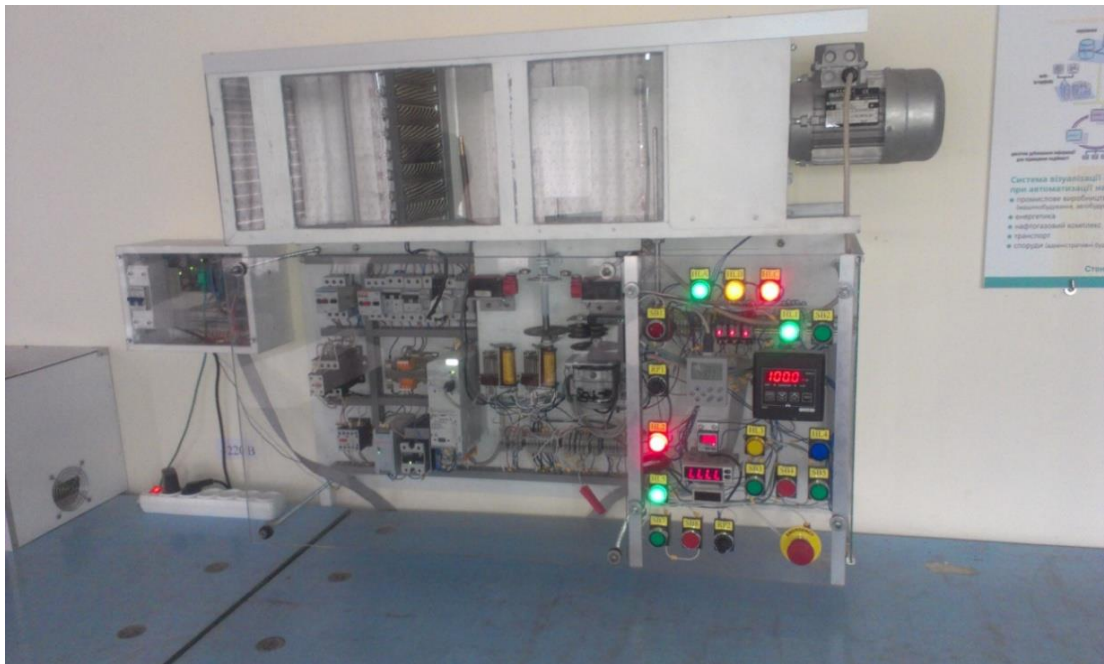
## Research methods and results

The Chair of Automation and Computer System of National TU Dnipro Polytechnic has a laboratory bench implemented into teaching and learning activities which is a hardware and software unit (Fig. 1).

The laboratory stand consists of three main zones:

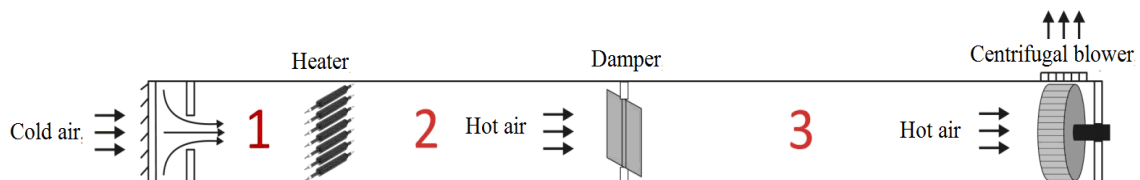
- the chamber in which the process of heating is carried out;
- control, adjustment and display panel;

- the panel of the controller, power supply units and actuators.



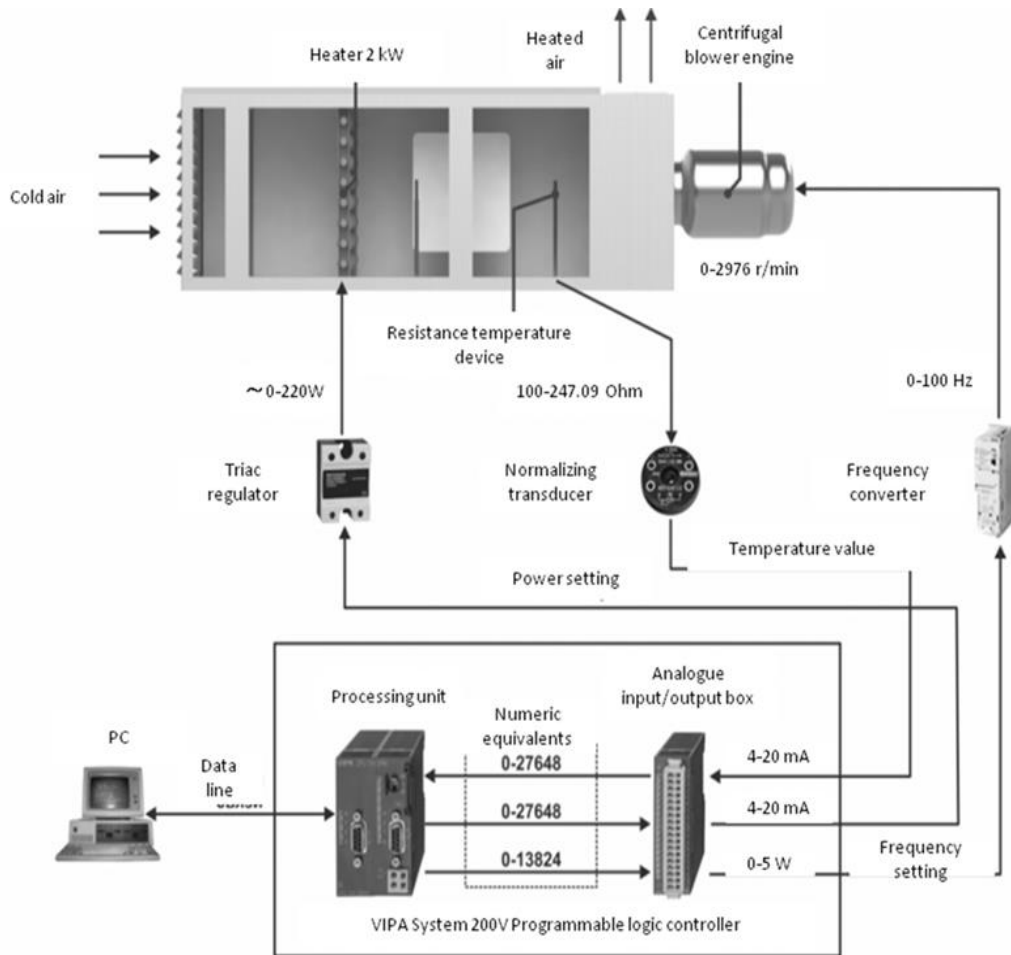
**Fig. 1. Appearance of the laboratory bench**

The chamber (Fig.2) consists of flow-through rectangular prism shaped container, centrifugal blower, suction flue, electric heater, screen and thermal converter. Centrifugal blower and suction flue are located on the opposite sides of the container. Electric heater, screen and resistance temperature device are located between them.



**Fig. 2. Schematic representation of the working areas of the chamber**

Centrifugal blower provides continuous cold air supply from environment inside thermal unit. Depending upon screen position, suction blower engine rotation frequency and electric capacity applied to heating element, air warms up to a certain temperature [3]. Air temperature variation is controlled with resistance temperature device. Hardware component of automatic control system has been developed on the basis of VIPA System 200 V programmable logic controller (PLC) The structure of hardware component is shown on Fig. 3. PLC in automatic control system serves as remote analogue input/output module [4].



**Fig. 3. Structure of automatic control system**

The Vipa system 200V programmable logic controller is one of the most advanced VIPA controller family. They are used in industrial automation systems with increased requirements for equipment reliability and for the time parameters of control loops. The CPUs are compatible by a set of instructions with the popular SIMATIC S7-300 controllers and can be programmed using WinPLC7 software (VIPA) or STEP 7 (Siemens).

The System 200V series is built on a modular basis, which allows you to optimally select the configuration for a specific task and easily modify the system when it is expanded or changing its requirements.

All I / O modules and interface modules are universal, which allows you to combine them with any CPU in this series. At the same time, it is possible to choose a processor module with optimal performance for solving the control problem.

The VIPA System 200V Series controllers have good response times and are suitable for controlling batch, continuous and batch production.

Table 1 shows the automation equipment of a laboratory bench.

**Table 1. Automation Tools**

| Measuring devices and converters   | Actuators                                     | Display units   |
|--|---|---|
| Thermal converter TSP U<br>Open / Close Sensor<br>Pulse Sensor BUP-50S<br>PKP1I damper position control device<br>Frequency converter<br>Lenze 8200 Vector | SD-54 motor reducer<br>MS7134 Induction Motor | Heater display unit and m4v Autonics thermal converter display unit |

Software component of ACS includes software of programmable logic controller designated for arrangement of calculation processes and software of personal computer on the basis of HMI/SCADA of Zenon Supervisor 7.0 system for the purposes of human-machine interface and various types of regulators implementation.

Zenon is a software and hardware package for creating automation systems produced by the world leader in HMI / SCADA solutions, COPA-DATA. This software and hardware complex is focused on solving the problems of process visualization, machine operations and production management. It offers simple object-oriented design, full compatibility and integration into a single automation system of various devices, from individual terminals to dispatch control points with redundancy. Zenon's openness allows you to quickly implement a reliable connection with any hardware or software, works perfectly on industrial PCs and devices with Windows CE.

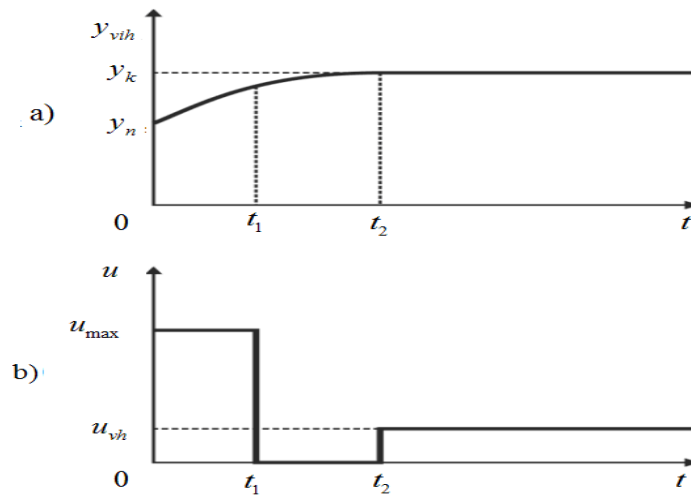
This bench provides settlement of a wide range of tasks related to study of technical automation systems facilities, research of identification methods and principles of technological objects control, acquiring of practical skills of automatic system programming in real-time scale [5]. However, basic hardware and software facilities of laboratory bench do not provide optimal ACS research what limits its application for educational purposes [6], [7].

Dynamic model of the chamber for control channel “intensity of current in electric heater – air temperature inside thermal unit” (centrifugal blower rotation frequency 50 Hz, screen fully opened) is a second-order aperiodic link with response

function  $W(p) = k / (T_2 p^2 + T_1 p + 1)$ . Here  $k = 0,845$  – amplification factor,  $T_1 = 3,677$  and  $T_2 = 3,362$  – response time [8].

Generally, the task for optimal control in the context of its operation speed involving Pontriagin's maximum principle shall be defined as follows. Controlled object shall be transferred from its initial state  $y_n$  to temporal value  $t = 0$  to final state  $y_k$  for minimal time period with relay control action with maximum and minimal value of controlling actions applied,  $U_{\max}$  and  $U_{\min}$  respectively. Hence thermal unit is described by second order dynamic equation, for the purposes of its control, according to n-intervals, 2 control intervals (one switch of controlling action) is enough [2]. At that  $U_{\min} = 0$  as there are no mechanisms capable to cool air in thermal unit.

Fig. 4 show changes of output value  $y_{vih}$  and controlling action  $U$  respectively if  $y_k > y_n$ , and Fig. 5 – if  $y_k < y_n$ . Let's write the patterns of change of output value  $y_{vih}$  and its derivative  $\dot{y}_{vih}$  in temporal values  $t = 0$ ,  $t = t_1$  and  $t = t_2$ .



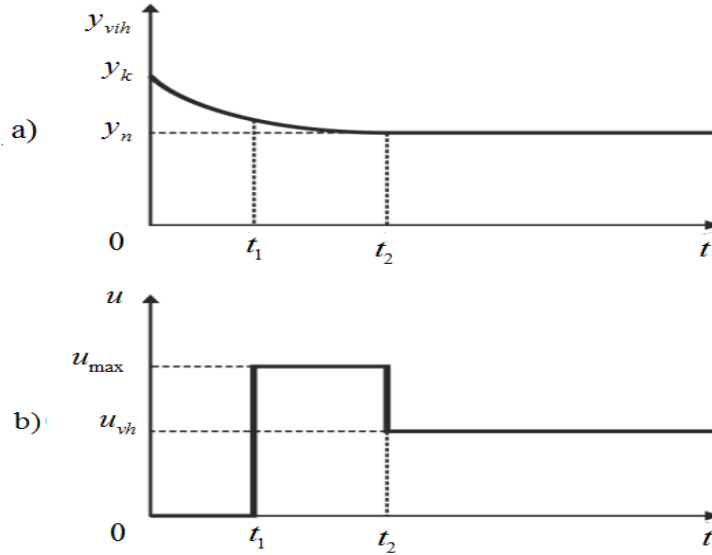
**Fig. 4. Control of object if  $y_k > y_n$  : a) change of output value; b) change of controlling action**

At the end of the second controlling interval (time value  $t = t_2$ ):

$$\begin{cases} y_{vih} = U_{\min(\max)} + C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} + C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \\ \dot{y}_{vih} = -\alpha_1 C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} - \alpha_2 C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \end{cases} \quad (1)$$

Considering that transition process at the end of the second controlling interval must end, it's obvious that  $y_{vih} = y_k$ , and  $\dot{y}_{vih} = 0$ . Then, the system of equations (1) becomes the following form:

$$\begin{cases} y_k = U_{\min(\max)} + C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} + C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \\ 0 = -\alpha_1 C_1^2 e^{-\alpha_1 t_2} - \alpha_2 C_2^2 e^{-\alpha_2 t_2} \end{cases} \quad (2)$$



**Fig. 5. Control of object if  $y_k < y_n$  : a) change of output value; b) change of controlling action**

At the beginning of the first controlling interval (time value  $t = 0$ ):

$$\begin{cases} y_{vih} = U_{\min(\max)} + C_1^1 e^{-\alpha_1 \cdot 0} + C_2^1 e^{-\alpha_2 \cdot 0} \\ \dot{y}_{vih} = -\alpha_1 C_1^1 e^{-\alpha_1 \cdot 0} - \alpha_2 C_2^1 e^{-\alpha_2 \cdot 0} \end{cases} \quad (3)$$

At the beginning of the first controlling interval  $y_{vih} = y_n$ , and  $\dot{y}_{vih} = 0$ . That's why the system of equations (3) becomes the following form:

$$\begin{cases} y_n = U_{\min(\max)} + C_1^1 + C_2^1 \\ 0 = -\alpha_1 C_1^1 - \alpha_2 C_2^1 \end{cases} \quad (4)$$

At the temporal value  $t = t_1$  (the end of the first controlling interval and beginning of the second controlling interval) the value  $y_{vih}$ , estimated using



expression (2) or expression (4) must be equal. The values of  $\dot{y}_{vih}$  must be equal too.

Then

$$\begin{cases} kU_{\min(\max)} + C_1^1 e^{-\alpha_1 t_1} + C_2^1 e^{-\alpha_2 t_1} = \\ = kU_{\min(\max)} + C_1^2 e^{-\alpha_1 t_1} + C_2^2 e^{-\alpha_2 t_1} \\ -\alpha_1 C_1^1 e^{-\alpha_1 t_1} - \alpha_2 C_2^1 e^{-\alpha_2 t_1} = \\ = -\alpha_1 C_1^2 e^{-\alpha_1 t_1} - \alpha_2 C_2^2 e^{-\alpha_2 t_1} \end{cases} \quad (5)$$

In formulas (1) – (5) in brackets a ration of controlling actions has been specified if  $y_k < y_n$ .  $C_1^1, C_2^1, C_1^2, C_2^2$  – integration constants.

With integration constants  $C_1^1, C_2^1, C_1^2$  and  $C_2^2$  excluded from the systems of equations (2), (4) and (5) and taking under consideration that  $U_{\min} = 0$ , we'll have the following systems of equations for temporal values defining  $t_1$  and  $t_2$ :

$$\begin{cases} \left(1 - \frac{y_n}{kU_{\max}}\right) + \frac{y_k e^{\alpha_1 t_1}}{kU_{\max}} - e^{\alpha_1 t_1} = 0 \\ \left(1 - \frac{y_n}{kU_{\max}}\right) + \frac{y_k e^{\alpha_2 t_1}}{kU_{\max}} - e^{\alpha_2 t_1} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

and

$$\begin{cases} \left(1 - \frac{y_k}{kU_{\max}}\right) e^{\alpha_1 t_1} - e^{\alpha_1 t_1} + \frac{y_n}{kU_{\max}} = 0 \\ \left(1 - \frac{y_k}{kU_{\max}}\right) e^{\alpha_2 t_1} - e^{\alpha_2 t_1} + \frac{y_n}{kU_{\max}} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

The system of equations (6) has been generated for the purposes of  $y_k > y_n$ , and the system of equations (7) – for the purposes of  $y_k < y_n$ . At the end of the second controlling interval the output value  $y$  takes prescribed value  $y_k$ , and controlling value  $U$  – the value as follows:

$$\left\{ U_k = \frac{y_k}{k} \right. \quad (8)$$

Verification of mathematical expressions (6) – (8) has been delivered in the course of thermal unit control. The temperature of the air  $T$  (°C) heated inside

container has been taken as output value, and intensity of current  $i$  (mA) of electric heater power transducer has been taken as controlling action. Correlation between current intensity  $i$  and relative capacity value  $P$  (%) has the following form:

$$P = 6,25i - 25. \quad (9)$$

Maximum and minimal controlling current value equal to  $i_{\max} = 20$  mA,  $i_{\min} = 0$  mA. Transfer function of this object involving the channel “current intensity – air temperature” has the following form:  $W(p) = 0,845 / (3,362p^2 + 3,677p + 1)$ .

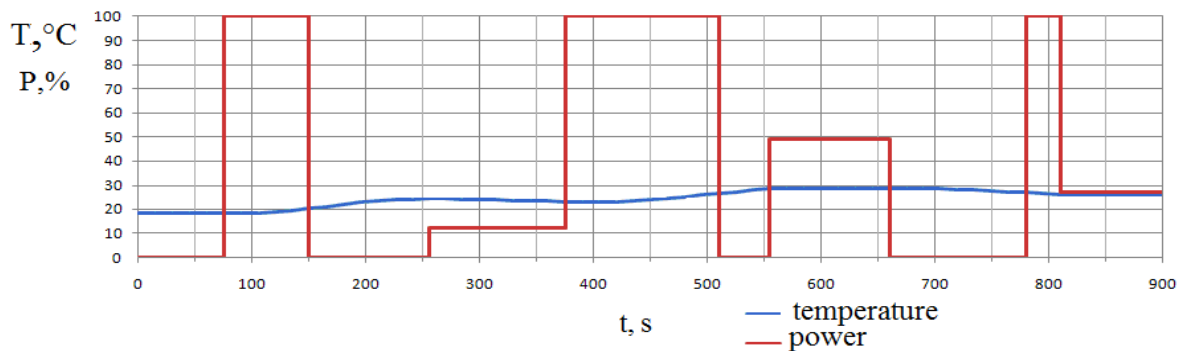
The roots of characteristic equation are respectively equal:  $-\alpha_1 = -0,59$  and  $-\alpha_2 = -0,51$ . Air temperature in thermal unit should have been changed consequently from  $0^\circ\text{C}$  to  $5^\circ\text{C}$ , from  $5^\circ\text{C}$  to  $10^\circ\text{C}$  and from  $10^\circ\text{C}$  to  $7^\circ\text{C}$  with fixation of established modes within the flow of time  $\Delta t$  for the purposes of estimation of values of output value derivatives at the end of the second controlling interval. Table 2 contents output data for experiment on laboratory bench ( $i_k$  - value of controlling action at the end of the second controlling interval).

**Table 2. Source data for experiment**

| Change of T from $0^\circ\text{C}$<br>to $5^\circ\text{C}$ |                      |                           |                  | Change of T from $5^\circ\text{C}$<br>to $10^\circ\text{C}$ |                      |                           |                  | Change of T from $10^\circ\text{C}$<br>to $7^\circ\text{C}$ |                      |                           |                  |
|--|----------------------|---------------------------|------------------|---|----------------------|---------------------------|------------------|---|----------------------|---------------------------|------------------|
| $t_1,$<br><i>min</i>                                       | $t_2,$<br><i>min</i> | $\Delta t,$<br><i>min</i> | $i_k, \text{mA}$ | $t_1,$<br><i>min</i>  | $t_2,$<br><i>min</i> | $\Delta t,$<br><i>min</i> | $i_k, \text{mA}$ | $t_1,$<br><i>min</i>  | $t_2,$<br><i>min</i> | $\Delta t,$<br><i>min</i> | $i_k, \text{mA}$ |
| 1,51   | 2,69                 | 2,31                      | 5,92             | 2,37  | 2,93                 | 2,07                      | 11,83            | 1,77  | 2,29                 | 2,72                      | 8,28             |

The results of the experiment registered immediately on controlled object are illustrated on Fig.6. As it follows from diagram on Fig. 6 the results of thermal object control prove high consistency of theoretical calculations and experiment data. Upon the end of the second controlling interval no changes of output variable  $T$  are available and its value upon the end of transition processes correspond to target value (with initial value of air temperature inside the container  $T_H = 18,4^\circ\text{C}$  taken under consideration).

Control systems (6) and (7) are transcendent and don't have analytical solution. They are possible to settle by means of either graphical or numerical methods. The core operation units of VIPA System 200 V PLC are not designated for solution of equation systems of this class.



**Fig. 6. Diagrams of temperature and capacity change in the course of experiment**

However, modification of software for PC on the basis of HMI/SCADA of Zenon Supervisor 7.0 system in the context of optimization algorithms implementation allows to deliver optimal control in the course of operation speed in real time scale.

### Summary

1. Based on hardware and software means of laboratory bench, development of optimal and quasi-optimal automated control system in the context of its operation speed is possible.

2. Implementation of optimal ACS in the context of its operation speed in real time scale predetermines formation of predicate model of thermal unit within feature space of controlling intervals and initial and final states.

3. Construction peculiarities of laboratory bench allow application of output data for the purposes of research papers.

### References

1. Pritchenko, O.V. (2010), "The concept of the incentives of small-sized laboratory stands", Schokvartalniy naukovo-virobnichiy zhurnal "Elektromehanichni i energozberigayuchi sistemi", Kremenchuk: KDPU, Vol. 2., pp. 56-61.
2. Pontryagin, L.S. (1998), *Primenenie printsipa maksimuma v optimalnom upravlenii*. [The application of the maximum principle in optimal control], Nauka, Moscow, Russia.
3. Triputen, N.M. and Boyko, O. (2014), "Development of a fuzzy regulator for controlling a thermal object based on a logic programmable controller", *Materiali XI mizhnarodnoyi konferentsiyi Problemi rozvitku vprovadzhennya Informatsiynih tehnologiy v naukovu ta innovatsiynu sferu osviti* [Materials of the XI International Conference Problems of the development of the introduction of information technologies in the scientific and innovative sphere of education], Dnipropetrovsk, NGU, November 25, 2014, pp.24-25.
4. Shishov, O.V. (2015), *Elementyi sistem avtomatizatsii. Kontrolleryi, operatornyie paneli, moduli udalyonnogo dostupa: laboratorniy praktikum* [Elements of automation systems. Controllers, operator panels, remote access modules: laboratory practice], Direkt-Media, Moscow, Russia – Berlin, Germany.
5. Rajib Mall. (2006), *Real-time Systems: Theory and Practice*. IGI Global.

6. Scherbakov, A. and Gubkina, V. (2013), “Fuzzy Logic Systems”, The 8th International Forum for Students and Young Researches WIDENING OUR HORIZONS, April 11-12, Volume 2, p.78.

7. Belikov, D. and Nechay, N. (2014), “Extreme Control System for a Thermal Object”, The 9th International Forum for Students and Young Researches WIDENING OUR HORIZONS, April 3-4, Volume 2, p.92.

8. Triputen, N.M. and Belikov, D.V. (2014), “Identification of the thermal object”, Materiali XI mizhnarodnoyi konferentsiyi Problemi rozvitku vprovadzhennya Informatsiynih tehnologiy v naukovu ta innovatsiynu sferu osviti [Materials of the XI International Conference Problems of the development of the introduction of information technologies in the scientific and innovative sphere of education], Dnipropetrovsk, NGU, November 25, 2014, pp.18-19.

# ENGINEERING METHOD FOR CALCULATING THE WEAR OF A CYLINDRICAL SLIDING BEARINGS

Dykha O., Babak O., Makovkin O., Dytyniuk V.

Khmelnytskyi National University, Ukraine

## Introduction

The creation of design models of wear resistance of modern friction units of machines is complicated by the many-sided nature of the interrelationships of various factors during wear. As a rule, these connections are nonlinear. That in turn leads to mathematical difficulties in solving wear contact problems. Often the solution is possible only in numerical form.

