

# napędy i sterowanie

miesięcznik  
naukowo-  
-techniczny

Nr 1 (249)

Rok XXII  
Styczeń 2020

ISSN 1507-7764  
Indeks 36018X

Cena: 10,80 zł  
(w tym 8% VAT)

napędy • automatyka przemysłowa • energoelektronika • aparatura kontrolno-pomiarowa • mechatronika • systemy zasilające  
układy zabezpieczeń • hydraulika • pneumatyka • robotyka • systemy transportowe • utrzymanie ruchu

## HPF<sup>2</sup>

Maksymalna wydajność

HITACHI  
Inspire the Next

MARKEL  
energoelektronika to nasza pasja



Przerwa?

Skanuj, by  
zobaczyć  
krótki film  
dokumentalny.



... czy czas pracy?

Skanuj, by  
zobaczyć  
dane produktu.



Markel Sp. z o.o.  
05-500 Piaseczno  
ul. Okulickiego 7/9  
tel. 22 428 10 29  
markel@markel.pl

MARKEL  
energoelektronika to nasza pasja

Numer, miesiąc wydania	Temat przewodni numeru	Uzupełnienie tematyki
1 (249) Styczeń	<b>PRZEMYSŁ 4.0 TECHNOLOGIE 3D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efektywność w górnictwie</li> <li>• Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne</li> <li>• Systemy mechatroniczne</li> <li>• Monitoring i systemy sterowania</li> <li>• Utrzymanie ruchu</li> <li>• Automatyzacja transportu szynowego</li> <li>• Efektywność w energetyce</li> <li>• Napędy</li> <li>• Oleje, środki smarne</li> </ul>
2 (250) Luty	<b>AUTOMATYZACJA PRODUKCJI EFEKTYWNOŚĆ W ENERGETYCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bezpieczeństwo sieci przemysłowych</li> <li>• Technika przemieszczeń liniowych i montażu</li> <li>• Hydraulika siłowa</li> </ul>
3 (251) Marzec	<b>AUTOMATYKA I ROBOTYKA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nowe technologie</li> <li>• Roboty przemysłowe</li> <li>• Termowizja</li> <li>• Aparatura kontrolno-pomiarowa</li> <li>• Systemy mechatroniczne</li> </ul>
4 (252) Kwiecień	<b>BEZPIECZEŃSTWO W PRZEMYŚLE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydraulika w technice mobilnej</li> <li>• Sterowanie procesami</li> <li>• Efektywność energetyczna</li> <li>• Systemy transportowe</li> <li>• Wytwarzanie energii ze źródeł konwencjonalnych i odnawialnych</li> <li>• Maszyny i urządzenia dla wodociągów i kanalizacji</li> <li>• Przesył energii</li> <li>• Cyberbezpieczeństwo</li> </ul>
5 (253) Maj	<b>TERMOWIZJA, MONITORING, POMIARY</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maszyny i napędy elektryczne</li> <li>• Technologie przyrostowe 3D</li> <li>• Napędy hybrydowe</li> <li>• Diagnostyka i kontrola urządzeń</li> <li>• Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT – Industrial Internet of Things)</li> </ul>
6 (254) Czerwiec	<b>PRZEMYSŁ MASZYNOWY, INNOWACJE PRZEMYSŁ 4.0</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termowizja, monitoring, układy regulacji</li> <li>• Inteligentny budynek</li> <li>• Robotyka</li> <li>• Oprogramowanie, sieci przemysłowe</li> <li>• Systemy informatyczne</li> </ul>
7/8 (255/256) Lipiec/sierpień	<b>SYSTEMY AUTOMATYZACJI W GÓRNICTWIE AUTOMATYZACJA TRANSPORTU SZYNOWEGO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cyfryzacja w ciągu produkcyjnym</li> <li>• Inteligentne układy zasilania, sterowania</li> <li>• Diagnostyka</li> <li>• Nowe technologie</li> <li>• Silniki elektryczne</li> <li>• Transformatory</li> </ul>
9 (257) Wrzesień	<b>AUTOMATYKA W ENERGETYCE AUTOMATYKA W PRZEMYŚLE SPOŻYWCZYM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efektywność w energetyce</li> <li>• Automatyka w przemyśle maszynowym</li> <li>• Układy regulacji automatycznej</li> <li>• Systemy transportowe</li> <li>• Maszyny i napędy elektryczne</li> <li>• Komponenty do produkcji oraz systemy dla przemysłu</li> </ul>
10 (258) Październik	<b>HYDRAULIKA, PNEUMATYKA I STEROWANIE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagnostyka</li> <li>• Inteligentne układy zasilania</li> <li>• Systemy mechatroniczne</li> <li>• Bezpieczeństwo w przemyśle</li> <li>• Napędy hybrydowe i elektryczne</li> <li>• Oleje, środki smarne</li> <li>• Energia odnawialna</li> </ul>
11 (259) Listopad	<b>AUTOMATYZACJA PRODUKCJI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maszyny i napędy elektryczne</li> <li>• Oprogramowanie, sieci przemysłowe</li> <li>• Technika przemieszczeń liniowych i montażu</li> <li>• Roboty przemysłowe</li> <li>• Sterowniki PLC i systemy sterowania</li> <li>• Systemy transportowe</li> <li>• Innowacje wod.-kan.</li> </ul>
12 (260) Grudzień	<b>CYFRYZACJA W PRZEMYŚLE AUTOMATYZACJA TRANSPORTU SZYNOWEGO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bezpieczeństwo w przemyśle</li> <li>• Systemy mechatroniczne</li> <li>• Napędy elektryczne i hydrauliczne</li> <li>• Inteligentny budynek</li> <li>• Cyberbezpieczeństwo</li> </ul>

**Adres redakcji:**

47-400 Racibórz  
ul. Środkowa 5  
tel./fax 32 755 19 17  
e-mail: redakcja.nis@drukart.pl; www.nis.com.pl

**Redaktor naczelna:** Katarzyna Zajac

tel. 32 755 19 17 • e-mail: redakcja.nis@drukart.pl

**Redaguje Zespół:** Katarzyna Zajac, Ludmiła Urbińska,  
Ryszard Klencz

**Redaktor statystyczny:** Ludmiła Urbińska

tel./fax 32 755 23 23 • e-mail: nis@drukart.pl

**Redakcja techniczna:** Grzegorz Drobny

tel. 32 755 23 18 • e-mail: redakcja.tech@drukart.pl

**Marketing:**

Aleksandra Misiewicz • tel./fax 32 755 18 23 • e-mail: marketing@drukart.pl  
Ester Krauze • tel./fax 32 755 18 23 • e-mail: marketing@drukart.pl  
Agnieszka Gutowska • tel./fax 32 755 24 55 • e-mail: marketing7@drukart.pl

**Dział prenumerat:** Norbert Klencz

tel./fax 32 755 15 74 • e-mail: prenumerata@drukart.pl

**Podstawowa korekta tekstu:** Marta Chamów**Rada Programowa:**

- prof. zw. dr hab. inż. Wacław Kolek – przewodniczący
- prof. nadzw. dr hab. inż. Andrzej Balawender
- prof. Marek Bergander
- prof. zw. dr hab. inż. Witold Byrski
- dr inż. Rafał Hein
- prof. inż. Jaroslav Homiš
- dr inż. Ryszard Jasiński
- prof. zw. dr hab. inż. Marek Jaszczuk
- prof. zw. dr hab. inż. Antoni Kalukiewicz
- dr inż. Grzegorz Karoń
- prof. zw. dr hab. inż. Marian Piotr Kaźmierkowski
- prof. zw. dr hab. inż. Adam Klich
- dr hab. inż. Roman Krok
- prof. zw. dr hab. inż. Igor Piotr Kurytnik
- dr inż. Jacek Paraszcak
- prof. zw. dr hab. inż. Zbigniew Pawelski
- dr hab. inż. Krzysztof Pietrusiewicz
- prof. zw. dr hab. inż. Stanisław Pirog
- prof. Jacek S. Stecki
- dr hab. inż. Michał Stosiak
- dr inż. Zbigniew Szulc
- prof. zw. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz
- prof. zw. dr hab. inż. Edward Tomasiak
- dr inż. Grzegorz Wiciak

**Redaktor tematyczny:** prof. zw. dr hab. inż. Wacław Kolek**Wydawca:** Wydawnictwo Druk-Art SC

47-400 Racibórz, ul. Środkowa 5

**Patronat honorowy:**

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej



Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej



Instytut Pojazdów, Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Łódzkiej

Punktacja MNISW za publikacje naukowe wynosi 5 pkt (poz. 1652). Przyłączając się do realizacji idei Otwartej Nauki, udostępniamy bezpłatnie powierzchnię na artykuły naukowe publikowane w miesięczniku naukowo-technicznym „Napędy i Sterowanie”.

Redakcja nie odpowiada za treść ogłoszeń i nie zwraca materiałów niezamówionych. Zastrzegamy sobie prawo skracania i adiacji tekstów. Przedrukowywanie materiałów lub ich części tylko za zgodą pisemną redakcji.

Redakcja deklaruje, że pierwotną wersją wydawanego miesięcznika „Napędy i Sterowanie” jest wersja drukowana (papierowa).

„Wydarzenia” wybrano z materiałów prasowych firm.

## Szanowni Państwo!

**N**owy Rok to moment, w którym zwykle grubą kreską odcinamy przeszłość od przyszłości, snując nowe plany na kolejne miesiące. Dużo łatwiej budować wyobrażenia o realizacji swoich zamierzeń, gdy jest ku temu sprzyjająca sytuacja w kraju. Zmęczeni burzliwością życia politycznego, oczekujemy na sukcesywne przemiany gospodarcze. Z uwagą wsluchujemy się w prognozy ekonomistów i w najmniejszym przejawie rozwoju próbujemy doszukać się postępu, który zająłby miejsce wywołującego uzasadniony lęk, słowa „spowolnienie”.

Według PIE (Polski Instytut Ekonomiczny) w 2020 r. polska gospodarka nieco zwolni, ale wciąż będzie rozwijała się w dobrym tempie. „Po około 5 proc. wzrostu PKB w 2018 r. oraz około 4 proc. wzrostu w 2019 r., w 2020 r. większość ekonomistów prognozuje wzrost w przedziale od 3,0 do 3,5 proc.” To niewiele poniżej szacowanego przez NBP tempa wzrostu produktu potencjalnego w 2020 r. Polska, jak podkreślono w raporcie, wciąż będzie też jednym z najlepiej rozwijających się państw Unii Europejskiej. Według prognozy Komisji Europejskiej, na którą powołują się analitycy Instytutu, wzrost PKB w Polsce w 2020 r. wyniesie 3,3 proc., wobec 2,1 proc. średnio w UE.

Ekspertcy zwrócili uwagę, że w ostatnich kilku latach prognozy Komisji Europejskiej dla Polski „prawie zawsze były zaniżone” w stosunku do ostatecznego wyniku naszej gospodarki. „Nie ma więc mowy o głębokim spowolnieniu czy nawet kryzysie” – zaznaczyli. Przewiduje się „jedynie nieco niższy wzrost PKB, charakterystyczny dla tej fazy cyklu koniunkturalnego, w której się obecnie znajdujemy, a na dodatek wyższy niż w większości państw naszego regionu” – dodali. Kluczowy, w ich ocenie, będzie rozwój wydarzeń w trzech obszarach: Brexitu, wojen handlowych oraz jesiennych wyborów prezydenckich w Stanach Zjednoczonych.

Wielokrotnie doświadczani w minionych latach, trudnościami, jakie przychodziło nam pokonywać na polskim rynku, z dystansem przystępujemy do działań, ryzykując z dużą ostrożnością. Procentuje to mniej bolesnymi stratami, które czasem jednak trzeba ponosić. Wydaje się, że właśnie taka postawa „bezpiecznego” ryzyka sprawiła, że Polska postrzegana jest obecnie jako kraj ponoszący najmniejsze konsekwencje kryzysu. Jaką zatem obrać strategię, aby efektywnie funkcjonować na rynku? W co i czy w ogóle inwestować? Do której z branż przemysłu dedykować swą ofertę oraz czy podejmować zaplanowane działania, czy też przeczekać trudny okres? O tym wszystkim będziemy się starali Państwa informować na łamach kolejnych wydań naszego pisma, gdzie naukowcy i praktycy podzielą się swoją wiedzą i spostrzeżeniami dotyczącymi zmian następujących w gospodarce.

Oczywiście życząc Państwu, aby w nowym roku wszystkie negatywne czynniki, które wstrzymują rozwój i ograniczają inicjatywę, zniknęły, ustępując miejsca działaniom umacniającym polską przedsiębiorczość.

Zachęcam do lektury

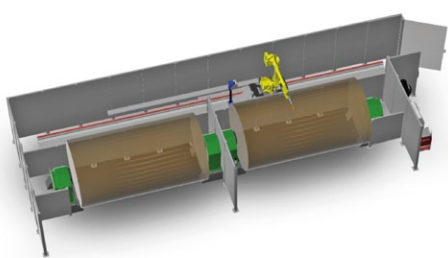
Katarzyna Zajac





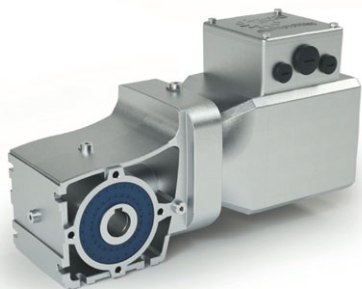
**Str. 8**

Bezpieczniki szybkie do ochrony komponentów półprzewodnikowych



**Str. 12**

Automatyzacja procesów spawania nierdzewnych stali austenitycznych na potrzeby przemysłu spożywczego, chemicznego i kosmetycznego. Piękna i Bestia, czyli ucieczka z paszczy korozji



**Str. 16**

Wiadomości ze świata napędów NORD. Tak wydajne, jak to tylko możliwe: nowa generacja silników NORD IE5+



**Str. 18**

Perfekcyjny szereg systemu zasilania. Emparro Premium Power

## CO W NUMERZE

### Stałe pozycje

- 6 Nowości techniczne
- 80 Biblioteka

### Nauka

- 26 Centralny Serwer Danych Technologicznych w JSW S.A.  
J. Kwaśnica
- 30 Modernizacja konstrukcji ramy pojazdu startującego w zawodach Shell Eco-marathon  
K. Ochałek, D. Durał
- 34 Wpływ druku 3D na gospodarkę i życie społeczne  
H. Dodziuk
- 38 Perspektywy rozwoju druku 3D  
H. Dodziuk
- 46 Geomechaniczne aspekty projektowania przecinek ścianowych w warunkach eksploatacji pokładów grubych z podziałem na warstwy  
S. Duży
- 54 Analiza zmian zakresu uszkodzeń murowanych budynków wielokondygnacyjnych w okresie 10 lat oddziaływań górniczych  
K. Firek, J. Rusek, A. Wodyński
- 60 Udostępnienie dawnych wyrobisk górniczych dla ruchu turystycznego z uwzględnieniem osób niepełnosprawnych na przykładzie Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej w Zabrze  
Z. Słota, K. Słota, A. Morcinek-Słota, M. Maciaszek, Z. Jaks
- 66 Telemetria w diagnostyce silników asynchronicznych  
A. Decner
- 74 Badania zużycia energii przez pojazdy w warunkach rzeczywistych  
K. Woźniak, M. Andrzejewski, P. Daszkiewicz, Ł. Rymaniak

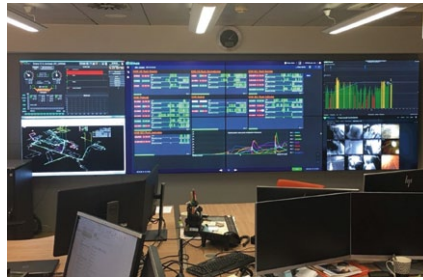
### Technologie i produkty

- 8 **TEMAT Z OKŁADKI:** Bezpieczniki szybkie do ochrony komponentów półprzewodnikowych  
R. Piętka - Markel Sp. z o.o.
- 12 **TEMAT Z OKŁADKI:** Automatyzacja procesów spawania nierdzewnych stali austenitycznych na potrzeby przemysłu spożywczego, chemicznego i kosmetycznego. Piękna i Bestia, czyli ucieczka z paszczy korozji  
L. Tuz, K. Sulikowski - Roboty Przemysłowe Sp. z o.o.
- 16 Wiadomości ze świata napędów NORD. Tak wydajne, jak to tylko możliwe: nowa generacja silników NORD IE5+  
NORD Napędy Sp. z o.o.
- 16 Monitorowanie warunków dla konserwacji predykcyjnej  
NORD Napędy Sp. z o.o.



**Str. 23**

Rozbudowana wersja najpopularniejszych interfejsów graficznych. MONITOUCH seria TS1000 SMART



**Str. 26**

Centralny Serwer Danych Technologicznych w JSW S.A.



**Str. 30**

Modernizacja konstrukcji ramy pojazdu startującego w zawodach Shell Eco-marathon

17 Rozbudowa NORD w Bargteheide  
NORD Napędy Sp. z o.o.

18 Perfekcyjny szereg systemu zasilania. Emparro Premium Power  
Murrelektronik Sp. z o.o.

21 Szkoła enkoderów firmy LeineLinde. Cz. 1. Optyka  
TERM Tomasz Sobczak

23 Rozbudowana wersja najpopularniejszych interfejsów graficznych.  
MONITOUCH seria TS1000 SMART  
D. Sybilski - Amtek



**Str. 60**

Udostępnienie dawnych wyrobisk górniczych dla ruchu turystycznego z uwzględnieniem osób niepełnosprawnych na przykładzie Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej w Zabrze

## Informacje branżowe

20 Circular economy – o tym się mówi

22 Targi Elektrotechnika 2020

25 Innowacje, technologie, nauka, czyli Targi EXPOPOWER już w dniach 21-23.04.2020

65 INNOWACYJNE I PRZYJAZNE DLA ŚRODOWISKA  
TECHNIKI I TECHNOLOGIE PRZERÓBKI SUROWCÓW MINERALNYCH  
BEZPIECZEŃSTWO - JAKOŚĆ - EFEKTYWNOŚĆ



**Str. 74**

Badania zużycia energii przez pojazdy w warunkach rzeczywistych

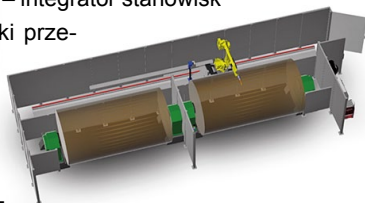
## Indeks reklam

▷ Amtek .....	23	▷ Murrelektronik.....	6, 19
▷ Automaticon .....	59	▷ NORD Napędy .....	17
▷ Befared.....	35	▷ Nowimex.....	29
▷ Cantoni GROUP.....	31	▷ Roboty Przemysłowe.....	6, 84
▷ Elektrotechnika 2020.....	22	▷ Robotyka.com.....	53
▷ ENEX.....	45	▷ SANYU Sobczak .....	21
▷ EXPOPOWER.....	65	▷ SCHUNK Intec.....	6
▷ INNOFORM.....	20	▷ SENOMA.....	7
▷ KOMEKO-IMTech.....	65	▷ STAUFF Polska.....	27
▷ LOTOS Oil.....	11	▷ STEINLEN Polska.....	37
▷ Markel.....	1		

## NOWOŚCI TECHNICZNE

### Zrobotyzowane stanowisko spawalnicze MIG/MAG do spawania zbiorników ze stali nierdzewnej

Firma Roboty Przemysłowe – integrator stanowisk zrobotyzowanych i automatyki przemysłowej – udostępniła w swej ofercie nowoczesne rozwiązanie do spawania zbiorników, silosów i beczek.



Celem było uzyskanie stanowiska o kompaktowej budowie, osadzonego na jednej platformie – z możliwością łatwego montażu, demontażu i relokacji oraz elastycznej integracji z istniejącym parkiem maszynowym. Jednocześnie, dzięki zamontowaniu robota spawającego na centralnie zorientowanym torze jezdny, Klient otrzymuje możliwość spawania również dużych zbiorników.

W skład stanowiska wchodzi: robot/roboty spawalnicze FANUC Arc Mate + funkcje spawalnicze, źródło spawalnicze Lincoln Electric, przewodnik drutu, chłodnica palnika, pakiet przewodów z palnikiem chłodzonym cieczą, złącze antykolizyjne i stacja czyszcząca AbicorBinzel, obrotniki, naziemny tor jezdny, wygradzenia i systemy bezpieczeństwa.

Stanowisko podzielone jest na dwie strefy robocze, gdzie praca operatora i robota wykonywana jest równolegle. Operator montuje detale w jednej strefie. W tym czasie robot spawuje detale w strefie drugiej. W momencie zakończenia załadunku detalu operator opuszcza pierwszą strefę i odbiera pospawany detale ze strefy drugiej. Następnie montuje nowy detale i czeka, aż robot skończy spawanie w strefie pierwszej, po czym cykl produkcyjny zostaje powtórzony.

Istnieje możliwość zamówienia dedykowanych przyrządów spawalniczych i programów spawających pod konkretne detale, jak również dostosowania wymiarów stanowiska, ilości robotów i długości toru wg wytycznych Klienta.

**Roboty Przemysłowe Sp. z o.o.**  
[www.RobotyPrzemyslowe.pl](http://www.RobotyPrzemyslowe.pl)

### Chwytki współpracujące SCHUNK – zawsze właściwy wybór dla aplikacji z cobotem

Ze względu na funkcje techniczne, pozwalające na niezawodną integrację aplikacji, chwytak elektryczny SCHUNK Co-act EGH stanowi doskonały sposób na łatwą implementację automatyzacji za pomocą cobota. Jest on szczególnie przydatny w obszarach montażu, przenoszenia i w branży elektronicznej, do obsługi małych i średnich przedmiotów. Mimo iż Co-act EGH jest zaprojektowany do aplikacji, w których nie jest wymagana bezpośrednia interakcja między ludźmi a robotami, bezpieczeństwo nadal jest zapewnione przez różne urządzenia ochronne. Do zastosowań,



w których coboty współpracują bezpośrednio z ludźmi, dostępne są certyfikowane chwytaki SCHUNK Co-act EGP-C i Co-act EGL-C, których niezawodne funkcje bezpieczeństwa pozwalają na ich zastosowanie w zakresie współpracy na linii człowiek – robot.

#### Wartość dodana dla użytkownika

- Długi, łatwo programowalny skok z równoległym ruchem palców! Chwytnak SCHUNK Co-act EGH ma solidną kinematykę równoległą z dużym, regulowanym i łatwym do kontrolowania skokiem.
- Przegubowe palce – zawarte w zestawie startowym! Chwytnak może być łatwo i szybko dostosowany do różnorodnych przedmiotów obrabianych poprzez zamontowanie palców przegubowych.
- Wyświetlanie statusu za pomocą opaski LED – dowolnie programowalne. Zintegrowana opaska LED może być wykorzystana do wyświetlania trzech wstępnie ustawionych kolorów sygnalizujących cyfrowo różne stany chwytaka.
- Łatwy i szybki montaż. Konstrukcja chwytaka SCHUNK Co-act EGH umożliwia szybkie i łatwe przymocowanie go do robota. Wtyczka do robotów współpracujących z Universal Robots jest dostarczona na załączonej pamięci USB.

**SCHUNK Intec Sp. z o.o.**  
[www.pl.schunk.com](http://www.pl.schunk.com)

### SOLID67. Zmiana protokołu w krótkim czasie

SOLID67 to nowa linia kompaktowych modułów I/O, które upraszczają instalację zdecentralizowaną. Są szczególnie atrakcyjne do zastosowań z czujnikami i urządzeniami IO-Link. Zapewniają osiem portów IO-Link bezpośrednio przy procesie i można je w łatwy sposób podłączyć do klasycznego systemu IO.



Moduły zamknięte są w całkowicie szczelnej metalowej obudowie, dzięki czemu odznaczają się wyjątkową odpornością na wstrząsy i wibracje (15 i 5 G). Można je więc stosować w trudnych warunkach przemysłowych, w tym w temperaturach od -20°C do 70°C. Rozbudowane funkcje diagnostyczne, dostępne przez sterownik lub zintegrowany webserwer, ułatwiają znajdowanie usterek.

Moduły SOLID67 są kompatybilne z wieloma protokołami – obsługują ProfiNet i Ethernet/IP. Aby wybrać protokół, wystarczy użyć przełącznika umieszczonego bezpośrednio na module. To zmniejsza liczbę potrzebnych wersji, a co za tym idzie – nie trzeba tworzyć dużych stanów magazynowych.

**Murrelektronik Sp. z o.o.**  
[www.murrelektronik.pl](http://www.murrelektronik.pl)

# SENOMA

SENOMA Sp. z o.o., 40-153 Katowice, Al. Korfantego 191  
 tel. +48 32/730 30 30, tel. +48 32/730 30 31, fax +48 32 /730 23 23  
 e-mail: senoma@senoma.pl, www.senoma.pl



H  
A  
M  
U  
L  
C  
E

S  
I  
L  
N  
I  
K  
I,  
F  
A  
L  
O  
W  
N  
I  
K  
I,  
S  
O  
F  
T  
S  
T  
A  
R  
T  
Y

www.senoma.pl  
 TECHNIKA NAPĘDOWA  
 MOTOREDUKTORY, PRZEKŁADNIE



W  
A  
Ł  
Y  
C  
A  
R  
D  
A  
N  
A

Ł  
A  
Ń  
C  
U  
C  
H  
Y,  
F  
L  
A  
T  
T  
O  
P  
Y



P  
I  
E  
R  
Ś  
C  
I  
E  
N  
I  
E



www.senoma.pl  
 TECHNIKA NAPĘDOWA  
 S  
P  
R  
Z  
E  
G  
Ł  
A



Viva Omega Wrapflex Thomas Addax Steelflex Liflign Orange Peel Guard	<b>REXNORD</b> <b>TOP-Distributor 2011</b> The company Senoma Sp. z o.o. is one of the TOP-10 distributors of Rexnord couplings in Europe. By excellent product knowledge and customer focus, Senoma Sp. z o.o. has distinguished himself in out-standing consulting- and service performance.	<b>REXNORD</b> <b>TOP-Distributor 2010</b> The company Senoma is one of the TOP-10 distributors of Rexnord couplings in DACH+ sales By excellent product knowledge and customer focus, Senoma distinguished himself in out-standing consulting- and service performance.	<b>REXNORD</b> <b>TOP-Distributor 2009</b> The company Senoma is one of the TOP-10 distributors of Rexnord couplings in English speaking areas. By excellent product knowledge and customer focus, Senoma has distinguished himself in outstanding consulting- and service performance.	
	<b>REXNORD</b> <b>TOP-Distributor 2012</b> The company Senoma Sp. z o.o. is one of the TOP-10 distributors of Rexnord couplings in Europe. By excellent product knowledge and customer focus, Senoma Sp. z o.o. has distinguished himself in out-standing consulting- and service performance.	<b>REXNORD</b> Rodrigo Madiedo Coupling Marketing Mgr Mechelen, July 2011 Declared by Rexnord	Declared by Rexnord Uwe Palm Key-Account-Manager Mechelen, May 2010 Eric Bickley General Manager Mechelen, May 2010	
	Declared by Rexnord Lubomir Vik Area Sales Mgr Mechelen, June 2013 Rodrigo Madiedo Coupling Marketing Mgr Mechelen, June 2013			

# Bezpieczniki szybkie do ochrony komponentów półprzewodnikowych

Rafał Piętka

Wraz z gwałtownym rozwojem energoelektroniki, zapoczątkowanym w latach 50. ubiegłego wieku, nastąpił rozwój różnych odmian półprzewodnikowych przyrządów mocy. Elementy te (np. diody, tyrystory, tranzystory mocy) cechują się słabymi parametrami przeciążeniowymi, dlatego wymagają bardzo wrażliwej i szybko działającej ochrony. Błędy skutkujące zwarzaniem w urządzeniach energoelektronicznych mogą spowodować niemałe uszkodzenia zarówno samego urządzenia, jak i jego otoczenia z uwagi na ryzyko eksplozji. Optymalnym rozwiązaniem w tym przypadku stają się bezpieczniki szybkie, specyficznie zaprojektowane z myślą o ochronie półprzewodnikowych elementów mocy. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie podstawowych pojęć, parametrów i funkcji tych bezpieczników.

## Wprowadzenie do idei bezpieczników szybkich

Dobór bezpiecznika dedykowanego ochronie aparatury energoelektronicznej nie jest procesem trywialnym z uwagi na unikalną specyfikę poszczególnych aplikacji.

Firma MARKEL oferuje wsparcie techniczne podczas doboru bezpieczników szybkich firmy MERSEN, z którą ściśle współpracuje w tej dziedzinie. Wybierając bezpiecznik komponentów półprzewodnikowych, trzeba zwykle sprostać przeciwstawnym wymaganiom. Podczas gdy z jednej strony w trakcie normalnej pracy oczekuje się niskich strat mocy, nieograniczonej żywotności, niskich temperatur korpusu i terminali, zachowując przy tym niskie koszty zakupu, z drugiej strony potrzebujemy rozwiązania, które będzie działało niezwłocznie, przy możliwie minimalnym przepuszczeniu nadmiernej energii i niskim napięciu łuku oraz zachowując racjonalny moment wyzwolenia. Bezpieczniki komponentów półprzewodnikowych mocy projektowane są tak, aby spełniały zestaw parametrów określonych przez międzynarodowe standardy, takie jak UL, CSA i IEC 602694 (np. wzrost temperatury korpusu i zacisków, napięcie łuku), a także uwzględniały potrzeby wynikające z aplikacji użytkownika: energia przepuszczana przez bezpiecznik,



Rys. 1.

powszechnie znana jako  $I^2t$ , oczekiwany cykl życia, rodzaj połączenia, wskaźniki działania bezpiecznika itp. Wiele z wymagań stawianych bezpiecznikom jest ze sobą w sprzeczności, a ich dobór bywa rezultatem pewnego kompromisu. Niemniej jednak nowe konstrukcje bezpieczników oraz nowe procesy produkcyjne pomagają rozwiązać niektóre wyzwania. Co więcej, nowe narzędzia do symulacji, oprócz specyfikacji technicznych MERSEN, upraszczają dobór bezpieczników do wymagających aplikacji energoelektronicznych, takich jak napędy i prostowniki.

## Technologia wykonania bezpieczników

Nowoczesne bezpieczniki szybkie wykonywane są w wielu kształtach i rozmiarach (rysunek 1), ale wszystkie posiadają te same kluczowe cechy. Chociaż

wszystkie części budowy bezpiecznika wpływają na całkowitą ich charakterystykę działania i wydajność, kluczowym elementem jest wkład topikowy bezpiecznika. Typowy bezpiecznik składa się z jednego lub więcej elementów topikowych przyspawanych lub przylutowanych do styków/zacisków bezpiecznika. Przewodniki wykonane są z materiałów o wysokiej przewodności elektrycznej, zaprojektowane z wieloma zredukowanymi sekcjami, zwanymi zwykle „przewężeniami”. Element topikowy otoczony jest wypełniaczem, zwykle piaskiem krzemionkowym. Piasek odgrywa ważną rolę w działaniu bezpieczników. Uczestniczy w procesie gaszenia łuku elektrycznego, powstającego po stopieniu się zredukowanych sekcji w celu otwarcia obwodu. Jego podstawową funkcją jest absorpcja energii wyładowania łukowego w trakcie zwarzenia, natomiast

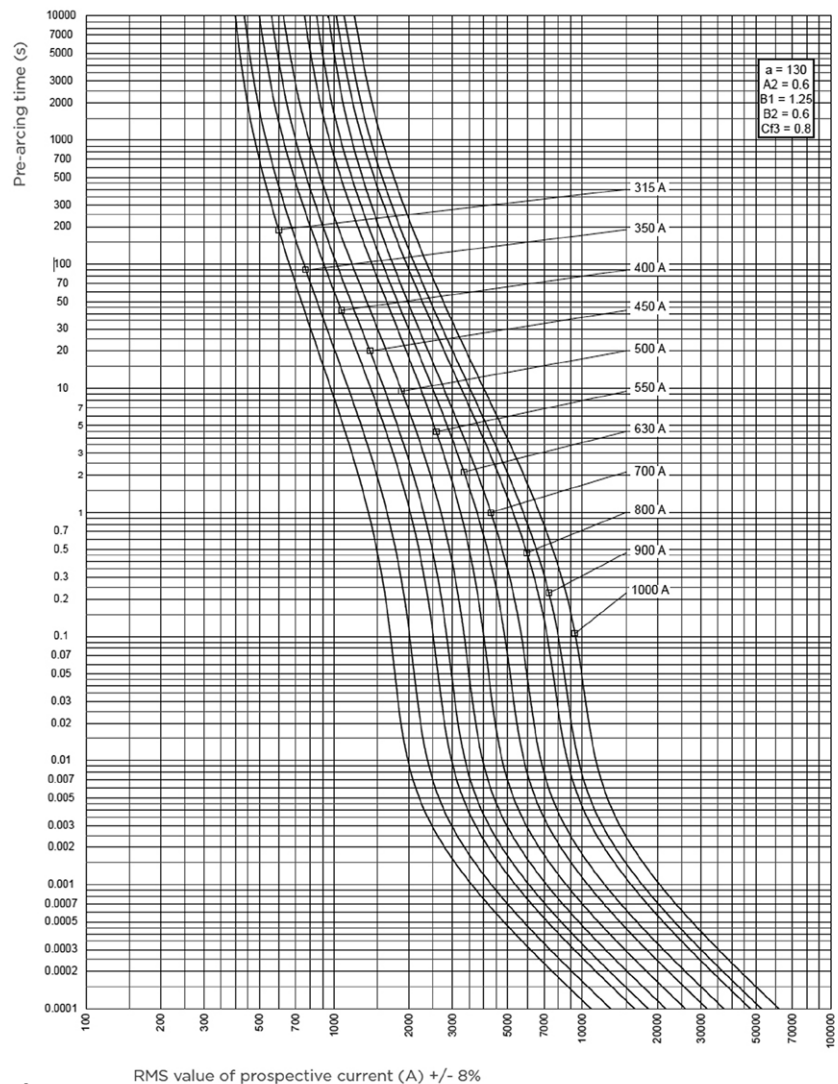


służy także jako chłodnica elementu topikowego podczas normalnej pracy. Piasek przewodzi ciepło do korpusu, który z kolei rozprasza je w otoczeniu bezpiecznika. Korpus wykonuje się z ceramiki lub z tworzywa, aby zapewnić niezbędne właściwości izolacyjne. Podłączenie elementu bezpiecznikowego do ochranianego obwodu umożliwiając złącza końcowe, zwykle wykonane z powlekaną miedzi. Pozostałe elementy bezpiecznika różnią się w zależności od jego rodzaju, przeznaczenia, jak i zastosowanych metod produkcji.

### Podstawowe parametry bezpieczników

Bezpiecznik jest skalibrowanym urządzeniem, zaprojektowanym w taki sposób, by w określonych warunkach przetężeniowych przerwać przewodzenie prądu. Zmniejszone obszary przekroju w elemencie topikowym regulują wartość znamionową prądu bezpiecznika. Materiał elementu, masa i konfiguracja wycięcia wraz z otaczającymi materiałami zabudowy przyczyniają się do zwiększania wydajności pracy bezpiecznika. Zredukowana ścieżka odcinka przewodnika prowadzi do wyższej gęstości prądu, a tym samym do wyższego ciepła wytwarzanego w przewężeniach. Całkowity przekrój wycięcia określa wstępne  $I^2t$  potrzebne do stopienia elementu bezpiecznikowego, innymi słowy energię, którą należy dostarczyć do bezpiecznika, aby stopić ścieżkę o zmniejszonym przekroju. W przypadku długotrwałego przetężenia element bezpiecznikowy wytwarza ciepło z większą intensywnością, niż wypełniacz jest w stanie go odprowadzić. Jeśli przetężenie utrzyma się ponad graniczne dla topika wartości, struktura przewężeń osiągnie swoją temperaturę topnienia. Charakterystyka czasowo-prądowa (rysunek 2) jest reakcją termiczną bezpiecznika na prąd przetężeniowy, reprezentuje moment stopienia się wkładu w funkcji natężenia prądu. Przedstawiona krzywa obrazuje podstawową zależność: im wyższa wartość przetężenia, tym ogólnie mniejszy czas potrzebny na wyłączenie obwodu.

Po upływie czasu tzw. przedłukowego bezpiecznik przechodzi w tryb iskrzenia.



Rys. 2.

Struktura bezpiecznika wytworzy napięcie łuku wyższe niż napięcie źródła, co spowoduje redukcję prądu do zera. Ten okres nazywany jest czasem wyładowania łukowego. W tym okresie bezpiecznik będzie musiał rozproszyć energię dostarczaną przez źródło, a także energię zmagazynowaną w indukcyjności obwodu. Całkowita energia przepuszczona przez bezpiecznik, określana jako całka Joule'a  $I^2t$ , jest wynikiem sumy energii potrzebnej do stopienia wkładu oraz energii wydzielonej w trakcie gaszenia łuku. Wartości te podane są dla wszystkich bezpieczników komponentów półprzewodnikowych firmy MERSEN w kartach katalogowych. Podstawowym warunkiem zabezpieczenia przed skutkami zwarć jest, aby całkowita

wartość energii wyrażonej całką  $I^2t$  przepuszczona przez bezpiecznik podczas awarii była mniejsza niż odpowiadająca jej wartość  $I^2t$ , która powoduje uszkodzenie systemu.

### Przykłady zastosowania

Półprzewodniki mocy chronione bezpiecznikami o dużej prędkości działania są stosowane w wielu aplikacjach, takich jak napędy prądu przemiennego, napędy prądu stałego, trakcja, softstarty, piece indukcyjne i falowniki. Źródłem zasilania może być sieć, lokalny generator lub akumulatory. Konfiguracje obwodów dla tych aplikacji są bardzo różnorodne, stąd dla każdego rodzaju obwodu inaczej wyznacza się odpowiedni poziom RMS i poziom prądu obciążenia dla

instalacji bezpiecznika. Aplikacje te są podzielone na dwie zasadnicze grupy: prądu przemiennego i stałego, ale wiele z nich – znajdujących się w nowoczesnych obwodach wykorzystujących w swojej pracy zarówno prąd przemienny, jak i stały – posiada zwykle wymagania dotyczące zastosowania bezpieczników w dwóch częściach. Przykładowo jednocześnie po stronie przetwornicy AC/DC i następnie w sekcji falownika. Mimo że elektroniczne zabezpieczenia przed przeciążeniem i zwarcieniem są zwykle wbudowane w nowe elektroniczne półprzewodniki mocy, zabezpieczenie w postaci szybkiego bezpiecznika topikowego jest nadal niezbędne do zapewnienia poprawnej ochrony, ponieważ z uwagi na prostą zasadę działania daje pewność wyłączenia w przypadku awarii wspomnianych systemów lub samego urządzenia.

### Bezpieczniki półprzewodnikowe wysokiego napięcia

Wzrost napięcia towarzyszący ochronie IGBT i IEGT, zapotrzebowanie na niższy poziom  $I^2t$  do ochrony IGBT i wymagania stawiane przy zabezpieczaniu dużych prostowników doprowadziły do powstania nowych wartości znamionowych i zwiększonej wydajności bezpieczników topikowych. Nie jest już rzadkością spotkanie bezpieczników do urządzeń energoelektronicznych o wartościach rzędu 10 kV przy 1000 A. Specjalnie wykonane płaskie bezpieczniki o niskiej indukcyjności (rysunek 3) zostały zaprojektowane w celu zapewnienia ochrony dla wymagających aplikacji. Cechują się niskim poziomem  $I^2t$



Rys. 3.



i wyjątkowo wysoką zdolnością wyłączenia. Rynek energoelektroniczny jest zbyt skomplikowany, by przedstawić rozwiązania ochrony wszystkich aplikacji półprzewodnikowych mocy. Szczególnie w wymagających przypadkach niezbędne okazuje się przeprowadzanie symulacji uszkodzeń w profesjonalnych laboratoriach MERSEN.

### Podsumowanie

Koszt jest zawsze czynnikiem decydującym przy wyborze bezpiecznika, ale należy przy tym procesie uwzględnić koszty związane z ryzykiem uszkodzenia całego systemu. W tym artykule przedstawiono w skrócie główne cechy charakterystyczne bezpieczników komponentów półprzewodnikowych. Jest to jednak zdecydowanie zbyt mało, by umożliwić właściwy dobór wkładki do danej aplikacji. Faktyczny wybór bezpieczników wymaga analizy szerokiej gamy parametrów, szczegółowych dyskusji między inżynierami projektu a wsparciem technicznym. Firma

MARKEL, ściśle współpracując z inżynierami MERSEN, oferuje doradztwo i pomoc w doborze elementów na najwyższym poziomie, nawet w przypadku rzadkich, wymagających aplikacji. Nasze wsparcie techniczne pomaga dokonać najlepszego wyboru pod względem technicznym i ekonomicznym. Zapraszamy do składania zapytań. ■

Dane kontaktowe: Rafał Piętka



Markel Sp. z o.o.  
ul. Okulickiego 7/9  
05-500 Piaseczno  
tel. 22 428 10 29  
e-mail: markel@markel.pl

reklama

Które wydanie  
jest dla Ciebie?

2/2020

Automatyzacja produkcji  
Efektywność w energetyce

3/2020

Automatyka i robotyka

4/2020

Bezpieczeństwo w przemyśle

# ANALIZA OLEJU MOŻE BYĆ TWOJĄ PIERWSZĄ LINIĄ OBRONY!

Środki smarowe to nasza pasja. Dla Ciebie to fundament realizacji istotnych funkcji w systemie technicznym Twojego parku maszynowego. Powierz Serwisowi Olejowemu LOTOS Oil zarządzanie gospodarką smarowniczą. Korzystaj z naszego doświadczenia, tak jak wiele renomowanych firm w kraju i za granicą. Zyskaj gwarancje najwyższej jakości produktów, bezawaryjność maszyn i minimalizację kosztów eksploatacji. Wykorzystaj analizę olejową do monitorowania stanu maszyny i środka smarowniczego i zabezpiecz swoje interesy!

Oferta dostosowana do Twoich potrzeb:

- bezpłatny audyt gospodarki smarowniczej w przedsiębiorstwie;
- pomiary online za pomocą bezpośredniego próbkowania z maszyn u klienta;
- pielęgnacje układów olejowych (filtry, pompy);
- profesjonalny serwis środków smarowych: napełnianie i oczyszczanie układów, filtracje olejów i cieczy roboczych;
- pomiary własności oleju: klasa czystości (ISO, NAS, SAE, GOST), stopień nasycenia wodą, temperatura oleju, lepkość oleju w danej temperaturze i 40C, liczba kwasowa, zasadowa, ilość osadów, zawartość ścieru Fe i inne;
- mikroskopowe pomiary klasy czystości oleju (ISO, NAS, GOST) z raportem składu granulometrycznego cząstek zanieczyszczeń oraz zdjęciami i opisami rodzajów cząstek;
- szczegółowe analizy laboratoryjne olejów, zawierające pomiary podstawowych własności fizykochemicznych, powierzchniowo czynnych, zawartości pierwiastków od zużycia dodatków wraz z komentarzem i oceną stanu oleju;
- komentarze do badań;
- doradztwo techniczne w zakresie olejów smarowych, problemów eksploatacyjnych i serwisu;
- szkolenia pracowników w tematyce olejowej.

**Żaden test nie mówi całej historii. Interpretacja wyników testu wymaga umiejętności. LOTOS LUBRICATION SERVICE - nasza wiedza, Twoja pewność.**



**Kontakt bezpośredni:**  
tel. +48 32 323 74 82  
kom. +48 500 148 593  
kom. +48 505 050 099  
e-mail: [lotosoil.serwis@lotosoil.pl](mailto:lotosoil.serwis@lotosoil.pl)



Automatyzacja procesów spawania nierdzewnych stali austenitycznych na potrzeby przemysłu spożywczego, chemicznego i kosmetycznego

# Piękna i Bestia, czyli ucieczka z paszczy korozji

Lechosław Tuz, Krzysztof Sulikowski

Specyfika przemysłu spożywczego, chemicznego i kosmetycznego wskazuje na obecność agresywnego środowiska korozyjnego występującego podczas produkcji wyrobów. W obliczu rosnącej dostępności stali nierdzewnej i dynamicznego rozwoju technologii jej obróbki zwiększa się liczba zastosowań w branżach przemysłu przetwórczego, gdzie korzystne właściwości fizykochemiczne i mechaniczne stali nierdzewnej pozwalają na wydłużenie życia zbiorników, maszyn i armatury.

Niemniej jednak same właściwości stali nierdzewnej to za mało, żeby zagwarantować jej odporność na korozję. Odpowiednia technologia obróbki jest w tym przypadku równie ważna, jak sam materiał, o czym niestety często przekonują się użytkownicy; po kilku latach użytkowania sama stal pozostaje nienaruszona, ale na spawanych złączach pojawiają się zacieki. Sytuacja komplikuje się dodatkowo poprzez zmieniającą się dynamikę rynku pracy; z uwagi na brak wykwalifikowanej kadry, przy jednoczesnym wzroście zapotrzebowania na wyroby nierdzewne i coraz krótszych terminach realizacji zamówień coraz więcej producentów decyduje się na robotyzację produkcji. Dotyczy to w szczególności jednego z kluczowych procesów w produkcji sprzętu nierdzewnego, czyli spawania. O czym trzeba pamiętać przy spawaniu stali nierdzewnej kwasoodpornej do zastosowań w przemyśle spożywczym i chemicznym? Czy warto inwestować w rozwiązania zrobotyzowane i czego od nich oczekiwać? Poniżej postaramy się odpowiedzieć pokrótce na te pytania.

## Nie pękaj i trzymaj fason!

Wśród różnych gatunków stali wykorzystywanych na potrzeby przemysłów spożywczego i chemicznego prym wiodą stale austenityczne, gdzie wśród wielu gatunków najpopularniejsze pozostają stale typu 304 i 316, a grubości elementów mieszczą się w zakresie już od 1 mm do kilkunastu milimetrów. Austenityczne stale nierdzewne zaliczane są do materiałów dobrze spawalnych, niemniej podczas spawania różnymi metodami mogą występować pewne problemy. Wynikają one ze skłonności do pęknięć gorących i tworzenia się wydzieleni węglików lub fazy sigma w tzw. obszarze strefy wpływu ciepła (obszar stali wzdłuż spoiny, który nagrzewa się podczas spawania). Dodatkowo, na skutek właściwości fizycznych stali, mogą pojawić się deformacje wyrobu, co może obniżyć wytrzymałość spoin.

Z kolei wydzielenie się węglików (tzw. udekorowanie granic ziarn) powoduje zubożenie w chrom obszarów przy granicach ziarn. Jeżeli stężenie chromu spadnie poniżej 10,5%, wówczas



Zrobotyzowane spawanie stali nierdzewnej

właściwości antykorozyjne stali w tym obszarze ulegają znacznemu zmniejszeniu. Odpowiednia zawartość chromu jest niezbędna również w obszarze warstwy wierzchniej, ponieważ jest on odpowiedzialny za tworzenie warstwy pasywnej (tlenku chromu), która zapewnia wysoką odporność na korozję. Stąd spawanie należy prowadzić przy zachowaniu odpowiedniej osłony gazowej i możliwie optymalnych parametrów, gwarantujących stworzenie odpowiednich warstw tlenkowych na powierzchni.

## Co było pierwsze: jajko czy kura – czy najpierw norma, czy nomenklatura?

Według norm polskich (obecnie o statusie norm wycofanych) austenityczne stale nierdzewne tradycyjnie nazywane były stalami kwasoodpornymi, a wśród gatunków najczęściej występowała stal w gatunku 304 (X5CrNi18-10 lub 1.4301)/304L (X3CrNi19-9 lub 1.4307) lub stal 316 (X5CrNiMo17-12-2 lub

1.4401)/316L (X2CrNiMo17-12-2 lub 1.4404), o nieco korzystniejszych właściwościach. Obecnie stale austenityczne ujęte są m.in. w normie PN-EN 10088. Stale te zaliczane są do grupy stali stopowych, gdzie przy niskiej zawartości węgla stosuje się przede wszystkim dodatek chromu i niklu. Chrom w tych stalach zapewnia odporność na korozję w środowisku kwasów organicznych i nieorganicznych, a nikiel strukturę austenityczną. Obniżona zawartość węgla również korzystnie wpływa na odporność na korozję. Ze względu na ferrytyczny charakter krystalizacji stali w jej strukturze poza austenitem może występować niewielka zawartość ferrytu wysokochromowego, zwanego ferrytem delta.

