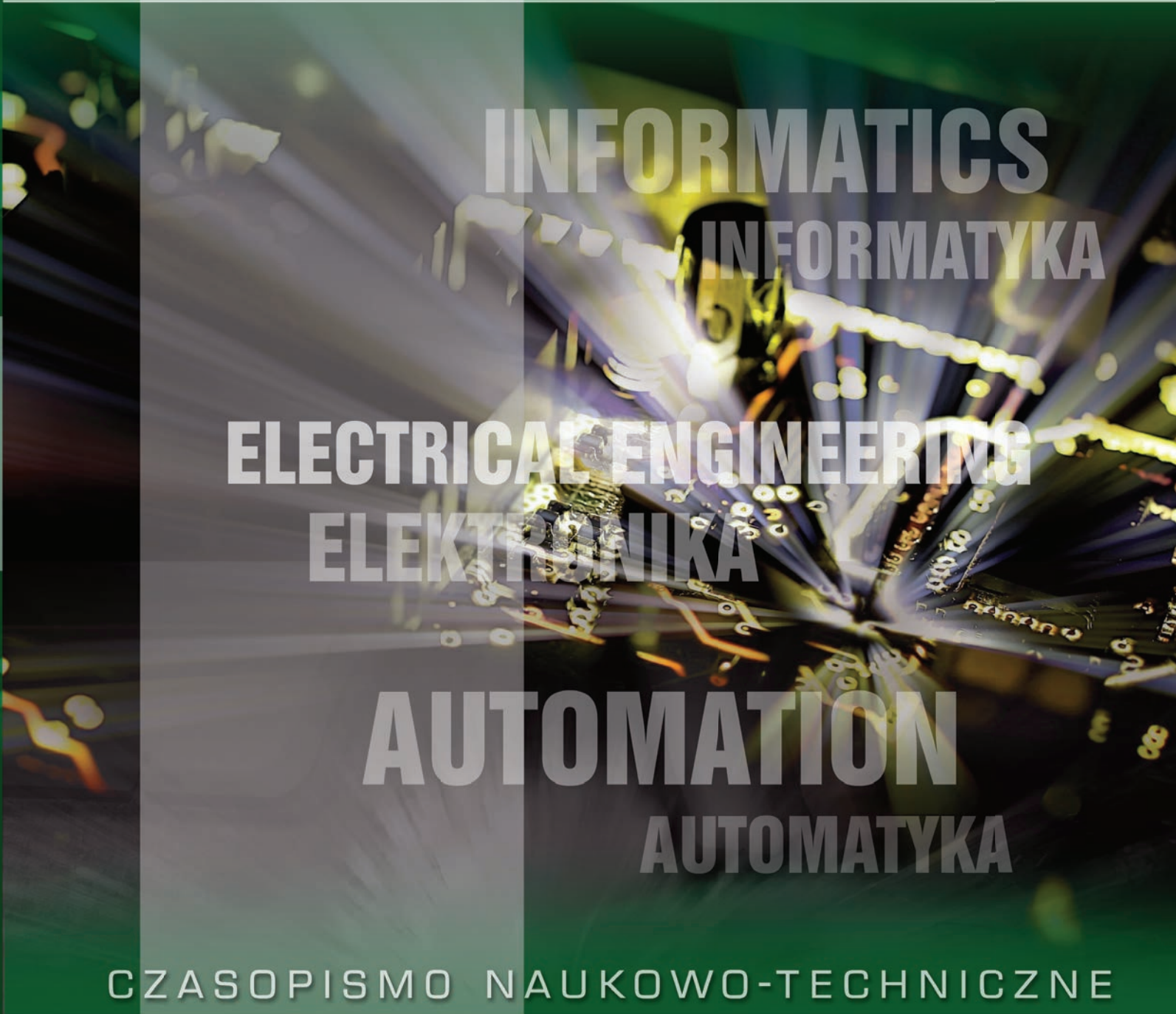


Mining

INFORMATICS AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL



INFORMATICS
INFORMATYKA

ELECTRICAL ENGINEERING
ELEKTRYKA

AUTOMATION
AUTOMATYKA

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE

AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING
TECHNICAL IT AND TELECOMMUNICATIONS
ENVIROMENTAL ENGINEERING, MINING AND ENERGY TECHNOLOGY
MATERIALS ENGINEERING
QUALITY MENAGEMENT

AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I ENERGOTECHNIKA
INŻYNIERIA MECHANICZNA
INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA
INŻYNIERIA ŚRODOWISKA, GÓRNICTWO I ENERGETYKA
INŻYNIERIA MATERIAŁOWA
NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI

MINING – INFORMATICS, AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING
Published since 1962

DOI: <https://doi.org/10.7494/miag>

Chairman of the Scientific Board/Przewodniczący Rady Naukowej:
Antoni Kalukiewicz, AGH University of Science and Technology, Kraków (Poland)

Secretary of the Scientific Board/Sekretarz Rady Naukowej:
Krzysztof Krauze, AGH University of Science and Technology, Kraków (Poland)

Members of the Scientific Board/ Członkowie Rady Naukowej:
Dariusz Andriukaitis, Kaunas University of Technology, Kaunas (Lithuania)
Naj Aziz, University of Wollongong, Wollongong (Australia)
Edward Chlebus, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław (Poland)
George L. Danko, University of Nevada, Reno (USA)
Krzysztof Filipowicz, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)
Jiří Fries, Technical University of Ostrava, Ostrava (Czech Republic)
Leonel Heradia, EAFIT University, Medellín (Columbia)
Arkadiusz Mężyk, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)
Josph Molnar, University of Miskolc, Miskolc (Hungary)
Jacek Paraszczyk, Laval University, Quebec (Canada)
Sorin Mihai Radu, University of Petrosani, Petrosani (Romania)
Yuan Shujie, Anhui University of Science and Technology, Huainan (China)
Marek Sikora, Institute of Innovative Technologies EMAG, Katowice (Poland)
Radosław Zimroz, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław (Poland)
Nenad Zrnić, University of Belgrade, Belgrade (Serbia)

Editorial staff/ Redakcja czasopisma:
Editor in Chief/ Redaktor naczelny – *Krzysztof Krauze*
Deputy Editor in Chief/ Zastępca redaktora naczelnego – *Krzysztof Kotwica*
Managing Editor/ Kierownik redakcji – *Marcin Mazur*
Manuscript Editor/ Redaktor techniczny – *Kamil Mucha*
Web Editor/ Redaktor strony internetowej – *Marcin Nawrocki*

Associate editors/ Redaktorzy tematyczni:
Waldemar Rączka (automation and robotics/ automatyka i robotyka)
Tomasz Siostrzonek (electrical engineering/ elektronika i energotechnika)
Łukasz Bołoz (mechanical engineering/ inżynieria mechaniczna)
Ryszard Klempka (technical IT/ informatyka techniczna)
Antoni Wojaczek (telecommunications/ telekomunikacja)
Waldemar Korzeniowski (environmental engineering, mining and energy technology/ inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka)
Joanna Augustyn-Nadzieja (materials engineering/ inżynieria materiałowa)
Patrycja Hąbek (quality management/ nauki o zarządzaniu i jakości)

PUBLISHER
Publishing Manager/ Redaktor naczelny Wydawnictw AGH: *Jan Sas*

Linguistic Corrector/ Korekta językowa: *Aedden Shaw* (English/ język angielski), *Kamila Zimnicka* (Polish/ język polski)

Desktop Publishing/ Skład komputerowy: *Andre*

Cover Design/ Projekt okładki i strony tytułowej: *ROMEDIA-ART*

© Wydawnictwa AGH, Kraków 2020, Creative Commons CC-BY 4.0 License

ISSN 2449-6421 (online)
ISSN 2450-7326 (printed)

The electronic version of the journal is the primary one.
Number of copies: 50

Wydawnictwa AGH (AGH University of Science and Technology Press)
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel. 12 617 32 28, 12 636 40 38
e-mail: redakcja@wydawnictwoagh.pl
<http://www.wydawnictwo.agh.edu.pl>

Table of Contents

Jerzy Gas

Innovative solutions in the products of SAG Sp. z o.o. (LLC)	7
Innowacyjne rozwiązania w produktach SAG Sp. z o.o.	16

Tomasz Musiał

Design of suspended rail reinforcement	25
Projekt wzmocnienia szyny kolejki podwieszanej	29

Grzegorz Musiał, Marcin Kiełtyka

Physical phenomena and chemical reactions: the production of a conveyor belt	33
Zjawiska fizyczne a reakcje chemiczne: produkcja taśmy transporterowej	38

Krzysztof Pacześniowski, Piotr Kalisz

Selected test methods for pipes and manholes used in mining areas	43
Wybrane metody badań rur i studzienek kanalizacyjnych stosowanych na terenach górniczych	52

ABSTRACTS

JERZY GAS

INNOVATIVE SOLUTIONS IN THE PRODUCTS OF SAG SP. Z O.O. (LLC)

The article presents the origins and implementations of innovative solutions in the construction of balance ropes that have provided a new quality in the transport of men and materials using mining hoisting devices. In the article the new technical solutions are discussed and the advantages of operation of the SAG type steel rubber coated balance ropes are indicated. A short historical overview of the founding of SAG Company is presented on this background with years of successful experience, which resulted in the implementation of innovative solutions in the offered products ensuring the effectiveness and reliability of their operation.

TOMASZ MUSIAŁ

DESIGN OF SUSPENDED RAIL REINFORCEMENT

The continuous development of coal extraction technology in hard coal mines, including the increased efficiency of the machinery and equipment used in mining, encourages manufacturers to increase the power of these machines. This also entails an increase in their weight. Transporting these machines to their destination, especially to the face, is the task of suspended transport systems, i.e.: a suspended railway system. The proposed solution consists in welding flat bars to the flanges of the I-beam, which will increase the unit weight of the load that can be carried by each car of the transport set moving along the railway. This paper contains a technical description of the modified rail and basic strength calculations, the results of which confirm the advisability of its use.

GRZEGORZ MUSIAŁ
MARCIN KIEŁTYKA

PHYSICAL PHENOMENA AND CHEMICAL REACTIONS: THE PRODUCTION OF A CONVEYOR BELT

Technological development is always associated with exact sciences such as chemistry and physics, thanks to which it is possible to understand the processes taking place in the world around us. These two disciplines interpenetrate each other, and in fact in many cases it is difficult to determine precisely where the first ends and the other begins. The deeper the understanding of the phenomena and laws governing chemistry becomes, the closer it comes to new achievements of the world of physics. Only the implementation of knowledge from both fields allows the continuous improvement of products used in belt transport.

KRZYSZTOF PACZEŚNIEWSKI
PIOTR KALISZ

SELECTED TEST METHODS FOR PIPES AND MANHOLES USED IN MINING AREAS

As a result of underground deposit extraction, the pipes and manholes that constitute the basic elements of sewage systems are subjected to the influence of near-surface soil layer deformations at the place of their installation. For this reason, these elements intended for the construction of sewage systems in mining areas

STRESZCZENIA

JERZY GAS

INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA W PRODUKTACH SAG SP. Z O.O.

Artykuł przedstawia genezę powstania i wdrożenia innowacyjnych rozwiązań w konstrukcji lin wyrównawczych, które dały początek nowej jakości w transporcie ludzi i urobku z wykorzystaniem górniczych urządzeń wyciągowych. W artykule omówiono rozwiązania techniczne oraz wskazano walory eksploatacyjne lin wyrównawczych stalowo-gumowych SAG. Na tym tle zaprezentowano krótki rys historyczny powstania firmy SAG, wieloletnie doświadczenie, które zaowocowało wdrażaniem nowatorskich rozwiązań w oferowanych produktach, zapewniających efektywność i niezawodność ich działania.

TOMASZ MUSIAŁ

PROJEKT WZMOCNIENIA SZYNY KOLEJKI PODWIESZONEJ

Ciągły rozwój technologii wydobywania urobku w kopalniach węgla kamiennego, w tym zwiększanie wydajności maszyn i urządzeń stosowanych w górnictwie, stymuluje producentów tych maszyn do zwiększania ich mocy. Pociąga to za sobą również wzrost ich masy. Dostarczenie tych maszyn do miejsca przeznaczenia, szczególnie do przodka, jest zadaniem transportu podwieszonego, tj. kolejki podwieszanej. Proponowane rozwiązanie polega na tym, że do pólek dwuteownika specjalnego przyspawano płaskowniki, które pozwolą na zwiększenie jednostkowej masy ładunku, możliwej do przewiezienia przez każdy z wózków jezdnych zestawu transportowego poruszającego się po trasie kolejki. Artykuł zawiera opis techniczny szyny o zmodyfikowanej konstrukcji oraz podstawowe obliczenia wytrzymałościowe, których wyniki potwierdzają celowość jej stosowania.

GRZEGORZ MUSIAŁ
MARCIN KIEŁTYKA

ZJAWISKA FIZYCZNE A REAKCJE CHEMICZNE: PRODUKCJA TAŚMY TRANSPORTEROWEJ

Rozwój technologiczny zawsze wiąże się z naukami ścisłymi takimi jak chemia i fizyka, dzięki którym możliwe jest zrozumienie procesów zachodzących w otaczającym nas świecie. Obie te nauki wzajemnie się przenikają i tak naprawdę w wielu przypadkach trudno jest precyzyjnie ustalić, gdzie kończy się pierwsza z nich, a zaczyna druga. Im głębsze staje się zrozumienie zjawisk i praw rządzących chemią, tym bardziej zbliża się ona do nowych zdobyczy świata fizyki. Tylko wykorzystanie wiedzy płynącej z obu dziedzin pozwala na ciągłe doskonalenie produktów używanych w transporcie taśmowym.

KRZYSZTOF PACZEŚNIEWSKI
PIOTR KALISZ

WYBRANE METODY BADAŃ RUR I STUDZIENEK KANALIZACYJNYCH STOSOWANYCH NA TERENACH GÓRNICZYCH

Wskutek podziemnej eksploatacji złóż rury i studzienki, stanowiące podstawowe elementy sieci kanalizacyjnych, są poddawane oddziaływaniom deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu, w której są posadowione. Z tego powodu elementy służące do budowy sieci kanalizacyjnych na terenach górniczych muszą spełniać wymagania

must fulfil special requirements related to the occurrence of additional loads and displacements. This article presents the pipe and manhole test methods developed at the Central Mining Institute, with a particular focus on elements of large sizes. The results of these tests are applied to assess the suitability of pipes and manholes for use in mining areas.

związane z występowaniem dodatkowych obciążeń i przemieszczeń. W artykule przedstawiono opracowane w Głównym Instytucie Górniczym metody badań rur i studzienek kanalizacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem wielkogabarytowych elementów. Wyniki tych badań są wykorzystywane do oceny przydatności rur i studzienek kanalizacyjnych do ich stosowania na terenach górniczych.

JERZY GAS

Innovative solutions in the products of SAG Sp. z o.o. (LLC)

The article presents the origins and implementations of innovative solutions in the construction of balance ropes that have provided a new quality in the transport of men and materials using mining hoisting devices. In the article the new technical solutions are discussed and the advantages of operation of the SAG type steel rubber coated balance ropes are indicated. A short historical overview of the founding of SAG Company is presented on this background with years of successful experience, which resulted in the implementation of innovative solutions in the offered products ensuring the effectiveness and reliability of their operation.

Key words: SAG type balance rope, steel ropes, rollers, rope requirements

1. INTRODUCTION

"Tradition and modernity" – this motto encapsulates the strategy of the company's operations since the founding of SAG Sp. z o.o. In 2021 the company will celebrate 30 years of operations, with 1991 marking the moment when the idea was formulated to found a company manufacturing innovative and unknown at that time steel rubber coated flat balance ropes in Nikiszowiec, a district of the city of Katowice.

The company began its business activities as the SAG Steel-Rubber Coated Rope Manufacturing Company. The name was created as an acronym of the following Polish words – *stal*, *antykorozja*, *guma* (steel, anticorrosion, rubber). Originally 51% of company shares belonged to an Austrian company Trade-pol, the remaining 49% of the shares being taken over by the "Wieczorek" Coal Mine. The Katowice Coal Holding, Joint Stock Company became a legal successor of the mine and in 1997 the Austrian shares became the property of Marchart & Lackner GmbH Company. In 2008 the Austrian shares were purchased by Fabryka Taśm Transporterowych Wolbrom S.A. (conveyer rubber belt manufacturers) who thus became the new co-owner. In 2012 SAG changed its name to SAG Sp. z o.o. (LLC). In 2019 Spółka Re-

strukturyzacji Kopalń S.A. (mine restructuring company) took over the SAG shares from the Katowice Coal Holding, Joint Stock Co. as the result of the organizational transformation of Polish coal mining.

2. SAG STEEL RUBBER COATED FLAT BALANCE ROPES

2.1. Historical overview

A pioneering product in the years 1980–1990 were steel-rubber coated flat balance ropes, and these became the principal product of the company. Looking back, one can clearly state that the dynamic development of the company was triggered solely by this modern rope. Innovative solutions in the construction of balance ropes developed in the 1970's and 80's at the Academy of Mining and Metallurgy in Krakow (AGH) constituted a revolution in the transport of men and materials in shafts using mining hoisting devices. The impulse to undertake work in this field were the results of investigations of the causes and results of accidents in mine shafts, which were performed in the 1970's by AGH together with the Energy and Mechanical Departments of the State Mining

Authority in Katowice and the Ministry of Mining. As a result of the investigations it was discovered that the most unreliable element of mining hoisting devices were steel balance ropes, both flat and round ones. During the analysed period, an average of 1–2 steel flat balance ropes broke in a given year. Each such event threatened the safety of the mine and resulted in very large material losses. One of the principal causes of the steel flat balance ropes breaking (stitched manually and riveted) was the lack of any opportunity to reliably assess their technical condition. On the other hand, the round balance ropes had to be replaced rather frequently because they became distorted due to rotating around their axis during operation cycles. The SAG steel rubber coated balance ropes are free from these faults. The research – implementation work commenced at AGH in 1974 and lasted a dozen or so years before the production of the SAG ropes was organized and the ropes were approved for common use in under-ground mining works. Dozens of experts were employed to solve the problems relat-

ed to this project (mechanics, chemists, electricians, miners, underground mining supervisors, etc.). The date of completion of the scientific implementation proceedings is considered to be 3 July 1990, which is the date of approval by the State Mining Authority in Katowice of the SAG ropes for applications in the shaft hoisting devices in Poland concerning the transport of both men and materials. Therefore, this date marks the end of many years of scientific research, design, construction-assembly works etc. and which resulted in the manufacture of the SAG ropes. Also the conditions were created for their common application in mining hoisting devices without any limitations [1].

2.2. Rope construction

Steel rubber coated flat balance ropes are made from an even number of steel ropes (left lay and right lay), vulcanized in rubber along their entire length (Fig. 1).

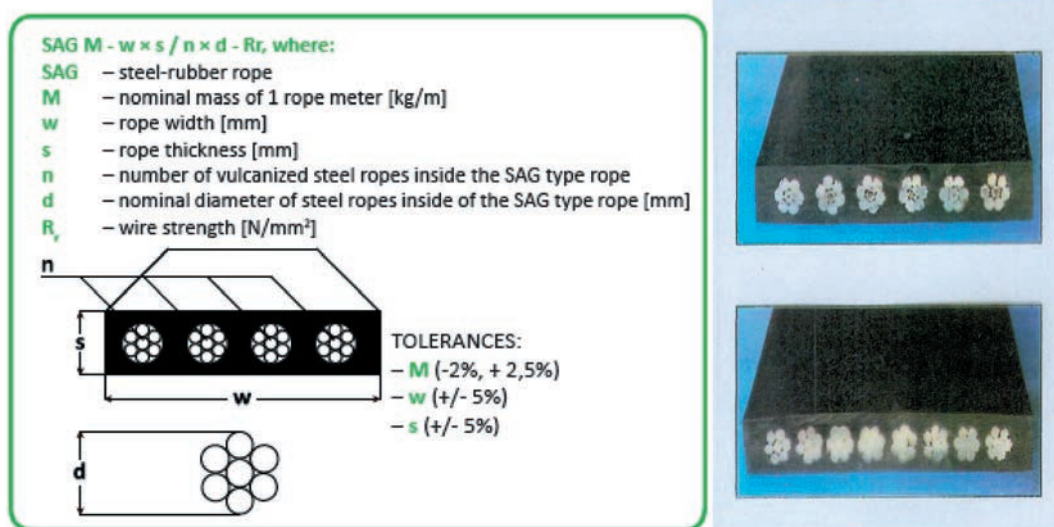


Fig. 1. Construction of SAG-type steel rubber coated flat balance rope [2]

The rope range developed already in 1978 comprises steel rubber coated ropes, in which from 2 to 8 steel wire ropes are vulcanized, featuring diameters 12, 14, 16, 20, 22 and 24 mm and strength of 1370, 1570, 1670 and 1770 MPa. Thanks to this, all the demands are fulfilled that are placed for balance ropes, concerning weight of meter of the rope and values of rope actual complete breaking loads (requested safety factors), which are applied in mining shaft hoisting devices of any technical parameters [1].

2.3. Technical advantages of the operation of sag ropes

The SAG-type ropes feature an average useful life at least 3–4 times longer than the useful life of steel balance ropes, and are in the opinion of many experts a significant international accomplishment of the AGH scientists and Polish engineers.

After 41 years of experience in the exploitation of steel rubber coated ropes produced by SAG Sp. z o.o. (since the end of 1989), it can be stated that all the advantages of the SAG-type ropes declared by their inventors have been fully confirmed. The application of the SAG-type ropes in Polish mines completely eradicated breakdowns related to the breaking of balance ropes (Fig. 2). Usage of the SAG-type ropes facilitates reduced costs of vertical transport and work safety improvement not only in mines in Poland but also in many other countries where the SAG-type ropes have been exported.

The advantages of the SAG-type steel rubber coated balance ropes primarily comprise:

- 1) The feature of complete non-rotation, which was accomplished by the application of an even number of steel wire ropes with two directions of lay, featuring round strands, vulcanized in rubber along their entire length. One half of the number of the steel wire ropes is of the right lay whilst the second half is of the left lay.
- 2) Vary large resistance to corrosion – thanks to the vulcanization of the galvanized steel wire ropes in rubber. The inner rubber coating features large adhesion to the wires while the outer rubber layer, which is made from flame retardant rubber, features large electric conductivity and resistance to abrasion.
- 3) Wide range of SAG-type rope unit weights and rope breaking loads – a relevant unit weight and demanded breaking load are obtained using

different even numbers of steel wire ropes with a relevant diameter (ropes made from wires with a specific resistance) and the application of determined amount of rubber filling.

- 4) Operational reliability – accomplished by the application of at least a couple of steel wire ropes bearing axial loads. The probability of their simultaneous damage (breaking) is a probability calculation product of the damaging of a single rope. Breaking one steel wire rope in a SAG-type rope does not result in the breakdown of the hoisting device.
- 5) High reliability of rope fixing in the attachment – accomplished thanks to a large friction factor between contacting rubber coated surfaces, which are tightened with steel clamps and a new SADEX-type attachment solution.
- 6) Large durability and resistance to mechanical damage – obtained due to the above advantages, but primarily thanks to the large resistance to wear from corrosion, and the fact that the external rubber layer protects the steel ropes against mechanical damage.
- 7) Small radius of rope bending in the shaft sump – thanks to the application of a large number of steel wire ropes with small cross rigidity.
- 8) Possibility of magnetic testing – allowing the qualitative assessment of the SAG-type ropes. It was obtained thanks to the development of a wide range of magnetic heads and a new magnetic testing methodology [1].

The technical-operational advantages of the SAG-type ropes were awarded the Gold Medal at the 41st World Fair for Invention Research and Industrial Innovation Eureka'92 in Brussels.

Many years of the use of SAG-type ropes made in compliance with patent PL 150321, demonstrated the full utility of these ropes for operation in shaft mining hoists. This statement is confirmed by the SAG-rope 177x35/4x18 installed on 30.11.1991 in the skip section of the production shaft of Janina III at Mining Company Janina Tauron Wydobyćie S.A. in Libiąż, Poland. This rope, which was made in compliance to patent PL 145595 (with vulcanized calibration elements) was used until 2018, i.e. after almost 26.6 years of operation, and performed approximately 1,800,000 operations. The record holding rope, however, is the SAG-type balance rope 118x29/4x18, which has already been in operation for over 29 years at the Mining Company Brzeszcze – Tauron Wydobyćie S.A.



Fig. 2. SAG-type steel rubbercoated flat balance rope [2]

Thanks to their large resistance to corrosion, the potential to monitor their technical condition on an ongoing basis using NDT tests and the possibility of repair directly in the shaft of the hoist (without taking the rope out) in the event of damage to the rubber coating, the SAG-type balance rope has become a symbol of quality, effectiveness and a guarantee of safety.

SAG-type balance ropes have been used in mining shaft hoisting devices (including the transport of men) in coal mines, metallic ore mines, salt and other usable mineral mines in Poland and abroad. By the end of 2020, the company had sold a total of 660 SAG-type steel-rubber coated balance ropes, of which 128 were exported to mines in the Czech Republic, Russia, Ukraine, Kazakhstan, Germany, Morocco and Vietnam. In Poland there are still over 200 SAG-type balance ropes in operation.

Among the manufactured ropes, the longest one is 1,600 m, the heaviest weighed 28,990 kg and the largest number of operations performed was approximately 3.2 million cycles.

3. SAG ROLLERS FOR BELT CONVEYERS

Recognition from the mining industry was a triggering factor to expand and diversify the product offer of the SAG company. These products have found their application not only in the mining sector, but in other branches of industry as well.

The product offer comprises i.a. different types of rollers, from standard to special ones tailored to the particular demands of the customer (Fig. 3).



Fig. 3. SAG-make rollers [3]

The ECO-rollers developed by SAG deserve a special mention in this regard. As a long-time partner of the mining industry, SAG has gained expertise in conveyer transport, a fact confirmed by its certificates, references and numerous awards. Operating conveyer belts in the exceptionally demanding environment of underground mines led the company to initiate work on a product with superior quality, one not only featuring durability and reliability but safety of use as well. Considering the fact that the rollers constitute the most numerous elements of a conveyer belt, with their construction and efficiency influencing the power consumption of the drive, as well as the correct running of the belt and its durability, SAG developed a new method for the construction of rollers.

Thanks to the application of high quality materials and innovative construction solutions, the SAG ECO-rollers have become an exemplary product in respect to the minimization of belt conveyer operation costs, a fact confirmed by laboratory testing at technical universities and exploitation testing in mines.