In many energy and transport vehicles (internal combustion engines, turbines, cars, etc.), plain bearings are one of the main components that determine the durability and reliability of the machine as a whole. Analysis of the current state of methods for calculating and designing sliding bearings shows that they are lagging behind the general level and requirements. Therefore, for engineering applications, it is advisable to use approximate approaches. In this direction there is a small number of studies presented below.

In paper [1] using a generalized cumulative wear model, the tribocontact problem has been solved for a sliding bearing, the shaft of which has small contour lobing with various forms. The effect of lobing on the bearing life has been investigated at the complete single-area and mixed-area contact. It has been found that the ovality and trilobing of the shaft promote a rise in the service life. Features of this effect are presented graphically.

The evolution of contact pressure is analyzed in paper [2] during the wear of a thrust sliding bearing following the law of nonlinear wear. The coating's deformation properties are described using the nonlinear Winkler model. It is demonstrated that steady wear can exist with a definite contact pressure distribution.

In article [3] the problem of simultaneous wear of an elastic cylinder and a cylindrical notch surface in an elastic space is discussed (in the planar formulation). The contact problem formulation omits the limitation of the contact area. The contact is solved in steps; the linear wear and contact parameters of the shaft and bush are solved at each step in time. The Multopp-Kalandia method is applied to the solution of the contact problem. The constructed model is used to investigate the evolution of contact pressure and form changes of the shaft and bush in the process of wear.

The parameter of the wear law of bronze coupled with steel under dry friction is identified by comparing the results of mathematical modeling with experimental data [4]. The wear tests were carried out according to the steel-ball–flat-bronze sample scheme under relative reciprocal sliding of the tested samples. The modeling of the wear of the sample was based on asymptotic behavior of the solution of the corresponding wear-contact problem. The effectiveness of using this asymptotic behavior to identify the wear law based on the tribological test results has been demonstrated.

Based on pin-on-disk friction and wear testing, the parameters of the wear rate as a function of sliding velocity and pressure with account for their distribution over the contact spot are computed in paper [5]. The parameters are compared to those obtained assuming a uniform distribution of velocities and pressures. It is assumed in the work that the contact spot does not vary, the disk does not wear out, and the study is carried out under steady-state wear conditions.

The kinetics of sample wear on a four-ball friction-testing machine using various lubricants is analyzed in [6]. It is shown that the growth of the contact-patch area on the balls obeys the kinetic second-order equation, which, within the limits, corresponds to catastrophic wear. The linear wear rates and the strain level of the ball material in different lubricating media are estimated.

The article [7] employs an adaptive wear modeling method to study the wear progress in radial sliding bearings contacting with a rotary shaft. Mixed Lagrangian–Eulerian formulation has been used to simulate the contact condition between the bearing and the shaft, and the local wear evolution is modeled using the Archard equation. In the developed wear processor algorithm, not only remeshing is performed on the contact elements, but also is executed for their proximity elements. In this way the wear simulation becomes independent of the size of the contact elements. Validation was done for a laminated polymeric composite bearing. The composite has been modeled as a linear orthotropic material. The wear coefficients were obtained from flat-on-flat experiments and were applied as pressure and velocity dependent parameters in the wear processor. Finally, the effect of the clearance on the wear of the radial bearings has been studied numerically. The simulations also demonstrate how the contact pressure evolves during the wear process, and how the clearance influences this evolution.

In our works [8 - 10], we have proposed experimental design approaches for solving wear-contact problems for sliding bearings. On the basis of direct and inverse wear-contact tasks, algorithms are presented for calculating bearing wear and identifying the parameters of their wear laws. At the same time there are difficulties in the engineering implementation of the solutions obtained.

Therefore, for practical use, algorithms for calculating the service life of bearings using simple algebraic dependencies and formulas are necessary.

### Direct wear-contact task for radial sliding bearing

Under the wear contact task is the task of determining the magnitude of the maximum linear wear in a bearing, depending on the friction path. The structural data, load, kinematic parameters of the bearing, as well as the wear law with the parameters of wear resistance are taken as the initial data.

Cylindrical sliding bearings represent the internal contact of two cylinders of similar radii with a radial clearance  $\Delta$  (Fig. 1). The shaft of radius  $R_1$  of the bearing is loaded with force  $Q$  and performs rotational movement with sliding speed  $V$  along sleeve 2 with radius  $R$ . In the process of force interaction of the shaft and bearing sleeve, a contact pressure  $\sigma$  appears along the contact arc  $2\varphi_0$  in the place of contact of two cylinders.

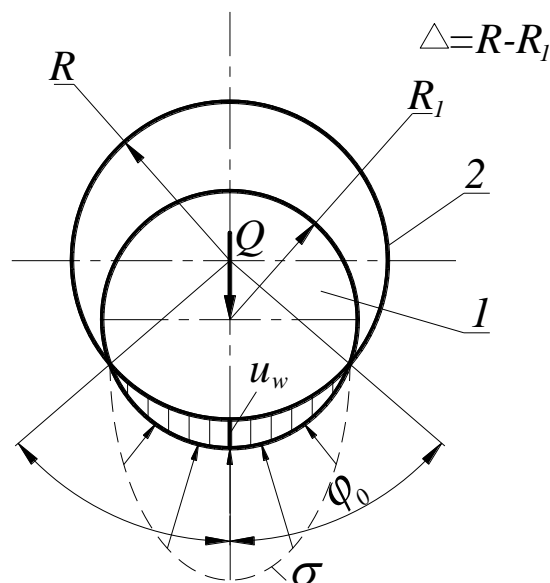


Fig. 1. The design scheme of the cylindrical sliding bearing

It is assumed that the wear resistance of the shaft is much greater than the wear resistance of the sleeve (straight friction pair). During operation, an arc zone is

formed on the inner surface of the sleeve, with a maximum value at the center of contact  $u_w$ .

For an analytical solution of the problem of calculating the wear of a sliding bearing, the mathematical form of the law of wear is taken as the initial value. The representation of such laws as a dependence of the wear rate on the determining parameters of the process (contact pressure, sliding speed, temperature, etc.) is widely used. In our case, the law (model) of wear is adopted in the form of a dimensionless complex of determining factors: For an analytical solution of the problem of calculating wear of a sliding bearing, the mathematical form of the law of wear is taken as the initial value. The representation of such laws as a dependence of the wear rate on the determining parameters of the process (contact pressure, sliding speed, temperature, etc.) is widely used. In our case, the law (model) of wear is adopted in the form of a dimensionless complex of determining factors:

$$\frac{du_w}{dS} = K_w f \left( \frac{\sigma(\varphi_0)}{E} \right)^m \left( \frac{V\Delta}{a} \right)^n, \quad (1)$$

where  $u_w$  is the bearing wear;

$S$  is the friction path;

$f$  is the coefficient of friction in a pair of shaft-sleeve;

$\sigma$  is the normal contact pressure;

$E$  is the modulus of elasticity of the sleeve material;

$V$  is the sliding speed;

$R$  is the radius of the bearing (sleeve);

$a$  is the coefficient of thermal diffusivity of the bearing material;

$K_w, m, n$  are the wear resistance parameters;

$\varphi_0$  is the half angle of the contact shaft and sleeve.

To calculate the maximum wear we use the values of the maximum contact pressure. With a known contact angle, the maximum contact pressures can be determined by the formula:

$$\sigma_0 = \frac{Q}{bR_1} \frac{1 - \cos \varphi_0}{\varphi_0 - \sin \varphi_0 \cos \varphi_0}. \quad (2)$$

We use the approximate decomposition of trigonometric functions in the series:



$$\sigma_0 = \frac{Q}{bR_1} \frac{1 - 1 + \frac{1}{2}\varphi_0^2}{\varphi_0 - \left(\varphi_0 - \frac{1}{6}\varphi_0^3\right)\left(1 - \frac{1}{2}\varphi_0^2\right)} \cong \frac{3Q}{4bR_1\varphi_0}, \quad (3)$$

where  $Q$  is the bearing load;

$b$  is the width of the contact shaft and sleeve.

The relationship between maximum wear  $u_w$  and the contact angle is determined from the geometry of the internal contact of two cylinders with a radial initial clearance  $\Delta$  according to:

$$u_w = \Delta \left( \frac{1}{\cos \varphi_0} - 1 \right). \quad (4)$$

Where the contact angle is determined:

$$\varphi_0 = \arccos \left( \frac{\Delta}{u_w + \Delta} \right). \quad (5)$$

More convenient approximate algebraic formulas for determining the contact angle are possible. Formula (5) by decomposition of the cosine in a power series and discarding the members of the highest order of smallness is reduced to the form:

$$\varphi_0 = \left( \frac{2u_w}{u_w + \Delta} \right)^{\frac{1}{2}} 2 = \left( \frac{2}{1 + \Delta/u_w} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{2(u_w/\Delta)}{u_w/\Delta + 1} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

From (5) in the decomposition of the cosine:

$$\cos \varphi_0 = 1 - \frac{1}{2}\varphi_0^2 = \frac{\Delta}{u_w + \Delta};$$

$$\varphi_0 = \left( \frac{2u_w}{u_w + \Delta} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Expression (5) can be inverted and presented as a secant:

$$\sec \varphi_0 = \frac{u_w + \Delta}{\Delta} = \frac{u_w}{\Delta} + 1,$$

or

$$\sec \varphi_0 = 1 + \frac{1}{2} \varphi_0^2 = \frac{u_w}{\Delta} + 1,$$

$$\varphi_0 = \left( 2 \frac{u_w}{\Delta} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

From the fact that (6) goes into (7) with small displacements, it follows that expression (7) is more accurate. And the decomposition of the secant with the same number of members is less accurate than the decomposition of the cosine. This is confirmed by a numerical estimate of the accuracy of determining the contact angle using formulas (5), (6), and (7). Comparison results for different  $u_0 / \Delta$  are presented in tab. 1.

**Table 1. Comparison of the results of calculating the angle for different formulas**

| $u_0 / \Delta$<br>Formulas | 0,1   | 0,5   | 1,0   | 1,5   | 2,0   |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (5)                        | 24,62 | 48,19 | 60    | 66,42 | 70,53 |
| (6)                        | 24,43 | 46,78 | 57,3  | 62,76 | 66,16 |
| (7)                        | 25,62 | 57,3  | 81,03 | 99,24 | 114,6 |

From the numerical comparison it follows that the calculations by the formula (7) obtained by the decomposition of the secant are close to the calculations by the original formula (5) only at angles not exceeding  $20^\circ$ .

From formula (7), the dependence for wear on the contact angle in a bearing will look like:

$$u_w = \Delta \frac{\varphi_0^2}{2}. \quad (8)$$

The resulting expression (8) is differentiated along the path of friction and together with expression (3) we substitute into (1). As a result, we get:

$$\Delta \varphi_0(S) \frac{d\varphi_0}{dS} = K_w f \left( \frac{3Q}{4bR_1 \varphi_0(S) E} \right)^m \left( \frac{V\Delta}{a} \right)^n. \quad (9)$$

Or:

$$\Delta \varphi_0^{m+1} d\varphi_0 = K_w f \left( \frac{3Q}{4bR_1 E} \right)^m \left( \frac{V\Delta}{a} \right)^n dS. \quad (10)$$

This is an ordinary differential equation with separable variables. After integrating equation (10), we obtain:

$$\frac{\varphi_0^{m+2}}{m+2} = \frac{K_w f}{\Delta} \left( \frac{3Q}{4bR_1 E} \right)^m \left( \frac{V\Delta}{a} \right)^n S + C. \quad (11)$$

If we assume that in the initial period of time  $S=0$  the contact angle is zero  $\varphi_0=0$ , then the integration constant  $C=0$ .

Thus, the dependence for the contact angle will take the form:

$$\varphi_0 = \left( \frac{(m+2)K_w f}{\Delta} \left( \frac{3Q}{4bR_1 E} \right)^m \left( \frac{V\Delta}{a} \right)^n S \right)^{\frac{1}{m+2}}. \quad (12)$$

Finally, taking into account expression (8), the calculation formula for maximum wear in a sliding bearing, depending on the friction path, will take the form:

$$u_w = \frac{\Delta}{2} \left( (m+2)K_w f \Delta^{n-1} \left( \frac{3Q}{4bR_1 E} \right)^m \left( \frac{V}{a} \right)^n S \right)^{\frac{2}{m+2}}. \quad (13)$$

The obtained dependence for the calculation of wear allows you to analyze the effect on wear of structural and operational parameters of bearings. This makes it possible to choose the optimal parameters of the bearings at the stage of design preparation of the machine according to the criterion of maximum wear resistance.

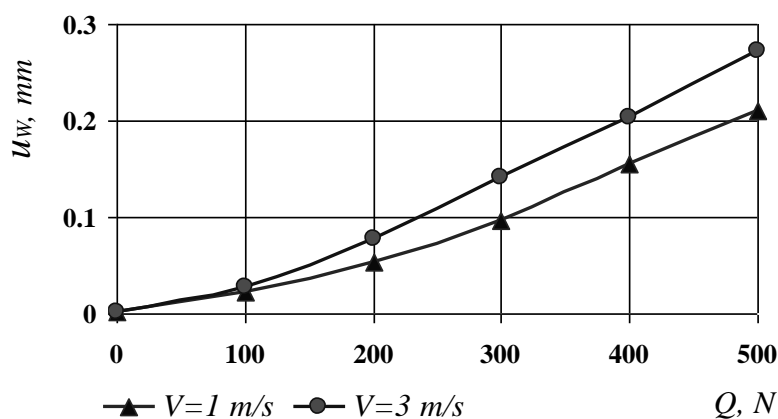
### **Example of calculating the wear of a sliding bearing.**

We take the following initial data:

1. Clearance in bearing  $\Delta = 0.05$  mm;
2. Wear resistance parameters:  $K_w = 1.76 \cdot 10^{10}$ ;  $m = 1.58$ ;  $n = 1.14$ ;
3. Coefficient of friction  $f = 0.05$ ;
4. Normal bearing load:  $Q = 100 \dots 500$  N;

5. Bearing working width  $b = 15$  mm, bearing radius  $R_1 = 25$  mm;
6. The modulus of elasticity of bronze  $E = 1.15 \cdot 10^5$  MPa;
7. Sliding speed in bearing  $V_1 = 1$  m/s,  $V_2 = 3$  m/c;
8. Coefficient of thermal diffusivity of bronze  $a = 110$  m<sup>2</sup>/s;
9. Bearing life  $T = 100$ h ( $S = 10^8$  mm).

The results of the calculation of wear as a function of loading and sliding speed are shown in Fig. 2.



**Fig. 2. The wear as a function of loading and sliding speed in sliding bearing  
To determine the parameters of the law of wear**

In the process of solving the direct wear-contact problem, the parameters of the law of wear were taken known as the initial data. However, the determination of wear parameters is also a rather complicated problem. This is due to the need for experimental wear tests. Moreover, the test conditions should be close to the actual operating conditions of the friction unit. In addition, the results of direct wear tests allow us to determine the dependence of wear on the time or friction path, and not on the parameters of the law of wear. This requires the solution of reverse wear-contact problems.

Let us briefly consider the method of determining the parameters of the law of wear as applied to a sliding bearing in the form (1).

Let, according to test results, the approximation of the dependence of the contact arc upon bearing wear on the friction path in the form:

$$\varphi_0 = cS^\beta, \quad (14)$$

where  $c, \beta$  is the parameters of power approximation of the experimental wear curve.

We integrate the law of wear (1) along the path of friction and substitute the expression for wear (8) in the left side, and the expression for maximum contact pressures (3) in the right side:

$$\Delta \frac{\varphi_0^2}{2} = K_w f \int_0^S \left( \frac{3Q}{4bR_1\varphi_0(S)E} \right)^m \left( \frac{V\Delta}{a} \right)^n dS. \quad (15)$$

After substituting the approximation (14) and integration, we obtain:

$$\Delta \frac{c^2 S^{2\beta}}{2} = K_w f \left( \frac{3Q}{4bR_1cE} \right)^m \left( \frac{V\Delta}{a} \right)^n \frac{S^{1-\beta m}}{1-\beta m}. \quad (16)$$

From the condition of satisfiability of equation (16) we obtain:

$$2\beta = 1 - 2\beta m. \quad (17)$$

From:

$$m = \frac{1 - 2\beta}{\beta}. \quad (18)$$

We introduce the notation:  $\frac{3Q}{4bR_1E} = P$ . Then, after substitutions and transformations, equation (16) takes the form:

$$c^2\beta = \frac{K_w f}{\Delta} \left( \frac{P}{c} \right)^m \left( \frac{V\Delta}{a} \right)^n. \quad (19)$$

To determine the second parameter, tests are performed at two values of the slip velocity. As a result, we obtain two approximating functions of the form (14). After substituting the parameters of these functions into equation (19), we obtain the system of equations:

$$\left. \begin{aligned} c_1^2\beta &= \frac{K_w f}{\Delta} \left( \frac{P}{c_1} \right)^m \left( \frac{V_1\Delta}{a} \right)^n; \\ c_2^2\beta &= \frac{K_w f}{\Delta} \left( \frac{P}{c_2} \right)^m \left( \frac{V_2\Delta}{a} \right)^n. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Dividing one equation by another, we find an expression for the parameter of the law of wear  $n$  :

$$n = (m + 2) \frac{\lg(c_1 / c_2)}{\lg(V_1 / V_2)}. \quad (21)$$

To determine the coefficient  $K_w$  use one of equations (20):

$$K_w = \frac{c^2 \beta \Delta}{f} \left( \frac{c_1}{P} \right)^m \left( \frac{a}{V_1 \Delta} \right)^n. \quad (22)$$

Thus, for the correct use of the formula for the calculation of wear (13), the parameters of the law of wear should be obtained by the above method. The solution of direct and inverse wear-contact problems in conjunction with laboratory tests allows to obtain adequate design models of wear.

We also write the solution of the direct problem for a sliding bearing, if the law of wear is adopted in the classical form:

$$\frac{du_w}{dS} = K_w \sigma^m(\varphi_0). \quad (22)$$

It is for this form of the law of wear that wear resistance parameters are given in reference books.

After substitution of the equilibrium equation (3) and the geometrical condition (8) into this wear law, after transformations, we obtain:

$$u_w = \frac{\Delta}{2} \left( \frac{(m+2)K_w}{\Delta} \left( \frac{3Q}{4bR_1} \right)^m S \right)^{\frac{2}{m+2}}. \quad (23)$$

The resulting formula contains only the parameters of the law of wear and the source data for the calculation of the bearing.

## Conclusion

It is shown that the calculated estimate of wear of friction units is difficult due to the complexity of the interaction processes of the elements of the tribosystem. Nonlinearity of wear processes leads to mathematical difficulties in the construction of wear models. The paper proposes an approximate method for solving a direct wear-contact problem for a sliding bearing. The calculation was carried out for

maximum contact pressures at the center of the wear area. Trigonometric functions in the solution process were replaced by approximate power series expansions. An example is given of the numerical implementation of the obtained closed formula for calculating the wear of a sliding bearing.

## References

1. Chernets, M. V. (2015). Prediction of the life of a sliding bearing based on a cumulative wear model taking into account the lobing of the shaft contour. *Journal of Friction and Wear*, 36(2), 163-169. doi:10.3103/S1068366615020038.
2. Soldatenkov, I.A. (2010). Evolution of contact pressure during wear of the coating in a thrust sliding bearing. *Journal of Friction and Wear*, 31(2), 102-106. doi:10.3103/S1068366610020029.
3. Goryacheva, I.G. & Mezrin, A.M. Simulation of combined wearing of the shaft and bush in a heavily loaded sliding bearing *J. Frict. Wear* (2011) 32: 1. doi:10.3103/S1068366611010053.
4. Soldatenkov I. A., Mezrin A. M., Sachek B. Ya. Implementation of asymptotics of the wear contact problem solution for identifying the wear law based on the results of tribological tests, *Journal of Friction and Wear*, 2017, 38(3), pp. 173-177.
5. Mezrin, A.M. (2009). Determining local wear equation based on friction and wear testing using a pin-on-disk scheme. *Journal of Friction and Wear*, 30(4), 242-245. doi:10.3103/S1068366609040035.
6. Bulgarevich, S.B., Boiko, M.V., Lebedinskii, K.S., Marchenko D.Yu. (2014). Kinetics of sample wear on four-ball friction-testing machine using lubricants of different consistencies. *Journal of Friction and Wear*, 35(6), 531–537. doi:10.3103/S106836661406004X.
7. Rezaei, A., Paepegem, W.V., Baets, P.D., Ost, W., Degrieck, J. (2012). Adaptive finite element simulation of wear evolution in radial sliding bearings. *Wear*, 296(1-2), 660-671. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2012.08.013>.
8. Dykha, A.V., Kuzmenko, A.G. (2015). Solution to the problem of contact wear for four-ball wear-testing scheme. *Journal of Friction and Wear*, 36(2), 138-143. doi: 10.3103/S1068366615020051.
9. Dykha, A., Sorokaty, R., Makovkin, O., Babak, O. Calculation-experimental modeling of wear of cylindrical sliding bearings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, 5/1 (89), 51-59. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109638.
10. Dykha A., Marchenko D. Prediction the wear of sliding bearings. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, 7 (2.23), pp. 4–8. doi: 10.14419/ijet.v7i2.23.11872.

# QUALITY CONTROL OF FRYING OILS BY SELECTED OPTICAL METHODS OF ANALYSIS

Zashchepkina N., Taranov V., Nakonechnyi O.

<sup>1</sup>National technical university of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute” – Kyiv, Ukraine

## Introduction

The popularity of fried food worldwide is very high. Among the methods of heat treatment to which culinary fats of vegetable and animal origin are exposed in the process of cooking, the most significant influence on the quantitative and qualitative composition of the products is frying.

The range of frying products, fryer production technologies, the nature and properties of frying oils are constantly being expanded and supplemented. Basically, this is caused by the need to reduce the cost of primary raw materials, the main component of which is culinary frying oils. Namely - the replacement of relatively expensive vegetable oils (sunflower, olive) with their more affordable analogues - rapeseed, palm and oil semi-finished products.

Foods that are fried are complex multicomponent systems characterized by different composition, structural features, chemical and physical properties. Under the influence of high temperatures, they undergo various changes with the formation of either thermal decomposition products or more complex interaction products. Currently used vegetable oils for deep frying are selected empirically, resulting in the possibility of their further use is determined by a number of indicators. The complexity of the frying system (composition of the fryer oil mixture → object of roasting → physical and chemical processes occurring at high temperatures → formation of degradation products) makes it necessary to establish the kinetic regularities of the processes to develop an assessment of the suitability of the fryer oil mixtures for their further use [3].

At the same time, the widespread use of deep fryers, especially in the area of fast food, requires the use of fast, affordable and relatively cheap control of inputs and frying oils that have been subjected to oxidation, modification and thermal impact in the process of fried produce production. Therefore, it is quite important to use complex methods of express control of informative indicators of deep-frying vegetable oils not only in the process of frying, but also after the processes of their recovery (partial recovery) to determine the suitability for further frying cycles.



## **Presenting main material**

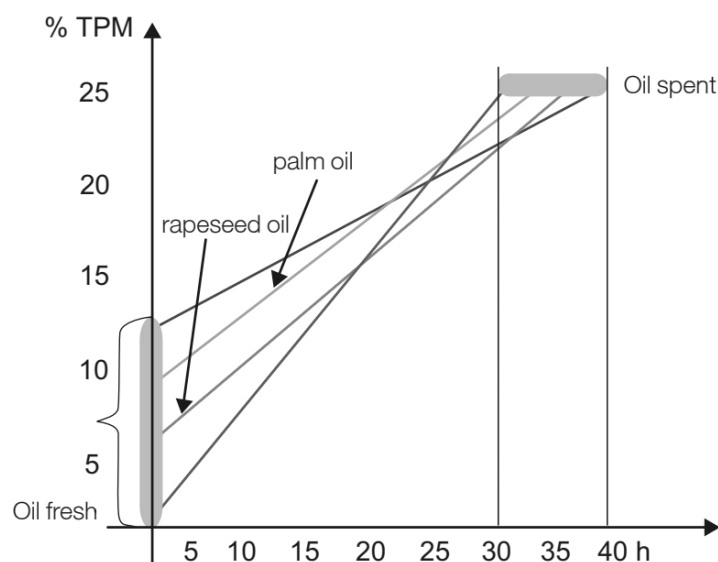
Vegetable oils, which are the basis of deep-frying products, are one of the most important sources of vegetable fats for the human body. For the production of semi-finished products in the food industry, a large number of vegetable oils are used, first of all sunflower oil deodorized (press and extraction), olive oil and oil mixtures that include palm oil of different composition and manufacturing technology - the so-called deep frying oil.

At present, there is no current state standard in Ukraine that regulates the objective physicochemical indicators of the quality of oils and oil mixtures used in the production of deep fat fryers. In 1995, was developed a normative document "Instruction on frying products in the enterprises of nutrition and quality control of fryers", approved by the Ministry of Foreign Economic Relations and Trade of Ukraine. The main disadvantage of this standard is that it does not specify the methods and tools for analyzing the objective physico-chemical parameters of frying oils. This standard does not have effective methods of quality control of modern special frying oils containing lauric oils (coconut, palm kernel), palm oils and olein, as well as special additives that cause the appearance of charcoal products in the process.