### Ulotna trwałość, czyli najczęstsze problemy podczas spawania stali austenitycznych

Aby stal nierdzewna zachowała swoje właściwości, należy kategorycznie unikać ryzyka jej zanieczyszczenia w obróbce. Z tego powodu produkcja wyrobów ze stali austenitycznych wymaga oddzielenia, a nawet izolacji od miejsc spawania stali niestopowych. W firmach zajmujących się produkcją mieszaną, obejmującą wykonywanie wyrobów ze stali niestopowych i stopowych, kluczowe jest unikanie zabrudzenia stali stopowej stalą niestopową, a dokładniej żelazem. Do zanieczyszczenia może dojść na skutek osadzania się pyłu (np. po szlifowaniu) albo kurzu zgromadzonego na przyrządach lub narzędziach (w tym również elektronarzędziach). Źródłem pyłu mogą być również ubrania personelu, który raz zajmuje się stalami stopowymi, a raz stalami niestopowymi. Zanieczyszczenie żelazem jest niebezpieczne, ponieważ powoduje uwrażliwienie stali m.in. na korozję wżerową i jest trudne do wykrycia. Pozostawienie zanieczyszczeń może spowodować ograniczenie trwałości wyrobu nawet do kilkunastu miesięcy. Z kolei ich usuwanie jest żmudnym procesem, wymagającym trawienia chemicznego powierzchni całego wyrobu.

Innym problematycznym obszarem jest spawanie jednościgowe elementów cienkościennych w warunkach wysokiego usztywnienia. Powstające naprężenia, wywołane skurczem spawalniczym, powodują deformację i/ lub falowanie powierzchni wyrobów. Deformacjom można zapobiec poprzez zmniejszenie przekroju czynnego ściegu, czyli zastąpienie spawania jednościgowego dwoma ściegami prostymi, co skutkuje ograniczeniem ilości ciepła wprowadzanego do stali. Sposób ten stosuje się w przypadku spawania metodą TIG cienkich blach, gdzie przez ułożenie dwóch ściegów z niewielką ilością materiału dodatkowego ogranicza się skłonność do pęknięć gorących oraz zmniejsza się wymagania dla przygotowania brzegów do spawania. Niestety jednak takie rozwiązanie aż dwukrotnie wydłuża czas wykonywania połączenia, znacznie zmniejszając wydajność produkcji.

Również ze względu na skłonność do deformacji stali austenitycznych często konieczne jest wykonywanie małych, ale gęsto ułożonych spoin szczepnych. Podnoszą one sztywność konstrukcji oraz przeciwdziałają skurczowi spawalniczemu i przemieszczaniu się blach podczas spawania. Źródłem potencjalnych problemów jest fakt, że spoiny szczepne muszą być



Zastąpienie spawania jednościgowego dwoma ściegami prostymi

przetopione, co oznacza lokalne występowanie jeziorek spawalniczych z przetopionego materiału dodatkowego. Spoiny szczepne należy zatem zawsze wykonywać z metalu zgodnego ze stosowanym gatunkiem stali. Zastosowanie w tym przypadku gatunku zarówno gorszego, jak i lepszego, w momencie, kiedy taka spoina szczepna jest narażona na korozję elektrochemiczną, będzie tworzyło ogniwo korozyjne i potencjalne miejsce powstania nieszczelności lub perforacji ścianki.

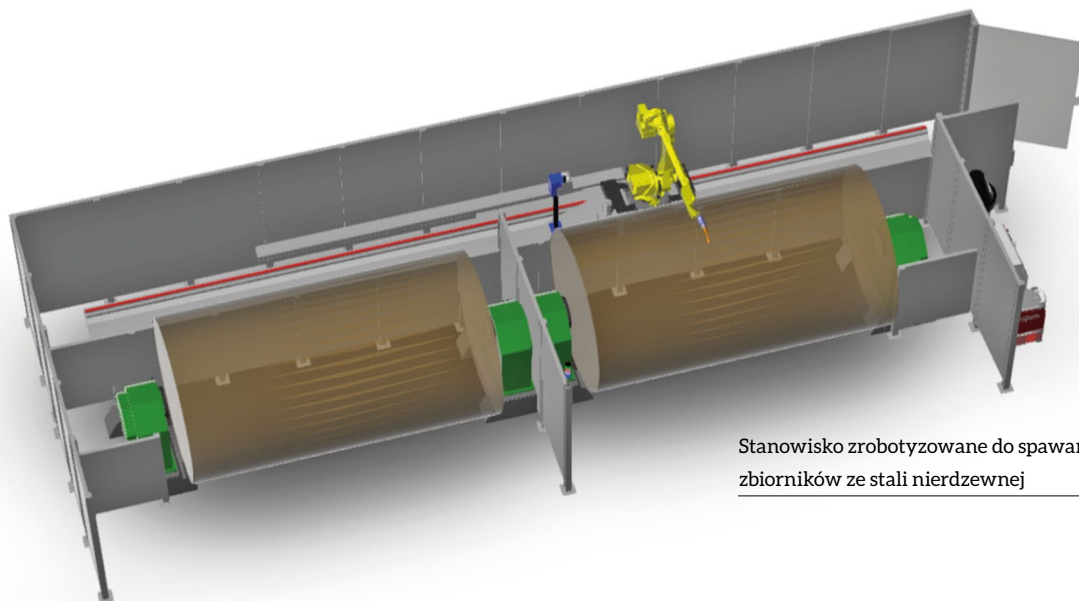
Jednym z rozwiązań pozwalających na uniknięcie uwrażliwienia stali nierdzewnej na korozję w obszarach spawania z materiałem dodatkowym jest tzw. spawanie autogeniczne, bez materiału dodatkowego. Pozwala ono na zachowanie czystości stali nierdzewnej i uzyskanie łagodnych krawędzi wyrobu, które nie wymagają późniejszej obróbki mechanicznej (zmniejszając ryzyko uszkodzenia warstwy pasywnej). Jednak metoda ta jest pracochłonna i mało wydajna, gdyż wymaga stosowania niewielkich odstępów technologicznych i dokładnego przygotowania brzegów do spawania. Równie często konieczne jest odpowiednie ułożenie blach względem siebie np. w złączach narożnych. Wynika to z faktu, że spoinę tworzą stopione brzegi, gdzie zbyt duży odstęp lub niewłaściwe ułożenie blach względem siebie może skutkować osłabionym, wklęsłym licem lub nawet zapadnięciem się spoiny.

### Do tej roboty potrzeba robota

O ile opisane problemy na pierwszy rzut oka nie wydają się krytyczne, o tyle w dobie kurczącej się liczby fachowców i coraz krótszych terminów realizacji zleceń potrafią znacznie podkopać zarówno dochodowość produkcji, jak i prestiż przedsiębiorstwa. W tej sytuacji wiele firm decyduje się na reorganizację i wprowadzenie rozwiązań zrobotyzowanych. Czy jednak obietnice składane przez integratorów automatyki przemysłowej znajdują odzwierciedlenie w rzeczywistości? Spróbujemy odpowiedzieć na to pytanie na przykładzie spawania zbiorników ze stali austenitycznej.

### Stanowisko zrobotyzowane – wyspa nie bezлюдna, ale izolowana

Zacznijmy od tego, że robotyzacja jest oparta na automatyzacji produkcji, gdzie personel najniższego szczebla zastępowany jest przez odpowiednio przygotowanych operatorów stanowisk.



Stanowisko zrobotyzowane do spawania zbiorników ze stali nierdzewnej

Powoduje to, że wszystkie prace wykonywane są najczęściej na osobnym stanowisku, które musi spełniać stosunkowo ostre wymagania dyrektywy maszynowej, jak i innych norm przedmiotowych. Dzięki temu ryzyko zanieczyszczenia stali nierdzewnej jest mniejsze, a sam proces spawania przebiega szybciej i sprawniej.

### Czas – to pieniądź

Jednym z najbardziej wymiernych efektów robotyzacji spawania jest przyspieszenie realizacji zamówień, a co za tym idzie – zwiększenie rentowności produkcji. Jest to rezultat nie tylko szybszego wykonywania spoin przez robota, ale i typizacji procesów i wyrobów, która nieodłącznie towarzyszy robotyzacji, a która wpływa korzystnie na poprawę standardów organizacyjnych przedsiębiorstwa. Skrócenie czasu może następować również przez możliwość realizacji wielu zadań jednocześnie poprzez organizację pracy na stanowiskach wyposażonych w dwa lub więcej obszarów roboczych. Na takich stanowiskach praca robotów i ludzi przebiega równocześnie; podczas gdy roboty spawają w jednych obszarach roboczych, operatorzy zajmują się montażem/demontażem wyrobów w drugich. Zaletą tego typu rozwiązania jest zarówno zwiększenie szybkości i powtarzalności wykonywanych prac, jak i podniesienie bezpieczeństwa pracowników, którzy pozostają całkowicie odizolowani od samego procesu spawania.

### Powtarzalność ramienia w ramieniu z jakością

Ramię robota nie jest, w kontekście spawalniczym, niczym innym, jak ręką spawacza trzymającego palnik. Dokładność pozycjonowania ramienia oraz jego ruchliwość umożliwiają odpowiednie zorientowanie uchwytu spawalniczego względem układanej spoiny i pozycji spawania. Ma to kluczowe znaczenie

dla uzyskania odpowiedniego wtopienia, czyli odpowiedniego kształtu lica spoiny. Wysoki stopień ruchliwości robota w połączeniu z jego programowalnością daje możliwość odtworzenia

ruchów ręki spawacza przy zachowaniu stałej długości łuku. Powoduje to, że parametry procesu spawania są względnie stałe, a uzyskiwane połączenia powtarzalne dla całej produkcji. W warunkach pracy w środowisku korozyjnym, gdzie kształt powierzchni spoiny wpływa znacząco na jej jakość, ma to ogromne znaczenie: może te właściwości polepszać. Generalnie najlepsze jakościowo są spoiny o licach przechodzących łagodnie w materiał spawany, co utrudnia wytrącanie się osadów korozyjnych i tworzenie ogniw stężeńowych. Równie ważne jest, żeby stal nierdzewna podczas spawania nie była przegrzewana. Uniknięcie zbyt dużej ilości ciepła może następować nie tylko przez regulację długości łuku i natężenia prądu, ale również przez możliwość sto-



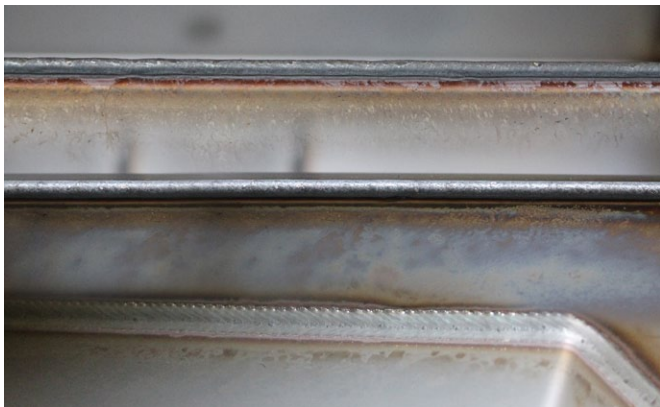
Spawanie zbiornika ze stali nierdzewnej

sowania łuku pulsacyjnego o złożonym przebiegu. W warunkach tak ścisłej kontroli procesu spawalniczego możliwość zagwarantowania stałych, powtarzalnych parametrów spawania jest nieoceniona i znacznie podnosi zarówno jakość, jak i efektywność produkcji.

### Robot elastyczny, czyli robotyzacja produkcji jednostkowej

Zbiorniki dla przemysłu spożywczego, jak i chemicznego często stanowią element produkcji jednostkowej, gdzie o ile spoiny i stosowane technologie spawania są powtarzalne, o tyle gabaryt zbiornika każdorazowo może być inny. Rodzi to pytanie, czy opłaca się robotyzować produkcję w przypadku realizacji zamówień jednostkowych. Odpowiedź brzmi – tak, a z pomocą przychodzi zaprogramowanie stanowiska w oparciu o tzw. zakresy

gabarytowe, dzięki czemu możliwe jest ograniczenie różnorodności oprzyrządowania i szybkie przebrojenie stanowiska. Samo zastosowanie robota pozwala na wykonywanie każdorazowo różnych spoin w oparciu o wcześniej wyznaczone parametry. Powoduje to, że czas poświęcony na pojedynczy wyrób może być przenoszony w sposób bezpośredni na inne, o różnej wielkości. Ograniczeniem pozostają tu zawsze właściwości metalu spawanego, gdzie niestety nie da się stosować jednych parametrów dla każdego rodzaju złącza, spoiny czy grubości stali, ale często raz opracowana technologia znajduje zastosowanie w innych elementach. W ten sposób, pomimo każdorazowej konieczności zmiany programu spawającego robota, produkcja przebiega znacznie szybciej i sprawniej w porównaniu ze spawaniem ręcznym i daje lepszą gwarancję końcowej jakości produktu.



Spawanie stali nierdzewnej metodą MIG – przykładowe spoiny

### Z TIG na MIG, czyli łuk spawalniczy ujarzmiony

Z racji charakterystyki spoin wymaganej dla zachowania właściwości stali nierdzewnej, tradycyjnie do spawania stali austenitycznych wykorzystywano metodę TIG. TIG jednak, obok niezaprzeczalnych zalet jakościowych, ma sporo wad w kontekście rentowności produkcji; jest to proces czasochłonny, pracochłonny i wymagający wykwalifikowanej kadry. Co więcej, robotyzacja tego procesu, która mogłaby rozwiązać te kwestie, jest znacznie trudniejsza niż robotyzacja metody MIG i daje słabsze rezultaty. O ile jednak robotyzacja tej metody nie przyniosła spektakularnych sukcesów, same roboty, w pewnym sensie, zatriumfowały. Podczas przeprowadzanych testów TIG/MIG okazało się bowiem, że poprzez stabilizację łuku spawalniczego, ścisłą kontrolę gazów spawalniczych i podawanego materiału można zrobotyzowanym MIG-iem uzyskać spoiny o parametrach rywalizujących z TIG-iem. Co więcej, dodatek materiału podczas spawania pozwala na częściową kompensację błędów przygotowania brzegów do spawania i zapewnia ograniczenie skłonności do pęknięć gorących i deformacji, szczególnie dużych, przestrzennych konstrukcji skrzynkowych. Wstępne zamocowanie i usztywnienie elementów poprzez odpowiednio wykonane spoiny szczerwne zapewnia możliwość swobodnej manipulacji wyrobem i jego odpowiednie zorientowanie podczas spawania. Pozwala to na wykonanie praktycznie

wszystkich spoin dostępnych dla ramienia robota „na gotowo” przy braku konieczności obróbki wykańczającej. Metoda ta doskonale sprawdza się przy wykonywaniu spoin pachwinowych, jak i w przypadku spoin narożnych. Możliwość zmiany metody spawalniczej z TIG na MIG przy gwarancji tej samej jakości spoin jest rewolucyjna; zrobotyzowany MIG jest ponad trzykrotnie szybszy od TIG-a, a łatwość nadzoru nad procesem pozwala na szybkie przeszkolenie nawet niewykwalifikowanej kadry. Zysk uzyskany dzięki szybszej realizacji zleceń, a dzięki temu – wzrostowi ich liczby, pozwala często na zwrot poniesionych kosztów stanowiska w przedziale od 24 do 36 miesięcy przy założeniu pracy na 2–3 zmiany. Co więcej, optymalna robotyzacja spawania pozwala na zmniejszenie ilości wykorzystywanych materiałów i ograniczenie odpadów, co trwale podnosi efektywność pracy.

### Dla chcącego nic trudnego

Robotyzacja spawania stali austenitycznych to temat, który obecnie wywołuje sporo emocji wśród polskich przedsiębiorców. Niemniej jednak nie sposób zaprzeczyć ogromnym możliwościom drzemącym w odpowiednio zautomatyzowanej linii spawalniczej; możliwościom rozwojowym, jakościowym i finansowym dla całego przedsiębiorstwa. Czego jeszcze zatem trzeba, żeby więcej producentów z branży spożywczej, chemicznej czy farmaceutycznej zaczęło korzystać z usług robotów? Przede wszystkim – dobrych chęci. Automatyzacja produkcji, szczególnie w przypadku produktów dedykowanych do przemysłów o ściśle określonych normach i powszechnie występujących środowiskach korozyjnych, wymaga zaangażowania nie tylko ze strony integratora, ale i ze strony technologów i projektantów dla przystosowania wyrobu/procesu dla potrzeb automatyzacji. Trzeba jednak pamiętać, że najtrudniejszy jest pierwszy robot przemysłowy na hali. Kolejne to już tylko kwestia czasu i przyjemności współpracy z nimi, tym bardziej, że z racji popularności stali nierdzewnej usprawnienia w obszarze zrobotyzowanego spawania są ogromne i stale postępujące. Aktualnie ponad połowa przedsiębiorców decyduje się na zakup kolejnych stanowisk zrobotyzowanych w ciągu 2–3 lat od zakupu pierwszego robota i jest to fakt, który najlepiej podsumowuje rosnący potencjał robotyzacji w sektorze produkcyjnym stali nierdzewnej. ■

dr Lechosław Tuz, mgr Krzysztof Sulikowski



**ROBOTY**  
PRZEMYSŁOWE

Roboty Przemysłowe Sp. z o.o.

ul. Góra Libertowska 47

30-444 Libertów k. Krakowa

tel. 12 396 34 24

fax 12 396 34 27

e-mail: info@robotyprzemyslowe.pl

www.RobotyPrzemyslowe.pl

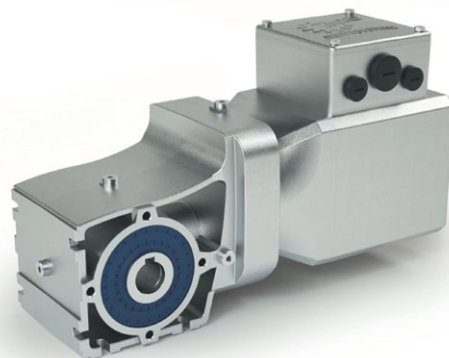
## Wiadomości ze świata napędów NORD

# Tak wydajne, jak to tylko możliwe: nowa generacja silników NORD IE5+

**W** porównaniu z obecną serią IE4 nowa generacja silników NORD znacznie zmniejsza straty i posiada sprawność znacznie przekraczającą klasę sprawności IE5. Niewentylowany silnik o gładkiej powierzchni osiąga wysoką wydajność w szerokim zakresie momentu obrotowego, dzięki czemu optymalnie nadaje się do pracy w zakresie częściowego obciążenia. Dzięki higienicznej konstrukcji zmywalnej jest łatwy do czyszczenia. Zapewnia również wysoką odporność na korozję – jest idealny do stosowania w obszarach, gdzie wymagana jest wysoka higiena.

Dzięki szerokiemu zakresowi częstotliwości, przeciążalności i wysokiej gęstości mocy kompaktowy silnik IE5+ idealnie nadaje się do redukcji wersji. Zmniejszenie liczby używanych wersji napędów zapewnia znaczne korzyści dla użytkownika, takie jak zminimalizowane koszty administracyjne i oszczędniejsze procesy produkcyjne, logistyczne, magazynowe i serwisowe. W połączeniu z wysoką wydajnością całkowity koszt posiadania można znacznie zmniejszyć.

Nowy silnik IE5+ może być połączony z przekładniami NORD i elektroniką napędową jako system modułowy i będzie dostępny od drugiego kwartału 2020 r. Początkowo zostanie wprowadzony w zakresie mocy od 0,25 do 1,1 kW z ciągłym momentem obrotowym od 1,6 do 4,8 Nm. Stopniowo dodawane będą kolejne rozmiary i moce.



### Podsumowanie

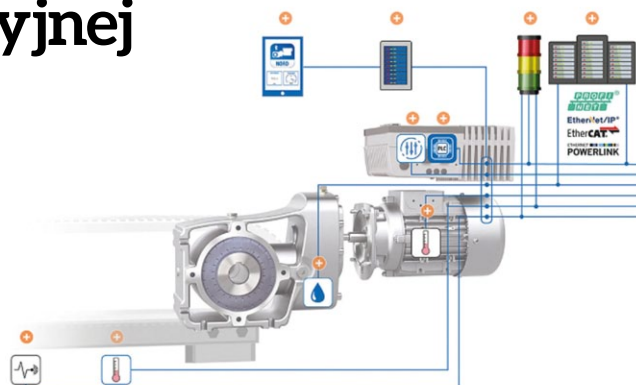
- Najnowszej generacji silnik synchroniczny z magnesem trwałym (PMSM).
- Zakres mocy od 0,25 do 1,1 kW w jednym rozmiarze.
- Montaż kołnierzowy IEC B14, montaż kołnierzowy IEC B5, montaż kołnierzowy czołowy NEMA C, montaż bezpośredni do wszystkich przekładni NORD.
- Ciągły moment obrotowy od 1,6 do 4,8 Nm w jednym rozmiarze.
- Zakres prędkości od 0 do 2100 obr./min.
- Opcjonalnie z obróbką powierzchni nsd tupH i klasą ochrony IP69K.
- Enkoder zintegrowany z silnikiem w standardzie; opcjonalnie zintegrowany hamulec mechaniczny. ■

## Monitorowanie warunków dla konserwacji predykcyjnej

**W** przypadku MONITOROWANIA WARUNKÓW dane dotyczące napędu i stanu są zapisywane okresowo lub w sposób ciągły w celu optymalizacji bezpieczeństwa operacyjnego i wydajności maszyn i urządzeń. MONITOROWANIE WARUNKÓW może dostarczyć istotnych informacji dla KONSERWACJI PREDYKCYJNEJ. Celem jest proaktywna konserwacja maszyn i urządzeń, skrócenie przestoju i zwiększenie wydajności całego zakładu.

### Najważniejsze zalety rozwiązania

- Wykrywanie i unikanie niedopuszczalnych stanów pracy na wczesnym etapie.
- Konserwacja zorientowana na status zastępuje konserwację opartą na czasie.
- Planowalne przestoje maszyn i instalacji w oparciu o rzeczywiste dane dotyczące napędu i procesu.
- Redukcja kosztów serwisu i materiałów.
- Dłuższa żywotność komponentów i maszyny.
- Zwiększona dostępność systemu.
- Unikanie nieplanowanych przestoju.
- Planowalna i zoptymalizowana pod względem kosztów naprawa. ■





# Rozbudowa NORD w Bargteheide



**D**zień 20 listopada 2019 r. był dla NORD DRIVESYSTEMS kamieniem milowym dzięki budowie nowego i automatycznego magazynu z małymi częściami dla Zakładu 11, który rozwinięciem przyszłościowy charakter Getriebebau Nord.

Od momentu założenia firmy w 1965 r. siedziba główna firmy NORD

DRIVESYSTEMS z centrum technologicznym i logistycznym, badaniami i rozwojem, zapewnianiem jakości, montażem i administracją stale rośnie. W szczególności infrastruktura logistyczna jest regularnie dostosowywana do rosnącego popytu międzynarodowego. W siedzibie głównej NORD w Bargteheide KNAPP AG buduje nową konstrukcję w Zakładzie 11 – automatyczny magazyn drobnych części i magazyn o wąskich korytarzach, o pojemności 72 000 tac i 4500 miejsc paletowych. Przychodzące towary i zdolności działów wysyłkowych są rozszerzone o siedem dodatkowych ramp załadunkowych i rozładunkowych. Ponadto Zakład

11 będzie obejmował duży obszar na materiały opakowaniowe, aby zapewnić globalną podaż części. Nowa konstrukcja zapewnia większe możliwości logistyczne, które zmniejszają obciążenie magazynu wysokiego składowania i istniejących obszarów magazynowych, a także poprawiają opcje kontroli łańcucha dostaw. ■



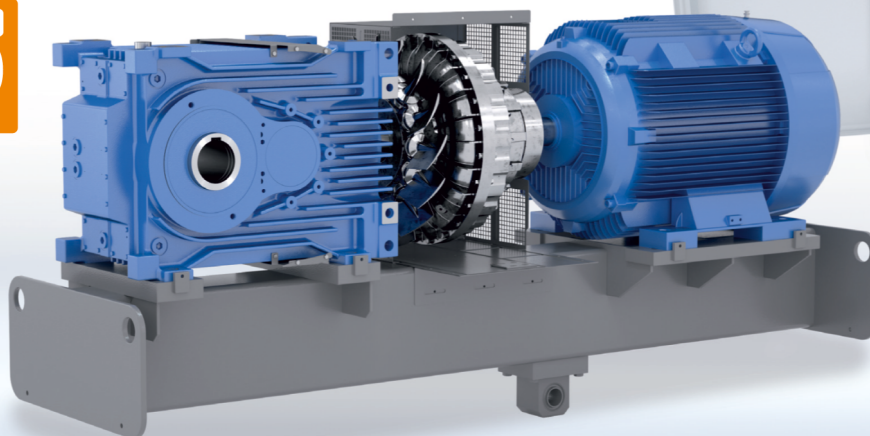
**NORD Napędy Sp. z o.o.**  
Zakrzów 414  
32-003 Podłęże  
tel. 12 288 99 00  
fax 12 288 99 11  
e-mail: [biuro@nord.com](mailto:biuro@nord.com)  
[www.nord.com](http://www.nord.com)

reklama

## DER ANTRIEB

Niezawodny. Wszechstronny. Globalny.

**NORD  
4.0  
READY!**



### REDUKTORY

- wzmocnione łożyska
- Cichobieżność

### SILNIKI

- Wysoka sprawność
- Ogólnoświatowe standardy

### ELEKTRONIKA NAPĘDOWA

- Kompaktowa budowa
- programowalne funkcje



NORD Napędy sp. z o.o. | tel.: +48 12 288 99 00 | [biuro@nord.com](mailto:biuro@nord.com)

[nord.com](http://nord.com)

## Perfekcyjny szereg systemu zasilania

# Emparro Premium Power

Murrelektronik oferuje wysokiej jakości rozwiązania do efektywnego i niezawodnego zasilania maszyn i fabryk. Nasz perfekcyjnie dopasowany, uniwersalny system składa się z wysoko wydajnych zasilaczy impulsowych, niezawodnych modułów buforowych i efektywnych filtrów. Produkty z rodziny Emparro współpracują nie tylko w szafie sterowniczej, ale także bezpośrednio na maszynie – to możliwe dzięki zasilaczom impulsowym o szczelności IP67.

### Filtry dla maksymalnej ochrony przed zakłóceniami

Filtry Emparro MEF chronią systemy zasilania przed zakłóceniami elektromagnetycznymi i optymalizują kompatybilność elektromagnetyczną maszyn i fabryk. Są dwukierunkowe – od sieci zewnętrznej do systemu zasilania i z powrotem.

### Generatory dla maszyn i fabryk

Jedno- i trójfazowe zasilacze impulsowe Emparro są niezwykle niezawodne. Murrelektronik posiada niezwykle szeroką ofertę różnych produktów odpowiednich niemal dla każdej aplikacji.

W produkcji urządzeń serii Emparro wykorzystujemy jedynie najwyższej jakości komponenty. Wartość MTBF sięga aż do 1 000 000 godzin. Zasilacze impulsowe skutecznie konwertują energię, a poziom ich efektywności sięga 95% – to gwarantuje długą żywotność.

**Wbudowana rezerwa mocy:** Emparro posiada funkcje umożliwiające sprawny przekaz dużych obciążeń – Power Boost aż do 150% mocy w czasie do 5 sekund, a Hyper Boost aż do 400% przez 20 ms.

**Potrzeba niewiele miejsca:** kompaktowa konstrukcja zasilaczy sprawia, że zajmują niewiele miejsca w szafie sterowniczej. Zintegrowane zabezpieczenia nie tylko zmniejszają wymiary, ale także minimalizują czas i wysiłki związane z planowaniem i instalacją.

**Zasilacze dla AS-Interface ze zintegrowanym decouplingiem:** zasilacz Emparro dla aplikacji AS-Interface stosowany jest dla standardowego napięcia pracy do 30,5 V. Separuje zasilanie od przesyłanych danych, dzięki czemu nie ma potrzeby stosowania dodatkowego modułu do decouplingu.



**Moduły 3-fazowe Emparro 40 A:** Zasilacze impulsowe posiadają funkcję diagnostyki z konserwacją zapobiegawczą. Użytkownik jest informowany o tym, kiedy najlepiej zaplanować przegląd zasilacza. To zapewnia długą żywotność i pozwala uniknąć kosztownych przestoju.

### Utrzymanie sprawności maszyn

Moduł UPS Emparro ACCUcontrol to zasilacz, który zapewnia rezerwę mocy w przypadku awarii systemu zasilania. Dzięki zewnętrznemu akumulatorowi utrzymuje pracę maszyny przez kilka godzin, co zapobiega przestojom w produkcji.

Zastosowanie modułu buforowego Emparro Cap to doskonały sposób na uporządkowanie wyłączania maszyn i kontrolę systemów. Jego działanie oparte jest na ultrakondensatorach. Jest bezobsługowy przez cały czas pracy, zapewnia napięcie niezbędne do stabilizacji procesu.

### Doskonałe do zewnętrznych szaf sterowniczych

Emparro HD to zasilacz impulsowy zaprojektowany do stosowania w aplikacjach, w których szafy sterownicze narażone są na działanie czynników zewnętrznych, takich jak dźwigi, suwnice i inne systemy przenoszenia. Charakteryzuje je wysoka odporność na wstrząsy i wibracje, a maksymalna odporność na przeciążenia chroni przed pikami napięcia oraz uderzeniami piorunów w okolicy aplikacji. Zasilacze charakteryzuje wysoka wydajność nawet przy ekstremalnych zakresach temperatur: od -40° do +80°C.

## Zasilanie bezpośrednio na maszynie

Emparro67 stosowane są bezpośrednio na maszynie. Wytrzymałe i całkowicie szczelne zasilacze o stopniu ochrony IP67 doskonale sprawdzają się w najtrudniejszych warunkach. Bezpośrednio na maszynie konwertują napięcie z 230 V AC na 24 V DC. To minimalizuje utraty mocy i redukuje koszty energii. Urządzenia można dotykać nawet na pełnym obciążeniu, ponieważ energia niemal w ogóle nie jest przetwarzana na ciepło. Działają niezawodnie w temperaturze otoczenia do 85°C. Przeniesienie zasilania bezpośrednio na maszynę zwalnia przestrzeń w szafie sterowniczej. Ponadto Emparro67 są odporne na zanieczyszczenia i wilgoć, a także chłodziwa i smary.

Emparro67 Hybrid – zasilanie, ochrona i komunikacja na maszynie: dwa zintegrowane kanały monitorowania obwodu obciążenia 24 V DC zapewniają wysoką sprawność. Interfejs IO-Link wspiera komunikację, na przykład podczas zmiany parametrów urządzenia lub odczytywania danych diagnostycznych w celu konserwacji predykcyjnej.

## Dlaczego Murrelektronik tak bardzo ceni rozwiązania dla środowiska przemysłowego?

– Dzięki koncepcji „zero cabinet” i przeniesieniu funkcjonalności z szafy sterowniczej bezpośrednio na maszynę nasi Klienci mogą stosować mniejsze szafy sterownicze, a w niektórych przypadkach całkowicie je wyeliminować. Jedną z zalet płynących z przeniesienia zasilacza na maszynę jest eliminacja źródła ciepła, co oznacza możliwość zmniejszenia systemu chłodzenia. Ogranicza również czas i koszty okablowania. Napięcie jest konwertowane dokładnie w miejscu użycia, co korzystnie wpływa na bilans energii. Pomysł oferowania zasilaczy stosowanych bezpośrednio na maszynie to nie tylko kolejny krok w przód, ale także logiczne rozwiązanie, które przynosi decentralizację na wyższy poziom. Oferujemy kompletne portfolio komponentów stosowanych bezpośrednio przy procesach, począwszy od poziomu czujnika/elementu wykonawczego, aż do sterownika. Zdobyć kompetencji potrzebnych do wyprodukowania zasilacza instalowanego bezpośrednio na maszynie w trudnych warunkach przemysłowych to olbrzymi postęp w obszarze zasilania – Dennis Braun i Florian Holzmann, eksperci w zakresie zasilania, menedżerowie produktu w Murrelektronik. ■



**Murrelektronik Sp. z o.o.**

al. Roździeńskiego 188 h

40-203 Katowice

tel. 32 730 00 20

fax 32 730 00 23

e-mail: [info@murrelektronik.pl](mailto:info@murrelektronik.pl)

[www.murrelektronik.pl](http://www.murrelektronik.pl)

[shop.murrelektronik.pl](http://shop.murrelektronik.pl)

reklama

IO-Link od Murrelektronik

# PROSTO DO CELU

Łatwy w użyciu: Polegaj na IO-Link od Murrelektronik

- IODD na pokładzie: dla możliwie najszybszej integracji urządzeń IO-Link
- Automatyczna konfiguracja IO: przekazywana w jak najkrótszym czasie
- Tryb Ekspert dla maksymalnej elastyczności projektów instalacji



...z MVK Metal lub Impact67



# Circular economy – o tym się mówi

Gospodarka obiegu zamkniętego to temat, który nie schodzi z ust osób zawodowo związanych z przemysłem. Nie inaczej będzie podczas zbliżających się Międzynarodowych Targów Kooperacyjnych Przemysłu Narzędziowo-Przetwórczego INNOFORM®, które w dniach 3–5 marca 2020 roku odbędą się w Bydgoskim Centrum Targowo-Wystawienniczym. *Circular economy* nie jest pojęciem nowym, jednak w ostatnim czasie nabrało szczególnego znaczenia.

## Nadchodzi nowa era

– Jednym z obszarów priorytetowych strategii *circular economy* są tworzywa sztuczne. W marcu tego roku zostaną wprowadzone zmiany prawne dotyczące recyklingu. To temat przewodni nadchodzącej edycji Targów INNOFORM® – zapowiada Beata Łoś, Project Manager. – Zbliżające się Targi INNOFORM® z pewnością przyniosą odpowiedzi, ale też nasuną wiele nowych pytań.

## Zgodnie ze standardami GOZ

Ciekawie zapowiada się Konferencja EKO-POLIMERY Gospodarka Obiegu Zamkniętego w Przetwórstwie Tworzyw Polimerowych, organizowana przez Bydgoski Klaster Przemysłowy. Podczas Konferencji poruszane będą między innymi zagadnienia dotyczące Europejskiej Strategii na Rzecz Tworzyw Sztucznych w Gospodarce Obiegu Zamkniętego, dyrektywy *Single-Use Plastics* i efektów dla branży w wyniku ich wdrożenia, a także wytycznych dla firm branży narzędziowo-przetwórczej, wynikające z nowelizacji ustawy o odpadach. W drugiej części Konferencji przedstawione będą dobre przykłady wykorzystania tworzyw pochodzących z recyklingu.

To nie wszystko. Ciekawym uzupełnieniem Konferencji będzie Wystawa Recyklingu – gdzie przedsiębiorcy zaprezentują produkty pochodzące z recyklingu oraz z tworzyw

biodegradowalnych. Goście Targów obejrzą przedmioty, które zostały podane obróbce i na nowo wykorzystane.

## O czym jeszcze porozmawiamy na Targach INNOFORM®?

Oszczędności to temat, który interesuje większość przedsiębiorców. Jak zatem tego dokonać? Na to pytanie uzyskamy odpowiedź drugiego dnia Targów, podczas konferencji – Druk 3D w Branży Narzędziowo-Przetwórczej, zorganizowanej przed firmę CadXpert. Drukarki 3D są stosowane do wytwarzania narzędzi montażowych, zaczepów, oprzyrządowania produkcyjnego. Zakłady przemysłowe drukują niestandardowe uchwyty i przyrządy montowane w obrabiarkach CNC, frezarkach oraz innych maszynach produkcyjnych. Udział w konferencji jest bezpłatny (po uprzedniej rejestracji).

## Dlaczego warto wziąć udział w Targach INNOFORM®?

– Nie ma jednej odpowiedzi, jest za to kilka powodów. Przede wszystkim, aby odnieść sukces, należy nieustannie być na bieżąco. Pamiętajmy również, że na Targach możemy spotkać nie tylko partnerów, ale i konkurencję. Zaryzykuję stwierdzenie, że są tu wszyscy. Trudno się nie zgodzić – zainteresowanie Targami z każdym rokiem jest coraz większe. W nadchodzącej edycji swój udział potwierdziły firmy, które wystawiają się od pierwszej edycji, tj. A. MARCINIAK OT, ELWIK ZAKŁAD TECHNOLOGICZNY, EMUGE-FRANKEN TECHNIK, KNARR VERTRIEBS GmbH, MEUSBURGER GEORG GmbH, STÄUBLI, WADIM PLAST, jak i te firmy, które po raz pierwszy wezmą udział w Targach INNOFORM®. Wśród nich m.in.: CENTRUM TECHNIKI MACRO,



ELBI WROCŁAW, HALBRONN SAS, KONRAD MICRO DRILL GmbH, LP NARZĘDZIA, MALA INDUSTRIES, MOLDE MATOS SA i wiele innych.

## Nie tylko liczby, ale i specjalizacja

Zdaniem Wystawców tym, co wyróżnia Targi INNOFORM®, jest profil imprezy. Na te trzy wyjątkowe dni do Bydgoszczy przyjeżdżają specjaliści z branży i decydenci. Wszyscy w konkretnym celu – chcą poznać nowości i wdrożyć je w swojej firmie, uzupełnić park maszynowy i nawiązać współpracę z podwykonawcami. Tak jak region kujawsko-pomorski jest liderem w wytwarzaniu narzędzi na światową skalę, tak Targi INNOFORM® są numerem jeden wśród wydarzeń o tej tematyce na północy kraju. Świadczy to o tym, że jest to idealne miejsce wymiany myśli, doświadczeń, a przede wszystkim kontaktów dla wszystkich tych, którzy związani są z branżą narzędziowo-przetwórczą.

Szczegóły na [www.innoform.pl](http://www.innoform.pl)

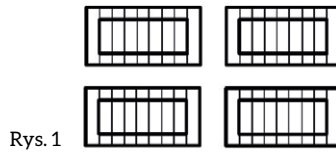


# Szkoła enkoderów firmy LeineLinde.

## Cz. 1. Optyka

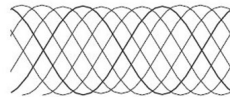
W dzisiejszym artykule rozpoczynamy prezentację cyklu artykułów „Szkoła enkoderów”, w którym opisana jest budowa i działanie przetworników obrotu – część pierwsza: Optyka.

Zasadniczą częścią enkoderów produkowanych przez firmę LeineLinde jest płytka kodowa zamocowana na dokładnie ułożyskowanym wałku. Pozycję płytki kodowej odczytuje się przy pomocy układu fotodiod. W celu zapewnienia dokładności odczytu wymagane jest, aby szerokość stałego otworu wzorcowego odpowiadała szerokości linii na płytce kodowej. Szerokość otworu zmniejszałaby się zatem wraz ze zwiększaniem się podziałości, a więc w enkoderach o dużej rozdzielczości dawałoby to mniejszą siłę sygnału. Aby tego uniknąć, układa się liczne otwory wzorcowe obok siebie tak, aby odległość między otworami odpowiadała okresowi podziałości. Powoduje to, że cała powierzchnia fotodiody zostaje pokryta wzorcem kodu. Siła sygnału staje się wtedy niezależna od podziałości. Cztery takie grupy wzorcowe układa się na czterech różnych fotodiodach (rys. 1). Linie każdej grupy wzorcowej są przesunięte w stosunku



Rys. 1

do linii poprzedniej grupy o ćwierć okresu. Cztery fotodiody wytwarzają przez to sygnały sinusoidalne, przesunięte fazowo w stosunku do siebie o 90° (rys. 2). Gdy obraca się płytkę kodową, to widzi się światło wpadające przez cztery pola jako obracające się pole świetlne (rys. 3). W ten sposób powstał mechanizm optyczny, którego przełożenie odpowiada rozdzielczości enkodera. Obydwa otrzymane w ten sposób sygnały prostokątne są wzajemnie przesunięte w fazie o 90° (rys. 4). Umożliwia to odczytanie kierunku rotacji wałka enkodera.

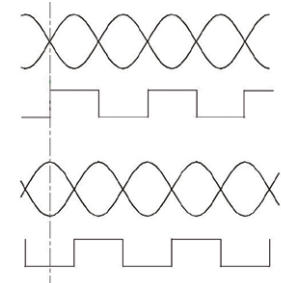


Rys. 2

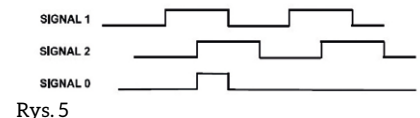


Rys. 3

Czasami potrzebny jest jeden impuls na jeden obrót, szerokość impulsu nie



Rys. 4



Rys. 5

może wynosić więcej niż ćwierć okresu wzorca przyrostowego, aby również przy 4-krotnym mnożeniu doliczyć do właściwej wartości kątowej, gdy system był bez napięcia (rys. 5). W tym przypadku otwór wzorcowy musi być węższy przy większej rozdzielczości, co w następstwie daje mniejszą amplitudę sygnału. Nie ma tutaj możliwości prostego dodania kolejnych otworów w jednym okresie podziału. Istnieje inna możliwość wzmocnienia sygnału. Można zaopatrzyć zarówno obracającą się płytkę, jak i nieruchomy wzorec odniesienia we wzory o różnej szerokości kresek, co powoduje,

reklama



kupuj  
on-line  
sanyu.eu/sklep

+48 32 345 20 20  
info@sanyu.eu  
www.sanyu.eu





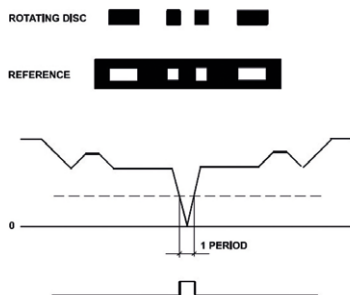
Testowane i Serwisowane w Polsce  
+48 606 945 936



Oszczędza ŚRODOWISKO I TWOJE PIENIĄDZE  
ECO • MONEY SAVING

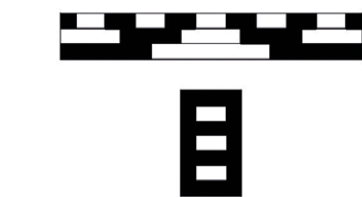


od 2013 r.  
SANYU.eu  
na polskim rynku



Rys. 6

że natężenie sygnału w wąskim interwale odróżnia się wyraźnie od poziomu podłoża. Jeżeli chodzi o rozdzielczości pomiędzy 700 i 1600, to używamy wzoru o czterech kreskach, co daje



Rys. 7

sześciokrotnie wyższą amplitudę sygnału (rys. 6). W enkoderach absolutnych ponownie występuje problem, że wyższa rozdzielczość powoduje mniejsze natężenie sygnału, przy czym jednak nie można zastosować żadnego z rozwiązań, które podaliśmy dla sygnału przyrostowego

czy dla impulsu odniesienia. Dla rozdzielczości do 10 bitów można dla każdego bitu w kodzie wykonać jeden prosty otwór odniesienia (rys. 7). ■



**TERM Tomasz Sobczak**  
ul. Opolska 22/8  
41-500 Chorzów  
tel. 32 249 85 99  
fax 32 249 92 89  
e-mail: info@term.pl  
www.term.pl

## Targi Elektrotechnika 2020

Targi Elektrotechnika 2020 to przestrzeń dla innowacji z obszaru elektrotechniki, elektryki, budownictwa i teletechniki, a także z zakresu elektromobilności. Wydarzenie skierowane jest do producentów i użytkowników sprzętu niskiego, średniego i wysokiego napięcia oraz systemów alarmowych i rozwiązań umożliwiających instalację przewodów elektrycznych w nowoczesnych budynkach. Event odbędzie się w dniach 5-7 lutego w Warszawie, w hali EXPO XXI.

### Specjalistyczne szkolenia i warsztaty

W ramach Targów przygotowany został cykl 23 szkoleń i specjalistycznych warsztatów dostosowanych do potrzeb projektantów, inspektorów nadzoru czy kierowników robót budowlanych. Tematyka szkoleń dotyczy najbardziej aktualnych problemów związanych m.in. z optymalizacją zarządzania sieciami elektroenergetycznymi w związku z rosnącą konsumpcją energii i ochroną

przed złośliwym oprogramowaniem i nieupoważnionym dostępem lub obniżeniem kosztów funkcjonowania budynków. Ponadto podczas Targów odbędą się specjalistyczne warsztaty BIM z zakresu instalacji elektrycznych i oświetleniowych, instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, a także odnawialnych źródeł energii – OZE. Dla specjalistów dostępne będą szkolenia z obszaru automatyki budynkowej, a w przestrzeni Wnętrza Otwartego, którego

hasłem przewodnim są *Smart technologie i design w trosce o komfort życia*, będzie można zobaczyć praktyczne zastosowanie rozwiązań z zakresu BMS i HMS.

### Specjalne Strefy

Dodatkowo przestrzeń wystawiennicza podzielona będzie na 4 strefy dedykowane tematami: Elektromobilności, Automatyki Budynkowej, Oświetlenia Terenów Publicznych. Natomiast w strefie OZE znajdą się stoiska wiodących firm z branży związanych m.in. z fotowoltaiką, pompami ciepła, elektrowniami wiatrowymi, a także systemami i urządzeniami do rozprowadzania energii. W ramach strefy organizowane będą także szkolenia dla projektantów i instalatorów oraz warsztaty komputerowe z projektowania instalacji OZE. ■

reklama



Preferujesz internet?

Wypromuj się na [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl)

## Rozbudowana wersja najpopularniejszych interfejsów graficznych MONITOUCH seria TS1000 SMART

Fuji Electric, japoński producent komponentów automatyki przemysłowej, przedstawia ulepszoną wersję swojej najpopularniejszej serii paneli HMI TS1000. Zmianie uległ zarówno hardware, jak i software urządzeń. Największym uznaniem cieszy się ich poszerzona funkcjonalność sieciowa. Poniżej kompilacja starych i nowych funkcji.

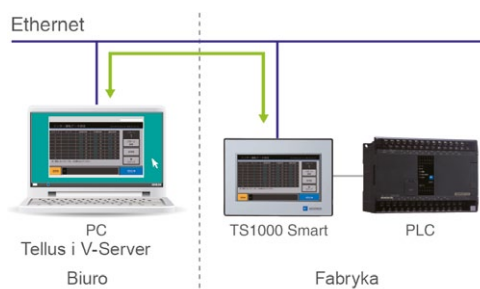
**Serwer VNC.** Łatwa konfiguracja komputerowego programu VNC Viewer pozwala na monitorowanie i zarządzanie procesami w sposób identyczny, jak na panelu HMI. Przy użyciu routera możliwa jest również obsługa bezprzewodowa z mobilnego urządzenia.



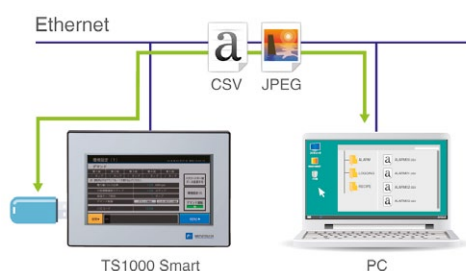
**Zdalny pulpit.** Obsługa pulpitu zdalnego poprzez panel TS1000 Smart.



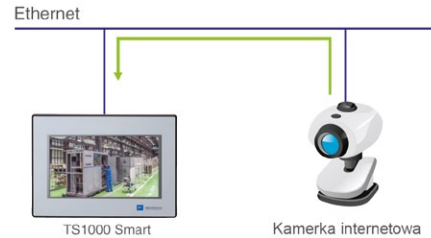
**Zdalna konserwacja i zbieranie danych.** Użycie aplikacji TELLUS do łatwego monitorowania ekranu TS1000 Smart daje dostęp do danych ze sterowników, oraz umożliwia ich zbieranie i przetwarzanie.



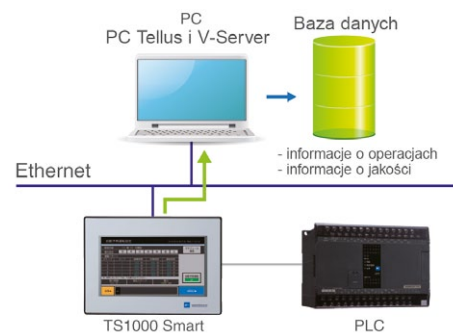
**Serwer FTP.** Łatwy zapis na pamięci USB urządzenia.