The innovative solutions applied in the energy saving ECO-rollers have allowed us to achieve the following effects:

- 1) The rollers installed in one of the Gwarek 1200 type conveyer belts at the “Mysłowice-Wesoła” Coal Mine in hard operation conditions resulted in a power consumption drop of 8.1%, both at start up as well as during stabilized operations of the conveyer. The testing was performed by the Silesian University of Technology after 10 months and then 3 years of their operation. Measurements of the radial run out demonstrated the very high precision of the SAG ECO-rollers, and testing the static and dynamic resistance of rotations confirmed its low level. Moreover, testing showed that after three years the roller construction had not lost its exploitation properties and they could be still operated at the mine [4, 5].
- 2) The rollers tested in laboratory conditions by the Wrocław University of Science and Technology confirmed low resistance of rotation within the whole range of operation loads, at minimal temperature increase of bearing nodes of the rollers, low radial run out and the durability guaranteed by the manufacturer i.e. 3 years [6].
- 3) The low level of the vibrations of the rollers installed in two supporting structures of the coal feeding conveyer at Jaworzno II Power Plant allowed for the reduction of vibration of the supporting structure by 30% and a reduction of power supply necessary for the conveyer. At the same time, a small temperature increase was confirmed at the bearing nodes, which directly influenced safety of work and which was documented by the Somar Company [7].
- 4) The rollers with polyurethane rings, which were applied in innovative conveyer belts at KGHM Polska Miedź S.A. copper ore mine featured rotation resistance not exceeding 1.23 N (the norm is 3 N). Also no significant temperature increases were noticed at the bearing nodes, which is very important for the safety reasons in conveyer belt transport, because in many cases the belt conveyers work in zones with explosion risk [6].
- 5) The rollers with flexible bearing nodes tested by the AGH Technical University in Krakow confirmed that the application of rubber inserts not only allowed to obtain higher roller strength, but helped lower noise emission during roller operation as well. Laboratory testing confirmed good exploitation features resulting from diminishing dynamic forces burdening the ECO-SAG roller bearings [8].

The SAG offer also comprises rollers that are produced on the basis of a new production process and the selection of relevant materials, using innovative sealing of the bearing node, relevant hubs, machining, assembly, production precision and materials with confirmed strength and that can last during 5 years of operations.

HEAVY DUTY (Fig. 4) rollers feature superior durability in hard working conditions of the belt conveyers and they find applications in underground mine conveyor belts with large extraction volumes – high output. This roller, which is especially resistant to reacting to dust and water, features a shell tube wall thickness of 6.3 mm, bearings 6306–6308 and innovative sealing of bearing nodes, which allows for efficient protection against reacting of the factors causing roller wear, i.e. water, dust penetrating the bearing nodes, etc.



Fig. 4. Construction of HEAVY DUTY a roller [9]

4. SAG CONSTRUCTIONS

SAG is also a manufacturer of steel constructions for such industrial branches as mining, railways, construction, power generation, recycling, etc. Since 2015

SAG has supplied the middle sections of tram cars for the Tramwaje Śląskie S.A. Company, featuring lowered floors and adapted to the needs of disabled people (Fig. 5). Examples of steel constructions executed for definite orders of customers show Figures 6–9.



Fig. 5. Construction of the middle section of a tram car [3]



Fig. 6. Construction of a drum screen [3]

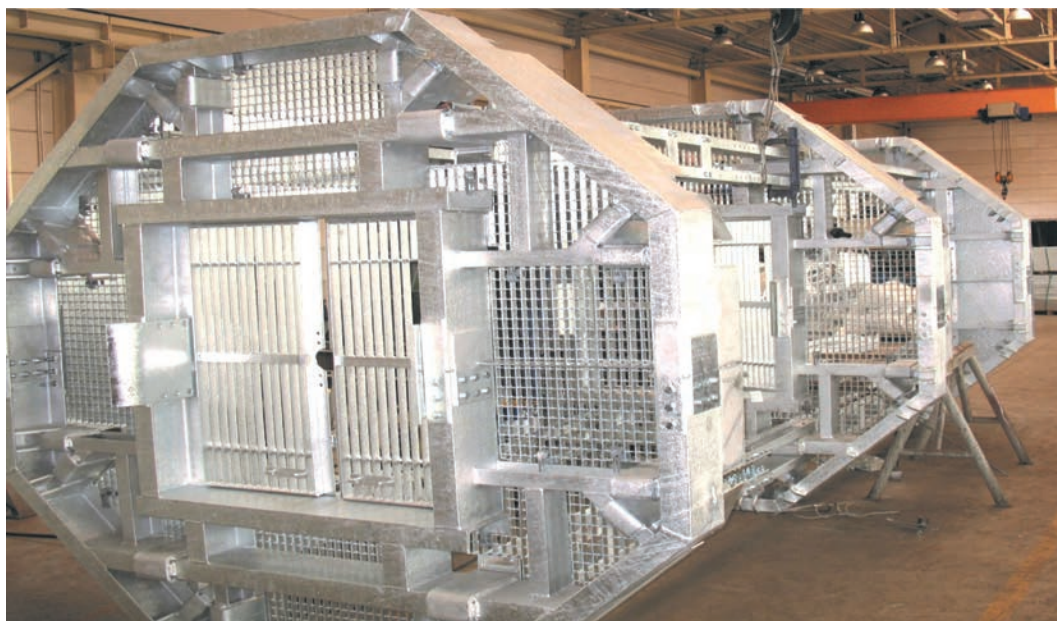


Fig. 7. Suspended platform construction [3]



Fig. 8. Conveyor belt construction [3]



Fig. 9. Supporting structure for the Chameleon PVEV Carports modular photovoltaic system [10]

5. HOISTING ROPES AND SERVICES

In 2018, to meet customer demand, the SAG offer was amended with steel hoisting ropes made by *WDI Westfälische Drahtindustrie GmbH* – a leading steel rope manufacturer from Germany (Fig. 10).

WDI specializes in the production of highly efficient steel hoisting ropes, of which the whole production process starting from drawing of wires is executed at WDI owned factories, including the most modern steel wire manufacturing plant in Europe in Rothenburg. The registered brand of steel wire ropes WDI – “PYTHON” was launched in the market in the 60-ties of the previous century and nowadays is a world-wide reputed brand of steel ropes featur-

ing high quality and fulfilling ever growing industry demand in respect of steel wire ropes with the construction optimized in respect of costs, durability and strength. Production of ropes is performed in compliance with the quality management system ISO 9001:2008. The company is certified i.a. by Germanischer Lloyd, Lloyd’s Register of Shipping, Russian GOST and China Mining Products Safety Approval and Certificate.

In addition, SAG also renders services in the scope of overhauling shaft rope attachments, special welding services, including robotized welding, steel plate flame cutting, machining and mechanical forming of steel elements using modern CNC machines.



Fig. 10. WDI Company Logo for PYTHON Brand [11]

6. SUMMARY

Having automated production machines and constantly investing in their modernization, SAG Sp. z o.o. is now entering the market of the most advanced technologies, i.a. in the scope of electro mobility, recycling and rail rolling stock. Its experience and qualified personnel, close cooperation with science-research centres, competent technical support, position SAG in the segment of manufacturers – pioneers in respect to innovation, taking care for safety and high quality of the offered products and create a strong and stable position of the company in the domestic market and abroad. It has been reflected by the prizes and awards awarded to SAG.

By the decision of the Management of the Silesian Association of Managers, SAG Sp. z o.o. was recognized as 2018 Company of the Year in Silesia, in the category of medium size manufacturing companies. Also the company has been repeatedly awarded for the quality and innovativeness of its products (three times recognized by IPH in Krakow with the T. Baranowski Diploma for innovative activities in respect to the SAG-type steel rubber coated balance rope, SAG

ECO-roller and a product – a tram car middle section with a lowered floor; it received a Gold Badge for a QI Product a part of the Top Quality International program in 2019). The production quality is assured with certificates of management and safety and cooperation with the science centres in Poland. The company was also awarded the honourable Diamond title by Forbes 2020. This award is not only a prize for excellent financial results and the growth of the company’s value, but proof of a guarantee of reliability and transparency of the particular company.

Maintaining and strengthening its market position in Poland and abroad is one of the objectives of the company in the years to come.

References

- [1] Hansel J., Gas J.: *Liny wyrównawcze stalowo-gumowe SAG*. XX International Conference Investigation, Production and Use of Steel Ropes, Conveyors and Hoisting Machines, Košzyce 2018.
- [2] Katalog firmy SAG: “Liny”, <http://www.sag.pl/> [10.09.2020].
- [3] Zdjęcia własne firmy SAG.
- [4] Łazarz B., Opasiak T., Pypno C., Peruń G.: *Badanie krążników firmy SAG Sp. z o.o. po 10 miesiącach eksploatacji w KWK Mysłowice-Wesoła*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Katowice 2014.

- [5] Opasiak T., Gas J.: *Badanie krążników firmy SAG Sp. z o.o. po 3 latach eksploatacji w KWK Mysłowice-Wesoła*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Katowice 2018.
- [6] Król R., Kisielewski W., Kaszuba D., Gładysiewicz L.: *Badanie krążników ECO-SAG w warunkach laboratoryjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2016.
- [7] Szczyrba K.: *Bezprzewodowy system diagnostyki technicznej i przeciwpożarowej przenośników taśmowych*. Rynek Inwestycji 2016, 11: 102–105.
- [8] Furmanik K., Kulinowski P., Kasza P., Zarzycki J., Vasina S., Gawlik W.: *Opracowanie krążnika z uelastycznionymi węzłami łożyskowymi*. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2014 [unpublished].
- [9] Karta katalogowa SAG – ROLLERS: STANDARD, ECO-POWER, HEAVY DUTY.
- [10] MULTIECHNIKA: http://woltaika.com/index.php?page_id=3 [10.09.2020].
- [11] Materiały reklamowe WDI Westfälische Drahtindustrie GmbH.

JERZY GAS, M.Sc.

SAG Sp. z o.o.

ul. Szopienicka 58a , 40-432 Katowice, Poland

j.gas@sag.pl

JERZY GAS

Innowacyjne rozwiązania w produktach SAG Sp. z o.o.

Artykuł przedstawia genezę powstania i wdrożenia innowacyjnych rozwiązań w konstrukcji lin wyrównawczych, które dały początek nowej jakości w transporcie ludzi i urobku z wykorzystaniem górniczych urządzeń wyciągowych. W artykule omówiono rozwiązania techniczne oraz wskazano walory eksploatacyjne lin wyrównawczych stalowo-gumowych SAG. Na tym tle zaprezentowano krótki rys historyczny powstania firmy SAG, wieloletnie doświadczenie, które zaowocowało wdrażaniem nowatorskich rozwiązań w oferowanych produktach, zapewniających efektywność i niezawodność ich działania.

Słowa kluczowe: lina wyrównawcza SAG, liny stalowe, krążniki, wymagania dla lin

1. WSTĘP

„Tradycja i nowoczesność” – hasło to od początku funkcjonowania SAG Sp. z o.o. wpisuje się w strategię działania firmy. W 2021 r. spółka będzie obchodziła trzydziestą rocznicę swojej działalności. Historia firmy sięga 1991 r. Wtedy to powstał pomysł utworzenia na katowickim Nikiszowcu przedsiębiorstwa produkującego innowacyjne i nieznane wówczas na rynku stalowo-gumowe płaskie liny wyrównawcze.

Działalność gospodarczą spółka rozpoczęła jako SAG Wytwórnia Lin Stalowo-Gumowych Sp. z o.o. Nazwa powstała od pierwszych liter wyrazów – stal, antykorozyja, guma. Początkowo 51% udziałów należało do austriackiej firmy Tradepol, pozostałe 49% udziałów objęła KWK Wieczorek. Następca prawnym kopalni został Katowicki Holding Węglowy S.A., a właścicielem udziałów będących w rękach austriackich stała się w 1997 r. firma Marchart & Lackner GmbH. W 2008 r. udziały austriackiej firmy nabyła Fabryka Taśm Transporterowych Wolbrom S.A., stając się nowym współwłaścicielem. W 2012 r. spółka zmieniła nazwę na SAG Sp. z o.o. W 2019 r. w wyniku przekształceń organizacyjnych w polskim górnictwie, Spółka Restrukturyzacji Kopalń S.A. przejęła udziały SAG od Katowickiego Holdingu Węglowego S.A.

2. LINY WYRÓWNAWCZE PŁASKIE STALOWO-GUMOWE SAG

2.1. Rys historyczny

Pionierska w latach 80. i 90. XX wieku stalowo-gumowa płaska lina wyrównawcza stała się głównym produktem spółki. Z perspektywy czasu można stwierdzić, że dynamiczny rozwój działalności spółki został zapoczątkowany właśnie przez tę nowatorską linę. Innowacyjne rozwiązania w konstrukcji lin wyrównawczych, opracowane w latach 70. i 80. ubiegłego wieku w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (AGH), stanowiły rewolucję w transporcie ludzi i urobku w szybach z wykorzystaniem górniczych urządzeń wyciągowych. Impulsem do podjęcia działań w tym zakresie były wyniki badań przyczyn i skutków katastrof w szybach górniczych, które w latach 70. XX wieku AGH prowadziła wspólnie z departamentami energomechanicznymi Wyższego Urzędu Górniczego w Katowicach i Ministerstwem Górnictwa. Wynikało z nich, że jednym z kilku najbardziej zawodnych elementów górniczych wyciągów szybowych są stalowe liny wyrównawcze, zarówno płaskie, jak i okrągłe. W analizowanym okresie średnio zrywały się jedna–dwie liny wyrównawcze stalowe płaskie

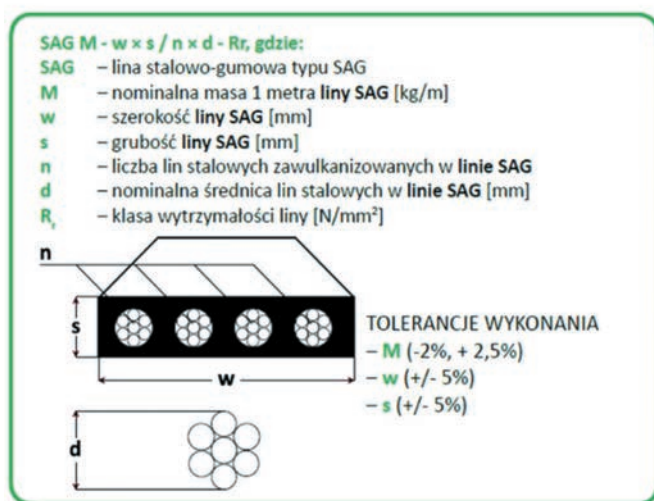
w ciągu roku. Każde takie zdarzenie zagrażało bezpieczeństwu kopalni i pociągało za sobą bardzo duże straty materialne. Jedną z głównych przyczyn zerwań stalowych lin wyrównawczych płaskich (szytych ręcznie i nitowanych) był brak możliwości wiarygodnej oceny ich stanu technicznego. Z kolei liny okrągłe trzeba było wymieniać dosyć często, bo ulegały deformacji na skutek kręcenia się wokół własnej osi podczas cyklu roboczego. Wad tych nie mają wyrównawcze liny stalowo-gumowe SAG. Prace naukowo-wdrożeniowe rozpoczęły się w AGH w 1974 r. i trwały kilkanaście lat, zanim doprowadzono do uruchomienia seryjnej produkcji lin SAG i dopuszczono je do powszechnego stosowania w podziemnych zakładach górniczych. W rozwiązywaniu problemów związanych z tym projektem uczestniczyło kilkudziesięciu specjalistów (mechaników, chemików, elektryków, górników, pracowników nadzoru górniczego itd.). Za zakończenie procesu naukowo-wdrożeniowego uznaje się dopuszczenie 3 lipca 1990 r. przez Wyższy Urząd Górniczy w Katowicach lin SAG do stosowania we wszystkich

wyciągach szybowych w Polsce, również tych przeznaczonych do transportu ludzi. Można zatem powiedzieć, że w tym dniu zostały zakończone wieloletnie prace naukowo-badawcze, projektowe, budowlano-montażowe itd., które doprowadziły do seryjnej produkcji lin SAG. Stworzone zostały również warunki ich powszechnego stosowania w górniczych urządzeniach wyciągowych bez żadnych ograniczeń [1].

2.2. Budowa liny

Płaskie liny wyrównawcze stalowo-gumowe wykonane są z parzystej liczby lin stalowych (prawozwitych i lewozwitych) zawulkanizowanych w gumie na całej długości (rys. 1).

Opracowany już w 1978 roku typoszerzeg obejmuje liny stalowo-gumowe, w których zawulkanizowanych jest od dwóch do ośmiu linek stalowych o średnicach 12 mm, 14 mm, 16 mm, 20 mm, 22 mm i 24 mm i wytrzymałości 1370 MPa, 1570 MPa, 1670 MPa i 1770 MPa.



Rys. 1. Budowa liny wyrównawczej płaskiej stalowo-gumowej SAG [2]

Dzięki temu spełnione są wszystkie wymagania, które stawiane są linom wyrównawczym dotyczące mas jednego metra liny oraz wartości rzeczywistych sił zrywających liny w całości (wymaganych współczynników bezpieczeństwa), stosowanych w górniczych wyciągach szybowych o dowolnych parametrach technicznych [1].

2.3. Walory techniczno-eksploatacyjne lin

Liny SAG, których średni czas pracy jest co najmniej 3–4 razy dłuższy od trwałości lin wyrównawczych stalowych, są w ocenie wielu specjalistów znaczącym międzynarodowym osiągnięciem naukowców z AGH i polskich inżynierów.

Po 41 latach doświadczeń z eksploatacji lin stalowo-gumowych, produkowanych seryjnie przez firmę SAG Sp. z o.o. (od końca 1989 r.), można stwierdzić, że wszystkie zalety lin SAG deklarowane przez ich twórców zostały w pełni potwierdzone. Zastosowanie lin SAG w polskich kopalniach całkowicie wyeliminowało awarie związane ze zrywaniem się lin wyrównawczych (rys. 2). Stosowanie lin SAG przyczynia się do obniżenia kosztów transportu pionowego i podniesienia bezpieczeństwa pracy nie tylko w polskich kopalniach, ale też w wielu innych krajach, do których liny SAG są eksportowane.

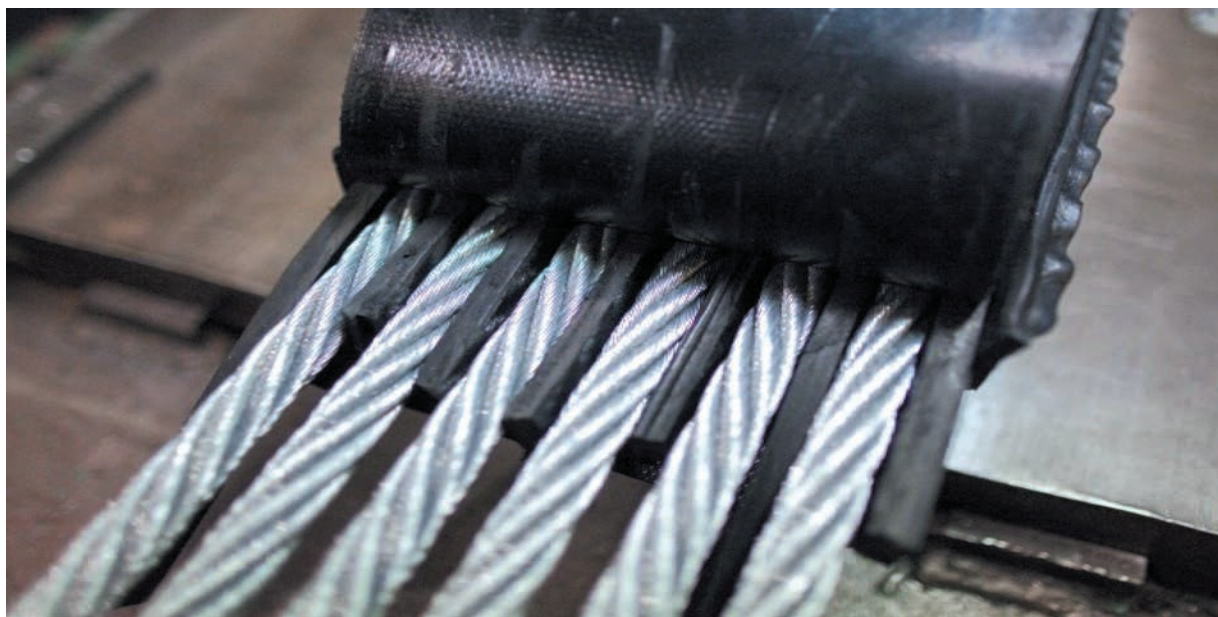
Główne zalety lin wyrównawczych stalowo-gumowych SAG wymieniono w punktach (1–8).

- 1) Całkowita nieodkretność konstrukcji, którą uzyskano przez zastosowanie parzystej liczby lin dwuzwitych wykonanych ze spletek okrągłych, zawulkanizowanych w gumie na całej długości. Połowa tych lin stalowych jest prawozwita, połowa lewozwita.
- 2) Bardzo duża odporność na korozję – dzięki zawulkanizowaniu lin stalowych w gumie, które są wykonane z drutów ocynkowanych. Warstwa wewnętrzna gumy charakteryzuje się dużą przyczepnością do drutów lin, natomiast warstwa zewnętrzna, wykonana z gumy trudnopalnej – dużą przewodnością elektryczną, odpornością na ścieranie.
- 3) Duży zakres masy jednostkowej liny i sił zrywających lin SAG – odpowiednią masę jednostkową i wymaganą siłę zrywającą lin stalowo-gumowych uzyskuje się przez zastosowanie różnej parzystej liczby lin stalowych o określonej średnicy (wykonanych z drutów o wymaganej wytrzymałości) oraz przez zastosowanie określonej ilości gumy wypełniającej.

- 4) Niezawodność pracy – uzyskuje się przez zastosowanie co najmniej kilku lin stalowych przenoszących siły poosiowe. Prawdopodobieństwo ich równoczesnego uszkodzenia (zerwania) jest iloczynem prawdopodobieństwa uszkodzenia pojedynczej liny. Zerwanie jednej liny w linie SAG nie powoduje awarii urządzenia wyciągowego.
- 5) Wysoka pewność zamocowania liny w zawiesiu – uzyskuje się, dzięki dużemu współczynnikowi tarcia pomiędzy stykającymi się powierzchniami gumowymi, ściskany mi zaciskami stalowymi i nowemu rozwiązaniu zawiesi typu SADEX.
- 6) Duża trwałość i odporność na uszkodzenia mechaniczne – uzyskuje się dzięki ww. zaletom, jednak przede wszystkim bardzo dobrej odporności na zużycie korozyjne, jak również dzięki temu, że warstwa zewnętrzna gumy chroni linę przed uszkodzeniami mechanicznymi.
- 7) Mały promień przewijania w rzapiu – przez zastosowanie dużej liczby lin stalowych o małej sztywności poprzecznej.
- 8) Możliwość badań magnetycznych – pozwalających na jakościową ocenę lin SAG została osiągnięta dzięki opracowaniu typoszeregu głowic i opracowanej metodyce badań magnetycznych [1].

Walory techniczno-eksploatacyjne liny produkcji SAG zostały nagrodzone Złotym Medalem podczas 41. Światowej Wystawy Wynalazczości, Badań Naukowych, Innowacyjnych Technologii Eureka '92 w Brukseli.

Wieloletnie doświadczenia w eksploatacji lin SAG, wyprodukowanych zgodnie z patentem PL 150321, wykazały pełną przydatność tych lin do pracy w górniczych wyciągach szybowych. Potwierdzeniem prawdziwości tej tezy jest lina SAG 177x35/4x18 zabudowana 30.11.1991 r. w szybie wydobywczym Janina III przedział skipowy w Zakładzie Górniczym Janina Tauron Wydobyte S.A. w Libiążu. Lina ta, wykonana według patentu PL 145 595 (z zawulkanizowanymi elementami kalibrującymi), do maja 2018 r., czyli po mniej więcej 26 latach pracy, wykonała około 1 800 000 wyciągów. Rekordzistką natomiast jest lina wyrównawcza SAG 118x29/4x18 „pracująca” już 29 lat w Zakładzie Górniczym Brzeszcze – Tauron Wydobyte S.A.



Rys. 2. Lina wyrównawcza płaska stalowo-gumowa SAG [2]

Dzięki wysokiej odporności na korozję, możliwości bieżącego monitorowania stanu technicznego za pomocą badań nieniszczących, a w przypadku uszkodzenia powłoki gumowej możliwość jej naprawy bezpośrednio w szybie wyciągu (bez potrzeby jej demontowania), lina wyrównawcza produkcji SAG stała się symbolem jakości, efektywności i gwarantem bezpieczeństwa.

Liny wyrównawcze SAG znalazły zastosowanie w górniczych wyciągach szybowych (w tym do jazdy ludzi) w kopalniach węgla, rud, soli i innych minerałów użytecznych w kraju i za granicą. Do końca 2020 r. spółka sprzedała ogółem 660 lin wyrównawczych stalowo-gumowych SAG, z czego 128 na eksport do kopalń z Czech, Rosji, Ukrainy, Białorusi, Kazachstanu, Niemiec, Maroka, Wietnamu. W ciągłej eksploatacji w Polsce jest ponad 200 lin wyrównawczych SAG.

Wśród wyprodukowanych lin najdłuższa ma 1600 m, największa masa liny wynosi 28 990 kg, największa uzyskana liczba wyciągów wynosiła około 3,2 mln cykli.

3. KRAŻNIKI SAG

Uznanie ze strony przemysłu wydobywczego stanowiło impuls do rozszerzenia i dywersyfikacji oferty produktowej SAG. Produkty te znalazły zastosowanie nie tylko w górnictwie, ale również w innych gałęziach przemysłu.

Oferta produktowa SAG obejmuje m.in. różne typy krażników: od standardowych po specjalistyczne, produkowane na konkretne potrzeby klienta (rys. 3).



Rys. 3. Krażniki produkcji SAG [3]

Na uwagę zasługują krążniki EKO-SAG. Jako wieloletni partner przemysłu wydobywczego SAG Sp. z o.o. uzyskała specjalistyczne doświadczenie, m.in. w zakresie transportu przenośnikowego, potwierdzonego certyfikatami, referencjami i licznymi nagrodami. Funkcjonowanie przenośników taśmowych w szczególnie wymagającym środowisku górnictwa podziemnego skłoniło spółkę do rozpoczęcia prac nad produktem o ponadprzeciętnej jakości, charakteryzującym się nie tylko trwałością i niezawodnością, ale również bezpieczeństwem użytkowania. Biorąc pod uwagę fakt, że krążniki stanowią najliczniejszą grupę elementów konstrukcji przenośników taśmowych i od ich sprawności zależy energochłonność napędu, prawidłowy bieg taśmy i jej trwałość, SAG opracował nową konstrukcję krążnika.

EKO – krążniki produkcji SAG – dzięki zastosowaniu wysokiej jakości materiałów i nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych stały się wzorcowym produktem pod względem minimalizacji kosztów eksploatacji przenośników taśmowych, co zostało potwierdzone badaniami laboratoryjnymi na uczelniach i eksploatacyjnymi w kopalniach.