Currently, there are 2 of the most common methods that allow the rapid control of frying oil in production conditions;

Free Fatty Acids (FFA) methods are a measure to determine changes that occur in fats when exposed to oxygen in the air at temperature, and also as a result of hydrolysis. The content of free fatty acids in oil, for example, can be measured using indicator strips (for example, the 3M™ Oil Quality Test Strips manufactured by 3M Deutschland GmbH). A special dye is applied to the indicator strip, and after immersion in the oil the color of the strip changes depending on the content of free fatty acids in it [6].

The Total Polar Materials (TPM) method of quantification characterizes the presence of decomposition products resulting from the thermal treatment of oil (free fatty acids, monoglycerides and diglycerides, modifying oxidation products - aldehydes or ketones). The maximum permissible indicator of TPM content according to EU standards is 25%. If this value is exceeded, the frying oil is considered hazardous to use (Fig. 1).



**Fig. 1. Graphical representation of the change of TPM (in%) of deodorized rapeseed and palm fryer oils relative to the duration of roasting (at  $t = 165 \pm 5^\circ\text{C}$ ) [8]**

The capacitive TPM determination method is based on the measurement of the dielectric constant of an oil dispersed system. As the electric charge increases, the polar substances contained in the oil gradually cluster. The higher the content of polar substances in the frying oil, the higher the charge capacity of the capacitor of the primary transducer of the measuring instrument. In this way, the specific amount of polar substances (free fatty acids, monoglycerides and diglycerides) in the oil is measured. This indicator is a measure of the thermal oxidative degradation of the oil.

When working with used frying oils that have undergone the stages of primary mechanical cleaning, filtration and (in some cases) illumination, it is important to determine the degree of their suitability for further use in the production of fryers. It is important to use a comprehensive method of quality control of the recovered frying oil to ensure its safe use.

As part of our research, the methods of fluorescence recombination spectrophotometry and the determination of the size spectra of fryer oils used in food-processing cycles were tested when working with frying oils used in the fast food chains known in Ukraine. These techniques allow for a comprehensive rapid analysis of indicators of frying oils and oil mixtures, characterizing their compliance with the standards of suitability for use.

The advantage of the luminescent method is that to solve many technological problems of using raw materials for the production of deep-frying, today it is possible to use modern metrological equipment of rapid control [2].

Studying the absorption and radiation spectra of any biological objects, including food, allows us to find out which substance is responsible for the process of light absorption and emission. In addition, by placing the maxima on the scale of wavelengths, it is possible to determine the wavelength of light, which is mainly absorbed by this substance. The luminescence intensity and its spectral distribution depend both on the sample being tested and on the choice of its geometric location. For solutions, a linear relationship between the intensity of their luminescence is performed  $I_L$  and the concentration of the luminescent substance  $C$  [9]:

$$I_L = kB_{QLO}I_0\alpha Cd \quad (1)$$

where  $k$  – proportionality factor,  $B_{QLO}$  – luminescence quantum yield,  $I_0$  – the intensity of the exciting light,  $d$  – the thickness of the solution layer,  $\alpha$  – molar absorption coefficient of the substance.

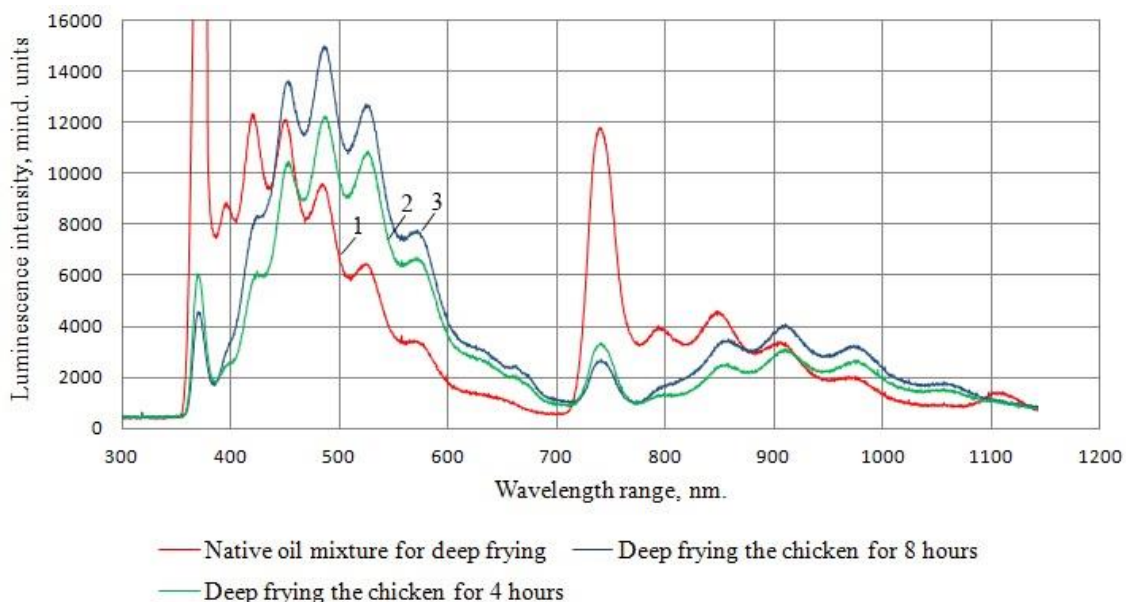
In simplified form, this equation can be written as follows:

$$I_L = I_0K \cdot (1-T) \eta \quad (2)$$

From the total number of absorbed photons, the part equal to the quantum yield of fluorescence  $\eta$  will be illuminated to the sample in different directions and throughout the spectral region of the luminescence. From the luminous flux it is possible to select and focus on the photodetector luminous flux, which will be registered as a photocurrent.

To measure the quantum yield of luminescence of the studied samples, the module of registration of the quantum yield of the luminescence of liquid samples was used on the basis of the "Sensor-L" luminometer which is made by the staff of the Department of Scientific, Analytical and Environmental Devices and Systems of NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". This meter uses the ATmega2560 Serial Approach ADC (ATmega2560-16U Extension Card) with an analog switch. TaoYuan Electron Limited UV LED 365nm 10W UV LEDs with a maximum radiation in the region of 365 nm were used as light sources. The Hamamatsu S13496 photodetector used in the layout of the measuring system worked in photoconductivity mode, providing good linearity of characteristics and low value of dark current during the formation of the analog signal of the meter.

Figure 2 shows the luminescence spectra of a deep-frying oil mixture containing palm oil with the addition of sunflower oil after 4 and 8 hours of roasting of chicken products. The graphs clearly show the dependence of luminescence intensity in conventional units on the dynamic range of measurements at different wavelengths, characterizing the modification changes of the fryer oil mixture. The reliability of the results for each series was at least 0.95.



**Fig. 2. Intensity of quantum yield of luminescence of deep-frying oil solutions: 1 - luminescence spectrum of native deep-frying oil, which was not affected by temperature and oxidation; 2,3 - luminescence spectra of cooled frying oil after one and two cycles of roasting (4 and 8 h respectively) of chicken products**

The results were measured in units of proportionality, which corresponded to the change in the voltage value at the output of the photodetector (10 units = 0.5 mV) in the working range of the photodetector  $U = 2.4-12.4$  V, at a dark current of the photodetector 30 mA and the frequency range work  $f_W = 10-10^3$  Hz. In this case, the entire relative dynamic range of possible voltage values at the output of the photodetector was 20,000 relative units.

The intensity of the quantum yield of the luminescence of the samples of deep fryer oil shows clear differences in quantitative chemical composition due to the presence of fatty acid degradation products and hydrolysis. The shift of the luminescence intensity of the samples of used deep fat oil into the longwave wavelength range is associated with an increase in samples 2 and 3 of a mixture of unmodified and altered triglycerols containing double bonded acids, monomeric

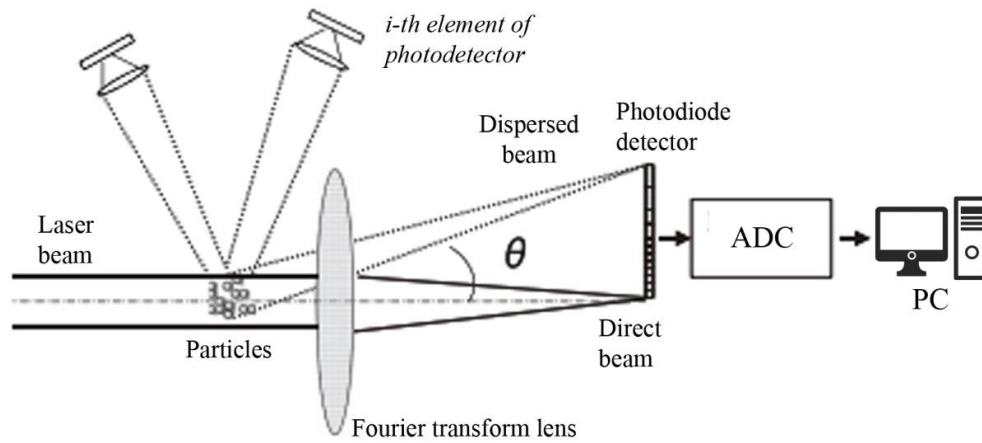
compounds, thermal decomposition products and hydrolysis products peak luminescence in the region of 480-560 nm.).

In parallel, measurements of the total amount of polar substances (TPM) in the samples tested characterizing the presence of decomposition products resulting from the thermal treatment of the oil were carried out. The measurements were carried out with a Testo 270 frying oil quality tester (manufactured by Testo SE & Co. KGaA). These measurements showed the content of total polar substances at  $7.6 \pm 0.1$  units in sample 1 and  $11.4 \pm 0.1$  and  $15.3 \pm 0.1$  units in samples 2 and 3, respectively, indicating good correlation obtained data by the method of conductometry with the characteristic spectrograms of deep-frying oil mixtures. The Testo 270 measuring instrument used in the control measurements is metrologically certified and is suitable for use in catering establishments in the territory of Ukraine as evidenced by the certificate of conformity.

Another problem of quality control of deep-frying oil mixtures that have undergone one or more frying cycles is the control of the presence of ash particles of the fried product, colloidal aggregates, unsaponifiable impurities, and fine dust that can enter the fryer during the frying process. Inclusion data when applying fryer oil in subsequent frying cycles provoke charring of the product to be fried, causing smoke, odor of the finished product and excessive consumption of frying oil. Therefore, after several cycles of frying, depending on the technological map of the manufacturer of the fryer oil and the nature of the product to be fried, it is advisable to stage the cleaning of the fryer oil mixture used in the frying cycles.

To control the quality of the recovered fryer oil, a portable optical express analyzer of original design was used, using the method of low-angle light scattering. This method is based on the diffraction of laser radiation by small-sized particles that deflect a light beam at a large angle, while large-sized particles deflect it at a small angle. Low Angle Laser Light Scattering (LALLS), which is used to determine the particle size distribution, is based on an analysis of the light scattering profile that occurs when a particle is illuminated by laser irradiation. Particle size analysis (PSA) uses the Fraunhofer approximation and backscatter [5].

The sizes of the fine particles in the deep-frying oil mixture can vary within wide enough limits: from 10-20 nm (colloidal particles), up to tens of micrometers (ash and products up).



**Fig. 3. Block diagram of the liquid sample dispersion meter for the LALLS method [7]**

For the oil dispersed medium, the ratio [1] can be used as an informative optical characteristic:

$$R = \frac{1}{l} \frac{P_{\varsigma_1 \varsigma_2}(\lambda)}{P_0(\lambda)} \quad (3)$$

where  $P_{\varsigma_1 \varsigma_2}$  – the power of radiation scattered in the interval of small angles  $\theta_1 < \theta < \theta_2$ ,  $P_0$  – the power (flux) of incident radiation.

If scattered radiation is collected in the interval of body angles  $\theta_1 < \theta < \theta_2$ , the average scattering cross section in this interval will be [4]:

$$\sigma_{\Omega_1, \Omega_2}(\lambda) = \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \frac{d\sigma(\lambda, \Omega)}{d\Omega} d\Omega, \quad (4)$$

If the scattering takes place on the accumulation of particles contained in the test volume of oil when passing a parallel beam through a cell with an oil dispersed phase containing particles scattering, then the total number of particles on which the scattering will be [1, 4]:

$$T = nSl \quad (5)$$

where  $n$  – the number of particles per unit volume;  $l$  – the length of the optical path of the rays in the cell.

From expressions 3-5 it follows that the dimensional radius of the fine particle in the frying oil under study can be found by equation 6:

$$R(\lambda) = \overline{\sigma_{\Omega_1, \Omega_2}}(\lambda)n \quad (6)$$

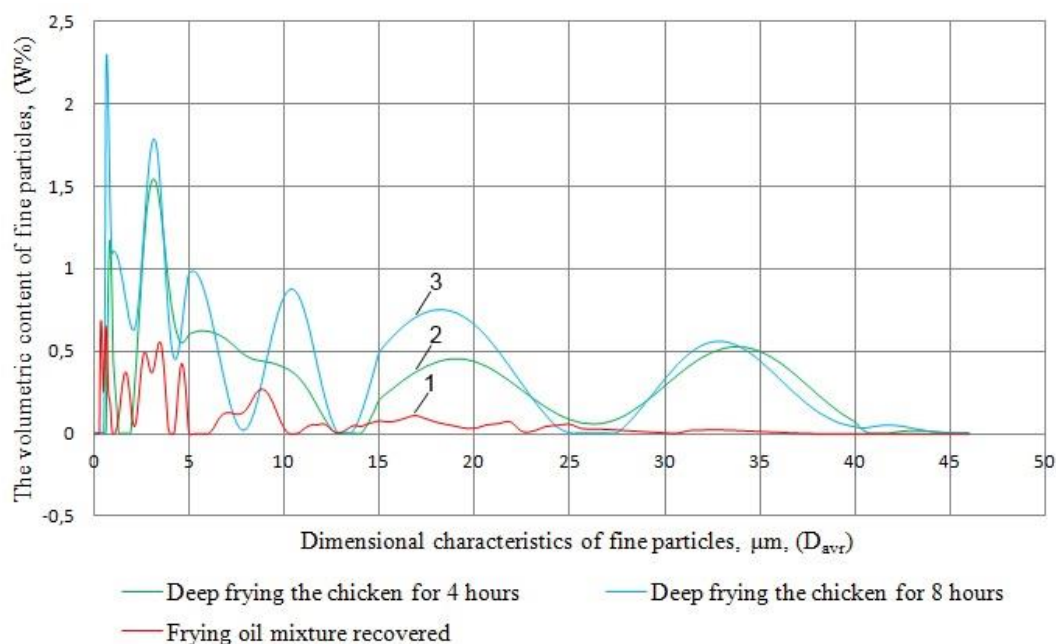
where  $\overline{\sigma_{\Omega_1, \Omega_2}}$  – the scattering cross section of the light flux reflected from the particles in the interval  $\theta_1 < \theta < \theta_2$ , averaged over all particles. The scattering coefficient given depends on the parameters of the scattering particles, the average scattering cross section in a given range of angles, and the number of particles per unit volume (concentration).

The dimensional parameters of the dispersed particles of the fryer oil mixtures that have undergone the recovery process were determined by an optical express analyzer based on the laser dispersion meter "VDL-1M", which is designed to measure the average diameter ( $D_{avr}$ ), counting ( $N_{sm}^3$ ), volume concentration (W%) small particles present in air and liquid solutions. The filtration of the fryer oil mixture used in the frying cycle of frying chicken products was carried out by means of a filter installation of one of the leading manufacturers, which included a vortex apparatus and a fine filter system based on membrane filters. This filtration system filters charred particles, microparticles and suspended particles in the used frying oil mixture up to 5 microns inclusive. The efficiency of this filter system is 6 l / min.

As a result of a series of measurements, characteristic size spectra of the deep-frying oil mixture were obtained, showing the bulk concentrations of fine particles in the samples (Fig. 4).

The experimental data obtained show that after one cycle of frying chicken products in deep-frying oil (4 hours), which has undergone a steady rough cleaning in the fryer with an interval of 1 hour, charred particles of the fried product, microparticles and suspended particles of size fractions of up to 45 m . in quantities up to 0.5% by volume (Fig. 4.2).

After 2 complete cycles of frying (Fig. 4.3), the number of fine particles of 10-50 microns in the deep-frying oil mixture increased slightly and amounted to 0.5-1% by weight depending on the size of the fraction. At the same time, the number of size fractions in the range of 1-10 microns increased by almost 4 times, amounting to more than 4% by volume. These fine particles cause the formation of colloidal conglomerates in the deep-frying oil mixture and, in subsequent frying cycles, cause the appearance of more fine ash fractions, which reduce the convection processes of heat transfer in the oil dispersed phase, produce.



**Fig. 4. Dimensional spectra of small-angle scattering fine particles in a fryer oil mixture: 1 - dimensional spectrum of the recovered fryer oil mixture; 2,3 - dimensional spectra of cooled frying oil after one and two cycles of roasting (4 and 8 h respectively) of chicken products**

The next stage of the research was to measure the size spectra of fine inclusions of the recovered deep-frying oil mixture, which had undergone a step-by-step purification on a filtration unit comprising a vortex apparatus and a fine filter system based on membrane filters. In Fig. 4(1) it is well evident that large-sized fractions were removed from the filtered oil dispersion system. The number of fine inclusions 1-10 microns in size is less than 1% by volume, which allows to judge the sufficient quality of the recovered oil mixture and its suitability for further roasting cycles. In all the above cases, the reliability of the experiment was  $P = 0.95$  at  $n = 40$ . The range of values of the dimensions of fine particles in the frying oil mixture was 1-50  $\mu\text{m}$ .

## Summary

Analyzing the available literature and the results of the above experiments, it can be stated that the applied methods of fluorescence spectrophotometry and measurement of particle size spectra of different nature in the deep-fried oil mixture is a very effective method of quality control as native fried oil mixtures of such mixtures using filtration and purification systems. The offered methods and tools allow to carry out fast and convenient express control of quality of fryer oil in production cycles of production of fryer, to control quality of the recovered fryer oil mixture in intermediate production cycles, and, in case of development of the state



standard for this methodology, can serve as a safe method of production. products in catering establishments.

These techniques effectively complement the conventional conductometric method of quality control of deep-frying oil mixtures, based on the measurement of the total amount of polar substances (TPM), and make it possible to diagnose changes in the quantitative chemical and granulometric composition of the oil dispersion system.

In the course of the research, a full-size model of the measuring instrument was developed, containing a module for recording quantum luminescence output and an optical express analyzer of the author's development (by the method of LALLS). The expediency of the use of objective controls in the process of measuring the informative indices of the frying oils, and of determining their suitability for use in frying food, was confirmed.

## References

1. Goncharuk V.V., Taranov V.V., Nifantova L.S. Express Measurement of Suspended Particles in the Aquatic Environment // Proceedings of the EVTEC-2015 International Congress (Illichivsk, June 8-12, 2015), pp. 63–69.
2. Zashchepkina N.M., Nakonechnyi O.A. Choice of Express Methods for Analysis of Quantitative and Qualitative Parameters of Food Using UV Radiation // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Electric Power and Conversion Engineering, Kh.: NTU "KhPI", 2016, Vol.1, #3(62), pp. 155-161.
3. Simakova I.V. The study of palm oil in the technology of production of fryer products/ abstract of PhD work, St. Petersburg, 2004, pp 25-17.
4. Pleteneva T.V., Popov P.I., Syroeshkin A.V., Berland A.S., Shanazarov K.S., Lesnikov E.V., Bagirova V.L. // Determination of particle size distribution by laser diffraction // Journal of NCESPM, 2007, Vol. 4, pp. 104–107.
5. Taranov V.V. The size spectrum of microgene structures as a physical and chemical state of a liquid system // Bulletin of the Kherson National Technical University, 2017, Vol.3 (66), pp. 93-94.
6. O'Brien R.D. Third edition fats and oils. Formulation and processing for applications. CRC Press. 2009. pp. 468-471.
7. Riefler N., Wriedt Th. Intercomparison of Inversion Algorithms for Particle-Sizing Using Mie Scattering. Particle & Particle Systems Characterization. Vol. 25, Issue3. September 14, 2008. pp. 216-220.
8. Testo270 Field guide datasheet. pp. 32-33. URL: <https://www.testo.com/en-US/testo-270/p/0563-2750> (date of appeal: 02.09.2019).
9. Valeur, B.; Berberan-Santos, M.N. Molecular Fluorescence: Principles and Applications, 2nd ed.; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2013, pp. 131-142.

# LASER WELDING OF STEELS USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Radek N.<sup>1</sup>, Pietraszek J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kielce University of Technology, Poland

<sup>2</sup> Cracow University of Technology, Poland

## Introduction

We are currently observing the dynamic development of laser techniques in materials processing. The laser beam can be used for cutting, welding, surface modification, etc. [1-4].

The process of laser beam welding involves melting the edges of the metals to be joined with a focused beam of radiation at a power density of  $10^4 \div 10^6$  W/mm<sup>2</sup> [5]. The development of lasers with a high input power made it possible to join thick plates by directly melting the adjacent edges with no need to chamfer them or use time-consuming filling of the bevel groove. This method of fusion is also used in electron beam welding but the process has numerous disadvantages, for example, the necessity to place the elements to be welded in vacuum, the necessity to remove random magnetic fields as well as the necessity to protect the workpiece against X-ray radiation occurring during high-voltage electron beam welding [6].

The process of laser welding has the following advantages:

- high purity of the process (dependent on the surface preparation and gas purity),
- joining difficult to weld materials,
- easy automation,
- welding with high precision (e.g. joining thin and thick elements),
- high speed of the welding process,
- one source of radiation for several welding stations,
- welding performed under atmospheric pressure (by contrast, electron beam welding is performed in vacuum),
  - high power density (in the case of deep welding), and as a result, small distortions,
  - narrow heat affected zone.

The work discusses the properties of laser welded joints. Properties were determined based on the results of microstructure analysis, hardness tests and static tensile tests with statistical analysis support.

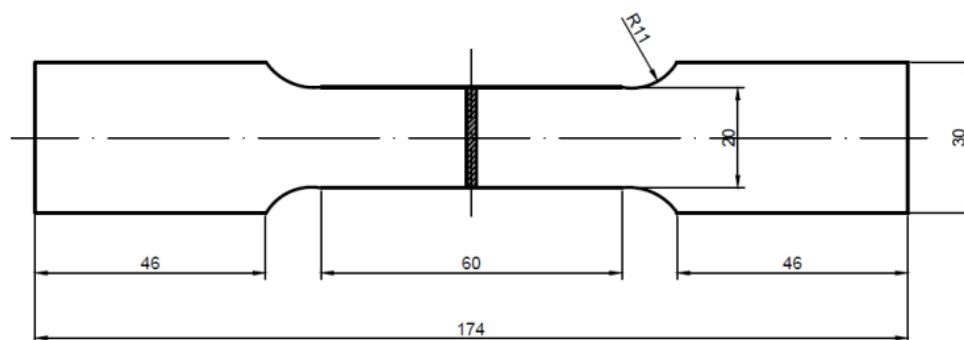
## Materials and methods

The specimens to be tested were cut from a steel sheet 0.8 mm in thickness. As a material resistant to aging, DC04 steel is used extensively in high-performance applications including deep drawing and drawing, and in the transport industry. DC04 steel is characterised by good weldability which means no special preparation of the work is needed. Table 1 show the chemical composition of DC04 steel, respectively.

**Table 1. Chemical composition of DC04 steel**

| Steel grade | Maximum content [%] |      |       |       |    |
|-------------|---------------------|------|-------|-------|----|
|             | C                   | Mn   | P     | S     | Ti |
| DC04        | 0.08                | 0.40 | 0.030 | 0.030 | 0  |

The specimens were prepared by cutting them with a laser from a steel sheet. They were then cut into two equal parts to be laser welded. The dimensions and shape of a single specimen are presented in Figure 1.



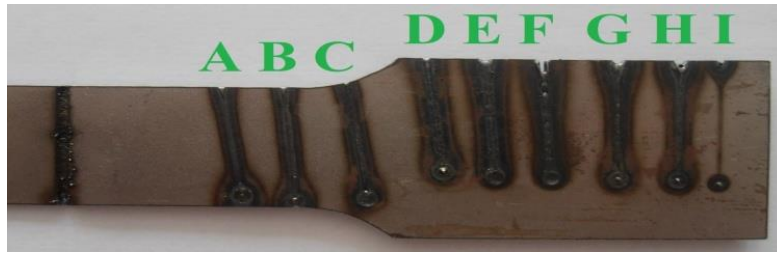
**Fig. 1. Shape and dimensions of the specimens used in the tests**

The analysis of the properties of the joints produced by laser welding involved examining their microstructure and measuring their hardness.

The microstructural observations were conducted using a Joel JSM-5400 scanning electron microscope. The hardness was measured with a NEXUS 4304 tester at a load of 1 kG applied for 10 s.

## Selection of the laser welding parameters

The welding tests were conducted by changing two parameters: the laser power and the welding speed. According to the literature [7, 8], these two parameters have the greatest influence on the quality of welds.



**Fig. 2. View of the reference specimen with laser pass lines imitating welds**

Figure 2 shows a specimen with laser pass lines imitating welds, whereas Table 2 provides the parameters of laser welding used during the tests. The macroscopic analysis of the laser pass lines and the phenomena accompanying the welding process helped select the main parameters of laser welding: the laser power and the welding speed.