**Kamerka internetowa.** Łatwy podgląd z monitoringu fabryki w ekranie panelu.



**MES.** Pełna współpraca z systemami zarządzania produkcją.



Daniel Sybilski

www.amtek.pl

reklama

# Systemy sterowania Fuji Electric

- panele operatorskie HMI
- sterowniki PLC
- przetwornice częstotliwości
- aparatura pomiarowa
- programowanie i integracja

 **amtek**

www.amtek.pl / amtek@amtek.pl  
tel. 22 866 41 40 / fax 22 866 41 41

# Przemysł 4.0 oczami polskich przedsiębiorstw – najpopularniejsze mity

Przemysł 4.0 to idea, która powstała jako odpowiedź gospodarki niemieckiej na szybko rozwijający się, tani rynek chiński. Aby poprawić wydajność i efektywność produkcji, wiele niemieckich przedsiębiorstw zdecydowało się na digitalizację. Dzisiaj Przemysł 4.0 to już nie tylko cyfryzacja procesów, ale także kompleksowe zarządzanie informacją w firmie. Choć termin ten jest znany już stosunkowo długo, wokół niego wciąż krąży wiele mitów.

Przemysł 4.0 jest procesem digitalizacji, wdrażanym przez przedsiębiorstwa po to, aby wydajnie zarządzać informacją w firmie. Kluczowe jest, by w zintegrowany sposób móc korzystać z danych, które są generowane na poszczególnych etapach realizacji produkcji: projektowania, przygotowania artykułu do wytworzenia, a następnie serwisowania. Pozwala to firmom produkcyjnym zapewnić spójność i efektywność. Wciąż jednak nie wszystkie przedsiębiorstwa decydują się na skorzystanie z rozwiązań technologicznych wiążących się z Przemysłem 4.0. Źródłem ich obaw mogą być często powielane mity dotyczące tego zagadnienia.

## Mit 1: Przemysł 4.0 jeszcze nie dotarł do Polski

Choć idea Przemysłu 4.0 nie powstała w Polsce, jest ona już skutecznie realizowana także w naszym kraju. Być może źródłem przekonania o tym, jak niewiele polskich przedsiębiorstw korzysta z narzędzi związanych z digitalizacją, jest fakt, że nie wszystkie decydują się na pełen wachlarz rozwiązań. Tak naprawdę to, w jaki sposób dana firma będzie mogła dokładnie zdefiniować zakres Przemysłu 4.0 dla siebie, zależy od jej potrzeb. Dla jednych będzie to automatyzacja produkcji, dla innych usprawnienie procesów biznesowych, z kolei część przedsiębiorstw może potrzebować obu tych elementów.

Przykładowo: rozwiązanie, które cieszy się coraz większym zainteresowaniem, to tzw. cyfrowy bliźniak. Służy on m.in. temu, aby producent, który chce szybko i elastycznie dokonać zmian w danym artykule, mógł dowiedzieć się, jak wpłyną one na sam proces jego wytworzenia. Robi to, wprowadzając je początkowo tylko w wirtualnej wersji produktu.

– Zauważamy, że wszystkie gałęzie przemysłu stają się coraz bardziej złożone, dzięki czemu zastosowania cyfrowego bliźniaka mogą być dużo szersze i wpływać na cały cykl życia produktów, nie tylko na jego tworzenie. Przykładem mogą być np. usługi serwisowe. Posiadanie wirtualnej wersji eksploatawanego produktu może pomóc ocenić, jakie części powinny zostać wymienione bądź udoskonalone w konkretnym momencie – mówi Rafał Żmijewski, Dyrektor Sprzedaży w Siemens Digital Industries Software.

## Mit 2: Przemysł 4.0 dotyczy niewielkiej liczby branż

Faktem jest, że stopień automatyzacji w branżach takich, jak motoryzacja czy aeronautyka, jest wysoki, podczas gdy odsetek rozwiązań w innych sektorach wciąż wzrasta nieco wolniej. Nie

oznacza to jednak, że Przemysł 4.0 dotyczy tylko wybranych przedsiębiorstw. Choć potrzeby firm są zróżnicowane, z pewnością łączy je kilka elementów: konieczność szybkiej reakcji na popyt i nieustanne poszukiwanie metod optymalizacji kosztów. Jeśli weźmiemy pod uwagę fakt, że produkcja jest coraz bardziej zdecentralizowana, bardzo ważne jest, aby wszystkie jej aspekty były odpowiednio zsynchronizowane, niezależnie od tego, o jakiej branży mowa.

Dzięki zastosowaniu nowych technologii można poszerzać proces produkcyjny o kolejne analizy, a także przekształcać dane w przydatne informacje. Jest to korzystne zarówno dla rozwoju produktu, jak i planowania samej produkcji. Przykładowo rozwiązanie Siemens Manufacturing Operations Management (MOM) zapewnia pełen wgląd we wszystkie procesy, co pozwala poprawić wydajność i łatwo zidentyfikować obszary wymagające poprawy. Dzięki temu firmy mają możliwość szybkiej reakcji na ewentualne rynkowe zmiany.

## Mit 3: Przemysł 4.0 jest tylko dla największych

To mit, który wiąże się często z brakiem świadomości, że Przemysł 4.0 jest czymś innym dla dużych firm, a innym dla MŚP. Może się więc okazać, że dla tych ostatnich, posiadających mniej skomplikowane procesy, wdrożenie choćby jednego rozwiązania usprawniającego przepływ informacji pozwoli na znaczną optymalizację i zwiększenie wydajności. Ważne jest zatem, aby dopasowywać produkty z zakresu Przemysłu 4.0 do potrzeb określonych przedsiębiorstw. Przykładowo *start-upy*, które zdecydują się na współpracę z doświadczonym dostawcą oprogramowania, mogą czerpać wiele korzyści z samej standaryzacji procesów i tym samym szybciej wprowadzać na rynek innowacyjne produkty.

Każda firma chce się rozwijać – podnosić zyski poprzez zwiększanie obrotów lub obniżanie kosztów. Inaczej do tego celu będą zmierzać MŚP, a inaczej duże firmy. Przemysł 4.0 jest więc dla wszystkich – najważniejsze, by idąca za nim technologia była elastyczna.

– Warto pamiętać, że cyfryzacja procesów pozwala zoptymalizować wydajność produkcji, poprawić jej elastyczność i skrócić czas, co w efekcie prowadzi do obniżenia kosztów i większej przewagi konkurencyjnej. Wszystko to sprawia, że wdrożenie tych rozwiązań jest opłacalne, niezależnie od wielkości firmy. Produkty są skalowalne i mogą być wdrażane indywidualnie, wedle potrzeb każdej firmy – dodaje Rafał Żmijewski. ■



# Innowacje, technologie, nauka, czyli Targi EXPOPOWER już w dniach 21-23.04.2020

EXPOPOWER to jedno z najważniejszych w Polsce wydarzeń targowych branży energetycznej o kilkuletniej tradycji. Gromadzi rokrocznie wielu wystawców, zarówno z Polski, jak i z zagranicy. Podczas tegorocznego EXPOPOWER, obok specjalistycznych ekspozycji, nie zabraknie wartości merytorycznej, o którą zadbają nasi partnerzy. Partnerem strategicznym Targów jest ENEA OPERATOR.

## Spotkanie branży energetycznej

Targi EXPOPOWER to cykl wydarzeń dedykowanych branży energetycznej. Każdego roku Targi przyciągają do Poznania zwiedzających oraz wystawców z całego świata. Podczas wydarzenia przedstawiane są innowacyjne rozwiązania, technologie i nowoczesne produkty z zakresu energetyki przemysłowej, automatyki, sterowania, a także instalacji niskiego, średniego oraz wysokiego napięcia. Ekspozycja tegorocznych Międzynarodowych Targów Energetyki EXPOPOWER obejmie innowacyjne produkty z zakresu energetyki, oświetlenia, maszyn i urządzeń elektrycznych, układów automatyki, telekomunikacji, a także ochrony środowiska w energetyce.

## Targi EXPOPOWER to także miejsce spotkań

Konstruktywna dyskusja i wymiana doświadczeń naukowców, przedstawicieli branżowych izb i stowarzyszeń oraz energetyki wpływa na coraz wyższy poziom merytoryczny wydarzenia. Jest to kluczowe szczególnie dlatego, że Targi odwiedzają profesjonalni zwiedzający, m.in.: energetycy, elektrycy, instalatorzy, technicy, projektanci, przedstawiciele samorządów.

## Bogaty program wydarzeń towarzyszących

Uzupełnieniem oferty wystawienniczej jest program wydarzeń towarzyszących, który w tym roku zapowiada się bardzo ciekawie. W licznych konferencjach, debatach i spotkaniach udział wezmą najważniejsi specjaliści z branży energetycznej z Polski oraz z zagranicy. Pośród wartych zauważenia wydarzeń będą konferencje dotyczące innowacyjności w energetyce organizowane przez ENEA OPERATOR oraz konferencje Naukowo-Techniczne organizowane przez Oddział Poznański Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Tematami konferencji SEP będą „Technika Świetlna 2020” oraz „Stacje Elektroenergetyczne 2020”. Autorami referatów będą wykładowcy z Polskiego Komitetu Oświateniowego, Politechniki Warszawskiej, Politechniki Łódzkiej, Politechniki Poznańskiej oraz Politechniki Poznańskiej, a także przedstawiciele czołowych producentów sprzętu oświetleniowego i stacji elektroenergetycznych. Konferencje te będą okazją do merytorycznej dyskusji nad aktualnymi wyzwaniem branży i doskonałym miejscem rozmów środowisk naukowych i przedstawicieli szeroko pojętej energetyki.

## Przestrzeń specjalne

Partner strategiczny Targów, Enea Operator, przygotowuje specjalną strefę pokazową, gdzie będzie można zapoznać się



z zasadami prowadzenia prac pod napięciem. W tym celu w pawilonie 6 MTP zbudowany zostanie fragment linii średniego napięcia. W ramach przestrzeni pokazowych przeprowadzone będą także warsztaty z robotyki, pokazy technologii VR, pokazy dronów, pokazy ratownictwa przedmedycznego.

## Nie tylko energetyka

Równoległe z Targami EXPOPOWER odbędą się Międzynarodowe Targi Energii Odnawialnej GREENPOWER, Poznań Drone Expo, INSTALACJE, SAWO, SECUREX.

Targi GREENPOWER gromadzą wszystkie branże odnawialnych źródeł energii. Podczas Targów odbywa się szereg specjalistycznych seminariów, spotkań branżowych, prezentacji nowości czy też konsultacji i porad na stoiskach eksperckich.

To i wiele więcej już w kwietniu, na terenie Międzynarodowych Targów Poznańskich. ■

Więcej informacji znajduje się na stronie: [www.expopower.pl](http://www.expopower.pl).

# Centralny Serwer Danych Technologicznych w JSW S.A.

Jacek Kwaśnica

W Jastrzębskiej Spółce Węglowej od ponad roku funkcjonuje zintegrowany system informatyczny do zarządzania danymi pochodzącymi z procesu produkcji. W artykule przedstawiono architekturę, zasadę działania oraz wyzwania związane z utrzymaniem ciągłości działania systemu wynikające bezpośrednio ze specyfiki branży górniczej.

Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., jak i wiele innych firm sektora górniczego, największe oczekiwania z wdrożenia elementów koncepcji Przemysłu 4.0 wiąże ze zwiększeniem efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń w procesach wydobywczych oraz zwiększeniem bezpieczeństwa pracy załóg górniczych pod ziemią [1]. Takie podejście wymogło na organizacji wprowadzenie w stosunkowo krótkim czasie szeregu następujących zmian:

- utworzenie Centrum Zaawansowanej Analityki Danych w strukturach Biura Zarządu;
- utworzenie Oddziałów Automatyki w strukturach wszystkich kopalń;
- opracowanie i wdrożenie Centralnego Serwera Danych Technologicznych;

- rozbudowa systemów monitoringu parametrów pracy maszyn i urządzeń w obszarach infrastruktury sieciowej i urządzeń automatyki;
- standaryzacja rozwiązań w obszarach IT/OT.

Spośród wymienionych działań kluczowym było wdrożenie Centralnego Serwera Danych Technologicznych (CSDT), czyli zintegrowanego systemu informatycznego wspierającego zarządzanie danymi pochodzącymi z procesów produkcji. Wspólnie z JSW IT Systems, głównym dostawcą usług informatycznych w Grupie Kapitałowej JSW, opracowana została architektura CSDT opierająca się na platformie umożliwiającej przetwarzanie ogromnych zbiorów informacji w czasie rzeczywistym

i pozwalającej na łatwą integrację z systemami biznesowymi, zapewniając równocześnie bezpieczeństwo teleinformatyczne systemów technicznych.

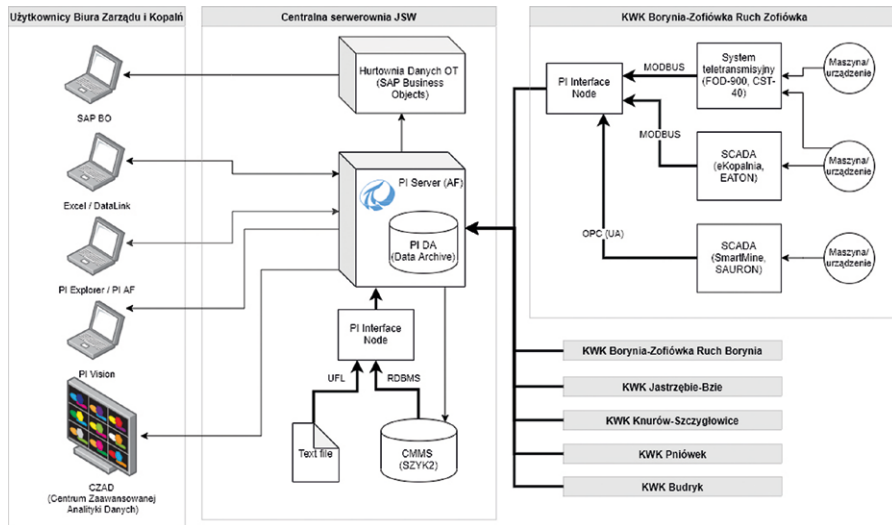
W JSW S.A., podobnie jak w innych przedsiębiorstwach górniczych, do zarządzania procesami produkcyjnymi wykorzystywanych jest kilka typów systemów transmisyjnych i systemów automatyki (SCADA). Dane gromadzone są lokalnie w niezintegrowanych ze sobą systemach technicznych, co utrudnia, a niekiedy nawet uniemożliwia przeprowadzenie zaawansowanych analiz tych danych. Oprócz tego dużym wyzwaniem dla utrzymania całej architektury jest zmienność miejsc pracy maszyn i urządzeń wynikająca bezpośrednio ze specyfiki procesów wydobywczych.

Jako platformę bazową spełniającą wymagania CSDT wybrano PI System, produkt firmy OSIsoft, umożliwiający przetwarzanie informacji pochodzących z kilkuset tysięcy urządzeń rejestrujących w czasie rzeczywistym (PI DA). To jeden z systemów klasy historian, przetwarzający dane w postaci szeregów czasowych, które można zapisywać z dowolną, ustaloną przez użytkownika częstotliwością, a także przechowywać w dowolnie długim czasie, co odróżnia go od systemów SCADA [2].

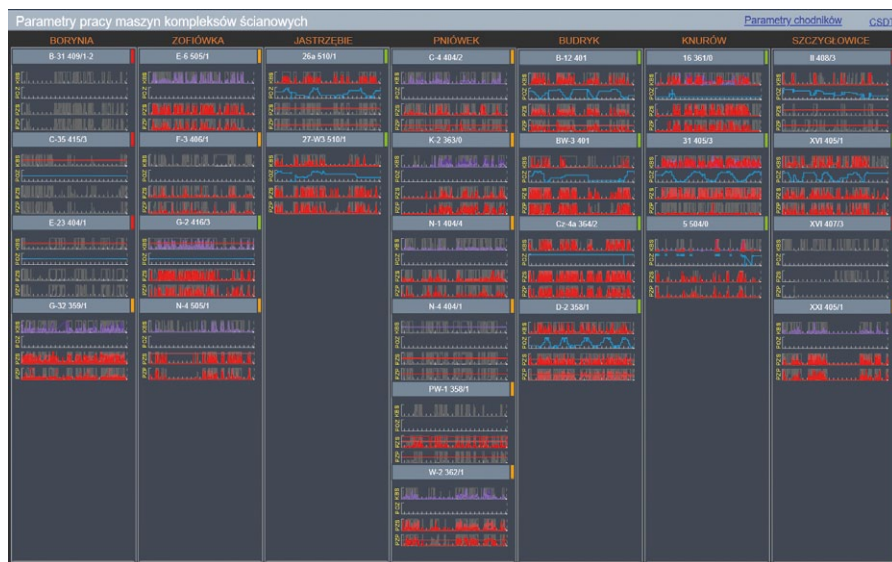
Dla celów pozyskiwania danych z systemów źródłowych zastosowano 5 typów interfejsów, takich jak: OPC, OPC UA, MODBUS, RDBMS i UFL, aczkolwiek dostępnych jest ponad 400 interfejsów pozwalających podłączyć dowolny system produkcyjny w krótkim



Rys. 1. Pomieszczenie Centrum Zaawansowanej Analityki Danych



Rys. 2. Podstawowe elementy architektury CSDT



Rys. 3. Wizualizacja parametrów pracy maszyn (np. napięcia i prądy zasilania, obciążenia organów, pozycja kombajnu)

czasie, równocześnie buforując dane (PI Node Interface) na wypadek utraty połączenia.

Jedną z podstawowych funkcjonalności PI System zawartą w module Asset Framework (AF) pozwoliła odwzorować kluczowe środki trwałe przedsiębiorstwa wg opracowanego jednego wspólnego modelu, nadając im kontekst biznesowy tak bardzo ważny od momentu ich zabudowy w miejscu pracy. Analizy zaimplementowane w tym module i wykonywane w czasie rzeczywistym umożliwiły przeprowadzenie

standaryzacji danych pozyskiwanych z różnych typów systemów źródłowych.

Integracja z systemem CMMS (Computerised Maintenance Management System) wykorzystywanym w przedsiębiorstwie umożliwiła pozyskanie do PI System kontekstu miejsca pracy maszyn, parametrów technicznych wynikających z Dokumentacji Techniczno-Ruchowej oraz planów pracy kopalni. Zwrotnie PI System przekazuje zagregowane dane o czasach pracy maszyn kompleksów ścianowych, co do niedawna wymagało ręcznego wprowadzania tych danych



Oto STAUFF Polska

Działając pod marką STAUFF zdobyliśmy pozycję międzynarodowego lidera w pracach rozwojowych, produkcji i dostawach części do systemów rur i układów hydraulicznych.

- Systemy Mocowania 
- Systemy Pomiarowe 
- Technika Filtracji 
- Diagtronics 
- Akcesoria Hydrauliczne 
- Zawory Kulowe 
- Złącza Hydrauliczne 



**NOWOŚĆ!**  
STAUFF Connect  
Technologia Złączy Rurowych od STAUFF



STAUFF Polska Sp. z o.o.  
Miszewko 43 A • 80-297 Banino  
Tel.: 058 660 11 60 • Fax: 058 629 79 52  
sales@stauff.pl

www.stauff.pl



Rys. 4. Wizualizacja podporności sekcji obudów zmechanizowanych

przez służby utrzymania ruchu kopalń. Innym przykładem procesu integracji jest implementacja analizy identyfikującej zdarzenia postojowe kompleksów ścianowych (*PI Event Frame*) wraz z procesem przekazywania ich do systemu CMMS. Zautomatyzowanie tego procesu ograniczyło do minimum błędy ludzkie oraz znacznie skróciło czas rejestrowania postojów.

Integracja z systemem SAP Business Objects, realizującym funkcje hurtowni danych IT/OT, umożliwiła osiągnięcie takich celów, jak:

- okresowe generowanie raportów na temat efektywności pracy kompleksów ścianowych;
- automatyczne generowanie i publikowanie ustandaryzowanych raportów operacyjnych z pracy maszyn kompleksów ścianowych;
- udostępnienie użytkownikom surowych i zagregowanych danych generowanych przez systemy techniczne do celów wykonywania zaawansowanych analiz biznesowych.

Bardzo ważnym aspektem, o którym nie wolno zapomnieć, jest bezpieczeństwo zarządzania infrastrukturą krytyczną, w której skład wchodzi również lokalne systemy monitoringu i sterowania pracujące w wydzielonych sieciach technicznych. PI System poprzez jednokierunkowy przesył informacji stanowi doskonałą barierę przed cyberatakami, za którą funkcjonują systemy dedykowane, które go zasilają danymi [2].

Wdrożenie w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. Centralnego Serwera Danych Technologicznych całkowicie zmieniło podejście do wykorzystania danych pochodzących bezpośrednio z procesu produkcji. Platforma ta daje możliwość zebrania informacji ze wszystkich systemów przedsiębiorstwa w jednym miejscu, przez co użytkownik uzyskuje w łatwy sposób dostęp do aktualnych i historycznych surowych danych, które może dowolnie analizować.


Aktualnie w Centrum Zawansowanej Analityki Danych (CZAD), będącym jednym z głównych projektantów CSDT

i udziałowców w jego rozwoju, podejmowane są kolejne inicjatywy, w ramach których PI System stanowi główne źródło informacji, a mianowicie:

- identyfikacja i rejestrowanie w czasie rzeczywistym faz pracy kombajnów chodnikowych;
- analiza pracy obudów zmechanizowanych;
- kokpity menedżerskie (*dashboard*) wspierające podejmowanie decyzji, obejmujące swoim zasięgiem całe procesy produkcyjne;
- kokpity operacyjne służące bezpośrednio służbom utrzymania ruchu na kopalniach oraz Zespołowi CZAD.

#### Literatura

- [1] KOZŁOWSKI A., WOJTAS P.: *Przemysł 4.0 – wyzwania dla górnictwa*. „Napędy i Sterowanie” 7–8/2018.
- [2] PILC D., SZELĄG P.: *Nowa metoda analizy danych – połączenie technologii Big Data i GIS*. 2019.

 Jacek Kwaśnica, JSW S.A.

## Kopalnie wezmą udział w rewolucji 4.0

**W** górnictwie działania muszą być ukierunkowane na wzrost efektywności, poprawę bezpieczeństwa pracy w kopalniach, a także redukcję kosztów. Z tego zdają sobie sprawę producenci maszyn i urządzeń dedykowanych branży wydobywczej. Jak przekonuje branża, w perspektywie najbliższych lat kopalnie węgla kamiennego mogą stać się pełnoprawnymi uczestnikami tzw. rewolucji 4.0, upowszechniając m.in. inteligentne systemy teleinformatyczne oraz automatyzując kolejne elementy procesu produkcyjnego.

Mówiąc o efektywnej eksploatacji na głębokości 1000 m i więcej, nie można pominąć automatyki i robotyki. Trzeba przy tym starać się odciążać ludzi od miejsc szczególnie

niebezpiecznych. Im mniej ludzi na przodku, tym kopalnia jest bardziej bezpieczna.

– Robotyzacja i cyfryzacja – to wszystko już w branży górniczej funkcjonuje – podkreśla Janusz Olszowski, prezes Górniczej Izby Przemysłowo-Handlowej.

Polskie firmy okologiczne są aktywne na rodzimym rynku i prowadzą ekspansję na rynkach zagranicznych. Liczą się ci, którzy są w stanie zaoferować wysoko wydajne i bezawaryjne maszyny i urządzenia. Niezwykle ważne są też warunki płatności, warunki gwarancyjne czy usługa serwisowa. Chcąc skutecznie zaistnieć na zagranicznych rynkach, trzeba postawić na kompleksową ofertę.

### Potrzebne zasoby ludzkie, technologiczne i finansowe

Przedstawiciele branży oceniają, że w perspektywie najbliższych lat kopalnie węgla kamiennego mogą stać się pełnoprawnymi uczestnikami tzw. rewolucji 4.0, upowszechniając m.in. inteligentne systemy teleinformatyczne oraz automatyzując kolejne elementy procesu produkcyjnego.

Nowoczesne górnictwo jest coraz bardziej zautomatyzowane, optymalizujące zużycie energii i zmniejszające negatywne oddziaływanie na środowisko procesu pozyskiwania surowców.

– Stopniowo redukowana jest także konieczność pracy ludzi w strefach największego zagrożenia – zaznacza Mirosław Bendzera, prezes Grupy Famur. – Famur stosuje zasadę: „Myśl globalnie, działaj lokalnie”.

– Budowaliśmy pozycję lokalnego lidera. Bez silnej pozycji lokalnej i regionalnej nie byłaby możliwa efektywna ekspansja zagraniczna – dodaje prezes Bendzera. – Trzeba mieć zasoby ludzkie, technologiczne i finansowe.

Prezes Famuru wskazuje, że wizja inteligentnej kopalni ma szansę się urzeczywistnić. Sprzyjają jej potrzeby branży. Zmierzanie ku tzw. inteligentnej kopalni wymuszają bowiem rosnące koszty pracy i trudności z pozyskaniem wysoko wykwalifikowanych pracowników.

Wśród największych wyzwań stojących w tym zakresie przed górnictwem eksperci wymieniają między innymi ograniczenie pracy ludzi w najbardziej niebezpiecznych miejscach – poprzez wprowadzenie autonomicznych kompleksów ścianowych – zmniejszenie kosztów prac przygotowawczych i eksploatacji węgla, a ponadto poprawę niezawodności maszyn i urządzeń.

Nie tylko dzięki zdalnemu diagnozowaniu i usuwaniu awarii, ale również poprzez przewidywanie możliwych kłopotów dzięki tzw. systemom predykcyjnym.

– Systemy tego typu gromadzą dane, na podstawie których z bardzo dużym prawdopodobieństwem można przewidywać potencjalne problemy, kwalifikując urządzenia do serwisu czy

remontu – wyjaśnia ekspert firmy ABB z zakresu automatyki przemysłowej, Piotr Szkoda.

### Uniknąć przestoju w wydobywaniu

Systemy tego typu mogą objąć wiele stosowanych pod ziemią urządzeń, w tym m.in. kompleksy ścianowe czy przenośniki. Zebrane dane są analizowane i na tej podstawie system daje rekomendację, wskazując przykładowo, że dane urządzenie będzie bezawaryjnie pracowało jeszcze miesiąc bądź też wymaga remontu przykładowo za dwa tygodnie.

Ma to duże znaczenie dla bezawaryjnej, ciągłej pracy kopalń i przekłada się na wymierne korzyści finansowe. Przestoje w wydobywaniu są bowiem bardzo kosztowne i każda z firm wydobywczych stara się ich uniknąć.

A warunki eksploatacji mamy bardzo trudne i wymagające – średnioroczny wzrost głębokości w naszych kopalniach waha się od 7 do 8 metrów. Średnia głębokość eksploatacji to ok. 780 metrów, ale często głębokość, na której prowadzone są ściany, przekracza 1000 metrów. Po zamknięciu w 2018 roku kopalń niemieckich nasze są najgłębszymi kopalniami węgla kamiennego na świecie.

Problemów wynikających ze wzrostu głębokości jest wiele. Powoduje on wzrost naprężeń, co często przejawia się utrudnieniami w utrzymaniu stateczności wyrobisk górniczych i wzrostem zagrożenia zawałowego.

Wraz ze wzrostem głębokości rośnie poziom niemal wszystkich zagrożeń naturalnych, w tym zagrożenia tąpnięciami, wybuchem metanu, wyrzutem gazów i skał czy też zagrożenia klimatyczne. Często zagrożenia te występują jednocześnie. To przekłada się na konieczność stosowania coraz to bardziej wyrafinowanych systemów oraz przekłada się na coraz to wyższe koszty.

Źródło: WNP

reklama

## NOWIMEX®

**NOWIMEX** doradza w doborze i dostarcza produkty renomowanych firm z branży automatyki i elektromechaniki przemysłowej:

**VAHLE** – Systemy zasilania ruchomych odbiorników prądu.

**SCHLEGEL** – Tablicowy osprzęt sterowniczo-sygnalizacyjny.

**LEAB** – Systemy zasilania pojazdów ratowniczych, pożarniczych i medycznych w prąd i sprężone powietrze.

**A.M.I.** – Panele sygnalizacyjne i alarmowe.

**TEXELCO** – Sygnalizatory świetlne i dźwiękowe.

**HUGRO** – Dławice do kabli.

**BREVETTI** – Tworzywowe i stalowe przewodniki kabli.

**CATTRON** – Przemysłowe systemy zdalnego sterowania radiowego.

**MICRO DETECTORS** – Szeroka gama czujników.

**MARECHAL** – Wtykowe złącza przemysłowe i dekontaktory (z wbudowaną funkcją rozłączeniową).

www.nowimex.com.pl  
info@nowimex.com.pl



# Modernizacja konstrukcji ramy pojazdu startującego w zawodach Shell Eco-marathon

Krzysztof Ochałek, Damian Durał

## 1. Wstęp

Shell Eco-marathon to międzynarodowe studenckie zawody sięgające swą historią roku 1985. Zespoły z całego świata mają za zadanie samodzielnie zaprojektować i zbudować pojazd ukierunkowany na minimalizację zużycia paliwa. Podczas tych zawodów spalanie określa się poprzez dystans, jaki pokonałaby dana konstrukcja na ekwiwalencie jednego litra paliwa. Charakter zmagania sprawia, że młodzi konstruktorzy dzięki swoim świeżym umysłom i kreatywności dostarczają niekonwencjonalne rozwiązania dla przemysłu motoryzacyjnego i jego gałęzi. Zawody dzielą się na dwie kategorie Urban Concept i Prototype. W pierwszej z nich startują pojazdy, które muszą być w pełni przystosowane do ruchu drogowego, wyglądem przypominają samochody poruszające się po drogach, wyposażone są m.in. w światła, kierunkowskazy czy też wycieraczki. Druga z kategorii – Prototype – pozwala na dowolność konstrukcji, większość pojazdów startujących w tej kategorii to trzykołowce o niezwykle opływowym kształcie, małej masie i niskich oporach toczenia. Mimo różnic obu kategorii cel jest jeden: projekt i budowa niskoenergetycznych pojazdów ekologicznych.



Rys. 1. Bolid SAW

Studenckie Koło Naukowe Rotor Krosno w zawodach SEM startuje od roku 2016, zdobywając nowe doświadczenia. Na podstawie wnikliwych analiz, danych z testów i zawodów wprowadzane są corocznie nowe zmiany w konstrukcji bolidu SAW (rys. 1). Zmiany, jakie zostały wprowadzane w ciągu minionych lat, przynoszą oczekiwane rezultaty, czego dowodem jest coraz mniejsze zużycie paliwa przez bolid (rys. 2).

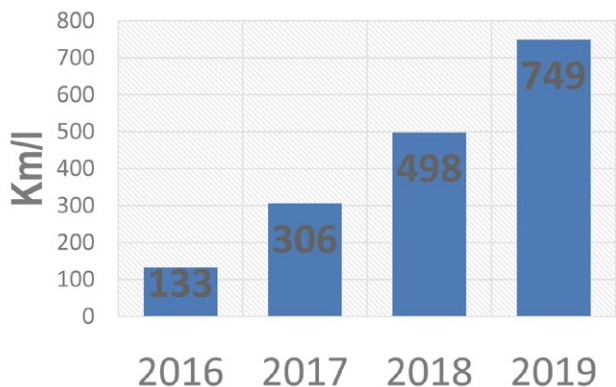
Podczas zawodów w Londynie w 2018 roku na nagraniu z kamery umieszczonej wewnątrz pojazdu zauważono, że w momencie wjechania koła przedniego w dołek na drodze

**Streszczenie:** W pracy ukazano przebieg procesu modernizacji ramy pojazdu ekologicznego startującego w międzynarodowych zawodach Shell Eco-marathon. Przedmiotem badań była analiza sztywności konstrukcji ramy, która podczas poruszania się bezpośrednio wpływa na geometrię układu jezdnego. W celu określenia rzeczywistych sił działających na ramę w wybranych punktach zmierzono drgania czujnikiem 3D. Na podstawie amplitudy drgań i rozkładu mas określono wielkość sił dynamicznych, działających na koła jezdne. Wykorzystując środowisko SolidWorks, zmodernizowano konstrukcję ramy, a następnie poddano ją analizie metodą elementów skończonych. W pierwszym etapie analiz zaprojektowaną ramę traktowano jako obiekt belkowy, co umożliwiło określenie rozmieszczenia poszczególnych elementów konstrukcji oraz wstępne dobranie profili ramy. Następnie wykonano analizy konstrukcji traktowanej jako element bryłowy. Ostatnim z etapów prac była analiza wytrzymałości zmęczeniowej. W wyniku przeprowadzonych działań stworzono nową ramę o konstrukcji kratownicowej charakteryzującą się większą sztywnością oraz mniejszą wagą.

Słowa kluczowe: sztywność, pojazd ekologiczny, Shell Eco-marathon

**Abstract:** The article presents the course of the modernization process of the ecological vehicle frame taking part in the international Shell Eco-marathon competition. The subject of the study was the analysis of the frame structure rigidity, which when moving directly affects the geometry of the steering system. To determine the actual forces acting on the frame at selected points, vibration was measured with a 3D sensor. The magnitude of dynamic forces acting on the wheels was determined on the basis of vibration amplitude and mass distribution. Using the SolidWorks environment, the frame structure was modernized and then subjected to finite element analysis. In the first stage of the analysis, the designed frame was treated as a beam object, which made it possible to determine the location of individual structural elements and pre-select the frame profiles. Then, analyzes of the structure treated as a solid element were made. The last of the stages of work was the analysis of fatigue strength. As a result of the activities carried out, a new truss frame was created with greater rigidity and less weight.

Keywords: rigidity, ecological vehicle, Shell Eco-marathon



Rys. 2. Wyniki bolidu SAW uzyskane na zawodach Shell Eco-marathon

zmieniała się geometria układu jezdnego, co niosło ze sobą zwiększenie oporów ruchu. Bezpośredni wpływ na to zjawisko miała zbyt niska sztywność ramy nośnej pojazdu. W celu określenia i zaprojektowania nowej ramy zmierzono rozkład sił statycznych i dynamicznych na poszczególne koła. Znając wartości sił, podczas projektowania nowej konstrukcji ramy wyznaczano wstępnie położenia poszczególnych elementów konstrukcji belkowej oraz dobrano przekroje poprzeczne profili. Kolejnym krokiem modernizacji ramy było przekonwertowanie modelu belkowego na bryłowy i wykonanie analiz numerycznych metodą elementów skończonych. W wyniku przeprowadzonych prac powstała nowa rama o niższej masie i wyższej sztywności, co zaowocowało poprawą wyniku uzyskanego podczas zawodów w Holandii w roku 2019.

## 2. Pomiar rozkładu sił statycznych i dynamicznych

W celu modernizacji konstrukcji ramy pod kątem zwiększenia sztywności konieczne było określenie rzeczywistych wartości sił działających na poszczególne elementy ramy. W tym celu w miejscu mocowania zwrotnicy koła przedniego zamontowano akcelerometr (rys. 3) i podczas jazdy testowej na nawierzchni odzwierciedlającej warunki panujące podczas zawodów zarejestrowano wartości przyspieszeń.

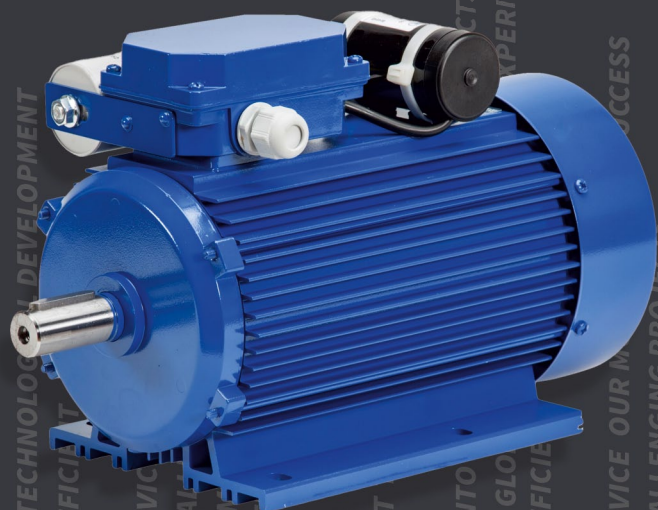
Wynikiem tego jest wykres przyspieszeń w osi pionowej, rys. 4. Obszar znajdujący się wewnątrz pola zakreślonego czerwonymi liniami – to strefa zanieczyszczeń sygnałowych pochodzących od pracującego silnika, wirujących elementów układu napędowego i jezdnego oraz drobnych nierówności jezdni. Podczas przejazdu powrotnego zostało zarejestrowane największe przyspieszenie, które po obróbce dało sumaryczny wynik na poziomie 3,5 g. Siły statyczne działające na poszczególne koła jezdne zostały zmierzone za pomocą wagi.

Dane:

- $m_1 = 25 \text{ kg}$  – masa pojazdu przypadająca na koło prawe;
- $m_2 = 25 \text{ kg}$  – masa pojazdu przypadająca na koło lewe;
- $m_3 = 46 \text{ kg}$  – masa pojazdu przypadająca na koło tylne;
- 3,5 g – maksymalna wartość przyspieszenia w kierunku normalnym do nawierzchni;
- $\mu = 1,1$  – współczynnik tarcia (opona-asfalt);
- $g \sim 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  – przyspieszenie ziemskie.

**Cantoni**®  
GROUP

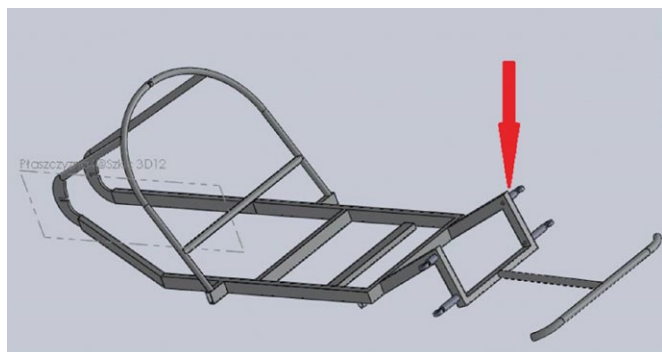
**DRIVING  
YOUR  
BUSINESS**



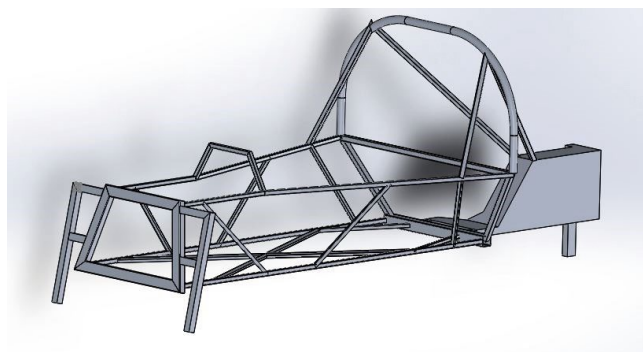
**SILNIKI ELEKTRYCZNE  
I SYSTEMY NAPĘDOWE  
OD 0,04 KW DO 6000 KW**



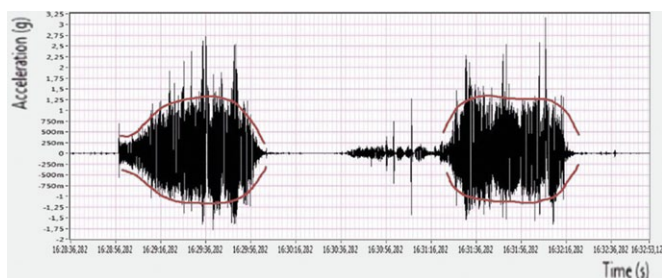
[www.cantonigroup.com](http://www.cantonigroup.com)



**Rys. 3.** Miejsce mocowania akcelerometru



**Rys. 5.** Wstępny uproszczony model ramy



**Rys. 4.** Zarejestrowane wartości przyspieszenia w kierunku normalnym do jezdni

Wartości sił dynamicznych ( $F_d$ ) w kierunku normalnym do powierzchni jezdni obliczono wg wzoru numer 1:

$$F_d = 3,5 \text{ g} \times m_{(1,2,3)} \quad (1)$$

Wartości siły hamowania i siły odśrodkowej ( $T_{\max}$ ) przyjęto jako maksymalne wartości, przy których nie nastąpi poślizg koła względem jezdni, obliczone według wzoru numer 2:

$$T_{\max} = m_{(1,2,3)} \times \mu \quad (2)$$

**Tabela 1.** Wartości sił działających na konstrukcję

	Wartość siły obciążenia statycznego [N]	Wartość siły obciążenia dynamicznego [N]	Siły hamowania [N]	Siły odśrodkowe [N]
Przednie koło	245	860	270	270
Tylne koło	450	1580	495	495

### 3. Projekt nowej konstrukcji ramy

Znając wartości sił działających na konstrukcję, zbudowano wstępny model ramy. Elementy w nowo projektowanej konstrukcji zostały usytuowane tak, aby w procesie modernizacji maksymalnie zredukować siły gnące, przekształcając je w siły rozciągające i ściskające.

Konstrukcja oraz badania obliczeniowe zostały wykonane w oprogramowaniu komputerowym SolidWorks. Na potrzeby sprawnych obliczeń model został uproszczony, koła, zwrotnice oraz zespół przeniesienia napędu – z uwagi na znacznie wyższą sztywność w stosunku do elementów składowych

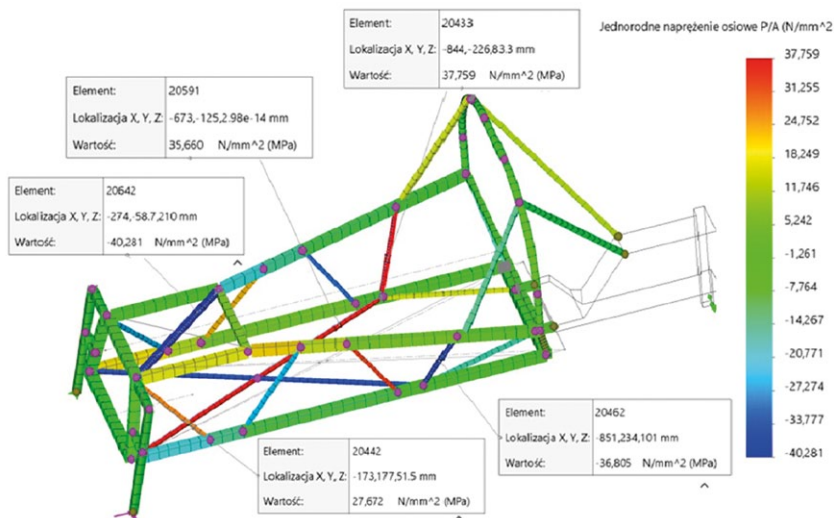
ramy – zostały zastąpione belkami scharakteryzowanymi jako obiekty nieodkształcalne. W miejscu, gdzie koło jedno tylne styka się z jezdnią, zastosowano utwierdzenie krawędzi modelu, odbierając wszystkie stopnie swobody. Podobnie postąpiono z jednym z przednich kół, natomiast do drugiego przyłożono siły o kierunkach, zwrotach i wartościach zgodnych z wcześniejszymi wyliczeniami. W procesie optymalizacji rozmieszczenia poprzeczek głównym parametrem sterującym były miejsce zaczepienia oraz kąt ich pochylenia. Rezultatem przeprowadzonych działań była redukcja sił zginających na rzecz ściskających i rozciągających oraz wyznaczenie wielkości profili na poszczególne elementy.

Oprogramowanie SolidWorks umożliwia obliczenie naprężeń występujących w dowolnym miejscu w badanej konstrukcji (rys. 6). Znając wartości naprężeń oraz pole przekroju zastosowanych elementów, wyznaczono wartości sił, jakie działają w każdym z elementów ramy. Kolejnym krokiem było przekonwertowanie modelu belkowego na element bryłowy i wykonanie analizy MES. W tym celu stworzono siatkę elementów skończonych opartą na krzywiźnie, maksymalny rozmiar elementu siatki ustawiono na wartość połowy grubości najcieńszej ścianki modelu.

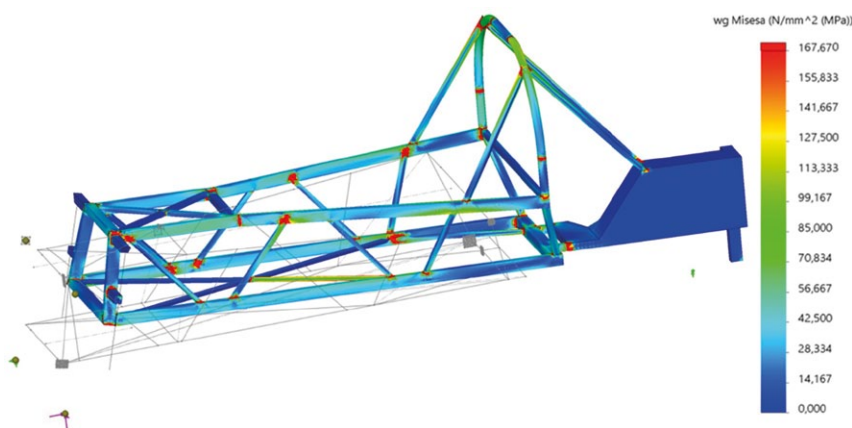
Ostateczny kształt ramy (rys. 7) wykazał się zadawalającymi parametrami, maksymalne odkształcenia konstrukcji według symulacji wyniosły 4 mm, a współczynnik bezpieczeństwa dla zastosowanego stopu aluminium 6063 w stanie T6 (stop AlMg0,7Si przesycany, starzony sztucznie) wynosi  $x = 1,5$ . Duża koncentracja naprężeń w wynikach symulacji wynika z błędów numerycznych spowodowanych uproszczeniem modelu i brakiem zamodelowanych połączeń spawanych, co w rzeczywistości przekłada się na nieco niższe wartości. Konstrukcja ramy po wykonaniu zgodnie z projektem i zamontowaniu kół jezdnych została poddana działaniu sił o wartościach zgodnych z wyliczeniami przyłożonej do jednego z kół przednich przy utwierdzeniu dwóch pozostałych. Pomiary wykonane ramieniem pomiarowym wykazały, że konstrukcja odkształcała się plastycznie o 5 mm. Różnica odkształceń pomiędzy symulacją a wynikiem rzeczywistym wynika z osłabienia materiału będącego skutkiem procesu spawania i wynosi 20%.

Celem określenia cyklu życia nowej ramy na podstawie analizy statycznej wykonano badania zmęczeniowe. Ustawiono sinusoidalny przebieg zmian naprężeń w czasie symetrycznym względem zera, ze stałą amplitudą równą maksymalnemu

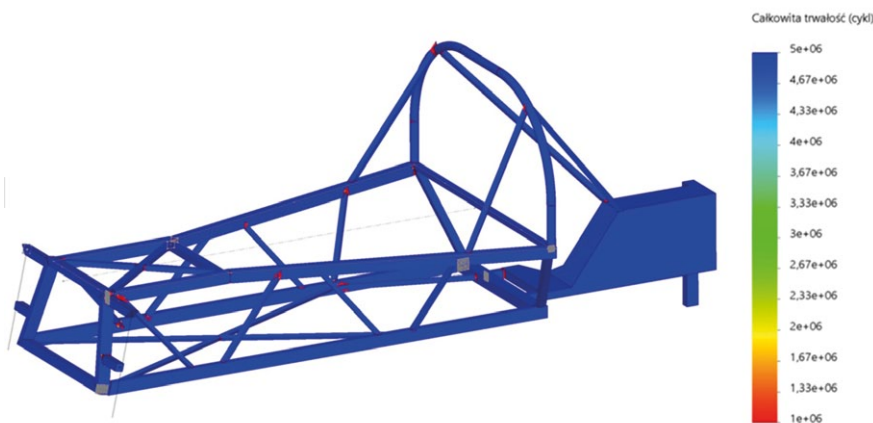




Rys. 6. Analiza statyczna konstrukcji belkowej – jednorodne naprężenia osiowe



Rys. 7. Analiza MES konstrukcji bryłowej



Rys. 8. Analiza zmęczeniowa konstrukcji ramy

najdłuższego dystansu na jednym litrze paliwa. Uzyskanie niskiego spalania wiąże się z optymalizacją pod kątem minimalizacji oporów toczenia, wagi całkowitej pojazdu i sprawność układu napędowego. Nowa zaprojektowana rama ma wpływ na dwa pierwsze czynniki, które zostały poprawione w procesie modernizacji. Zmiany pozwoliły na zwiększenie sztywności konstrukcji oraz układu jezdnego, odkształcenia zmalały niemalże 20-krotnie względem poprzedniej konstrukcji. Pozwoliło to na zachowanie poprawnej geometrii podczas startów w zawodach, co bezpośrednio wpłynęło na zmniejszenie strat związanych z oporem toczenia. Masa ramy zmniejszyła się o 2,5 kg i obecnie wynosi 5 kg. Skutkiem wprowadzonych zmian było uzyskanie w 2019 roku wyniku 749 km/l. Rezultat ten jest lepszy o ponad 250 km względem roku ubiegłego.