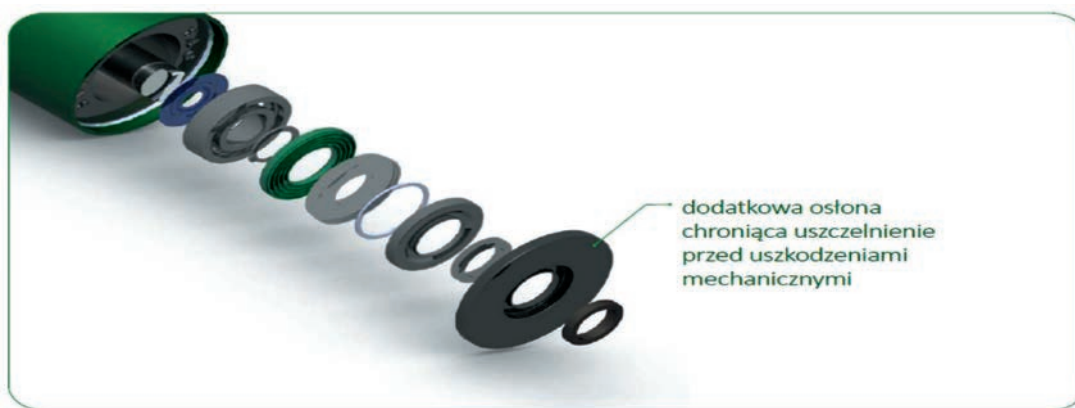
Innowacyjne rozwiązania zastosowane w energooszczędnych krążnikach EKO pozwoliły na uzyskanie następujących efektów:

- 1) Krążniki zamontowane na jednym z przenośników taśmowych Gwarek 1200 w KWK „Mysłowice-Wesoła” w ciężkich warunkach eksploatacyjnych spowodowały spadek o 8,1% poboru mocy zarówno przy rozruchu, jak i pracy ustalonej przenośnika. Badania zostały przeprowadzone przez Politechnikę Śląską po dziesięciu miesiącach i trzech latach ich eksploatacji. Pomiary bicia promieniowego wykazały bardzo wysoką dokładność wykonania krążników EKO-SAG, badania statycznego i dynamicznego oporu obracania krążnika potwierdziły jego niski poziom. Ponadto z przeprowadzonych badań wynika, że konstrukcja krążników po trzech latach eksploatacji nie utraciła swoich właściwości użytkowych i mogą one być dalej wykorzystywane w kopalni [4, 5].
- 2) Krążniki testowane w warunkach laboratoryjnych przez Politechnikę Wrocławską potwierdziły niskie opory obracania w całym zakresie obciążeń eksploatacyjnych, przy minimalnych przyrostach temperatur węzłów łożyskowych krążników, niskim biciem promieniowym, trwałością gwarantowaną przez producenta, tj. trzy lata [6].

- 3) Niski poziom drgań krążników zamontowanych w dwóch konstrukcjach wsporczych przenośnika nawęglania elektrowni Jaworzno II pozwolił na redukcję poziomu drgań o 30% konstrukcji wsporczej oraz mocy niezbędnej do zasilania przenośnika. Potwierdzono jednocześnie niski przyrost temperatur węzłów łożyskowych, co ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo pracy i co zostało udokumentowane przez firmę Somar [7].
- 4) Krążniki z poliuretanowymi pierścieniami, które znalazły zastosowanie w innowacyjnych przenośnikach taśmowych w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A., wykazały się oporem obracania nie większym niż 1,23 N (norma 3 N). Nie zaobserwowano również istotnych przyrostów temperatur węzłów łożyskowych, co z punktu widzenia bezpieczeństwa w transporcie przenośnikowym jest bardzo istotne, gdyż w wielu przypadkach przenośniki taśmowe pracują w strefach zagrożonych wybuchem. Badania w tym zakresie zostały potwierdzone przez Politechnikę Wrocławską [6].
- 5) Badania krążników z uelastycznionymi węzłami łożyskowymi przeprowadzone przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie potwierdziły, że zastosowanie gumowych wkładek pozwoliło uzyskać nie tylko wyższą wytrzymałość krążnika, ale też niższy hałas emitowany podczas pracy. Testy laboratoryjne potwierdziły korzystne cechy eksploatacyjne wynikające ze zmniejszenia sił dynamicznych obciążających łożyska krążnika EKO-SAG [8].

W ofercie SAG znajdują się także krążniki, które w pełni wytrzymują okres pięcioletniej eksploatacji. Są one produkowane w nowej technologii, z użyciem specjalnych materiałów i przy zastosowaniu innowacyjnych uszczelnień węzła łożyskowego, odpowiednich piast, obróbki mechanicznej, montażu, dokładności wykonania oraz materiałów o potwierdzonej wytrzymałości.

Krążniki HEAVY DUTY (rys. 4) charakteryzują się ponadprzeciętną wytrzymałością w trudnych warunkach pracy przenośników taśmowych i znajdują zastosowanie w przenośnikach taśmowych dołowych o dużej koncentracji wydobywania – dużej wydajności. Ten szczególnie odporny na działanie pyłów i wody krążnik charakteryzuje się zastosowaniem rury o grubości ścianki 6,3 mm, łożysk 6306–6308 oraz innowacyjnym uszczelnieniem węzłów łożyskowych, które pozwala na skuteczną ochronę przed działaniem czynników powodujących zużycie krążnika, tj. woda, piach, pył przedostający się do węzła łożyska krążnika itp.



Rys. 4. Budowa krążnika HEAVY DUTY [9]

4. KONSTRUKCJE SAG

SAG jest również producentem konstrukcji stalowych dla górnictwa, kolejnictwa, branży budowlanej, energetyki, recyklingu, itp. Od 2015 r. SAG realizuje

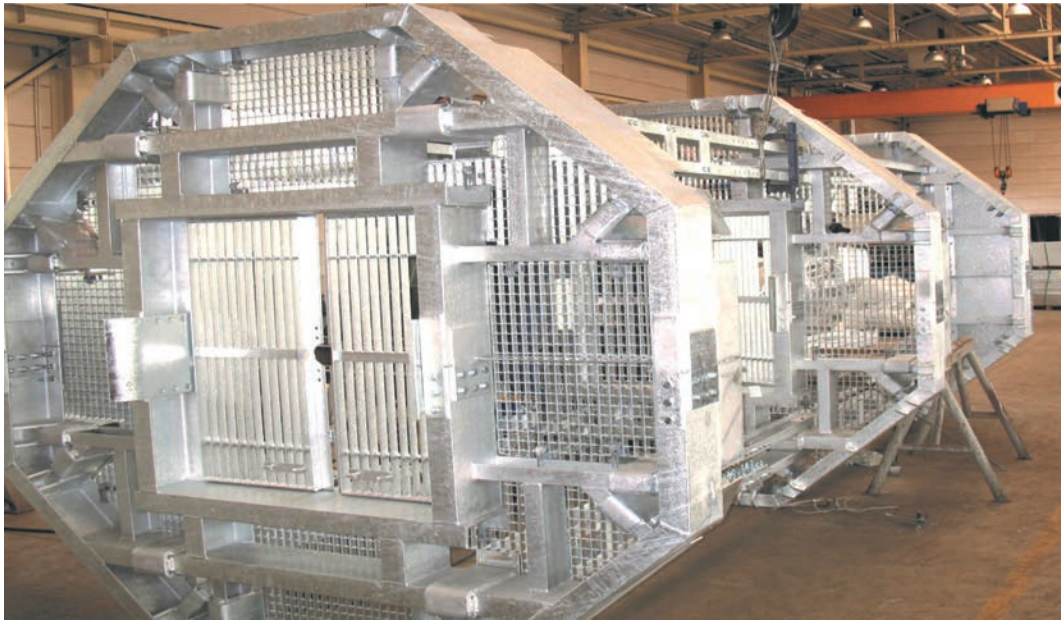
dla Tramwajów Śląskich S.A. dostawy członów środkowych tramwajów z niską podłogą, przystosowanych do potrzeb osób niepełnosprawnych (rys. 5). Przykłady realizacji przez SAG konstrukcji stalowych na indywidualne zamówienia klientów przedstawiają rysunki 6–9.



Rys. 5. Konstrukcja członu środkowego tramwaju [3]



Rys. 6. Konstrukcja przesiewacza bębnowego [3]



Rys. 7. Konstrukcja pomostu wiszącego [3]



Rys. 8. Konstrukcja przenośnika taśmowego [3]



Rys. 9. Konstrukcja wsporcza do modułowego systemu fotowoltaicznego Chameleon PVEV Carports [10]

5. LINY NOŚNE I USŁUGI FIRMY SAG

W 2018 r., wychodząc naprzeciw oczekiwaniom klientów, oferta SAG została uzupełniona o liny stalowe WDI Westfälische Drahtindustrie GmbH, wiodącego producenta lin z Niemiec (rys. 10).

WDI specjalizuje się w produkcji wysokowydajnych stalowych lin nośnych, których całkowity proces wytwarzania, poczynając od wyciągania drutów, realizowany jest w zakładach należących do WDI, w tym w najnowocześniejszym w Europie zakładzie produkcji drutu w Rothenburgu. Zastrzeżona marka lin stalowych WDI – PYTHON została wprowadzona na rynek w latach 60. ubiegłego wieku i do dzisiaj cieszy się

uznaniem na świecie jako marka produktów o wysokich parametrach jakościowych, spełniająca stale rosnące potrzeby przemysłu w zakresie lin stalowych o konstrukcji zoptymalizowanej pod względem kosztów, trwałości i wytrzymałości. Produkcja prowadzona jest zgodnie z systemem zarządzania jakością ISO 9001:2008. Firma jest certyfikowana, m.in. przez Germanischer Lloyd, Lloyd's Register of Shipping, Russian GOST i China Mining Products Safety Approval and Certificate.

SAG świadczy ponadto usługi w zakresie remontów zawieszek szynowych, usługi specjalistyczne z zakresu spawania, w tym zrobotyzowanego, wypalania blach, obróbki skrawaniem i plastycznej z wykorzystaniem nowoczesnych maszyn CNC.



Rys. 10. Logo firmy WDI dla lin marki PYTHON [11]

6. PODSUMOWANIE

SAG Sp. z o.o., dysponując zautomatyzowanym parkiem maszynowym i stale inwestując w jego unowocześnianie, dąży do wejścia na rynek zaawansowanych technologii w zakresie m.in. elektromobilności, recyklingu i pojazdów szynowych. Doświadczenie i wykwalifikowana kadra pracownicza, ścisła współpraca z jednostkami naukowo-badawczymi, kompetentne wsparcie technologiczne, wpisują SAG w segment producentów pionierów w zakresie innowacyjności, dbających o bezpieczeństwo i wysoką jakość oferowanych produktów oraz budującą mocną i stabilną pozycję przedsiębiorstwa na rynku krajowym i zagranicznym. Ma to odzwierciedlenie w nagrodach i wyróżnieniach, które w ostatnich latach otrzymała spółka.

Decyzją Zarządu Śląskiego Stowarzyszenia Menedżerów SAG Sp. z o.o. została wyróżniona jako Firma Roku 2018 na Śląsku w kategorii średnia firma produkcyjna. Spółka została również kilkakrotnie nagrodzona za jakość i innowacyjność oferowanych produktów (trzykrotnie uhonorowana przez IPH w Krakowie Dyplomem im. T. Baranowskiego za działalność innowacyjną w zakresie liny stalowo-gumowej typu SAG, krążnika EKO-SAG, za produkt – człon środ-

kowy tramwaju z niską podłogą; wyróżniona Złotym Godłem QI Product – w programie Najwyższa Jakość Quality International 2019). Jakość produkcji zapewniają wdrożone certyfikaty zarządzania i bezpieczeństwa oraz współpraca z ośrodkami naukowymi w kraju. Spółka otrzymała ponadto zaszczytny tytuł Diamentu Forbesa 2020. To wyróżnienie jest nie tylko nagrodą za doskonałe wyniki finansowe i wzrost wartości firmy, lecz także świadectwem transparentności, gwarancji rzetelności i przejrzystości danego przedsiębiorstwa.

Utrzymanie i umocnienie pozycji na rynku krajowym i na rynkach zagranicznych to jeden z celów spółki na najbliższe lata.

Literatura

- [1] Hansel J., Gas J.: *Liny wyrównawcze stalowo-gumowe SAG*. XX International Conference Investigation, Production and Use of Steel Ropes, Conveyors and Hoisting Machines, Košice 2018.
- [2] Katalog firmy SAG: „Liny”, <http://www.sag.pl/> [10.09.2020].
- [3] Zdjęcia własne firmy SAG.
- [4] Łazarz B., Opasiak T., Pypno C., Peruń G.: *Badanie krążników firmy SAG Sp. z o.o. po 10 miesiącach eksploatacji w KWK Mysłowice-Wesoła*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Katowice 2014.

- [5] Opasiak T., Gas J.: *Badanie krążników firmy SAG Sp. z o.o. po 3 latach eksploatacji w KWK Mysłowice-Wesoła*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Katowice 2018.
- [6] Król R., Kisielewski W., Kaszuba D., Gładysiewicz L.: *Badanie krążników ECO-SAG w warunkach laboratoryjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2016.
- [7] Szczyrba K.: *Bezprzewodowy system diagnostyki technicznej i przeciwpożarowej przenośników taśmowych*. Rynek Inwestycji 2016, 11: 102–105.
- [8] Furmanik K., Kulinowski P., Kasza P., Zarzycki J., Vasina S., Gawlik W.: *Opracowanie krążnika z uelastycznionymi węzłami łożyskowymi*. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2014 [niepublikowane].
- [9] Karta katalogowa SAG – ROLLERS: STANDARD, ECO-POWER, HEAVY DUTY.
- [10] MULTIECHNIKA: http://woltaika.com/index.php?page_id=3 [10.09.2020].
- [11] Materiały reklamowe WDI Westfälische Drahtindustrie GmbH.

mgr JERZY GAS
SAG Sp. z o.o.
ul. Szopienicka 58a , 40-432 Katowice
j.gas@sag.pl

TOMASZ MUSIAŁ

Design of suspended rail reinforcement

The continuous development of coal extraction technology in hard coal mines, including the increased efficiency of the machinery and equipment used in mining, encourages manufacturers to increase the power of these machines. This also entails an increase in their weight. Transporting these machines to their destination, especially to the face, is the task of suspended transport systems, i.e.: a suspended railway system. The proposed solution consists in welding flat bars to the flanges of the I-beam, which will increase the unit weight of the load that can be carried by each car of the transport set moving along the railway. This paper contains a technical description of the modified rail and basic strength calculations, the results of which confirm the advisability of its use.

Key words: *suspended railway system, rail, transport*

1. ZMK “WOSTAL” SP. Z O.O.

The beginnings of Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze “Wostal” Sp. z o.o. date back to 1949, where on the site of today’s plant was a metal products factory. The company’s operating activity included manufacturing mining rolling stock and railway equipment, and metalworking. In 1979, Zakład Produkcji Urządzeń Technologicznych “Polmo” in Wolbrom was merged with three other companies to form Przedsiębiorstwo Projektowania i Dostaw Transportu Technologicznego i Składowania “Techmatrans”. The establishment of the company under the name of Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze “Wostal” Sp. z o.o. took place in 1922. In 2014, the majority stake in ZMK “Wostal” Sp. z o.o. was purchased by FTT Wolbrom S.A.

Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze “Wostal” Sp. z o.o. is a manufacturer of high-quality products and service provider for all branches of the industry.

Long-term collaborations and experience in the mining, engineering and construction industries make the company well-known and respected both on the domestic and foreign markets. The main countries to which the products are exported are Finland, France, Germany, Turkey, the Czech Republic, Slovakia and the United Kingdom. The company employs around 220 people and has three production departments.

The steel construction department has the capacity to produce various types of steel structures weighing up to 20 tonnes. The forging department (Fig. 1) pro-

duces drop forgings of up to 12 kg in unalloyed, alloyed and stainless steels.



Fig. 1. Forging department

Drop forging department meets the needs of the Forging Department concerning forging tooling and offers machining using CNC machines (Fig. 2).



Fig. 2. CNC machine

2. ASSUMPTIONS

Suspended railway system elements: slings, stays and rails, are among the basic groups of products manufactured for many years by ZMK “Wostal” Sp. z o.o., and approved by the State Mining Authority in Katowice and the Institute of Mining Technology KOMAG in Gliwice, Poland.

Due to the construction of the suspended railway system, the most commonly used rails are 2 m and 3 m long straight rails (Fig. 3). These are the longest sections, among the various types of rails, e.g. curved rails, transition rails and compromise rails, used. The length of a single rail has a major impact on the construction and operating costs of a track. The use of as long rail as possible is advantageous concerning the number of rails required and the number of track components such as suspension elements and supports. Consequently, as the length of the rail increases, the number of rails and additional elements decreases, which considerably reduces the construction cost of the track.



Fig. 3. Straight rails manufactured by “Wostal” Sp. z o.o.

The use of rail design solutions using I155 I-beam according to [1] without reinforcement allows the transport of a load not exceeding 27.5 kN [2] per one car and with a minimum car spacing of 1.8 m [3] for a 3 m long rail.

The method of increasing the load-bearing capacity of the rail considered in this study consists in using a standard I155 I-beam [1] with an increased section modulus obtained by welding a $b \cdot h = 12 \cdot 50$ mm flat bar to its flanges. The size of the stiffener (flat bar dimensions) is limited by the available space, determined by the necessity to provide sufficient clearance between the car and the lower flange of the I-beam. The dimensions of the flat bar were selected to ensure the above condition and to enable the highest possible load-bearing capacity to be achieved for a 3 m long rail. The calculations presented do not take into account the effects of wear and tear on the rails.

3. CALCULATIONS

The loads in the vertical plane arising from the transported weight and the purpose of the use of two flat bars to increase the section modulus of the rail, presented in the work [4] concerned only the performance parameters directly related to the stress originating from the bending of the rail when there is only one car on it. A limitation on the load capacity of the rail due to the strength of the sling was also considered, and verification of the load capacity of the joint was performed.

The rail structure is shown in Figure 4.

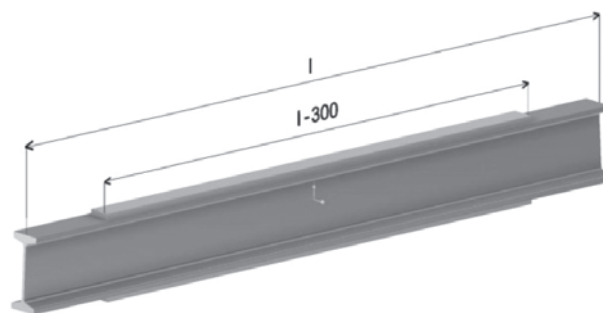


Fig. 4. Rail 155 reinforced using flat bars welded to the outer surfaces of the lower and upper part

It was assumed that the flat bars would be welded in an a6-100x(100) fillet weld. The I-beam material was S355J2G3 steel, while the flat bars were made of S355JR steel. These types of steel differ slightly from each other, particularly in terms of impact strength.

Due to the very frequent use of 2.4 m and 3 m rails, calculations of the maximum load capacity of the rails were carried out simultaneously for these two lengths. The load diagram for the suspended rail is shown in Figure 5.

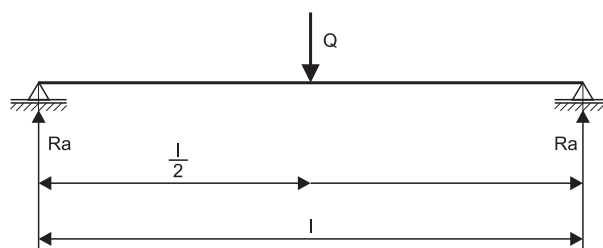


Fig. 5. The load diagram concerning force applied at the mid-length of the rail

The minimum tensile strength of the materials used to construct the rail is $R_m = 490$ MPa, and the value of the determined section modulus of the rail with reinforcements $W_x = 222.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$. The rail lengths taken for calculations were $l = 2.4$ m and $l = 3.0$ m, respectively. The condition for the maxi-

imum permissible rail load $Q_{\max}$ due to the minimum tensile strength of the rail material R_m is presented in the formula:

$$\frac{M_{g_max}}{W_x} \leq R_m \quad (1)$$

Where the maximum bending moment is:

$$M_{g_max} = \frac{Q_{\max} \cdot l}{4} \quad (2)$$

On the other hand, after determining the maximum load, the equation is:

$$Q_{\max} \leq \frac{R_m \cdot W_x \cdot 4}{l_{\max}} \quad (3)$$

After substitution and calculation, the maximum load on the rail was:

- 181.7 kN for a rail length of 2.4 m,
- 145.3 kN for a rail length of 3 m.

The maximum load calculated from condition (3) must be reduced because the value of the safety factor must be taken into account. This results in a formula from which the payload can be calculated:

$$Q \leq \frac{Q_{\max}}{n} \quad (4)$$

By substituting the data into equation (3) and calculation, the values of the payload was:

- for a rail length of 2.4 m, $Q = 60.6$ kN,
- for a rail length of 3 m, $Q = 48.4$ kN.

Based on the calculated permissible load on the rail, taking into account the required safety factor, the following values of the permissible loads from the car were adopted for further calculations:

- for a rail length of 2.4 m, $Q = 60.0$ kN,
- for a rail length of 3 m, $Q = 48.0$ kN.

In order to avoid exceeding the permissible loads of the rail joints, the minimum distances between the cars were determined. The load diagram shown in Figure 6 was adopted for the calculations. The design considered consisted of two rails between three slings. The load Q in this model was considered to be at mid-length between the wheels of a car, for each of the three cars, measured along the rail. The middle car was located exactly at the joint between the rails under consideration. In this model, the distances between the Q are the same and equal to L . The joint (sling) with the highest load was the one between these rails.

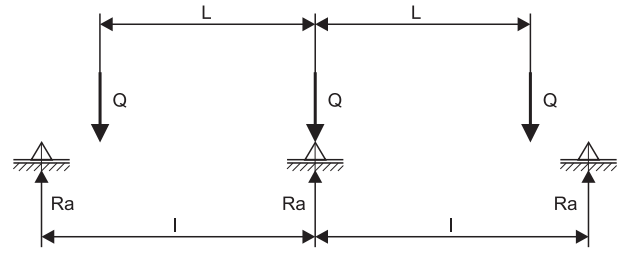


Fig. 6. Diagram showing the load of three cars acting on two adjacent rails

Further calculations were carried out for an assumed constant sling load-bearing capacity of $R_a = R_b = R_c = 100$ kN. The permissible load from the suspension, limited by the load capacity of the slings, as well as the loads coming from the cars determined above $Q = 60$ kN and $Q = 48$ kN were taken into account.

The vertical load-bearing capacity of the rail joint was:

$$3 \cdot Q - 2 \cdot R_a \leq R_b \quad (5)$$

where the reaction of R_a :

$$R_a = \frac{Q \cdot L}{l} \quad (6)$$

The general equation is:

$$\frac{3 \cdot Q - R_b}{2} \leq \frac{Q \cdot L}{l} \quad (7)$$

After substitution, for rails with maximum length $l = 2.4$ m, the distance L between the cars was:

$$L \geq 0,667 \cdot l \quad (8)$$

The above relationship was presented in the form of a graph (Fig. 7). It shows the applicability of the minimum spacing of the cars for the 2.4 m rail with the permissible load for a single car $Q = 60.0$ kN.

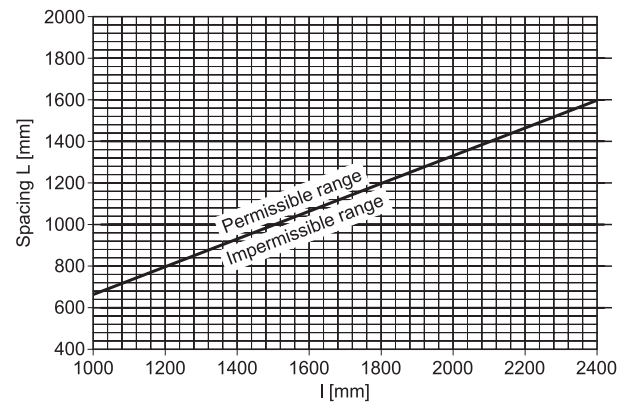


Fig. 7. Graphical representation of an inequality (8) for a 2.5 m rail

After substitution, for rails with maximum length $l = 3.0$ m, the distance L between the cars was:

$$L \geq 0,458 \cdot l \quad (9)$$

The relationship (9) is shown as a graph in Figure 8. It presents the applicability of the minimum car spacing for the 3.0 m rail with the permissible load for a single car $Q = 48.0$ kN.

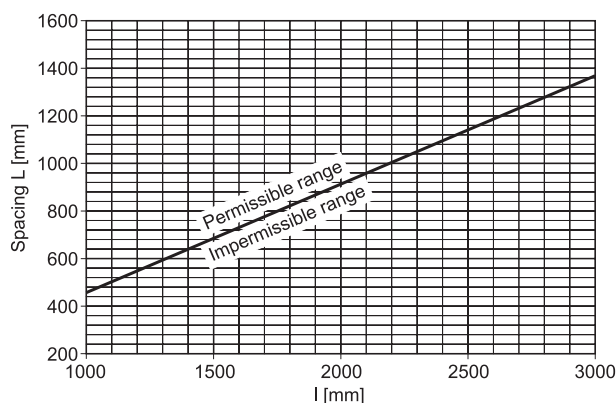


Fig. 8. Graphical representation of an inequality (9) for a 3.0 m rail

4. SUMMARY

The applied design solution increased the permissible load on the rail from 27.5 kN for a rail made of an unreinforced I-beam to 48.0 kN for a rail made

of an I-beam reinforced with flat bars. The developed solution has been implemented within the design of the ZMK 160W reinforced railway created at Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze “Wostal” Sp. z o.o., which has been approved for use in underground hard coal mines. It is anticipated that rails made using the technology described will also be supplied to new mines currently under construction outside the country.

References

- [1] PN-H-93441-10:1994: *Kształtowniki stalowe walcowane na gorąco dla górnictwa – Dwuteowniki typu I 155 na jezdnie kolei podwieszonych – Wymiary.*
- [2] Barczyk B.: *Dokumentacja wniosku o dopuszczenie do stosowania w zakładach górniczych – Elementy toru jezdniego typ: ZMK-100 do kolejki podwieszanej z napędem własnym lub linowym.* Wolbrom 2017 [unpublished].
- [3] Barczyk B.: *Dokumentacja wniosku o dopuszczenie do stosowania w zakładach górniczych – Elementy toru jezdniego typ: ZMK-160W kolejki podwieszanej z napędem własnym lub linowym.* Wolbrom 2021 [unpublished].
- [4] Drozd K., Nieoczym A.: *Dynamiczne obciążenie zawiesi generowane podczas jazdy zestawu transportowego z napędem własnym po trasie kolejki podwieszanej w wyrobisku.* Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2020.