**Table 2. Values of the main process parameters**

| Number of the laser pass line | Laser power P [kW] | Welding speed v [m/min] |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| A                             | 1.5                | 3                       |
| B                             | 1.8                | 3                       |
| C                             | 2                  | 3                       |
| D                             | 2.5                | 3                       |
| E                             | 2                  | 2                       |
| F                             | 2                  | 2.5                     |
| G                             | 2                  | 3.5                     |
| H                             | 2                  | 4                       |
| I                             | 2                  | 5                       |

The laser pass lines A-D were formed at a welding speed of 3 m/min and an initial power of 1.5 kW gradually increased to 2.5 kW. When the pass line was produced at a power of 1.5 kW, plasma was not present. At a power of 1.8 kW, a small plasma cloud was observed, but its influence on the welding process was negligible. When the laser pass line was formed at a power of 2 kW or 2.5 kW, a positive effect of the plasma cloud was observed. After the macroscopic examinations of the laser pass lines, it was assumed that the tests would be conducted at a laser power of 2 kW. During the next five tests, the laser pass lines E-I were produced by changing the welding speed from 2 m/min to 5 m/min, with the laser power being constant (P=2 kW). It was found that when the welding speed was 5

m/min, the weld penetration was incomplete (pass line I). The experimental data were analysed to select the laser welding parameters:

- laser power  $P = 2$  kW;
- welding speed  $v$ : 2 m/min; 2.5 m/min; 3 m/min; 3.5 m/min; 4 m/min;
- shielding gas: argon  $Q = 10$  l/min;
- preheat time  $t = 5$  s;
- pulse repetition rate  $f = 30000$  Hz;
- nozzle-workpiece distance  $\Delta f = 0$  mm.

The tests were conducted for five series of laser welded specimens and one series of unwelded specimens, where the base metal was DC04 steel. There were three specimens in each series numbered from 0 (base metal) to 5 (where  $v = 4$  m/min).

## Results and discussion

The microstructure of the welded joints was analysed using a Joel JSM-5400 scanning electron microscope.

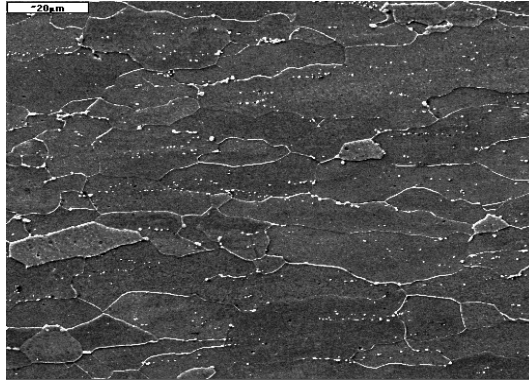
The microscopic examinations of the welded joints were performed on polished metallographic specimens in the plane perpendicular to the weld, which enabled observation of the fusion zone and the heat affected zone. It was also possible to analyse the structures formed and to measure the width of the heat affected zone (HAZ).

The aim of the analysis was to compare the resulting microstructures of the welded joints and to determine how variable values of the welding speed affect the shape of the weld.

The laser welding process is characterised by very high heating and cooling rates, which leads to the narrowing of the width of both the fusion zone and the heat-affected zone.

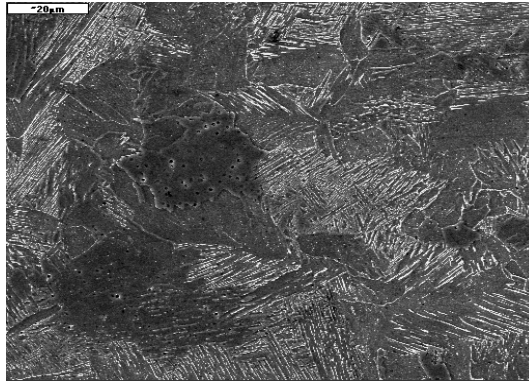
Figure 3 shows an image of the microstructure of the base metal. The results suggest that the base metal had a coarse-grained ferrite-pearlite structure. From Fig. 3 it is clear that the grains are arranged in bands, which indicates that the production of steel sheets (DC04 steel) involved rolling.

The analysis of a specimen of series 1 showed that the material in the HAZ had a fine-grained ferritic-pearlitic microstructure with visible metallic precipitates in the pearlite grains.



**Fig. 3. Ferritic–pearlitic microstructure of the base metal (x1000 magnification)**

For a specimen of series 1, a Widmanstätten pattern was observed in the fusion zone (Fig. 3). It contains plate-shaped ferrite precipitates running at 60° and 120°. The occurrence of the Widmanstätten structure indicates that the steel was overheated, which caused a decrease in the mechanical properties of the weld.

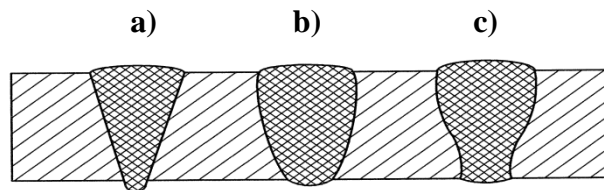


**Fig. 4. Widmanstätten structure in the fusion zone (x1000 magnification)**

The microscopic examinations were performed to determine the influence of different welding speeds on the microstructure and shape of the welds. It was found that the welding speed affected the weld shape and the penetration depth. The higher the welding speed, the smaller the penetration depth and the more narrow the fusion zone; there was also a change in the direction of the fusion line resulting from a change in the weld shape from mushroom-like to triangular (Fig. 5). When the welding speed was too low, the width of the fusion zone and the width of the heat affected zone increased.

The hardness of the material was measured using the Vickers method. The indentations were made in all the specimens of series 1-5 prepared as metallographic specimens. The measurements were taken on surfaces perpendicular to the three zones: the fusion zone (at the face), the heat affected zone and the base metal.

The values of the hardness in the base metal zone obtained for all the specimens were comparable. It can be assumed that the specimens had a similar structure with no microdefects that would contribute to the weakening of the material. The average hardness in the base metal zone for all the specimens of series 1-5 was 105 HV1.



**Fig. 5. Weld shapes after laser welding: a) triangular, b) and c) mushroom-shaped**

The analysis of the hardness of the material in the heat affected zone indicates that the highest values were reported for a welding speed of 3.5 m/min (a series 4 specimen). The average hardness in the HAZ obtained for that specimen was 184 HV1. For the specimens of series 1-5, the average hardness in the HAZ was 38% higher than the average hardness in the base metal zone.

The highest hardness at the weld face was reported for a specimen of series 4; the average value was 256 HV1. The lowest hardness in the fusion zone was reported for a specimen of series 3 ( $v = 3$  m/min); the average hardness for that specimen was 236 HV1. The phase transitions that occurred in the heated material during its rapid cooling contributed to the material hardening both in the fusion zone and the heat affected zone. The phase transitions were responsible for the formation of martensite-like and ferrite-bainite structures, which improved the material hardness. The average hardness in the fusion zone was 31% higher than that in the heat affected zone.

### **Static tensile tests**

All the specimens (series 0-5) were subjected to tensile testing. The aim of the static tensile tests was to analyse the behaviour of DC04 steel after welding at different process parameters (welding speed).

Before the tests, the specimens were measured to determine their width and thickness. Each measurement was performed three times to minimize measurement errors. Then, the arithmetic mean width and thickness were calculated separately for each specimen. The data loaded into the TestSystem program were: the dimensions of the specimens (a constant thickness of 0.78 mm, a constant gauge length of 60 mm and a variable width), their mass (assumed to be 13 g) and the test speed (first,  $v_0 =$

10 mm/min, then, after a force  $F_0$  of 100 N was reached,  $v_1 = 5$  mm/min, and finally, after four tests, the speed was changed into  $v_2 = 10$  mm/min, because the duration of a single test was too long). A reference file created on the basis of these parameters was used to automatically calculate the results for each specimen. Initially, the deformation criterion was 30 mm and the drop in the tensile force was 95%. After two tests, the deformation criterion was changed into 40 mm because of the high plasticity of the material. The tests were carried out at a temperature of 20 °C without the use of an extensometer. The first test was performed for a reference specimen in order to set the reference ranges for the parameters and check whether the assumptions were reasonable. The static tensile tests were conducted for the particular specimens starting from series 0 and ending with series 5. Before each test, the values of displacement and force were set to zero.

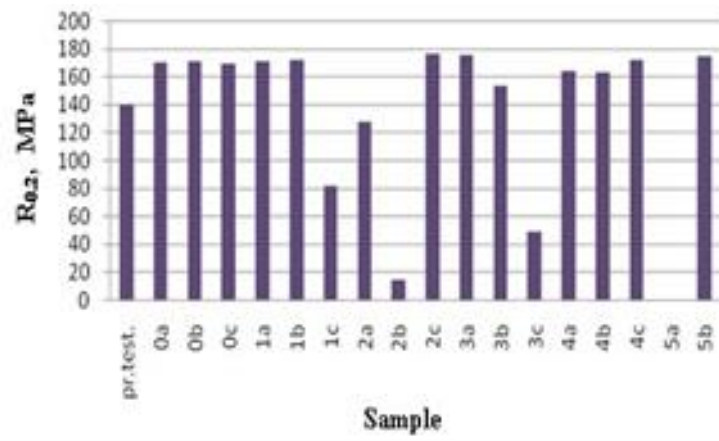
The analysis of the tensile test results shows that the unwelded specimens (series 0) had lower values of the offset yield strength ( $R_{0.2}$ ) and the ultimate tensile strength ( $R_m$ ) but better plastic properties than the welded specimens. The values of the uniform elongation (elongation before the ultimate tensile strength  $R_m$  is reached) and the total elongation (elongation at break) are the highest for the unwelded specimens. It is thus evident that the presence of a welded joint improves the tensile strength but reduces the plastic properties of the material.

Figures 6 and 7 illustrate the cumulative results concerning the ultimate tensile strength and the offset yield strength reported for all the specimens under study.

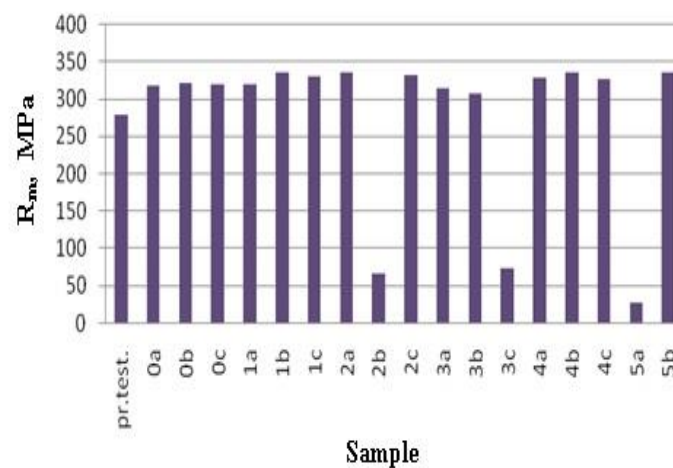
Analysing the values of the offset yield strength and the tensile strength for all the welded specimens (Figs. 6 and 7), we can conclude that, because of the randomness of the results, it is difficult to specify whether there is an upward or downward trend. The highest stability of results was reported for the series 1 and 4 welded specimens.

The differences in the strength and plasticity of the specimens may be due to plasma instability, the related changes in the laser radiation absorption conditions and the heat transfer from the plasma to the material. This phenomenon can be prevented, for instance, by applying a laser beam to the surface of the material with a burning plasma (in argon) or to the surface of an unwelded section of the metal.





**Fig. 6. Cumulative results showing the offset yield strength for all the specimens studied**



**Fig. 7. Cumulative results showing the tensile strength for all the specimens studied**

## Summary

The following are the conclusions drawn from the experimental data:

1. The shape and thickness of the welds as well as the width of the heat affected zone are dependent on the welding speed.
2. Comparing the mechanical properties of the unwelded specimens (series 0) with those of the welded specimens, we can see that the laser welding process slightly improved the strength properties of the material but significantly reduced its plastic properties. The worsening of the plastic properties caused that the total elongation of the welded specimens was smaller than that of the unwelded specimens.
3. The hardness measurement results confirm that the welded specimens are not homogeneous but very complex in structure.
4. An increase in the welding speed caused visible, irreversible structural changes in the fusion zone and the heat affected zone, which were attributable to high

heating and cooling rates. The changes included refinement of the grain structure and higher hardness.

## References

1. Radek, N., Pietraszek, J., Antoszewski, B. (2014), The average friction coefficient of laser textured surfaces of silicon carbide identified by RSM methodology, *Advanced Materials Research*, 874.
2. Pietraszek, J., Radek, N., Bartkowiak, K. (2013), Advanced statistical refinement of surface layer's discretization in the case of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by a laser beam, *Solid State Phenom.* 197.
3. Scendo, M., Radek, N., Trela, J. (2013), Influence of laser treatment on the corrosive resistance of WC-Cu coating produced by electrospark deposition, *Int. J. Electrochem. Sc.* 8.
4. Radek, N., Wajs, E., Luchka, M. (2008), The WC-Co electrospark alloying coatings modified by laser treatment, *Powder Metall. Met. C+*, 47.
5. Radek, N., (2013), *Laboratorium wiązkowych technologii obróbki materiałów*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej - Skrypt Nr 456, Kielce.
6. Szczecinski, Z. (1985), Spawanie wiązka promieniowania laserowego / Welding with laser beam (in Polish), *Przegląd Spawalnictwa / Polish Welding Review* 57.
7. Torkamany, M.J., Ghaini, F.M., Poursalehi, R. (2016), An insight to the mechanism of weld penetration in dissimilar pulsed laser welding of niobium and Ti-6Al-4V, *Opt. Laser Technol.*, 79.
8. Costa, A., Miranda, R.M., Quintino, L. (2006), Materials behavior in laser welding of hardmetals to steel, *Mater. Manuf. Process.* 21.

# KRYTERIA OCENY WPLYWU MODYFIKACJI UKŁADU DOLOTOWEGO SILNIKA NA JEGO PARAMETRY EKSPLOATACYJNE

Kałaczynski T., Kasprowicz T., Jagodziński D., Liss M.

UTP - WIM – Bydgoszcz, Poland

## **Wprowadzenie**

Konstruktorzy silników spalinowych, od powstania pierwszych działających tego typu jednostek napędowych, starają się udoskonalać ich budowę. Głównymi celami ich prac było podwyższanie mocy oraz poprawa sprawności ogólnej silników. W pewnym momencie zaczęto dodatkowo zwracać uwagę na aspekty ekologiczne, między innymi emisję substancji szkodliwych, ogólną ilość energii i materiałów zużywanych w procesie ich produkcji i inne. Bodźcami motywującymi tego rodzaju zabiegi były stopniowe zaostrzanie przepisów dotyczących emisji spalin. Doładowanie silników spalinowych jest jednym z rozwiązań łączących w sobie wysilenie oraz obniżenie szkodliwości tych maszyn dla otoczenia. Podawanie do komór spalania silnika powietrza pod ciśnieniem wyższym od atmosferycznego pozwala na powiększenie dawki paliwa. Wynika to z powinności utrzymania stechiometrycznego składu mieszanki paliwowej. Wzrost ilości mieszanki paliwowej powietrznej powoduje powstanie sił gazowych o większej niż w przypadku silnika atmosferycznego energii, gwarantując to przyrost mocy i momentu obrotowego generowanego przez silnik. Dzięki temu zahamowaniu uległ między innymi trend podwyższania mocy silnika przez zwiększenie jego objętości. Doładowanie silników spalinowych o zapłonie iskrowym (ZI) z wykorzystaniem zespołu turbosprężarki to obecnie najczęściej stosowany sposób zwiększenia ich mocy i sprawności. Jako że tego typu silniki stosowane są powszechnie w motoryzacji od około 20 lat, część z nich zdolna była do pokonania znacznych przebiegów. W związku z tym w pracy przedstawiono możliwości diagnostyczne silników doładowanych na podstawie analizy parametrów dynamicznych oraz przedstawiono wpływ zmiany układu dolotowego na przebiegów mocy i momentu obrotowego.

## **Badania własne**

### **1. Obiekt badań**

Przedmiotem badań są modyfikacje techniczne wykonywane w silnikach spalinowych pojazdów samochodowych na przykładzie wybranej jednostki napędowej. Ocenie podlegać będzie efektywność oraz wpływ modyfikacji układu

dolotowego oraz modyfikacji elektronicznych przeprowadzonych na obiekcie badań na jego parametry eksploatacyjne. Obiektem był samochód osobowy marki Audi, model S3.



Rys. 1.1. Obiekt badań

Wyposażony jest w turbodoładowany 4-cylindrowy silnik benzynowy o pojemności 1781 cm<sup>3</sup> legitymujący się fabryczną mocą 154 KW (209 KM) oraz momentem obrotowym wynoszącym 270 Nm. a jego dokładne parametry przedstawiono na rysunku 5.2. Jego fabryczne przyspieszenie w zakresie od 0 do 100 km/h wynosi 6,7s.



Rys. 1.2. Dowód rejestracyjny obiektu badań

## 2. Warunki badań oraz narzędzia niezbędne do wykonania czynności modyfikacji silnika spalinowego

Badania wpływu modyfikacji technicznych silników spalinowych na jego parametry pracy przeprowadzone zostały w prywatnym warsztacie samochodowym z wykorzystaniem wszystkich niezbędnych narzędzi oraz na profesjonalnym stanowisku pomiarowym wyposażonym w hamownię wypożyczoną dzięki uprzejmości profesjonalnego warsztatu tuningowego. Dodatkowo do wykonania diagnostyki parametrów pracy podczas próby drogowej wykorzystano zamknięty odcinek drogi asfaltowej pozwalający na bezpieczne wykonanie wyżej wymienionej

próby. Pomiaru wykonywane były w możliwie zbliżonych warunkach pogodowych przy zastosowaniu tego samego rodzaju paliwa oraz zachowując zbliżoną masę całkowitą badanego pojazdu. Wszystkie czynności przeprowadzone zostały na obiekcie badań w postaci samochodu osobowego marki Audi będącym własnością autora badań. Przy wykorzystaniu odpowiednich metod, technik oraz urządzeń przeprowadzono następujące czynności badawcze pozwalające na realizację określonego celu badań:

Dokonanie diagnostyki i weryfikacji stanu jednostki przed modyfikacjami przy użyciu komputera diagnostycznego z oprogramowaniem VCDS,

Dokonanie wybranych modyfikacji mechanicznych przy użyciu niezbędnych narzędzi oraz technik warsztatowych,

Dokonanie diagnostyki i weryfikacji parametrów eksploatacyjnych po modyfikacjach mechanicznych przy użyciu komputera diagnostycznego z oprogramowaniem VCDS oraz hamowni podwoziowej,

Dokonanie modyfikacji elektronicznych w postaci chiptuningu przy wykorzystaniu programatora GALLETTO 4 V54 służącego do odczytu i programowania sterowników silnika oraz oprogramowania WinOLS służącego do obróbki map sterowników,

Wykonanie diagnostyki, weryfikacji i pomiaru końcowych parametrów eksploatacyjnych po wykonanych modyfikacjach technicznych, przy użyciu komputera diagnostycznego z oprogramowaniem VCDS, hamowni podwoziowej oraz wykonanie próby drogowej.

## **2.1 Wyniki badań uzyskane na podstawie przeprowadzonych modyfikacji**

Pierwszym etapem wykonywanych badań wpływu modyfikacji technicznych silników spalinowych na ich parametry eksploatacyjne jest wstępna diagnostyka wybranej jednostki napędowej. Jej celem jest uzyskanie niezbędnych informacji i danych dotyczących stanu faktycznego w jakim znajduje się silnik, który ma być poddany modyfikacjom.

Po przeprowadzeniu diagnostyki komputerowej przystąpiono do wykonania próby drogowej. W programie diagnostycznym VCDS do wyboru mamy szereg bloków pomiarowych zawierających niezbędne dane z czujników oraz sterownika silnika o aktualnym stanie pracy silnika. Podczas testów doprowadzono silnik do temperatury eksploatacyjnej i wykonano trzy przejazdy testowe z zapisem

parametrów pracy silnika. Przejazdy te polegają na wykonaniu próby drogowej w celu uzyskania tak zwanych logów dynamicznych parametrów pracy silnika których efektem jest uzyskanie pliku z danymi nazywanym logiem. Podczas wykonywania próby drogowej należy zastosowano się do następujących zasad, aby uzyskać miarodajne wyniki:

- Próba drogowa została wykonana na bezpiecznym odcinku drogi,
- Przed przystąpieniem do badań dorowadzono silniki do temperatury eksploatacyjnej,

- Podczas wykonywania przejazdów dezaktywowano system ESP,

Wszystkie przejazdy wykonano na trzecim biegu w zakresie prędkości obrotowej od 2000 do 6500 obrotów na minutę przy maksymalnym użyciu pedału przyspieszenia.

Wykonane przejazdy pozwoliły uzyskać niezbędny komplet parametrów pracy silnika pozwalający na ocenę jego stanu i parametrów eksploatacyjnych. Jak wspomniano wcześniej wykonane zostały trzy przejazdy testowe i w których dokonano zapisu danych z sześciu bloków pomiarowych po dwóch na jeden przejazd.

Pierwszy log dynamiczny zawiera dane z bloków pomiarowych „003” i „020” które pozwalają na określenie jakości i rodzaju zapłonu występującego aktualnie w silniku oraz orientacyjnie określić moc silnika.

Kanał trzeci „003” informuje nas o:

- TIME- postęp czasu podczas wykonywania zapisu danych wyrażony w sekundach,
- Engine Speed- aktualna prędkość obrotowa silnika wyrażona w obrotach na minutę,
- Mass Air Flow- masowy przepływ powietrza zmierzony przez przepływomierz wyrażony w gramach na sekundę,
- Throttle Valve Angle- kąt otwarcia przepustnicy wyrażony w procentach,
- Ignition- aktualny kąt wyprzedzenia zapłonu wyrażony w stopniach obrotu wału korbowego.

Kanał dwudziesty „020” informuje nas o:

- Timing Retardation- czasowe opóźnienie zapłonu na poszczególnych cylindrach wyrażone w stopniach obrotu wału korbowego,

Cylinder 1, 2, 3, 4- rozróżnienie poszczególnych cylindrów.

| Group A: '003 |       |           |        |             |       | Group B: '020 |            |            |                    |            |
|---------------|-------|-----------|--------|-------------|-------|---------------|------------|------------|--------------------|------------|
|               | RPM   | Mass Flow | Load   | Ign, Timing |       | Timing Re     | Timing Re  | Timing Re  | Timing Retardation |            |
| MARKER        | TIME  |           |        |             |       | TIME          | Cylinder 1 | Cylinder 2 | Cylinder 3         | Cylinder 4 |
| STAMP         | /min  | g/s       | %      | °ATDC       | STAMP | °KW           | °KW        | °KW        | °KW                |            |
|               | 0,01  | 1160      | 8,39   | 5,9         | 25,5  | 0,4           | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 0,8   | 1280      | 20,22  | 59,6        | 14,3  | 1,2           | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 1,6   | 1480      | 25,31  | 68,2        | 16,5  | 2             | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 2,39  | 1760      | 33,31  | 78          | 17,3  | 2,79          | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 3,19  | 2000      | 43,67  | 87,5        | 15,8  | 3,59          | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 3,99  | 2360      | 61,17  | 93,7        | 12    | 4,41          | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 4,81  | 2760      | 72,06  | 98,4        | 12,8  | 5,21          | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 5,61  | 3240      | 88     | 100         | 18    | 5,99          | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 6,4   | 3680      | 102,72 | 100         | 18,8  | 6,8           | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 7,2   | 4120      | 121,25 | 100         | 18    | 7,6           | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 8     | 4560      | 131    | 100         | 18    | 8,4           | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 8,8   | 4960      | 143,83 | 100         | 19,5  | 9,2           | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 9,6   | 5360      | 154,89 | 100         | 19,5  | 10            | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 10,4  | 5720      | 164,19 | 100         | 19,5  | 10,81         | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 11,21 | 6080      | 168,47 | 100         | 19,5  | 11,59         | 0          | 0          | 0                  | 0          |
|               | 12,01 | 6440      | 169,56 | 100         | 21    | 12,39         | 0          | 0          | 0                  | 0          |

**Rys. 2.1.1. Log dynamiczny 003+020 silnika seryjnego**

Drugi log dynamiczny zawiera dane z bloków pomiarowych „002” i „031” które pozwalają na określenie składu oraz jakości mieszanki paliwowo powietrznej a także na oszacowanie mocy badanego silnika na podstawie przepływu masowego powietrza.

Kanał „002” informuje nas o:

- TIME- postęp czasu podczas wykonywania zapisu danych wyrażony w sekundach,
- Engine Speed- aktualna prędkość obrotowa silnika wyrażona w obrotach na minutę,
- Engine Load- jest to aktualne obciążenie silnika wyliczone przez sterownik wyrażone w procentach,
- Injection Timing- jest to aktualny czas wtrysku/ otwarcia wtryskiwacza w cyklu pracy wyrażony w milisekundach,
- Mass Air Flow- masowy przepływ powietrza zmierzony przez przepływomierz wyrażony w gramach na sekundę.