## Literatura

- [1] GRABARSKI A, WRÓBEL I.: *Wprowadzenie do metody elementów skończonych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [2] ŁODYGOWSKI T., KĄKOŁ W.: *Metoda elementów skończonych w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji inżynierskich*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2003.
- [3] ROMANÓW F.: *Wytrzymałość ram i nadwozi pojazdów*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1988.
- [4] SARNOWSKI W., OLECHNO A.: *Analiza wytrzymałościowa przy wykorzystaniu modeli 3D*. Instytut Logistyki i Magazynewania, Poznań 2014.

mgr inż. Krzysztof Ochałek – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie,  
e-mail: krzysztof.ochalek@pwsz.krosno.pl;  
Damian Durał – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie,  
e-mail: damian-drl@o2.pl

obciążeniu statycznemu oraz korekta naprężeń średnich według Soderberga. Na podstawie literatury do programu SolidWorks wprowadzono krzywą Wöhlera dla stopu 6063 w stanie T6. Trwałość konstrukcji przy zadanych wartościach sił wynosi 500 tys. cykli, co ze względu

na warunki eksploatacji można uznać za satysfakcjonujący wynik.

## 6. Podsumowanie

Shell Eco-marathon to zawody polegające na skonstruowaniu pojazdu ukierunkowanego na przejechanie jak

# Wpływ druku 3D na gospodarkę i życie społeczne

Helena Dodziuk

**W**pływ druku 3D na gospodarkę i życie społeczne rozpatruje się na ogół w szerszym kontekście następczej trzeciej (lub czwartej) rewolucji przemysłowej i związanego z nią rozwoju robotyki, sztucznej inteligencji, nanotechnologii, genetyki, druku 3D/AM, biotechnologii i innych dziedzin<sup>1</sup>, które będą się wzajemnie wzmacniały, tworząc podstawę rewolucji bardziej wszechstronnej i wszechogarniającej niż cokolwiek, z czym mieliśmy dotychczas do czynienia. Pomyślmy np. o inteligentnych systemach, nie tylko domach, lecz również fabrykach, gospodarstwach rolnych czy miastach, które będą potrafiły reagować na pojawiające się problemy, np. zmiany klimatyczne. Z drugiej strony rozwój robotyzacji, nanotechnologii i innych dziedzin spowoduje również skutki negatywne: zostaną utracone liczne miejsca pracy, a nowe będą wymagały wysokich kwalifikacji.

Wielką zaletą 3DP jest możliwość drukowania bardzo skomplikowanych kształtów z ruchomymi fragmentami. Dzięki temu produkt końcowy, a przynajmniej jakiś jego duży fragment, który tradycyjnie składany był z wielu części, może być wytworzony w jednym cyklu drukowania w 3D (ang. *in one run*). Dla wielu produktów doprowadzi to do zredukowania lub nawet wyeliminowania linii montażowych. Możliwość wytwarzania obiektów z „dziurami” w środku, umożliwiającą produkcję lżejszych części, jest bardzo cenna, zwłaszcza w przypadku przemysłu lotniczego<sup>2</sup>, motoryzacyjnego<sup>3</sup> i kosmicznego.

Wprowadzenie 3DP/AM spowoduje przekształcenie zakładów przemysłowych. Podobnie gospodarka częściami zamiennymi ulegnie całkowitej transformacji. Zamiast składać je w warsztatach naprawczych, można je będzie drukować w 3D; wtedy przechowywać trzeba będzie tylko pliki do drukowania.

Ważną rolę ma też odgrywać ekonomia współdzielenia (ang. *sharing economy*)<sup>4</sup>. Nie sposób również pominąć wpływu 3DP na komfort pacjentów, którzy m.in. będą więcej wiedzieli o czekających ich operacjach i rozumieli związane z nimi konieczne ingerencje medyczne, będą mieli dostęp do tańszych spersonalizowanych, tj. dopasowanych do ich rozmiarów, implantów i protez oraz urządzeń medycznych. Wydaje mi się, że przemiany związane z 3DP/AM oraz starzenie się społeczeństw Zachodu wpłyną również na system wartości i związaną z nim konieczność lepszego dofinansowania zawodów medycznych i opiekuńczych.

W rezultacie tych zjawisk zmieniają się wzorce konsumpcji, produkcji i zatrudnienia, z którymi będą musiały się zmierzyć małe firmy i wielkie korporacje, rządy i osoby prywatne. Całe przemysły będą się musiały dostosować: niektóre zawody znikną, podczas gdy inne będą się rozwijać i przekształcać. Już teraz widać (również w 3DP/AM), że wysokie wymagania stawiane kandydatom na pracowników utrudniają wielu firmom nabór pracowników o odpowiednich kwalifikacjach i zdolnościach. Najgorszy scenariusz zmian – to przełom technologiczny w połączeniu z niedoborem talentów, masowym bezrobociem i rosnącymi nierównościami. By uniknąć takiego niekorzystnego rozwoju, należy nie tylko zmienić cały system edukacji, lecz również opracować schematy przekwalifikowania i podnoszenia kwalifikacji dzisiejszych pracowników. Szczegółową analizę czynników wpływających na rozwój druku 3D zawierają raporty Grupy Sterującej w Wielkiej Brytanii skrótoowo omówione w rozdz. 11A<sup>5</sup>.

Dzisiaj przemysłowe drukowanie w 3D to nie tylko wykonywanie prototypów i oprzyrządowania do produkcji w takich wielkich korporacjach, jak GE, Airbus,

Siemens, a także w przemysłach lotniczym, motoryzacyjnym, dóbr konsumenckich i innych gałęziach<sup>6</sup>, lecz również wytwarzanie produktów końcowych oraz coraz szersze wprowadzanie produkcji na dużą skalę, zwłaszcza w przemysłach lotniczym i kosmicznym<sup>7</sup>. Jednak drukarki 3D, które mogą pracować 24 godziny na dobę przez siedem dni w tygodniu, zastępując ludzką siłę roboczą, z pewnością mogą być źródłem napięć społecznych.

Już w 2015 roku na Światowym Forum Ekonomicznym (ang. *World Economic Forum*, WEF) w Davos zwrócono uwagę na druk 3D (mimo dość naiwnego podejścia do jego zastosowań)<sup>8</sup>. W następnym roku na WEF opracowano raport *Przyszłość miejsc pracy. Zatrudnienie, umiejętności i strategia siły roboczej dla czwartej rewolucji przemysłowej* (ang. *The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*)<sup>9</sup>. Na utratę miejsc pracy zwrócono również uwagę podczas Światowego Forum Ekonomicznego w Davos w 2017 roku<sup>10</sup>. Uważa się, że 3DP/AM wyeliminuje znaczną część robotników, ale stworzy nową (chyba mniej liczną) armię wysoko wykształconych pracowników, o czym pisał Rob Wile<sup>11</sup>.

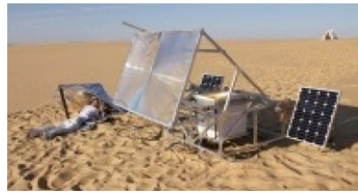
Wprowadzenie druku 3D na masową skalę do domów opóźnia się<sup>12</sup>; oczekuje się, że zajmie to więcej niż pięć lat. Ale kiedy już to nastąpi, zmieni się nie tylko podejście do projektowania, wytwarzania i sposobu prowadzenia biznesu, lecz również całe nasze życie. Nastąpi przejście od konsumeryzmu do prosumeryzmu. Nawet dziś, stosując druk 3D, można naprawić zepsutą pralkę lub samochód, drukując uszkodzone części w domu (pliki do drukowania można pobrać np. ze strony internetowej [www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com)) lub zamówić wydruk w firmie usługowej. Można wydrukować

turbinę wiatrową<sup>13</sup> do produkcji swojej własnej energii elektrycznej i stać się prosumentem, nie tylko produkując energię, lecz również sprzedając jej nadmiar. Można w 3D wydrukować własną biżuterię lub robota, albo jadalne ślady dinozaura wypełnione purée ziemniaczanym lub nawet zniechęconym szpinakiem<sup>14</sup> i dać je zjeść dzieciom zamiast niezdrowych frytek. Druk 3D zmieni całe nasze życie, tym bardziej, że w USA pokazano, iż domowa produkcja na drukarce 3D jest opłacalna<sup>15</sup>. Już w 2013 roku pokazano, że przynajmniej niektóre urządzenia i narzędzia domowe taniej jest wydrukować, niż je kupić<sup>16</sup>.

Obok ekonomii współdzielenia coraz wyraźniej widać ekonomię współtworzenia, zwaną otwartą nauką, która w szerszym ujęciu obejmuje nie tylko wolny dostęp do informacji, lecz również modele wspólnego uprawiania wiedzy<sup>17</sup>. Najbardziej chyba znany przykład takiej współpracy to astronomiczny projekt Łowcy Planet (ang. *Planet*

**Rys. 1.** Drukarka 3D i panele słoneczne ustawione na pustyni (z lewej) i wydrukowane w 3D naczynia z piasku (z prawej)

©Markus Kayser



*Hunters*)<sup>18</sup>, w ramach którego laicy zwani naukowcami obywatelami (ang. *Citizen Scientists*) analizują dane obserwacji astronomicznych w celu wykrycia anomalii świadczących np. o istnieniu planet poza naszym Układem Słonecznym.

Inny projekt obywatelskiej nauki związany z drukiem 3D zainicjował amerykański informatyk Bodo Hoenen<sup>19</sup>, którego pięcioletnia córeczka była prawie całkowicie sparaliżowana. Do jej usprawnienia konieczny był egzoszkielek do ćwiczeń. Podobnie jak w opisanym w rozdz. 12E przypadku protezy ręki wydrukowanej w 3D przez Eastona LaChapelle<sup>20</sup>, egzoszkielek tego typu był

bardzo drogi, miał kosztować około 100 tys. dolarów. Zdesperowany ojciec, który nie miał pojęcia, jak się zabrać do zrobienia takiego egzoszkieletu, opisał problem i poprosił o pomoc w jego realizacji na Facebooku i LinkedIn. Bał się, że nikt się nie odezwie, ale zgłosiło się do niego wielu specjalistów z różnych krajów, którzy pomogli mu przygotować projekt i zdobyć podzespoły, jakaś firma wykonała skan ręki, a ktoś inny wydrukował w 3D egzoszkielek. Prace te trwały kilka miesięcy. Zbudowany prototyp egzoszkieletu, który kosztował jedynie 200 dolarów, umożliwił córeczce Hoenena ćwiczenie po

reklama



# BEFARED

Fabryka Reduktorów i Motoreduktorów



**Reduktory Motoreduktory Zespoły napędowe**  
**Wyroby specjalne na dokumentacji Klienta**  
**Elementy zębate**  
**Usługi technologiczne**  
**Serwis**

**www.befared.pl**

Fabryka Reduktorów i Motoreduktorów BEFARED S.A.  
 ul. Grażyńskiego 71; 43-300 Bielsko-Biała  
 tel.: +48 33 815 93 63; fax: +48 33 815 93 63  
<http://www.befared.pl>; email: [befared@befared.pl](mailto:befared@befared.pl)

dziesięć godzin dziennie. Dziewczynce zależało na usprawnieniu rączki i bardzo się cieszyła, że widzi postępy. Cały projekt, opisany m.in. przez M. Gajka<sup>21</sup>, jest projektem typu *open* udostępnionym w internecie<sup>22</sup> i zainteresowani rodzice mogą z niego korzystać i go ulepszać. Ekonomię współtworzenia wykorzystują również duże koncerny w nastawionych na zysk projektach niezwiązanych z 3DP/AM, np. Procter and Gamble<sup>23</sup>. Istnieją specjalne crowdsourcingowe platformy internetowe, które pomagają rozwijać nie tylko pomysły, lecz również design graficzny oraz produktu<sup>24</sup>.

Dotychczas drukowanie w 3D było tańsze, szybsze i bardziej elastyczne niż produkcja tradycyjna jedynie dla pojedynczych egzemplarzy lub krótkich serii. Powoli się to zmienia<sup>25</sup> wraz z gwałtownym spadkiem kosztów drukarek wykorzystujących tę technologię, wzrostem szybkości drukowania i jego specyfiką, np. możliwością drukowania lżejszych części samolotowych z „dziurami” w środku.

Z kolei w medycynie wirtualne planowanie chirurgiczne zwiększa komfort pacjentów, nie tylko skracając czas operacji i rekonwalescencji, lecz również ulepszając współdziałanie lekarzy z pacjentami, którzy po obejrzeniu wydrukowanego w 3D modelu miejsca operacji lepiej rozumieją proces leczenia. Podobnie wydrukowane w 3D spersonalizowane protezy i implanty zmieniają życie pacjentów. Istnieją fundacje niosące ogromną pomoc ludziom biednym i ofiarom min przeciwpiechotnych w Azji i Afryce, które drukują protezy, korzystając z technologii druku 3D. Dużo tańsze i spersonalizowane narzędzia medyczne (np. chirurgiczne dla niemowląt) stanowią szansę nie tylko dla lekarzy i szpitali w krajach rozwijających się.

Istnieje możliwość uruchomienia taniego wytwarzania naczyń z piasku na Saharze przy wykorzystaniu energii słonecznej<sup>26</sup>. Naprawa urządzeń zniszczonych przez klęski żywiołowe w odległych regionach (np. rur zniszczonych przez trzęsienie ziemi w Nepalu<sup>27</sup>, to przykład zastosowania 3DP w krajach rozwijających się. Również możliwość wydrukowania w 3D wielu potrzebnych urządzeń jest bardzo pomocna dla ludzi w wielu rejonach świata<sup>28</sup>.

Innym przykładem niesienia pomocy potrzebującym jest wydrukowanie prostych instrumentów muzycznych, ukulele, przez studentów Uniwersytetu Kalifornijskiego UCLA dla upośledzonych dzieci<sup>29</sup>.

Uważa się, że 3DP ma do odegrania ogromną rolę w odległych i zaniedbanych rejonach nie tylko w przypadku klęsk żywiołowych, lecz również w czasie wojen lub w zwalczaniu ubóstwa<sup>30</sup>. Społeczne aspekty 3DP/AM ilustruje również zatrudnienie przez drukującą w 3D firmę Buildp18<sup>31</sup> z New Jersey osób z autyzmem<sup>32</sup>.

Gwałtowny rozwój technologii druku 3D/AM jest właściwie bezprecedensowy. Największy analityk w dziedzinie druku 3D, T. Wohlers z Wohlers Associates, w Rocznym Raportcie Rozwoju na świecie (ang. *Annual Worldwide Progress Report*) w 2018 roku podaje, że w 2017 roku zanotowano gwałtowny wzrost sprzedaży drukarek 3D/AM do metalu o 80%, co odzwierciedla zainteresowanie przemysłu produkcją tą metodą (w 2017 roku sprzedano 1768 systemów AM do druku 3D w metalu, podczas gdy w poprzednim roku jedynie 983)<sup>33</sup>. Liczba tych drukarek jest wciąż niewielka, ale ich wartość i wpływ na gospodarkę jest ogromny i coraz więcej światowych producentów ma świadomość zysków związanych z drukowaniem 3D w metalu. Gwałtowny rozwój 3DP/AM ilustruje również wzrost liczby patentów w tej dziedzinie. Najważniejszymi z nich były patent założyciela koncernu 3D Systems Chucka Hulla, opisujący metodę stereolitografii<sup>34</sup> oraz patent założyciela koncernu Startasys, Scotta Crumpa, opisujący metodę FDM<sup>35</sup>. Z jednej strony wygasanie patentów powoduje powstanie wielu nowych firm, co zwiększa konkurencję. Z drugiej gwałtownie rosnąca liczba patentów (z których znaczna część to patenty dotyczące zastosowań w medycynie i stomatologii<sup>36</sup>) wskazuje na innowacyjność i możliwości rozwoju tej dziedziny<sup>37</sup>. Od 1996 do 2013 roku liczba patentów w dziedzinie 3DP/AM zwiększała się stale, ale powoli. Od 2013 do 2016 roku liczba zgłoszeń patentowych wzrosła o chyba bezprecedensową wartość 7,7 razy, mimo że przygotowanie zgłoszenia patentowego może być

długotrwałe i kosztowne, a jego uzyskanie może trwać kilka lat.

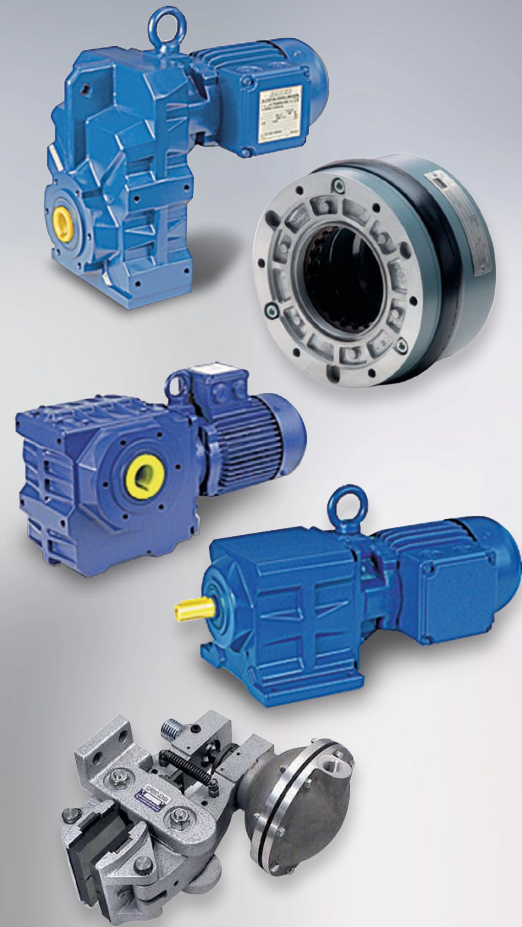
Według raportu Wohlers Associates w 2017 roku<sup>38</sup> około 1,13 mld dolarów wydano na świecie na materiały (zarówno dla przemysłowych systemów drukowania używanych w 3DP/AM, jak i dla drukarek biurkowych). Odpowiada to wzrostowi o 25,5% w stosunku do 17,3% osiągniętemu w 2016 i 20,0% uzyskanemu w 2015 roku. Powyższe oszacowanie dotyczy sprzedaży ciekłych fotonopolimerów, proszków, granulatów, filamentów (czyli plastików), przewodów (ang. *wires*), materiałów arkuszykowych (ang. *sheet materials*) i wszystkich innych materiałów używanych w 3DP/AM. Warto podkreślić, że przytoczony w Raportcie wykres pokazuje stale rosnący trend sprzedaży tych materiałów w XXI wieku, który załamał się w sposób istotny jedynie w 2009 roku<sup>39</sup>.

Wprowadzanie 3DP/AM do przemysłu, medycyny, edukacji i wielu innych dziedzin rozwija się lawinowo. Mimo że nie wszyscy, zwłaszcza w Polsce, mają tego świadomość, zmieniają one całe nasze życie. Po angielsku powiedzielibyśmy: *Welcome to the future*.

### Przypisy

- 1 <http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2016/>.
- 2 GADGET L., 24.07.2018, <https://www.sculpteo.com/blog/2018/07/24/study-3d-printing-in-aeronautics-a-real-game-changer/>.
- 3 ZAHND P.A., 10.05.2018, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-automotive-industry-3-132584/>.
- 4 [https://pl.wikipedia.org/wiki/Ekonomia\\_wsp%C3%B3%B3%C5%82pracy](https://pl.wikipedia.org/wiki/Ekonomia_wsp%C3%B3%B3%C5%82pracy).
- 5 <http://www.amnationalstrategy.uk/>.
- 6 <http://www.javelin-tech.com/3d-printer/industry/>.
- 7 GAGET L., 24.07.2018, <https://www.sculpteo.com/blog/2018/07/24/study-3d-printing-in-aeronautics-a-real-game-changer/>.
- 8 <https://www.weforum.org/agenda/2015/06/3d-printing-save-the-world/>.
- 9 Bruce-Lockhart A., 22.06.2015, [www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf).
- 10 MENDOZA H.R., 24.01.2017, <https://3dprint.com/162638/davos-job-loss-automation/>.

## Razem możemy osiągnąć więcej!



### Oferujemy sprzedaż oraz serwis dla:

- Motoreduktorów
- Silników elektrycznych i przekładni
- Elektrobębnow
- Sprzęgieł i hamulców

### Nowość w ofercie

- POMIARY WIBROAKUSTYCZNE
- POMIARY TERMOWIZYJNE
- POMIARY OCHRONNE



- 11 WILE R., 4.09.2014 <http://www.businessinsider.com/how-3d-printing-will-affect-manufacturing-jobs-2014-8?IR=T>.
- 12 Gartner, 19.08.2014, <http://www.gartner.com/newsroom/id/2825417>.
- 13 <http://www.reprap-windturbine.com/index.php?id=18&L=1>.
- 14 <https://www.cgtrader.com/3d-print-models/house/kitchen-dining/dinosaur-trace-cookie-cutter-for-professional>.
- 15 Saunders S., 16.02.2017, <https://3dprint.com/165246/mtu-at-home-3d-printing-study/>.
- 16 MCKENDRICK J., 6.08.2013, <http://www.zdnet.com/article/10-household-items-that-will-be-far-far-cheaper-with-3d-printing/>.
- 17 <https://centrumcyfrowe.pl/wp-content/uploads/2013/11/otwarta-nauka-.pdf>.
- 18 [https://en.wikipedia.org/wiki/Planet\\_Hunters](https://en.wikipedia.org/wiki/Planet_Hunters).
- 19 THORNETT C., 23.12.2017, <https://www.techradar.com/news/loreleis-story-how-a-5-year-old-crowd-sourced-robotic-prosthetic>.
- 20 SEITZ D., 1.12.2015, <http://uproxx.com/technology/easton-lachappelle-luminary/>.
- 21 GAJEK M., „Newsweek” 2018, nr 4, III, s. 60.
- 22 <http://www.dev4x.com/myoelectric-robotic-assistive-arm/>.
- 23 <https://www.ideaconnection.com/crowdsourcing/procter-gamble-00007.html>.
- 24 BENSOUSSAN H., 19.10.2016, <https://www.sculpteo.com/blog/2016/10/19/13-best-crowdsourcing-platforms-for-product-design/>.
- 25 GAGET L., 24.07.2018, <https://www.sculpteo.com/blog/2018/07/24/study-3d-printing-in-aeronautics-a-real-game-changer/>.
- 26 ETHERINGTON R., 28.06.2011, <https://www.dezeen.com/2011/06/28/the-solar-sinter-by-markus-kayser/>.
- 27 JONES S., 15.12.2015, <https://www.theguardian.com/global-development/2015/dec/30/disaster-emergency-3d-printing-humanitarian-relief-nepal-earthquake>.
- 28 SCOTT C., 27.08.2018, <https://3dprint.com/223542/3d-printing-indigenous-people/>.
- 29 MENDOSE H.R., 13.02.2018, <https://3dprint.com/203613/3d4e-3d-printed-ukeleles/>.
- 30 Filaments.directory, 19.04.2018, <https://www.filaments.directory/en/blog/2018/04/19/3dprinting-in-humanitarian-crisis-providing-vital-solutions-in-the-face-of-natural-disaster-war-and-poverty>;
- Filaments.directory, 24.04.2018, <https://www.filaments.directory/en/blog/2018/04/24/3d-printing-in-humanitarian-crisis-providing-vital-solutions-in-the-face-of-natural-disaster-war-and-poverty-part2>;
- Filaments.directory, 2.05.2018, <https://www.filaments.directory/en/blog/2018/05/02/3d-printing-in-humanitarian-crisis-providing-vital-solutions-in-the-face-of-natural-disaster-war-and-poverty-part3>.
- 31 Buildp18.
- 32 MENDOZA H.R., 4.04.2017, <https://3dprint.com/169930/buildp18-adults-with-autism/>.
- 33 Wohlers Associates, <https://wohlersassociates.com/2018report.htm>.
- 34 <https://patents.google.com/patent/US4575330A/en>.
- 35 <https://patents.google.com/patent/US5121329A/en>.
- 36 HORNICK J., 17.07.2017, <https://3dprint.com/181207/3d-printing-patent-landscape/>.
- 37 Wohlers Associates, 11.02.2018 <https://wohlersassociates.com/blog/2018/02/growth-in-am-patent-applications/>.
- 38 Wohlers Associates, <https://wohlersassociates.com/2017report.htm>.
- 39 Wohlers Associates, 15.07.2018, <http://wohlersassociates.com/blog/2018/07/recent-am-material-sales-growth/>.

Fragment pochodzi z książki:  
Druk 3D/AM. Zastosowanie oraz skutki społeczne i gospodarcze, H. Dodziuk, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2019

# Perspektywy rozwoju druku 3D

Helena Dodziuk

**E**ksperci zapytani w 2013 roku o perspektywy rozwoju druku 3D wskazali na trudności przewidywać<sup>1</sup>:

Kto mógłby dziesięć lat temu przewidzieć, że drukarki 3D będą dostępne dla zwykłych użytkowników, bo będą kosztować mniej niż tysiąc dolarów? Lub to, że NASA, GE i wiele innych firm i agencji będzie korzystała z tej technologii do testowania i tworzenia silników rakietowych, elementów samolotów i części, których dotychczas nie można było produkować metodami konwencjonalnymi?

Dodali oni, że w perspektywie 50 lat zostaną wprowadzone biodruk, drukowane w 3D jedzenie i klasterzy urządzeń wykorzystujących AM do produkcji. To wszystko – może na razie w dość ograniczonym zakresie – mamy już dzisiaj do dyspozycji, tj. w pięć lat później, zaś najwybitniejszy analityk rynku druku 3D T. Wohlers powiedział: „Szczepnie mówiąc, nie sądzę, byśmy wiedzieli. Przecież nikt nie mógł przewidzieć, że będziemy mogli oglądać całe [ang. *full length* – przypis H.D.] wideo na naszych telefonach. Najwspanialsze [w druku 3D – przypis H.D.] jest to, że nie możemy nic przewidzieć”.

Andreas Saar, wiceprezydent Manufacturing Engineering Solutions prowadzonego w firmie Siemens programu zarządzania cyklem życia produktu (ang. *Product Lifecycle Management*, PLM)<sup>2</sup>, swój wykład na konferencji Materialise World Summit 2017<sup>3</sup> zatytułował: *Additive Manufacturing Reshapes Everything. Reimagine Products. Retool Manufacturing. Rethink How You Do Business*<sup>4</sup>. Można to przetłumaczyć w następujący sposób: „Druk 3D zmienia wszystko. Należy na nowo wymyślić produkty, zmienić narzędzia wytwarzania i przededefiniować sposób prowadzenia biznesu”. Według A. Saara 3DP/AM jest obecnie w przemyśle głównym czynnikiem zmieniającym reguły gry, jest najważniejszym wyzwaniem, ale i wielką szansą, aby przemysłu całą organizację biznesu, wprowadzając innowacje, zmiany narzędzi produkcji (ang. *retooling*) oraz procesów produkcyjnych.

Wohlers Associates opublikował na swojej stronie ważne linki do artykułów i innych materiałów na temat druku 3D/AM<sup>5</sup>. Obejmują one zarówno informacje własne firmy, jak również artykuły w uznanych gazetach i czasopiśmie („Forbes”, „Fortune”, „The Wall Street Journal” itp.) oraz na stronach internetowych.

Na istotny aspekt całościowego traktowania 3DP/AM zwrócił uwagę Christopher Spadaccini z firmy LLNL, omawiając nowe materiały na konferencji w Nottingham<sup>6</sup>. Podkreślił on, że sprawy opracowania materiałów nowych generacji do drukowania nie można rozpatrywać w izolacji od modelowania i designu, syntezy, procesów drukowania, a także badania jakości i certyfikacji, ponieważ wszystkie te procesy są współzależne.

W latach 2008–2013 druk 3D kwitł, ponieważ skończył się okres ważności istotnych patentów. Następnie w latach 2014–2016 pojawiły się turbulencje (dziwną, sprzeczną opinię wyraził dr Bryony Core na portalu IDTechEx, mówiąc o wykładniczym wzroście w latach 2013–2016<sup>7</sup>). Po burzliwym wzroście, któremu towarzyszyła wiara, że wszystko jest proste i możliwe, dochody wielu firm malały, a nawet pojawiły się straty, malała wycena giełdowa spółek, a niektóre z nich bankrutowały, zaś prezesi firm, nawet tych największych, byli wymieniani na nowych<sup>8</sup>. Oznaczało to, jak podano w Raportcie Wohlers Associates za 2017 rok, że całkowite zyski przemysłu AM wzrosły w 2016 roku o 17,4%, podczas gdy były one równe 25,9% rok wcześniej. Jest to głównie związane ze spadkiem, który odnotowały dwie największe firmy z tej branży, Stratasys i 3D Systems. Gdyby te firmy wyłączyć z analizy, to całkowity wzrost niewiele różniłby się od poprzednich lat i wynosiłby 24,9%.

Jednak w pozostałym segmencie rynku 3DP/AM zaszły ogromne zmiany. Chwilowe załamanie na tym rynku nie wpłynęło na ocenę jego perspektyw. Na przykład analityk Todd A. Grimm mówi o utracie iluzji na rzecz bardziej realistycznej oceny możliwości<sup>9</sup>. Wszyscy podkreślają wspaniałe perspektywy rozwoju druku 3D. Analitycy firmy Markets & Markets przewidywali w 2018 roku, że rynek przemysłowego druku 3D osiągnie w 2023 roku wartość 5,66 mld dolarów<sup>10</sup>, a rynek militarny w 2025 roku ma być wart 4594,4 mld dolarów<sup>11</sup>. Z kolei cały rynek druku 3D powinien w 2023 roku osiągnąć wartość 32,78 mld dolarów ze skumulowanym rocznym wskaźnikiem wzrostu CAGR pomiędzy 2017 a 2023 rokiem równym 25,76%<sup>12</sup>. Do czynników stymulujących tak szybki wzrost należą: łatwość rozwijania produktów dopasowanych do klienta, czyli personalizacja (ang. *customized product*), umiejętność obniżenia całkowitych kosztów wytwarzania, inwestycje państwowe w projekty z tej dziedziny, obejmujące jej rozwój i wdrażanie. W raporcie wymieniono 25 najważniejszych firm z tej dziedziny, w tym dziewięć amerykańskich, pięć niemieckich, po dwie szwedzkie, brytyjskie i holenderskie, a po jednej z Belgii, Francji, Irlandii, Chin, Tajwanu i Izraela. Pierwsze dwa miejsca zajmują giganty Stratasys i 3D Systems Corporation, potem są wymienione niemiecka EOS GmbH i belgijskie materialise, które we wrześniu 2017 roku otworzyły swoją fabrykę we Wrocławiu. Szczególnie miejsce zajmuje Izrael, ponieważ obok największej w branży druku 3D korporacji Stratasys, która ma dwie siedziby (w USA i Izraelu), jako jedną z najważniejszych w tym spisie wymieniono również firmę Nano Dimension, która specjalizuje się w drukowaniu obwodów elektronicznych i zaczęła prace nad biodrukiem<sup>13</sup>.

Dzięki dostępności zaawansowanych technologii druku 3D, przystępnym kosztom oraz coraz lepszym parametrom

technicznym drukarki biurkowe są obecnie używane przez hobbystów i fachowców do opracowywania części funkcjonalnych, zwłaszcza produktów konsumenckich. Oczekuje się, że ten rynek będzie rósł jeszcze szybciej niż cała dziedzina 3DP, przy czym głównymi motorami jego wzrostu będą innowacje, personalizacja, obniżka kosztów drukarek biurkowych i materiałów oraz nowe materiały. Raport Markets & Markets przewiduje, że przemysły lotniczy, kosmiczny i obronny będą najszybciej rozwijającymi się rynkami wertykalnymi (tzw. pionowymi, czyli sektorowymi lub branżowymi), a USA będą nadal miały największy udział w rynku.

Jeśli chodzi o materiały stosowane do druku w 3D, to największy udział w rynku w 2016 roku miały plastyki i metale, ale raport przewiduje, że udział innych materiałów będzie rósł w najszybszym tempie stymulowany przez zwiększający się popyt na biomateriały używane w pionowym rynku zastosowań medycznych, proszki metaliczne oraz na niektóre wyspecjalizowane materiały (takie jak zawierający drewno materiał kompozytowy laywood<sup>14</sup>, wosk czy też papier). Wchodzenie 3DP na nowe rynki pionowe, takie jak elektronika, rynek biomedyczny i farmaceutyczny oraz budownictwo, spowoduje wzrost popytu na materiały używane w tych branżach. Problemy związane z rozwojem i przebudową rynku, napotykaną przy wprowadzaniu druku 3D, już w 2014 roku przedstawił Freddie Dawson, co zostało omówione w rozdz. 5<sup>15</sup>.

Oczywiście perspektywy rozwoju technologii AM i/lub 3DP zależą w pewnym stopniu od dziedziny. Jedyną branżą całkowicie opanowaną przez druk 3D jest produkcja aparatów słuchowych. Przemysł dentystyczny wydaje się kolejnym rynkiem, który zostanie przejęty przez tę technologię. W 2015 roku firma SmartTech szacowała, że udział technologii 3DP w rynku dentystycznym będzie wart 3,1 mld dolarów w 2020 roku<sup>16</sup>. Z kolei najciekawsze zastosowania 3DP/AM w medycynie dotyczą bioproduktów, czyli drukowania komórkami. Wydaje się, że jest jeszcze daleko do drukowania całych organów do implantacji, ale z punktu widzenia zastosowań medycznych bardzo interesujące jest drukowanie fragmentów organu, np. wątroby, do wszczepienia pacjentom oczekującym na transplantację. Taki fragment o rozmiarach monety dolarowej przyjął się już u myszy z chorą wątrobą i oczekuje się zastosowania tej metody w 2020 roku również u ludzi<sup>17</sup>.

W opublikowanym w kwietniu 2016 roku raporcie firmy EY (dawna nazwa Ernst & Young)<sup>18</sup>, opracowanym na podstawie badania 900 firm z 12 krajów stosujących 3DP (niestety bez Europy Środkowo-Wschodniej, w tym Polski), oczekuje się, że udział wydrukowanych w 3D produktów będzie wynosił w 2021 roku w Chinach i Korei Południowej 55,9%, w USA – 36,5%, a w Zachodniej Europie – 35,2%. W Europie największy udział mają mieć Wielka Brytania – 35,0% i Niemcy – 26,0%. Warto podkreślić, że w 2016 roku wszystkie te kraje miały około pięcioprocentowy udział druku 3D w produkcji. Badanie to, które przeprowadzono na przełomie 2015 i 2016 roku, wykazało, że tylko 24% firm uważa 3DP za strategicznie ważne przedsięwzięcie. Również 24% ma już doświadczenie w 3DP, a 12% rozważa stosowanie go. Jest interesujące, że tylko niecałe 3% całkowitych dochodów badanych firm pochodziło ze sprzedaży produktów wytworzonych dzięki 3DP, procent ten był największy w USA

(około 7%) i wynosił prawie 6% w Chinach i Korei Południowej.

Wydaje się, że najbardziej długofalową, a jednocześnie dość skonkretyzowaną wizję rozwoju 3DP w zastosowaniach wykorzystujących proszki metaliczne, czyli AM, do produkcji przemysłowych części funkcjonalnych przedstawił prezes rosyjskiej firmy Anisoprint<sup>19</sup>, Fedor Antonov<sup>20</sup>. Uważa on, że w druku 3D działają dwie właściwie rozdzielne społeczności: konsumencka i przemysłowa. W tej drugiej używa się, jak i w tej książce terminu 'wytwarzanie addytywne', AM. Nie negując znaczenia AM jako technologii stosowanej w prototypowaniu, wytwarzaniu modeli i narzędzi, F. Antonov, podobnie jak Andreas Saar z Siemens<sup>21</sup>, twierdzi, że należy zmienić myślenie o metodzie przemysłowego wytwarzania AM i odejść od przyrównywania tej metody jedynie do druku z proszków metalicznych. Technologia druku 3D wyrosła dzięki polimerom, które według Raportu EY za 2016 rok<sup>22</sup> stanowią ponad połowę rynku materiałów stosowanych w AM.

Obecnie coraz większą rolę odgrywa drukowanie z wykorzystaniem proszków metalicznych, wykorzystując wiele specjalistycznych technologii wymagających ściśle określonej wielkości wysokiej jakości granulek (wytwarzanych m.in. w urządzeniu polskiej firmy 3D Lab, atomizerze ATO ONE). Do niedawna drukarki do metalu były na ogół bardzo duże i drogie (mogły kosztować nawet kilka milionów dolarów) i wymagały dodatkowego wyposażenia. Ocenia się, że takich urządzeń potrzeba rocznie mniej niż tysiąc i rynek ten rośnie bardzo powoli<sup>23</sup>, ale ich wpływ na rynek 3DP/AM jest ogromny. Cena drukarek 3D na metal spada. Niewątpliwie rewolucję na tym rynku wprowadza amerykańska firma iro3D, która w listopadzie 2018 roku zaczęła dostawy drukarki 3D na metal za 5 tys. dolarów<sup>24</sup>.

Obecnie zainteresowanie większości ekspertów dotyczące technologii AM jest prawie całkowicie zogniskowane na druku w metalu, przemysł nie rozważa żadnych (może z wyjątkiem ceramiki) alternatyw dla zastosowań metali w AM w sytuacji, gdy rośnie złożoność układów i ich koszty. W tej sytuacji F. Antonov uważa, że należy rozważyć alternatywę dla druku w metalu, jaką są kompozyty polimerowe. Sądzi on, że takie kompozyty mogą odegrać ważną rolę w naśladowaniu (mimikrze) nie tylko kształtów, lecz również struktury wewnętrznej różnych materiałów. Są one już dzisiaj często stosowane w przemysłach motoryzacyjnym, lotniczym i kosmicznym.

Materiały kompozytowe charakteryzują się obecnością dwóch faz: matrycy i czynnika wzmacniającego, przy czym ten pierwszy zapewnia współdziałanie elementów wzmacniających. Włókna węglowe, szkło lub materiały organiczne używane są jako elementy wzmacniające w kompozytach strukturalnych, zapewniając dużo wyższą specyficzną wytrzymałość i sztywność lepszą niż jakiegokolwiek metal. Matrycami są najczęściej polimery, chociaż jest wiele znanych materiałów kompozytowych na bazie metali, ceramiki i innych materiałów. Główną cechą takich kompozytów włóknistych jest anizotropia, czyli zależność ich właściwości od kierunku. Tradycyjnie uważane jest to za wadę ograniczającą ich przemysłowe zastosowania.

Co więcej, wykorzystanie tych materiałów w tradycyjny sposób, gdy przycina się je i łączy za pomocą nitów i śrub, niszczy integralność ich wzmacniających włókien, wprowadzając dodatkowe lokalne naprężenia. Możemy tu wiele się nauczyć

od przyrody. Włókna drzewa nie łamią się tam, gdzie wyraża gałąź. Naprężenia pojawiające się w nich w reakcji na siły zewnętrzne mają charakter tensorowy, a więc rozkład naprężeń jest trójwymiarowy. Reakcja materiału w każdym punkcie nie jest jednorodna, a więc i materiał musi być niejednorodny, by optymalnie reagować na naprężenia. Najprostszym przykładem tego zjawiska jest pręt z włóknami ułożonymi podłużnie, który reaguje na naprężenie działające wzdłuż jego osi. Z takich elementów zbudowane są struktury kratowe (ang. *lattice structures*)<sup>25</sup> wykorzystywane w produkcji kompozytowych struktur rakiet i satelitów<sup>26</sup>.

Zatem całościowe podejście do wytwarzania metodą AM zakłada rzeczywiste działanie w 3D nie tylko dotyczące kształtu, lecz również struktury wewnętrznej wytwarzanych elementów. Umożliwiłyby ono wbudowywanie sensorów i przetworników (ang. *transducer*) oraz innych elementów elektronicznych w trakcie procesu wytwarzania, co pozwoliłoby także na wytwarzanie inteligentnych i samonaprawiających się (ang. *self-healing*) materiałów w trakcie drukowania, jak również na dostarczanie substancji naprawczych (ang. *healing agents*) przez specjalne kanały wytworzone w materiale.

Trzeba byłoby wtedy zasadniczo zmienić podejście: nie mogłoby to już być nakładanie kolejnych warstw, co wymaga wielu zmian technologicznych, m.in. umieszczenia drukujących głowic zawierających dysze ekstrudera na specjalnym manipulatorze mogącym się obracać wokół wielu osi. (W tym aspekcie interesujący jest prototyp pięcioosiowej drukarki polskiej firmy Verashape pokazany na Targach formnext 2017<sup>27</sup>). Zwiększenie produktywności mogłoby wymagać produkcji rozproszonej, o której mowa była uprzednio.

F. Antonov uważa, że metoda Power Bed Fusion druku w metalu nie ma przyszłości, podobnie jak liczne inne wymyślane obecnie metody druku w metalu. Pojawią się inne, bardziej elastyczne metody wytwarzania z kompozytów. Według niego prawdziwą przyszłością addytywnych technologii są materiały kompozytowe o kontrolowanej anizotropii, kształcie i strukturze wewnętrznej, w designie których wykorzystywane będą optymalizacja, wielofunkcjonalność i adaptujące się struktury. Na zakończenie F. Antonov twierdzi, że nowe w dziedzinie AM osoby nie powinny włączać się w dotychczasowe metody produkcji AM, w których kosztem ogromnych inwestycji parę firm osiągnęło pewien sukces. Należy rozwijać technologie addytywne na innym poziomie, wykorzystując materiały kompozytowe.

Wydaje się, że istotną rolę w rozwoju 3DP/AM może odegrać wspomniane przez F. Antonova i omówione na blogu sculpteo naśladowanie przyrody, czyli biomimetyka<sup>28</sup>. Wykorzystano ją przy wydrukowaniu w 3D protezy jajników myszy. Daje to nadzieję, że w przyszłości uda się wydrukować w 3D takie bioprotezy dla przyszłych pacjentek, którym ze względu na nowotwory usunięto jajniki. Innym projektem wykorzystującym biomimetykę było opracowanie atramentu-pianki (ang. *foam ink*), zainspirowanego trawą, która ugina się pod naciskiem, ale wraca do stanu poprzedniego, gdy nacisk znika. Atrament ten może być zbudowany zarówno z ceramiki, jak i metali oraz polimerów. Może on służyć jako rusztowanie dla tkanek, izolacja cieplna albo bardzo lekki materiał konstrukcyjny.

Z kolei struktury sieciowe w skrzydłach owadów lub liściach posłużyły firmie Footprint Footwear za wzór do wydrukowanych w 3D fragmentów, m.in. wkładek do butów<sup>29</sup>, a krewetka, ustonóg (ang. *mantis shrimp*), wyposażona w rodzaj pięści-maczugi, która zabija ofiary, nie czyniąc szkody samej krewetce, pozwoliła na opracowanie superwytrzymałego materiału<sup>30</sup>. Ta broń zbudowana jest z dotychczas niespotykanej w naturze struktury jodełkowej (ang. *herringbone*) charakterystycznej dla ułożenia rybich łusek. Naśladowanie tej budowy można będzie wykorzystać w drukowanej w 3D zbroi<sup>31</sup>, zaś struktury naśladowujące grafen posłużyły za wzór materiałów o budowie gąbki<sup>32</sup>, które mogą być wykorzystane w 3DP/AM. Szkło, celuloza czy też chityna również mogłyby posłużyć za wzorce materiałów do drukowania w 3D.

Druk 3D zmienia reguły gry na rynku. Pozwala on na szybsze innowacje, niewyobrażalnie szybsze w porównaniu z tempem wprowadzania zmian, gdy korzysta się z tradycyjnych metod wytwarzania: dwuletni czas wprowadzania produktu od pomysłu na rynek można zredukować tą metodą do dwóch miesięcy dzięki wykorzystaniu personalizacji, optymalizacji produktu, wydajności wytwarzania oraz nowym modelom prowadzenia biznesu. Niektóre związane z drukiem 3D/AM ograniczenia, które należy pokonać, polegają na niepowiązanym oprogramowaniu różnych firm, konieczności wielokrotnego konwertowania plików czy też standardowym myśleniu. Podobnie jak wiele innych firm, Siemens i materialise współpracują, dążąc do zintegrowania oprogramowania<sup>33</sup>. Ważną rolę odgrywa rozwijanie narzędzi programowych w chmurze (ang. *Cloud*) przez bezpłatne udostępnienie użytkownikom dość zaawansowanych oprogramowań, np. przez Dassault Systèmes<sup>34</sup> oraz inne firmy. Istotną rolę odgrywa również upraszczanie designu dla druku 3D<sup>35</sup> i opracowywanie nowego podejścia do designu dla AM, DfAM.

W rozdz. 11A wspomniano o integracji oprogramowania powiązanej z przemianami modeli biznesowych. Powinna ona łączyć modelowanie i testowanie produktów przed ich wytwarzaniem z procesem produkcyjnym oraz analizą działania wydrukowanych w 3D części w czasie, uwzględniając ich zużycie (zwane wirtualnym testowaniem)<sup>36</sup>. Taka integracja, zwana po angielsku *end-to-end solutions*, będzie uwzględniała wszystkie parametry inżynierskie (jak te dotyczące właściwości materiałów, specyfikacje działania wytwarzanych części, projektowanie generatywne (ang. *generative design*)<sup>37</sup>, wielorobotyczną, czyli wykonywaną przez kilka współpracujących robotów produkcję i certyfikację), optymalizację procesu drukowania w 3D. Przyniesie ona ogromne zyski, przyspieszając nową falę transformacji przemysłowej. W projektowaniu dla druku 3D i nie tylko istotną rolę będą odgrywać tzw. zautomatyzowani asystenci designu (ang. *automated design assistants*).

Na inne aspekty ważne dla przyszłości 3DP zwrócił uwagę Jos Burger z firmy Ultimaker<sup>38</sup>, stwierdzając, że przekraczane są kolejne granice. Jeszcze do niedawna w 3DP wykonywano głównie prototypy i modele. Obecnie ważną rolę odgrywa wytwarzanie narzędzi, a nawet produkuje się niestandardowe wyroby. Firmy i inne instytucje zaczynają zdawać sobie sprawę, jak bardzo 3DP może zmienić ich biznesy. Biurkowe drukarki 3D są teraz nie tylko dużo tańsze, ale jakością dorównują drukarkom



przemysłowym. Nie tylko pozwoli to na „rozknięcie interesu” początkującym w biznesie startupom, lecz również zmieni przemysł druku 3D oraz łańcuchy dostaw. (Należy jednak zwrócić uwagę na związane z rozwojem technologii ograniczenia możliwości rozwoju startupów chcących wprowadzić na rynek nowe drukarki 3D/AM<sup>39</sup>).

Początkowo ulepszenia związane z wprowadzaniem 3DP/AM w firmach będą nieznaczne, ale doprowadzą one do dużych zmian w szybkości dostarczania produktów na rynek, wzrostu zadowolenia klientów oraz jakości designu i wydajności kosztowej (ang. *cost efficiency*) dzięki dostępnym drukarkom wykorzystującym technologię FDM/FFF. W rezultacie przy wykorzystaniu różnych materiałów i dzięki zintegrowanemu przepływowi pracy wytwarzanie narzędzi będzie tańsze. Ze względu na elastyczność i mniejsze wymagania kapitałowe zmieni to reguły gry w biznesie.

Obecnie wytwarzanie prototypów i narzędzi oraz produkcja na małą skalę zdecydowanie przeważają w przemysłowych zastosowaniach 3DP, ale wydaje się, że opracowanie drukarek wyposażonych w taśmy nośne<sup>40</sup> pozwoli na przejście do produkcji masowej<sup>41</sup>. 3DP/AM może być zintegrowane z innymi systemami, np. ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*, planowanie zasobów przedsiębiorstwa) i PDM (ang. *Product Data Management*, zarządzanie danymi produktu). W istotny sposób zwiększa się użycie drukarek biurkowych w klastrach, co pozwala na wysyłanie zadań do konkretnych drukarek, np. do podziału dużych zadań na mniejsze, wykonywane przez różne drukarki.