TOMASZ MUSIAŁ, Eng.

Research and Development Department

Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze

“Wostal” Sp. z o.o.

ul. 1 Maja 29-37, 32-340 Wolbrom, Poland

tomasz.musial@wostal.pl

TOMASZ MUSIAŁ

Projekt wzmocnienia szyny kolejki podwieszonej

Ciągły rozwój technologii wydobycia urobku w kopalniach węgla kamiennego, w tym zwiększanie wydajności maszyn i urządzeń stosowanych w górnictwie, stymuluje producentów tych maszyn do zwiększania ich mocy. Pociąga to za sobą również wzrost ich masy. Dostarczenie tych maszyn do miejsca przeznaczenia, szczególnie do przodka, jest zadaniem transportu podwieszonego, tj. kolejki podwieszanej. Proponowane rozwiązanie polega na tym, że do pólek dwuteownika specjalnego przyspawano płaskowniki, które pozwolą na zwiększenie jednostkowej masy ładunku, możliwej do przewiezienia przez każdy z wózków jezdnych zestawu transportowego poruszającego się po trasie kolejki. Artykuł zawiera opis techniczny szyny o zmodyfikowanej konstrukcji oraz podstawowe obliczenia wytrzymałościowe, których wyniki potwierdzają celowość jej stosowania.

Słowa kluczowe: kolejka podwieszona, szyna jezdna, transport

1. ZMK „WOSTAL” SP. Z O.O.

Początki działalności Zakładów Mechaniczno-Kuźniczych „Wostal” Sp. z o.o. sięgają 1949 r. Na miejscu dzisiejszego zakładu istniała Fabryka Wyróbów Metalowych. Przedmiotem działań firmy była produkcja taboru kopalnianego, sprzętu do kolejnictwa oraz obróbka metali. W 1979 r. Zakład Produkcji Urządzeń Technologicznych „Polmo” w Wolbromiu połączono z trzema innymi zakładami, tworząc Przedsiębiorstwo Projektowania i Dostaw Transportu Technologicznego i Składowania „Techmatrans”. Zawiązanie spółki pod nazwą Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze „Wostal” Sp. z o.o. nastąpiło w 1922 r. W 2014 r. większościowy pakiet udziałów ZMK „Wostal” Sp. z o.o. został kupiony przez firmę FTT Wolbrom S.A.

Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze „Wostal” Sp. z o.o. są producentem wysokiej jakości wyrobów oraz dostawcą usług dla wszystkich gałęzi przemysłu.

Wieloletnie kontakty i doświadczenie w branży górniczej, maszynowej i budowlanej stawiają tę firmę w pozycji liczącej się na rynku krajowym i zagranicznym. Główne kraje, do których eksportowane są produkty, to Finlandia, Francja, Niemcy, Turcja, Czechy, Słowacja i Wielka Brytania. W spółce zatrudnionych jest około 220 osób i dysponuje ona trzema wydziałami produkcyjnymi.

Wydział konstrukcji stalowych dysponuje wszystkimi możliwościami w zakresie produkcji różnego rodzaju konstrukcji stalowych o masie do 20 ton. Wydział kuźni (rys. 1) produkuje odkuwki matrycowe

o masie do 12 kg, ze stali niestopowych, stopowych i nierdzewnych.



Rys. 1. Wydział kuźni

Wydział matrycowni zabezpiecza potrzeby wydziału kuźni w zakresie oprzyrządowania kuźniczego, a także oferuje wyspecjalizowaną obróbkę skrawaniem za pomocą obrabiarek CNC (rys. 2).



Rys. 2. Obrabiarka CNC

2. ZAŁOŻENIA

Elementy tras kolejek podwieszanych: zawiesia, odciaży i szyny są jednymi z podstawowych grup wyrobów ZMK „Wostal” Sp. z o.o., oferowanych od wielu lat i posiadających dopuszczenia Wyższego Urzędu Górniczego w Katowicach oraz Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach.

Ze względu na budowę trasy kolejki podwieszanej najczęściej stosowanymi szynami jezdny są szyny proste (rys. 3) o długości od 2 m do 3 m. Są to najdłuższe odcinki spośród różnego rodzaju stosowanych szyn, takich jak: szyny zakrętowe, przyłączeniowe oraz dołączne. Długość pojedynczej szyny jezdnej ma zasadniczy wpływ na koszt budowy oraz eksploatacji toru jezdnej. Korzystne jest stosowanie jak najdłuższych szyn jezdnych ze względu na wymaganą ich liczbę oraz ilość elementów tworzących tor jezdny (np. elementów zawieszenia oraz stabilizacji toru jezdnej). W związku z tym wraz ze zwiększaniem długości szyny jezdnej liczba zarówno szyn, jak i elementów dodatkowych zmniejsza się znacząco, obniżając koszt budowy trasy.



Rys. 3. Szyny jezdne proste produkowane przez „Wostal” Sp. z o.o.

Stosowanie rozwiązań konstrukcyjnych szyn jezdnych opartych na dwuteowniku specjalnym I155 według [1] bez wzmocnień pozwala na transport ciężaru przypadającego na jeden wózek nośny dla szyny o długości 3 m nie przekracza 27,5 kN [2] dla minimalnego rozstawu wózków jezdnych wynoszącego 1,8 m [3].

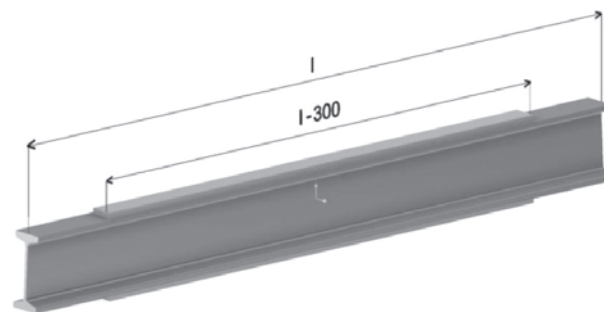
Rozpatrywana w niniejszym opracowaniu metoda zwiększenia nośności szyny polega na zastosowaniu standardowego dwuteownika specjalnego I155 [1], w którym zwiększenie wskaźnika wytrzymałości na zginanie uzyskuje się przez przyspawanie do jego półek płaskownika o wymiarach $b \cdot h = 12 \cdot 50$ mm. Ograniczeniem dla wielkości usztywnienia (wymiarów płaskownika) jest dostępna przestrzeń, zdeterminowana koniecznością zapewnienia wystarczającego luzu pomiędzy wózkiem jezdny a dolną półką dwuteownika. Wymiary płaskownika zostały tak dobrane, aby zapewnić powyższy warunek oraz umożliwić uzyskanie jak

największych możliwości nośnych dla szyny o długości 3 m. W opracowaniu przedstawiono obliczenia, nie rozpatrując wpływu zużycia eksploatacyjnego szyn.

3. OBLICZENIA

Istotny charakter obciążeń w kierunku pionowym, pochodzących od ciężaru transportowanego oraz cel zastosowania dwóch płaskowników podnoszących wytrzymałość na zginanie szyny jezdnej, przedstawiony w pracy [4], dotyczył wyłącznie parametrów użytkowych bezpośrednio związanych z naprężeniem pochodzącym od zginania szyny, gdy znajduje się na niej tylko jeden wózek. Uwzględniono również ograniczenie nośności szyny ze względu na wytrzymałość zawiesia oraz przeprowadzono weryfikację nośności złącza.

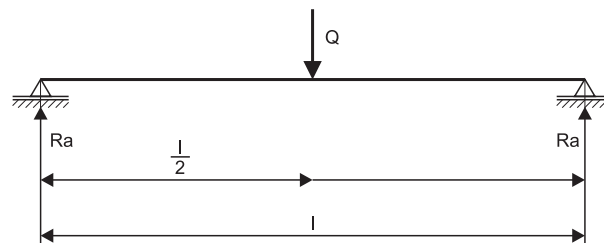
Konstrukcję szyny przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Szyna 155 po wzmocnieniu płaskownikami przyspawanymi do zewnętrznych powierzchni dolnej i górnej półki

Założono, że płaskowniki zostaną przyspawane spoiną pachwinową o wymiarach $a_6 - 100 \times 100$ mm. Materiał dwuteownika stanowiła stal S355J2G3, natomiast płaskowniki wykonano ze stali S355JR. Stale te nieznacznie różnią się między sobą, zwłaszcza pod względem uderzalności.

Ze względu na bardzo częste stosowanie szyn o długości równej 2,4 m oraz 3 m obliczenia maksymalnej nośności szyn wykonano jednocześnie dla tych dwóch długości. Schemat obciążenia szyny kolejki podwieszanej przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat obciążenia szyny siłą skupioną działającą w połowie jej długości

Minimalna wytrzymałość na rozciąganie materiałów użytych do budowy szyny wynosi $R_m = 490$ MPa, a war-

tość wyznaczonego wskaźnika wytrzymałości przekroju szyny wraz ze wzmocnieniami $W_x = 222,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$. Długości szyn przyjęte do obliczeń wynosiły odpowiednio $l = 2,4 \text{ m}$ oraz $l = 3,0 \text{ m}$. Warunek maksymalnego dopuszczalnego obciążenia szyny $Q_{\max}$ z uwagi na minimalną wytrzymałość na rozciąganie materiału szyny R_m przedstawia zależność:

$$\frac{M_{g_max}}{W_x} \leq R_m \quad (1)$$

Gdzie moment gnący maksymalny wynosi:

$$M_{g_max} = \frac{Q_{\max} \cdot l}{4} \quad (2)$$

Natomiast po wyznaczeniu obciążenia maksymalnego równanie przyjęło postać:

$$Q_{\max} \leq \frac{R_m \cdot W_x \cdot 4}{l_{\max}} \quad (3)$$

Po podstawieniu danych i obliczeniu maksymalne obciążenie szyny wyniosło:

- 181,7 kN dla długości szyny równej 2,4 m,
- 145,3 kN dla długości szyny równej 3 m.

Obliczone z warunku (3) obciążenie maksymalne musi zostać zmniejszone z powodu konieczności uwzględnienia wartości współczynnika bezpieczeństwa. Otrzymujemy w ten sposób zależność, z której można wyliczyć obciążenie użyteczne:

$$Q \leq \frac{Q_{\max}}{n} \quad (4)$$

Po podstawieniu danych do równania (3) i obliczeniu wartości użytkowe obciążenia wyniosły:

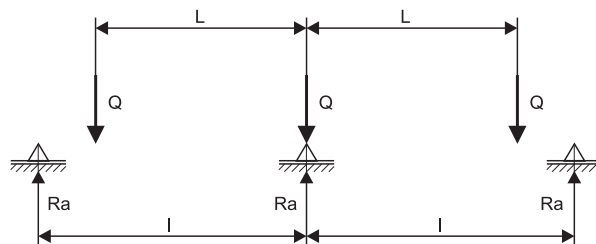
- dla długości szyny równej 2,4 m, $Q = 60,6 \text{ kN}$,
- dla długości szyny równej 3 m, $Q = 48,4 \text{ kN}$.

Na podstawie wyliczonego dopuszczalnego obciążenia szyny, z uwzględnieniem wymaganego współczynnika bezpieczeństwa, przyjęto do dalszych obliczeń poniższe wartości dopuszczalnych obciążeń pochodzących od wózków jezdnych:

- dla długości szyny równej 2,4 m, $Q = 60,0 \text{ kN}$,
- dla długości szyny równej 3 m, $Q = 48,0 \text{ kN}$.

Aby uniknąć wystąpienia przypadku przekroczenia dopuszczalnych obciążeń złączy szynowych, wyznaczono minimalne odległości pomiędzy wózkami jezdnymi. Do obliczeń przyjęto schemat obciążeń przedstawiony na rysunku 6. Charakteryzował się on tym, że rozpatrzono dwie szyny znajdujące się pomiędzy trzema zawieszami. Obciążenie Q w tym układzie skupione było w połowie odległości pomiędzy kołami wózka jezdnych, każdego z trzech wózków jezdnych, mierzonej wzdłuż szyny. Środkowy z tych wózków znajdował się dokładnie na złączu, pomiędzy rozpa-

trywanymi szynami. W modelu tym odległości pomiędzy siłami skupionymi Q są takie same i wynoszą L . Najbardziej obciążone złącze (zawiesie) znajdowało się pomiędzy tymi szynami.



Rys. 6. Schemat obciążenia dwóch sąsiadujących szyn trzema wózkami nośnymi

Dalsze obliczenia przeprowadzono dla założonej, stałej nośności zawiesi wynoszącej $R_a = R_b = R_c = 100 \text{ kN}$. Uwzględniono dopuszczalne obciążenie od zawieszania, ograniczone nośnością zawiesi oraz obciążenia pochodzące od wózków jezdnych wyznaczone powyżej $Q = 60 \text{ kN}$ i $Q = 48 \text{ kN}$.

Warunek nośności pionowej złącza szynowego został zapisany w postaci:

$$3 \cdot Q - 2 \cdot R_a \leq R_b \quad (5)$$

gdzie reakcja R_a :

$$R_a = \frac{Q \cdot L}{l} \quad (6)$$

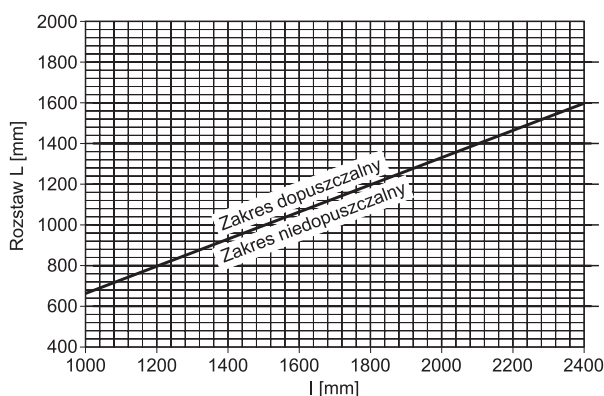
Z czego równanie ogólne przyjmuje postać:

$$\frac{3 \cdot Q - R_b}{2} \leq \frac{Q \cdot L}{l} \quad (7)$$

Po podstawieniu danych dla szyn o długości maksymalnej $l = 2,4 \text{ m}$ odległość L między wózkami wyniosła:

$$L \geq 0,667 \cdot l \quad (8)$$

Powyższa nierówność została przedstawiona w postaci wykresu (rys. 7) zależności stosowalności minimalnego rozstawu wózków dla szyny o długości 2,4 m przy dopuszczalnym obciążeniu pojedynczym wózkiem siłą $Q = 60,0 \text{ kN}$.

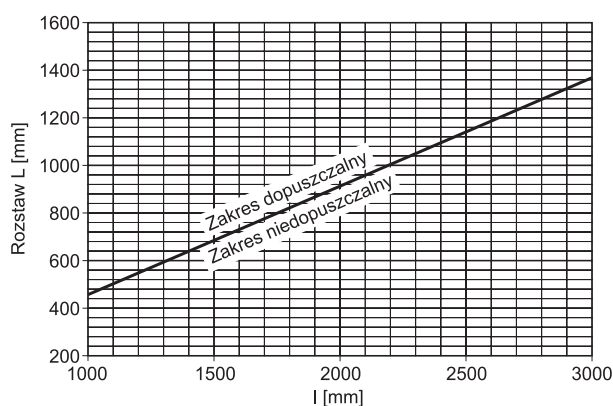


Rys. 7. Interpretacja graficzna nierówności (8) dla szyny o długości 2,4 m

Po podstawieniu danych dla szyn o długości maksymalnej $l = 3,0$ m odległość L między wózkami wyniosła:

$$L \geq 0,458 \cdot l \quad (9)$$

Zależność (9) została przedstawiona w postaci wykresu na rysunku 8. Opisano na nim zakres stosowności minimalnego rozstawu wózków dla szyny o długości 3,0 m przy dopuszczalnym obciążeniu pojedynczym wózkiem siłą $Q = 48,0$ kN.



Rys. 8. Interpretacja graficzna nierówności (9) dla szyny o długości 3,0 m

4. PODSUMOWANIE

Zastosowane rozwiązanie konstrukcyjne zwiększyło dopuszczalne obciążenie szyny z 27,5 kN dla szyny zbudowanej z dwuteownika niewzmocnionego do 48,0 kN dla szyny z dwuteownika wzmacnionego płas-

kownikami. Opracowane rozwiązanie zostało wdrożone w ramach projektu trasy jezdnej wzmocnionej, typ ZMK-160W, opracowanej w Zakładach Mechaniczno-Kuźniczych „Wostal” Sp. z o.o., która uzyskała dopuszczenie do stosowania w wyrobiskach podziemnych zakładów górniczych węgla kamiennego. Przewiduje się że szyny, wykonane według opisanej technologii, będą również dostarczane do nowych kopalń, budowanych obecnie poza granicami kraju.

Literatura

- [1] PN-H-93441-10:1994: *Kształtowniki stalowe walcowane na gorąco dla górnictwa – Dwuteowniki typu I 155 na jezdnie kolei podwieszonych – Wymiary.*
- [2] Barczyk B.: *Dokumentacja wniosku o dopuszczenie do stosowania w zakładach górniczych – Elementy toru jezdni typ: ZMK-100 do kolejki podwieszanej z napędem własnym lub linowym.* Wolbrom 2017 [praca niepublikowana].
- [3] Barczyk B.: *Dokumentacja wniosku o dopuszczenie do stosowania w zakładach górniczych – Elementy toru jezdni typ: ZMK-160W kolejki podwieszanej z napędem własnym lub linowym.* Wolbrom 2021 [praca niepublikowana].
- [4] Drozd K., Nieoczym A.: *Dynamiczne obciążenie zawiesi generowane podczas jazdy zestawu transportowego z napędem własnym po trasie kolejki podwieszanej w wyrobisku.* Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2020.

inż. TOMASZ MUSIAŁ
Dział Badawczo-Rozwojowy
Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze
„Wostal” Sp. z o.o.
ul. 1 Maja 29-37, 32-340 Wolbrom
tomasz.musial@wostal.pl

GRZEGORZ MUSIAŁ

MARCIN KIEŁTYKA

Physical phenomena and chemical reactions: the production of a conveyor belt

Technological development is always associated with exact sciences such as chemistry and physics, thanks to which it is possible to understand the processes taking place in the world around us. These two disciplines interpenetrate each other, and in fact in many cases it is difficult to determine precisely where the first ends and the other begins. The deeper the understanding of the phenomena and laws governing chemistry becomes, the closer it comes to new achievements of the world of physics. Only the implementation of knowledge from both fields allows the continuous improvement of products used in belt transport.

Key words: conveyor transport, conveyor belt, rubber

1. INTRODUCTION

Belt transport, due to its simple operation, extremely high efficiency of load transfer and flexibility of working parameters, is widely used in numerous sectors of the economy such as: mining, coke, metallurgy, power sector, as well as in the chemical industry and the branches of construction and agriculture. With increasing importance of belt conveyors as the main elements of transport systems, the requirements for durability, safety of use and energy consumption are increasing. With the development of new technologies, materials engineering and computer techniques, improvements are constantly introduced in order to improve the service and to increase the reliability and efficiency of those transport systems.

2. BELT AS A COMPONENT OF THE CONVEYOR

The conveyor belt constitutes the main supporting element of the belt conveyor. The process of its production is a multi-stage task using a specialized ma-

chinery park which includes such devices, like looms, mixers, rolling mills, calenders or vulcanizing presses. Currently, technical progress related to the improvement of belts is focused on transferring ever greater loads and overcoming even more extreme operating conditions, such as the high temperature of the transferred material or chemically aggressive working environment of the conveyor. Such material requirements can be satisfied by a group of polymer-textile composites with specially selected properties, and first of all, appropriately composed rubber mixtures, together with compounds from the group of polyesters and polyamides that make up a conveyor belt. Fiber-reinforced composites dominate the market for their best mechanical and strength properties, with a minimal weight, maintained.

The basic and overriding functions of a conveyor belt are supporting and moving the material along the conveyor route, as well as transmitting the highest possible tensile force that occurs during the start-up and the set operation of a conveyor. The component directly responsible for the above tasks is a textile-rubber core, which transfers longitudinal and transverse loads and gives the entire belt a sufficient stiffness value necessary to support the material handled.

The core is covered with rubber covers at the top and bottom, and on the side with rims. Additionally, in order to protect it against punctures and cuts, a protective spacer may be used which also increases the transverse stiffness of the belt and protects against overheating. The core is the crucial component of the tape which determines its quality and durability. Aware of this fact, the Conveyor Belt Factory introduced a system in its production line that controls the process of packaging belts in a calender, which enables a contactless and continuous recording, control and archiving of the most important parameters of the calendering process, thus facilitating process control. The installed measuring system, by using the interference phenomenon, allows for high accuracy of the results and eliminating the possibility of committing a human error, which could have occurred with the previously used contact measurement – viz. manual [1, 2]. Currently, textile and steel cores are most often used. The structure of mining conveyor belts is shown in Figure 1.

Depending on the place of use, certain physical and mechanical parameters and appropriate properties are expected from a conveyor belt. In addition to the tensile strength mentioned above, these are: a low modulus of elasticity, impact resistance, resistance to cutting and puncture, abrasion resistance, self-cleaning properties, oil resistance, antistatic properties, low rolling resistance and many others. Considering very difficult conditions of operation the belt usually has to cope with, such as an ubiquitous effect of often undesirable friction, large temperature fluctuations reaching in extreme cases -60°C or $+40^{\circ}\text{C}$, high humidity or aggressive wear of the material handled, rubber technologists and designers of belt conveyors will face a real challenge. The satisfaction of all the requirements for conveyor belts entails that during the production process there should be the close cooperation and exchange of knowledge between experts in the field of textile industry, chemical technologists and scientific and research units [3].

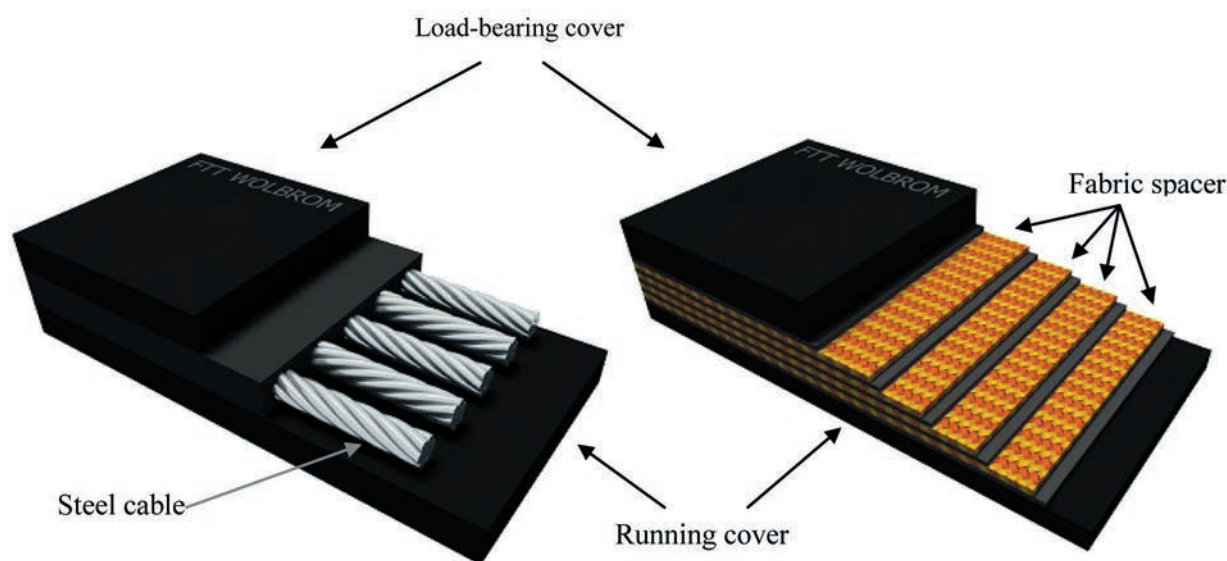


Fig. 1. Conveyor belt with steel cords and fabric-rubber conveyor belt

3. BELT COMPONENTS – MANUFACTURE

The mechanical strength of the core in the case of fabric-rubber tapes is ensured by appropriately selected fabric spacers. The physical and chemical properties of the fibers that make up the fabric and the rubber covering it complement each other, creating a composite with features that are the resultant of the strengths of both the components. The most popular type of reinforcement of conveyor belts are fab-

ric spacers using polyamide and polyester yarns in various configurations. The fabric consists of a system of longitudinal threads called warp and transverse fibers called weft, the simplest example of which is shown in Figure 2. Polyester-polyamide fabrics – in order to increase their adhesion to rubber – should be covered with an appropriate impregnant that activates the fiber surfaces and constitutes a transition layer, appropriate for adhesion of rubber mixtures. At the same time, the fabric leaving a loom

has a load of stresses accumulated in the processes that create it – from yarn twisting through weaving with maintaining an appropriate warp tension. Those stresses must be removed from the fabric prior to the core construction phase of the belt so that they do not adversely affect belt properties like elongation under load with subsequent dimensional stability. Both of the above problems are solved in one combined process of impregnation and thermal stabilization. FTT Wolbrom, taking into consideration a continuous improvement of its products and the repeatability of the process, launched a modern technological line, where during one pass the fabric is saturated with a solution increasing adhesion to rubber, the excess solution is removed, and then, with appropriate tension, the fabric is thermally stabilized. The semi-finished product – which is the result of the above process – is ready for use in further stages of the conveyor belt production process, and due to an automated station for the preparation of the impregnating solution and continuous control of the parameters of the impregnation and stabilization process, we are sure of the highest quality at every meter of the fabric [4, 5].

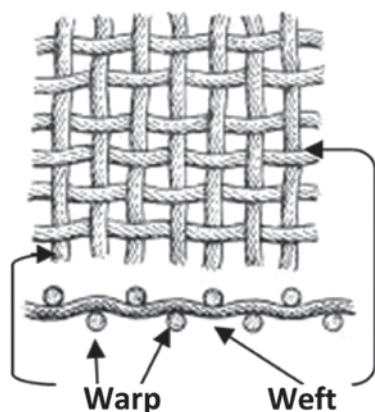


Fig. 2. A fabric with a plain weave

Rubber is a complex system consisting of many different compounds. The basic components of rubber mixtures are synthetic and natural caoutchoucs, and

their selection determines the basis of the physical and mechanical properties of the finished rubber products. From the technological point of view, the most important rubbers used in production are diene caoutchoucs, i.e. those containing unsaturated bonds in their structure. They include: polybutadiene, acrylonitrile-butadiene caoutchoucs and chloroprene caoutchouc, whose chemical structures are shown in Figure 3b. They rank among a group of elastomers, i.e. polymeric materials, characterized by the ability to almost immediately return almost immediately to their original form after considerable deformation at ambient temperature.