Kanał „031” informuje nas o:

- TIME- postęp czasu podczas wykonywania zapisu danych wyrażony w sekundach,
- Lambda Control- aktualne napięcie występujące na wąskopasmowej 1 woltowej sondzie lambda wyrażone w Voltach.

| 8L0 906 018 N |       | 1,8L R4/5VT |       | G 0002    |        |              |       |                 |   |
|---------------|-------|-------------|-------|-----------|--------|--------------|-------|-----------------|---|
| Group A: '002 |       |             |       |           |        |              |       |                 |   |
| Engine Sp     |       | Engine Lo   |       | Injection |        | Mass Air F   |       | Group B: '031   |   |
| TIME          |       | (G28)       |       |           |        | Sensor (G70) |       | Lambda Control  |   |
| Marker        | STAMP | /min        | %     | ms        | g/s    | TIME         | STAMP | Bank 1 (actual) | V |
|               | 0,01  | 2160        | 101,5 | 10,66     | 52,61  |              |       |                 |   |
|               | 0,61  | 2400        | 107,5 | 10,66     | 61,28  | 0,9          |       | 0,705           |   |
|               | 1,2   | 2640        | 114,3 | 11,89     | 67,17  | 1,5          |       | 0,725           |   |
|               | 1,81  | 2880        | 125,6 | 13,12     | 79,67  | 2,11         |       | 0,615           |   |
|               | 2,41  | 3200        | 129,3 | 13,12     | 88,19  | 2,71         |       | 0,52            |   |
|               | 3,01  | 3480        | 127,8 | 13,53     | 101,24 | 3,31         |       | 0,265           |   |
|               | 3,61  | 3760        | 127,8 | 13,53     | 102,54 | 3,91         |       | 0,67            |   |
|               | 4,21  | 4080        | 130,8 | 14,35     | 112    | 4,51         |       | 0,49            |   |
|               | 4,81  | 4360        | 130,8 | 13,53     | 116,42 | 5,11         |       | 0,47            |   |
|               | 5,41  | 4680        | 130,8 | 13,53     | 125,97 | 5,71         |       | 0,67            |   |
|               | 6,01  | 4960        | 131,6 | 13,94     | 134,97 | 6,31         |       | 0,65            |   |
|               | 6,61  | 5240        | 132,3 | 14,35     | 142,31 | 6,91         |       | 0,71            |   |
|               | 7,21  | 5520        | 133,8 | 14,76     | 154,86 | 7,51         |       | 0,745           |   |
|               | 7,81  | 5800        | 133,8 | 15,17     | 159,44 | 8,1          |       | 0,75            |   |
|               | 8,41  | 6040        | 131,6 | 15,17     | 164,58 | 8,7          |       | 0,755           |   |
|               | 9     | 6280        | 128,6 | 15,17     | 167,54 | 9,3          |       | 0,76            |   |
|               | 9,6   | 6520        | 122,6 | 15,17     | 168,12 | 9,9          |       | 0,78            |   |
|               | 10,2  | 6600        | 51,1  | 4,92      | 165,21 | 10,51        |       | 0,72            |   |
| ..            |       |             |       |           |        |              |       |                 |   |

**Rys. 2.1.2. Log dynamiczny 002+031 silnika seryjnego**

Trzeci log dynamiczny zawiera dane z bloków pomiarowych „115” i „118” które pozwalają kontrolować zadane ciśnienie doładowania, temperaturę w dolocie oraz pracę turbosprężarki i zaworu jej sterowania.

Kanał „115” informuje nas o:

- TIME- postęp czasu podczas wykonywania zapisu danych wyrażony w sekundach,
- Engine Speed- aktualna prędkość obrotowa silnika wyrażona w obrotach na minutę,
- Engine Load- jest to aktualne obciążenie silnika wyliczone przez sterownik wyrażone w procentach,
- Boost Pressure specified- ciśnienie doładowania zadane przez sterownik silnika wyrażone w milibarach które należy pomniejszyć o stałe przyjęte ciśnienie atmosferyczne 1000 milibar,
- Boost Pressure actual- ciśnienie doładowania aktualnie występujące w silniku wyrażone w milibarach które należy pomniejszyć o stałe przyjęte ciśnienie atmosferyczne 1000 milibar.

Kanał „118” informuje nas o:

- TIME- postęp czasu podczas wykonywania zapisu danych wyrażony w sekundach,
- Engine Speed- aktualna prędkość obrotowa silnika wyrażona w obrotach na minutę,



- Intake Air Temperature- aktualna temperatura występująca w dolocie silnika wyrażona w stopniach Celsjusza,
- Boost Pressure Control- aktualna pozycja pracy elektrozaworu sterowania turbosprężarką wyrażona w procentach,
- Boost Pressure actual- ciśnienie doładowania aktualnie występujące w silniku wyrażone w milibarach które należy pomniejszyć o stałe przyjęte ciśnienie atmosferyczne 1000 milibar.

| Group A: '115 |            |      |          |                | Group B: '118 |            |      |                |      |      |
|---------------|------------|------|----------|----------------|---------------|------------|------|----------------|------|------|
|               | RPM        | Load | Absolute | Absolute Pres, | RPM           | Temperat   | Load | Absolute Pres, |      |      |
| MARKER        | TIME STAMP | /min | %        | mbar           | mbar          | TIME STAMP | /min | °C             | %    | mbar |
|               | 0,5        | 1240 | 64,7     | 1490           | 1000          | 0,01       | 1200 | 43             | 0    | 1000 |
|               | 1,39       | 1440 | 71,4     | 1610           | 1050          | 0,9        | 1320 | 41             | 95,3 | 1030 |
|               | 2,2        | 1600 | 75,2     | 1680           | 1150          | 1,79       | 1520 | 38             | 95,3 | 1110 |
|               | 3          | 1800 | 78,2     | 1490           | 1260          | 2,6        | 1720 | 36             | 95,3 | 1190 |
|               | 3,8        | 2040 | 83,5     | 1550           | 1430          | 3,4        | 1920 | 34             | 95,3 | 1330 |
|               | 4,6        | 2320 | 94,7     | 1620           | 1650          | 4,2        | 2160 | 33             | 95,3 | 1570 |
|               | 5,4        | 2600 | 110,5    | 1730           | 1700          | 5          | 2440 | 32             | 77,6 | 1680 |
|               | 6,2        | 2920 | 121,8    | 1750           | 1720          | 5,8        | 2760 | 35             | 68,2 | 1720 |
|               | 7          | 3240 | 121,1    | 1780           | 1740          | 6,6        | 3080 | 37             | 66,7 | 1740 |
|               | 7,9        | 3600 | 114,3    | 1730           | 1750          | 7,4        | 3400 | 40             | 65,5 | 1760 |
|               | 8,7        | 3920 | 115,8    | 1720           | 1750          | 8,3        | 3760 | 42             | 66,3 | 1740 |
|               | 9,6        | 4280 | 116,5    | 1700           | 1740          | 9,1        | 4080 | 45             | 65,5 | 1740 |
|               | 10,4       | 4600 | 118,8    | 1710           | 1740          | 10         | 4440 | 48             | 65,1 | 1740 |
|               | 11,3       | 4920 | 121,1    | 1710           | 1740          | 10,8       | 4760 | 48             | 64,7 | 1740 |
|               | 12,1       | 5240 | 123,3    | 1740           | 1750          | 11,7       | 5080 | 49             | 64,7 | 1750 |
|               | 12,9       | 5560 | 122,6    | 1750           | 1740          | 12,5       | 5400 | 50             | 62,7 | 1740 |
|               | 13,7       | 5840 | 118,8    | 1700           | 1720          | 13,3       | 5680 | 51             | 61,2 | 1720 |
|               | 14,5       | 6080 | 117,5    | 1660           | 1710          | 14,2       | 5920 | 52             | 59,9 | 1710 |
|               | 15,2       | 6440 | 117,1    | 1650           | 1700          | 15         | 6380 | 52             | 59,2 | 1700 |

**Rys. 2.1.3. Log dynamiczny 115+118 silnika seryjnego**

Wykonane czynności diagnostyczne pozwoliły potwierdzić stan jednostki napędowej która nadaje się do wykonania wybranych modyfikacji technicznych w celu zwiększenia jej osiągnięć i poprawienia parametrów pracy.

## 2.2 Wykonanie modyfikacji mechanicznych

Elementami podanymi modyfikacji jest układ zasilania silnika w świeże powietrze. W przypadku turbodoładowanego pojazdu głównymi elementami układu dolotowego jest rura dolotowa łącząca filtr powietrza z turbosprężarką tak zwany TIP (turbo inlet pipe) oraz chłodnica powietrza doładowanego nazywana intercoolerem. W przypadku badanego obiektu pierwszy element dolotu wykonany jest ze słabej jakości gumy, która pod wpływem temperatury występującej w komorze silnika ulega odkształceniu oraz zassaniu przez turbosprężarkę co znacznie ogranicza przepływ. Jej konstrukcja i średnica przepływu są także bardzo dużym ograniczeniem, dlatego istnieje konieczność wymiany tego elementu na akcesoryjny. Konstrukcje seryjnej rury dolotowej przedstawiono na rysunku 2.2.1.



**Rys. 2.2.1. Fabryczna rura dolotowa łącząca turbo z filtrem powietrza**

Seryjny gumowy dolot zastąpiono elementem wykonanym ręcznie ze stali kwasoodpornej i zbrojonych łączników silikonowych. Jego zaletą jest zwiększona średnica przepływu która na wejściu wynosi 3” i jest łagodnie zredukowana do średnicy 2,25”. Metalowa konstrukcja przedstawiona na rysunku 2.2.2 zabiega powstawaniu zjawiska zasysania dolotu przez turbosprężarkę i znacznie poprawia przepływ.



**Rys. 2.2.2. Akcesoryjna rura dolotu powietrza do turbosprężarki**

Drugim elementem w układzie dolotowym który został poddany modyfikacji jest chłodnica powietrza doładowanego. Seryjnie obiekt badań wyposażony jest w układ typu Dual SMIC który składa się z dwóch osobnych chłodnic powietrza doładowanego umieszczonych po bokach pojazdu połączonych ze sobą w układ szeregowy. Mimo iż pojazd posiada dwie chłodnice to są one bardzo małych rozmiarów i umieszczone w miejscach, gdzie mają bardzo ograniczony dopływ chłodzącego powietrza z zewnątrz przez co generują bardzo wysokie temperatury w dolocie. Dwie pojedyncze chłodnice powietrza przedstawiono na rysunku 2.2.3.



**Rys. 2.2.3. Fabryczne chłodnice powietrza**

W zamian za fabryczny układ chłodzenia powietrza doładowanego zamontowano dużą centralną chłodnicę o zwiększonej powierzchni rdzenia która umieszczona jest na samym przodzie od czoła pojazdu. Pozwala to na znacznie lepsze chłodzenia powietrza doładowanego. Dodatkowo fabryczne węże układu doładowania silnika zastąpiono cienkościennymi rurami ze stali kwasoodpornej połączonej zbrojonymi łącznikami co pozwoli uniknąć strat doładowania poprzez puchnięcie przewodów. Zabieg ten pozwolił znacznie zmniejszyć temperaturę powietrza dostarczanego do silnika. Akcesoryjną chłodnicę powietrza wraz z orurowaniem przedstawiono na rysunku 2.2.4 oraz podczas montażu na rysunku 2.2.5.



**Rys. 2.2.4. Akcesoryjna chłodnica powietrza**



**Rys. 2.2.5. Akcesoryjna chłodnica powietrza podczas montażu**

### **2.3 Diagnostyka po modyfikacjach mechanicznych**

Po wykonanych modyfikacjach mechanicznych przystąpiono do wykonania czynności badawczo-diagnostycznych pozwalających ocenić wpływ dokonanych modyfikacji na parametry pracy jednostki napędowej. W usunięto wszystkie błędy i zapamiętanie wartości adaptacyjne sterownika i wykonano próbę drogową w postaci przejechania spokojnym tempem 50 km w celu zaadaptowania jednostki sterującej do nowych warunków pracy. Po wykonaniu próby drogowej ponownie odczytano błędy, których nie stwierdzono. Kolejnym etapem było przeprowadzenie trzech prób drogowych na tym samym odcinku co uprzednio w celu wykonania logów dynamicznych pracy silnika. Zachowano tą samą kolejność wykonywania czynności diagnostycznych oraz zbadano te same grupy pomiarowe. Pozwoliło to na uzyskanie przedstawionych niżej na rysunkach 2.3.1, 2.3.2, 2.2.3 wyników.

| Group A: '003 |       |                |        |             |       | Group B: '020 |            |            |                    |  |
|---------------|-------|----------------|--------|-------------|-------|---------------|------------|------------|--------------------|--|
|               | RPM   | Mass Flow Load |        | Ign, Timing |       | Timing Re     | Timing Re  | Timing Re  | Timing Retardation |  |
| TIME          |       |                |        |             |       | Cylinder 1    | Cylinder 2 | Cylinder 3 | Cylinder 4         |  |
| MARKER        | STAMP | /min           | g/s    | %           | °ATDC | °KW           | °KW        | °KW        | °KW                |  |
|               | 0,01  | 1190           | 8,39   | 5,9         | 25,5  | 0,4           | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 0,8   | 1310           | 21,22  | 59,6        | 14,3  | 1,2           | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 1,6   | 1520           | 24,31  | 68,2        | 16,5  | 2             | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 2,39  | 1810           | 32,31  | 78          | 17,3  | 2,79          | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 3,19  | 2060           | 39,67  | 87,5        | 15,8  | 3,59          | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 3,99  | 2430           | 54,51  | 93,7        | 14    | 4,41          | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 4,81  | 2840           | 80,71  | 98,4        | 15,2  | 5,21          | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 5,61  | 3330           | 98,56  | 100         | 18,5  | 5,99          | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 6,4   | 3790           | 115,05 | 100         | 18,8  | 6,8           | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 7,2   | 4420           | 135,8  | 100         | 19    | 7,6           | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 8     | 4690           | 146,72 | 100         | 19,5  | 8,4           | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 8,8   | 5190           | 161,09 | 100         | 19,5  | 9,2           | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 9,6   | 5520           | 173,48 | 100         | 19,5  | 10            | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 10,4  | 5890           | 183,89 | 100         | 19,5  | 10,81         | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 11,21 | 6250           | 188,69 | 100         | 21    | 11,59         | 0          | 0          | 0                  |  |
|               | 12,01 | 6630           | 189,91 | 100         | 21    | 12,39         | 0          | 0          | 0                  |  |

**Rys. 2.3.1. Log dynamiczny 3+20 silnika modyfikowanego mechanicznie**

| Group A: '002 |           |           |           |               | Group B: '031  |                 |       |
|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------|-----------------|-------|
|               | Engine Sp | Engine Lo | Injection | Mass Air Flow | Lambda Control |                 |       |
| TIME          | (G28)     |           |           | Sensor (G     | TIME           | Bank 1 (actual) |       |
| Marker        | STAMP     | /min      | %         | ms            | g/s            | STAMP           | V     |
|               | 0,01      | 2160      | 101,5     | 10,66         | 52,61          | 0,51            | 0,705 |
|               | 0,55      | 2400      | 109,7     | 11,19         | 68,02          | 0,73            | 0,705 |
|               | 1,08      | 2640      | 116,6     | 12,48         | 74,56          | 1,22            | 0,725 |
|               | 1,63      | 2880      | 128,1     | 13,78         | 88,43          | 1,71            | 0,615 |
|               | 2,17      | 3200      | 131,9     | 13,78         | 97,89          | 2,20            | 0,52  |
|               | 2,71      | 3480      | 130,4     | 14,21         | 112,38         | 2,68            | 0,265 |
|               | 3,25      | 3760      | 130,4     | 14,21         | 113,82         | 3,17            | 0,67  |
|               | 3,79      | 4080      | 133,4     | 15,07         | 124,32         | 3,65            | 0,49  |
|               | 4,33      | 4360      | 133,4     | 14,21         | 129,23         | 4,14            | 0,47  |
|               | 4,87      | 4680      | 133,4     | 14,21         | 139,83         | 4,63            | 0,67  |
|               | 5,41      | 4960      | 134,2     | 14,64         | 149,82         | 5,11            | 0,65  |
|               | 5,95      | 5240      | 134,9     | 15,07         | 157,96         | 5,60            | 0,71  |
|               | 6,49      | 5520      | 136,5     | 15,50         | 171,89         | 6,08            | 0,745 |
|               | 7,03      | 5800      | 136,5     | 15,93         | 176,98         | 6,56            | 0,75  |
|               | 7,57      | 6040      | 134,2     | 15,93         | 182,68         | 7,05            | 0,755 |
|               | 8,10      | 6280      | 131,2     | 15,93         | 185,97         | 7,53            | 0,76  |
|               | 8,64      | 6520      | 125,1     | 15,93         | 186,61         | 8,02            | 0,78  |
|               | 9,18      | 6600      | 52,1      | 5,17          | 183,38         | 8,51            | 0,72  |

**Rys. 2.3.2. Log dynamiczny 2+31 silnika modyfikowanego mechanicznie**

| Group A: '115 |       |      |          |                | Group B: '118 |          |      |                |      |      |
|---------------|-------|------|----------|----------------|---------------|----------|------|----------------|------|------|
|               | RPM   | Load | Absolute | Absolute Pres, | RPM           | Temperat | Load | Absolute Pres, |      |      |
| TIME          |       |      |          |                | TIME          |          |      |                |      |      |
| MARKER        | STAMP | /min | %        | mbar           | mbar          | STAMP    | /min | °C             | %    | mbar |
|               | 0,5   | 1240 | 64,7     | 1490           | 1000          | 0,01     | 1200 | 43             | 0    | 1000 |
|               | 1,32  | 1340 | 71,4     | 1610           | 1050          | 0,86     | 1320 | 41             | 95,3 | 1000 |
|               | 2,09  | 1420 | 75,2     | 1680           | 1150          | 1,7      | 1520 | 36             | 95,3 | 1050 |
|               | 2,85  | 1560 | 78,2     | 1650           | 1160          | 2,47     | 1680 | 33             | 95,3 | 1140 |
|               | 3,61  | 1840 | 83,5     | 1630           | 1170          | 3,23     | 1920 | 32             | 95,3 | 1150 |
|               | 4,37  | 2040 | 94,7     | 1720           | 1190          | 3,99     | 2200 | 31             | 95,3 | 1340 |
|               | 5,13  | 2360 | 110,5    | 1840           | 1390          | 4,75     | 2520 | 31             | 95,3 | 1530 |
|               | 5,89  | 2720 | 121,8    | 1850           | 1700          | 5,51     | 2920 | 30             | 95,3 | 1790 |
|               | 6,65  | 3120 | 121,1    | 1840           | 1800          | 6,27     | 3320 | 28             | 76,7 | 1810 |
|               | 7,51  | 3520 | 114,3    | 1880           | 1810          | 7,03     | 3720 | 27             | 65,5 | 1810 |
|               | 8,27  | 3920 | 115,8    | 1870           | 1800          | 7,89     | 4200 | 26             | 59,7 | 1800 |
|               | 9,12  | 4400 | 116,5    | 1890           | 1800          | 8,65     | 4600 | 26             | 59   | 1810 |
|               | 9,88  | 4800 | 118,8    | 1870           | 1820          | 9,5      | 4960 | 25             | 58,6 | 1820 |
|               | 10,74 | 5160 | 121,1    | 1840           | 1830          | 10,26    | 5360 | 25             | 58,2 | 1840 |
|               | 11,5  | 5560 | 123,3    | 1830           | 1830          | 11,12    | 5720 | 25             | 58,2 | 1830 |
|               | 12,26 | 5920 | 122,6    | 1780           | 1870          | 11,88    | 6080 | 26             | 56,4 | 1870 |
|               | 13,02 | 6240 | 118,8    | 1730           | 1890          | 12,64    | 6400 | 26             | 55,1 | 1900 |
|               | 13,78 | 6560 | 117,5    | 1700           | 1900          | 13,49    | 6440 | 26             | 53,9 | 1920 |

**Rys. 2.3.3. Log dynamiczny 115+118 silnika modyfikowanego mechanicznie**

Dodatkowo wykonano także pomiar pojazdu na hamowni podwoziowej polskiej firmy dyno-projekt w zakładzie tuningu pojazdu TUNE-UP którego wynik w postaci wykresu przedstawiono na rysunku 2.3.4.

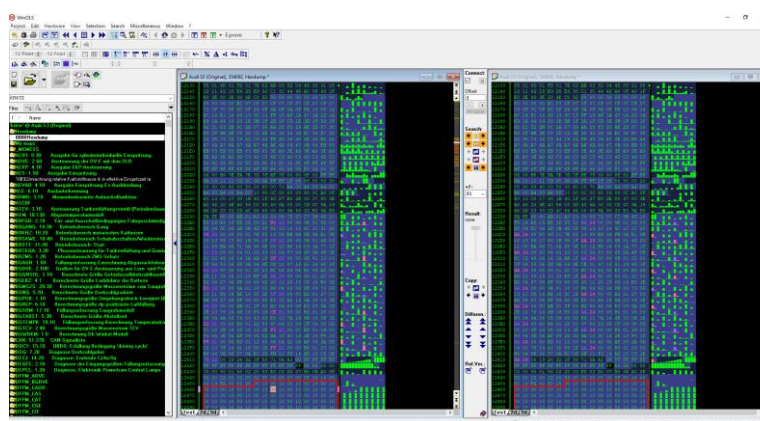


Rys. 2.3.4. Wykres z hamowni silnika modyfikowanego mechanicznie

## 2.4 Wykonanie modyfikacji elektronicznych

Kolejnym etapem prowadzonych badań było dokonanie modyfikacji oprogramowania jednostki sterującej silnikiem. Polegał on na dopasowaniu i zmianie wybranych parametrów pracy silnika do nowych warunków jakimi są modyfikacje mechaniczne dokonane w układzie dolotowym.

Po odczytaniu i uruchomieniu w programie mapy sterownika silnika przystąpiono do wykonania niezbędnych modyfikacji jego zawartości w celu uzyskanie lepszych parametrów eksploatacyjnych. Należy pamiętać, aby zachować maksimum bezpieczeństwa podczas wprowadzania zmian w oprogramowaniu silników.



Rys. 2.4.1. Widok ekranu porównania map sterownika w programie WinOLS

W pierwszej kolejności przystąpiono do kalibracji i optymalizacji parametrów pracy silnika do zainstalowanych modyfikacji mechanicznych a następnie wprowadzano zmiany parametrów pracy w celu osiągnięcia możliwie najwyższych i

bezpiecznych parametrów eksploatacyjnych. Cała procedura strojenia polegająca na doborze odpowiednich parametrów pracy trwała siedem godzin, podczas których przetestowano 15 różnych map. Każdą dokonaną zmianę poddawano weryfikacji na hamowni podwoziowej oraz wykonywano niezbędne logi dynamiczne. Finalne nastawy parametrów pracy silnika jakie udało się uzyskać przy wykonanych modyfikacjach technicznych na paliwie 98 oktan z zachowaniem marginesu bezpieczeństwa przedstawiono poniżej. Z racji tego, iż modyfikacje mechaniczne obejmują bardzo wiele zmian wprowadzanych w sterowniku silnika szczegółowe informacje dostępne są u autorów publikacji.