Dr Michael Layani i Shlomo Magdassi z Hebrew University of Jerusalem zwracają uwagę na nowe szybkie drukarki do produkcji przemysłowej, nowe procesy (np. dzianie, czyli analog robienia na drutach, lub drukowanie wykorzystujące papier jako materiał) oraz nowe materiały. Następuje przejście od plastików do materiałów ceramicznych, kompozytowych, hydrożeli oraz reagujących (ang. *responsive*) polimerów<sup>42</sup>. Dotychczas w 3DP/AM koncentrowano się na robieniu trójwymiarowych przedmiotów o zdefiniowanych właściwościach mechanicznych. Następne przełomowe odkrycia i zastosowania 3DP/AM będą polegać na dodaniu funkcjonalności do drukowanych w 3D obiektów i powiązaniu nowych materiałów z szybszymi technologiami druku. Według Johna Hauera<sup>43</sup> ważnym motorem rozwoju 3DP może być przejście do przenośnych (ang. *portable*) drukarek 3D. Jest to szczególnie ważne dla rejonów odległych (ang. *remote communities*), mających problemy z zaopatrzeniem. Taki rozwój wymaga m.in. opracowania lżejszych, bardziej wydajnych baterii zasilających.

Obecnie badane materiały reagujące to np. materiały pozwalające na druk 4D, takie jak polimery z pamięcią kształtu, które reagują na zewnętrzne czynniki (np. ciepło lub pole magnetyczne), części ruchome miękkich robotów (ang. *soft robots*), elastycznych sensorów światła, urządzeń emitujących światło i hydrożele do zastosowań medycznych. W przyszłości środek ciężkości przesunie się w stronę interfejsów człowiek-komputer i drukowania w 3D złożonych systemów, takich jak metamateriały, sztuczne organy i implanty medyczne, funkcjonalna żywność i wbudowana elektronika. Ta ostatnia jest istotna ze względu na Internet Rzeczy oraz naszalną elektronikę.

Perspektywy zastosowania druku 3D w budownictwie w najbliższych pięciu latach przedstawili Brian C. Giles i Blair Souter z firmy Armatron Systems. Twierdzą oni<sup>44</sup>, że możemy oczekiwać ważnych zmian w tej dziedzinie: elastyczność tej technologii i możliwość pracy „na placu budowy” pozwoli na budowanie jedynych w swoim rodzaju wysokiej klasy budowli wcielających zarówno wpływy inspirowane naturą, jak również zamków czy też świątyń, np. Tadž Mahal lub w stylu Nocy Arabskich, które zmienią definicję nowoczesnej architektury (ale czy będzie to naprawdę nowoczesna architektura?). Pierwsze takie struktury pojawiają się już w ciągu 9 do 12 miesięcy, najprawdopodobniej na Bliskim Wschodzie. Wraz z rozwojem technologii, gdy stanie się ona bardziej wydajna, tańsza i bardziej dostępna, będzie ona coraz szerzej stosowana w budownictwie mieszkaniowym, dekoracjach filmowych itd. Jednocześnie drukarki 3D będą stosowane w budownictwie na wielką skalę: przy wznoszeniu drapaczy chmur, stadionów i parków rozrywki.

Potrzeby są ogromne, a z nimi konieczność wprowadzania innowacji. ONZ ustalił, że w 2025 roku będziemy potrzebowali domów dla ponad 50 mln nowych mieszkańców miast. Ponadto należy wziąć pod uwagę konieczność przebudowy terenów poprzemysłowych (ang. *brownfield redevelopment*)<sup>45</sup>, amerykański program zadawalającego mieszkania (ang. *Fair Housing Act*)<sup>46</sup> i inne lokalne potrzeby.

Ważnymi aspektami zastosowania 3DP w budownictwie, poza skróceniem terminów i obniżką kosztów, są: zwiększenie bezpieczeństwa (m.in. ze względu na pracę przy ciężkich maszynach; jest to najbardziej niebezpieczny przemysł), zmniejszenie kosztów pracy i zwiększenie produktywności oraz opracowanie standardów dla tej dziedziny.

Należy przy tym rozwiązać następujące problemy występujące w budownictwie przy drukowaniu w 3D:

1. Konieczna jest budowa suwnic-pomostów większych niż budowany obiekt.
2. Drukarka 3D często wymaga specjalnego żurawia i dużo czasu na złożenie układu do drukowania.
3. Układ drukujący jest ograniczony platformą do drukowania i nie jest skalowalny.
4. Wymaga skomplikowanych i będących własnością firm mieszanek cementów.
5. Wymaga pracy ręcznej przy wykańczaniu wydrukowanych powierzchni.
6. Ludzie muszą się włączyć na etapie rur, przewodów i instalacji elektrycznej.
7. Nie możemy drukować w 3D fundamentów ani dachów.
8. Będąc ograniczonymi do prostych pionowych ścian, nie możemy drukować, kopuł, łuków itp. (Myszę, że to ograniczenie wkrótce zniknie).
9. Drukowanie prefabrykowanych elementów nie na placu budowy (jak kiedyś w fabrykach domów) podnosi koszty logistyczne i nie jest tak wydajne, jak całkowite drukowanie w 3D domów na placu budowy (ang. *onsite Full-Scale 3D House Printing*).
10. Problemy z własnością intelektualną. Te z firm, które sobie ją zapewnią, odniosą sukces.
11. Dodałabym tutaj konieczność budowy naprawę wielkich drukarek 3D.

B.C. Giles i B. Souter z firmy Armatron Systems przewidują, że w ciągu następnych 6–12 miesięcy wiele startupów i międzynarodowych korporacji będzie próbowało wejść na rynek budowlanych drukarek 3D. Zakupy i połączenia firm oraz procesy związane z IP ograniczą liczbę rynkowych graczy, którzy zbiorą ogromne zyski związane zarówno z naprawą, modernizacją i remontami istniejących budynków, jak również z budową struktur, których dziś nie możemy sobie nawet wyobrazić. 3DP to dziedzina zrównoważonego rozwoju. Jako taka nie tylko produkuje ona mało śmieci, lecz również zbudowane w ten sposób domy będą zużywać niewiele energii i będą bardziej trwałe niż domy zbudowane tradycyjnie.

Oczywiście jednymi z najszybciej rozwijających się zastosowań 3DP są zastosowania medyczne. Ten trend będzie się utrzymywał. Jenny Chen, CEO firmy 3DHEALS<sup>47</sup>, uważa, że obok utrzymujących się obecnych trendów (więcej osób pracujących w służbie zdrowia uczy się technologii 3DP i kupuje związane z nim produkty, lepsze zdefiniowanie wskazań przez amerykańską agencję FDA), firmy produkujące urządzenia medyczne zaczynają mocno inwestować w badania, wchodzą w układy partnerskie różnych firm (np. zajmujących się urządzeniami i oprogramowaniem, jak Stratasys<sup>48</sup> i Vital z grupy Canon<sup>49</sup>), następuje łączenie firm lub ich wykupywanie (np. notowana na giełdzie NYSE 3D Systems<sup>50</sup> wykupiła Vertex-Global Holding BV<sup>51</sup>, a GE<sup>52</sup> – szwedzką firmę Arcam<sup>53</sup>). Ponadto prezes J. Chen oczekuje, że:

- produkty związane z 3DP będą łatwiejsze w użyciu i przygotowane do użycia (ang. *ready-to-use*) od razu po wyjęciu z pudełka (ang. *out of box*);
- FDA opublikuje więcej wyjaśniających wskazań dotyczących wydrukowanych w 3D urządzeń;
- przywództwo przemysłowych gigantów zainwestuje w mniejsze przedsiębiorstwa i startupy, zwiększając szybkość innowacji w tej dziedzinie;
- powstaną nowe modele biznesowe i systemy dostarczania usług 3DP, np. szpitale staną się wytwórcami spersonalizowanych urządzeń, a firmy wytwarzające urządzenia medyczne będą mogły dostarczać swoje produkty przez internet lub przez wyspecjalizowane firmy serwisowe;
- nasili się łączenie lub wykupywanie startupów i innych firm wprowadzających innowacje.

Tym trendom będą oczywiście towarzyszyć niedające się przewidzieć niespodzianki, istotne odkrycia, bez których 3DP/AM stałoby się niszową gałęzią gospodarki.

Prezes J. Chen z firmy 3DHEALS zajmuje się urządzeniami medycznymi<sup>54</sup>. W związku z tym w jej wypowiedzi zabrakło bardzo ważnego i przyszłościowego fragmentu medycznych zastosowań 3DP, biodruku, a więc drukowania tkanek i narządów. Dotychczasowe wyniki uzyskiwane przez Organovo i inne firmy działające w tej dziedzinie są bardzo obiecujące. Już dziś stosuje się wydrukowane tkanki do testowania leków<sup>55</sup>, a nadrukowane mieszanki komórek przyspieszają leczenie ran<sup>56</sup>. Wydrukowanie „zdolnych do życia” implantów tkankowych może zająć więcej czasu. Oczekuje się, że do ich uzyskania potrzeba co najmniej dziesięciu lat<sup>57</sup>, ale przewiduje się, że dużo szybciej można będzie wydrukować w 3D fragmenty organów

(np. wątroby), które można będzie wszczepić pacjentowi oczekującemu na transplantację.

Druk 3D/AM jest ściśle powiązany z robotyką, poczynając od modeli opracowanych przez uczniów<sup>58</sup>, a kończąc na niejednokrotnie bardzo zaawansowanych projektach, które czasem można sobie wydrukować w domu<sup>59</sup>, czy też robotach przemysłowych<sup>60</sup>. Warto wspomnieć o niewielkim robotycznym ramieniu polskiej firmy Zortrax<sup>61</sup>.

Druk 3D/AM wraz z robotyką, Internetem Rzeczy, zaawansowanymi interfejsami człowiek – maszyna i kilku innymi dziedzinami jest częścią czwartej rewolucji przemysłowej (według niektórych trzeciej). Firma Markets & Markets przewiduje, że rynek ten, zwany rynkiem przemysłu 4.0<sup>62</sup>, będzie w latach 2017–2022 rósł z CAGR wynoszącym 14,72%<sup>63</sup>. Największy udział w tym rozwoju mają mieć roboty przemysłowe, ale nie dziwi, że w zestawieniu najważniejszych graczy w tej dziedzinie na pierwszym miejscu jest GE, a wymienione w nim są takie firmy, jak Stratasys, Siemens i 3D Systems. Stratasys i 3D Systems są największymi firmami zajmującymi się drukiem 3D, a wielkie korporacje GE i Siemens prowadzą liczne i szeroko zakrojone prace z dziedziny jego przemysłowych zastosowań.

Niemiecka firma EOS przedstawiła wizję fabryki przyszłości, w której cały proces produkcyjny będzie zintegrowany i sterowany przez układ centralny (ang. *central hub*). W ramach tego systemu wszystkie maszyny (a więc i drukarki 3D) będą powiązane w sieć i będą się ze sobą bezpośrednio komunikowały<sup>64</sup>. Zaopatrzenie w materiał będzie szybkie, bezpieczne i całkowicie zautomatyzowane. Również usuwanie resztek proszku i czyszczenie części będzie zautomatyzowane. Przepływ części i danych będzie płynny, bez zakłóceń. Kontrola jakości będzie stanowić integralną część systemu zarządzania fabryką przyszłości. Ciągłe zbieranie informacji i ich analiza w trakcie procesu wytwarzania pozwolą na natychmiastowe wyłapywanie błędów. Fabryka przyszłości będzie pracować bez przerw 24/7, czyli 24 godziny na dobę siedem dni w tygodniu. Z systemem można się będzie komunikować smartfonem.

Reasumując, rzeczywiste przełomowe zmiany w druku 3D w przyszłości pojawiają się na skrzyżowaniu wielu dziedzin nauki i technologii. Powinny one polegać na połączeniu zaawansowanych wysokowydajnych technologii druku, nowego oprogramowania dostosowanego do specyfiki 3DP (DfAM) oraz nowych materiałów do szybkiej produkcji trójwymiarowych obiektów, które często nie mogą być wykonane przy zastosowaniu innych metod.

Mówi się już o współpracy ludzi i robotów z wykorzystaniem druku 3D<sup>65</sup>, co ma stanowić podstawę następnej rewolucji przemysłowej. Z drugiej strony wydaje się, że nie należy oczekiwać szybkiego wejścia na dużą skalę drukarek 3D do gospodarstw domowych, mimo że już w 2017 roku pokazano, że drukowanie 3D w domu, przynajmniej w USA, się opłaca<sup>66</sup>. Według prezesa firmy 3D Systems, Avi Reichenthala, często stawiane pytanie: „Czy każdy będzie miał w domu drukarkę 3D?” jest źle postawione. Zamiast tego należy pytać o to, jak druk 3D wpłynie na nasze życie<sup>67</sup>.

W raporcie Additive Manufacturing UK, wydanym we wrześniu 2016 roku, zwrócono uwagę, że jednym z głównych

czynników hamujących rozwój 3DP jest brak wystarczającej liczby specjalistów: designerów, materiałoznawców, programistów, operatorów maszyn i personelu wykańczającego wyroby, natomiast na konferencji Materialise World Summit 2017 szczególną uwagę zwrócono na konieczność współpracy firm mających doświadczenie w różnych dziedzinach. Przykładem tego jest m.in. wspólny program firm Premium AEROTEC, Daimler i EOS Next Generation AM<sup>68</sup>, mający na celu rozwój metody drukowania z metalu.

Z kolei na 12. International Conference on Additive Manufacturing & 3D Printing w Nottingham w 2017 roku<sup>69</sup> obok braku wystarczającej liczby specjalistów wymieniano problemy z finansowaniem AM, włączaniem AM do procesów produkcyjnych (ang. *factory workflows*) zarówno w sensie cyfrowym, jak i fizycznym. Wskazywano też, że często to włączanie prowadzi do metod hybrydowych, łączących wytwarzanie subtraktywne i addytywne. Innym czynnikiem wymienianym jako bariera w rozwoju jest zdobycie certyfikacji ISO przez firmy<sup>70</sup>.

W Wielkiej Brytanii stworzono kilka zespołów do pracy nad czynnikami ograniczającymi rozwój 3DP/AM. Ważnymi rozwijanymi obecnie dziedzinami są, obok wprowadzania nowych procesów i materiałów, badania i standaryzacja materiałów używanych do druku 3D, wyrobów i stosowanych procesów, jak również warunków bezpieczeństwa. To ostatnie dotyczy szczególnie przemysłów lotniczego i kosmicznego oraz zastosowań medycznych.

Istnieją również ograniczenia psychologiczne. Przeprowadzone przez firmę Gartner w 2017 roku badanie 388 dyrektorów generalnych i innych przedstawicieli zarządów firm wykazało, że nie doceniają oni możliwości druku 3D i innych innowacyjnych technologii<sup>71</sup> (zob. również omówione powyżej badanie firmy EY). Analityk Gartnera Mark Raskino twierdzi<sup>72</sup>, że wielu zarządzających firmami utknęło w starych kategoriach wytwarzania przemysłowego, które są już mniej użyteczne w świecie „efemerycznych produktów i usług, w których sieci społeczne, innowacje w modelu biznesowym, myślenie projektowe, wartości marki i doświadczenia klientów są w centrum tworzenia wartości”. Słyszeli oni o nowatorskich technologiach, ale nie wiedzą, na czym one polegają i jak mogą przyczynić się do rozwoju ich firmy. Reasumując, mimo że bariery rozwoju 3DP/AM są ogromne, jest to obecnie „najgorętsza” metoda wytwarzania. Jej perspektywy rozwoju są ogromne. Określenia *sky is the limit* często używa się w tym kontekście<sup>73</sup>, chyba że chodzi o przemysł lotniczy i kosmiczny. Wtedy mówi się czasem: *The sky is no longer limit*<sup>74</sup>.

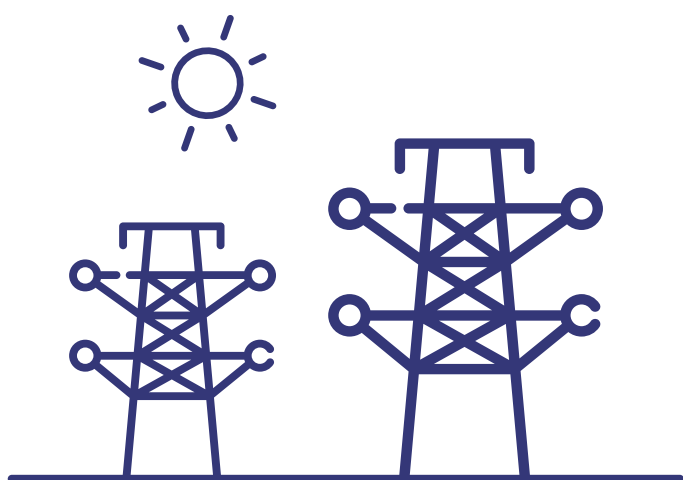
## Przypisy

- [1] MAXEY K., 1.10.2013, <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/6405/A-50-year-View-of-Additive-Manufacturing.aspx>.
- [2] [https://www.plm.automation.siemens.com/pl\\_pl/plm/](https://www.plm.automation.siemens.com/pl_pl/plm/).
- [3] [https://www.youtube.com/watch?v=nDy\\_IBYX55I](https://www.youtube.com/watch?v=nDy_IBYX55I).
- [4] Stephanie, 14.06.2017, <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/Reimagine-products-retool-manufacturing-and-rethink-business/ba-p/415361>.
- [5] <https://wohlersassociates.com/technical-articles.html>.
- [6] PARK R., 2.08.2018, <https://www.fabbaloo.com/blog/2018/8/2/additive-international-2018-a-review>.
- [7] CORE B., <https://www.idtechex.com/research/reports/3d-printing-2018-2028-technology-andmarket-analysis-000588.asp>.
- [8] PEELS J., 27.01.2017, <https://3dprint.com/163150/executive-shakeups-3d-printing>.
- [9] GRIMM T., 23.11.2015, <http://www.tctmagazine.com/blogs/grimmblog/todd-grimm-column-when-disillusionment-is-a-good-thing/>.
- [10] <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/industrial-3d-printing.asp>.
- [11] <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/military-3d-printing.asp>.
- [12] <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/3d-printing.asp>.
- [13] MOLITCH-HOU M., 24.02.2017, <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/14380/From-3D-Printing-Circuit-Boards-to-Organs-Nano-Dimensions-CEO-Discusses-New-Bioprinting-Subsidiary.aspx>.
- [14] WALTERS R., 21.09.2012, <https://www.geek.com/geek-cetera/laywood-filaments-lets-you-3d-print-with-wood-1517745/>.
- [15] Dawson, 30.09.2014, <https://www.forbes.com/sites/freddiedawson/2014/09/30/how-disruptive-is-3d-printing-really/#7fdef3e34e44>.
- [16] TAMPI R., 25.06.2015, <https://3dprintingindustry.com/news/smartech-report-3d-printing-in-dental-market-to-reach-3-1-billion-by-2020-51971/>.
- [17] MEARIAN L., 27.03.2017, <https://www.computerworld.com/article/3184834/healthcare-it/3d-printed-partial-liver-transplants-targeted-for-2020.html>.
- [18] <https://www.ey.com/gl/en/services/advisory/ey-3d-printing-how-your-organizationcan-get-ready>.
- [19] <http://anisoprint.ru/en/>.
- [20] COLLINSON S., 4.09.2017, [https://sk.ru/news/b/press/archive/2017/09/04/will-additive-manufacturing-powder-processes-become-obsolete\\_3f00\\_.aspx](https://sk.ru/news/b/press/archive/2017/09/04/will-additive-manufacturing-powder-processes-become-obsolete_3f00_.aspx).
- [21] YARAMANOGLU O., 14.06.2017, <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/Reimagine-products-retool-manufacturing-and-rethink-business/bap/415361>.
- [22] 3DP Industry, <http://www.ey.com/de/de/services/advisory/performance-improvement/supply-chain/ey-global-3d-printing-report-2016-3dp-industry>.
- [23] PR Newswire, 3.01.2017, <http://www.prnewswire.com/news-releases/global-desktop-3d-printer-market-rises-27-in-2016-while-industrialprofessional-market-stalls-609511095.html>.
- [24] JACKSON B., 1.11.2018, <https://3dprintingindustry.com/news/iro3d-starts-shipment-of-5000-metal-3d-printer-142483/>.
- [25] GARDINER G., 8.11.2016, <http://www.compositesworld.com/blog/post/bionic-design-the-future-of-lightweight-structures>.
- [26] VASILIEV V.V., BARYNIN V.A., RAZIN A.F.: *Anisogrid Composite Lattice Structures – Development and Aerospace Applications*, „Composite Struct.” 2012, Vol. 94, s. 1117–1127, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822311004004>.
- [27] <https://3dfablab.wordpress.com/2017/11/16/verashape-demos-vshaper-5-axis-3d-printer-at-formnext/>.

- [28] PLEWA K., 11.07.2018, <https://www.sculpteo.com/blog/2018/07/11/nature-inspired-3d-printing-introducing-biomimicry/>.
- [29] SCOTT C., 15.08.2017, <https://3dprint.com/184227/footprint-footwear-simpleware/>.
- [30] SCOTT C., 1.06.2016, <https://3dprint.com/136743/mantis-shrimp-materials/>.
- [31] MATISONS M., 24.02.2015, <https://3dprint.com/46374/scale-inspire-3d-printed-armor/>.
- [32] WATKIN H., 26.06.2017, <https://all3dp.com/scientists-3d-print-graphene-foam/>.
- [33] 3D Printing Industry, 10.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-5-years-jenny-chen-ceo-3dheals-110496/>; 17.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-five-years-jos-burger-ceo-ultimaker-111058/>.
- [34] BASSI G.P., 5.06.2017, <http://blogs.solidworks.com/solidworks-blog/2017/06/unveilingsolidworks-path-future-design.html>.
- [35] LINNEMAN A., 7.06.2017, <https://www.shapeways.com/blog/archives/31271-design-it-in-vectary-and-order-3d-prints-from-shapeways.html>.
- [36] 3D Printing Industry, 19.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printingnext-5-years-stephen-chadwick-dassault-systemes-111142>.
- [37] [https://en.wikipedia.org/wiki/Generative\\_Design](https://en.wikipedia.org/wiki/Generative_Design).
- [38] 3D Printing Industry, 17.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-five-years-jos-burger-ceo-ultimaker-111058/>.
- [39] Fabbaloo, 30.08.2018, <https://www.fabbaloo.com/blog/2018/8/30/a-caution-for-3d-printerstartups-youre-too-late>.
- [40] SAUNDERS S., 10.05.2017, <https://3dprint.com/173820/industrial-blackbelt-3d-printer/>.
- [41] GRUNEWALD S.J., 8.07.2016, <https://3dprint.com/141576/printvalley-mass-production/>.
- [42] 3D Printing Industry, 25.05.2017, [https://3dprintingindustry.com/news/3d-printingnext-five-years-dr-michael-layani-shlomo-magdassi-114224/?utm\\_medium=push&utm\\_source=onesignal&utm\\_campaign=website%20button](https://3dprintingindustry.com/news/3d-printingnext-five-years-dr-michael-layani-shlomo-magdassi-114224/?utm_medium=push&utm_source=onesignal&utm_campaign=website%20button).
- [43] HAUER J., 10.05.2018, <https://3dprint.com/author/john-hauer/>.
- [44] 3D Printing Industry, 5.06.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-five-years-brian-c-giles-blair-souter-armatron-systems-114979/>.
- [45] [http://brownfieldaction.org/brownfieldaction/brownfield\\_basics](http://brownfieldaction.org/brownfieldaction/brownfield_basics).
- [46] [https://en.wikipedia.org/wiki/Fair\\_Housing\\_Act](https://en.wikipedia.org/wiki/Fair_Housing_Act).
- [47] 10.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-5-years-jenny-chen-ceo-3dheals-110496/>.
- [48] [www.stratasys.com](http://www.stratasys.com).
- [49] <http://www.vitalimages.com/>.
- [50] <https://www.3dsystems.com/>.
- [51] <https://vertexglobalholding.com/>.
- [52] <https://www.ge.com/>.
- [53] [www.arcam.co.uk/](http://www.arcam.co.uk/).
- [54] <https://3dheals.com/>.
- [55] Organovo, <http://organovo.com/tissues-services/exvive3d-human-tissue-models-services-research/exvive3d-liver-tissue-performance/>.
- [56] GRIFFITHS A., 23.12.2013, <https://www.dezeen.com/2013/12/23/3d-printing-biopen-draws-bone-repairs-with-stem-cells/>.
- [57] HIPOLITE W., 15.07.2015, <https://3dprint.com/81530/3d-printed-rabbit-goat-bones/>.
- [58] Afinia, 27.02.2017, <http://afinia.com/3d-printed-life-size-droid/>.
- [59] Gambody, 20.01.2017, <https://www.gambody.com/blog/3d-printed-robot/#.Wp5ulOciGUk>; YUSUF B., 12.04.2018, <https://all3dp.com/1/3d-printed-robot-print-robots/>; ROGERS S., 4.03.2018, <https://interestingengineering.com/new-3d-printing-tech-could-bring-sensing-to-robotics>.
- [60] MOLITCH-HOU M., 13.10.2016, <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/13374/Seven-Robotic-Arms-Lifting-3D-Printing-into-Industrial-Manufacturing.aspx>; OWEN-HILL A., 2.05.2017, <https://blog.robotiq.com/are-robot-arms-the-next-generation-of-3d-printer>.
- [61] Zortrax, 26.09.2016, <https://zortrax.com/3dprinting/3d-printing-examples/>.
- [62] Business Insider, 20.09.2018, <https://businessinsider.com/pl/firmy/strategie/roboty-na-traktory-czyli-o-co-chodzi-w-czwartej-rewolucji-przemyslowej/77fwbfb>.
- [63] <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industry-4-market-102536746.html>.
- [64] <https://www.youtube.com/watch?v=QC6w4s-kqQQ>.
- [65] JACKSON B., 15.02.2018, <https://3dprintingindustry.com/news/cornell-presents-foundations-collaborative-human-robot-3d-printing-129012/>.
- [66] SAUNDERS S., 16.02.2017, <https://3dprint.com/165246/mtu-at-home-3d-printing-study/>.
- [67] [https://www.ted.com/talks/avi\\_reichental\\_what\\_s\\_next\\_in\\_3d\\_printing/discussion](https://www.ted.com/talks/avi_reichental_what_s_next_in_3d_printing/discussion).
- [68] Premium AEROTEC, 19.04.2017, [http://www.premium-aerotec.com/en/Premium\\_AEROTEC\\_EOS\\_and\\_Daimler\\_prepare\\_the\\_next\\_generati...html](http://www.premium-aerotec.com/en/Premium_AEROTEC_EOS_and_Daimler_prepare_the_next_generati...html).
- [69] <https://www.am-conference.com/>.
- [70] <https://www.iso.org/certification.html>.
- [71] HAMBLEN M., <http://www.computerworld.com/article/3192085/internet-of-things/ceos-rate-productivity-very-low-from-emerging-tech.html>.
- [72] [https://blogs.gartner.com/mark\\_raskino/](https://blogs.gartner.com/mark_raskino/).
- [73] *Sky is the limit nuclear engineering's new 3D printer offers unlimited possibilities*, <https://blogs.sas.com/content/sascpl/2014/10/03/3d-printing-the-sky-is-the-limit/>, <https://today.anl.gov/2017/03/sky-is-the-limit-nuclear-engineering-s-new-3d-printer-offers-unlimited-possibilities/>.
- [74] *The sky is no longer the limit when it comes to manufacturing*, <https://www.dunmore.com/functional-films/the-sky-is-no-longer-the-limit-when-it-comes-to-manufacturing/>.

Fragment pochodzi z książki:  
Druk 3D/AM. Zastosowanie oraz skutki społeczne i gospodarcze,  
H. Dodziuk, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2019

# enex



**Salon Energetyki  
Zawodowej**

**Największe w Polsce  
Targi Odnawialnych  
Źródeł Energii**

**Po raz pierwszy na targach ENEX**

Salon Budownictwa  
Energooszczędnego i Pasywnego

**26-27.02.2020**

**Kielce**

# Geomechaniczne aspekty projektowania przecinek ścianowych w warunkach eksploatacji pokładów grubych z podziałem na warstwy

Stanisław Duży

## 1. Wprowadzenie

Pokład o dużej miąższości, dla jego eksploatacji, najczęściej dzieli się na warstwy poziome lub pochyłe. Wybór podziału zależy od rodzaju, wielkości i położenia złoża w przestrzeni oraz technologii jego wybierania. Można je wybierać systemami długofrontowymi (ścianowe) lub krótkofrontowymi (systemy chodnikowe, ubierkowe, zabierkowe itp.) z zawałem stropu, podsadzką suchą lub podsadzką hydrauliczną, warstwami z góry do dołu, z dołu do góry lub w mieszanej kolejności. Dążenie do uzyskania jak najlepszego efektu ekonomicznego wymusza możliwie maksymalne obniżenie kosztów eksploatacji, co powoduje, że najczęściej stosowanym systemem eksploatacji pokładów grubych jest podział na warstwy równoległe do uwarstwienia i wybieranie ich systemem ścianowym z zawałem stropu, kolejno, począwszy od warstwy najwyższej (podstropowej) do najniższej (przyspągowej).

Stan taki powoduje, że wyrobisko przygotowawcze zlokalizowane w kolejnej warstwie znajdować się będzie w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów (w różnej odległości pod zrobami), a ocena stateczności wyrobiska w tych warunkach powinna uwzględnić podstawowe czynniki, takie jak odprężenie i degradacja masywu.

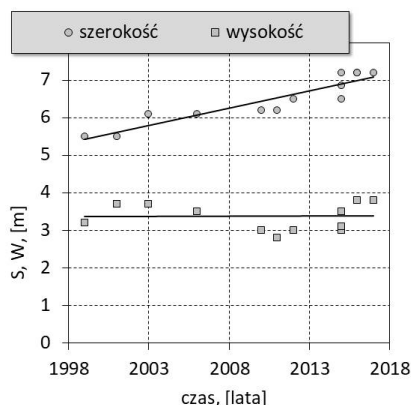
## 2. Główne zagrożenia występujące w wyrobiskach wykonywanych i utrzymywanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi

Analiza parametrów geometrycznych stosowanych w latach 1988–2017 obudów przecinek ścianowych zlokalizowanych

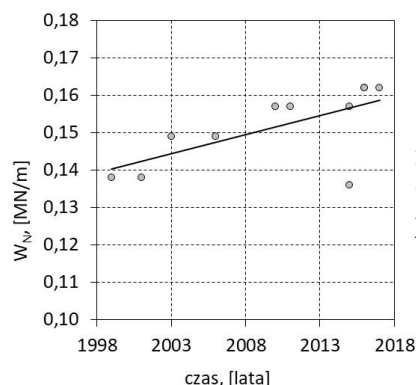
**Streszczenie:** Względy ekonomiczne powodują, że eksploatację pokładów grubych prowadzi się systemem ścianowym z zawałem stropu z góry w dół. Sytuacja taka powoduje, że kolejne warstwy zalegają pod zrobami zawałowymi. Do podstawowych różnic przy projektowaniu przecinek zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami można zaliczyć: odprężenie górotworu, obniżenie parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych masywu, a w szczególności ich zmienność, odmienny model procesów naprężeniowo-deformacyjnych górotworu w otoczeniu takiej przecinki, ograniczony zakres stosowania kotwienia itp. Przedstawiono sposób doboru obudowy oparty na określaniu obciążenia obudowy z wykorzystaniem podstaw ośrodka rozporowego, z uwzględnieniem zmienności warunków naturalnych i górniczych i zastosowaniem podstaw probabilistycznej analizy konstrukcji.

Słowa kluczowe: górnictwo, wyrobiska przygotowawcze, obudowa wyrobisk

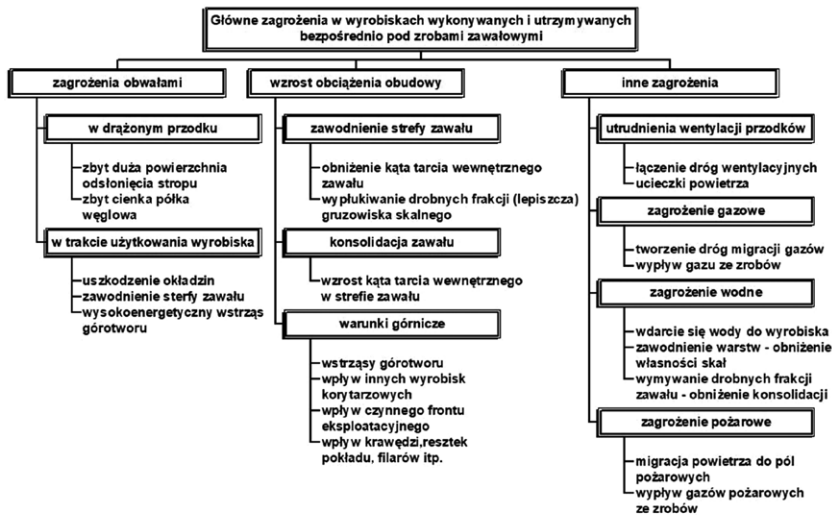
bezpośrednio pod zrobami w opracowanych przez autora projektach wykazała systematyczny wzrost szerokości wyrobiska przy zbliżonej jego wysokości (rys. 1). Stosowane obudowy znacząco różniły się pod względem kształtu, masy kształtownika oraz gatunku stali, co powodowało równoległy wzrost ich podporności (rys. 2).



Rys. 1. Zmiany szerokości i wysokości przekroju poprzecznego wyrobisk w czasie



Rys. 2. Zmiany podporności obudowy wyrobisk w czasie



Rys. 3. Zagrożenia występujące w wyrobiskach przygotowawczych wykonanych i utrzymywanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi [5, 6]

Projektowanie wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych w rejonie strefy zruszonego górotworu niesie ze sobą wiele zagrożeń, które należy uwzględnić. Na rys. 3 przedstawiono podstawowe zagrożenia występujące w wyrobiskach zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi [5, 6].

### 3. Warunki zalegania wyrobisk przygotowawczych w trakcie eksploatacji pokładu grubego z podziałem na warstwy

Zagadnienie doboru obudowy dla rozcięć ścian zlokalizowanych w kolejnej warstwie przewidzianej do eksploatacji może obejmować następujące przypadki [5]:

- wyrobiska zalegające bezpośrednio pod zrekonsolidowanymi zrobami;
- wyrobiska zalegające bezpośrednio pod niezrekonsolidowanymi zrobami;
- wyrobisko zlokalizowane w caliznie poddanej odprężeniu eksploatacją podbierającą lub nadbierającą;
- wyrobiska zlokalizowane w caliznie pod zrobami zawałowymi, jednak oddzielenymi od nich półką węglową.

Podstawowym czynnikiem decydującym o stateczności wyrobiska jest dobrze zaprojektowana obudowa, a podstawowym parametrem wejściowym do projektowania obudowy jest jej obciążenie. Obciążenie obudowy wyrobisk zależy od charakteru procesów naprężeniowo-deformacyjnych zachodzących w otoczeniu wyrobiska, które zależą m.in. od rodzaju i właściwości skał budujących masyw, lokalizacji wyrobiska, wielkości jego przekroju poprzecznego, rodzaju obudowy i technologii drażenia wyrobiska.

W zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny proces doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych objęty jest szeregiem norm, zasad lub wytycznych, jednak nieuwzględniających warunków górotworu zdegradowanego.

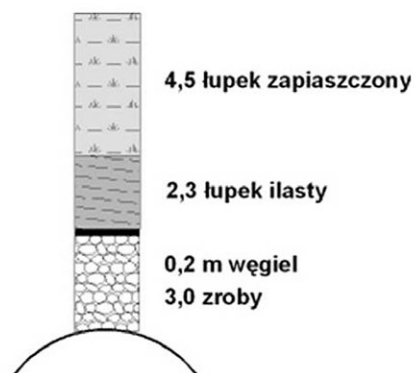
Dobór obudowy dla wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami może być przeprowadzony w oparciu o [5, 6, 11, 13]:

- metody empiryczne oparte o doświadczenia praktyczne;
- metody analityczne oparte o model deformacji ośrodków rozdrobionych lub spękanych;
- metody modelowania numerycznego ośrodków sypkich lub ośrodków spękanych.

Wyrobisko korytarzowe zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów znajduje się w specyficznym układzie obciążenia, którego nie można opisać równaniami stosowanymi dla opisu górotworu zbudowanego ze skał zwięzłych. Zrobry zawałowe nie zawsze podlegają procesowi rekonsolidacji i pozostają w stanie, który można opisać jako stan luźny [2, 3, 4, 12, 15]. Zasadę tę można również odnieść do przypadku pozostawienia półki węglowej. Półka ta przy prowadzeniu robót górniczych często ulega spękaniu prowadzącemu do jej zniszczenia [16].

### 4. Analiza właściwości skał i górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych w warunkach eksploatacji pokładu z podziałem na warstwy równoległe do uwarstwienia

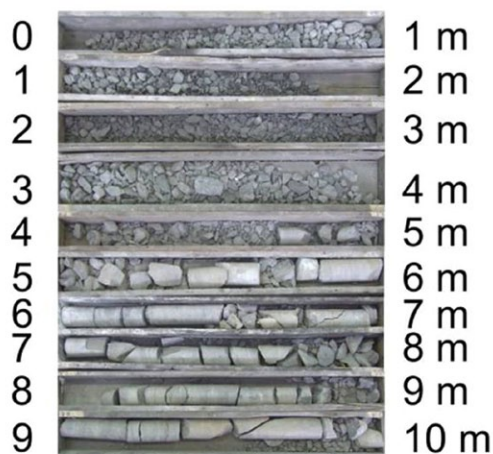
Właściwości skał i górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych w warunkach eksploatacji pokładu z podziałem na warstwy równoległe do uwarstwienia przedstawiono w oparciu o badania dołowe w pokładzie eksploatowanym systemem ścianowym z zawałem stropu z podziałem na 3 warstwy. Badania prowadzono w wyrobisku w warstwie II (środkowej) po wybraniu warstwy przystropowej. Na rys. 4 przedstawiono profil litologiczny górotworu w stropie projektowanego wyrobiska, a na rys. 5 pokazano widok pobranego rdzenia [3, 4].



Rys. 4. Profil geologiczny górotworu

W celu określenia właściwości górotworu przeprowadzono badania laboratoryjne i polowe. Badania laboratoryjne obejmowały określenie właściwości wytrzymałościowych skał budujących masyw w analizowanym rejonie, wykorzystując do tego celu pobrane rdzenie [3, 4].

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy wyników badań polowych stwierdzono, że w obrębie partii zachodniej wytrzymałość na ścislenie wynosi:



Rys. 5. Widok pobranego rdzenia

a) węgla:

$$R_c^{sr} = 12,13 \text{ MPa}; \quad v_{Rc} = 0,25; \quad R_c^{obl} = 7,18 \text{ MPa};$$

b) ilowców:

$$R_c^{sr} = 14,01 \text{ MPa}; \quad v_{Rc} = 0,08; \quad R_c^{obl} = 12,87 \text{ MPa};$$

c) scalonych zrobów:

$$R_c^{sr} = 5,45 \text{ MPa}; \quad v_{Rc} = 0,73; \quad R_c^{obl} = 1,43 \text{ MPa}.$$

W analizowanym rejonie przeprowadzono również badania połowe wytrzymałości na ściskanie oraz wytrzymałości na rozciąganie skał zalegających w stropie dowierzchni do głębokości 3,5 m. Badania wytrzymałościowe wykonano metodą penetrometru otworowego. Profil penetrometryczny skał zalegających w stropie dowierzchni przedstawiono na rys. 6.

Wykorzystując przeprowadzoną analizę statystyczną własności wytrzymałościowych skał budujących poszczególne warstwy, dokonano oceny własności wytrzymałościowych masywu.

Porównując uzyskane wyniki badań własności wytrzymałościowych skał i górotworu, można stwierdzić, że:

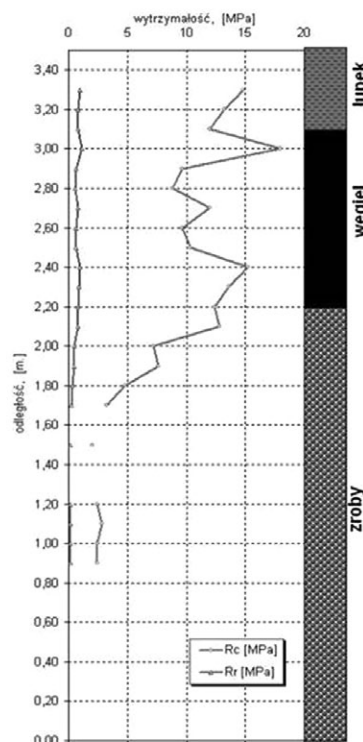
- wytrzymałość skał pod wpływem prowadzonej eksploatacji górniczej zasadniczo nie uległa zmianie;
- znacznej zmianie uległy parametry opisujące jakość masywu skalnego – np. szczelinowatość, RQD itp.;
- występuje duża zmienność właściwości i jakości masywu skalnego.

#### 4. Podstawowe zasady doboru obudowy wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawalowymi

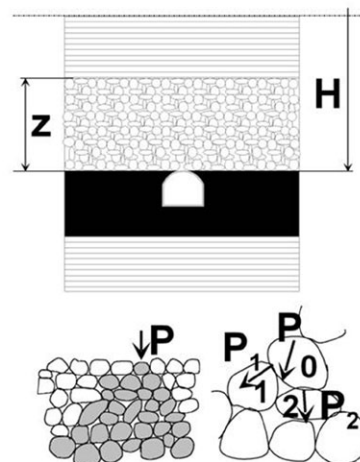
##### 4.1. Określenie odprężenia górotworu pod zrobami

Sytuację panującą w rejonie wyrobiska korytarzowego zlokalizowanego bezpośrednio pod zrobami można przedstawić w sposób podany na rys. 7 [5, 6, 9, 10]. Na rysunku tym przedstawiono ideę odprężenia górotworu, które występuje pod wybraną warstwą pokładu.

Uwzględnienie dyskretnej struktury skały zniszczonej możliwe jest albo przez badanie ośrodka zastępczego, albo przez zastosowanie metod probabilistycznych.



Rys. 6. Profil wytrzymałościowy skał zalegających w stropie wyrobiska



Rys. 7. Schemat mechanizmu odprężenia górotworu pod zrobami zawalowymi [5, 9, 14]

W rozwiązaniach tych ośrodek traktowany jest jako statystyczny układ elementów o dowolnym kształcie, nie powiązanych ze sobą, lecz wspartych na sobie w taki sposób, że pomiędzy nimi występują siły na stykach. Obciążenie zewnętrzne przekazuje się poprzez styki elementów w głąb ośrodka [14]. W zależności od kształtu bloków skalnych Kandaurow różni ośrodek bezrozporowy, w którym nie powstaje rozpór pomiędzy poszczególnymi blokami, oraz ośrodek rozporowy, w którym wskutek nieregularnego kształtu ziaren i dowolnego położenia styków powstają w ośrodku także siły poziome – tzw. rozpór.



Dla dowolnego obciążenia  $p_z$  rozłożonego na odcinku stropu warstwy luźnej obciążenie spągu tej warstwy wyrazić można wzorem:

$$\sigma_z = \frac{2}{z} \cdot \sqrt{\frac{1}{8\pi \cdot tg^2(45 - \frac{\varphi}{2})}} \cdot (H - z) \cdot \gamma \quad (1)$$

gdzie:

- $z$  – grubość warstwy zawалу;
- $H$  – głębokość zalegania spągu strefy zawalu;
- $\gamma$  – średni ciężar objętościowy skał nadległych;
- $\varphi$  – kąt tarcia wewnętrznego ośrodka.

Uwzględniając fakt, iż w miarę upływu czasu wielkość i rozkład naprężeń ulega zmianie w wyniku relaksacji naprężeń w pracy dla uwzględnienia wpływu czasu  $t$  na wielkość naprężeń wywołanych wpływem eksploatacji górniczej zastosowano zależność w postaci:

$$\sigma_z(t) = \sigma_z \cdot \left( 0,55 \cdot e^{-\frac{t}{0,9}} + 0,45 \right) \quad (2)$$

#### 4.2. Określenie obciążenia i podporności obudowy

W wyniku wykonania wyrobiska w jego otoczeniu powstanie strefa rozluźnienia skał w kształcie elipsy (rys. 8). W strefie zawalowej utworzy się sklepienie w przypadku spełnienia następującego warunku:

$$\frac{2 \cdot S_r}{w} \geq \sqrt{\frac{K^2 \cdot (f^2 + K)}{K \cdot f^2 + 1}} \quad (3)$$

gdzie:

$K$  – parametr obliczany z zależności:

$$K = \frac{p_x}{p_z} \quad (4)$$

$S_r$  – rozpiętość wyrobiska – dla obudowy łukowej obliczana z zależności:

$$S_r = \frac{r}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

$r$  – promień sklepienia obudowy wyrobiska;

$p_x$  – naprężenie poziome w górotworze;

$p_z$  – naprężenie pionowe w górotworze;

$h$  – wysokość wyrobiska;

$f$  – współczynnik tarcia górotworu określany z zależności:

$$f = tg \left( \varphi + k \cdot \log \frac{R_c}{\sigma_z} \right) \quad (6)$$

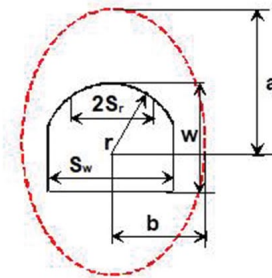
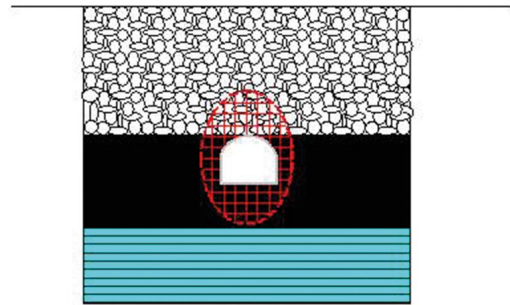
$\varphi$  – kąt tarcia wewnętrznego gruzowiska zawalowego;

$k$  – współczynnik szorstkości (dla powierzchni bardzo szorstkich  $k = 20$ );

$R_c$  – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie skał stropowych przed przejściem w stan zawalu;

$\sigma_z$  – naprężenie pionowe w górotworze.

W przypadku wytworzenia się w strefie zawalu sklepienia obciążenie obudowy pochodzić będzie od ciężaru skał



Rys. 8. Schemat obliczania obciążenia obudowy w rejonie strefy naruszonego górotworu [5, 9, 10]

zawartych w obrębie strefy odprężonej w kształcie półelipsy. Wielkości półosi elipsy opisującej strefę odprężoną oblicza się ze wzorów:

$$a = \frac{S_r}{K \cdot f} \cdot \sqrt{1 + f^2 \cdot K} \quad (7)$$

$$b = \frac{S_r}{\sqrt{K} \cdot f} \cdot \sqrt{1 + f^2 \cdot K} \quad (8)$$

W przypadku niespełnienia warunku (3) wymiary strefy odprężonej określa się z warunku równowagi ociosów. Aby ociosy były w stanie równowagi, pionowa reakcja sklepienia ciśnien powinna być taka, aby wywołane przez nią tarcie zrównoważyło poziome siły ścinające na tej wysokości. Rozmiary strefy odprężonej określa się ze wzorów:

$$a = \frac{w}{2 \cdot f} \cdot \sqrt{f^2 + K} \quad (9)$$

$$b = \frac{w \cdot \sqrt{K}}{2 \cdot f} \cdot \sqrt{f^2 + K} \quad (10)$$

Obciążenie obudowy na 1 mb wyrobiska oblicza się ze wzoru:

$$Q_0 = \frac{2}{3} \cdot S \cdot (a - r) \cdot \gamma \quad (11)$$

Dla potrzeb projektowania obudowy często potrzebna jest wartość obliczeniowa jednostkowego obciążenia obudowy. Wielkość tę można obliczyć ze wzoru:

$$q_0 = 1,2 \cdot \frac{Q_0}{S} \quad (12)$$

Dobór obudowy wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawalowymi realizowany powinien być z zachowaniem następujących zasad:

- stosowana jest obudowa podporowa (najczęściej odrzwiowa);
- w obudowie odrzwiowej, ze względu na nierównomierność obciążenia obudowy, szczególną uwagę zwrócić należy na stabilizację odrzwi poprzez stosowanie na obwodzie obudowy większej liczby rozpór lub zabudowę dodatkowych podciągów;
- obudowa powinna osłaniać przestrzeń wyrobiska przed ewentualnym opadem zruszonej skały do wyrobiska (opinka ciągła lub nieciągła z odpowiednim zabezpieczeniem);
- obudowa powinna posiadać odpowiednie posadowienie zabezpieczające przed wbijaniem się odrzwi obudowy w podsadzkę;
- obudowa powinna izolować wyrobisko przed niekontrolowaną wymianą gazów, wody itp.