From the chemical point of view, caoutchoucs are macromolecular compounds with long chains made up of periodically repeating blocks containing unsaturated bonds. It is the structure of those repeating blocks – monomers which determines the basic chemical properties of the final product, viz. the cover of the conveyor belt. Depending on the conditions of use and requirements for the products, the appropriate type of caoutchouc is used, for example, products resistant to oils and gasoline contain acrylonitrile or chloroprene butadiene caoutchouc, while materials with increased strength properties include styrene-butadiene caoutchoucs. For example, natural cis rubber – polyisoprene and chloroprene caoutchoucs have the following structure (Fig. 3).

An appropriate caoutchouc is only the basis for a rubber mixture; only due to mixing it with a group of additives will the ready rubber meet all the requirements set for it. In order to obtain the expected material, some compounds must be added to improve the properties and processing capacity, e.g. carbon black, vulcanizing substances, plasticizers, anti-aging agents, vulcanizing activators, accelerators and many others. An appropriate qualitative and quantitative composition, as well as a properly selected technological regime, will allow one to obtain a mixture with the parameters expected [6–8].

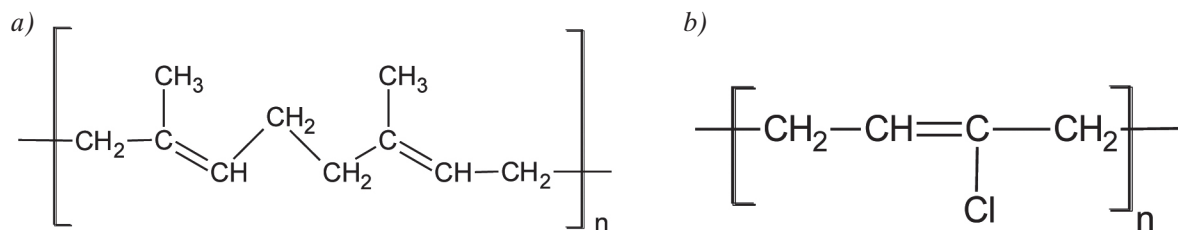


Fig. 3. Structure of rubber monomers: a) natural cis-polyisoprene caoutchouc; b) synthetic chloroprene caoutchoucs

FTT Wolbrom, by investing in the development and meeting the market requirements, purchased a modern laboratory mixer, shown in Figure 4, which is an excellent tool for conducting the process of designing and modifying rubber compounds – since it significantly facilitates and accelerates it, which is in compliance with the newly launched compound production line. The use of a laboratory mixer allows a micro-scale representation of the process of mixing individual components of the mixture, and then setting the appropriate parameters for the production mixer, thus ensuring an optimal dispersion of supplementary ingredients in the caoutchouc matrix, simultaneously bearing in mind the economic aspects of the device's operation.



Fig. 4. Laboratory mixer

The most important and simultaneously last stage of conveyor belt production is its vulcanization. It seems to be an uncomplicated process which in simple terms consists in heating up a raw rubber mixture under an appropriate pressure for a certain period of time. The

abovesaid description only defines the conditions of the appropriate course of chemical reactions taking place in the previously prepared rubber mixture. Multiple bonds $-C=C-$ present in the chains of the caoutchoucs used in conjunction with sulphur added to the mixture will enable – due to a chemical reaction – a transformation of one-dimensional molecules into a three-dimensional lattice, as shown in Figure 5. Depending on the type of three-dimensional caoutchoucs used, sulphur, which is a cross-linking agent, can be replaced by another compound, e.g. organic peroxides or diazo compounds containing a free group $-N=N-$ in their structure. Cross-linking itself is subject to the same laws as all chemical reactions. The subsequent properties of the vulcanizate will depend on the level of dispersion of the cross-linker complex and its supporting catalysts, as well as its quantitative ratio to the amount of free bonds. 1.5–3.5% sulphur vulcanized rubber has a similar flexibility as the starting polymer. During the vulcanization process, particles of the fillers and other additives used are enclosed in the resulting structure, improving such properties as abrasion or resistance to high temperatures. Thanks to the application of proven recipes, a modern line for preparing compounds and vulcanization presses that allow controlling all process parameters, obtained is a rubber product that meets even the most demanding requirements of customers from around the world [9].

The production process of fabric-rubber conveyor belts includes several unit processes presented in the diagram above which are schematically presented in this article. As the oldest manufacturer of rubber products in Poland, we have both the staff and know-how to guarantee the full control and repeatability of the production stages, thanks to which the product offered is of the highest quality [10].

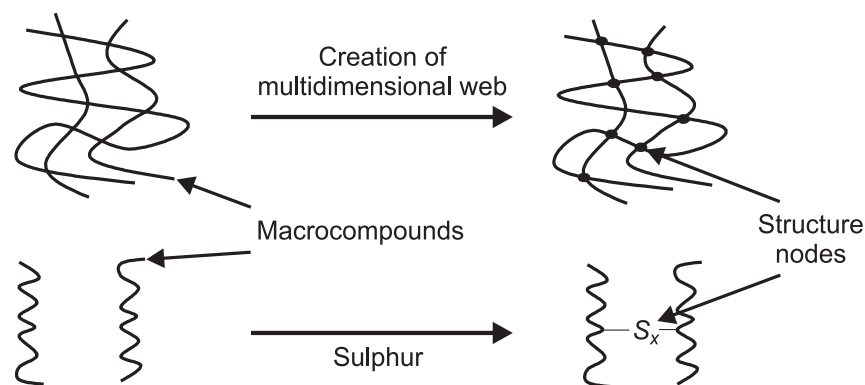


Fig. 5. Simplified course of the vulcanization process

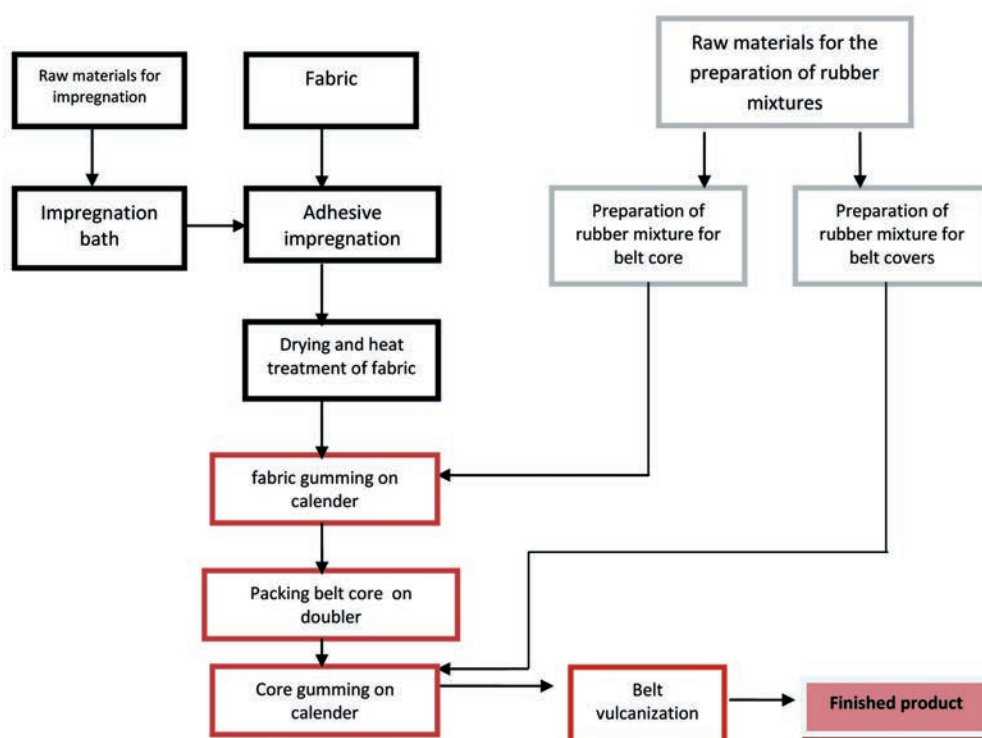


Fig. 6. A simplified diagram of the production process of a conveyor belt with a textile core

4. SUMMARY

To sum up, it should be stated that the chemical reactions occurring, for example, in the vulcanization of a raw rubber mixture, are intertwined with physical phenomena such as mixing in a mixer or calendaring. The application of exact sciences, led by chemistry, physics and mathematics, provides both theoretical and experimental resources for the improvement of products and manufacturing processes in all branches of industry. Our products, especially conveyor belts, are also exposed to physical and chemical phenomena during operation. Most of them are desirable and but for their presence our products can fulfil their functions and meet the requirements such as resistance to high peak temperatures up to 280°C or fabrics with a strength of up to 700 N/mm. The remaining destructive portion, which causes accelerated destruction, is kept to a minimum. The goal that always guides our actions is to utilize the known physical phenomena and chemical processes in such a way that we can confidently say that both chemistry and physics are our allies.

References

- [1] Hardygóra M., Wachowicz J., Czaplicka-Kolarz K., Markusik S.: *Taśmy przenośnikowe*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne – Fundacja Książka Naukowo-Techniczna, Warszawa 1999.
- [2] Antoniuk J.: *Przenośniki taśmowe w górnictwie podziemnym i odkrywkowym*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
- [3] Jabłoński R., Kulinowski P.: *Wybrane zagadnienia eksploatacji taśm przenośnikowych*, in: *XII Międzynarodowe Sympozjum: Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji urządzeń kompleksowej odstawy urobku przenośnikami taśmowymi*. Zakopane 2004: 61–68.
- [4] Kabziński A.: *Kompozyty tekstylno-gumowe. Tkaniny stosowane w taśmach przenośnikowych*. Techniczne Wroby Włókiennicze 2010, 1–2: 55–59.
- [5] Gładysiewicz L.: *Przenośniki taśmowe: teoria i obliczenia*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [6] Pielichowski J., Puszyński A.: *Technologia tworzyw sztucznych*. WNT, Warszawa 2003.
- [7] Morton M.: *Rubber Technology*. Springer, Dordrecht 1999.
- [8] Furmanik K., Kajzer S., Matyga J.: *Możliwości zastosowania tworzyw poliuretanowych w przenośnikach taśmowych*. Górnictwo i Geoinżynieria 2011, 3, 1: 91–111.
- [9] Koszelew F., Korniew A. E., Klimow N. S.: *Ogólna technologia gumy*. WNT, Warszawa 1972.
- [10] Kulinowski P.: *Przenośnik taśmowy – obliczenia*. Wykłady z przedmiotu “Transport 1 – Przenośnikowy” [unpublished].

GRZEGORZ MUSIAŁ, M.Sc., Eng.

MARCIN KIEŁTYKA, M.Sc., Eng.

Fabryka Taśm Transporterowych Wolbrom S.A.
ul. 1 Maja 100, 32-340 Wolbrom, Poland
{gmusial, mkieltka}@ftwolbrom.com.pl

GRZEGORZ MUSIAŁ
MARCIN KIEŁTYKA

Zjawiska fizyczne a reakcje chemiczne: produkcja taśmy transporterowej

Rozwój technologiczny zawsze wiąże się z naukami ścisłymi takimi jak chemia i fizyka, dzięki którym możliwe jest zrozumienie procesów zachodzących w otaczającym nas świecie. Obie te nauki wzajemnie się przenikają i tak naprawdę w wielu przypadkach trudno jest precyzyjnie ustalić, gdzie kończy się pierwsza z nich, a zaczyna druga. Im głębsze staje się zrozumienie zjawisk i praw rządzących chemią, tym bardziej zbliża się ona do nowych zdobyczy świata fizyki. Tylko wykorzystanie wiedzy płynącej z obu dziedzin pozwala na ciągłe doskonalenie produktów używanych w transporcie taśmowym.

Słowa kluczowe: transport przenośnikowy, taśma przenośnikowa, guma

1. WSTĘP

Transport taśmowy dzięki prostej obsłudze, niezwykle wysokiej efektywności przenoszenia ładunku oraz elastyczności parametrów pracy nieustannie znajduje szerokie zastosowanie w takich sektorach gospodarki, jak: przemysł wydobywczy, koksowniczy, metalurgiczny, energetyczny, a także w branży chemicznej, budownictwie i rolnictwie. Wraz ze zwiększającym się znaczeniem przenośników taśmowych jako głównych elementów systemów transportowych rosną stawiane im wymagania w zakresie trwałości, bezpieczeństwa użytkowania oraz energochłonności. Z rozwojem nowych technologii, inżynierii materiałowej oraz technik komputerowych stale wprowadzane są udoskonalenia mające za zadanie usprawnienie obsługi oraz zwiększenie niezawodności i wydajności tych systemów transportowych.

2. TAŚMA JAKO ELEMENT PRZENOŚNIKA

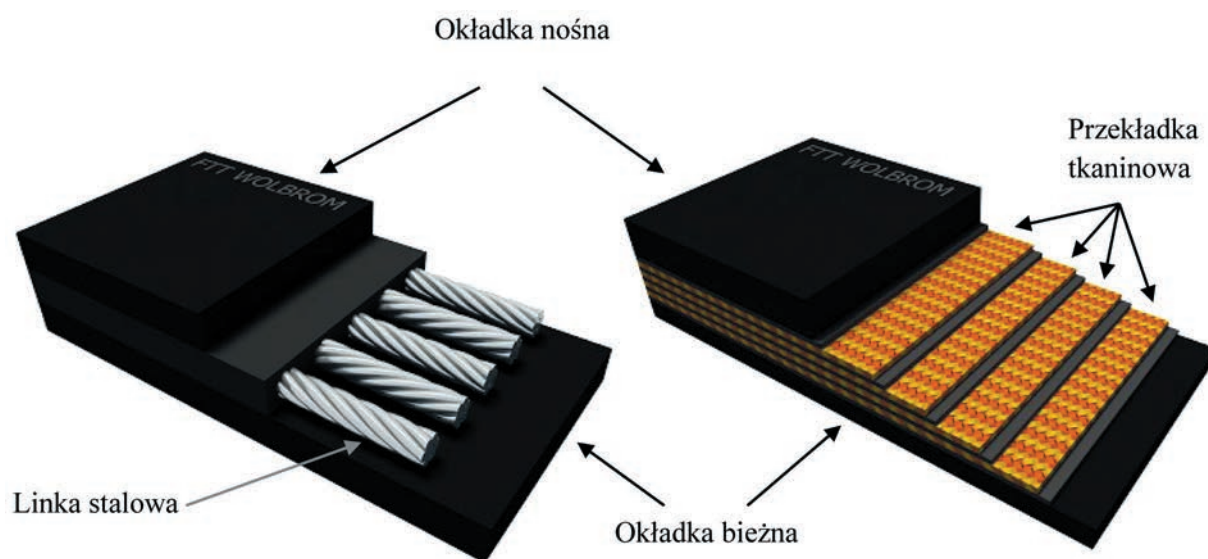
Taśma transporterowa stanowi główny element nośny przenośnika taśmowego. Jej produkcja jest procesem wieloetapowym wykorzystującym specjalistyczny park maszynowy, w którego skład wchodzi takie

urządzenia jak krosna, miksery, walcarki, kalandry czy prasy wulkanizacyjne. Obecnie postęp techniczny związany z doskonaleniem taśm ukierunkowany jest na przenoszenie coraz większych obciążeń i pokonywanie jeszcze bardziej ekstremalnych warunków eksploatacyjnych, takich jak wysoka temperatura przenoszonego materiału czy agresywne chemicznie środowisko pracy przenośnika. Takim wymaganiom materiałowym sprostać może grupa kompozytów polimerowo-tekstylnych o specjalnie dobranych właściwościach, przede wszystkim odpowiednio skomponowane mieszanki gumowe, wraz ze związkami z grupy poliestrów i poliamidów, które współtworzą taśmę przenośnikową. Kompozyty zbrojone włóknami dominują na rynku ze względu na ich najlepsze właściwości mechaniczne i wytrzymałościowe przy jednocześnie zachowanej minimalnej wadze.

Podstawowymi i nadrzędnymi funkcjami taśmy transporterowej są podtrzymywanie oraz przemieszczanie materiału wzdłuż trasy przenośnikowej, a także przenoszenie możliwie największej siły rozciągającej występującej podczas rozruchu i pracy ustalonej przenośnika. Elementem odpowiedzialnym bezpośrednio za powyższe zadania jest rdzeń tekstylno-gumowy, przenoszący obciążenia wzdłużne, poprzeczne oraz nadający całej taśmie odpowiednią sztywność niezbędną do podtrzymywania nosiwa. Rdzeń od góry

i od dołu osłonięty jest gumowymi okładkami, a z boku obrzeżami. Dodatkowo w celu osłonięcia przed przebiciami oraz rozcięciami może być zastosowana przekładka ochronna, która także zwiększa sztywność poprzeczną taśmy i zabezpiecza przed przegrzaniem. Rdzeń jest najbardziej odpowiedzialnym elementem taśmy, od którego zależy jej jakość oraz wytrzymałość. Z tego względu Fabryka Taśm Transporterowych wprowadziła do swojego ciągu produkcyjnego układ kontrolujący proces konfekcjonowania taśm w kalandrze, który umożliwia w sposób bezstykowy i ciągły, rejestrowanie, kontrolowanie oraz archiwizowanie najważniejszych parametrów procesu kalandrowania, ułatwiając w ten sposób sterowanie procesem. Zainstalowany układ pomiarowy, wykorzystując zjawisko interferencji, pozwala na wysoką dokładność wyników oraz wyeliminowanie możliwości popełnienia błędu ludzkiego, który mógł występować przy dotychczas stosowanym pomiarze stykowym – ręcznym [1, 2]. Obecnie najczęściej stosuje się rdzenie tekstylne i stalowe. Budowę górniczych taśm przenośnikowych przedstawia rysunek 1.

Od taśmy transporterowej w zależności od miejsca eksploatacji oczekuje się określonych parametrów mechanicznych oraz odpowiednich właściwości. Oprócz wspomnianej wcześniej wytrzymałości na rozciąganie są to: niski moduł sprężystości, odporność na uderzenia, przecinanie oraz przebicia, odporność na ścieranie, właściwości samoczyszczące, olejoodporność, antystatyczność, małe opory tarcia tocznego i wiele innych. Biorąc pod uwagę bardzo trudne warunki użytkowania, którym zazwyczaj musi sprostać taśma, takie jak wszechobecne działanie często niepożądanego tarcia, duże wahania temperatur sięgające w skrajnych przypadkach -60°C lub $+40^{\circ}\text{C}$, wysoką wilgotność czy agresywne oddziaływanie nosiwa, technolodzy gumy oraz konstruktorzy przenośników taśmowych stoją przed nie lada wyzwaniem. Spełnienie wszystkich stawianych taśmom transporterowym wymagań determinuje, aby podczas procesu ich produkcji dochodziło do ścisłej współpracy i wymiany wiedzy pomiędzy ekspertami z dziedziny włókiennictwa, technologami chemicznymi oraz jednostkami naukowo-badawczymi [3].



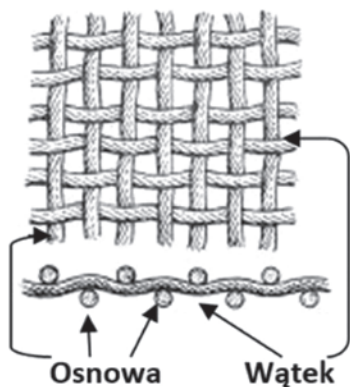
Rys. 1. Taśma transporterowa z linkami stalowymi i taśma transporterowa tkaninowo-gumowa

3. ELEMENTY SKŁADOWE TAŚMY – PRODUKCJA

Wytrzymałość mechaniczną rdzenia w przypadku taśm tkaninowo-gumowych zapewniają odpowiednio dobrane przekładki tkaninowe. Właściwości fizykochemiczne włókien tworzących tkaninę oraz pokrywającej ją gumy wzajemnie uzupełniają się, tworząc kompozyt o cechach będących wypadkową mocnych stron obu składowych. Najpopularniejszym typem

wzmocnień taśm przenośnikowych są przekładki tkaninowe wykorzystujące przędze poliamidowe oraz poliestrowe w różnych konfiguracjach. Tkanina składa się z systemu nitki wzdłużnych zwanych osnową oraz włókien poprzecznych zwanych wątkiem, czego najprostszy przykład przedstawiono na rysunku 2. Tkaniny poliestrowo-poliamidowe w celu zwiększenia ich przyczepności do gumy należy pokryć odpowiednim impregnatem aktywującym powierzchnię włókien oraz stanowiącym warstwę przejściową o odpowiedniej

zdolności do adhezji mieszanek kauczukowych. Jednocześnie tkanina opuszczająca krosno posiada ładunek naprężeń nagromadzonych w tworzących ją procesach – od skręcenia przędzy, przez tkanie z zachowaniem odpowiedniego naprężenia osnowy. Naprężenia te należy usunąć z tkaniny przed fazą konstruowania rdzenia taśmy, by nie wpłynęły negatywnie na takie właściwości taśmy jak wydłużenie pod obciążeniem oraz późniejszą stabilność wymiarową. Oba powyższe problemy zostają rozwiązane w jednym wspólnym procesie impregnacji i stabilizacji termicznej. Fabryka Taśm Transporterowych Wolbrom, mając na uwadze ciągle doskonalenie swoich produktów oraz powtarzalności procesu, uruchomiła nowoczesną linię technologiczną, gdzie podczas jednego przejazdu tkanina zostaje nasycona roztworem zwiększającym adhezję do gumy, nadmiar roztworu zostaje usunięty, po czym przy odpowiednim naprężeniu tkanina zostaje termicznie ustabilizowana. Półprodukt będący efektem powyższego procesu jest gotowy do użycia w dalszych etapach procesu produkcji taśmy transporterowej, a dzięki zastosowaniu zautomatyzowanej stacji przygotowania roztworu impregnującego oraz ciągłej kontroli parametrów procesu impregnacji i stabilizacji mamy pewność zachowania najwyższej jakości na każdym metrze tkaniny [4, 5].



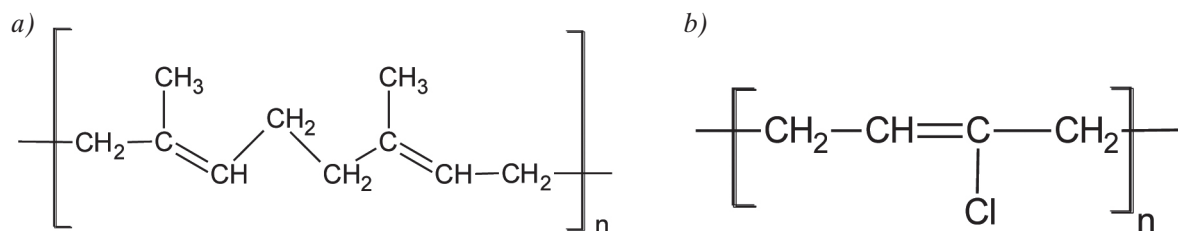
Rys. 2. Tkanina o splocie płóciennym

Guma jest układem złożonym z wielu różnorodnych związków. Podstawowym składnikiem mieszanek gumowych są kauczuki: syntetyczne oraz naturalne,

i to od ich wyboru zależy baza właściwości fizykochemicznych gotowych wyrobów gumowych. Z technologicznego punktu widzenia najważniejszymi kauczukami wykorzystywanymi do produkcji są kauczuki dienowe, tzn. zawierające wiązania nienasycone w swojej budowie. Należą do nich: polibutadien, kauczuki butadienowo-akrylonitrylowe oraz kauczuk chloroprenowy, którego struktura chemiczna została przedstawiona na rysunku 3b. Są one zaliczane do grupy elastomerów, tj. tworzyw polimerycznych charakteryzujących się w temperaturze otoczenia zdolnością prawie natychmiastowego powrotu po dużym odkształceniu do postaci pierwotnej.

Z chemicznego punktu widzenia kauczuki to związki wielkocząsteczkowe o długich łańcuchach zbudowanych z powtarzających się okresowo bloków zawierających wiązania nienasycone. To właśnie od budowy tych powtarzających się bloków – monomerów zależą podstawowe właściwości chemiczne wyrobu końcowego, jakim jest okładka taśmy transporterowej. W zależności od warunków użytkowania i wymagań stawianych wyrobom stosuje się odpowiedni rodzaj kauczuków, np. wyroby odporne na działanie olejów i benzyny zawierają w składzie kauczuk butadienowo-akrylonitrylowy lub chloroprenowy, natomiast materiały o podwyższonych właściwościach wytrzymałościowych kauczuki butadienowo-styrenowe. Budowę kauczuku naturalnego cis-poliizopren i kauczuku chloroprenowego przedstawia rysunek 3.

Odpowiedni kauczuk jest tylko bazą dla mieszanki gumowej, dopiero zmieszanie go z grupą dodatków sprawia, że gotowa guma będzie spełniać wszystkie stawiane jej wymagania. W celu uzyskania oczekiwanego materiału muszą zostać dodane związki poprawiające właściwości i zdolności przerobowe, m.in. sadze, substancje wulkanizujące, zmiękczacze, środki przeciwstarzeniowe, aktywatory i przyspieszacze wulkanizacji oraz wiele innych. Odpowiedni skład jakościowy i ilościowy, a także właściwie dobrany reżim technologiczny pozwala uzyskać mieszankę o oczekiwanych parametrach [6–8].



Rys. 3. Budowa monomerów kauczuku: a) kauczuk naturalny cis-poliizopren;
b) kauczuk chloroprenowy – syntetyczny

FTT Wolbrom, inwestując w rozwój i stawiając czoła wymaganiom rynku, dokonało zakupu nowoczesnego miksera laboratoryjnego przedstawionego na rysunku 4, który jest doskonałym narzędziem służącym do prowadzenia procesu projektowania i modyfikacji mieszanek gumowych – znacząco go ułatwiając i przyspieszając, co współgra z nowo uruchomioną linią produkcji mieszanek. Wykorzystanie miksera laboratoryjnego pozwala w mikroskali odwzorować proces mieszania poszczególnych składników mieszanki, a następnie ustalić odpowiednie parametry dla miksera produkcyjnego, zapewniające optymalną dyspersję składników uzupełniających w matrycy kauczukowej, z uwzględnieniem ekonomicznych aspektów pracy urządzenia.