## 2.5 Wykonanie diagnostyki i weryfikacji końcowej

Po zakończeniu modyfikacji elektronicznych przystąpiono do wykonania końcowej diagnostyki i weryfikacji wpływu wszystkich modyfikacji technicznych na parametry eksploatacyjne badanego obiektu. Przeprowadzono pełen zakres czynności badawczo-diagnostycznych jak w poprzednich przypadkach pozwalający uzyskać niezbędne parametry pracy jednostki napędowej. Po wgraniu ostatniej wersji pliku modyfikacyjnego prace silnika usunięto wszystkie błędy oraz nastawy adaptacyjne i wykonano próbę drogową w celu adaptacji nowego oprogramowania sterującego silnikiem. Następnie wykonano trzy przejazdy kontrolne z zapisem danych w postaci logów dynamicznych. Zachowaną tą samą procedurę co w poprzednich przypadkach oraz pomiary wykonano na tym samym odcinku drogi. Wykonane czynności pozwoliły na uzyskanie logów dynamicznych które przedstawiono poniżej na rysunkach 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3.

|        | Group A: '003 |           |        |      |             | Group B: '020 |             |             |             |                    |
|--------|---------------|-----------|--------|------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
|        | RPM           | Mass Flow | Load   |      | Ign, Timing | Idle Stabil   | Idle Stabil | Idle Stabil | Idle Stabil | Idle Stabilization |
|        | TIME          |           |        |      | TIME        |               |             |             |             |                    |
| Marker | STAMP         | /min      | g/s    | %    | °BTDC       | STAMP         | °KW         | °KW         | °KW         | °KW                |
|        | 0,3           | 1200      | 8,53   | 16,1 | 30          | 0,01          | 0           | 0           | 0           | 0                  |
|        | 0,9           | 1340      | 21,34  | 89   | 21          | 0,6           | 0           | 0           | 0           | 0                  |
|        | 1,5           | 1520      | 26,78  | 92,2 | 19,5        | 1,2           | 0           | 0           | 0           | 0                  |
|        | 2,1           | 1810      | 36,76  | 96,1 | 18,8        | 1,8           | 0           | 0           | 0           | 0                  |
|        | 2,7           | 2060      | 52,64  | 98,4 | 16,5        | 2,4           | 0           | 0           | 0           | 0                  |
|        | 3,3           | 2430      | 63,24  | 100  | 11,3        | 3             | 0           | 0           | 0           | 0                  |
|        | 3,9           | 2840      | 94,68  | 100  | 9,8         | 3,6           | 0           | 0           | 0           | 0                  |
|        | 4,51          | 3330      | 151,24 | 100  | 13,5        | 4,2           | 2,3         | 0           | 0           | 2,3                |
|        | 5,11          | 3790      | 176,51 | 100  | 14,3        | 4,81          | 2,3         | 0           | 0           | 2,3                |
|        | 5,71          | 4320      | 192,47 | 100  | 14,3        | 5,41          | 1,5         | 0           | 0           | 2,3                |
|        | 6,31          | 4750      | 208,34 | 100  | 15          | 6,01          | 1,5         | 0           | 0           | 1,5                |
|        | 6,91          | 5210      | 218,09 | 100  | 13,5        | 6,6           | 1,5         | 0           | 0           | 1,5                |
|        | 7,51          | 5520      | 228,2  | 100  | 14,3        | 7,21          | 1,5         | 0           | 0           | 1,5                |
|        | 8,11          | 5960      | 238,71 | 100  | 17,3        | 7,81          | 0,8         | 0           | 0           | 0,8                |
|        | 8,71          | 6310      | 239,19 | 100  | 17,3        | 8,4           | 0,8         | 0           | 0           | 0,8                |
|        | 9,31          | 6650      | 236,96 | 100  | 18          | 9             | 0,8         | 0           | 0           | 0,8                |

Rys. 2.5.1. Log dynamiczny 3+20 po modyfikacjach elektronicznych

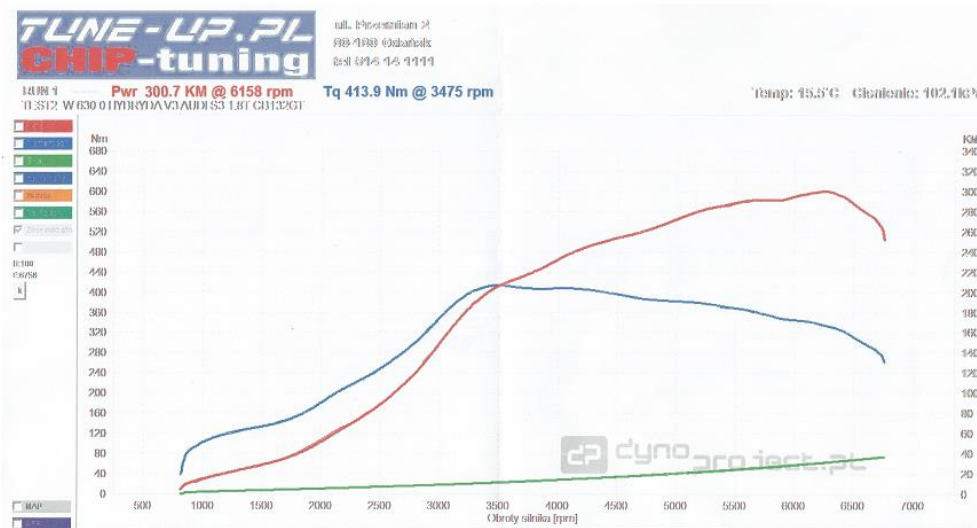
|        |       | Group A: '002 |           |           | Group B: '031 |                |                 |
|--------|-------|---------------|-----------|-----------|---------------|----------------|-----------------|
|        |       | Engine Sp     | Engine Lo | Injection | Mass Air Flow | Lambda Control |                 |
| TIME   |       | (G28)         |           |           | Sensor (G     | TIME           | Bank 1 (actual) |
| Marker | STAMP | /min          | %         | ms        | g/s           | STAMP          | V               |
|        | 0,01  | 2000          | 47,4      | 2,87      | 19,03         | 0,3            | 0,11            |
|        | 0,6   | 2080          | 51,1      | 2,87      | 20,75         | 0,9            | 0,68            |
|        | 1,2   | 2200          | 93,2      | 5,74      | 42,78         | 1,51           | 0,79            |
|        | 1,8   | 2400          | 107,5     | 6,56      | 52,86         | 2,1            | 0,805           |
|        | 2,4   | 2680          | 125,6     | 7,79      | 67,72         | 2,7            | 0,805           |
|        | 3     | 2960          | 159,4     | 10,66     | 97,31         | 3,3            | 0,83            |
|        | 3,6   | 3360          | 191,7     | 13,12     | 124,53        | 3,91           | 0,815           |
|        | 4,2   | 3800          | 181,2     | 12,3      | 145,17        | 4,51           | 0,835           |
|        | 4,81  | 4240          | 191,7     | 13,12     | 174,67        | 5,11           | 0,835           |
|        | 5,4   | 4640          | 191,7     | 13,53     | 190,73        | 5,71           | 0,85            |
|        | 6,01  | 5040          | 191,7     | 13,53     | 202,05        | 6,31           | 0,85            |
|        | 6,61  | 5400          | 191,7     | 13,53     | 221,20        | 6,91           | 0,85            |
|        | 7,21  | 5720          | 191,7     | 13,53     | 230,45        | 7,51           | 0,855           |
|        | 7,81  | 6040          | 191,7     | 13,53     | 238,65        | 8,11           | 0,86            |
|        | 8,41  | 6320          | 191,7     | 13,94     | 244,01        | 8,7            | 0,875           |
|        | 9,01  | 6600          | 191,7     | 13,53     | 238,53        | 9,31           | 0,88            |
|        | 9,61  | 6760          | 188,7     | 13,53     | 241,08        | 9,9            | 0,88            |

**Rys. 2.5.2. Log dynamiczny 2+31 po modyfikacjach elektronicznych**

|        |       | Group A: '115 |       |          |                | Group B: '118 |          |      |                |      |
|--------|-------|---------------|-------|----------|----------------|---------------|----------|------|----------------|------|
|        |       | RPM           | Load  | Absolute | Absolute Pres, | RPM           | Temperat | Load | Absolute Pres, |      |
| TIME   |       |               |       |          |                | TIME          |          |      |                |      |
| Marker | STAMP | /min          | %     | mbar     | mbar           | STAMP         | /min     | °C   | %              | mbar |
|        | 0,01  | 1600          | 83,5  | 1530     | 1070           | 0,3           | 1720     | 21   | 95,3           | 1110 |
|        | 0,6   | 1760          | 91    | 1550     | 1150           | 0,9           | 1880     | 18   | 93,3           | 1190 |
|        | 1,2   | 1960          | 94,7  | 1590     | 1220           | 1,5           | 2040     | 17   | 86,7           | 1260 |
|        | 1,8   | 2160          | 107,5 | 1600     | 1310           | 2,1           | 2240     | 15   | 75,3           | 1370 |
|        | 2,4   | 2360          | 116,5 | 1700     | 1430           | 2,7           | 2480     | 14   | 81,6           | 1490 |
|        | 3     | 2600          | 127,8 | 1960     | 1570           | 3,3           | 2760     | 14   | 94,1           | 1680 |
|        | 3,6   | 2920          | 157,1 | 2220     | 1830           | 3,9           | 3080     | 13   | 81,2           | 2030 |
|        | 4,2   | 3280          | 183,5 | 2330     | 2290           | 4,51          | 3480     | 13   | 80,4           | 2360 |
|        | 4,8   | 3680          | 186,5 | 2370     | 2370           | 5,11          | 3880     | 12   | 82             | 2360 |
|        | 5,41  | 4080          | 191,7 | 2400     | 2340           | 5,71          | 4280     | 12   | 82,4           | 2380 |
|        | 6     | 4480          | 191,7 | 2420     | 2410           | 6,31          | 4680     | 12   | 82,7           | 2420 |
|        | 6,6   | 4840          | 191,7 | 2400     | 2400           | 6,91          | 5040     | 12   | 83,5           | 2410 |
|        | 7,21  | 5240          | 191,7 | 2400     | 2390           | 7,51          | 5400     | 12   | 83,9           | 2400 |
|        | 7,81  | 5560          | 191,7 | 2390     | 2390           | 8,11          | 5760     | 14   | 84,3           | 2380 |
|        | 8,41  | 5880          | 189,5 | 2380     | 2360           | 8,71          | 6040     | 15   | 85,1           | 2370 |
|        | 9,01  | 6200          | 187,2 | 2370     | 2370           | 9,3           | 6320     | 15   | 85,5           | 2370 |
|        | 9,61  | 6480          | 177,4 | 2360     | 2360           | 9,91          | 6600     | 16   | 85,5           | 2320 |
|        | 10,2  | 6720          | 188   | 2350     | 2300           | 10,51         | 6840     | 18   | 6,3            | 2240 |

**Rys. 2.5.3. Log dynamiczny 115+118 po modyfikacjach elektronicznych**

Dodatkowo przeprowadzono także finalny pomiar pojazdu na hamowni podwoziowej polskiej firmy dyno-projekt w zakładzie tuningu pojazdu TUNE-UP którego wynik w postaci wykresu przedstawiono na rysunku 2.5.4.



Rys. 2.5.4. Wykres mocy i momentu obrotowego po wszystkich modyfikacjach.

### 3. Analiza wyników badań

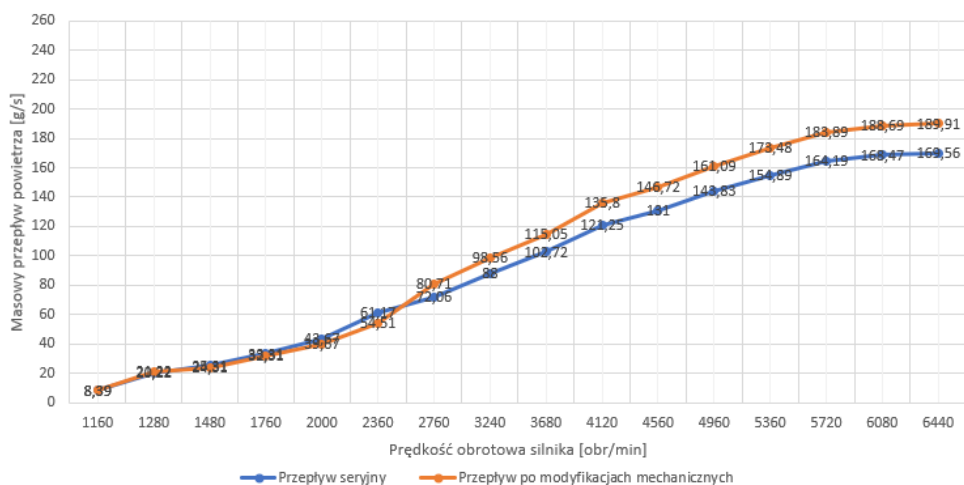
Wykonane modyfikacje techniczne oraz przeprowadzone czynności diagnostyczno-weryfikacyjne przyczyniły się do uzyskania niezbędnych wyników pozwalających na porównanie ze sobą parametrów pracy silnika przy wykonaniu różnych modyfikacji. Analizie podlegać będą główne parametry silnika odpowiedzialne za jego pracę i generowane osiągi takie jak:

- Przepływ masowy powietrza,
- Kąt wyprzedzenia zapłonu,
- Jakość zapłonu występująca na danym cylindrze oceniana na podstawie opóźnienia zapłonu na danym cylindrze,
- Stosunku składu mieszanki paliwowo powietrznej,
- Wysokości ciśnienia doładowania,
- Temperatury w kolektorze dolotowym.

#### 3.1. Wpływ modyfikacji mechanicznych

Korzystając z wzoru dotyczącego szacowania mocy pojazdu na podstawie przepływomierza możemy ocenić wpływ modyfikacji mechanicznych na zmianę tego parametru. Aby obliczyć szacowaną moc pojazdu należy masowy przepływ powietrza wyrażony w gramach na sekundę podzielić przez współczynnik 0,8. Poniżej na rysunku 3.1.1 przedstawiono porównanie zmierzonego przepływu powietrza dla silnika seryjnego i modyfikowanego mechanicznie w funkcji obrotów silnika.





**Rys. 3.1.1. Porównanie przepływów masowych powietrza**

Jak można zauważyć na powyższym wykresie i otrzymanych w wynikach badań grupa 003 (kolumna MASS FLOW) maksymalny przepływ powietrza po modyfikacjach technicznych wzrósł z 169,56 g/s (co odpowiada w przeliczeniu 212 KM) do 189,91 g/s (odpowiadającym 237 KM). Można także zaobserwować znaczny przyrost mocy od momentu, w którym turbosprężarka osiąga żądane ciśnienie doładowania co znacznie wpływa na elastyczność pojazdu.

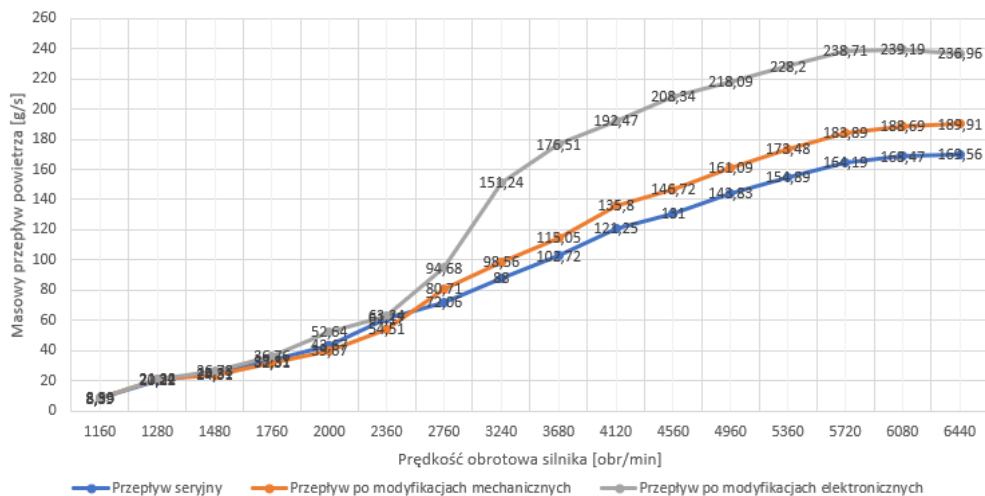
Stosunek paliwowo powietrzny nie uległ zmianie i nadal utrzymywany jest na tym samym poziomie przez jednostkę sterującą jedynie nieznacznie wzrósł czas wtrysku paliwa który związany jest z większym przepływem (większą ilością powietrza dostarczaną do komory spalania). Wykonane modyfikacje mechaniczne pozwoliły zwiększyć moc i moment obrotowy z fabrycznych 209 KM i 270 Nm. na zmierzone przy pomocy hamowni podwoziowej 241,5 KM i 317,9 Nm. Można także zauważyć, że oszacowana moc na podstawie wskazań przepływomierza jest bardzo zbliżona do rzeczywistej zmierzonej przez hamownię podwoziową.

### 3.2. Wpływ modyfikacji elektronicznych

W kolejnym etapie analizie podlegać będzie wpływ wykonanych modyfikacji elektronicznych na parametry pracy jednostki napędowej które przekładają się bezpośrednio na jej parametry eksploatacyjne takie jak moc i moment obrotowy. Podczas procesu modyfikacji elektronicznych wprowadzono szereg zmian w jednostce sterującej które przyczyniły się do uzyskania finalnych wyników z czynności diagnostyczno-weryfikacyjnych.

Pierwszym analizowanym parametrem będzie masowy przepływ powietrza uzyskany w pojeździe po zakończeniu modyfikacji elektronicznych. Na rysunku

3.2.1 przedstawiono porównanie odczytu z przepływomierza dla trzech stanów modyfikacji pojazdu: pojazd seryjny, pojazd modyfikowany mechanicznie oraz pojazd modyfikowany elektronicznie.

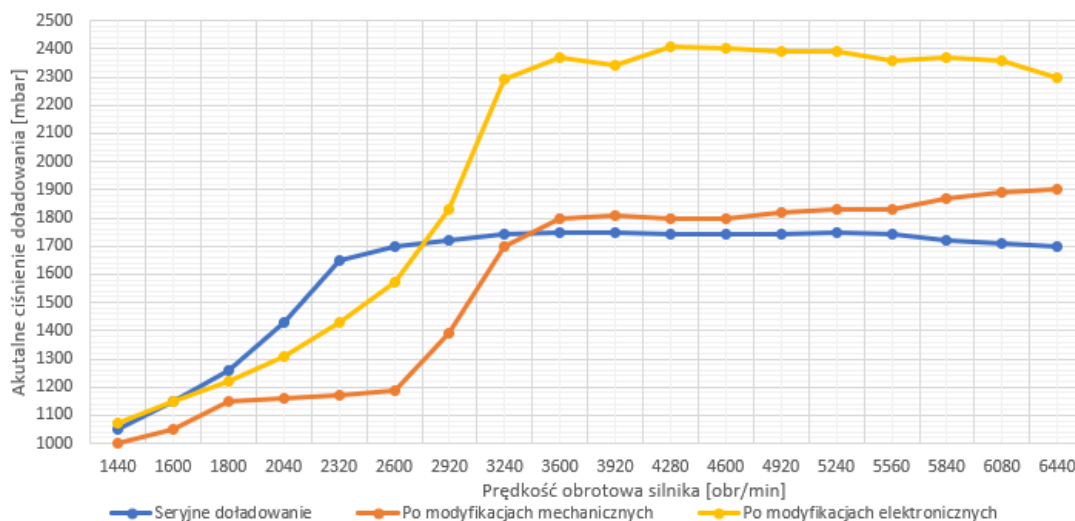


**Rys. 3.2.1. Porównanie przepływów masowych powietrza**

Analizując powyższe dane zamieszczone na wykresie otrzymane w wyniku przeprowadzonych badań sporządzone na podstawie danych z grupy 003 (kolumna Mass Flow) uzyskanych w wyniku diagnostyki, można zauważyć że pojazd seryjny generował 169,56 g/s (odpowiadające 212KM) przepływu masowego powietrza, pojazd modyfikowany mechanicznie 189,91 g/s ( odpowiadającym 237 KM) natomiast po finalnych modyfikacjach w jednostce sterującej silnikiem uzyskano 239,19 g/s (odpowiadające 299KM) przy prędkości obrotowej 6310 obr/min. Dzięki wykonanym modyfikacjom mechanicznym i elektronicznym uzyskano 70 g/s (odpowiadające 90 KM) przyrostu masowego przepływu powietrza. Skutkuje to bardzo dużym przyrostem mocy i momentu obrotowego w zakresie od 2700 do 6300 obr/min.

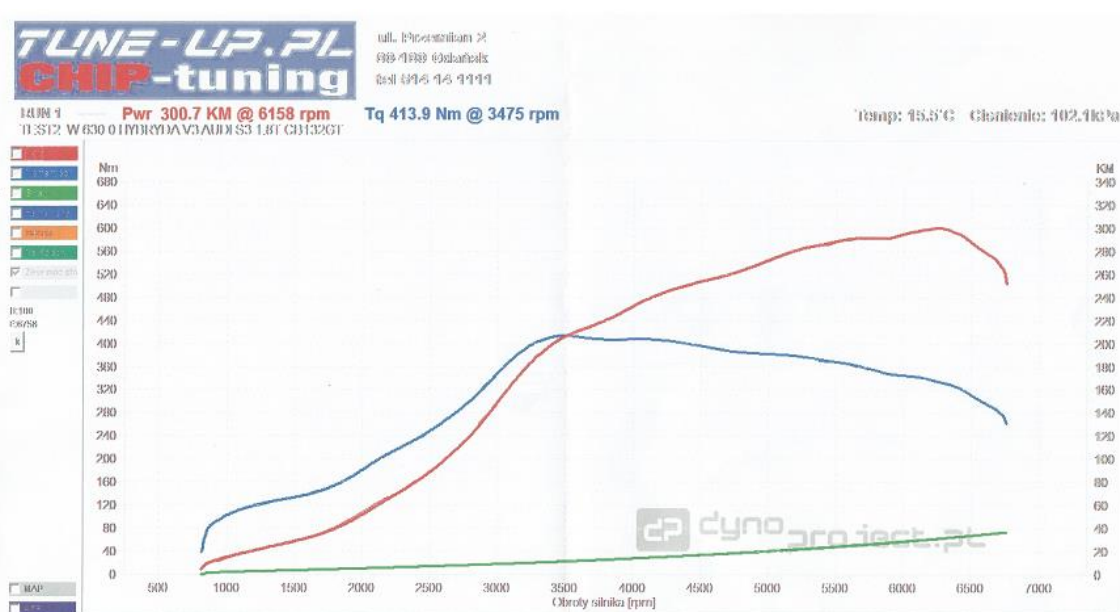
Zmianie w znaczny stopniu uległo także ciśnienie doładowania generowane przez turbosprężarkę. Jak można odczytać z logów dynamicznych grupy 115 i 118 (kolumna Boost Pressure specified i Boost Pressure actual) zamieszczonych w wynikach badań bazowo zadane fabryczne ciśnienie doładowania wynosiło stałe 0,75 bar. Ciśnienie to obliczone został z wykonanych logów dynamicznych przy zastosowaniu odpowiedniego wzoru: zadane ciśnienie doładowania podane w milibarach pomniejszone o założone stałe ciśnienie atmosferyczne 1000mbar daje wynik 750 mbar co w przeliczeniu na bary wynosi 0,75 bar. W wyniku modyfikacji elektronicznych ciśnienie to zostało zwiększone do poziomu 1.4 bar powoli

opadające do 1.35 bar przy końcu prędkości obrotowej silnika. Podczas modyfikacji ustawiono przebieg ciśnienia doładowania tak aby dopiero przy prędkości obrotowej powyżej 3000 obr/min osiągnąć maksymalne zadane ciśnienie doładowania w celu ochrony komponentów silnika przed uszkodzeniem w wyniku działania zbyt dużego momentu obrotowego przy niskiej prędkości obrotowej. Szczegółowe porównanie przebiegu ciśnienia doładowania silnika seryjnego, modyfikowanego mechanicznie oraz modyfikowanego elektronicznie przedstawiono na rysunku 3.2.2.



**Rys. 3.2.2. Porównanie przebiegu ciśnienia doładowania dla różnych modyfikacji**

Dzięki tak poprowadzonej charakterystyce ciśnienia doładowania powyżej 3000 obr/min pojazd dysponuje bardzo dużym momentem obrotowym oraz generuje moc prawie do końca prędkości obrotowej silnika.



**Rys. 3.2.3. Wykres końcowy mocy i momentu obrotowego**

## **Podsumowanie**

Głównym celem realizowanym w pracy było dokonanie oceny wpływu modyfikacji technicznych silnika spalinowego na jego parametry eksploatacyjne. W wyniku czego dokonano wybranych modyfikacji mechanicznych oraz elektronicznych badanego silnika spalinowego a następnie wykonano niezbędne czynności diagnostyczno-weryfikacyjne pozwalające na uzyskanie wyników prowadzących do określenia efektywności wykonanych modyfikacji.

Wszystkie wykonane czynności badawcze pozwoliły na zebranie niezbędnych danych do określenia efektywności wpływu wykonanych modyfikacji technicznych na parametry eksploatacyjne obiektu badań.

## **Literatura**

1. Zając Piotr, Silniki spalinowe, Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 2008.
2. Zając Piotr, Silniki pojazdów samochodowych. 2, Układy zasilania, chłodzenia, smarowania, dolotowe i wylotowe, Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2011.
3. Mirosław Karczewski, Leszek Szczęch, Grzegorz Trawiński, Silniki pojazdów samochodowych: podręcznik do nauki zawodu technik pojazdów samochodowych, mechanik pojazdów samochodowych, Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 2017.
4. Jacek Wasilewski, Eugeniusz Krasowski, Tłokowe silniki spalinowe, Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, 2015.
5. Polski Komitet Normalizacyjny, PN-ISO 3046-3:2009, Silniki spalinowe tłokowe- Osiągi- Część 3: Pomiary podczas prób, Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 2009.
6. Polski Komitet Normalizacyjny, PN-ISO 15550:2009, Silniki spalinowe tłokowe - Określenie i metoda pomiaru mocy silnika - Wymagania ogólne, Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 2009.

# INCREASING THE DURABILITY TRANSMISSION PARTS OF THE TRANSPORT SYSTEMS BY FRICTION-MECHANICAL METHOD

Kostyuk M., Kosiuk M.

Khmelnitskyi National University, Ukraine

## Introduction

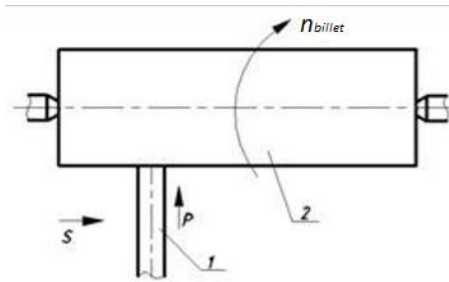
At the present stage of development of mechanical engineering, one of the urgent problems is to increase the reliability and durability of the friction surfaces of machine parts. The vast majority of cars (85-90%) fail due to parts wear. These include shafts, axles, guides, spherical hinges, liners of internal combustion engines and other details of transport systems. The friction that occurs in the tributaries of machine parts during operation, in the absence or insufficient lubrication, leads to energy loss, intensification of wear and destruction of the surface layer. One of the ways to improve the durability and quality of the working surfaces of machine parts is to improve existing and create new combined technological methods of impact on the surface being machined. Therefore, increasing the reliability and durability of the surface layer of machine parts is an extremely important task for scientists and inventors [1-3].