W świetle przeprowadzonych rozważań teoretycznych proponuje się zmodyfikowany tok postępowania przy określaniu odległości pomiędzy odrzwiami stalowej obudowy podatnej [7].

Etap I: Określenie odległości pomiędzy odrzwiami w stanie usztywnionym  $d_1$ :

$$d_1 = \frac{10^3 \cdot f_d \cdot (m + n_1)}{\left[ \frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_0}{\varphi \cdot A} \right] \cdot n_1} \cdot 1m, \quad [m] \quad (13)$$

gdzie:

- $f_d$  – wartość obliczeniowa wytrzymałości na rozciąganie stali, [MPa];
- $m$  – współczynnik Schaefera zależny od rodzaju przekroju kształtownika;
- $n_1$  – współczynnik materiałowy wg Schaefera;
- $M_{max}$  – wartość ekstremalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla prognozowanego całkowitego obciążenia obliczeniowego, [kN × m];
- $N_0$  – wartość siły osiowej w miejscu ekstremalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla prognozowanego całkowitego obciążenia obliczeniowego, [kN];
- $W_x$  – wartość wskaźnika zginania przekroju kształtownika odrzwi obudowy, [m<sup>3</sup>];
- $\varphi$  – wartość współczynnika wybożenia zależna od wielkości kształtownika i rozmiaru odrzwi wg PN-80/B-03200;
- $A$  – wartość przekroju poprzecznego kształtownika odrzwi obudowy, [m<sup>2</sup>];
- $n_1$  – współczynnik pracy obudowy ( $n_1 \geq 1,0$ ).

Etap II: Dobór parametrów konstrukcyjnych złącza w oparciu o określoną wymaganą jego nośność:

$$N_z = 0,8 \cdot N \cdot d_1, \quad [kN] \quad (14)$$

gdzie:

- $N_z$  – wartość nośności złącza odrzwi obudowy ŁP, [kN];
- $N$  – wartość siły osiowej w miejscu złącza odrzwi dla prognozowanego całkowitego obciążenia obliczeniowego, [kN/m];
- $d_1$  – odległość między odrzwiami obudowy ŁP obliczona ze wzoru (1), [m].

Etap III: Dobór posadowienia odrzwi obudowy w oparciu o przybliżony warunek:

$$A_{min} = \frac{0,5 \cdot q_c \cdot S_w}{R_c}, \quad [m^2] \quad (15)$$

gdzie

- $A_{min}$  – wymagana wielkość powierzchni posadowienia łuku ociosowego odrzwi, [m<sup>2</sup>];
- $q_c$  – obciążenie obliczeniowe odrzwi obudowy, [MN/m];
- $S_w$  – szerokość wyrobiska w świetle obudowy, [m];
- $R_c$  – wytrzymałość obliczeniowa na ściskanie skał spągowych, [MPa].

Prawidłowo dobrana obudowa spełnia warunki określone wzorami (13), (14) i (15). Przekształcając wzory (13), (14) i (15), można obliczyć:

- nośność odrzwi w stanie usztywnionym –  $P_1$ ;
- nośność odrzwi w stanie podatnym –  $P_2$ ;
- nośność odrzwi ze względu na posadowienie –  $P_3$ .

Jako wypadkową nośność obudowy zwykle przyjmuje się wartość najmniejszą z wymienionych powyżej.

#### 4.3. Obciążenie i podporność obudowy jako zmienne losowe

Uwzględniając wykazaną powyżej zmienność danych przyjmowanych do obliczeń prognostycznych, można je potraktować jako zmienne losowe o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa, co pozwoli na określenie oddziaływania górotworu na obudowę wyrobiska również jako zmienną losową o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa.

Traktując dane  $z$ ,  $H$ ,  $\varphi$  i  $\gamma$  jako zmienne losowe o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa, wartość średnią i odchylenie standardowe naprężenia w spągu warstwy zawału można obliczyć, wykorzystując wzory aproksymacyjne [1, 8] i uzyskując wzory:

$$\bar{\sigma}_z = \frac{2}{z} \cdot \sqrt{\frac{1}{8 \cdot \pi} \cdot \frac{(\bar{H} - \bar{z}) \cdot \bar{\gamma}}{\operatorname{tg}(45 - \frac{\varphi}{2})}} \quad (16)$$

$$s_\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}\right)^2 \cdot s_z^2 + \left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial H}\right)^2 \cdot s_H^2 + \left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial \varphi}\right)^2 \cdot s_\varphi^2 + \left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial \gamma}\right)^2 \cdot s_\gamma^2} \quad (17)$$

Po wykonaniu obliczeń uzyskuje się wielkość i rozkład obciążeń obudowy charakteryzowany przez [1, 8]:

- średnią wartość obciążenia obudowy wyrobiska –  $q_0$ ;
- odchylenie standardowe obciążenia obudowy wyrobiska –  $s_{q_0}$ .

Wartość średnią i odchylenie standardowe obciążenia obudowy dla przyjętego modelu można określić ze wzorów [8, 9]:

$$\bar{q}_0 = \int_{\Omega_1} q_0(R_c, \gamma, H, z, \varphi, S_w, W_w) \cdot g(R_c, \gamma, H, z, \varphi, S_w, W_w) \cdot d\mu_1 \quad (18)$$

$$s_{q_0} = \sqrt{\int_{\Omega_1} [q_0(R_c, \gamma, H, z, \varphi, S_w, W_w) - \bar{q}_0]^2 \cdot g(R_c, \gamma, H, z, \varphi, S_w, W_w) \cdot d\mu_1} \quad (19)$$

$$d\mu_1 = dR_c \cdot dy \cdot dH \cdot dz \cdot d\varphi \cdot dS_w \cdot dW_w \quad \Omega_{1,1} = R^7 \quad (20)$$

gdzie:

$R_c$  – wytrzymałość na ściskanie skał w masywie w profilu charakterystycznym dla wyrobiska;

$E$  – moduł sprężystości skał budujących masyw w profilu charakterystycznym dla wyrobiska;

$\sigma_z$  – naprężenie pionowe w masywie w rejonie projektowanego wyrobiska;

$S_w$  – szerokość projektowanego wyrobiska w wyłomie;

$W_w$  – wysokość projektowanego wyrobiska w wyłomie.

Do obliczeń nośności obudowy przyjmuje się wiele danych określanych z mniejszym lub większym przybliżeniem, do wykonania obudowy stosuje się elementy wykonane z określoną dokładnością, a jakość wykonania obudowy również jest niejednorodna. Stan ten prowadzi do sytuacji, w której większość danych można traktować jako zmienne losowe [1, 8].

Wartość średnią nośności obudowy oraz wartość odchylenia standardowego dla przyjętego modelu kryterium wytrzymałości kształtownika można określić ze wzorów:

$$\bar{P}_1 = \int_{\Omega_2} P_1(f_d, M_{max}, W_x, N_o, \varphi, A) \cdot f(f_d, M_{max}, W_x, N_o, \varphi, A) \cdot d\mu_2 \quad (21)$$

$$s_{P_1} = \sqrt{[P_1(f_d, M_{max}, W_x, N_o, \varphi, A) - \bar{P}_1]^2 \cdot f(f_d, M_{max}, W_x, N_o, \varphi, A) \cdot d\mu_2} \quad (22)$$

$$d\mu_2 = df_d \cdot dM_{max} \cdot dW_x \cdot dN_o \cdot d\varphi \cdot dA, \quad \Omega_2 = R^6 \quad (23)$$

gdzie:

$f_d$  – wytrzymałość na rozciąganie stali, z której wykonane są łuki odrzwi obudowy;

$M_{max}$  – maksymalny moment zginający występujący w najbardziej wyężonym przekroju odrzwi obudowy;

$W$  – wskaźnik zginania przekroju profilu, z którego wykonane są odrzwia obudowy;

$N_o$  – siła osiowa występująca w najbardziej wyężonym przekroju odrzwi obudowy;

$\varphi$  – współczynnik wyoboczeniowy dla danego profilu oraz wielkości odrzwi;

$A$  – przekrój poprzeczny profilu, z którego wykonane są odrzwia obudowy.

Wartość średnią nośności obudowy oraz wartość odchylenia standardowego dla przyjętego modelu kryterium nośności złącza można określić ze wzorów:

$$\bar{P}_2 = \int_{\Omega_3} P_2(N_z, d, N) \cdot f(N_z, d, N) \cdot d\mu_3 \quad (24)$$

$$s_{P_2} = \sqrt{[P_2(N_z, d, N) - \bar{P}_2]^2 \cdot f(N_z, d, N) \cdot d\mu_3} \quad (25)$$

$$d\mu_3 = dN_z \cdot dd \cdot dN, \quad \Omega_3 = R^3 \quad (26)$$

gdzie

$\bar{N}_z$  – średnia wartość nośności zamka odrzwi obudowy ŁP;

$\bar{N}$  – średnia wartość siły osiowej w miejscu zamka;

$d$  – odległość między odrzwiami obudowy ŁP;

$s_{N_z}$  – odchylenie standardowe nośności zamka odrzwi obudowy ŁP;

$s_{N_z}$  – odchylenie standardowe siły osiowej w miejscu zamka.

Wartość średnią nośności obudowy oraz wartość odchylenia standardowego dla przyjętego modelu kryterium posadowienia obudowy można określić ze wzorów:

$$\bar{P}_3 = \int_{\Omega_4} P_3(N_z, A, S_w, R_c) \cdot f(N_z, A, S_w, R_c) \cdot d\mu_4 \quad (27)$$

$$s_{P_3} = \sqrt{[P_3(N_z, A, S_w, R_c) - \bar{P}_3]^2 \cdot f(N_z, A, S_w, R_c) \cdot d\mu_4} \quad (28)$$

$$d\mu_4 = dN_z \cdot dA \cdot dS_w \cdot dR_c \quad \Omega_4 = R^4 \quad (29)$$

#### 4.4. Ocena ryzyka utraty stateczności wyrobiska

Bezpieczeństwo konstrukcji, opierające się na idei „najsłabszego ogniwa”, pozwala przyjmując za wartości progowe wartości obliczeniowe nośności  $P_0$  i obciążenia  $q_0$  obudowy. Wykorzystując metodę probabilistycznej analizy konstrukcji poziomu II, jako miarę bezpieczeństwa przyjmuje się probabilistyczny wskaźnik niezawodności  $\beta$  obliczany ze wzorów:

$$\beta = \frac{\bar{P}_0 - \bar{q}_0}{\alpha_{P_0} s_{P_0} + \alpha_{q_0} s_{q_0}} \quad (30)$$

$$|\alpha_{P_0}| = \frac{s_{P_0}}{\sqrt{s_{P_0}^2 + s_{q_0}^2}} \quad (31)$$

$$|\alpha_{q_0}| = \frac{s_{q_0}}{\sqrt{s_{P_0}^2 + s_{q_0}^2}} \quad (32)$$

Wartość dystrybucyjnego współczynnika niezawodności  $p(t)$  oznacza prawdopodobieństwo bezpieczeństwa konstrukcji obudowy, natomiast wartość  $[1-p(t)]$  oznacza prawdopodobieństwo awarii konstrukcji (utrata stateczności przez obudowę).

W metodzie poziomu II wg [1, 8] na tym poziomie obliczeń stosuje się warunki typu:

$$p \leq p_a \quad (33)$$

gdzie:

$p$  – prawdopodobieństwo awarii;

$p_a$  – akceptowany poziom prawdopodobieństwa awarii.

Przedstawiona powyżej metoda analizy szacowania bezpieczeństwa może być wykorzystana w prognozowaniu niezawodności nietypowych obiektów budowlanych, takich jak np. obiekty wymagające indywidualnego szacowania zapasu bezpieczeństwa ze względu na brak aktualnych norm czy przepisów, obiektów o nietypowym obciążeniu lub konstrukcji, których nośność określono metodami eksperymentalnymi (Biegus, 1999).

**Tabela 1.** Klasyfikacja warunków utrzymania stateczności wyrobisk korytarzowych oraz stopni ryzyka jej utraty

Klasa warunków utrzymania stateczności wyrobiska	Stopień ryzyka utraty stateczności	Prawdopodobieństwo	Opis
I warunki dobre	I ryzyko małe	$P_o - q_o > 0$ $i$ $p_a \leq 0,03$	Brak zagrożenia utratą stateczności.
II warunki zadowalające	II ryzyko nieznaczne	$P_o - q_o > 0$ $i$ $p_a = 0,03 \div 0,10$	Istnieje możliwość wystąpienia deformacji wyrobiska bez konieczności wykonywania jego napraw.
III warunki dostateczne	III ryzyko średnie	$P_o - q_o > 0$ $i$ $p_a = 0,10 \div 0,20$	W całym okresie użytkowania wyrobiska istnieje możliwość wystąpienia deformacji sporadycznie wymagających napraw.
IV warunki dopuszczalne	IV ryzyko duże	$P_o - q_o > 0$ $i$ $p_a = 0,20 \div 0,35$	W całym okresie użytkowania wyrobiska wystąpią deformacje wymagające co najmniej 1 naprawy.
V warunki trudne	V ryzyko bardzo duże	$P_o - q_o > 0$ $i$ $p_a = 0,35 \div 0,45$	W całym okresie użytkowania wyrobiska wystąpią jego deformacje i uszkodzenia, wymagające kilkukrotnych napraw.
VI warunki niedopuszczalne	VI ryzyko niedopuszczalne	$P_o - q_o \leq 0$ lub $p_a > 0,45$	Występuje zagrożenie zniszczenia wyrobiska w postaci zawału lub intensywnych deformacji wymagających częstych napraw.

Na podstawie przeprowadzonej analizy i oceny zachowania się wyrobisk przygotowawczych w odniesieniu do obliczonego prawdopodobieństwa utraty stateczności wyróżniono następujące klasy warunków utrzymania stateczności wyrobisk korytarzowych oraz stopnie ryzyka utraty stateczności, które przedstawiono w tabeli 1 [8]. W świetle tej klasyfikacji projektowane i utrzymywane wyrobisko powinno kwalifikować się do I, II lub III klasy warunków utrzymania stateczności wyrobisk korytarzowych.

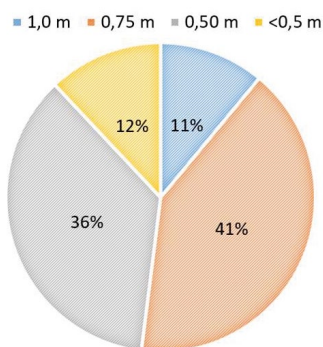
**5. Analiza oceny ryzyka utraty stateczności wyrobisk korytarzowych**

Na warunki utrzymania stateczności wyrobisk górniczych wpływ ma wiele czynników naturalnych i górniczych, co powoduje trudności w zdefiniowaniu jasnych i prostych kryteriów klasyfikacyjnych. Dodatkową trudność sprawia zmienność warunków naturalnych i górniczych. Biorąc pod uwagę zarówno złożoność zagadnienia, jak i wyniki przeprowadzonej analizy zachowania się ponad 25 wyrobisk przygotowawczych

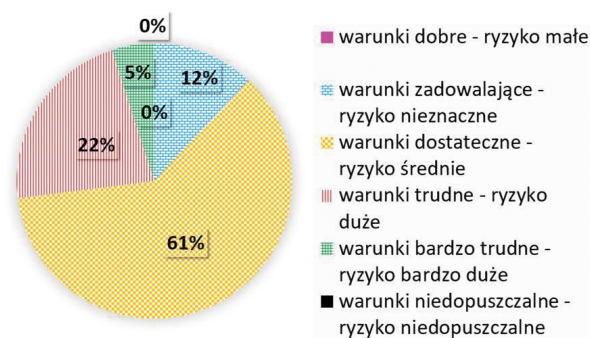
zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi, przyjęto, że miernikiem ryzyka utraty stateczności wyrobisk górniczych jest prawdopodobieństwo wystąpienia utraty stateczności.

Wykorzystano metodę probabilistyczną poziomu II, w której jako miernik niezawodności konstrukcji obudowy przyjęto prawdopodobieństwo utraty stateczności. Przeprowadzone analizy i obliczenia wykazały, że zastosowana w analizowanych wyrobiskach obudowa charakteryzowała się zmiennym prawdopodobieństwem wystąpienia utraty stateczności. Zmienność ta nie wynikała tylko z „oszczędnego” doboru obudowy, ale w znacznej mierze zależała od zmienności warunków naturalnych i górniczych. Na rys. 9 przedstawiono udział poszczególnych rozstawów odrzwi w analizowanych rozcinkach, a na rys. 10 kształtowanie się warunków utrzymania stateczności rozciniek ścian oraz stopni ryzyka jej utraty.

Dla analizowanych rozciniek ścian zlokalizowanych bezpośrednio pod zrobami zawałowymi prawdopodobieństwo utraty stateczności wyrobiska  $p$  osiągnęło wartości (rys. 10):



**Rys. 9.** Udział poszczególnych rozstawów odrzwi w analizowanych rozcinkach



**Rys. 10.** Kształtowanie się warunków utrzymania stateczności rozciniek ścian oraz stopni ryzyka jej utraty

- w przypadku 0% wyrobisk –  $p_a < 0,05$ ;
- w przypadku 12% wyrobisk –  $0,03 < p_a < 0,1$ ;
- w przypadku 61% wyrobisk –  $0,1 < p_a < 0,2$ ;
- w przypadku 22% wyrobisk –  $0,2 < p_a < 0,35$ ;
- w przypadku 5% wyrobisk –  $0,35 < p_a < 0,45$ ;
- w przypadku 0% wyrobisk –  $p_a > 0,45$ .

## 6. Podsumowanie


W oparciu o dotychczasowe doświadczenia można sformułować następujące stwierdzenia:

- wytrzymałość na ściskanie skał poddanych wpływom eksploatacji górniczej zasadniczo nie ulega zmianie, natomiast zmianie ulegają parametry opisujące jakość masywu – np. szczelinowość, RQD itp., co w znaczącym stopniu wpływa na pogorszenie warunków utrzymania stateczności wyrobiska, lokalnie mogą występować strefy zruszenia warstwy pokładu oraz skał stropowych;
- wyrobiska korytarzowe drażnione w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów, pomimo bezpośredniego kontaktu z rumowiskiem zawałowym, zwykle nie wymagają zastosowania obudowy o znacznie większej nośności niż w przypadku wyrobisk zlokalizowanych w caliznie poza strefą wpływów eksploatacji;
- o warunkach utrzymania stateczności wyrobisk decyduje stopień odprężenia masywu oraz jego degradacji;
- w trakcie drażenia wyrobiska wymagana jest szczególna dyscyplina w zakresie wykonawstwa oraz niedopuszczanie do nadmiernego otwarcia nieosłoniętego stropu w czole drażonych wyrobisk;
- znacznie ograniczona w stosunku do warunków górotworu nieodprężonego jest potrzeba dodatkowego wzmocnienia obudowy wyrobisk w przypadku występowania w ich bezpośrednim sąsiedztwie innych wyrobisk korytarzowych, co potwierdzają zaprezentowane pomiary gabarytów przekroju poprzecznego chodników eksploatacyjnych;
- duże zagrożenie może powodować występowanie lub niespodziewany dopływ wody do górotworu otaczającego wyrobisko;
- do doboru obudowy wyrobisk zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów powinno się stosować metody uwzględniające specyfikę ośrodka i zachodzących w nim procesów. Przyjmowany model obliczeniowy zależy od lokalizacji wyrobiska względem zrobów, zasobu informacji o warunkach geologiczno-górnicych, posiadanych sił i środków do realizacji zadania oraz kwalifikacji wykonawcy.

## Literatura

- [1] BIEGUS A.: *Probabilistyczna analiza konstrukcji stalowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Wrocław 1999.
- [2] CHUDEK M.: *Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu*. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2002.

- [3] CHUDEK M., DUŻY S., BĄCZEK A., DYDUCH G.: *Ocena rekonsolidacji zrobów w warunkach eksploatacji pokładu grubego z podziałem na warstwy*. „Przegląd Górniczy” 12/ 2010.
- [4] CZEMPAS A., DUŻY S.: *Stateczność wyrobisk korytarzowych w górotworze naruszonej eksploatacją górniczą w świetle przeprowadzonych badań*. „Budownictwo Górnicze i Tunelowe” 2/2017.
- [5] DUŻY S.: *Geomechaniczne aspekty utrzymania stateczności wyrobisk przygotowawczych w warunkach eksploatacji pokładów grubych z podziałem na warstwy*. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”, tom 24, zeszyt 2/3, 2008.
- [6] DUŻY S.: *Geomechaniczne aspekty projektowania przecinek ściannowych w warunkach eksploatacji pokładów grubych z podziałem na warstwy*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2019.
- [7] DUŻY S.: *Dobór stalowej obudowy odrzwiowej podatnej wyrobisk korytarzowych w świetle metody stanów granicznych*. IV Polski Kongres Górniczy, Kraków 2015.
- [8] DUŻY S.: *Studium niezawodności konstrukcji obudowy i stateczności wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego z uwzględnieniem niepewności informacji*. ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z. 277, 2007.
- [9] DUŻY S., KLETA H.: *Analiza geomechanicznych warunków utrzymania stateczności wyrobisk przygotowawczych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów*. „Budownictwo Górnicze i Tunelowe” 1/2001.
- [10] GAŁCZYŃSKI S.: *Ocena ciśnienia górotworu na obudowę wyrobisk chodnikowych i tunelowych metodami inżynierskimi*. Zeszyty Problemowe Górnictwa, tom 5, z. 2, Warszawa – Kraków 1977.
- [11] KONOPKO W.: *O projektowaniu obudowy chodników drażonych pod gruzowiskiem zawałowym*. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 6(46)/1998.
- [12] KONOPKO W.: *Destrukcyjna górotworu w otoczeniu eksploatacji ściannowej*. „Przegląd Górniczy” 2/2014.
- [13] NIEROBISZ A., PRUSEK S.: *Zasady bezpiecznego prowadzenia wyrobisk korytarzowych pod zrobami zawałowymi i podsadzkoowymi*. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 4(12)/1994.
- [14] KISIEL I. (RED.): *Mechanika skał i gruntów*. PWN, Warszawa 1982.
- [15] PRUSEK S., BOCK S., MASNY W.: *Nowa metoda oceny stopnia rekonsolidacji zrobów zawałowych w aspekcie doboru obudowy wyrobisk korytarzowych*. „Górnictwo i Środowisko” 2009.
- [16] URBAŚ M., CUDNY T., AMBROŻY A., DUŻY S.: *Utrzymanie wyrobisk korytarzowych wykonanych w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów zawałowych warstw wyższych w świetle obserwacji dołowych*. „Budownictwo Górnicze i Tunelowe” 4/2002.

 Stanisław Duży – Politechnika Śląska; Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej; Katedra Geomechaniki i Budownictwa Podziemnego

artykuł recenzowany

reklama



**Najnowsze informacje ze świata robotyki**  
katalog branżowy | aplikacje robotów | targi



# Analiza zmian zakresu uszkodzeń murowanych budynków wielokondygnacyjnych w okresie 10 lat oddziaływań górniczych

Karol Firek, Janusz Rusek, Aleksander Wodyński

## 1. Wprowadzenie

Podczas inwentaryzacji stanu technicznego budynków na terenach górniczych szczególną uwagę należy zwrócić na ocenę zakresu i intensywności uszkodzeń, zwłaszcza w kontekście określania przyczyn ich powstania. W pracach [1, 3, 5] przedstawiono propozycję uniwersalnej klasyfikacji intensywności uszkodzeń poszczególnych elementów budynków, zarówno o konstrukcji murowanej, wykonanych w prefabrykowanych systemach uprzemysłowionych (wielki blok, wielka płyta), jak i obiektów szkieletowych typu halowego. Następnie na podstawie tej klasyfikacji ustalono metodykę wyznaczania uogólnionych wskaźników intensywności uszkodzeń dla poszczególnych typów budynków [4].

Celem prezentowanych w artykule badań było przeprowadzenie analizy zmian w czasie intensywności uszkodzeń współczesnych wielokondygnacyjnych budynków o konstrukcji murowanej oraz zbadanie relacji między zakresem ich uszkodzeń a oddziaływaniem eksploatacji górniczej.

Podstawę badań stanowiła baza danych o konstrukcji, stanie technicznym i potencjalnych przyczynach uszkodzeń 56 budynków o konstrukcji murowanej, w wieku do 20 lat, usytuowanych na terenie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM). Budynki te w całym okresie istnienia były poddawane wpływom górniczym w postaci deformacji powierzchni i wstrząsów górotworu. Przedstawione wyniki stanowią kontynuację analiz zapoczątkowanych dla tej samej grupy obiektów w pracy [2].

## 2. Baza danych o budynkach

### 2.1. Charakterystyka techniczna badanej grupy budynków


W badaniach wykorzystano informacje zebrane podczas przeprowadzonych w latach 2002, 2007 i 2012 inwentaryzacji stanu technicznego 56 murowanych budynków (mieszkalnych wielorodzinnych i użyteczności publicznej) wzniesionych w latach 1993–2002 na terenie górniczym LGOM. Średni wiek obiektów podczas pierwszej inwentaryzacji w roku 2002 wyniósł 4,6 lat.

Badane budynki są wielokondygnacyjne (od 2 do 4 kondygnacji) i wielosegmentowe (od 2 do 7 oddylatowanych segmentów), w większości w zabudowie zwartej i półzwartej. W obiektach tych zastosowano zabezpieczenia profilaktyczne na I lub II kategorię terenu górniczego. Zgodnie z zasadami dylatowania budynków na terenach górniczych szczeliny

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki analizy zakresu uszkodzeń 56 wielokondygnacyjnych budynków o konstrukcji murowanej, usytuowanych na terenie górniczym Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Są to obiekty mieszkalne i użyteczności publicznej w wieku do 20 lat, zabezpieczone w trakcie budowy przeciw wpływom górniczym. Podstawę badań stanowiły wyniki inwentaryzacji stanu technicznego przeprowadzone w latach 2002, 2007 i 2012.

W ramach badań ustalono intensywność uszkodzeń poszczególnych a następnie przeprowadzono analizę zmian tej intensywności w czasie oraz zbadano relacje między zakresem uszkodzeń, a oddziaływaniami eksploatacji górniczej.

Słowa kluczowe: uszkodzenia budynków, murowane budynki wielokondygnacyjne, wpływy górnicze

 **Abstract:** The paper presents the results of the analysis of the extent of damage to 56 multi-story masonry buildings located in the mining area of Legnica-Głogow Copper District. These include residential and public buildings, not older than 20 years, protected against mining impacts already at the construction stage. The results of inspections of their technical condition carried out in 2002, 2007 and 2012 formed the basis for the study.

The intensity of damage to the individual buildings was determined, and then the changes of this intensity in time were analyzed. The relationship between the extent of damage and the impact of mining exploitation was examined as well.

Keywords: damage to building structures, masonry multi-story buildings, mining impacts

dylatacyjne wykonano od poziomu podstawy fundamentu do kalenicy, a poszczególne segmenty stanowią konstrukcyjnie odrębne obiekty. Prawie wszystkie budynki posadowiono na stałym poziomie. Zastosowano fundamenty żelbetowe w postaci ław lub płyt fundamentowych. Ściany piwniczne są żelbetowe monolityczne lub betonowe, natomiast ściany wyższych kondygnacji murowane z cegły ceramicznej lub z bloczków z betonu komórkowego. W budynkach podpiwniczonych stropy nad piwnicami wykonano jako żelbetowe monolityczne lub z żelbetowych płyt prefabrykowanych, stropy wyższych

kondygnacji żelbetowe monolityczne oraz rzadziej żelbetowe płyty prefabrykowane. Przekrycie stanowią drewniane więźby dachowe.

## 2.2. Wskaźniki stanu technicznego budynków

### Stopień zużycia technicznego

Miarą stanu technicznego budynku jest stopień zużycia  $s_z$  (np. [8]). W ramach opisywanych badań stopień zużycia technicznego został wyznaczony dla poszczególnych budynków metodą średniej ważonej, z uwzględnieniem indywidualnych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych. Badane obiekty charakteryzuje stopień zużycia o średnich wartościach podanych w tabeli 1.

### Wskaźnik intensywności uszkodzeń

W celu zbadania udziału uszkodzeń w zużyciu technicznym budynków, zmian intensywności uszkodzeń w czasie oraz relacji między zakresem uszkodzeń a oddziaływaniem eksploatacji górniczej określono jakościowy wskaźnik intensywności uszkodzeń  $w_{ui}$  dla poszczególnych elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych (np. [1]). Łącznie wyodrębniono 22 elementy, dla których wskaźnik ten został zdefiniowany w 6-stopniowej skali, w której  $w_{ui} = 0$  oznacza, że uszkodzenia nie występują,  $w_{ui} = 1$  – nieznaczne uszkodzenia (zakres od 0 do 10%),  $w_{ui} = 2$  – umiarkowane uszkodzenia (zakres od powyżej 10 do 30%),  $w_{ui} = 3$  – intensywne uszkodzenia (zakres od powyżej 30 do 50%),  $w_{ui} = 4$  (i 5) – bardzo intensywne uszkodzenia (zakres powyżej 50%).

Analiza wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń  $w_{ui}$  dla poszczególnych elementów budynków w badanej grupie wykazała, że wystąpiły tu najwyższe uszkodzenia nieznaczne lub umiarkowane (por. tab. 1 i rys. 1).

Następnie ustalono wskaźniki intensywności uszkodzeń całych budynków jako kombinacje liniowe wskaźników opisujących uszkodzenia ich elementów składowych. Do tworzenia formuły uogólnionego wskaźnika uszkodzeń  $w_u$  wykorzystano metodę cząstkowych najmniejszych kwadratów w podejściu regresyjnym (*Partial Least Squares Regression* – PLSR) z zakresu Data Mining [2].

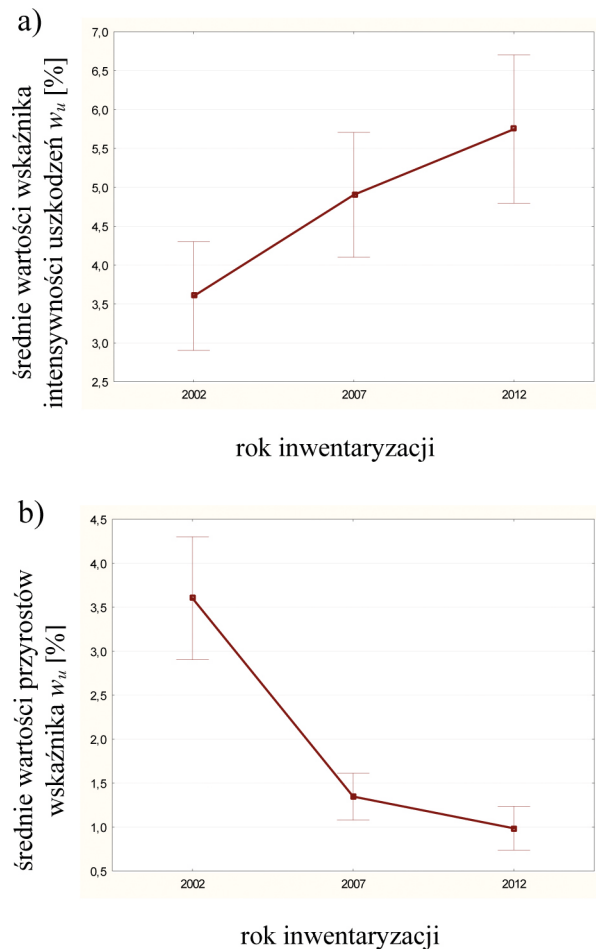
Uwzględniając specyfikę badanej zabudowy, w analizach uwzględniono wskaźniki opisujące uszkodzenia następujących elementów: ścian nośnych piwnic lub fundamentowych ( $w_{u2}$ ), ścian nośnych nadziemnych ( $w_{u3}$ ), stropów nad piwnicami ( $w_{u6}$ ) i wyższych kondygnacji ( $w_{u7}$ ), ścian działowych ( $w_{u11}$ ), tynków wewnętrznych i okładzin ściennych ( $w_{u12}$ ), podłóg ( $w_{u13}$ ), warstw elewacyjnych ( $w_{u17}$ ), obróbek blacharskich i rynnowania ( $w_{u20}$ ) oraz elementów zewnętrznych, czyli wejść do budynków, podestów, tarasów, opasek ( $w_{u22}$ ).

Stwierdzono, że opisem uogólnionego wskaźnika uszkodzeń  $w_u$  dla badanego typu budynków jest liniowa kombinacja (1) wskaźników uszkodzeń jego elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych  $w_{ui}$ :

$$w_u = 0,076w_{u2} + 0,050w_{u3} + 0,006w_{u6} + 0,130w_{u7} + 0,092w_{u11} + 0,022w_{u12} + 0,005w_{u13} + 0,058w_{u17} + 0,031w_{u20} + 0,170w_{u22} [\%]$$

Tabela 1. Charakterystyka stanu technicznego badanych grup budynków

Rok inwentaryzacji	2002	2007	2012
Średni stopień zużycia $s_z$ [%]	5,8	9,6	14,1
Średni wskaźnik uszkodzeń budynków $w_u$ [%]	3,6	4,9	5,7
Udział uszkodzeń w zużyciu technicznym ( $w_u/s_z$ ) [%]	62	51	40
Przyrost średniego wskaźnika uszkodzeń budynków $w_u$ pomiędzy kolejnymi inwentaryzacjami [%]	-	1,3	1,0



Rys. 1. Wykres średnich wartości wskaźnika uszkodzeń  $w_u$  badanej zabudowy (a) oraz jego przyrostów (b) ustalonych na podstawie inwentaryzacji w latach 2002, 2007 i 2012

Pozwala ona na wyjaśnienie 37% zmienności zawartej w danych o stopniu zużycia technicznego  $s_z$  w badanej grupie budynków.

Wyznaczone dla poszczególnych budynków wartości  $w_u$  mieszczą się w granicy kategorii nieznaczne (tab. 1 i rys. 1).

## 2.3. Wskaźniki opisujące zagrożenie zabudowy wpływami górnictwami

### Wskaźnik zagrożenia ciągłymi deformacjami powierzchni

Uwzględniając specyfikę ciągłych deformacji terenu w LGOM oraz charakter badanej zabudowy (budynki murowane,

wysokości do 4 kondygnacji, o stosunkowo niewielkich wymiarach rzutu poziomego), jako podstawową miarę zagrożenia ciągłymi deformacjami powierzchni przyjęto poziome odkształcenia terenu  $\epsilon$ . Na podstawie uzyskanych z kopalń informacji o dokonanej w badanych rejonach eksploatacji górniczej kaźdemu budynkowi przypisano maksymalną wartość poziomych odkształceń terenu  $\epsilon_{max}$ , jakie wystąpiły w analizowanych okresach istnienia budynku, to jest od daty budowy do roku 2002, następnie w latach 2003–2007 oraz w latach 2008–2012.

Uzyskane wartości  $\epsilon_{max}$  mieszczą się dla większości przypadków w granicach I i II kategorii terenu górniczego (tab. 2 i rys. 2).

### Wskaźniki opisujące zagrożenie wstrząsami górnicznymi

W przypadku oceny bezpieczeństwa konstrukcji jako podstawowy wskaźnik do oceny zagrożenia przyjmuje się z reguły poziomą składową przyspieszenia drgań  $a_{Hmax}$  lub ich prędkość  $V_{Hmax}$ . Nie uwzględnia się więc krotności wstrząsów oddziałujących na budynek.

Takie postępowanie nie pozwala na ocenę wpływu wstrząsów na zużycie techniczne budynku. W analizie należy bowiem uwzględnić powtarzalność oddziaływań dynamicznych, a więc liczbę i indywidualne intensywności wpływów wszystkich zjawisk sejsmicznych istotnie oddziałujących na obiekt w całym okresie jego użytkowania.

W pracy [7] przedstawiono koncepcję wskaźnika  $a_{sg}$ , który stanowi miarę oddziaływań wstrząsów górnicznych na zużycie techniczne budynków. Zdefiniowano go jako sumę geometryczną wartości szczytowych poziomej składowej przyspieszenia drgań gruntu w miejscu posadowienia budynku. Uwzględnia się tylko te wstrząsy, które wystąpiły w ciągu okresu eksploatacji obiektu i których wartości szczytowe w miejscu jego lokalizacji są większe od zadanej wartości progowej  $a_p$ , poniżej której oddziaływanie wstrząsu na zużycie techniczne budynku uznaje się za nieistotne. Badania przedstawione w [7] wykazały, że optymalną wartością progową jest  $a_p = 0,12 \text{ m/s}^2$ .

Na podstawie kopalnianych katalogów wstrząsów dla poszczególnych budynków ustalono wartości  $a_{Hmax}$  od wszystkich zarejestrowanych zjawisk sejsmicznych w poszczególnych analizowanych przedziałach czasu (od daty budowy do roku 2002, w latach 2003–2007 oraz w latach 2008–2012 – por. tab. 2). Mieszczą się w przedziale od 0,16 do 1,18  $[\text{m/s}^2]$ .

W przypadku wskaźnika  $a_{sg}$  uwzględniano wszystkie wstrząsy, które wystąpiły w ciągu całego okresu eksploatacji obiektu i których wartości szczytowe przyspieszenia w miejscu jego lokalizacji były większe od  $a_p = 0,12 \text{ m/s}^2$  (por. tab. 2 i rys. 3). Uzyskano wartości  $a_{sg}$  w przedziale od 1,01 do 3,02  $[\text{m/s}^2]$ .

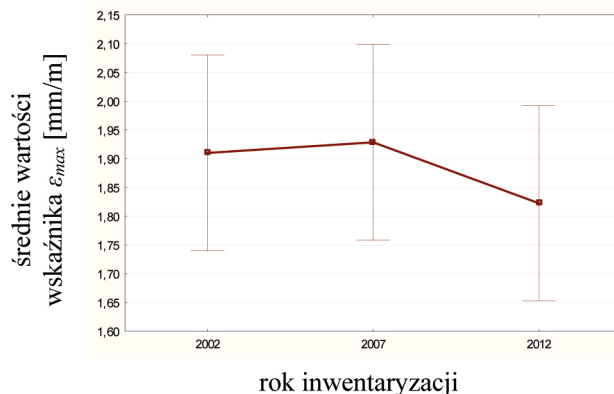
### 3. Analiza zmian w czasie intensywności uszkodzeń budynków i oddziaływań górnicznych

W tabelach 1 i 2 oraz na rysunkach 1, 2 i 3 przedstawiono zmiany w czasie średnich wartości charakterystyk stanu technicznego ( $s_z, w_u$ ) oraz wskaźników zagrożenia zabudowy wpływami górnicznymi ( $\epsilon_{max}, a_{Hmax}$  i  $a_{sg}$ ).

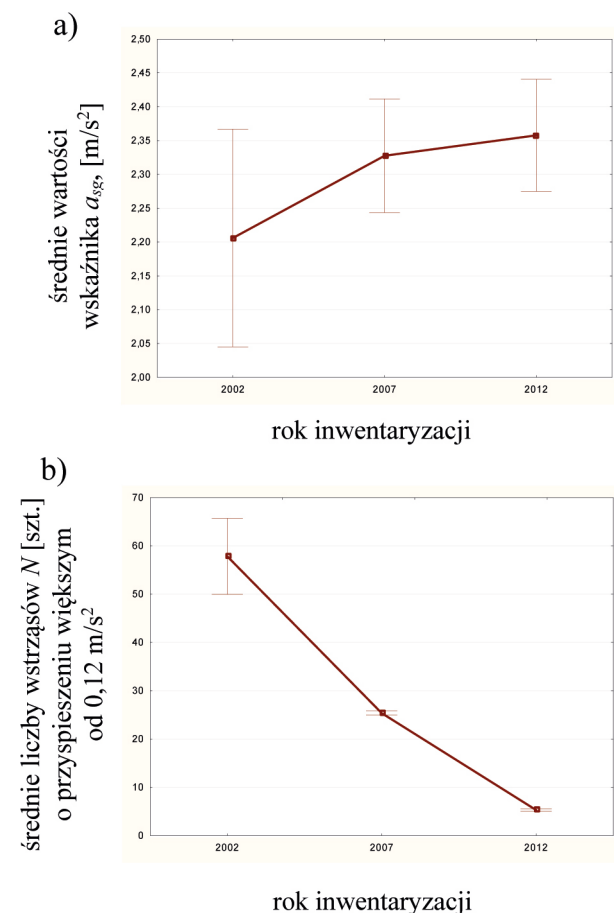
Stwierdzono, że wraz z upływem czasu wzrasta nie tylko stopień zużycia  $s_z$  badanych budynków, ale i zakres ich uszkodzeń reprezentowany przez  $w_u$ . Pomimo wzrostu naturalnego zużycia

Tabela 2. Zestawienie średnich wartości wskaźników opisujących zagrożenie zabudowy wpływami górnicznymi

Rok inwentaryzacji	2002	2007	2012
Średnia z maksymalnych wartości poziomych odkształceń terenu $\epsilon_{max}$ [mm/m]	1,9	1,9	1,8
Średnia z maksymalnych poziomych składowych przyspieszenia drgań $a_{Hmax}$ [ $\text{m/s}^2$ ]	0,7	0,9	0,2
Średni wskaźnik wpływu wstrząsów na zużycie techniczne $a_{sg}$ [ $\text{m/s}^2$ ]	2,2	2,3	2,4
Średnia liczba wstrząsów z $a_{Hmax} \geq a_p = 0,12 \text{ m/s}^2$ N [szt.]	58	25	5



Rys. 2. Wykres średnich wartości wskaźnika  $\epsilon_{max}$



Rys. 3. Wykres średnich wartości wskaźnika  $a_{sg}$  badanej zabudowy (a) oraz średnie liczby wstrząsów N o  $a_p \geq 0,12 \text{ m/s}^2$  (b)



Tabela 3. Badania korelacji między wskaźnikiem  $w_{ui}$  a wskaźnikiem wpływu deformacji powierzchni  $\epsilon_{max}$ 

Rok inwentaryzacji	2002		2007		2012	
Wskaźnik uszkodzeń $w_{ui}$	Korelacje między $w_{ui}$ i $\epsilon_{max}$					
	R	p	R	p	R	p
$w_{u2}$	0,061	0,656	0,091	0,507	0,074	0,588
$w_{u3}$	0,197	0,146	<b>0,282</b>	<b>0,035</b>	<b>0,261</b>	<b>0,052</b>
$w_{u6}$	0,189	0,162	0,223	0,098	0,129	0,344
$w_{u7}$	<b>0,272</b>	<b>0,043</b>	<b>0,292</b>	<b>0,029</b>	-0,114	0,401
$w_{u11}$	0,172	0,204	0,240	0,075	<b>0,264</b>	<b>0,049</b>
$w_{u12}$	0,130	0,338	0,102	0,455	0,115	0,398
$w_{u13}$	<b>0,356</b>	<b>0,007</b>	<b>0,321</b>	<b>0,016</b>	0,150	0,269
$w_{u17}$	0,094	0,491	-0,018	0,893	0,137	0,314
$w_{u20}$	0,107	0,434	0,232	0,086	0,234	0,083
$w_{u22}$	-0,047	0,730	-0,049	0,718	-0,109	0,452
$w_u$	0,133	0,327	0,156	0,251	0,033	0,812

R – współczynnik korelacji  
p – poziom istotności

związanego z upływem czasu, w efekcie prowadzonych napraw i konserwacji badanej zabudowy, obserwuje się spadek udziału uszkodzeń w zużyciu technicznym ( $w_u/s_z$ ) od 60% w roku 2002 do 40% w 2012.

Obserwowana w roku 2002 stosunkowo wysoka wartość średnia wskaźnika uszkodzeń  $w_u$  badanych budynków (na poziomie 3,6%, przy średnim wieku 4,6 lat), jest najprawdopodobniej związana z ujawnianiem się w początkowym okresie eksploatacji obiektu ewentualnych błędów budowlanych, projektowych lub wykonawczych. Przyrost wskaźnika uszkodzeń  $w_u$  w okresie 2003–2007 był o 30% wyższy niż w latach 2008–2012. Stwierdzono, że w latach 2008–2012, mimo szybszego tempa wzrostu stopnia zużycia technicznego  $s_z$ , wskaźnik uszkodzeń  $w_u$  przyrastał wolniej, co może świadczyć o spadku intensywności oddziaływań, które są potencjalnymi przyczynami uszkodzeń.

Z kolei analiza trendów zmian średnich wartości wskaźników wpływów górniczych, tj.  $\epsilon_{max}$  oraz  $a_{Hmax}$ , wskazuje, że w ostatnich latach występuje spadek zarówno wartości poziomych odkształceń terenu, jak i intensywności wstrząsów górniczych.

Przy niższych parametrach najintensywniejszych wstrząsów (spadek średniej wartości wskaźnika  $a_{Hmax}$ ) występuje stały przyrost wartości wskaźnika  $a_{sg}$ , który uwzględnia również krotność wstrząsów oddziałujących na budynek.

#### 4. Badania zależności zakresu uszkodzeń budynków od oddziaływań górniczych

##### 4.1. Zależność między wskaźnikiem uszkodzeń budynków a poziomymi odkształceniami terenu

Celem badań było sprawdzenie, czy istnieje istotna zależność między wskaźnikiem intensywności uszkodzeń budynków  $w_u$  oraz ich elementów  $w_{ui}$  a ciągłymi deformacjami powierzchni, opisanymi przez maksymalne wartości odkształceń poziomych  $\epsilon_{max}$ .

Posłużono się testem korelacji liniowej Pearsona. Oprócz współczynnika korelacji  $R$  obliczany był również poziom istotności  $p$  otrzymanego rezultatu. Jako poziom krytyczny

przyjęto  $p = 0,05$ . Wyniki przeprowadzonych badań zestawiono w tabeli 3. Zaznaczono przypadki, w których stwierdzono istotne korelacje dodatnie.

Przedstawione rezultaty wskazują na istotne korelacje między poziomymi odkształceniami terenu  $\epsilon_{max}$  a:

- wskaźnikiem uszkodzeń stropów wyższych kondygnacji  $w_{u7}$  i warstw podłogowych  $w_{u13}$  (w okresie do roku 2002);
- wskaźnikiem uszkodzeń ścian nośnych nadziemna  $w_{u3}$  oraz stropów wyższych kondygnacji  $w_{u7}$  i warstw podłogowych  $w_{u13}$  (w okresie od roku 2003 do 2007);
- wskaźnikiem uszkodzeń ścian nośnych nadziemna  $w_{u3}$  oraz ścian działowych  $w_{u11}$  (w okresie od roku 2008 do 2012).

##### 4.2. Zależność między wskaźnikiem uszkodzeń budynków a wstrząsami górniczymi

Celem badań było sprawdzenie, czy istnieje istotna zależność między wskaźnikiem uszkodzeń badanych budynków  $w_u$  oraz ich elementów  $w_{ui}$  a oddziaływaniami wstrząsów górniczych. Za miarę tych oddziaływań przyjęto dwa wskaźniki:  $a_{Hmax}$  oraz  $a_{sg}$ . Wyznaczono je indywidualnie dla każdego budynku. W przypadku  $a_{sg}$  podstawę stanowiły wszystkie wstrząsy, jakie wystąpiły w okresie od powstania budynku do dnia, w którym przeprowadzono prace inwentaryzacyjne. W przypadku  $a_{Hmax}$  uwzględniono wszystkie wstrząsy, jakie wystąpiły w analizowanych okresach istnienia budynku, to jest od daty budowy do roku 2002, w latach 2003–2007 i 2008–2012.

Przedstawione w tabeli 4 wyniki badań wskazują, że we wszystkich wyżej wymienionych okresach istnienia budynku uzyskano istotne korelacje, o średnich i wysokich wartościach współczynników wskaźnika  $a_{sg}$ , ze wskaźnikami uszkodzeń większości elementów składowych. W przypadku wskaźnika  $w_u$  wyznaczonego dla całego budynku każdorazowo uzyskiwano najwyższe współczynniki korelacji o wartości  $R = 0,566 \div 0,628$  przy  $p = 0,000$ .