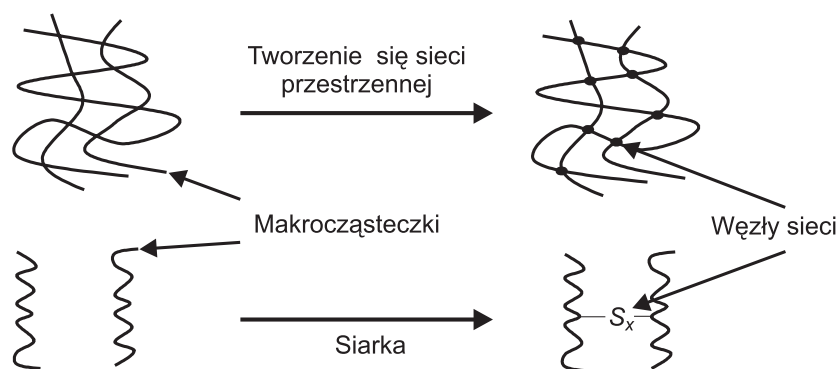


Rys. 4. Mikser laboratoryjny

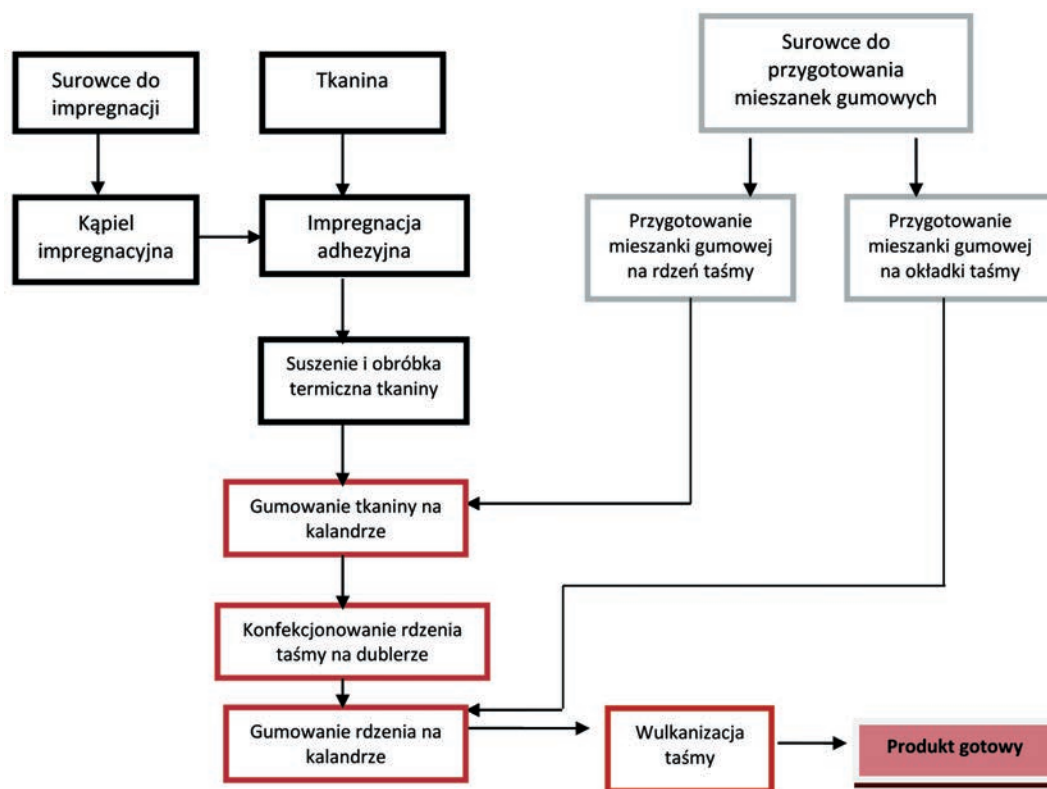
Najbardziej istotnym i jednocześnie ostatnim etapem produkcji taśmy transporterowej jest jej wulkanizacja. Jest to pozornie nieskomplikowany proces polegający w wielkim uproszczeniu na podgrzaniu przez określony czas surowej mieszanki gumowej znajdującej się pod odpowiednim ciśnieniem. Powyż-

szy opis definiuje jedynie warunki odpowiedniego przebiegu reakcji chemicznych zachodzących w przygotowanej wcześniej mieszance gumowej. Obecne w łańcuchach zastosowanych kauczuków wielokrotne wiązania $-C=C-$ oraz dodana do mieszanki siarka umożliwiają przekształcenie w reakcji chemicznej jednowymiarowych cząsteczek w trójwymiarową sieć, co zostało przedstawione na rysunku 5. W zależności od rodzaju zastosowanego kauczuku siarkę, będącą czynnikiem sieciującym, może zastąpić inny związek, np. organiczne nadtlenniki czy związki dwuazowe zawierające w swojej budowie wolną grupę $-N=N-$. Samo sieciowanie podlega takim samym prawom jak wszystkie reakcje chemiczne. Od poziomu dyspersji zespołu substancji sieciującej i wspomagających ją katalizatorów oraz jej ilościowego stosunku do ilości wolnych wiązań zależeć będą późniejsze właściwości wulkanizatu. Guma wulkanizowana siarką w ilości 1,5–3,5% ma podobną elastyczność jak wyjściowy polimer. Podczas procesu wulkanizacji w powstałej strukturze zamknięte zostają drobiny zastosowanych wypełniaczy i innych dodatków poprawiających takie właściwości jak ścieralność czy odporność na wysokie temperatury. Dzięki zastosowaniu sprawdzonych receptur, nowoczesnej linii przygotowania mieszanek oraz pras wulkanizacyjnych pozwalających kontrolować wszystkie parametry procesu uzyskuje się wyrób gumowy spełniający nawet najbardziej wygórowane wymagania klientów z całego świata [9].

Proces produkcji taśm transporterowych tkaninowo-gumowych obejmuje kilka procesów jednostkowych przedstawionych na poniższym diagramie, które zostały ideowo zaprezentowane w niniejszym artykule. Jako najstarszy producent wyrobów gumowych w Polsce dysponujemy kadrami oraz *know-how*, które gwarantują pełną kontrolę oraz powtarzalność etapów produkcyjnych, dzięki czemu oferowany produkt jest najwyższej jakości [10].



Rys. 5. Uproszczony przebieg procesu wulkanizacji



Rys. 6. Uproszczony schemat procesu produkcji taśmy transporterowej o rdzeniu tekstylnym

4. PODSUMOWANIE

Podsumowując, należy stwierdzić, że reakcje chemiczne zachodzące np. podczas wulkanizacji surowej mieszanki gumowej przeplatają się ze zjawiskami fizycznymi, takimi jak mieszanie w mikserze czy kalandrowanie. Wykorzystanie nauk ścisłych z chemią, fizyką i matematyką na czele daje zaplecze teoretyczne oraz doświadczalne do doskonalenia produktów i procesów produkcyjnych we wszystkich gałęziach przemysłu. Nasze wyroby, a przede wszystkim taśmy transporterowe także podczas eksploatacji poddawane są działaniom zjawisk fizykochemicznych. Większość z nich jest pożądana i to dzięki ich występowaniu nasze produkty mogą spełniać swoje funkcje oraz stawiane im wymagania, takie jak odporność na wysokie szczytowe temperatury dochodzące do 280°C czy tkaniny o wytrzymałości nawet 700 N/mm. Pozostałą część, która działa destrukcyjnie i powoduje przyspieszone niszczenie, ograniczamy do minimum. Celem, który zawsze przyświeca naszym działaniom, jest także wykorzystywanie znanych nam zjawisk fizycznych oraz procesów chemicznych, abyśmy mogli śmiało powiedzieć, że chemia wraz z fizyką są naszymi sprzymierzeńcami.

Literatura

- [1] Hardygóra M., Wachowicz J., Czaplicka-Kolarz K., Markusik S.: *Taśmy przenośnikowe*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne – Fundacja Książka Naukowo-Techniczna, Warszawa 1999.
- [2] Antoniuk J.: *Przenośniki taśmowe w górnictwie podziemnym i odkrywkowym*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
- [3] Jabłoński R., Kuliniowski P.: *Wybrane zagadnienia eksploatacji taśm przenośnikowych*, w: *XII Międzynarodowe Sympozjum: Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji urządzeń kompleksowej odstawy urobku przenośnikami taśmowymi*. Zakopane 2004: 61–68.
- [4] Kabziński A.: *Kompozyty tekstylno-gumowe. Tkaniny stosowane w taśmach przenośnikowych*. Techniczne Wroby Włókiennicze 2010, 1–2: 55–59.
- [5] Gładysiewicz L.: *Przenośniki taśmowe: teoria i obliczenia*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [6] Pielichowski J., Puszyński A.: *Technologia tworzyw sztucznych*. WNT, Warszawa 2003.
- [7] Morton M.: *Rubber Technology*. Springer, Dordrecht 1999.
- [8] Furmanik K., Kajzer S., Matyga J.: *Możliwości zastosowania tworzyw poliuretanowych w przenośnikach taśmowych*. Górnictwo i Geoinżynieria 2011, 3, 1: 91–111.
- [9] Koszelew F., Korniew A. E., Klimow N. S.: *Ogólna technologia gumy*. WNT, Warszawa 1972.
- [10] Kuliniowski P.: *Przenośnik taśmowy – obliczenia*. Wykłady z przedmiotu „Transport 1 – Przenośnikowy” [praca niepublikowana].

mgr inż. GRZEGORZ MUSIAŁ

mgr inż. MARCIN KIEŁTYKA

Fabryka Taśm Transporterowych Wolbrom S.A.

ul. 1 Maja 100, 32-340 Wolbrom

{gmusial, mkietyka}@ftwolbrom.com.pl

KRZYSZTOF PACZEŚNIEWSKI
PIOTR KALISZ

Selected test methods for pipes and manholes used in mining areas

As a result of underground deposit extraction, the pipes and manholes that constitute the basic elements of sewage systems are subjected to the influence of near-surface soil layer deformations at the place of their installation. For this reason, these elements intended for the construction of sewage systems in mining areas must fulfil special requirements related to the occurrence of additional loads and displacements. This article presents the pipe and manhole test methods developed at the Central Mining Institute, with a particular focus on elements of large sizes. The results of these tests are applied to assess the suitability of pipes and manholes for use in mining areas.

Key words: pipes, manholes, tests, mining areas

1. INTRODUCTION

Mining activity has a negative influence on sewage systems. These systems comprise pipelines constructed from various types of pipes and joints. Waste drainage systems typically consist of pipelines with gravity flow as well as sewage pumping stations and delivery pipelines. Stormwater drainage usually operates using a gravity-based system, though pumping stations are established in the interior basins that are generated in mining areas. Other important sewage system elements also include manholes.

In mining areas, all the aforementioned sewerage elements are subjected to the influence of near-surface soil layer deformations at the place of their installation. For this reason, the elements intended for the construction of drainage utilities must fulfil special requirements related to the occurrence of the additional loads and displacements of these utilities. The goal of this article is to present selected test methods for assessing the suitability of manufactured pipes and manholes for use in mining areas, particularly large diameter ones.

Sewers with gravity flow are constructed using various types of pipes [1], characterised by different coupling systems with elastomer seals. These include

pipes with socket and sleeve joints for installation in trenches or for pipeline construction using trenchless methods. The pipes are formed from various materials, such as: concrete, reinforced concrete, stoneware, polymer concrete and cast iron, glass fibre reinforced polyester resins (GRP) as well as thermoplastics, including polyvinyl chloride (PVC), polyethylene (PE) and polypropylene (PP). Manholes are manufactured using prefabricated concrete and reinforced concrete elements coupled using elastomer seals or adhesives, polymer concrete elements coupled using adhesives, GRP elements with sleeve joints, and thermoplastics with monolithic structure or composed of modules coupled by seals. Depending on the manner of interaction with the soil, the pipes and manholes can be divided into flexible and rigid types [1–3].

2. INFLUENCE OF MINING ACTIVITY ON PIPES AND MANHOLES

Mining activity results in deformations of the near-surface soil layer where the sewer pipelines and manholes are installed. From the perspective of the influence of these deformations, great significance is presented primarily by the near-surface soil layer

displacement u and deformation ε horizontals, as well as surface curvatures K with a radius R for large-size pipes. Non-uniform depressions w and the associated changes in terrain inclination T , resulting in changing pipeline gradients are also important. Such variations

should be factored in at the system design and construction stages by considering the forecasted decreases in terrain inclination and level. A distribution of the near-surface soil layer deformation factors is presented in Figure 1.

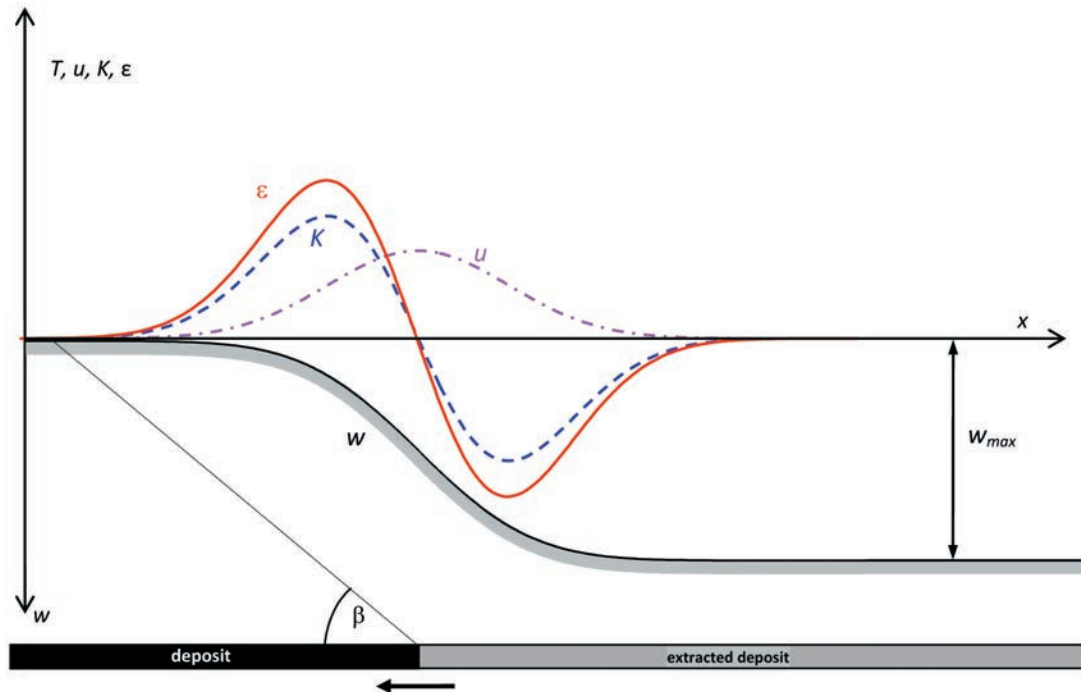


Fig. 1. Diagram of the continuous near-surface soil layer deformation factor values in the area of the mining face [4]:
 w – terrain depression, u – displacement horizontals, ε – deformation horizontals, K – curvatures ($K = 1/R$),
 β – angle of boundary for overhead influence

Depending on the permissible terrain deformation factor values, mining areas with continuous deformations are divided into six categories (Tab. 1).

The characteristic and design values of the deformation factors should be adopted with the inclusion of their random dispersion, characterised by coefficients of variation, as well as safety coefficients [4–6].

In the case of pipelines installed in trenches, the influence of the near-surface soil layer displacement and deformation horizontals in direction of the longitudinal pipeline axis results in the occurrence of longitudinal forces or mutual pipe displacements, whereas the terrain curvatures lead to the mutual angular deviation of the pipes (Fig. 2).

Table 1
Mining area categories [4, 5]

Mining area category	Deformation factor values		
	Inclination T [mm/m]	Radius of curvature R [km]	Horizontal deformation ε [mm/m]
0	$T \leq 0.5$	$40 \leq R $	$ \varepsilon \leq 0.3$
I	$0.5 < T \leq 2.5$	$20 \leq R < 40$	$0.3 < \varepsilon \leq 1.5$
II	$2.5 < T \leq 5$	$12 \leq R < 20$	$1.5 < \varepsilon \leq 3$
III	$5 < T \leq 10$	$6 \leq R < 12$	$3 < \varepsilon \leq 6$
IV	$10 < T \leq 15$	$4 \leq R < 6$	$6 < \varepsilon \leq 9$
V	$T > 15$	$ R < 4$	$ \varepsilon > 9$

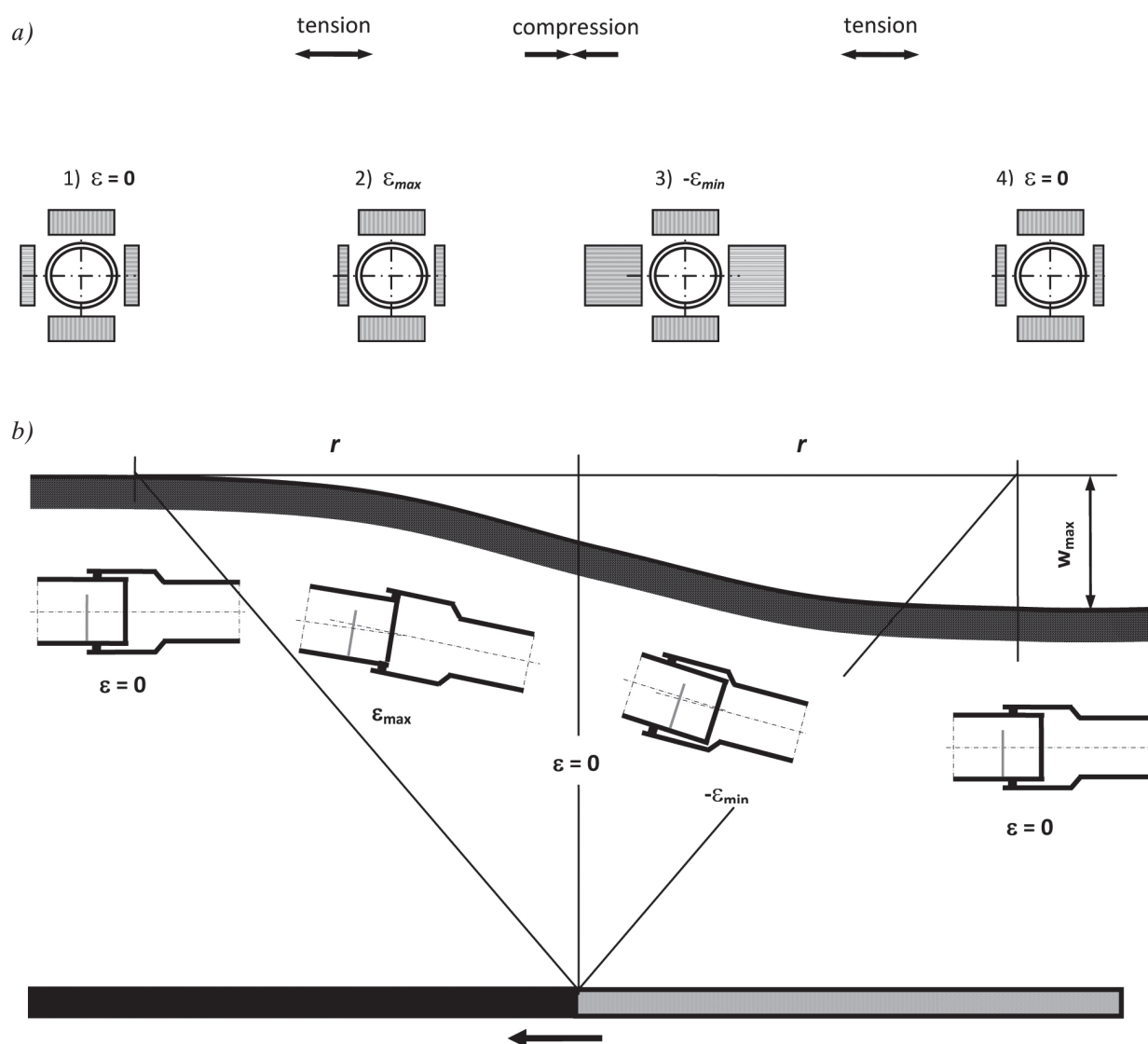


Fig. 2. Influence of mining activity on a pipeline composed of socket pipes with expansion joints: a) transverse pipe load variations in the individual stages of horizontal soil deformation influence; b) pipe displacements and angular deviations in the individual stages of horizontal soil deformation and terrain curvature influence

Pipes used in mining areas should have the appropriate expansion joints for protection against damage (stage 1, Fig. 2b). The pipes undergo outward displacement relative to each other in the area outside the extraction zone as a result of horizontal soil tension (stage 2, Fig. 2b). In the area above the extraction zone, the pipes undergo inward displacement as a result of horizontal soil compression (stage 3, Fig. 3b), which leads to the occurrence of longitudinal compression forces in the absence of expansion joints. After the passage of the horizontal deformation wave, at a distance from the mining face greater than r , at $\varepsilon = 0$ the plain end returns to its original orientation (stage 4, Fig. 2b). Therefore, in the case of pipes with socket and sleeve joints, the expansion joints must have appropriate widths selected for the category

of the mining area. The forced outward pipe displacement induced by the soil deformations must not result in the loss of joint integrity, whereas the forced inward displacement must not result in damage to the pipes and their joints. Damage may occur when the expansion joint is too small or absent. For this reason, it is necessary to inspect the compensation capability of the pipe joints. This concerns both standard and extended joints used in mining areas.

In the case of sewage systems established using trenchless methods, casing pipes are laid down in immediate contact after installation is concluded (stage 1, Fig. 3b). The influence of mining activity in direction of the longitudinal pipeline axis in the area of the horizontal near-surface soil layer tension results in outward pipe displacement (stage 2, Fig. 3b), whereas

in the area of horizontal compression, longitudinal compression forces are induced due to the absence of initial expansion (stage 3, Fig. 3b). However, casing pipes are characterised by high longitudinal compressive strength, as a result of their adaptation to the trenchless pipeline construction methods. In the final stage of the influence of the moving mining face, the horizontal compression is followed by another occurrence of soil tension to a deforma-

tion value of $\varepsilon \approx 0$ at a distance greater than the radius r of the boundary of influence (Fig. 3). At this point, the casing pipes undergo outward displacement and expansion gaps appear in their joints (stage 4, Fig. 3b). Due to the influence of further extraction in mining areas characterised by the influence of multiple extraction efforts, casing pipes should fulfil the same requirements as pipes installed in trenches.

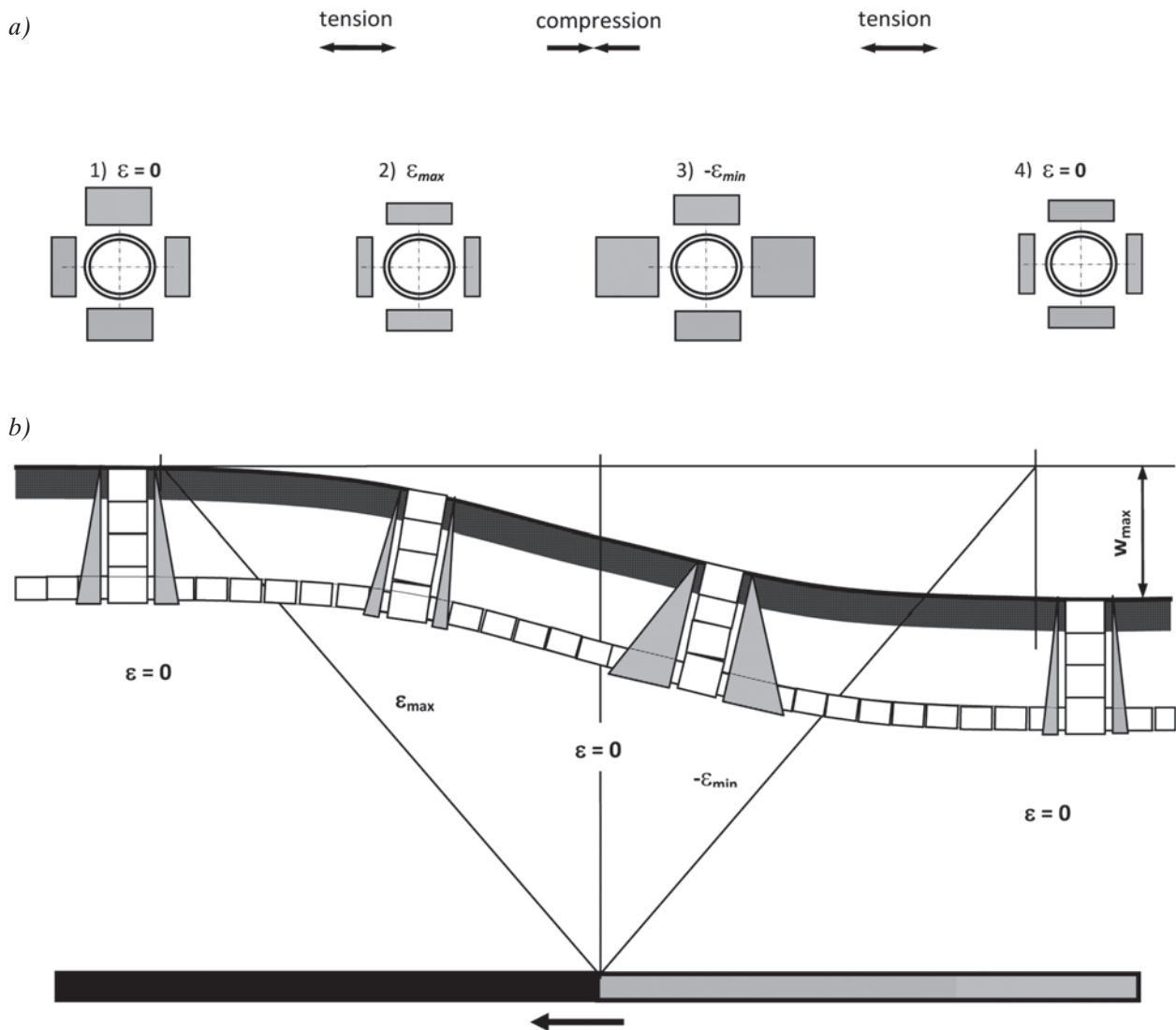


Fig. 3. Influence of mining activity on a pipeline established using trenchless methods and on manholes: a) lateral manhole load variations in the individual stages of horizontal soil deformation influence; b) pipe and manhole element displacements and angular deviations in the individual stages of horizontal soil deformation and terrain curvature influence

In the lateral direction of the longitudinal pipeline axis, the influence of near-surface soil layer deformations results in changes to the transverse pipe loads (Fig. 2a). The initial loads exerted on the pipe cross-section are non-uniform, and the vertical load in cohesionless soil is about two times greater than the

horizontal pressure (stage 1, Fig. 2a). There is a decrease of the soil pressure on the pipe in the horizontal tension area to an active pressure in the ultimate limit state of the soil (stage 2, Fig. 2a), whereas the pressure increases by several times in the compression zone (stage 3, Fig. 2a). Increased soil pressure

results in greater bending moments and circumferential compression forces exerted on the pipe walls. However, the vertical load undergoes only slight variations as a result of changes to the soil density during the deformation variation. After a full cycle of horizontal deformation is finished, the soil returns to an active ultimate limit state (stage 4, Fig. 2a). Given the great variations and non-uniformity of the loads exerted on the pipe cross-sections, the pipes used in mining areas must therefore have the appropriate crushing strength, while plastic pipes must exhibit the correct ring stiffness.