A promising, self-developing industry is tribotechnology (technological methods of controlling the friction characteristics of moving couplings) [4]. One of the ways to increase the technical life of tribal parts is the use of advanced processing methods, in particular, finish antifriction non-abrasive processing, known due to the works of DM Garkunov, VM Lozovsky, VI Balabanov, SS Nekrasova. , Rybakova LM, Burumkulova F.H etc. [5-9].

Finish antifriction non-abrasive processing based on the use of the phenomenon of selective transfer (the effect of wear and tear), which is characterized by the molecular component of the friction force and occurs as a result of chemical and physico-chemical processes on the surface, resulting in the formation of systems of automatic compensation of wear and friction reduction. These systems form a protective (servos) film, which implements a diffusion-vacancy deformation mechanism that passes without defect accumulation inherent in fatigue processes [1,5,6].

Essence finish antifriction non-abrasive processing is that the friction surfaces of the parts are covered with a thin layer (1... 7 microns) of copper, brass, bronze or other antifriction solid lubricants using process fluid. The traditional kinematic

scheme of the finish antifriction non-abrasive process is shown in Fig. 1, where  $P$  is the force of pressing the tool from a coating material that moves along the surface of the workpiece;  $n$ -speed of the workpiece;  $S$  - longitudinal tool feed.

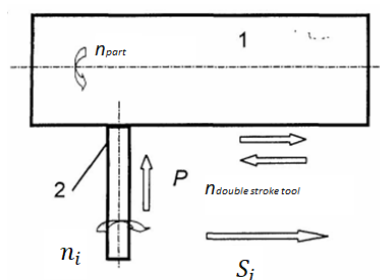


**Figure 1. Scheme of friction-mechanical antifriction coating: 1-tool; 2-billet**

The main component of the process fluid is glycerol, which acts as a plasticizer and antioxidant with respect to the steel surface. The introduction into the process fluid of other components, contribute to the productivity of the process of forming a quality antifriction coating, as well as increase its thickness and adhesion to the base material [7,8].

The drift effect is also implemented in many machines by using special lubricants. Finish antifriction non-abrasive processing recommended for parts of machines operating under extreme load conditions, as the process is based on selective transfer and protective layers under certain conditions are self-healing and regenerating [9].

In works [10-13] it is stated that one of the ways of intensification of application of antifriction coatings is the use of vibration and oscillation of the instrument. The kinematic scheme of the finish anti-friction non-abrasive vibration treatment shown in Fig.2.



**Figure 2. Kinematic processing scheme for finish anti-friction non-abrasive vibration treatment:1 - tool, 2 piece**

The workpiece 1 rotates with a frequency  $n_d$ , the tool 2, rotates with a frequency  $n_i$ , presses against the surface of the workpiece with force  $P$  and moves along the workpiece with feed  $S$  and oscillates with frequency.

The aim of the work improvement of technology and development of equipment for realization of the process of friction-mechanical deposition of a wear-resistant coating on incomplete outer spherical surfaces of the parts of ball joints, in particular automobile ball fingers.

### Results and their discussion

On the basis of the results of the analysis of the technological capabilities of finish antifriction non-abrasive processing methods of hardening, structures of equipment for coating and strengthening of machine parts and conducted research, the authors developed a new combined method of finishing antifriction static-impulse treatment of incomplete spherical surfaces and technology [14,15].

Figure 3 shows a scheme of antifriction coating on incomplete spherical surfaces ball fingers of spherical hinges finishing antifriction static-impulse treatment.

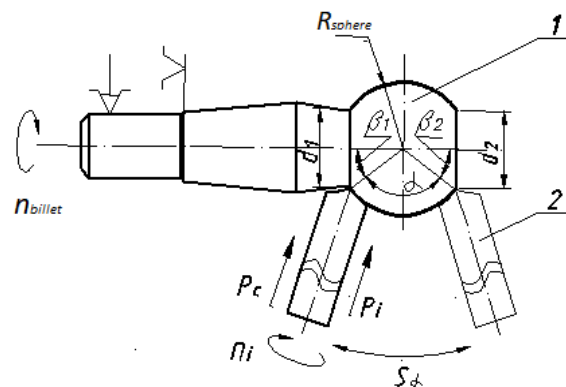


Figure 3. Scheme of antifriction coating on incomplete spherical surface

In accordance with the proposed kinematic scheme of the workpiece provide rotational motion relative to its longitudinal axis, and the tool with the coating material provides a constant static-impulse action on the incomplete spherical surface of the workpiece and rotational motion about its longitudinal axis with oscillations about the center of the spherical surface of the workpiece. The oscillation angle during the processing of incomplete spherical surface is determined by the formula 1:

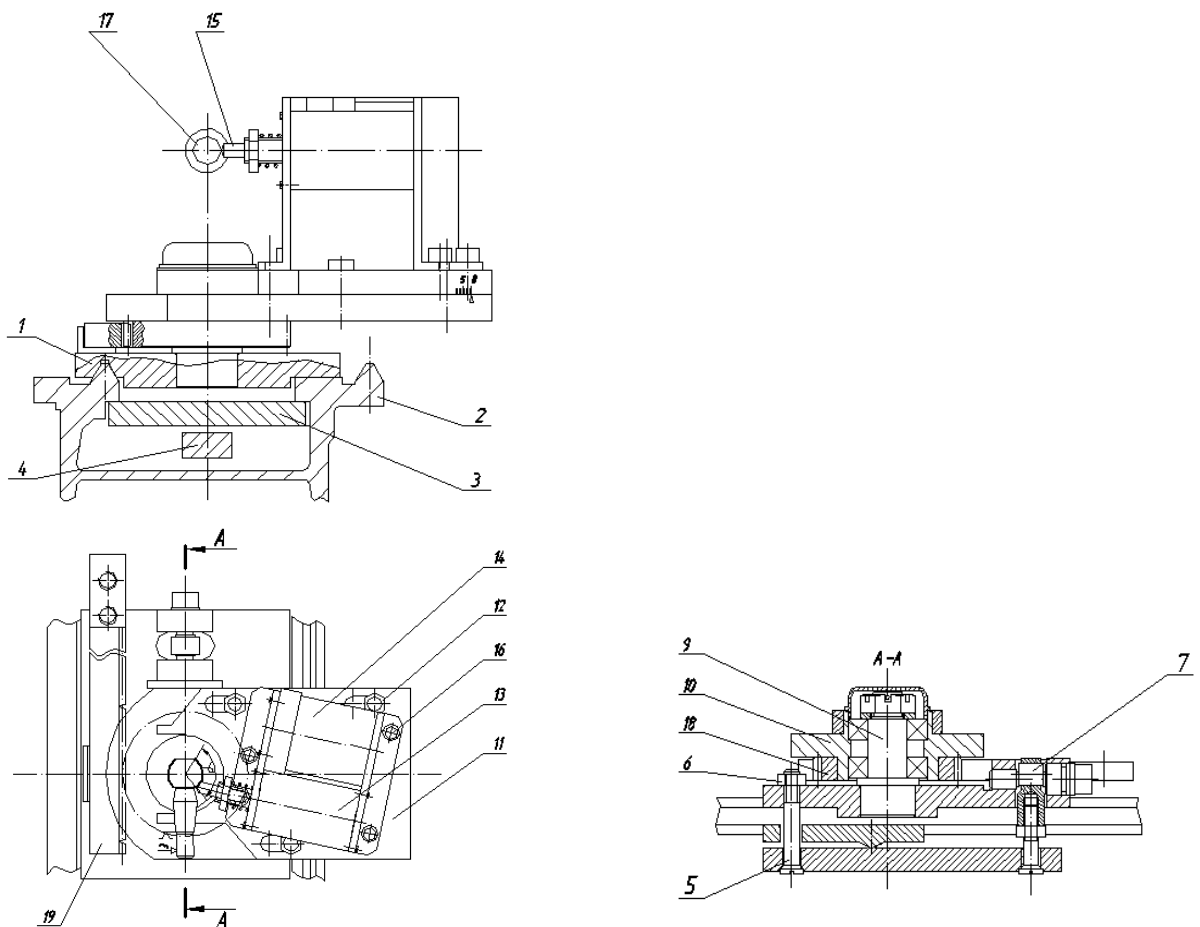
$$\alpha = 180 - (\beta_1 - \beta_2) = 180 - \left( \arcsin \frac{d_1}{2R_{c\phi}} - \arcsin \frac{d_2}{2R_{c\phi}} \right) \quad (1)$$

where  $R_{c\phi}$  radius of the spherical surface being machined;  $d_1, d_2$  - diameters of end sections;  $\beta_1$  and  $\beta_2$  - angles of rotation of the radius of the vector that determine the incomplete spherical surface of the workpiece.

The advantages of the proposed method include the expansion of technological capabilities of finish antifriction non-abrasive processing, significant increase in productivity and quality of the process of application of antifriction coatings on the surface of steel and cast iron parts.

In order to ensure the process of finishing antifriction static-impulse treatment and applying a high-quality coating with high adhesion between the materials of the workpiece and the coating, it is necessary to timely submit to the treatment area a special process fluid that moistens the treated surface, loosens the oxide adhesive film metals.

When designing technological equipment for application of antifriction coating, the proposed method takes into account the features of finish antifriction non-abrasive processing and for finish anti-friction non-abrasive vibration treatment. The technological equipment for applying the antifriction coating on the incomplete spherical surface is shown in Fig. 4 a, 4 b (top view), and Fig. 4 c (section AA in Fig. 4a).



**Figure 4. Technological equipment for finishing antifriction static-impulse treatment incomplete spherical surface**

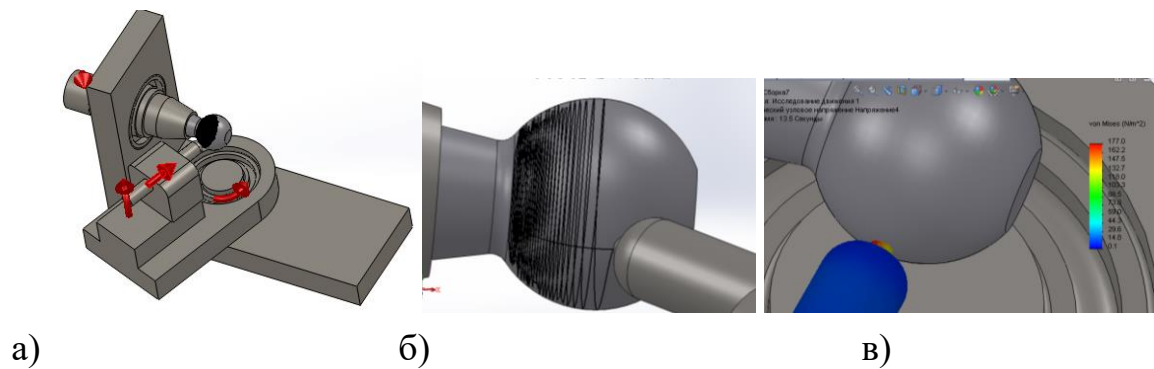


The technological equipment for applying the antifriction coating to the outer incomplete spherical surfaces is made in the form of a rotary table containing the platform 1, which is mounted on the prismatic guides 2 of the lathe. The platform 1 is made with the possibility of longitudinal movement and fixation with the help of plate 3, laths 4, bolts 5, nuts 6, eccentric 7. On platform 1, an axis 9 is mounted with the adjustable bearing assembly 10 pressed thereto, to which a plate 11 is fixed with it fixed. mechanism of static-impulse action 13 with an individual actuator 14 and a tool 15, made with the possibility of transverse movement about the axis of rotation of the workpiece. The mechanism of static-impulse action 13 is fixed to the plate 11 by bolts 16. Adjustment of the tool 15, is carried out according to the template 17, fixed in the lathe chuck (not shown). On the bearing assembly 10 is mounted a gear crown 18, which is engaged with the rack 19, which has a kinematic connection with the support of the lathe (not shown).

Work with the use of technological equipment for application of antifriction coating on the outer incomplete spherical surfaces is as follows. The workpiece is installed in the chuck of the lathe. Adjust the tool according to the pattern 17 and lock in the desired position with the bolts 12. When turning on the longitudinal feed caliper lathe begins to move in the direction of the front headstock (not shown). The rail 19, which is fixed to the caliper and has a kinematic connection with it, transmits movement to the gear crown 18, mounted on the bearing assembly 10 and rotates it relative to the axis 9, which is fixed to the platform 1, fixed to the prism guides 2 of the lathe. In this case, the tool 15 mounted in the spindle of the mechanism of static-impulse action 13 begins to circumvent the outer spherical surface at a given radius, rotating around its own axis with a frequency  $n_i$  with simultaneous static-impulse load of the treated surface.

Done computer modeling of processing and experimental researches of the developed technologies and technological equipment for friction-mechanical application of antifrictional coating on incomplete outer spherical surfaces of automotive ball fingers have been carried out.

In order to estimate the trajectory of motion of the point of the tip of the tool according to the NSP and contour graph of the stress-strain state of the tool, a simulation of the processing in the SOLIDWORKS environment was performed using a system for kinematic and dynamic analysis of technical systems SOLIDWORKS Motion (Fig. 5).



**Figure 5. Computer model and study of finishing antifriction static-impulse treatment kinematic scheme: a - the model of processing, б - the trajectory of movement of the tool, c - stress-strain state of the tool**

In the simulation model studied, the tool was loaded with a static load force  $F_{st}$ , thereby being in constant contact with the workpiece and the effect of periodic pulse load  $R_i$ , which promotes the application of antifriction coating to the incomplete spherical surface parts during processing. As a result, a break-in process is carried out, micro-irregularities are deformed and the coating process is intensified.

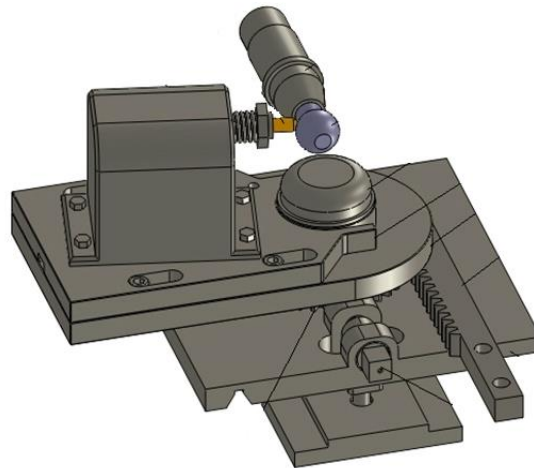
The results of computer simulation confirmed the feasibility of the developed kinematic scheme of the proposed technological equipment for finishing antifriction static-impulse treatment incomplete spherical surface.

Experimental studies of the proposed technology and equipment for friction-mechanical application of wear-resistant coating of L63 brass on incomplete outer spherical surfaces of automotive ball fingers  $D = 25$  and  $45$  mm, made of 40X steel material, have been carried out. Figure 6 shows a 3D model of an experimental stand for finishing antifriction static-impulse treatment incomplete spherical surface.

The dependence of the impact of single impact energy and static loading on the thickness of the antifriction coating layer was evaluated. The experimental stand allowed to provide a static load  $F_{st}$  on the tool in the range of  $75-150$  N and a single impact energy  $W$  in the range of  $0.5-2$  J. The coating thickness was measured on microscopes using a SIGETA CAM-05 digital microscope. The speed of the tool varied within  $n_i = 50-300$  rpm. The workpiece rotational speed varied  $n_s = 160-315$  rpm.

It is established that the proposed technological equipment allows to control the thickness of the applied antifriction coating with the simultaneous strengthening of the surface layer of the main material of the workpiece. The microhardness was

evaluated on the PMT-3 universal microhardness meter. There is an increase in the surface microhardness of the main material of the workpiece up to 30%.



**Figure 6. 3D model of the experimental stand for finishing antifriction static-impulse treatment incomplete spherical surface**

The advantages of the finishing antifriction static-impulse treatment process include: low consumption of coating material and mechanical energy, high stability and quality of antifriction coating. Improving anti-friction coating quality and finishing antifriction static-impulse treatment process performance is possible by increasing the number of simultaneously running tools and providing optimal modes.

## **Conclusions**

On the basis of the results of the analysis of technological capabilities of friction-mechanical processing, methods of hardening, structures of equipment for coating and strengthening of machine parts and conducted research, a new combined method finishing antifriction static-impulse treatment incomplete spherical surface and technological equipment for its implementation on the example of an incomplete spherical surface of the ball finger, allows to improve the process of friction-mechanical deposition on incomplete outer spherical surfaces of tributary parts.

It is established that the process of friction-mechanical forming of anti-friction coating is ecologically safe and economically justified.

A promising direction for further research is to establish the influence of technological environment and processing modes on anti-friction coating parameters.

The results of the work will be summarized in order to formulate recommendations for the practical implementation of the technology of friction application of antifriction coating on the incomplete spherical surface ball joints.

## References

1. Trenie, iznashivanie i smazka: Spravochnik. V 2-kn. Kn.2. /Pod. red. I.V.Kragel'skogo i V.V.Alisina. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 360 s.
2. Yushchenko K.A. Inzheneriia poverkhni / K.A. Yushchenko, Yu.S. Borysov, V.D. Kuznetsov, V.M. Korzh. – K.: Naukova dumka, 2007. – 557s.
3. Suslov A.G. Inzheneriya poverhnosti detalej / A.G.Suslov, Bez"yazychnyj V.F., Panfilov YU.V. i dr. / Pod red. Suslova. A.G. – M.: Mashinostroenie, 2008. – 320 s.
4. Zakalov, O.V. Trybotekhnika i pidvyshchennia nadiinosti mashyn [Tekst]: O.V. Zakalov. – Ternopil: TDTU, 2000. – 354 s.
5. Izbiratel'nyj perenos v tyazhelo nagruzhennyh uzlah treniya /Pod obshch.red. D.N. Garkunova. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 207 s.
6. Pol'cer G. Osnovy treniya i iznashivaniya: per. s nem./ G. Pol'cer, F. Majsner. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 256 s.
7. Garkunov D.N. Tribotekhnika: Iznos i bezyznosnost'.: Ucheb. dlya vuzov. - M.: Izd-vo MSKHA, 2001. - 615s.
8. Garkunov D. N. Tribotekhnika. Konstruirovanie, izgotovlenie, ekspluatatsiya mashin / D. N. Garkunov. – M. : Mashinostroenie, 2002. – 632 s.
9. Garkunov D.N., Mel'nikov E.L., SHCHedrin A.V. i dr. Novoe nauchnoe otkrytie v tribologii na osnove samoorganizacii// Nauchnye trudy Akademii problem kachestva. 2016. S. 348-356.
10. Balabanov V.I. i dr. Nanesenie treniem nanorazmernykh antifrikcionnykh pokrytij na detali / V.I. Balabanov, V.YU. Bolgov, S.A. Ishchenko // Nanotekhnologii, ekologiya, proizvodstvo. - 2010. №1(3). - S. 104-107.
11. Sorokin V.M. Uprochnenie poverhnostej valov sovmeshchennym natiraniem antifrikcionnykh pokrytij i PPD/ V.M.Sorokin, S.S.Tanchuk, A.V.Miheev i dr.// Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. – 2011. - №2. – S.38-43.
12. Cherkun V.V. Povyszenie iznosostojkosti vneshnih cilindricheskikh poverhnostej treniya detalej gidroagregatov putem primeneniya finishnoj antifrikcionnoj bezabrazivnoj vibracionnoj obrabotki (FABVO) / V. V. Cherkun // Vibracii v tekhnici ta tekhnologiyah. - 2013. - № 2. - S. 138-140.
13. Shepelenko I. V. Obrazovanie antifrikcionnogo pokrytiya finishnoj antifrikcionnoj bezabrazivnoj vibracionnoj obrabotkoj / I. V. Shepelenko, V. V. Cherkun // Vibracii v tekhnici ta tekhnologiyah. - 2013. - № 3. - S. 99-104.
14. Pat.129297 UA, MPK (2018.01) C23C 20/00. Sposib antyfyryktsiinoi obrobky nepovnykh sferychnykh poverkhon / Kosiiuk M.M., Kostiuk S.A., Kostiuk M.A. Opubl. 25.10.2018, Biul. № 20.
15. Pat. 130675 UA, MPK (2018.01) C23C 20/00 B05D 5/08 (2006.01). Prystrii dlia nanesennia antyfyryktsiinoho pokryttia na nepovnu sferychnu poverkhniu / Kosiiuk M.M., Kostiuk S.A., Kostiuk M.A. Opubl. 26.12.2018, Biul.№ 24.

# EXPERIMENTAL RESEARCH OF SPRING-BACK EFFECT DURING SEQUENTIAL FORMING WITH DIFFERENT INNER ANGLE, THICKNESS AND BENDING WIDTH OF BLANK

Kukhar V.<sup>1</sup>, Nahnibeda M.<sup>1</sup>, Radushev O.<sup>1</sup>, Markov O.<sup>2</sup>,  
Anishchenko O.<sup>1</sup>, Prysiazhnyi A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pryazovskyi State Technical University, Ukraine

<sup>2</sup> Donbas State Engineering Academy, Ukraine

## Introduction

Steel sheet products and products from it are the most common product of metallurgical and machine-building enterprises [1–3], also, very stringent requirements are imposed of the geometric accuracy of these products [4–7]. Steel reinforcing cold-formed shapes are common products manufactured by enterprises specializing in the metal forming processes. Initial material for cold-formed shapes is galvanized cold-rolled flat steel with a thickness of 0,65 mm. to 2,0 mm. Issues of the development of a special of cold-formed dising and their production are constantly pay attention because of the effectiveness of their application [8–10]. Cold-formed shape is obtained during the blank forming process in the multi-roll roll-profiling mills. However, the bent parts after load relief elastically unbend and change the bending angle, which is characterized by the spring-back effect [11–13]. The influence of the strengthening effect on the geometric parameters and the magnitude of the parts springing formed in the die and various roll-systems was considered in works [14–22]. It is also known that the sheet blank is prone to springing at bending on multi-roll roll-forming mills [8, 15, 23–26]. The spring-back angle can be determined based on experimental analysis of the measuring experiments [27–30].

To date, there is no reliable information about the difference of the spring-back angle, which occurs when the flat blank is bending to a certain final angle for one or several passes. Also, the value of the initial blank width is not taken into account, although such oscillations essentially affect the energy parameters of bending. Failure is to not consider that the springing leads to inconsistency of the finite size of the shapes and defect formation between the roller space of the roll-forming mill stands [31–33]. There are also no mathematical dependences for determining the value of the spring-back angle at passes and at the end of the multi-pass bending, which

complicates the performance of the preventive prediction of the quality of cold-formed shapes.

The purpose of the work is to obtain the graphical and mathematical dependencies for descriptions of the resultative spring-back angle of the blanks at the multi-pass bending, taking into account the width of the blank, number of passes, and pre-bending angle at each preliminary pass.

### Materials and methods

Investigations of bending at the bending of Steel 3 grade (0.14...0.22% C; 0.15..0.3% Si; 0.4...0.65% Mn;  $\leq 0.3\%$  Ni;  $\leq 0.05\%$  S;  $\leq 0.04\%$  P;  $\sim 97\%$  Fe) blanks were carried out on the crank-press model K116G (Fig. 1). As a working tool, were used bending die of U8 grade tool steel (0.76...0.83% C; 0.17...0.33% Si; 0.17...0.33% Mn;  $\leq 0.25\%$  Ni;  $\leq 0.027\%$  S;  $\leq 0.03\%$  P;  $\sim 97\%$  Fe) with heat-treated to hardness HRC 40...44 [34]. They were made for different angles of bending:  $72^\circ$ ,  $91^\circ$  and  $109^\circ$  (Fig. 2). Radii : (i) – for die with a bending angle of  $72^\circ$ : upper die rin = 3 mm, lower die rout = 4,0 mm; (ii) – for die with a bending angle of  $91^\circ$ : upper die rin = 4 mm, lower die rout = 5,0 mm; (iii) – for die with a bending angle of  $109^\circ$ : upper die rin = 4 mm, lower die rout = 5,0 mm. The lower and the upper dies were fixed in the die block installed on the specified press.

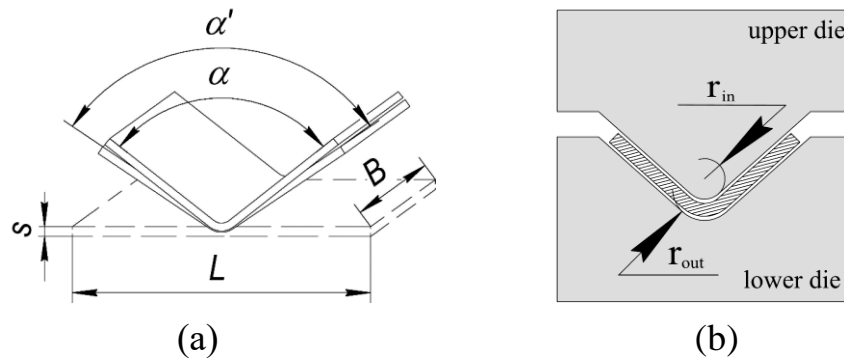
Measurement of the shape parameters of the blanks was carried out by an angle-meter and a caliper, which has undergone metrological checking in due time. The length of the blanks were used is  $L = 60$  mm (Fig. 3).