Z kolei dla wskaźnika  $a_{Hmax}$  istotne dodatnie korelacje stwierdzono (tab. 5):

- ze wskaźnikiem uszkodzeń ścian nośnych nadziemna  $w_{u3}$ , ścian działowych  $w_{u11}$  i wypraw wewnętrznych  $w_{u12}$  (w okresie do roku 2002);
- ze wskaźnikami uszkodzeń stropów nad piwnicami  $w_{u6}$ , stropów wyżej  $w_{u7}$  oraz obróbek blacharskich i orynnowania  $w_{u20}$  (w okresie od roku 2003 do 2007);
- ze wskaźnikami uszkodzeń stropów nad piwnicami  $w_{u6}$  i wyższych kondygnacji  $w_{u7}$ , obróbek blacharskich i orynnowania  $w_{u20}$  oraz elementów zewnętrznych  $w_{u22}$  (w okresie od roku 2008 do 2012). W okresie tym dla wskaźnika  $w_u$  wyznaczonego dla całego budynku uzyskano istotną korelację o współczynniku  $R = 0,287$ .

**5. Podsumowanie i wnioski**

Przedmiotem badań była grupa 56 murowanych budynków wielokondygnacyjnych w wieku do 20 lat, usytuowanych na terenie górniczym LGOM, zabezpieczonych przeciw wpływom górniczym w trakcie budowy, które w całym okresie istnienia były poddawane wpływom górniczym w postaci ciągłych deformacji terenu i wstrząsów górniczych. Przedstawiono wyniki analizy zmiany w czasie intensywności ich uszkodzeń, stwierdzonych w ramach trzech inwentaryzacji przeprowadzonych w latach 2002, 2007 i 2012 oraz relacji między zakresem ich uszkodzeń a oddziaływaniem eksploatacji górniczej.

Podstawę badań stanowił stwierdzony na podstawie inwentaryzacji stopień zużycia technicznego  $s_z$  budynków oraz wskaźniki intensywności uszkodzeń  $w_{ui}$  dla ich poszczególnych elementów konstrukcyjnych i drugorzędnych.

Korzystając z formuły określonej metodą PLSR, wyznaczono uogólnione wskaźniki uszkodzeń  $w_u$  dla całych budynków oraz przyrosty wskaźnika uszkodzeń, do których doszło w okresach pomiędzy kolejnymi inwentaryzacjami. Każdemu budynkowi przypisano maksymalne wartości wskaźników wpływów górniczych, jakie wystąpiły w analizowanych okresach istnienia budynku, to jest od daty budowy do roku 2002, następnie w latach 2003–2007 oraz w latach 2008–2012. Przyjęto wskaźnik opisujący oddziaływanie ciągłych deformacji terenu  $\epsilon_{max}$  oraz wskaźniki reprezentujące wpływy dynamiczne:  $a_{sg}$  i  $a_{Hmax}$ .

Analiza przebiegu zmian intensywności uszkodzeń badanych budynków w 10-letnim okresie ich eksploatacji potwierdziła ciągły przyrost zakresu uszkodzeń reprezentowanego przez wskaźnik  $w_u$ . Jednak tempo przyrostu intensywności uszkodzeń w ostatnim okresie maleje (w okresie 2003–2007 był on o 30%

**Tabela 4.** Badania korelacji między wskaźnikiem  $w_{ui}$  a wskaźnikiem wpływu wstrząsów górniczych na zużycie techniczne  $a_{sg}$

Rok inwentaryzacji	2002		2007		2012	
Wskaźnik uszkodzeń $w_{ui}$	Korelacje między $w_{ui}$ i $a_{sg}$					
	R	p	R	p	R	p
$w_{u2}$	0,522	0,000	0,523	0,000	0,467	0,000
$w_{u3}$	0,342	0,010	0,288	0,032	0,192	0,156
$w_{u6}$	0,349	0,008	0,396	0,003	0,447	0,001
$w_{u7}$	0,244	0,070	0,222	0,100	0,221	0,101
$w_{u11}$	0,340	0,010	0,490	0,000	0,423	0,001
$w_{u12}$	0,408	0,002	0,415	0,001	0,349	0,008
$w_{u13}$	0,448	0,001	0,489	0,000	0,335	0,012
$w_{u17}$	0,445	0,001	0,502	0,000	0,632	0,000
$w_{u20}$	0,268	0,046	0,162	0,233	0,223	0,099
$w_{u22}$	0,350	0,008	0,453	0,000	0,417	0,001
$w_u$	0,566	0,000	0,628	0,000	0,571	0,000

R - współczynnik korelacji  
p - poziom istotności

**Tabela 5.** Badania korelacji między wskaźnikiem  $w_{ui}$  a wskaźnikiem wpływu wstrząsów górniczych  $a_{Hmax}$

Rok inwentaryzacji	2002		2007		2012	
Wskaźnik uszkodzeń $w_{ui}$	Korelacje między $w_{ui}$ i $a_{Hmax}$					
	R	p	R	p	R	p
$w_{u2}$	0,003	0,982	0,142	0,296	0,221	0,103
$w_{u3}$	0,333	0,012	-0,170	0,210	-0,247	0,066
$w_{u6}$	-0,230	0,088	0,295	0,027	0,446	0,001
$w_{u7}$	-0,398	0,002	0,410	0,000	0,492	0,000
$w_{u11}$	0,315	0,018	-0,215	0,112	-0,163	0,230
$w_{u12}$	0,377	0,004	-0,415	0,001	-0,436	0,001
$w_{u13}$	0,159	0,242	-0,012	0,930	0,166	0,223
$w_{u17}$	0,100	0,462	-0,156	0,250	-0,060	0,662
$w_{u20}$	-0,385	0,003	0,495	0,000	0,499	0,000
$w_{u22}$	-0,098	0,473	0,196	0,148	0,346	0,009
$w_u$	-0,020	0,884	0,175	0,198	0,287	0,032

R - współczynnik korelacji  
p - poziom istotności

wyższy niż w latach 2008–2012). Obserwuje się również spadek udziału uszkodzeń  $w_u$  w zużyciu technicznym  $s_z$  (od około 60% w roku 2002 do 40% w 2012). Zmiany te następują przy obserwowanych w ostatnich latach niższych intensywnościach oddziaływań górniczych, o czym świadczy stwierdzony spadek średnich wartości wskaźników zagrożenia badanej zabudowy wpływami górniczymi ( $\epsilon_{max}$  i  $a_{Hmax}$ ).


Z kolei wyniki badań zależności zakresu uszkodzeń budynków od oddziaływań górniczych wskazują na istotne korelacje pomiędzy wskaźnikiem  $w_u$  wyznaczonym dla całego budynku oraz uszkodzeniami jego elementów a wskaźnikiem wpływów dynamicznych  $a_{sg}$ . W przypadku poziomych odształceń terenu  $\epsilon_{max}$  oraz wartości szczytowych przyspieszeń drgań gruntu w miejscu lokalizacji obiektu  $a_{Hmax}$  stwierdzono niższe korelacje z uszkodzeniami jedynie dla niektórych elementów składowych

budynków. W poszczególnych okresach były to wskaźniki dla ścian nośnych nadziemna, stropów nad piwnicami i wyższych kondygnacji, ścian działowych, wypraw wewnętrznych, warstw podłogowych, warstw elewacyjnych, obróbek blacharskich i orywnowania oraz elementów zewnętrznych. Rezultaty te świadczą o istotnym wpływie krotności oddziaływania wstrząsów reprezentowanych przez wskaźnik  $a_{sg}$  na intensywność uszkodzeń budynków, co stanowi potwierdzenie wyników wcześniejszych analiz prowadzonych dla tradycyjnej zabudowy jednorodzinnej LGOM.

### Literatura

- [1] FIREK K.: *Propozycja klasyfikacji intensywności uszkodzeń budynków wielkopłytowych na terenach górniczych*. Archives of Mining Sciences. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Vol. 54, Iss. 3, Kraków 2009.
- [2] FIREK K.: *Analiza uszkodzeń murowanych budynków wielokondygnacyjnych usytuowanych na terenie górniczym metodami eksploracji danych*. Polish Journal of Environmental Studies. vol. 25 no. 5A, 2016.
- [3] FIREK K.: *Analiza wpływu oddziaływań górniczych na intensywność uszkodzeń budynków murowanych*. Journal Of Civil Engineering, Environment And Architecture, JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (1/17), Rzeszów 2017
- [4] FIREK K., RUSEK J.: *Metoda cząstkowych najmniejszych kwadratów w analizie intensywności uszkodzeń budynków wielkoblokowych*. Archiwum Górnictwa, vol. 62, no. 2, Kraków 2017.
- [5] FIREK K., RUSEK J., WODYŃSKI A.: *Wybrane metody eksploracji danych i uczenia maszynowego w analizie stanu uszkodzeń i zużycia technicznego zabudowy terenów górniczych*. Przegląd Górniczy, nr 1/2016, Katowice 2016.
- [6] RUSEK J.: *Metody inteligencji obliczeniowej w problemie modelowania stopnia zużycia technicznego budynków na terenach górniczych*. Geomatics and Environmental Engineering, Quarterly, AGH University of Science and Technology, vol. 6, no. 3, Kraków 2012.
- [7] WODYŃSKI A., LASOCKI S.: *Badanie wpływu wstrząsów górniczych na zużycie techniczne budynków murowanych*. Przegląd Górniczy, nr 12/2003, Katowice.
- [8] WODYŃSKI A.: *Zużycie techniczne budynków na terenach górniczych*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo Dydaktyczne AGH, Kraków 2007.

Referat opracowano w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005  
Artykuł ukazał się w czasopiśmie „Przegląd górniczy” nr 1/2018.

 Karol Firek, Janusz Rusek, Aleksander Wodyński – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

artykuł recenzowany

reklama

## NAJWAŻNIEJSZE TARGI W BRANŻY

### BIURO TARGÓW

Al. Jerozolimskie 202,  
02-486 Warszawa

tel. 22 874 01 50, 874 02 30  
e-mail: targi@automaticon.pl

### ORGANIZATORZY

SIEĆ BADAWCZA  
ŁUKASIEWICZ

PIAP

MVM  
Sp. z o.o.



www.automaticon.pl

**AUTOMATICON®**  
AUTOMATYKA POMIARY ELEKTRONIKA

17-19 marca 2020 Warszawa



AUTOMATICON® 2020

ZAREJESTRUJ SIĘ  
JUŻ DZIŚ

XXVI Międzynarodowe Targi  
Automatyki i Pomiarów

# Udostępnienie dawnych wyrobisk górniczych dla ruchu turystycznego z uwzględnieniem osób niepełnosprawnych na przykładzie Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej w Zabrze

Zbigniew Słota, Krzysztof Słota, Anna Morcinek-Słota, Mirosław Maciaszek, Zygfryd Jaksa

## Wstęp

Główna Kluczowa Sztolnia Dziedziczna jest częścią Muzeum Górnictwa Węglowego w Zabrze. W roku 2017 uruchomiono tam nową trasę dla zwiedzających. Przed udostępnieniem trasy konieczne było wykonanie wielu prac, zarówno naukowo-badawczych, jak również inwentaryzacyjnych, górniczych i ratowniczych. Od początku trasa ta planowana była tak, aby w przyszłości odbywać się na niej mógł ruch turystyczny z uwzględnieniem osób niepełnosprawnych. W Muzeum obowiązują przepisy, które regulują sprawę zwiedzania podziemnych tras turystycznych przez osoby niepełnosprawne ruchowo [3].

Każdy pracownik Muzeum, niezależnie od ustalonej procedury obsługi osób o ograniczonej możliwości poruszania się, ma obowiązek okazania wszelkiej pomocy takiej osobie, między innymi poprzez udzielenie informacji o miejscu obsługi osób niepełnosprawnych. Problemy natomiast związane są z poruszaniem się takich osób na samych trasach turystycznych ze względu na ich specyfikę (dawne wyrobiska górnicze). Decyzją Dyrekcji Muzeum Górnictwa Węglowego w Zabrze przystąpiono do analizy wszystkich możliwych utrudnień, które mogą stanowić przeszkody w zwiedzaniu podziemnych tras turystycznych przez osoby niepełnosprawne, także z uwzględnieniem dużych grup takich osób. Jako przykład posłużyć tutaj może oddana ostatnio do użytku trasa w Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej w Zabrze [3].

## 1. Obsługa osób o ograniczonej możliwości poruszania się w MGW

W Muzeum obowiązuje Zarządzenie Dyrektora z dnia 25.10.2017 r., które kompleksowo reguluje sprawę zwiedzania podziemnych tras turystycznych przez osoby niepełnosprawne poruszające się na wózkach inwalidzkich. Instrukcja stanowiąca załącznik do Zarządzenia reguluje zasady zwiedzania podziemnych tras turystycznych MGW przez osoby o ograniczonej możliwości poruszania się, w tym osoby niepełnosprawne poruszające się na wózkach inwalidzkich. Wszystkie wejścia do obiektów z podziemnymi trasami turystycznymi są dostosowane do potrzeb osób o ograniczonej możliwości poruszania się. Każde z wejść jest oznaczone kopertą z logotypem osoby niepełnosprawnej umożliwiającą identyfikację punktu, w którym osoba o ograniczonej możliwości poruszania się uzyska kompleksową informację i obsługę. W obiektach Muzeum znajdują się toalety przystosowane do obsługi osób o ograniczonej możliwości poruszania się. Obiekty te posiadają także podjazdy terenowe umożliwiające osobom niepełnosprawnym ruchowo przedostanie się z parkingów do budynków kas i wejść na trasy.

## 2. Podziemna trasa turystyczna w Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej

Położona 40 metrów pod centrum Zabrze Główna Kluczowa Sztolnia Dziedziczna nie była eksplorowana

**Streszczenie:** W referacie poruszono problem związany z udostępnieniem byłych wyrobisk górniczych dla ruchu turystycznego z uwzględnieniem osób niepełnosprawnych. W MGW obowiązuje Zarządzenie, które kompleksowo reguluje zwiedzanie tras podziemnych przez osoby niepełnosprawne ruchowo. Wszystkie obiekty Muzeum dostosowane są do potrzeb osób o ograniczonej możliwości poruszania się. Problemy natomiast związane są ze sprawnym poruszaniem się takich osób na trasach turystycznych przy większych ich grupach. Jako przykład posłużyć może trasa w Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej. Zdecydowano się tutaj na wytyczenie specjalnej trasy dla osób niepełnosprawnych, obejmującej największą możliwą liczbę atrakcji. W tym celu wykonano próby z użyciem wózków inwalidzkich, dokonano analizy oraz sformułowano wnioski. Zaproponowano dwa warianty zwiedzania trasy turystycznej. W celu zapewnienia w pełni bezpiecznego zwiedzania wszystkich ekspozycji konieczne było wykonanie kilku drobnych prac adaptacyjnych na trasie.

Słowa kluczowe: kopalnie zabytkowe, podziemne trasy turystyczne, bezpieczeństwo tras turystycznych, osoby niepełnosprawne ruchowo

od 1953 roku, kiedy to zdecydowano o jej zamknięciu i zasypaniu wylotu przy ul. Miarki. Niezmiernie trudno było

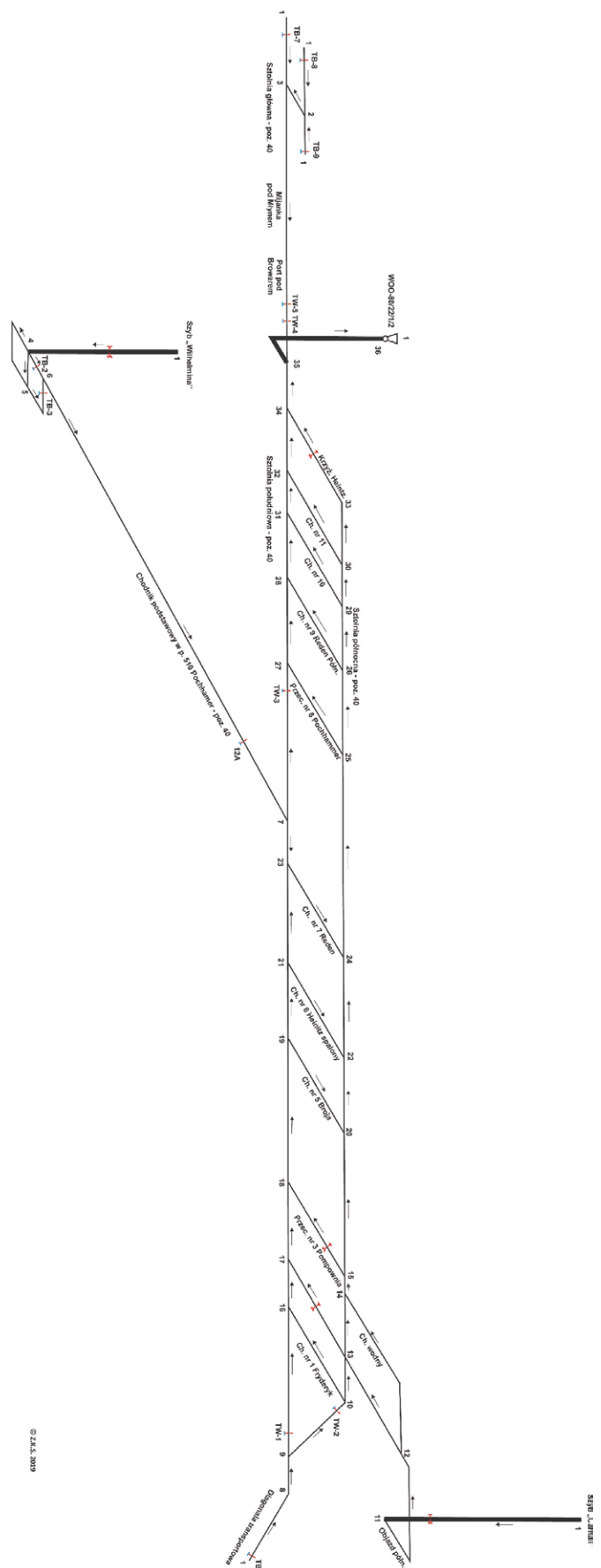
oszacować realny stan Sztolni, a także zakres prac rewitalizacyjnych, co w późniejszym okresie wpłynęło na wydłużenie ostatecznego otwarcia obiektu. Pierwsze, nieformalne eksploatacje prowadzono już od 1999 roku. Ogromne ilości zalegającego mułu i słaba wentylacja stanowiły największe przeszkody przy odkrywaniu 200-letnich wyrobisk Sztolni. Pomimo tego udało się potwierdzić wcześniejsze przypuszczenia – Sztolnia zachowała się w bardzo dobrym stanie, a co więcej, podczas eksploracji natrafiono także na unikatowy XIX-wieczny chodnik, wydrążony w pokładzie węgla nr 510, który również stał się elementem trasy turystycznej [4].

Udostępnienie całości Sztolni Królowa Luiza (mapa sztolni została przedstawiona na rysunku 1) to efekt prowadzonych z rozmachem robót górniczych i budowlanych, rozpoczętych w 2009 roku. Przedsięwzięcie Sztolni Królowa Luiza to inwestycja finansowana kwotą ponad 182 milionów złotych, dofinansowana ze środków unijnych, a także miejskich, wojewódzkich i rządowych. Największy z projektów realizowanych w celu turystycznej aranżacji Sztolni nosi nazwę „Europejski Ośrodek Kultury Technicznej i Turystyki Przemysłowej” i jego beneficjentem jest Miasto Zabrze, realizatorem Muzeum Górnictwa Węglowego w Zabrzu, a partnerem realizacji projektu Województwo Śląskie. Jego wartość to przeszło 92 miliony złotych. Umowa partnerska inicjująca projekt została parafowana w 2010 roku przez władze Miasta Zabrze i dyrekcję ówczesnej Zabytkowej Kopalni Węgla Kamiennego „Guido”. Sam proces rewitalizacji Sztolni zakładał wykonanie pionierskiego przedsięwzięcia, jakim było dotarcie do historycznych, ponad 200-letnich wyrobisk Sztolni i podziemnych chodników kopalni „Królowa Luiza” i ich udostępnienie. Za wykonanie inwestycji odpowiadało łącznie ponad 20 firm i przedsiębiorstw górniczych. Warto podkreślić, że nazwa „Sztolnia Królowa Luiza” to nazwa współczesna, stworzona z myślą o prowadzeniu ruchu turystycznego w dwóch połączonych ze sobą zabytkowych obiektach: kopalni „Królowa Luiza” oraz Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej [4].

Obecnie w Polsce funkcjonuje kilkadziesiąt podziemnych tras turystycznych. Rosnące zapotrzebowanie na specyficzną ekstremalną i tajemniczą turystykę powoduje, że powstaje wiele ciekawych i atrakcyjnych tras, użytkowanych jako ogólnodostępne trasy turystyczne, sanatoria, obiekty muzealne, wystawiennicze, a także sakralne. Konieczne więc jest ich właściwe przygotowanie techniczne, odpowiednie zaprojektowanie, przygotowanie od strony górniczo-budowlanej, przy zachowaniu wartości zabytkowych i kulturowych. Dlatego też obecni i przyszli właściciele podziemnych tras turystycznych winni zwrócić uwagę na przestrzeganie i egzekwowanie odpowiednich przepisów mogących poprawić bezpieczeństwo osób przebywających w podziemiach, a organy nadzorujące winny wnioskować o odpowiednią stronę legislacyjną tych trudnych przedsięwzięć [2].

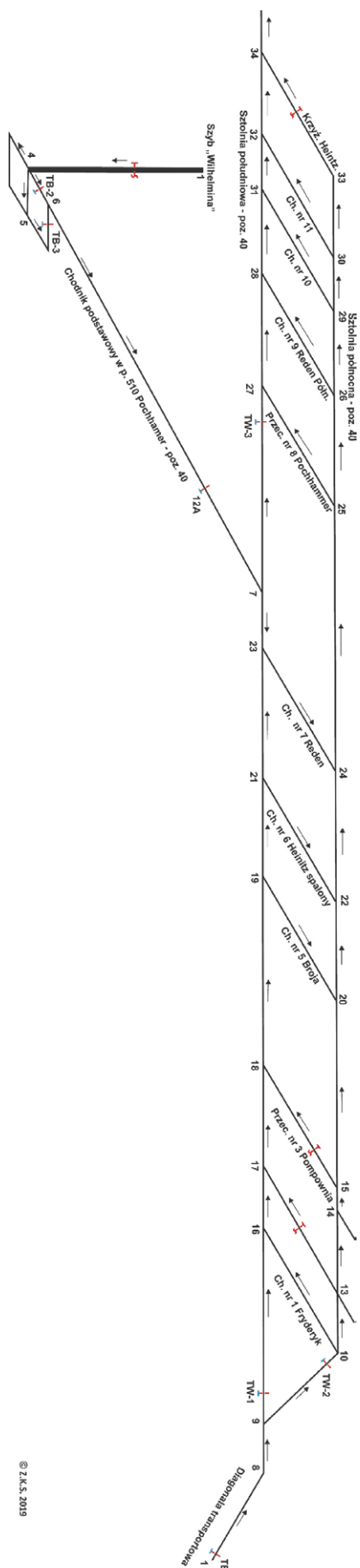
### 3. Próby z użyciem wózków inwalidzkich

Próby odbyły się w październiku 2018 r. Do prób używano kilku (najczęściej dwóch) wózków inwalidzkich (standardowych) znajdujących się na wyposażeniu MGW. Nadzór nad próbą pełnili pracownicy działu odpowiedzialnego za ruch



Rys. 1. Sztolnia Królowa Luiza – mapa

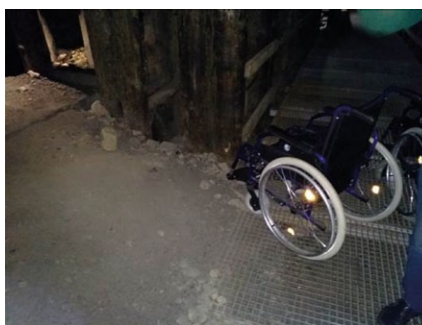
(Źródło: opracowanie autorskie)



**Rys. 2.** Trasa, na której odbywały się próby  
(Źródło: opracowanie autorskie)



**Rys. 3.** Podszycie Szybu Wilhelmina (Fot: Z. Słota)



**Rys. 4.** Chodnik w pokładzie 510 (Fot: Z. Słota)



**Rys. 5.** Sztolnia Północna (Fot: Z. Słota)



**Rys. 6.** Utrudnienia na trasie (Fot: Z. Słota)

turystyczny oraz działu pełnomocnika dyrektora ds. bezpieczeństwa ruchu turystycznego. Trasa przejścia obejmowała zjazd Szybem Wilhelmina, przejście Chodnikiem Podstawowym w pokładzie 510, Sztolnią północną wzdłuż planowanej trasy turystycznej (tam i z powrotem), wyjazd Szybem Wilhelmina (rys. 2).

Z przeprowadzonych prób powstał raport, z załącznikami w postaci rysunków i dokumentacji fotograficznej. Wybrane zdjęcia zamieszczono powyżej (rys. 3–9).

#### 4. Raport z prób i wnioski

Po przeprowadzeniu prób dokonano analizy ich przebiegu oraz sformułowano następujące wnioski:

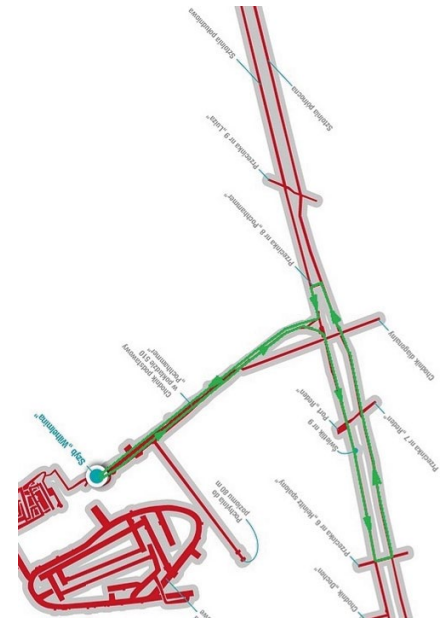
- ze względów bezpieczeństwa trasa w GKSD w wariantcie dla osób niepełnosprawnych powinna przebiegać według wariantu: zjazd Szybem Wilhelmina, przejście Chodnikiem Podstawowym w pokładzie 510, Sztolnią Południową do Przecinki nr 6, Przecinką nr 6, Sztolnią Północną do Przecinki nr 8, Przecinką nr 8, Sztolnią



Rys. 7. Lokalne zwężenia na trasie (Fot: Z. Słota)



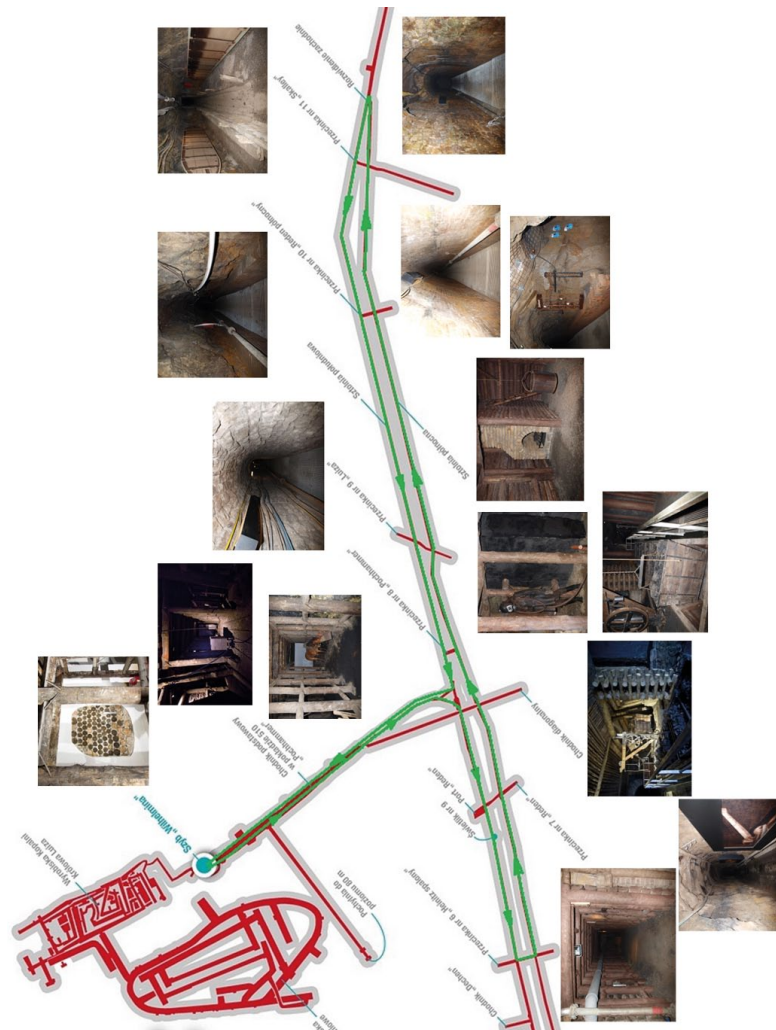
Rys. 9. Miejsce możliwej „mijanki” (Fot: Z. Słota)



Rys. 10. Trasa w wariantie I (Źródło: MGW w Zabrze)



Rys. 8. Dojście do Portu i Port (Fot: Z. Słota)



Rys. 11. Trasa w wariantie II

(Źródło: MGW w Zabrze)

Południową do Chodnika Podstawowego w pokładzie 510 i wyjazd Szybem Wilhelmina, w tym przypadku nie powinno dochodzić do „kolizji” grup na wózkach inwalidzkich;

- dopuszczalny wariant to: zjazd Szybem Wilhelmina, przejście Chodnikiem Podstawowym w pokładzie 510, Sztolnią Południową do Przecinki nr 6, Przecinką nr 6, Sztolnią Północną do Rozwidlenia Zachodniego, powrót Sztolnią Północną do Przecinki nr 8, Przecinką nr 8, Sztolnią Południową

do Chodnika Podstawowego w pokładzie 510 i wyjazd Szybem Wilhelmina, w tym przypadku możliwe jest mijanie się grup na wózkach na odcinku Sztolni Północnej od Przecinki nr 10 do Rozwidlenia Zachodniego. Należy zwrócić uwagę, aby grupy na wózkach inwalidzkich były rozmieszczone na trasie w ten sposób, aby nie dochodziło do ich spotkania pomiędzy Przecinką nr 8 a Przecinką nr 10;

- transport w Szybie Wilhelmina ograniczony jest do 3 wózków inwalidzkich jednorazowo, jeśli za każdym razem zjeżdża również obsługa windy i opiekunowie niepełnosprawnych;
- przedział windy mieści maksymalnie 4 standardowe wózki inwalidzkie, jednak w tym przypadku istnieje problem zmieszczenia opiekunów wraz z obsługą windy;
- założono, że zwiedzanie przez niepełnosprawnych będzie się odbywało za pomocą standardowych wózków inwalidzkich i dla takiego założenia przeprowadzono próby mijania się grup wózków na trasie;
- każdej osobie niepełnosprawnej powinien towarzyszyć opiekun, ponieważ samodzielne poruszanie się na trasie może być niemożliwe;
- zaleca się, aby grupa na wózkach inwalidzkich obejmowała maksymalnie 4 wózki, z przeprowadzonych prób wynika, iż taka liczba umożliwia komfortowe zwiedzanie ekspozycji;
- w celu zapewnienia bezpiecznego zwiedzania wszystkich ekspozycji wskazane jest wykonanie kilku drobnych prac adaptacyjnych na trasie.

### 6. Podsumowanie

W listopadzie 2018 r. wykonano wszelkie niezbędne prace adaptacyjne (m.in. podjazd przy Przędku z XIX wieku – rys. 12), w związku z czym trasa turystyczna w Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej jest w pełni możliwa do zwiedzania we wcześniej zaproponowanych wariantach, nawet dla całych grup osób poruszających się na wózkach inwalidzkich. Dodatkowo, w przypadku zakończenia robót górniczych w Sztolni



Rys. 12. Prace adaptacyjne na trasie (Fot: Z. Słota)

Południowej, możliwe będzie prowadzenie trasy powrotnej tym wyrobiskiem dla wózków inwalidzkich. Przeprowadzone próby wskazują na możliwość bezpiecznego (bezkolizyjnego) poprowadzenia tamtędy trasy powrotnej.

Na trasie prowadzono także próby z wykorzystaniem wózków z napędem elektrycznym (rys. 13), które znajdują się na wyposażeniu MGW (obecnie dwie sztuki). Jednak ze względu na gabaryty takiego wózka i ograniczenia w jego kierowaniu, możliwość zwiedzania ograniczona jest do pojedynczych osób niepełnosprawnych (brak możliwości swobodnego minięcia się takich wózków na trasie).

W chwili obecnej (stan na listopad 2019 roku) trasa dla osób niepełnosprawnych w Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej jest dostępna nawet dla całych grup o ograniczonej możliwości poruszania się (na wózkach inwalidzkich) i na stałe weszła do oferty Muzeum Górnictwa Węglowego w Zabrzu. Ze względów logistycznych konieczna jest wcześniejsza rezerwacja oraz ustalenie szczegółów takiego zwiedzania. Z relacji osób, które miały możliwość skorzystania z oferty, wynika, iż na trasie czuły się komfortowo, bezpiecznie i mogły w pełni skorzystać z przewidzianych atrakcji.

### Literatura

- [1] MOSZNY J.: *Zabytkowa Kopalnia Srebra w Tarnowskich Górach jako ośrodek edukacji regionalnej i kulturalnej oraz geoturystyki na ziemi tarnogórskiej*, [w:] ZAGOŹDŻON P.P., MADZIAR



Rys. 13. Próby z wykorzystaniem wózka inwalidzkiego z napędem elektrycznym (Fot: Z. Słota)

M. (RED.), *Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury*, Tom IV, Wrocław 2012.

- [2] WIEJA T., CHMURA J.: *Metodologia prac projektowych i organizacyjnych przy adaptacji zabytkowych wyrobisk na podziemne trasy turystyczne*, „Górnictwo i Geoinżynieria”, Zeszyt 3/1, 2009.
- [3] Dokumentacja dotycząca zwiedzania Kompleksu „Sztolnia Królowa Luiza” przez osoby niepełnosprawne. MGW w Zabrzu, Zabrze 2018.
- [4] Materiały MGW w Zabrzu, Kompleks „Sztolnia Królowa Luiza”, Zabrze 2019.

Zbigniew Słota, Krzysztof Słota, Anna Morcinek-Słota – Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej; Mirosław Maciaszek, Zygfryd Jaks – Muzeum Górnictwa Węglowego, Zabrze



21. Konferencja Naukowo-Techniczna  
**INNOWACYJNE I PRZYJAZNE DLA ŚRODOWISKA  
 TECHNIKI I TECHNOLOGIE PRZERÓBKI SUROWCÓW  
 MINERALNYCH**  
**BEZPIECZEŃSTWO – JAKOŚĆ – EFEKTYWNOŚĆ**  
 23–25 marca 2020 r. – Szczyrk

**I**nstytut Techniki Górniczej KOMAG serdecznie zaprasza do wzięcia udziału w konferencji z cyklu KOMEKO-IMTech. Celem Konferencji jest przegląd kierunków rozwoju systemów przerobczych surowców mineralnych z uwzględnieniem relacji człowiek – maszyna – środowisko. Konferencja będzie okazją do wymiany wiedzy i doświadczeń dotyczących wykorzystania innowacyjnych technik i technologii, jak również prezentacji oferty producentów maszyn i urządzeń.

Zakres tematyczny Konferencji:

- Racjonalna gospodarka surowcami w procesach przeróbki i przetwarzania.
- Najnowsze technologie przeróbki surowców mineralnych.
- Nowe materiały i technologie w produkcji maszyn przerobczych.
- Nowe rozwiązania konstrukcyjne maszyn przerobczych.
- Inteligentne systemy mechatroniczne wspomagające procesy przeróbki.
- Automatyzacja procesów przerobczych.
- Systemy sterowania, diagnostyki i wizualizacji procesów.
- Czynniki szkodliwe w procesach przerobczych – zwalczanie zagrożeń.
- Aspekty ekologiczne w procesach przeróbki.
- Kierunki modernizacji zakładów przerobczych.
- Problemy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w zakładach przerobczych.
- Odzyskiwanie i przetwórstwo odpadów przemysłowych.
- Innowacyjne technologie zagospodarowania odpadów wydobywczych.
- Technologie zgazowania węgla.
- Metody wytwarzania i wykorzystania paliw alternatywnych.
- Rekultywacja i rewitalizacja. Zagospodarowanie zdegradowanych terenów pogórnich.
- Wzbogacanie i odzyskiwanie pierwiastków ziem rzadkich.
- Systemy nadzoru, wizualizacji i inwentaryzacji terenów powydobywczych i rewitalizowanych.
- Gospodarka w obiegu zamkniętym.
- Gospodarka wodna.

Informacje organizacyjne, formularze i wytyczne dla autorów:  
<http://komago.eu/komeko-2020>  
<http://imtech.komag.eu>

reklama



Międzynarodowe Targi Energetyki

# EXPOPOWER

21-23.04.2020, POZNAŃ

ORGANIZATOR



[www.expopower.mtp.pl](http://www.expopower.mtp.pl)



Międzynarodowe  
Targi Poznańskie

- Przedstaw swoją ofertę profesjonalnym zwiedzającym
- Buduj trwałe relacje handlowe
- Inspiruj klientów
- Zaprezentuj swoje nowości
- Promuj swoje produkty, usługi i rozwiązania z zakresu energetyki

W tym samym czasie na terenie Międzynarodowych Targów Poznańskich odbędą się targi: Instalacje, Greenpower, SAWO, Securex, Poznań Media Expo oraz Poznań Drone Expo.

## Zgłoś się!

Witold Lipiński / tel. +48 61 869 2120 /  
 mobile: +48 693 560 157 / [witold.lipinski@grupamtp.pl](mailto:witold.lipinski@grupamtp.pl)

Partner strategiczny:



# Telemetria w diagnostyce silników asynchronicznych

Adam Decner

## 1. Wstęp

Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych są elementem poprawiającym bezpieczeństwo eksploatacji tych urządzeń w długim okresie czasu. Pozwalają na racjonalne planowanie przeglądów i remontów oraz ich zakresu. Koszty nieuzasadnionej wymiany silnika dobrego na nowy bądź jego remont z wymianą uzwojenia, gdy jest ono dobre, wielokrotnie przewyższają koszty badań diagnostycznych.

Z drugiej strony w przypadku awarii maszyny elektrycznej w czasie eksploatacji występują straty produkcyjne, które zwykle są wielokrotnie wyższe od ceny maszyny. Uzasadnia to prowadzenie monitoringu maszyn, w szczególności tych, które nie mają zainstalowanej rezerwy na stanowisku pracy: generatory w elektrowniach, maszyny wyciągowe w kopalniach, silniki walcownicze w hutach i inne.

Problem diagnostyki i monitoringu maszyn elektrycznych koncentruje się na ocenie stanu technicznego obwodu elektromagnetycznego i układu mechanicznego. Opracowanie algorytmu pozyskiwania informacji dotyczących stanu technicznego maszyny i transmisja tych danych do ośrodka monitorującego umożliwi bieżący zdalny nadzór nad sprawnością techniczną monitorowanych maszyn i pozwoli dostatecznie wcześniej zarejestrować ostrzeżenie o pogarszaniu się parametrów diagnostycznych maszyny.

## 2. Parametry diagnostyczne do celów monitoringu – przykłady

Celem jest pozyskiwanie informacji o pracy maszyny i selekcjonowanie z tych danych informacji o stanie technicznym maszyny. Ze statystyki uszkodzeń maszyn elektrycznych [10] wynika, iż w silnikach indukcyjnych awarie powodowane są przez uszkodzenie:

- łożysk – około 40%;
- uzwojenia stojana – około 35%;
- wirnika – około 10%;
- inne uszkodzenia – około 15%.

Zatem diagnostykę należy skoncentrować na pierwszych trzech zagadnieniach.

Wszystkie „wskaźniki diagnostyczne” można zbudować, bazując na analizie prądu stojana. Prąd silnika jest parametrem, który można łatwo zarejestrować i przetworzyć. Istnieje szereg publikacji, w których autorzy prezentują metody analizy prądu w celu określenia uszkodzenia poszczególnych elementów maszyny elektrycznej [1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11].

Na podstawie analizy prądu stojana możliwe jest określenie następujących informacji diagnostycznych:

**Streszczenie:** Aby poprawić niezawodność działania maszyn elektrycznych w długim okresie eksploatacji, należy systematycznie przeprowadzać testy diagnostyczne. Uzasadnia to monitorowanie maszyn, zwłaszcza tych, które nie mają rezerwy w miejscu pracy: agregatów prądotwórczych, maszyn wyciągowych w kopalniach itp. Problem monitorowania i diagnostyki maszyn elektrycznych koncentruje się na ocenie stanu technicznego układu mechanicznego i obwodu elektromagnetycznego.

W artykule opisano cele zdalnego monitorowania i diagnostyki stanu technicznego maszyn elektrycznych. Opisano również urządzenia stosowane przez pracowników Laboratorium Instytutu Komel do monitorowania i diagnozowania maszyn elektrycznych oraz wyniki badań przeprowadzonych na maszynach elektrycznych w różnych stanach technicznych.

Do monitorowania wykorzystuje się sieć GSM z transmisją danych. Sygnały diagnostyczne i infrastruktura techniczna do przesyłania danych pomiarowych jest również opisana w artykule.

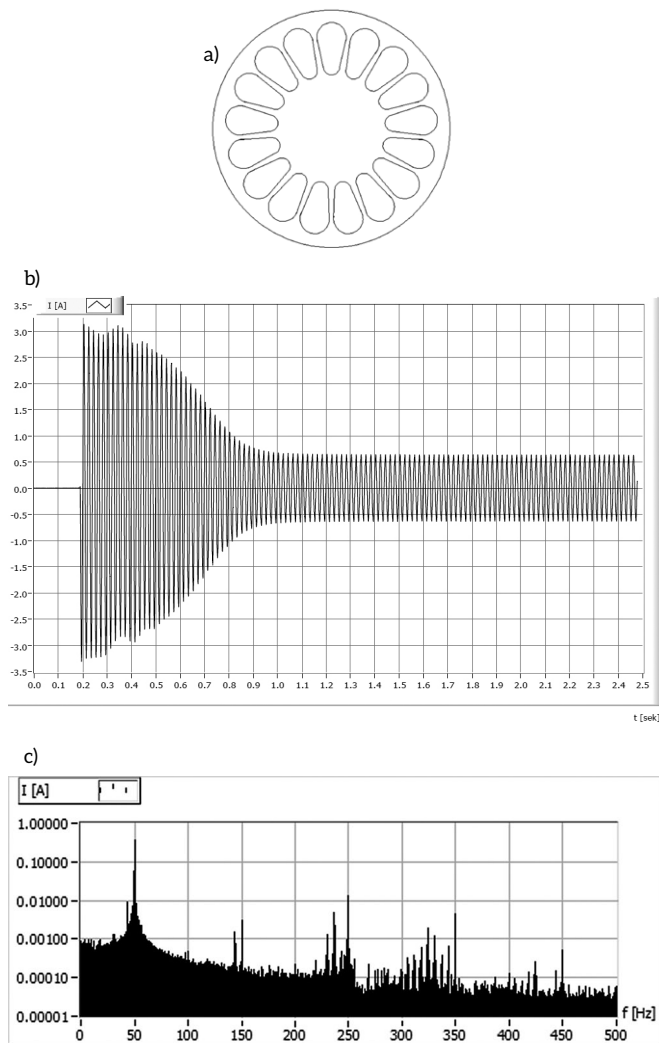
Słowa kluczowe: pomiar prądu, systemy danych, maszyny elektryczne, telemetria, pomiar drgań

**Abstract:** To improve operational reliability of electrical machines over a long period of time, the diagnostic tests should be performed systematically. This justifies the monitoring of machines, particularly those which do not have the reserve at the workplace: the power generators, hoisting machines in mines, etc. The issue of monitoring and diagnostics of electrical machines is focused on assessing the technical condition of the mechanical system and the electromagnetic circuit.

In this article, the objectives of remote monitoring and diagnostics of technical condition of electrical machines are described. Devices used by staff of Laboratory of Komel to monitor and diagnose electrical machines, results of tests performed on electrical machines in different technical condition are also described.

In order to run monitoring, GSM network is used. Diagnostic signals and technical infrastructure for the transmission of measurement data are described in the article.

- przerwa w uzwojeniu stojana, brak styku na zaciskach;
- uszkodzenia klatki wirnika;
- uszkodzenie elementów łożyska;
- ekscentryczność statyczna;



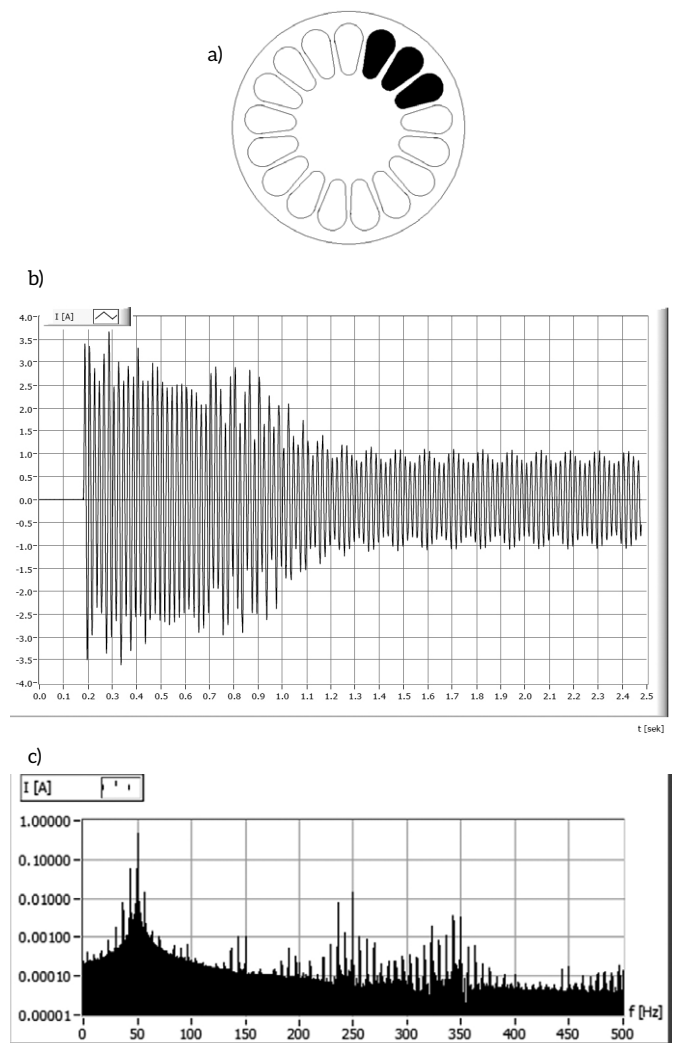
**Rys. 1.** Wirnik o nieuszkodzonych prętach (a), zarejestrowany przebieg prądu stojana (b) podczas rozruchu na biegu jałowym oraz analiza częstotliwościowa prądu biegu jałowego (c)

- ekscentryczność dynamiczna;
- asymetria zasilania;
- zwarcia międzyzwojowe w stojanie.

Informacje o stanie technicznym łożysk można pozyskiwać z pomiarów: drgań, z pomiaru temperatury oraz z analizy prądu maszyny. Pogarszający się stan techniczny łożysk generuje drgania o powiększającej się amplitudzie. Dokładna analiza przebiegów czasowych prądu stojana i poznanie zależności między drganiami a tymi przebiegami pozwalają zidentyfikować sygnał informujący online o stanie technicznym łożysk maszyny elektrycznej.

Stan techniczny klatki wirnika najtrafniej jest oceniać z analizy prądu rozruchowego [2, 3, 8]. W sygnałach prądów fazowych silnika indukcyjnego zawarte są informacje diagnostyczne wynikające z asymetrii elektrycznej i magnetycznej obwodów stojana i wirnika. Informacje te widoczne są w widmie prądu fazowego.

W przypadku uszkodzenia prętów klatki wirnika w widmie prądu fazowego pojawiają się składowe opisane następującą zależnością:



**Rys. 2.** Wirnik o uszkodzonych trzech sąsiadujących prętach (a), zarejestrowany przebieg prądu stojana (b) podczas rozruchu na biegu jałowym oraz analiza częstotliwościowa prądu biegu jałowego (c)

$$f_{br} = (1 \pm 2 \cdot s) \cdot f_s \quad (1)$$

gdzie:

$f_s$  – częstotliwość prądu stojana,

$s$  – poślizg.

Na rysunku 1 przedstawiono przekrój wirnika silnika asynchronicznego o nieuszkodzonych prętach, przebieg prądu rozruchowego i analizę częstotliwościową prądu biegu jałowego.

Na rysunku 2 przedstawiono przekrój wirnika silnika asynchronicznego o uszkodzonych trzech sąsiadujących prętach, przebieg prądu rozruchowego i analizę częstotliwościową prądu biegu jałowego.