Similarly to pipes installed in mining areas, the original state of the horizontal forces exerted on the manholes is disrupted as well, though these are uniform (stage 1, Fig. 3a) unlike the initial loads exerted on the pipes. Horizontal soil tension results in decreased horizontal loads (active ultimate limit state) and their low non-uniformity. The most unfavourable load case manifests itself in the area of horizontal soil compression (stage 3, Fig. 3a), as it entails the highest pressure of the soil and its greatest non-uniformity. This results in the greatest horizontal compression forces and bending moments exerted on the manhole walls when subjected to the influence of mining activity. After a full cycle of horizontal deformation is finished, the soil returns to an active ultimate limit state (stage 4, Fig. 3a). Furthermore, the near-surface soil layer deformations may result in deformations of the manhole structures as well as in the mutual displacements and deviations of their elements (stages 2 and 3, Fig. 3b) coupled using seals (e.g. concrete rings and bases). The manhole joints should retain their integrity under such conditions. This is why it is necessary to inspect the integrity of the joints at the angular deviation of the manhole elements coupled using seals, as these do not always fulfil the requirements for application in mining areas.

The test program for pipeline and manhole elements intended for the construction of sewage systems in mining areas should factor in the specifics of their structure, and should particularly encompass testing of:

- the maximum pipe joint compensation while retaining joint integrity,
- manhole integrity at the angular deviation of concrete and reinforced concrete elements coupled by means of seals,
- the ring stiffness or crushing strength of pipes and manhole elements.

The conducted test results and the analysed influence of mining activity are applied to assess the suitability of sewage system elements for use in mining areas.

3. SELECTED PIPE AND MANHOLE TEST METHODS

The following test programs were developed at the Central Mining Institute to assess the manufactured pipe and manhole systems for use in mining areas:

- joint integrity of casing pipes and pipes installed in trenches, including those of large sizes,
- manhole integrity,
- ring stiffness and crushing strength of pipes and manhole elements.

3.1. Drainage pipe joint integrity testing

The integrity test for drainage pipe joints [7], at a given water pressure inside the pipes, is based on the axial displacement of pipe (1) relative to pipe (2) (outward and inward over a path h), which is placed on the ground (Fig. 4–7). These pipes (Fig. 4 and 5) are coupled by means of a sealing system (3). Pipes (1) and (2) are closed on one side using special covers and are capable of withstanding the pressure inside the pipes during testing.

During the test, the pipes typically undergo outward displacement relative to each other as a result of the influence of the water pressure, and compression by means of a hydraulic actuator terminated with a pressure plate (4). Should this method prove ineffective, the outward and inward pipe displacement is accomplished by means of a hydraulic actuator connected to pipe (1) by means of a special (cross-shaped) fixture and additional belts. Such a connection makes it possible to correct the angular deviation of the pipes relative to one another during their inward or outward displacement, or on the contrary – to produce a specific angular pipe deviation should the test require so. The rate of the inward or outward pipe displacement is controlled in such a way so as to maintain the water pressure in the joint at the defined level. This task is very difficult to accomplish, as the coupling of pipes e.g. with a diameter of 1.4 m and a combined height of about 2 m holds over 3000 litres of water, whereas the mass of the entire assembly is over 4 tons.

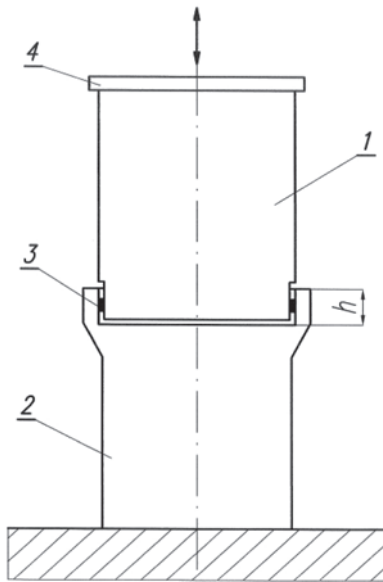


Fig. 4. Socket pipe joint integrity test method

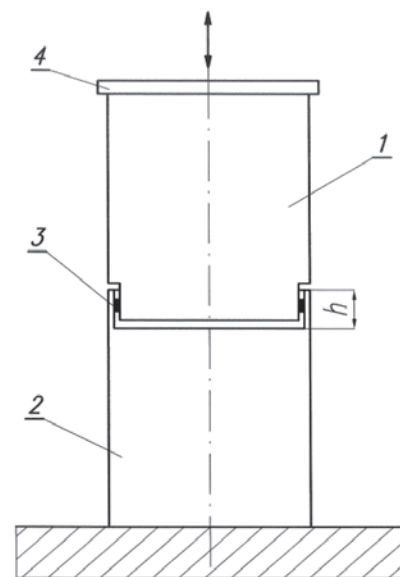


Fig. 5. Casing pipe joint integrity test method



Fig. 6. DN 1000 reinforced concrete socket pipe joint in the test facility



Fig. 7. DN 1300 GRP casing pipe joint in the test facility

The pipe joint is carefully observed during all the testing stages with regard to its integrity (the occurrence of leaks).

3.2. Manhole integrity testing

The manhole integrity test is based on inspecting the integrity between the manhole rings at a given internal pressure and angular deviation. For this purpose, the following elements are placed in succession: the manhole base, at least one ring, and the cover or taper with an entrance hatch. When preparing the

manhole for testing, it is very important to seal the openings for connecting pipes or fittings in the base as well as the cover. Special plugs and sheet metal covers with seals are prepared for this purpose and screwed onto the cover or hatch. Before laying a ring onto the manhole base, a wooden panel with the appropriate thickness is typically inserted between these elements, which makes it possible to produce an angular deviation between them. After a cover or taper with an entrance hatch is laid onto the ring, the entire manhole is secured from displacement using belts or other measures (Fig. 8). Thus prepared, the manhole is filled with water at a required pressure

of 50 kPa. The pressure should be maintained for 15 minutes. The connections between the manhole elements should not exhibit any leaks.



Fig. 8. Concrete manhole during testing

3.3. Ring stiffness and crushing strength testing

3.3.1. Ring stiffness testing for thermoplastics pipes

The test (Fig. 9) consists in compressing a pipe section (1) between two parallel flat plates (4 and 5) at a defined speed until the vertical pipe deformation reaches a value of 3% of its original internal diameter d .

The equipment of the test facility at the Central Mining Institute makes it possible to test pipes with an internal diameter d of up to 3.5 m. As per the requirements of the applicable standard [8], the sample length for a diameter range of 1.2 m to 3.5 m should be 1000 mm, and the load rate should equal $0.03 \times d \pm 5\%$ mm per minute. The force value and the pipe deflection are recorded during the test, with the latter measured inside the tested pipe. Force (3) and deflection (2) sensors are connected to a digital amplifier, and the measurement data is archived on a computer drive.

Special software was developed to determine the ring stiffness, and its algorithms are based on formulas included in the standard [8], while the test report fulfils the requirements provided in point 10 of the standard.

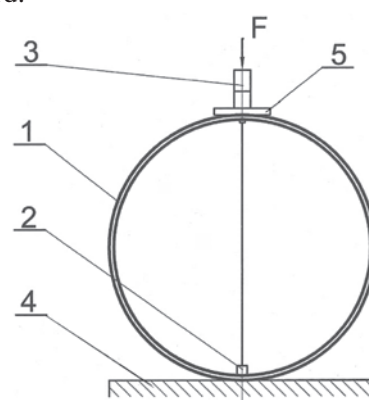


Fig. 9. Ring stiffness test setup diagram

Figure 10 presents example force/deflection courses for a pipe with an internal diameter of 2000 mm, whereas Figure 11 depicts a pipe with an internal diameter of 1500 mm, prepared for testing.

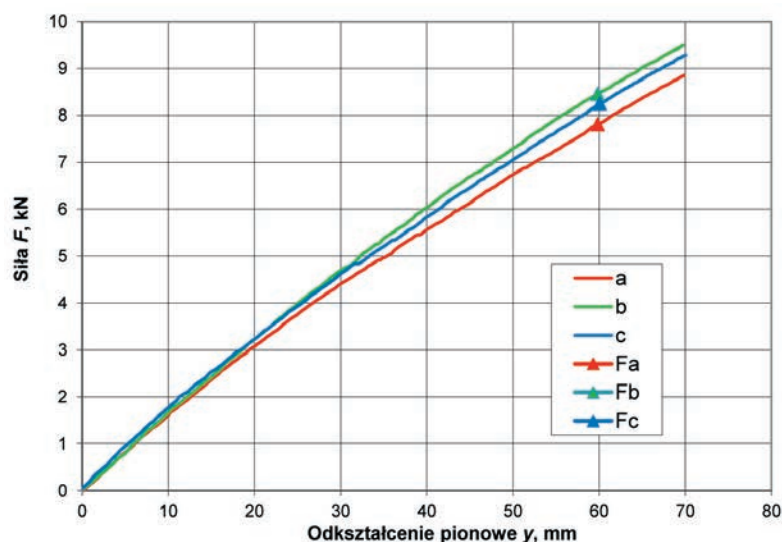


Fig. 10. Example force/deflection courses for a 2000 mm diameter pipe, for 3 samples (a, b, c);
Fa, Fb, Fc – force F at the pipe deflection required by the standard

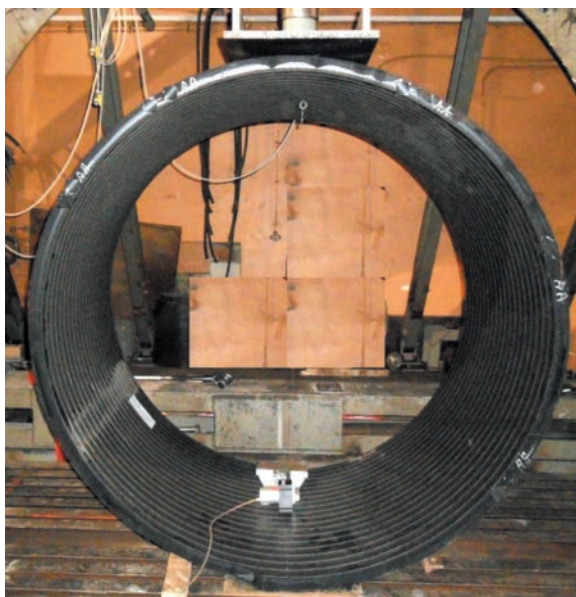


Fig. 11. DN 1500 pipe in the test facility

3.3.2. Concrete ring and pipe crushing strength testing

Similarly to the ring stiffness determination (Fig. 9), the concrete ring and pipe crushing strength test (per standard PN-EN 1916 [9] or PN-EN 1917 [10]) consists in compressing a pipe section (1) between two parallel flat plates (4 and 5) at a defined speed. The lower plate is equipped with a V-shaped support with an appropriate angle. The test is concluded if the test load is achieved, or the pipe undergoes failure (cracks). The test load is a load determined with reference to the minimum crushing load F_n correspond-

ing to the nominal size and strength grade of a given pipe or ring, according to the provisions of standard PN-EN 1916 or PN-EN 1917. The equipment of the test facility at the Central Mining Institute makes it possible to test pipes with an internal diameter d of up to 4.0 m. The force value and the pipe deflection are recorded during the test, and the deflection measurement corresponds to the output stroke of the testing machine actuator. Force and actuator output sensors are connected to a digital amplifier, and the measurement data is archived on a computer drive. Figure 12 presents a concrete ring during the crushing test, whereas Figure 13 depicts an example crushing test chart.



Fig. 12. 1500 mm diameter reinforced concrete ring during the crushing test

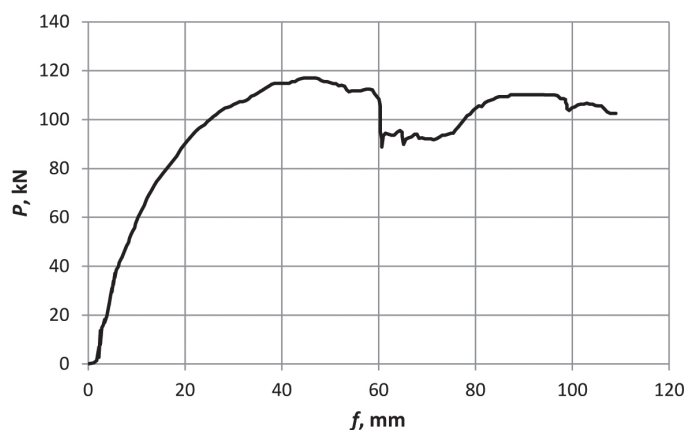


Fig. 13. Example reinforced concrete ring crushing test chart

4. SUMMARY

Mining activity results in near-surface soil layer deformations which exert influence on drainage pipelines by generating additional pipe and manhole element loads and displacements. From the perspective of the influence of these deformations, great significance is presented primarily by the displacement u and deformation ϵ horizontals, as well as surface curvatures K in the case of large-size pipes. Variations in terrain inclination are significant as well and should be factored in at the drainage system design and construction stage.

Considering the influence of the near-surface soil layer deformations, the testing of drainage system elements intended for installation in mining areas should encompass the following in particular:

- pipe joint integrity tests with the determination of the maximum compensation of mutual pipe displacements, including potential angular pipe deviations,
- manhole integrity tests with the angular deviation of elements coupled by means of seals,
- ring stiffness tests for flexible carrier pipes and manhole risers formed from plastics,
- crushing strength tests for rigid pipes and manhole elements.

Methods for carrying out the above tests were developed at the Central Mining Institute, with particular focus on large-size elements of the manufactured drainage systems. The conducted test results and the analysed influence of soil deformation are applied to assess the suitability of drainage system elements as

well as the conditions for their installation in mining areas.

This article was written following the accomplishment of the Central Mining Institute's statutory activity no. 11207096-182.

References

- [1] Madryas C., Kolonko A., Wysocki L.: *Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.
- [2] Kulickowski A.: *Projektowanie konstrukcji przewodów kanalizacyjnych*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2003.
- [3] Kulickowski A.: *Rury kanalizacyjne Tom II Projektowanie konstrukcji*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [4] Instrukcja nr 12: *Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2000.
- [5] Kwiatek J.: *Obiekty budowlane na terenach górniczych*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2007.
- [6] Instrukcja nr 364/2007: *Wymagania techniczne dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach górniczych*. ITB, Warszawa 2007.
- [7] *Metodyka badania szczelności złącza rozbieranego w rurociągach budowanych na terenach górniczych – MBSZR-1*. Główny Instytut Górnictwa, Zakład Badań Urządzeń Mechanicznych, Katowice 2004.
- [8] PN-EN ISO 9969:2016 – *Rury z tworzyw termoplastycznych – oznaczanie sztywności obwodowej*.
- [9] PN-EN 1916:2005 – *Rury i kształtki z betonu niezbrojonego, betonu zbrojonego włóknem stalowym i żelbetowe*.
- [10] PN-EN 1917:2004 – *Studzienki włączowe i niewłączowe z betonu niezbrojonego, betonu zbrojonego włóknem stalowym i żelbetowe*.

KRZYSZTOF PACZEŚNIEWSKI, Ph.D., Eng.

PIOTR KALISZ, Ph.D., Eng.

Central Mining Institute

pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice, Poland

{kpaczesniowski, pkalisz}@gig.eu

KRZYSZTOF PACZEŚNIEWSKI
PIOTR KALISZ

Wybrane metody badań rur i studzienek kanalizacyjnych stosowanych na terenach górniczych

Wskutek podziemnej eksploatacji złóż rury i studzienki, stanowiące podstawowe elementy sieci kanalizacyjnych, są poddawane oddziaływaniom deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu, w której są posadowione. Z tego powodu elementy służące do budowy sieci kanalizacyjnych na terenach górniczych muszą spełniać wymagania związane z występowaniem dodatkowych obciążeń i przemieszczeń. W artykule przedstawiono opracowane w Głównym Instytucie Górnictwa metody badań rur i studzienek kanalizacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem wielkogabarytowych elementów. Wyniki tych badań są wykorzystywane do oceny przydatności rur i studzienek kanalizacyjnych do ich stosowania na terenach górniczych.

Słowa kluczowe: rury, studzienki kanalizacyjne, badania, tereny górnicze

1. WPROWADZENIE

Eksploatacja górnicza oddziałuje niekorzystnie na sieci kanalizacyjne. Sieci te są złożone z rurociągów zbudowanych z różnych rodzajów rur i połączeń. Kanalizacja sanitarna jest zazwyczaj złożona z rurociągów o grawitacyjnym przepływie, a także przepompowni ścieków oraz rurociągów tłocznych. Kanalizacja deszczowa pracuje na ogół w systemie grawitacyjnym, chociaż na terenach górniczych w powstających nieckach bezodpływowych są budowane przepompownie. Ważnymi obiektami sieci kanalizacyjnych są także studzienki.

Na terenach górniczych wszystkie wyżej wymienione obiekty sieci kanalizacyjnych są poddawane oddziaływaniom deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu, w której są posadowione. Z tego względu elementy służące do budowy obiektów sieci kanalizacyjnych muszą spełniać wymagania związane z występowaniem dodatkowych obciążeń i przemieszczeń tych obiektów. Celem artykułu jest przedstawienie wybranych badań służących sprawdzeniu przydatności produkowanych rur i studzienek, w szczególności wielkośrednicowych, do stosowania na terenach górniczych.

Do budowy przewodów kanalizacyjnych o przepływie grawitacyjnym są wykorzystywane różne rodzaje rur [1] o rozmaitych systemach łączenia z wykorzystaniem uszczelek elastomerowych. Należą do nich

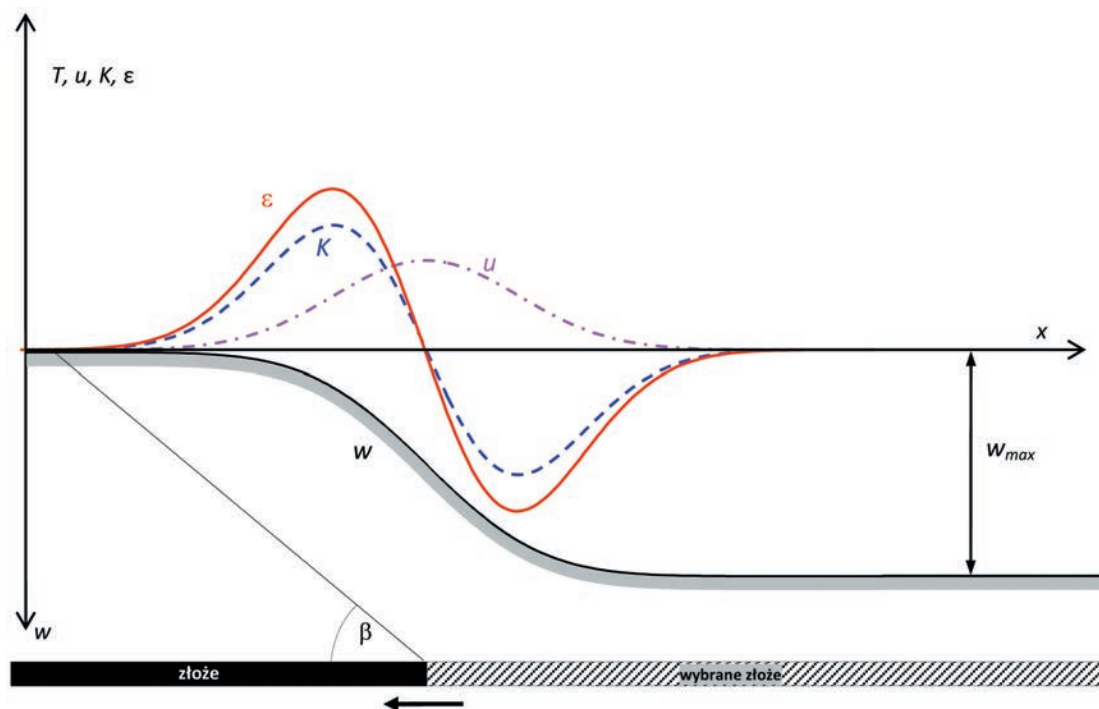
rury o połączeniach kielichowych i nasuwkowych, do układania w wykopach lub do budowy rurociągów metodami bezwykopowymi. Rury są wykonywane z różnych materiałów, takich jak: beton, żelbet, kamionka, polimerobeton oraz żeliwo, żywice poliestrowe wzmocnione włóknem szklanym (GRP) i tworzywa termoplastyczne, do których zaliczają się polichlorek winylu (PVC), polietylen (PE) i polipropylen (PP). Studzienki kanalizacyjne są wykonywane z prefabrykowanych elementów betonowych i żelbetowych, łączonych na uszczelkę elastomerową lub klej, elementów polimerobetonowych o połączeniach klejonych, elementów GRP o połączeniach łącznikowych oraz z tworzyw termoplastycznych o konstrukcji monolitycznej lub z modułów łączonych uszczelkami. Rury i studzienki kanalizacyjne w zależności od rodzaju współpracy z gruntem można podzielić na podatne oraz niepodatne [1–3].

2. ODDZIAŁYWANIE EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ NA RURY I STUDZIENKI KANALIZACYJNE

Eksploatacja górnicza powoduje deformacje przypowierzchniowej warstwy gruntu, w której są posadowione przewody kanalizacyjne wraz ze studzienkami. Istotne znaczenie z uwagi na oddziaływanie tych deformacji mają głównie poziome przemieszczenia u

i odkształcenia ε przypowierzchniowej warstwy gruntu, a dla rur wielkogabarytowych także krzywizny powierzchni K o promieniu R . Ważne są również nierównomierne obniżenia w i związane z nimi zmiany nachylenia terenu T , powodujące zmiany spadków przewodów.

Zmiany te należy uwzględniać na etapie projektowania i budowy sieci, biorąc pod uwagę prognozowane wartości obniżenia i nachylenia powierzchni terenu. Rozkład wskaźników deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat rozkładu wartości wskaźników ciągłych deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu w rejonie krawędzi eksploatacji [4]: w – obniżenia powierzchni terenu, u – poziome przemieszczenia, ε – poziome odkształcenia, K – krzywizny ($K = 1/R$), β – kąt zasięgu wpływów głównych

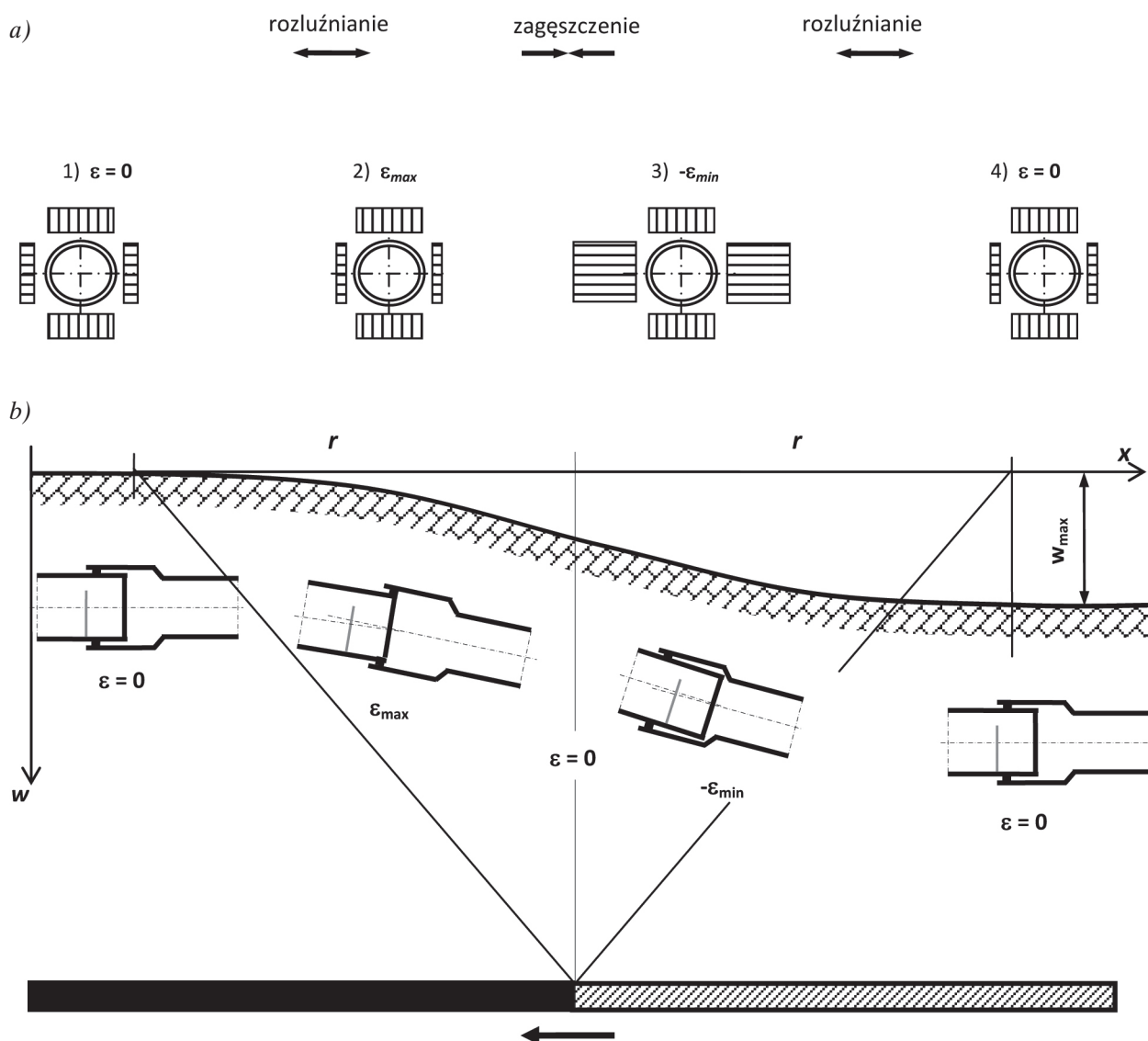
Tereny górnicze o deformacjach ciągłych, w zależności od dopuszczalnych wartości wskaźników deformacji powierzchni, dzieli się na sześć kategorii (tab. 1).

Wartości charakterystyczne i obliczeniowe wskaźników deformacji należy przyjmować z uwzględnieniem ich rozrzutu losowego, charakteryzowanego współczynnikami zmienności, oraz współczynników bezpieczeństwa [4–6].

W przypadku rurociągów układanych w wykopach oddziaływanie poziomych przemieszczeń i odkształceń przypowierzchniowej warstwy gruntu na kierunku podłużnym do osi przewodu powoduje wystąpienie sił podłużnych lub wzajemnych przemieszczeń rur, a krzywizny terenu powodują ich wzajemne odchylenia kątowe (rys. 2).