**Fig. 1. Crank-press K116G, with 0.125 MN force**



**Fig. 2. Bending dies**

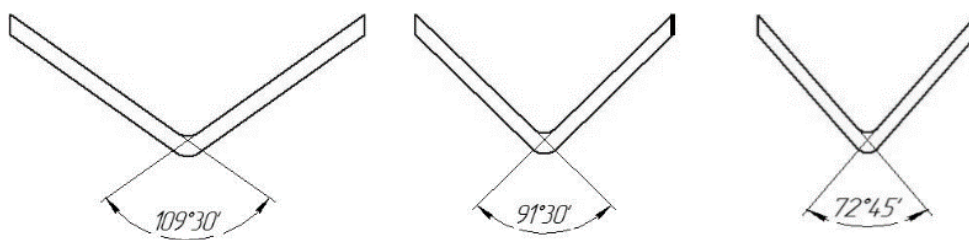


**Fig. 3. Scheme of spring-back effect during blank (a) bending in die (b): L – the length of the blank; S – the thickness of the blank; B – the width of the blank;  $\alpha$  – the angle of the die;  $\alpha'$  – the angle after unloading**

The blanks were divided into two groups with same sizes and quantity: the thickness of the blank –  $S = 1$  mm: the width of the blank –  $B = 20$  mm (5 samples), 40 mm (5 samples) and 60 mm (5 samples); thickness –  $S = 1,5$  mm: the width of the blank –  $B = 20$  mm (5 samples), 40 mm (5 samples) and 60 mm (5 samples); thickness –  $S = 2$  mm: width of the blank –  $B = 20$  mm (5 samples), 40 mm (5 samples) and 60 mm (5 samples).

The first group of blanks was exposed to one-pass bending. Bending of the blank was carried out in a die at a predetermined bending angle of  $72^\circ$ ,  $91^\circ$ , and  $109^\circ$ , and the spring-back angle  $\Delta\alpha = (\alpha' - \alpha)$  was measured (see Fig. 3).

The second group of blanks with same geometric sizes was subjected to a multi-pass bending (Fig. 4).



**Fig. 4. Three-pass bending of blanks**

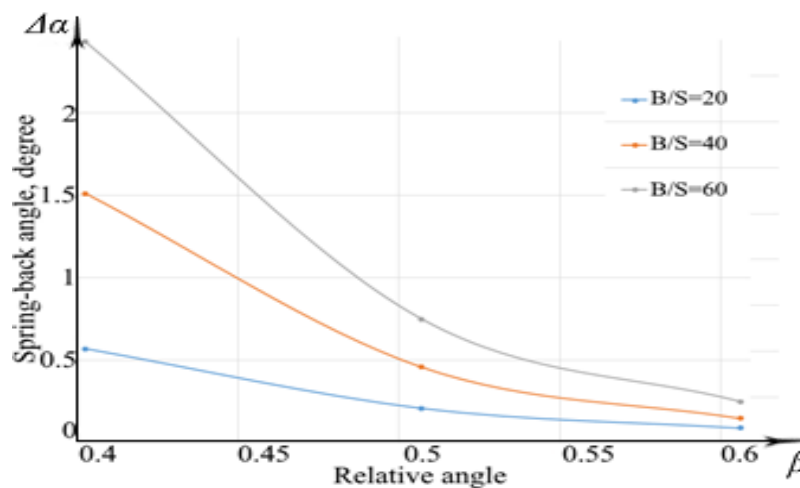
That is, the blanks were first bent in a die with an angle of  $109^\circ$  and measured the bending angle. Further, bending upper and lower dies were changed, and the preformed bends were doped in a die with a  $91^\circ$  angle and measured the bending angle. Then they again changed the bending lower and upper dies, and the preformed bends were duplicated in a die at an angle of  $72^\circ$ , and measured the bending angle.

The measurements were carried out after each bend, which was carried out separated by passes, according to the developed method. Each experiment included at least five measurements. The processing of these experiments was carried out on the basis of the generally accepted method of dispersion analysis of the factor experiment in accordance with standard [35]. The standard methods based on the positions of probability theory and mathematical statistics are given in the specialized literature [36, 37], the experimental values of the basic parameters of forming are considered as random variables characterized by the normal distribution law and obtained as a result of measurements of equal accuracy.

### Results of research

After the processing of the experimental information, dependence of the main parameters of the form change, which characterizes change of the spring-back angle during forming in the dies, was developed. The graphic dependences show the change of the spring-back angle –  $\Delta\alpha$ , depending on the width to thickness ratio (B/S) and the relative angle of the blank ( $\beta$ ):  $\beta = (180 - \alpha')/180$ .

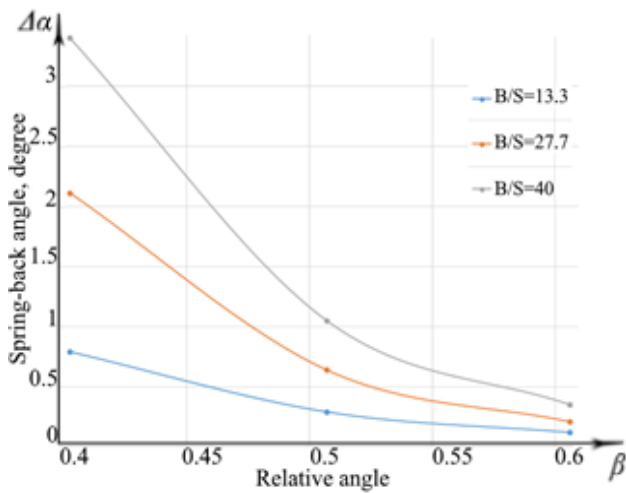
Examples of experimental graphics are shown in Fig. 5–10.



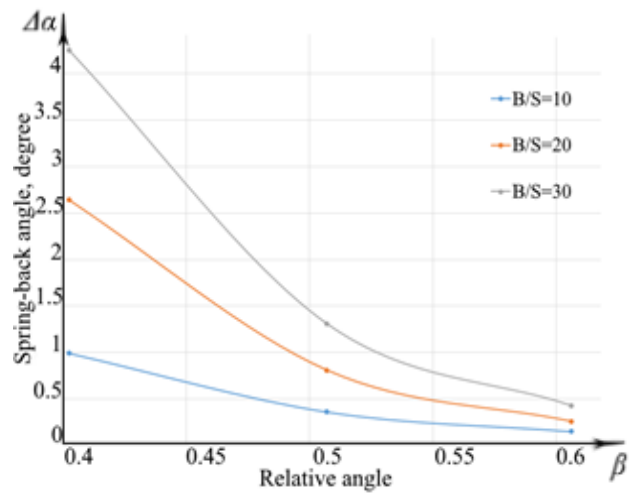
**Fig. 5. Change of the spring-back angle, depending on the relative bending angle of the blank with a thickness  $S = 1$  mm during one-pass bending**

Analyzing the change of the spring-back angle, it is should be noted its overall growth with the thickness and width of the samples increasing.

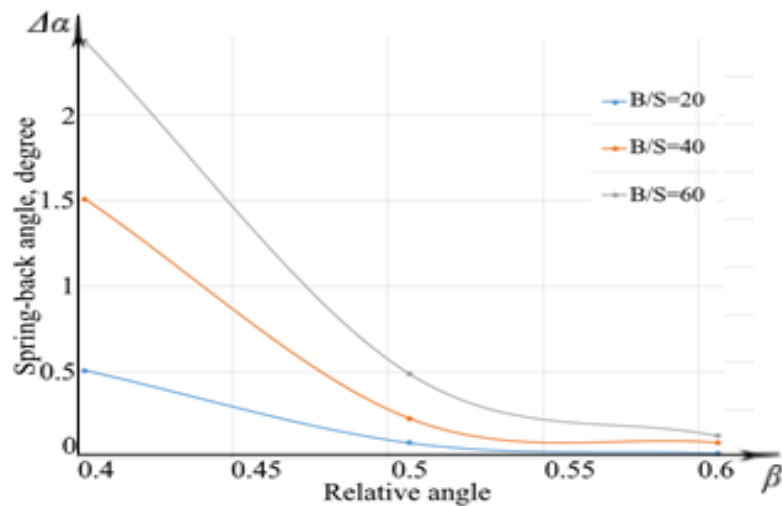




**Fig. 6. Change of the spring-back angle, depending on the relative bending angle of the blank with a thickness  $S = 1.5$  mm during one-pass bending**



**Fig. 7. Change of the spring-back angle, depending on the relative bending angle of the blank with a thickness  $S = 2$  mm during one-pass bending**

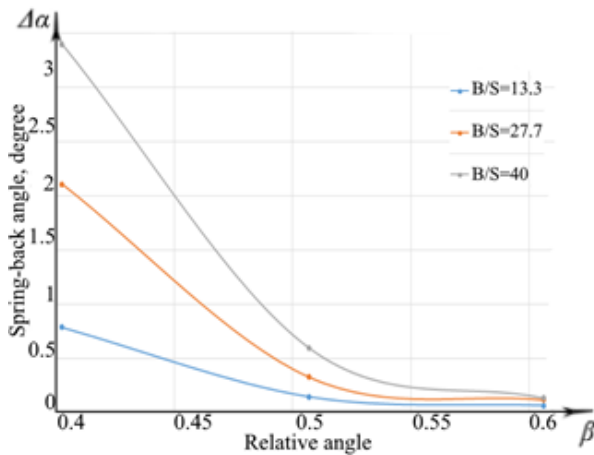


**Fig. 8. Change of the spring-back angle, depending on the relative bending angle of the blank with a thickness  $S = 1$  mm during multi-pass bending**

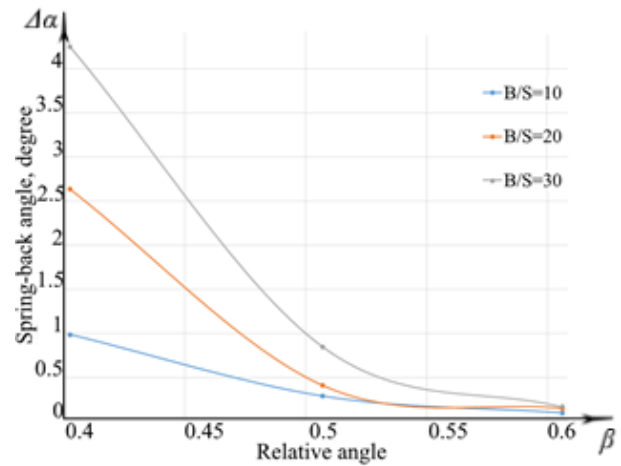
As it is established, during deformation of blanks with thickness  $S = 2$  mm, springing occurs more intensively. It should also be noted for the blank with a width  $B = 60$  mm. Bending of the blank  $S = 1$  mm is accompanied by less intensive springing, compared with the blanks  $S = 1.5$  mm,  $S = 2$  mm. It should also be noted for blanks with a width  $B = 20$  mm.

Experiments data are shown in Figs. 5–10 were processed in the MS Excel package using the "Analysis ToolPak" macros and using a linear, logarithmic and exponential regression model. As a result of the data processing of the experiment it was found that the linear model does not give adequate results for any of the cases,

because the calculation on it gives a big difference between experiment and calculation.



**Fig. 9. Change of the spring-back angle, depending on the relative bending angle of the blank with a thickness  $S = 1.5$  mm during multi-pass bending**



**Fig. 10. Change of the spring-back angle, depending on the relative bending angle of the blank with a thickness  $S = 2$  mm during multi-pass bending**

For the case when only the data of one-pass bending ( $n = 1$ ) are taken into account, the logarithmic model has been found to be the most adequate and correct:

$$\ln(\Delta\alpha)_{\ln.mod1} = -3.09683 + 0.5481 \cdot \ln(B/S) - 4.5735 \cdot \ln(\beta),$$

for which the correlation coefficient is equal to 0.77744; coefficient of linear determination is equal to 0,5969; the adapted determination coefficient is 0.5663; standard error is 0.7111.

For the case of multi-pass bending ( $n = 1, 2, 3$ ), the logarithmic model was also found to be the most adequate and correct.

$$\ln(\Delta\alpha)_{\ln.mod1-3} = -39.3727 + 0.2121 \cdot \ln(B/S) + 43.8989 \cdot \ln(\beta) - 14.2823 \cdot \ln(n),$$

for which the correlation coefficient is 0.8702; the linear determination coefficient is 0.77573; the adapted determination coefficient is 0.7256; standard error is 0.6290.

For the case when the data of one-pass and mulyt-pass bending ( $n = 1, 2, 3$ ) are taken into account, it is found that the result is the most adequately and correctly describes the exponential model:

$$\ln(\Delta\alpha)_{exp.mod} = 3.8389 + 0.0115 \cdot \exp(B/S) - 2.3813 \cdot \exp(\beta) + 0.1182 \cdot \exp(n),$$

for which the correlation coefficient is equal to 0,5822; the linear determination coefficient is 0,3390; the adapted determination coefficient is equal to 0,2993; The standard error is 0.9469.

## Conclusions

1. As a result of the analysis in literary sources, lack of information has been found to take into account the spring-back angle at the multi-pass bending of the blank. It is shown that during calculating the shape change and predictive prediction of the quality of bending shapes it is necessary to take into account the properties of the blank material, as well as the angles of the pre-bending and the ratio of the width and thickness of the blank.

2. The method of experimental research for the spring-back angle at the multi-pass bending is developed. Was shown the expediency of using methods of direct measurements of geometric sizes of blanks after bending at different angles, taking into account the thickness and width of the blank, as well as the necessity of applying statistical methods and methods of regression analysis to obtain analytical dependencies.

3. The graphic dependences of the spring-back angle is built on such relative indicators of the bending process as the relative bending angle ( $\beta$ ) and width to thickness ratio (B/S) of the blank, which makes the calculation of experiments more versatile. After analyzing the graphs obtained, that we can conclude that the spring-back angle significantly decreases with increasing number of pre-bends. The magnitude of the spring-back angle increases with increasing the thickness and width.

4. With the aid of regression analysis, mathematical models were developed to predict the bending angle at the design of technological processes at the stage of calculations and designing of technical documentation (manuals).

## References

1. V. Kukhar, N. Yelistratova, V. Burko, Yu. Nizhelska, O. Aksionova, "Estimation of occupation safety risks at energetic sector of Iron and Steel Works", *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, Vol. 7, No.2.23, pp.216–220, (2018).
2. V. Kukhar, A. Prysiashnyi, E. Balalayeva, O. Anishchenko, "Designing of induction heaters for the edges of pre-rolled wide ultrafine sheets and strips correlated with the chilling end-effect", *Modern Electrical and Energy System MEES'2017, IEEE, Kremenchuk, November 15–17, pp. 404–407 (Ukraine, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 2017).*

3. M. Moroz, S. Korol, S. Chernenko, Y. Boiko, O. Vasylykovskiy, “Driven Camshaft Power Mechanism of the Vehicle Diesel Engine Fuel Pump”, *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, Vol. 7, Issue 4.3, pp. 135–139 (2018).
4. A. Prysiashnyi, V. Kukhar, E. Balalayeva, “Method for Determining the Optimum Counter-Flexing Force of Working Rolls during Sheet Rolling”, *Solid State Phenomena*, Vol. 284, pp. 416-424, (2018), <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.416>.
5. A. Anishchenko, V. Kukhar, V. Artiukh, A. Olga, “Superplastic forming of shells from sheet blanks with thermally unstable coatings”, *MATEC Web of Conferences*, Vol. 239, pp. 06006, (2018).
6. A. Anishchenko, V. Kukhar, V. Artiukh, O. Arkhipova, “Application of G. Lamé’s and J. Gielis’ formulas for description of shells superplastic forming”, *MATEC Web of Conferences*, Vol. 238, pp. 06007, (2018).
7. O. S. Anishchenko, V. V. Kukhar, A. V. Grushko, I. V. Vishtak, A. H. Prysiashnyi, E. Yu. Balalayeva, “Analysis of the Sheet Shell's Curvature with Lamé's Superellipse Method during Superplastic Forming”, *Materials Science Forum*, Vol. 945, pp. 531–537, (2019).
8. S. Trishevskiy, G. Donets, M. Doktorov et al, “Application of bent roll profiles: reference book”, Moscow, Metallurgy, 421 p., (1975) (in Russian).
9. O. Senol, V. Esat, H. Darendeliler, “Analysis in Air Bending Process through Experiment based Artificial Neural Networks”, *Procedia Engineering*, Vol. 81, pp. 999–1004 (2014).
10. V. Artiukh, V. Kukhar, E. Balalayeva, “Refinement issue of displaced volume at upsetting of cylindrical workpiece by radial dies”, *MATEC Web of Conferences*, Vol. 224, pp. 01036, (2018).
11. D. Banabic, “Sheet Metal Forming Processes, Constitutive Modeling and Numerical Simulation”, Berlin: Springer-Verlag, 318 p., (2010).
12. P. S. Nandanwar, P.S. Bajaj, P.D. Patil, “Analysis of spring back defect in right angle bending process in sheet metal forming”, *Pratibha: International Journal of Science, Spirituality, Business and Technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 18–22, (2014).
13. F. Zhang, J. Ruan, J. Zhang, K. He, R. Du, “Experimental study of springback behavior in incremental bending process”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 15, pp. 1290-1297, (2018).
14. S. Naritaa, K. Hayakawa, Y. Kubota, “Effect of Hardening Rule for Spring Back Behavior of Forging”, *Procedia Engineering*, Vol. 207, pp. 167–172, (2017).
15. S. Gupta, D. Ramana-Reddy, “Design and analysis of aircraft sheet metal for spring back effect”, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 4, pp. 8287–8295, (2017).
16. G. Wijay, S. Pankaj, K. D. Ravi, “Experimental and Numerical Studies on Spring back in U-Bending of 3-Ply Cladded Sheet Metal”, *Materialstoday: Proceedings*, Vol. 5, pp. 4421–4430, (2018).
17. J. R. Cho, S. J. Moon, Y. H. Moon, S. S. Kang, “Finite element investigation on spring-back characteristics in sheet metal U-bending process”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 141, pp. 109–116, (2003).
18. M. Bakhshi-Jooybari, B. Rahmani, V. Daezadeh, A. Gorji, “The study of spring-back of CK67 steel sheet in V-die and U-die bending processes”, *Materials & Design*, Vol. 30, pp. 2410–2419, (2009).
19. R. Puzyr, V. Kukhar, A. Maslov, Y. Shchipkovskiy, “The Development of the Method for the Calculation of the Shaping Force in the Production of Vehicle Wheel Rims”, *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, Vol. 7, Issue 4.3, pp. 30–34, (2018).
20. X. Li, Y. Yang, Y. Wang, J. Bao, S. Li, “Effect of the material-hardening mode on the springback simulation accuracy of V-free bending”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 123, pp. 209–211, (2002).
21. M. Weiss, J. Marnette, P. Wolfram, J. Larrañaga, P. Hodgson, “Comparison of Bending of Automotive Steels in Roll Forming and in a V-Die”, *Key Engineering Materials*, Vol. 504–506, pp. 797–802, (2013).

22. Z. Fu, X. Tian, W. Chen, B. Hu, X. Yao, “Analytical modeling and numerical simulation for three-roll bending forming of sheet metal”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 69, pp. 1639–1647, (2013).
23. P. Eggertsen, K. Mattiasson, “On the modelling of the bending – unbending behaviour for accurate springback predictions”, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 51, pp. 547–563, (2009).
24. Y. Zhang, H. Phong, N. Won, D. Won, “Optimization of the Spring-Back in Roll Forming Process with Finite Element Simulation”, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, Vol. 5, pp. 272–275, (2016).
25. Y. Zhang, D. Kim, H. Kim, D. Jung, W. Jung, “Spring-back of flexible roll forming bending process”, *4th Global Conference on Materials Science and Engineering*, Vol. 103, pp. 1–6, (2015).
26. A. Abvabi, J. Mendiguren, B. Rolfe, M. Weiss, “Springback investigation in roll forming of a V-section”, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 553, pp. 643–648, (2014).
27. V. Paunoiu, M. A. Saadatou, D. Nedelcu, M. Octavian, “Experimental and numerical investigations of sheet metal circular bending”, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 22, pp. 487–496, (2015).
28. Z. Xu, L. Peng, E. Bao, “Size effect affected springback in micro/meso scale bending process: Experiments and numerical modeling”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 252, pp. 407–420, (2018).
29. E. Silva, M. Pereira, J. Faye, R. Ribeiro, N. Sousa Sampaio, J. Silva, “Identification of elastic-plastic behavior in AHSS using the isotropic hardening model by the finite element method and EBSD”, *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, Vol. 6, pp. 649–658, (2019).
30. H. A. Al-Qureshi, A. Russo, “Spring-back and residual stresses in bending of thin-walled aluminium tubes”, *Materials & Design*, Vol. 23, pp. 217–222, (2002).
31. A. V. Barabash, E. Yu. Gavril’chenko, E. P. Gribkov, O. E. Markov, “Straightening of sheet with correction of waviness”, *Steel in Translation*, Vol. 44, Issue 12, pp. 916–920, (2014).
32. V. V. Perepichka, I. P. Shats’kyi, “Bending of a Semiinfinite Plate with a Periodic System of Cuts Considering the Contact of Their Edges”, *Journal of Mathematical Sciences*, Vol. 109, Issue 1, pp. 1290–1294, (2002).
33. V. V. Kukhar, A. V. Grushko, I. V. Vishtak, “Shape Indexes for Dieless Forming of Elongated Forgings with Sharpened End by Tensile Drawing with Rupture”, *Solid State Phenomena*, Vol. 284, pp. 408–415, (2018).
34. V. Martsynkovskyy, V. Tarel’nyk, I. Konoplianchenko, O. Gaponova, M. Dumanchuk, “Technology Support for Protecting Contacting Surfaces of Half-Coupling – Shaft Press Joints Against Fretting Wear”, *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II (DSMIE 2019)*, *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, pp. 216–225, (2020).
35. DSTU GOST 8.207:2008 (Ukraine State Standard). State system for ensuring the uniformity of measurements. Direct measurements with multiple observations. Methods of processing the results of observations. Ukraine. Publ. 2008.10.01, 8 p., (2008), (in Russian).
36. V. Gmurman, “Theory of probability and mathematical statistics”, M.: Higher School, 368 p., (1972), (in Russian).
37. D. Gaskarov, V. Shapovalov, “Small samples” Statistics, Moscow, 248 p., (1978) (in Russian).

## ALPHABETICAL INDEX OF AUTHORS

- Anishchenko O. 333  
Asaulyuk T. 251  
Babak O. 277  
Bilyi L. 174  
Binytska K. 78  
Binytska O. 78  
Bobrovnyk V. 95  
Bojar P. 159,179  
Bundza O. 211  
Chornyi O. 222  
Dykha O. 277  
Dytyniuk V. 277  
Dziuba M. 35  
Gonchar O. 44  
Grygoruk S. 66  
Herasymchuk O. 140  
Holotiuk M. 211  
Horiashchenkko K. 130  
Horiashchenkko S. 130  
Hryhoruk P. 66  
Jagodziński D. 307  
Kałaczynski T. 307  
Kasprowicz T. 307  
Khachatryan V. 44  
Kharzhevskya O. 86  
Kharzhevskyy V. 150  
Khrushch N. 66  
Kosiuk M. 325  
Kostyuk M. 325  
Kukhar V. 333  
Kuznetsov V. 267  
Kuznetsova A. 267  
Kuznetsova Y. 222, 267  
Lisevych S. 174  
Liss M. 307  
Lobanov V. 140  
Makovkin O. 277  
Marchenko M. 150  
Markov O. 333  
Markova O. 211  
Matiukh S. 35  
Matuszewski M. 104  
Mazurkiewicz A. 104  
Melnik P. 140  
Mikhalevska G. 192  
Mikhalevskyy V. 192  
Misiats O. 234  
Misiats V. 234  
Musial J. 130, 234  
Mykoliuk O. 95  
Nahnibeda M. 333  
Nakonechnyy O. 288  
Nalobina O. 139, 211  
Nosko P. 150  
Oleksandrenko K. 86  
Ożóg J. 13  
Panasiuk I. 120  
Paraska O. 245  
Peshkova T. 86  
Pietraszek J. 298  
Pilishchuk S. 86  
Polishchuk O. 174, 234  
Prysiashnyy A. 333  
Puts V. 140  
Radek N. 245, 298  
Radushev O. 333  
Rak T. 245  
Ramskyi A. 174  
Rubanka M. 234  
Rudoman O. 86  
Saribyekova Yu. 251  
Semeshko O. 251  
Skorobogata L. 5  
Skyba M. 173, 234  
Słomion M. 104  
Śniadkowski M. 174  
Szymborski W. 24  
Taranov V. 288  
Tomaszuk A. 261  
Trocikowski T. 54  
Tryputen Mak. 267  
Tryputen Myk. 222, 267  
Vasylkivskyy D. 35  
Voynarenko M. 5  
Wojciechowski A. 104  
Yakymchuk Yu. 86  
Yashchuk I. 78  
Zachepa N. 222  
Zachepa Yu. 222  
Zashchepkina N. 288  
Znaczko W. 160, 179  
Zub L. 120