Tabela 1
Kategorie terenów górniczych [4, 5]

Kategoria terenu górniczego	Wartości wskaźników deformacji		
	Nachylenie T [mm/m]	Promień krzywizny R [km]	Odkształcenie poziome ε [mm/m]
0	$T \leq 0.5$	$40 \leq R $	$ \varepsilon \leq 0.3$
I	$0.5 < T \leq 2.5$	$20 \leq R < 40$	$0.3 < \varepsilon \leq 1.5$
II	$2.5 < T \leq 5$	$12 \leq R < 20$	$1.5 < \varepsilon \leq 3$
III	$5 < T \leq 10$	$6 \leq R < 12$	$3 < \varepsilon \leq 6$
IV	$10 < T \leq 15$	$4 \leq R < 6$	$6 < \varepsilon \leq 9$
V	$T > 15$	$ R < 4$	$ \varepsilon > 9$



Rys. 2. Oddziaływanie eksploatacji górniczej na rurociąg złożony z rur kielichowych z dylatacjami w łączach:
 a) zmiany poprzecznych obciążeń rur w poszczególnych fazach oddziaływania poziomych odkształceń gruntu;
 b) przemieszczenia i odchylenia kątowe rur w poszczególnych fazach oddziaływania poziomych odkształceń gruntu i krzywizn powierzchni

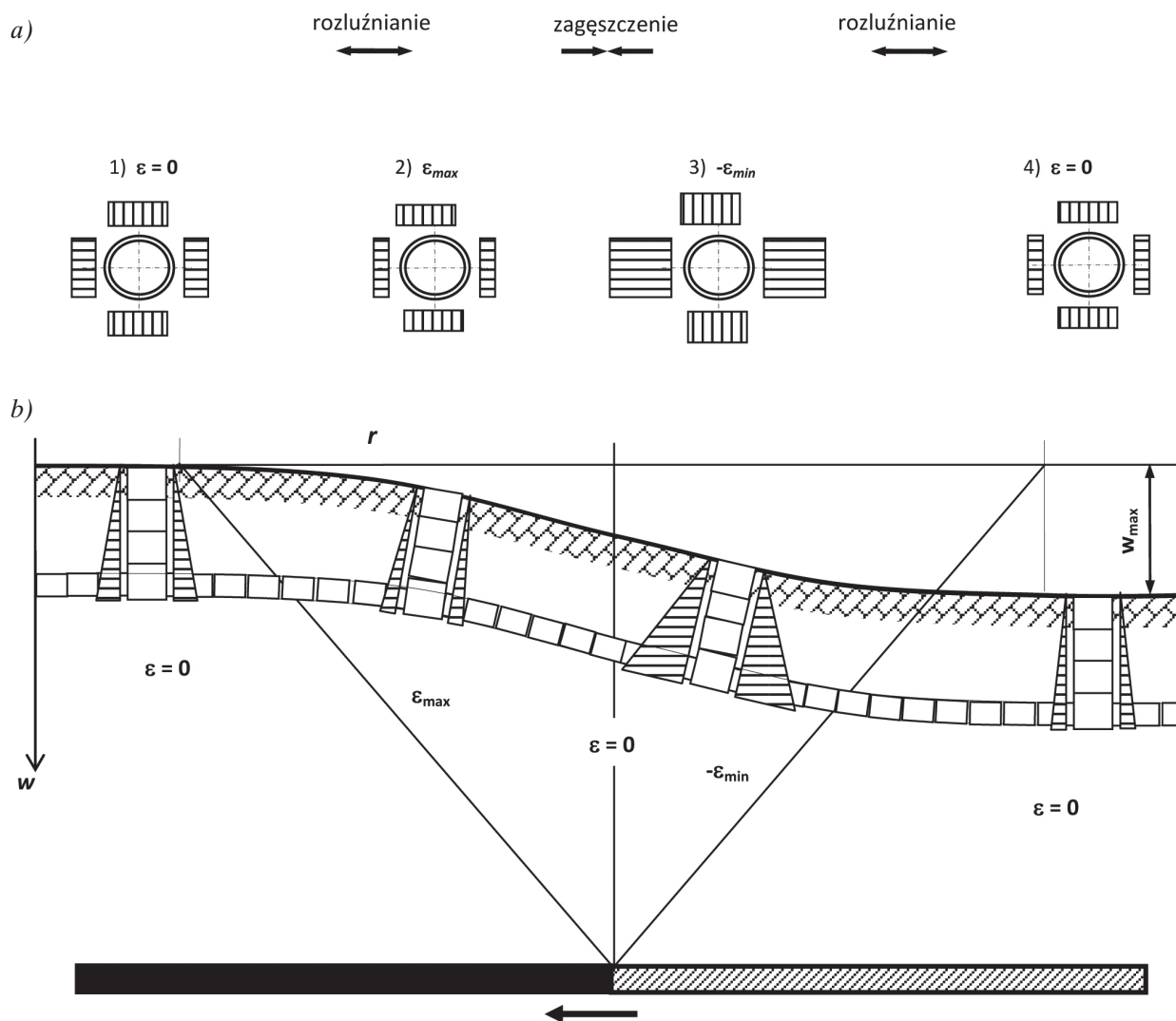
Rury stosowane na terenach górniczych powinny posiadać odpowiednie dylatacje w łączach w celu ich ochrony przed uszkodzeniem (faza 1, rys. 2b). W strefie zlokalizowanej na zewnątrz pola eksploatacyjnego wskutek poziomego rozciągania gruntu następuje rozsuwanie rur (faza 2, rys. 2b). W strefie nad polem eksploatacyjnym wskutek poziomego ściskania gruntu następuje zsuwanie rur (faza 3, rys. 2b), co przy braku dylatacji powoduje podłużne siły ścisające. Po przejściu fali poziomych odkształceń, w odległości większej niż r od krawędzi eksploatacji, przy $\varepsilon = 0$, bosy koniec wraca do położenia początkowego (faza 4, rys. 2b). Dlatego w przypadku rur o połączeniach nasuwkowych (łącznikowych) i kielichowych wymagane jest, aby dylatacje posiadały szerokość dobraną do

kategorii terenu górniczego. Wymuszone deformacjami gruntu rozsuwanie rur nie może powodować rozszczelnienia połączeń, a wymuszone zsuwanie rur nie może powodować uszkodzenia rur i ich połączeń. Uszkodzenia mogą powstawać przy zbyt małej szczelinie dylatacyjnej lub jej braku. W związku z tym konieczne jest sprawdzenie zdolności kompensacyjnych połączeń rur. Dotyczy to zarówno połączeń standardowych, jak i wydłużonych, stosowanych na terenach górniczych.

W przypadku przewodów kanalizacyjnych budowanych metodami bezwykopowymi rury przeciskowe po zakończeniu montażu są ułożone na styk (faza 1, rys. 3b). Oddziaływanie eksploatacji górniczej na kierunkowo podłużnym przewodu w strefie poziomego roz-

ciągania przypowierzchniowej warstwy gruntu powoduje rozsuwanie rur (faza 2, rys. 3b), a w strefie poziomego ściskania ze względu na brak początkowej dylatacji w złączach są indukowane podłużne siły ściskające (faza 3, rys. 3b). Rury przeciskowe posiadają jednak dużą wytrzymałość podłużną na ściskanie, wynikającą z ich przystosowania do technologii budowy rurociągów metodami bezwykopowymi. W końcowym etapie oddziaływania przemieszczającej się krawędzi eksploatacji górniczej, po poziomym ściskaniu,

następuje ponowne rozciąganie gruntu do wartości odkształceń $\varepsilon \approx 0$ przy odległości większej od promienia zasięgu wpływów r (rys. 3). Wtedy następuje rozsuniecie rur przeciskowych i w ich połączeniach wytwarzają się szczeliny dylatacyjne (faza 4, rys. 3b). W związku z oddziaływaniem kolejnych eksploatacji na terenach górniczych, gdzie występują wpływy wielokrotnej eksploatacji, rury przeciskowe powinny spełniać takie same wymagania, jak rury układane w wykopach.



Rys. 3. Oddziaływanie eksploatacji górniczej na rurociąg wykonany metodą przeciskową oraz na studzienki kanalizacyjne:

a) zmiany poziomych obciążeń studzienek kanalizacyjnych w poszczególnych fazach oddziaływania poziomych odkształceń gruntu; b) przemieszczenia i odchylenia kątowe rur i elementów studzienek kanalizacyjnych w poszczególnych fazach oddziaływania poziomych odkształceń gruntu i krzywizn powierzchni

Na kierunku poprzecznym do osi podłużnej przewodu kanalizacyjnego oddziaływanie deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu powodują zmiany poziomych obciążeń rur (rys. 2a). Pierwotnie obciążenia przekroju poprzecznego rury są nierównomierne, obciążenie pionowe w gruntach niespoistych jest

około dwóch razy większe od poziomego parcia (faza 1, rys. 2a). W strefie poziomego rozciągania następuje zmniejszenie parcia do parcia w czynnym stanie granicznym gruntu (faza 2, rys. 2a), a w strefie ściskania następuje kilkukrotne zwiększenie parcia gruntu na rurę (faza 3, rys. 2a). Zwiększenie parcia gruntu

powoduje zwiększenie momentów zginających oraz obwodowych sił ściskających, działających na ścianki rur. Obciążenie pionowe natomiast ulega tylko niewielkim zmianom wskutek zmian gęstości gruntu przy zmianie odkształcenia. Po przejściu pełnego cyklu poziomego odkształcania grunt wraca do czynnego stanu granicznego (faza 4, rys. 2a). Ze względu na duże zmiany obciążeń przekrojów rur i ich nierównomierność na terenach górniczych wymagana jest zatem odpowiednia wytrzymałość rur na zgniatanie, a dla rur z tworzyw sztucznych odpowiednia sztywność obwodowa.

Podobnie jak w przypadku rur posadowionych na terenach górniczych, zaburzeniu ulega pierwotny stan poziomych obciążeń studzienek kanalizacyjnych, które są równomierne (faza 1, rys. 3a) w odróżnieniu od pierwotnych obciążeń rur. Poziome rozciąganie gruntu powoduje zmniejszenie poziomych obciążeń (czynny stan graniczny) i ich niewielką nierównomierność. Najbardziej niekorzystny stan obciążeń pojawia się w strefie poziomego ściskania gruntu (faza 3, rys. 3a), gdyż występuje wtedy największe parcie gruntu oraz jego największa nierównomierność. Wywołuje to największe poziome siły ściskające i momenty zginające, działające na ścianki studzienek kanalizacyjnych podczas oddziaływania eksploatacji górniczej. Po przejściu pełnego cyklu poziomego odkształcania grunt wraca do czynnego stanu granicznego (faza 4, rys. 3a). Ponadto deformacje przypowierzchniowej warstwy gruntu mogą powodować deformacje konstrukcji studzienek, wzajemne przemieszczenia i odchylenia ich elementów (faza 2 i 3, rys. 3b), łączonych na uszczelki (np. podstaw i kręgów betonowych). W tych warunkach złącza studzienek powinny zachować szczelność. Dlatego konieczne jest sprawdzenie szczelności złączy przy odchyleniu kątowym elementów studzienek łączonych na uszczelkę, gdyż nie zawsze spełniają one wymagania do stosowania na terenach górniczych.

Program badań elementów systemów rur i studzienek przeznaczonych do budowy sieci kanalizacyjnych na terenach górniczych powinien uwzględniać specyfikę ich konstrukcji i w szczególności obejmować badania:

- maksymalnego zakresu kompensacji złączy rur przy zachowaniu ich szczelności,
- szczelności studzienek przy odchyleniu kątowym betonowych i żelbetonowych elementów składowych łączonych na uszczelkę,
- sztywności obwodowej lub wytrzymałości na zgniatanie rur i elementów studzienek.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań oraz analizy oddziaływania eksploatacji górniczej na elementy systemów kanalizacyjnych ocenia się ich przydatność do stosowania na terenach górniczych.

3. WYBRANE BADANIA RUR I STUDZIENEK KANALIZACYJNYCH

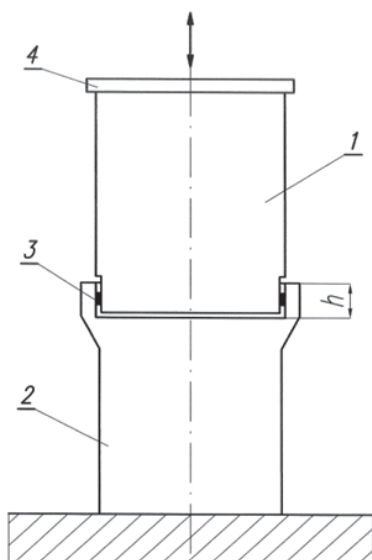
W Głównym Instytucie Górnictwa w celu oceny produkowanych systemów rur i studzienek kanalizacyjnych, do stosowania na terenach górniczych, opracowano następujące badania:

- szczelności połączeń rur przeciskowych i rur do układania w wykopach, w tym wielkogabarytowych,
- szczelności studzienek,
- sztywności obwodowej i wytrzymałości na zgniatanie rur i elementów studzienek.

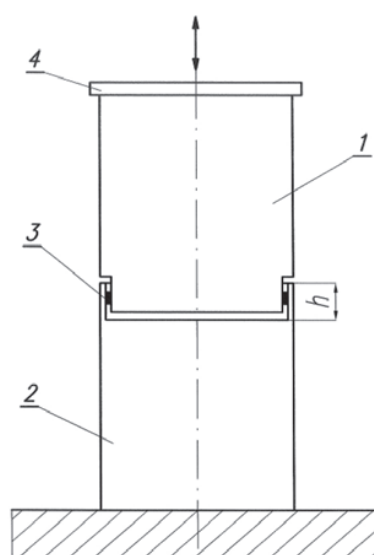
3.1. Badanie szczelności połączeń rur kanalizacyjnych

W połączeniach rur kanalizacyjnych badanie szczelności [7], przy określonym ciśnieniu wody wewnątrz rur, polega na osiowym przemieszczaniu rury (1) względem rury (2) (wsuwanie i wysuwanie na drodze h), która jest ułożona na podłożu (rys. 4–7). Rury te (rys. 4 i 5) są połączone ze sobą za pomocą systemu uszczelnienia (3). Rury (1) i (2) z jednej strony zaślepione za pomocą specjalnie wykonanych pokryw są w stanie wytrzymać ciśnienie panujące wewnątrz rur podczas badania.

Podczas badania rury są rozsuwane względem siebie z reguły w wyniku działania ciśnienia wody, a ściskane za pomocą siłownika hydraulicznego zakończonego płytą dociskową (4). W przypadku gdy ta metoda jest nieskuteczna, to zsuwanie i rozsuwanie rur jest wykonywane za pomocą siłownika hydraulicznego, połączonego z rurą (1) za pomocą specjalnego uchwytu (krzyżaka) i dodatkowych pasów. Takie połączenie pozwala na korygowanie odchylenia kąтового rur względem siebie podczas ich zsuwania lub rozsuwania lub przeciwnie – pozwala zadawać określone odchylenie kątowe rur, jeżeli wymaga tego badanie. Prędkość zsuwania lub rozsuwania rur jest tak regulowana, aby ciśnienie wody wewnątrz połączenia utrzymywało się na ustalonym poziomie. Jest to zadanie bardzo trudne do wykonania, ponieważ w połączeniu rur, np. o średnicy 1,4 m i wysokości połączenia około 2 m, znajduje się ponad 3000 litrów wody, a masa całego połączenia to ponad 4 tony.



Rys. 4. Sposób badania szczelności połączenia rur kielichowych



Rys. 5. Sposób badania szczelności połączenia rur przeciskowych



Rys. 6. Kielichowe połączenie rur żelbetowych DN 1000 w stanowisku badawczym



Rys. 7. Połączenie rur przeciskowych GRP DN 1300 w stanowisku badawczym

W czasie trwania wszystkich etapów badania obserwuje się dokładnie złącze rur pod kątem jego szczelności (występowania przecieków).

3.2. Badanie szczelności studzienek kanalizacyjnych

Badanie szczelności studzienek kanalizacyjnych polega na sprawdzeniu szczelności pomiędzy kręgami studzienki przy zadanym wewnętrznym ciśnieniu i odchyleniu kątowym. W tym celu do badania przygotowuje się ułożone kolejno: podstawę studzienki, co najmniej jeden krąg oraz pokrywę lub zwężkę

z włazem kanałowym. Bardzo ważnym etapem przygotowania studzienki do badania jest uszczelnienie w podstawie otworów dla rur przyłączeniowych lub kształtek oraz włazu. W tym celu przygotowuje się specjalne korki i blaszane pokrywy z uszczelką, które są przykręcane do pokrywy lub włazu. Przed nałożeniem kręgu na podstawę studzienki wkłada się między te elementy najczęściej drewnianą podkładkę o odpowiedniej grubości, co pozwala wywołać odchylenie kątowe między tymi elementami. Po nałożeniu na krąg pokrywy lub zwężki z włazem kanałowym zabezpiecza się całość przed rozsuwaniem za pomocą ściągow pasowych lub w inny sposób (rys. 8). Tak przygotowaną studzienkę kanalizacyjną wypełnia się wodą

o wymaganym ciśnieniu 50 kPa. Ciśnienie należy utrzymać przez 15 minut. Połączenia między elementami studzienki nie powinny wykazywać żadnego przecieku.



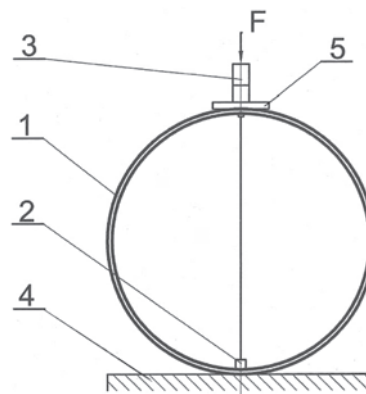
Rys. 8. Studzienka betonowa podczas badania

3.3. Badanie sztywności obwodowej i wytrzymałości na zgniatanie

3.3.1. Badanie sztywności obwodowej rur z tworzyw termoplastycznych

Badanie (rys. 9) polega na ściskaniu odcinka rury (1) przez dwie równoległe, sztywne płyty (4 i 5), z określoną prędkością, aż do momentu gdy odkształcenie pionowe rury osiągnie wartość 3% jej początkowej średnicy wewnętrznej d . Wyposażenie stanowiska

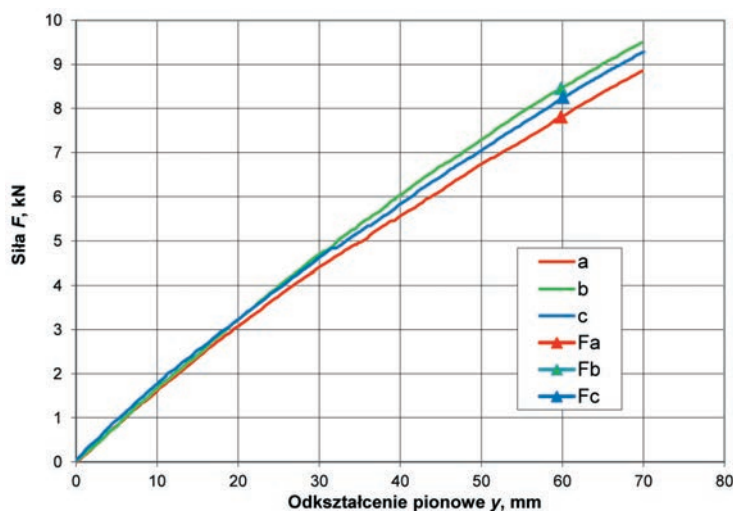
znajdującego się w Głównym Instytucie Górnictwa pozwala na badanie rur o średnicy wewnętrznej d do 3,5 m. Zgodnie z wymaganiami normy [8] dla zakresu średnic od 1,2 m do 3,5 m długość próbki wynosi 1000 mm, a prędkość jej obciążania równa jest $0,03 \times d \pm 5\%$ mm na minutę. Podczas badania jest rejestrowana wartość siły oraz wielkość ugięcia rury, które jest mierzone we wnętrzu badanej rury. Czujniki siły (3) i odkształcenia (2) są podłączone do cyfrowego wzmacniacza, a dane pomiarowe archiwizowane są na dysku komputera.



Rys. 9. Schemat stanowiska do badania sztywności obwodowej

Do oznaczania sztywności obwodowej opracowano program komputerowy, którego algorytmy są oparte na wzorach zamieszczonych w normie [8], a raport jest zgodny z wymaganiami przedstawionymi w punkcie 10 tej normy.

Na rysunku 10 przedstawiono przykładowe wykresy siła/odkształcenie dla rury o średnicy wewnętrznej 2000 mm, a rysunek 11 pokazuje rurę o średnicy wewnętrznej 1500 mm przygotowaną do badania.



Rys. 10. Przykładowe wykresy siła/odkształcenie dla rury o średnicy 2000 mm dla trzech próbek (a, b, c); F_a , F_b , F_c – wartość siły F przy wymaganym przez normę odkształceniu pionowemu



Rys. 11. Rura DN 1500 w stanowisku badawczym

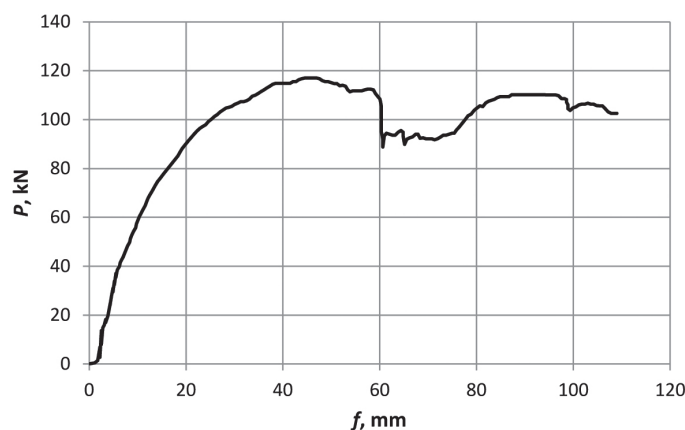
3.3.2. Badanie wytrzymałości rur i kręgów betonowych na zgniatanie

Badanie wytrzymałości rur i kręgów betonowych na zgniatanie (norma PN-EN 1916 [9] lub PN-EN 1917 [10]) polega, podobnie jak w przypadku oznaczania sztywności obwodowej (rys. 9), na ściskaniu odcinka rury (1) przez dwie równoległe, sztywne płyty (4 i 5), z określoną prędkością. Dolna płyta ma zamocowaną podporę w kształcie litery V o odpowiednim kącie rozwarcia. Badanie uznaje się za zakończone, gdy uzyska się obciążenie próbne lub rura ulegnie zniszczeniu (pęknięciu). Obciążenie próbne jest to obciążenie określone w odniesieniu do minimalnego obciążenia zgnia-

tającego F_n , odpowiadającego wielkości nominalnej i klasie wytrzymałości rury lub kręgu, zgodnie z zapisami normy PN-EN 1916 lub PN-EN 1917. Wyposażenie stanowiska znajdującego się w Głównym Instytucie Górnictwa pozwala na badanie rur o średnicy wewnętrznej d do 4,0 m. Podczas badania jest rejestrowana wartość siły i ugięcia rury, przy czym pomiar ugięcia odpowiada wielkości wysuwu siłownika maszyny wytrzymałościowej. Czujnik siły i wysuwu siłownika są podłączone do cyfrowego wzmacniacza, a dane pomiarowe są archiwizowane na dysku komputera. Krąg betonowy podczas próby zgniatania przedstawiono na rysunku 12, a przykładowy wykres zgniatania na rysunku 13.



Rys. 12. Krąg żelbetowy o średnicy 1500 mm podczas próby zgniatania



Rys. 13. Przykładowy wykres zgniatania kręgu żelbetowego

4. PODSUMOWANIE

Eksploatacja górnicza powoduje deformacje przypowierzchniowej warstwy gruntu, które oddziałują na przewody kanalizacyjne, wywołując dodatkowe obciążenia oraz przemieszczenia rur i elementów studzienek. Istotne znaczenie z uwagi na oddziaływania tych deformacji mają głównie poziome przemieszczenia u i odkształcenia ϵ , a w przypadku rur wielkogabarytowych także krzywizny powierzchni K . Istotne są również zmiany nachylenia terenu, które należy uwzględnić na etapie projektowania i budowy kanalizacji.

Ze względu na oddziaływania deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu badania elementów systemów kanalizacyjnych przeznaczonych do budowy sieci na terenach górniczych powinny w szczególności obejmować:

- badanie szczelności połączeń rur z określeniem maksymalnego zakresu kompensacji ich wzajemnych przemieszczeń, uwzględniając możliwe odchylenia kątowe rur,
- badanie szczelności studzienek z odchyleniem kątowym elementów łączonych na uszczelkę,
- badanie sztywności obwodowej podatnych rur przewodowych i rur trzonowych studzienek wykonanych z tworzyw sztucznych,
- badanie wytrzymałości na zgniatanie niepodatnych rur i elementów studzienek.

W Głównym Instytucie Górnictwa opracowano metody realizujące powyższe badania ze szczególnym uwzględnieniem wielkogabarytowych elementów produkowanych systemów kanalizacyjnych. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań oraz analizy od-

działywania deformacji gruntu na elementy systemów kanalizacyjnych ocenia się ich przydatność i warunki stosowania na terenach górniczych.

Artykuł powstał w wyniku realizacji pracy statutowej nr 11207096-182 Głównego Instytutu Górnictwa.

Literatura

- [1] Madryas C., Kolonko A., Wysocki L.: *Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.
- [2] Kuliczkowski A.: *Projektowanie konstrukcji przewodów kanalizacyjnych*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2003.
- [3] Kuliczkowski A.: *Rury kanalizacyjne Tom II Projektowanie konstrukcji*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [4] Instrukcja nr 12: *Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2000.
- [5] Kwiatek J.: *Obiekty budowlane na terenach górniczych*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2007.
- [6] Instrukcja nr 364/2007: *Wymagania techniczne dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach górniczych*. ITB, Warszawa 2007.
- [7] *Metodyka badania szczelności złącza rozbieranego w rurociągach budowanych na terenach górniczych – MBSZR-1*. Główny Instytut Górnictwa, Zakład Badań Urządzeń Mechanicznych, Katowice 2004.
- [8] PN-EN ISO 9969:2016 – *Rury z tworzyw termoplastycznych – oznaczanie sztywności obwodowej*.
- [9] PN-EN 1916:2005 – *Rury i kształtki z betonu niezbrojonego, betonu zbrojonego włóknem stalowym i żelbetowe*.
- [10] PN-EN 1917:2004 – *Studzienki wjazdowe i niewjazdowe z betonu niezbrojonego, betonu zbrojonego włóknem stalowym i żelbetowe*.

dr inż. KRZYSZTOF PACZEŃSKI

dr inż. PIOTR KALISZ

Główny Instytut Górnictwa

pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice

{kpaczesniowski, pkalisz}@igig.eu