Na rysunku 3 przedstawiono poglądowo analizę prądu stojana z charakterystycznymi częstotliwościami ujawniającymi się w przypadku asymetrii uzwojenia wirnika.

Na rysunku 4 przedstawiono testowany silnik wraz z wirnikami oraz fragment przekroju wirnika.

Poddając analizie prąd pobierany przez silnik, można w widmie prądu odnaleźć składowe opisane wzorem (1), charakteryzujące stopień uszkodzenia klatki wirnika. Znaną są przyrządy diagnostyczne, określające stopień uszkodzenia klatki wirnika na podstawie analizy prądu rozruchowego.

Innym stanem niepoprawnej pracy silnika jest ekscentryczność. Jest to stan maszyny, w którym szczelina powietrzna pomiędzy stojanem a wirnikiem jest nierówna. Niewspółosiowe usytuowanie wirnika silnika indukcyjnego względem stojana wprowadza asymetrię szczeliny powietrznej.

Rozróżnia się trzy rodzaje ekscentryczności [4]:

- statyczna;
- dynamiczna;
- mieszana.

Ekscentryczność statyczna występuje wtedy, gdy położenie minimalnej szczeliny powietrznej jest stałe względem stojana.

Ekscentryczność dynamiczna występuje wtedy, gdy środek wirnika nie jest środkiem wirowania i położenie minimalnej szczeliny powietrznej przemieszcza się po obwodzie stojana.

Najczęściej spotykanym przypadkiem jest jednocześnie występowanie zarówno ekscentryczności statycznej, jak i dynamicznej, czyli tzw. ekscentryczność mieszana [4].

Asymetria ta w wyniku wzajemnego oddziaływania pomiędzy uzwojeniami stojana i wirnika wpływa na kształt prądu stojana.

Dla silników indukcyjnych charakterystyczne częstotliwości można opisać równaniami [4]:

- dla ekscentryczności statycznej

$$f_{es} = f_s \cdot \left( 1 \pm k \cdot N_r \cdot \frac{1-s}{p} \right) \quad (2)$$

- dla ekscentryczności dynamicznej

$$f_{ed} = f_s \cdot \left( 1 \pm k \cdot \frac{1-s}{p} \right) \quad (3)$$

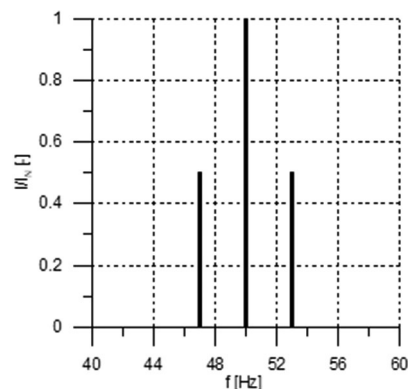
- dla ekscentryczności mieszanej

$$f_e = f_s \cdot \left[ \left( k \cdot N_r \pm n_d \right) \cdot \frac{1-s}{p} \pm n_w \right] \quad (4)$$

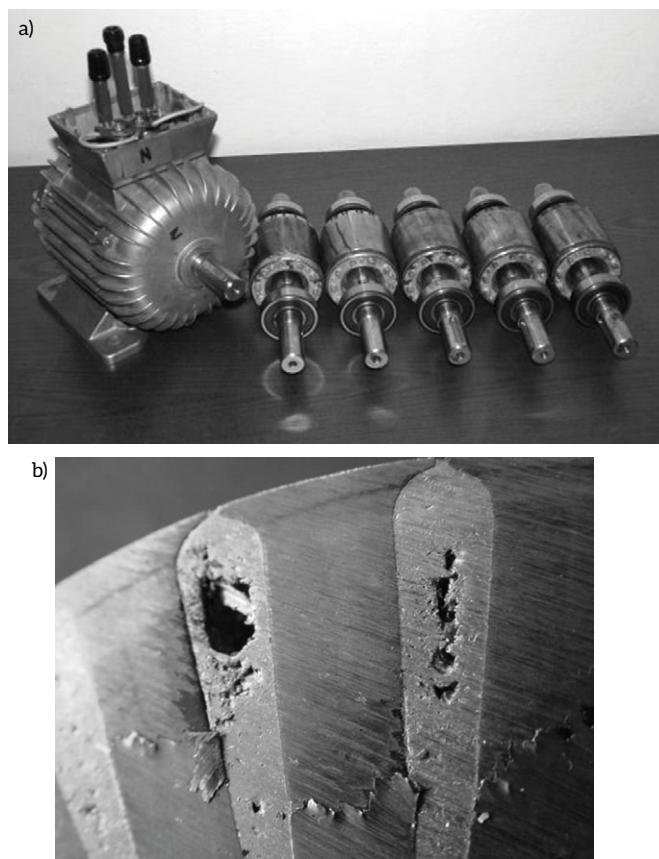
We wzorach 2, 3, 4 oznaczono:  $f_s$  – częstotliwość prądu stojana;  $s$  – poślizgi;  $p$  – liczba par biegunów;  $k = 1, 2, 3, \dots$ ;  $N_r$  – liczba żłobków wirnika;  $n_d = 1, 2, 3, 4, \dots$ ,  $n_w = 1, 3, 5, 7, \dots$

Prace badawcze prowadzone w ramach projektu powinny stworzyć i zweryfikować kompleksową metodę bieżącej oceny stanu technicznego monitorowanej maszyny.

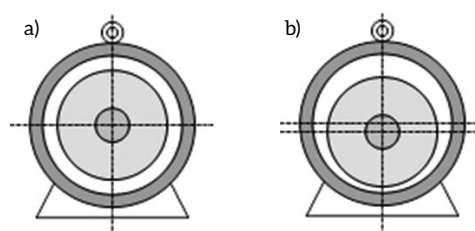
Celem jest opracowanie metody i algorytmu przesyłania pakietu danych pomiarowych oraz informacji o zdarzeniach występujących na monitorowanej maszynie do bazy danych komputera osoby lub instytucji odpowiedzialnej za monitorowanie stanu technicznego maszyny. Zdarzenia, które są istotne



**Rys. 3.** Harmoniczne prądu stojana podczas pracy z uszkodzoną klatką wirnika



**Rys. 4.** Testowany silnik wraz z wirnikami (a) oraz fragment przekroju wirnika (b)



**Rys. 5.** Ustawienie wirnika centryczne (a) i ekscentryczne (b)

z punktu widzenia danych pomiarowych, to: rozruchy, stopniowy lub nagły wzrost „wskaźników diagnostycznych”, przekroczenie wartości alarmowych itp.

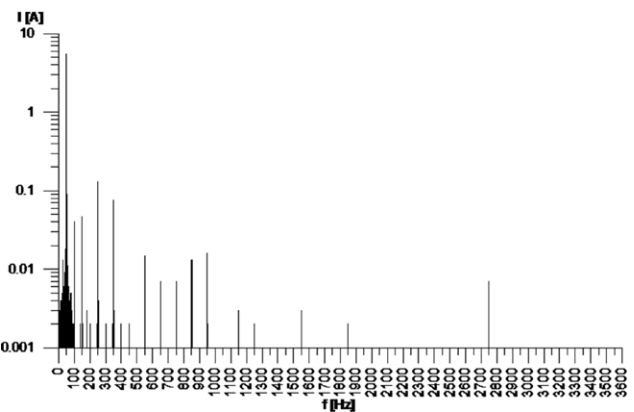
### 3. Symulacja uszkodzenia łożysk oraz wpływ uszkodzenia na drgania maszyny

Symulacja została przeprowadzona dla łożysk: nowych (rys. 6, 7, 8, 9), z małą ilością smaru, z różną ilością zabrudzeń (rys. 10, 11, 12, 13) oraz kilku przypadków niewyważenia (rys. 14, 15, 16, 17). Wyniki pomiarów prezentowane są dla pomiarów wykonanych od strony przeciwnapędowej.

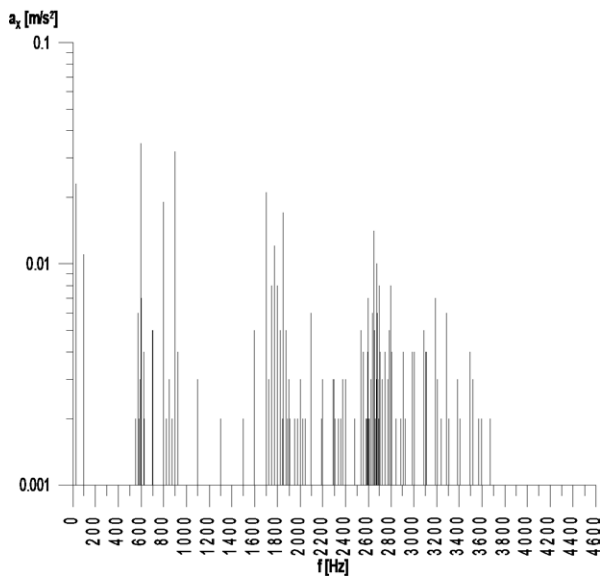
A. Nowe łożysko (rys. 6–9).

B. Średnio zabrudzone łożysko (rys. 10–13).

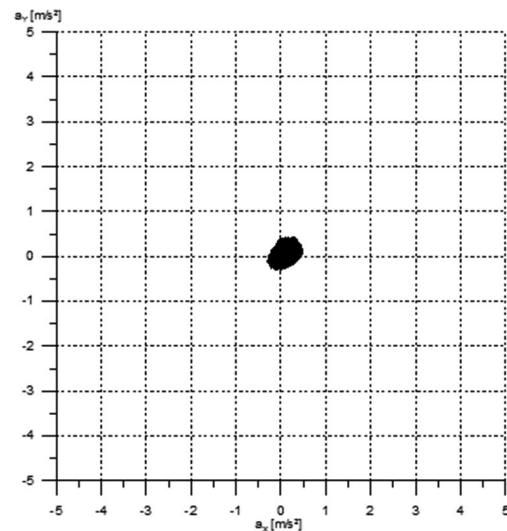
C. Niewywaga (rys. 14–17).



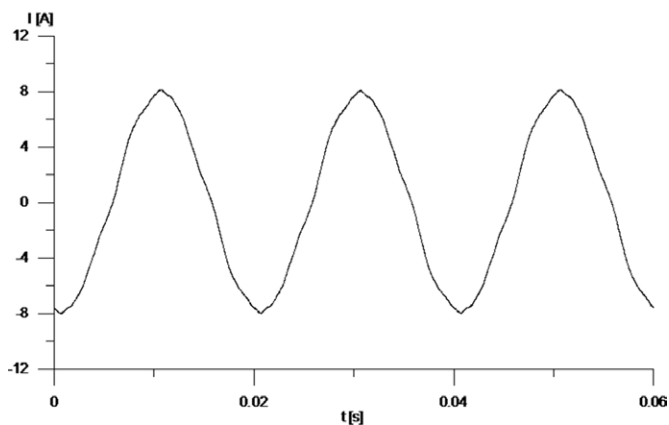
Rys. 8. Analiza częstotliwościowa prądu stojana - 1 harmoniczna 50,01 Hz, I = 5,55 A



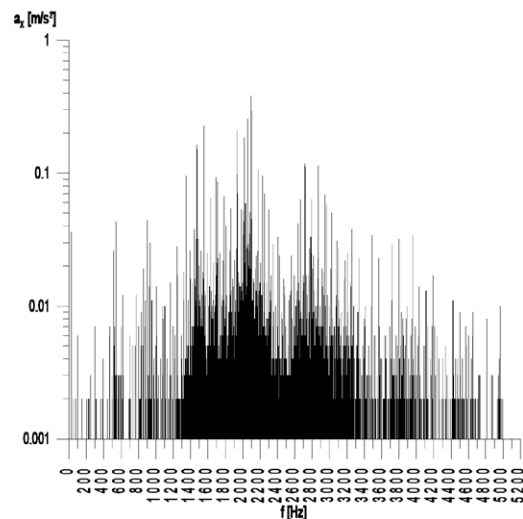
Rys. 6. Analiza częstotliwościowa przyspieszenia drgań - pomiar w osi „X” - 1 harmoniczna: 599,31 Hz (0,047 m/s<sup>2</sup>)



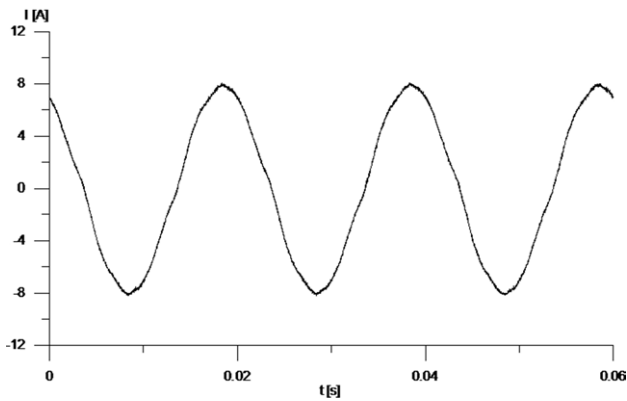
Rys. 9. Wykres przyspieszenia drgań  $a_y = f(a_x)$



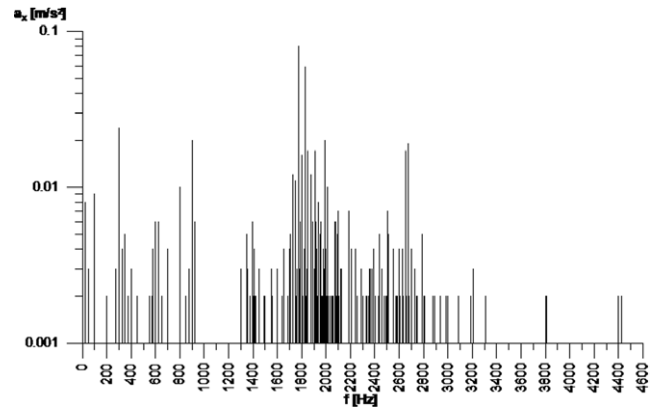
Rys. 7. Przebieg czasowy prądu silnika  $I_{RMS} = 5,55$  A;  $THD_1 = 3,07\%$



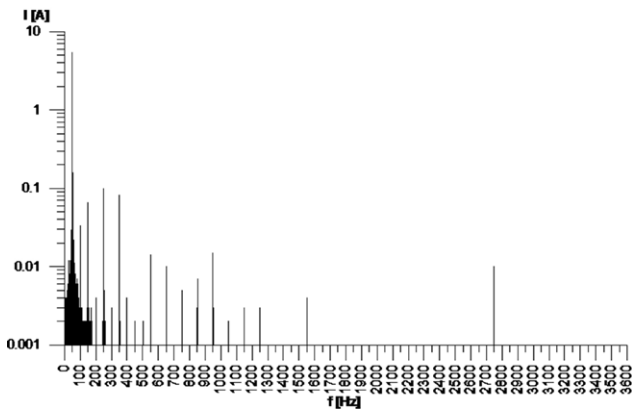
Rys. 10. Analiza częstotliwościowa przyspieszenia drgań - pomiar w osi „X” - 1 harmoniczna - 2095,2 Hz (0,38 m/s<sup>2</sup>)



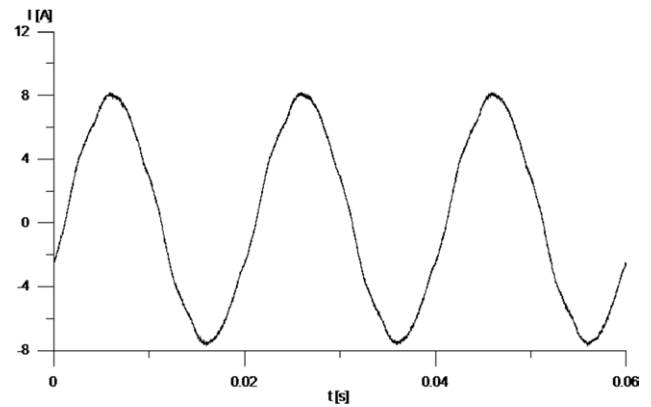
Rys. 11. Przebieg czasowy prądu silnika  $I_{RMS} = 5,56$  A;  $THD_I = 3,36\%$



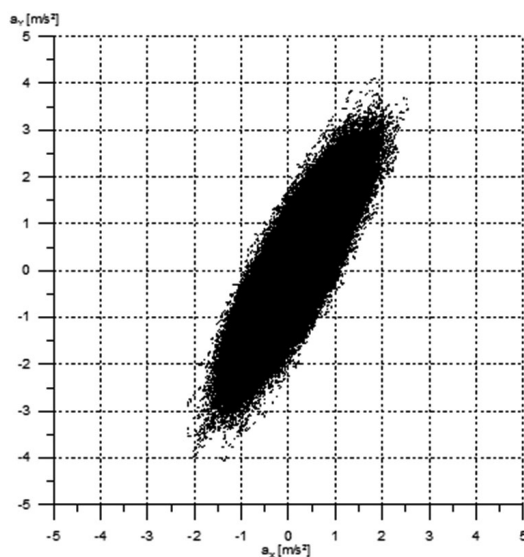
Rys. 14. Analiza częstotliwościowa przyspieszenia drgań - pomiar w osi "X" - 1 harmoniczna - 1775,06 Hz (0,09m/s<sup>2</sup>)



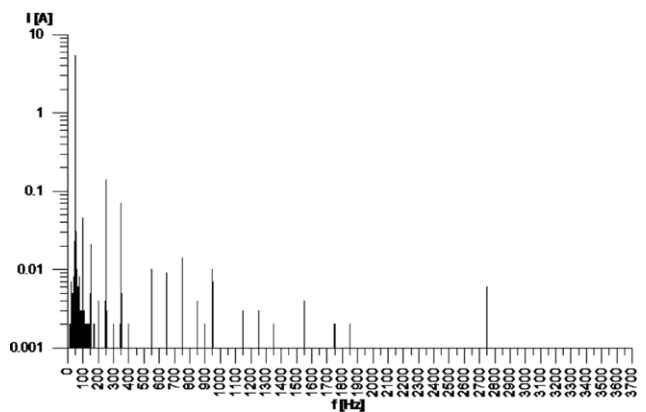
Rys. 12. Analiza częstotliwościowa prądu stojana - 1 harmoniczna 50,02 Hz,  $I = 5,55$  A



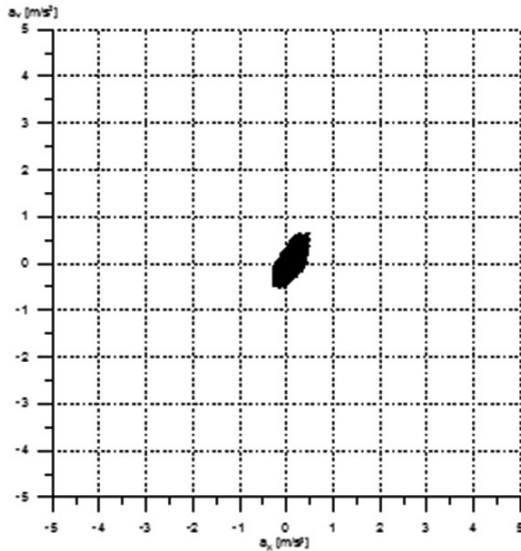
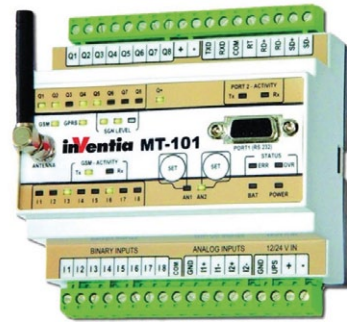
Rys. 15. Przebieg czasowy prądu silnika  $I_{RMS} = 5,40$  A;  $THD_I = 3,67\%$



Rys. 13. Wykres przyspieszenia drgań  $a_y = f(a_x)$



Rys. 16. Analiza częstotliwościowa prądu stojana - 1 harmoniczna 50,01 Hz,  $I = 5,39$  A

Rys. 17. Wykres przyspieszenia drgań  $a_y = f(a_x)$ 

Rys. 18. Moduł telemetryczny

#### 4. System telemetryczny

Dynamiczny rozwój sieci telefonii komórkowych i ich cyfrowej transmisji sygnałów, poprzez wprowadzenie przez operatorów GSM możliwości transmisji danych w standardzie GPRS (*General Packet Radio Services*) oraz coraz częściej rozpowszechnianymi technologiami EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), przyczynił się do powstania łatwo osiągalnych możliwości sprzyjających rozbudowie systemów pomiarowych. Aby system zdalnego monitoringu działał zgodnie z założonymi wymaganiami, niezbędne jest odpowiednie wyposażenie umożliwiające logowanie się i transmisję danych do sieci GSM. Urządzeniami takimi są np. moduły telemetryczne (rys. 18).

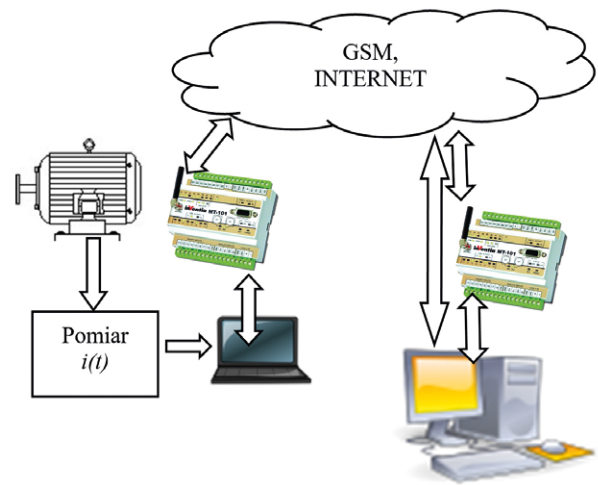
Aby moduł telemetryczny funkcjonował poprawnie, konieczne jest umieszczenie w nim odpowiednio skonfigurowanej karty SIM dostarczonej przez operatora GSM, który oferuje usługi w zakresie transmisji danych [12].

Poza możliwością pracy w trybie GPRS konieczne jest również skonfigurowanie posiadanej karty w APN (*Access Point Name*) w celu otrzymania statycznego adresu IP. Przypisany do karty adres IP umożliwia transmisję do innych modułów telemetrycznych oraz serwerów pracujących w tym samym APN.

Warunkiem bezwzględnie koniecznym do prawidłowej pracy systemu pomiarowego jest wystarczająca siła sygnału GSM w miejscu umieszczenia anteny modułu telemetrycznego. Używanie modułu w miejscach o bardzo słabym sygnale może prowadzić do zrywania transmisji oraz w skrajnych przypadkach do utraty danych, a także do powstawania dodatkowych kosztów.

Technologia GSM/GPRS wydaje się idealną technologią dla systemów monitoringu i telemetrii. Do jej zalet można zaliczyć:

- możliwość korzystania z istniejącej struktury sieci transmisyjnej;



Rys. 19. Schemat telemetrycznego systemu pomiarowego

- duży zasięg sieci;
- niskie koszty budowy i eksploatacji systemu;
- brak konieczności stosowania specjalnych anten;
- możliwość tworzenia systemów sieciowych;
- pełna ochrona dostępu;
- koszt utrzymania struktury umożliwiającej transmisję przeniesiony na operatora;
- duża dostępność różnorodnych terminali nadawczych i odbiorczych;
- opłata za rzeczywistą ilość przesłanych danych.

Jeśli chcemy poprawnie i z najwyższą starannością, a przy tym z dużą szybkością i łatwością odebrać i wyświetlić dane pomiarowe w celu dalszej analizy, urządzenie przeznaczone do wykonania zadania pomiarowego musi spełniać pewne uniwersalne wymagania:

- montaż na szynie DIN;
- zasilanie akumulatorowe + zewnętrzny zasilacz;
- zegar czasu rzeczywistego;
- co najmniej 2 kanały wejściowe z możliwością zmiany zakresu pomiarowego;
- zakres napięć wejściowych  $\pm 10$  V;
- możliwość analizy FFT do 1 kHz;
- częstotliwość próbkowania co najmniej 10 kHz/kanał;
- zapis do pamięci zewnętrznej typu flash;

- możliwość definiowania co i w jakich sytuacjach ma być zapisywane (wartości chwilowe przebiegu, analiza FFT, wartości skuteczne lub średnie);
- zapis na kartę ma następować po przekroczeniu przez mierzony sygnał wartości progowej ze zdefiniowanym przez użytkownika czasem zarówno przed wystąpieniem zdarzenia, jak i po jego wystąpieniu;
- komunikacja z PC (USB lub Ethernet);
- wysyłanie SMS na zdefiniowany numer z informacją dotyczącą wystąpienia zdarzenia;
- wysyłanie zarejestrowanych plików przez Internet na adres e-mail.

Wiele sprzedawanych na rynku urządzeń telemetrycznych spełnia jedynie część z postawionych wymagań ze względu na bardzo szeroki zakres czynności, jakie dane urządzenie musi wykonać. W celu przybliżenia zasady działania oraz części składowych urządzenia na rysunku 20 przedstawiony jest schemat blokowy urządzenia rejestrującego. Sercem całego układu jest procesor sygnałowy (DSP). Jest to wyspecjalizowany układ do obróbki sygnałów cyfrowych. W jednym układzie zawarte są:

- układ kontroli;
- jednostka arytmetyczno-logiczna;
- pamięć ROM i RAM;
- układy wyjściowe.

Dlaczego procesor sygnałowy?

Tego typu procesory posiadają cechy, które nie są spotykane w innych rodzajach procesorów [7]:

- rozdzielona pamięć programu i danych;
- filtry sygnałów pomiarowych, transformacja Fouriera;
- potokowe przetwarzanie instrukcji.

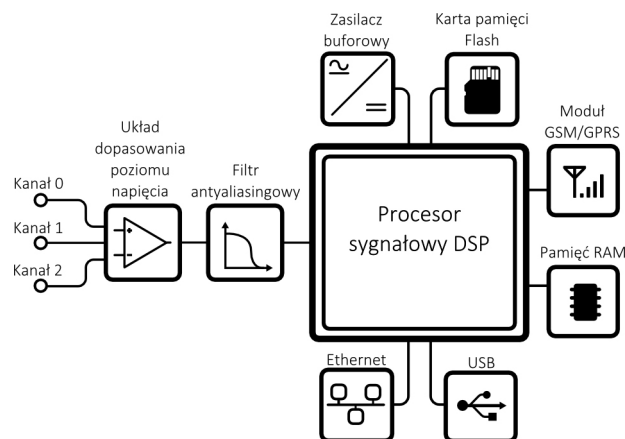
Na rysunku 20 przedstawiono schemat blokowy urządzenia spełniającego wszystkie założenia (dotyczące pomiarów i przetwarzania danych).

## 5. Opis urządzenia rejestrującego

Urządzenie rejestrujące wyposażone jest w szereg funkcji pozwalających na wykonanie pomiaru, rejestrację, zapamiętanie wyników oraz poinformowanie laboratorium badawczego o istniejącej sytuacji na obiekcie badań. Oprogramowanie tego analizatora pozwala na ustawienie kilku wartości progowych sygnałów na wejściach do urządzenia. Po przekroczeniu nastawionego progu może wykonać następujące czynności:

- zapisać informacje o wystąpieniu zdarzenia na karcie pamięci;
- zapisać przebieg na karcie pamięci – również ze zdefiniowanym czasem przed wystąpieniem zdarzenia;
- poinformować zespół badawczy poprzez krótką wiadomość tekstową (SMS);
- poinformować zespół badawczy poprzez wiadomość e-mail;
- przesłać na żądanie zarejestrowane wyniki.

Konfigurowalność urządzenia jest duża (zmiana zakresów pomiarowych, zmiana progów zadziałania, zmiana częstotliwości próbkowania, zmiana definicji wyznaczania wartości przebiegów itd.) i możliwa do przeprowadzenia poprzez aplikację pracującą na komputerze klasy PC. Żądanie wygenerowania raportu o stanie urządzenia oraz obiektu badanego można przesłać za pomocą odpowiednio sformatowanej wiadomości SMS.



Rys. 20. Schemat blokowy urządzenia do rejestracji, przetwarzania i przesyłu wyników pomiarów

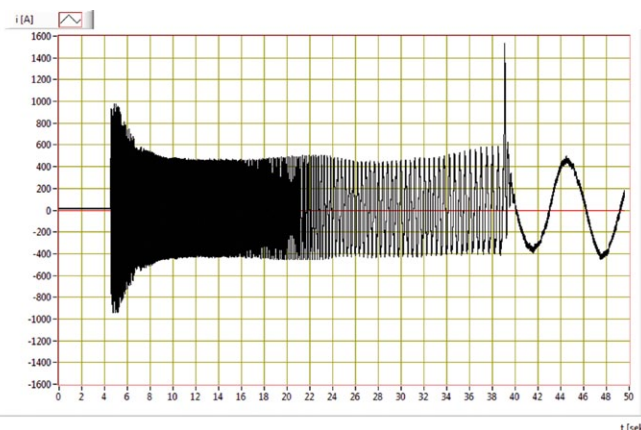
Wszystkie powyższe cechy dają użytkownikowi możliwości zdalnego kontrolowania zarówno urządzenia pomiarowego, jak i samych pomiarów.

Wygląd modułu telemetrycznego przedstawiono na rysunku 21.

Moduł telemetryczny, jaki przedstawiono na rysunku 21, może być używany do ciągłego monitorowania najważniejszych napędów. Dla przykładu rejestrator ten został użyty do rejestracji parametrów pracy oraz prądów płynących w uzwojeniu wirnika silnika o mocy znamionowej 2000 kW i napięciu zasilania 6 kV. Przebieg zarejestrowanego prądu przedstawiono na rysunku 22.



Rys. 21. Wygląd modułu telemetrycznego



Rys. 22. Prąd rozruchowy wirnika silnika 2000 kW



## 6. Inne przykłady urządzeń telemetrycznych do badania maszyn elektrycznych

Systemy telemetryczne umożliwiają równie proste wykonywanie pomiarów momentu mechanicznego na wirującym wale silnika elektrycznego lub spalinowego – w czasie jego normalnej eksploatacji. Energia do zasilania systemu może być dostarczana w sposób bezkontaktowy, wykorzystując zjawisko indukcji elektromagnetycznej lub z baterii. Sygnał pomiarowy przekazywany jest z systemu również w sposób bezkontaktowy do głowicy pomiarowej [13]. System taki jest prosty w obsłudze i niezbyt skomplikowany w montażu. Kompletny system, zamontowany na wale maszyny, został przedstawiony na rysunku 23, a zarejestrowany za jego pomocą moment przedstawiono na rysunku 24.



Rys. 23. System telemetryczny do pomiaru momentu na wale maszyny

## 7. Podsumowanie

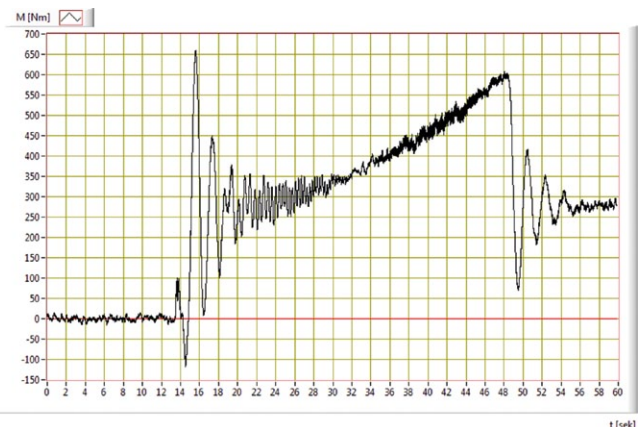
Opracowanie metody, która pozwoli na ocenę online stanu technicznego w oparciu o pomiar i analizę parametrów pracy, daje gwarancję niezawodnej eksploatacji maszyny elektrycznej. Szereg publikacji [3, 8, 9, 11] wskazuje, że informacje o stanie technicznym maszyn elektrycznych (synchronicznych, indukcyjnych, prądu stałego) są zakodowane w przebiegach prądu i napięcia, należy je pozyskać, przetworzyć i przesłać do centrali monitoringu.

Dzięki zastosowaniu łączności przez sieć Internet lub GSM realizowane systemy będą posiadały następujące zalety:

- zdalna kontrola systemu i obserwacja wyników przy niewielkich nakładach czasowych oraz finansowych na przygotowanie systemu;
- możliwość uzupełniania parametrów pomiarowych pozyskiwanych z czujników;
- powiadamianie służb odpowiedzialnych za eksploatację maszyn o pojawiających się sytuacjach alarmowych;
- możliwość obserwacji wyników pomiarowych równoległe przez wiele osób.

## Literatura

- [1] DRAK B., ZIENTEK P.: *Uszkodzenia łożysk tocznych silników indukcyjnych dużej mocy*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne”, 64/2002, BOBRME Komel.
- [2] GLINKA T.: *Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle*. Wyd. BOBRME Komel, Katowice 2002.
- [3] KLIMAN G., KOEGL R., STEIN J., ENDICOTT R., MADDEN M.: *Noninvasive detection of broken rotor bars in operating induction motors*. IEEE Trans. on Energy Conv. vol. 3, no. 4, 1988.
- [4] KOWALSKI CZ., EWERT P.: *Zastosowanie analizy widmowej prądu stojana do monitorowania ekscentryczności silników indukcyjnych*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn i Napędów Elektrycznych Nr 60 Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały Nr 27/2007.
- [5] KOWALSKI CZ.: *Mikrokomputerowy system monitorowania i diagnostyki napędów elektrycznych z silnikami indukcyjnymi*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn i Napędów Elektrycznych Nr 44 Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały Nr 19/1996.
- [6] KOWALSKI CZ.: *Stan obecny i tendencje rozwojowe metod monitorowania i diagnostyki napędów z silnikami indukcyjnymi*. „Wiadomości Elektrotechniczne” 4/2003.



Rys. 24. Przebieg momentu podczas rozruchu

- [7] ŁOBACZ J., FYK M.: *Przegląd komputerowych systemów diagnostycznych*. „Energetyka” 8/2003.
- [8] PAWŁAK M., ŻARCZYŃSKI Z.: *Przenośny system pomiarowy do diagnostyki silników indukcyjnych*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Nr 62 Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały Nr 28/2008.
- [9] RAD M.: *Automatyczna diagnostyka klatki wirnika na podstawie prądu rozruchu silnika indukcyjnego*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne”, 79/2008, BOBRME Komel.
- [10] SUŁOWICZ M.: *Diagnostyka silników indukcyjnych metodami sztucznej inteligencji*. Rozprawa doktorska, Instytut Elektrotechniki w Warszawie, Samodzielna Pracownia Diagnostyki Układów Elektromechanicznych w Krakowie, Kraków 2005.
- [11] SZYMANIEC S.: *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Studia i Monografie z. 193, Wyd. Politechniki Opolskiej, Opole 2006.
- [12] Instrukcja obsługi modułu telemetrycznego MT-101.
- [13] Instrukcja obsługi modułu telemetrycznego TEL1-PCM-BATT.

Adam Decner  
Łukasiewicz – KOMEL

artykuł recenzowany

# Badania zużycia energii przez pojazdy w warunkach rzeczywistych

Krystian Woźniak, Maciej Andrzejewski, Paweł Daszkiewicz, Łukasz Rymaniak

## 1. Wstęp

Głównym kryterium brany pod uwagę przez przewoźników przy wyborze taboru jest zużycie energii. Szczególnie podczas eksploatacji pojazdów przeznaczonych do przewozu pasażerów koszty związane z energią mają znaczący wpływ na rentowność przedsięwzięcia i cenę, jaką za usługę zapłaci pasażer. W przeważającej części pojazdy zamawiane są w trybie przetargów ogłaszanych przez jednostki samorządowe i spółki z udziałem Skarbu Państwa. W wielu przypadkach postępowanie przetargowe zawiera wymóg określenia przez producenta deklarowanego zużycia energii. Deklarację producenta można najczęściej sprawdzić dopiero podczas jazd testowych po dostarczeniu pojazdu przewoźnikowi. Podstawową wadą takiego rozwiązania jest fakt, iż w praktyce trudno jest po rozstrzygnięciu przetargu i dostarczeniu pojazdu unieważnić całe postępowanie. W sytuacji, gdy zakup finansowany jest ze środków unijnych, istnieje groźba utraty wsparcia wspólnotowego. Aktualnie oprócz badań homologacyjnych, podczas których badana jest emisja zanieczyszczeń z silnika autobusu wraz z układem oczyszczania gazów wylotowych na silnikowym stanowisku hamulcowym, wykonywane są również badania całych pojazdów na hamowni podwoziowej lub w warunkach drogowych [12]. Opracowanie tego typu testów ma uzasadnienie podczas oceny energochłonności dla danej grupy pojazdów w rzeczywistych warunkach drogowych. W przypadku autobusów miejskich miarą energochłonności układu napędowego jest przebiegowe zużycie paliwa, które stanowi główny koszt eksploatacyjny dla danego operatora [11].

## 2. Tabor kolejowy

Wymagania związane z wyposażeniem pojazdów w pokładowe urządzenia do pomiaru energii podane są w pkt. 4.2.8.2.8 TSI LOC&PAS (1302/2014) [1], obejmujących tabor kolejowy z wyłączeniem przewozów lokalnych na wyodrębnionych funkcjonalnie systemach kolei. Podstawowe funkcje, jakie powinien spełniać system, zawiera dodatek D. Szczegółowe rozwiązania techniczne w tym zakresie opisane są w normie EN 50463-2:2012 [2], do której odwołuje się dodatek J wspomnianego dokumentu TSI. Cały system pokładowego pomiaru energii EMS (*Energy Measurement System*), składający się z funkcji pomiaru EMF (*Energy Measurement Function*), obróbki DHS (*Data Handling System*), przesyłania i gromadzenia danych DCS (*Data Collection Service*), opisują pozostałe części norm z serii EN 50463. Założenia systemu EMS przedstawia rys. 1.

Zadaniem systemu jest pomiar energii pobranej i oddanej do sieci CL (*Contact Line*) do celów zarządzania i rozliczeń. System ten nie uwzględnia energii wydzielanej w postaci ciepła

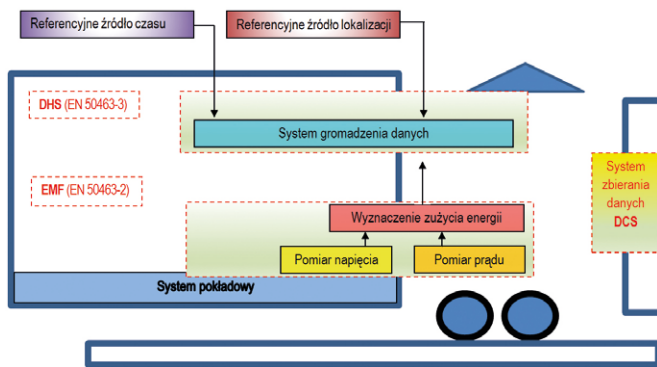
**Streszczenie:** W artykule przedstawiono elementy składowe systemu CL (*Contact Line*) umożliwiającego pomiar energii pobranej i oddanej do sieci trakcyjnej, pozwalający na precyzyjny pomiar oraz zarządzanie i rozliczanie energii elektrycznej dla pojazdów szynowych. Przywołano najważniejsze normy i wymagania przeprowadzania testów dla pojazdów kolejowych i drogowych przeznaczonych do transportu osób. Zaprezentowano wyniki badań dla elektrycznego autobusu miejskiego przeprowadzone wg autorskiej procedury badawczej, opracowanej przez IPS „Tabor”, która wykorzystywana jest w postępowaniach przetargowych na dostawy autobusów elektrycznych do polskich miast. Pozwala ona na wyznaczanie całkowitej energii pobieranej przez autobus, która jest sumą energii pobieranej i energii oddawanej podczas procesu rekuperacji do zasobników energii. Badania przeprowadzono według opracowanego przez stowarzyszenie International Association of Public Transport testu jezdny SORT 2, dla którego definiowana jest średnia prędkość jazdy, długość trasy i czas pokonywania przejazdu, co odzwierciedla warunki eksploatacji występujące na typowej trasie miejskiej. Podczas badań uwzględniono stan naładowania akumulatorów – zmiana stanu naładowania akumulatorów przed i po teście była bliska 0 zgodnie z SAE J2711.

Słowa kluczowe: zużycie energii, pojazdy elektryczne, energia całkowita, testy jezdne

## RESEARCH ON ENERGY CONSUMPTION BY VEHICLES IN REAL-TIME CONDITIONS

*Abstract: The article presents the components of the CL (Contact Line) system allowing for the measurement of energy collected and given to the traction network allowing for precise measurement and management and electricity accounting for rail vehicles. The most important standards and test requirements for railway and road vehicles allowing for the transport of persons were recalled. The results of tests for the electric city bus carried out according to proprietary research procedure developed by IPS „Tabor”, which is used in tender proceedings for the supply of electric buses to Polish cities. It allows you to determine the total energy consumed by the bus, which is the sum of energy consumed and energy returned during the recuperation process to the energy stores. The tests were carried out according to the SORT 2 driving test developed by the communication operator International Association of Public Transport, for which the average speed, route length and time of passing are defined, which reflects the operating conditions of a typical urban route. During the tests, the state of charge of the batteries was taken into account, so that it was the same and the change in the state of charge of the batteries before and after the test was close to 0 according to SAE J2711.*

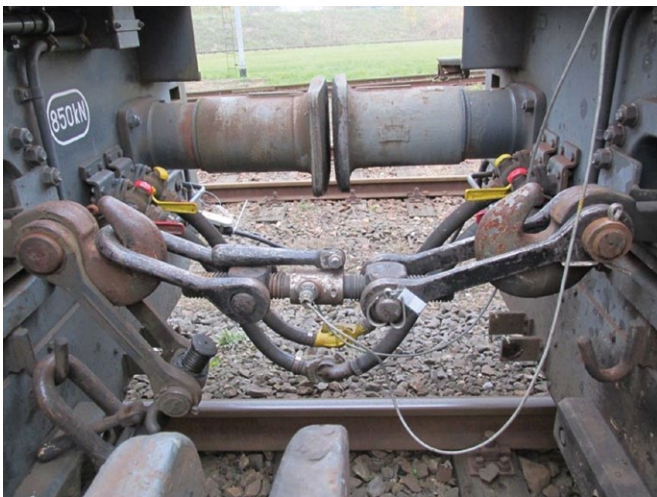
Keywords: energy consumption, electric vehicles, total energy, driving tests



Rys. 1. Schemat blokowy działania systemu EMS

na rezystorach hamowania. Taki przypadek może mieć miejsce w procesie hamowania elektrodynamicznego, podczas którego dla określonych parametrów napięcia energia nie może być oddawana do sieci trakcyjnej. W celu określenia dokładnego zużycia energii układ pomiarowy należy rozbudować o ten element [10, 13, 14].

W praktyce montowany jest komplet aparatury o wyższej klasie dokładności w szczególności dlatego, że energia oddawana do rezystorów w procesie rekuperacji ma charakter impulsowy i dla precyzyjnych pomiarów niezbędne jest stosowanie wyższych częstotliwości próbkowania. Testy te można wykonać w ramach wyznaczenia parametrów trakcyjnych, podczas których dla lokomotyw, przy pomocy tensometrycznego sprzęgu widocznego na rys. 2, mierzona jest również siła pociągowa na haku.



Rys. 2. Tensometryczny sprzęg do pomiaru siły na haku lokomotywy

Mając już precyzyjnie zaprojektowany układ pomiarowy, można przystąpić do doprecyzowania warunków pomiarów. W tym punkcie pomocne okażą się ogólne wymagania podane w pkt. 9.3 normy EN 50215:2009 [3], które wskazują na konieczność doprecyzowania takich parametrów trasy, jak:

- długość, nachylenie oraz promienie łuków linii kolejowej;
- zatrzymania i czasy ich trwania;

- maksymalna dozwolona prędkość na wyspecyfikowanych odcinkach;
- parametry napięcia zasilnia sieci trakcyjnej;
- możliwość hamowania odzyskowego na linii; oraz konfiguracji pociągu:
- obciążenie pojazdu (lub dla lokomotyw masa brutto haku);
- liczbę osi;
- współczynnik bezwładności dla wirujących mas;
- charakterystyki trakcyjne;
- krzywe siły hamowania;
- maksymalne przyspieszenie i jego zmiany;
- maksymalna siła hamowania;
- rodzaj jazdy (manualna lub automatyczna).

Widok wnętrza elektrycznych zespołów trakcyjnych obciążonych balastem w postaci betonowych bloczków i żeliwnych ciężarków podczas wyznaczania parametrów trakcyjnych przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Elektryczne zespoły trakcyjne obciążane balastem podczas badań właściwości trakcyjnych

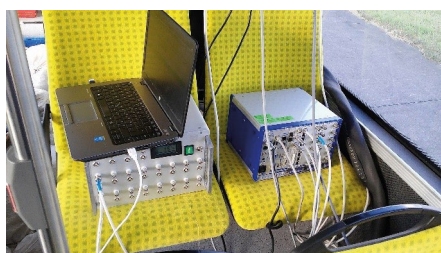
Norma ta uwzględnia również możliwość realizacji testów zużycia paliwa dla pojazdów spalinowych. W takim przypadku należy określić charakterystykę paliwa oraz materiałów smarnych.

Powstały również próby ustandaryzowania warunków pomiaru. Gotowe scenariusze jazd testowych znajdziemy w załącznikach do specyfikacji CLC/TS 50591:2013 [4]. Obejmują one cztery profile jazd dla ruchu pasażerskiego i jeden dla ruchu towarowego. Główne cechy profili zestawiono w tabeli 1. Specyfikacja ta zawiera również ustandaryzowane tabele służące do precyzyjnego udokumentowania warunków testów, wśród nich między innymi charakterystykę infrastruktury, sieci zasilającej, dane o pociągu podczas jazdy i na postoju oraz dane strefy klimatycznej, na której położona jest trasa.

W warunkach rzeczywistych realizacja pomiarów zużycia energii według opisanych wyżej programów jest bardzo trudna i wynika z ograniczeń leżących po stronie infrastruktury. Dostępny w Polsce tor doświadczalny w Żmigrodzie umożliwia

**Tabela 1.** Cechy profili jazdy według specyfikacji CLC/TS 50591:2013 [4]

Nazwa profilu	Dystans [km]	Czas przejazdu [min]	Prędkość max. [km/h]	Ilość zatrzymań podczas jazdy	Profil trasy, max. wzniesienie [m]
Podmiejski	40	40	120	10	0
Regionalny	70	61	140	13	0
Międzymiastowy	250	159	200	8	0
Wysokiej prędkości	300	107	300	1	0
Towarowy linii głównych	300	253	100	5	340



**Rys. 4.** Cyfrowy rejestrator do pomiaru parametrów elektrycznych

jazdę z prędkością 160 km/h wyłącznie na krótkim odcinku trasy, a na łukach prędkość ograniczona jest do 120 km/h. Z kolei na infrastrukturze PKP PLK SA trudno jest znaleźć odpowiednio długie odcinki linii kolejowych z profilem trasy o niewielkich zmianach nachylenia i odpowiedniej prędkości dopuszczalnej.

### 3. Badania spalinowego taboru autobusowego

Działania zmierzające do standaryzacji testów zużycia paliwa w autobusach zapoczątkowano w końcu lat 90. W początkowej fazie skupiono się na opracowaniu cykli bazowych i metody pomiaru zużycia paliwa dla autobusów o ZS. W roku 2013 Międzynarodowa Unia Transportu Publicznego UITP (*Union Internationale des Transports Public*), łącząca organizatorów oraz operatorów transportu publicznego, decydentów politycznych, instytucje naukowe oraz przedstawicieli przemysłu i dostawców usług, porozumiała się w tej kwestii i opublikowała dokument: „Projekt UITP SORT Znormalizowane cykle testów jezdnych” [5]. Oprócz badań homologacyjnych, gdzie badana jest emisja zanieczyszczeń z silnika autobusu wraz z układem oczyszczania gazów wylotowych na silnikowym stanowisku hamulcowym, wykonywane są również badania całych pojazdów na hamowni podwoziowej lub w warunkach drogowych [9]. Opracowanie tego typu testów ma uzasadnienie w możliwości oceny energochłonności dla danej grupy pojazdów w rzeczywistych warunkach drogowych. W przypadku autobusów miejskich miarą energochłonności układu napędowego jest przebiegowe zużycie paliwa, które stanowi główny koszt eksploatacyjny dla danego operatora komunikacyjnego. Podstawową ideą tych testów jest możliwość zbudowania wielomodułowego testu składającego się z podstawowych cykli, które odzwierciedlają warunki ruchu w danym mieście. Kluczowymi parametrami decydującymi o przydatności testów jezdnych jest ich regularność,

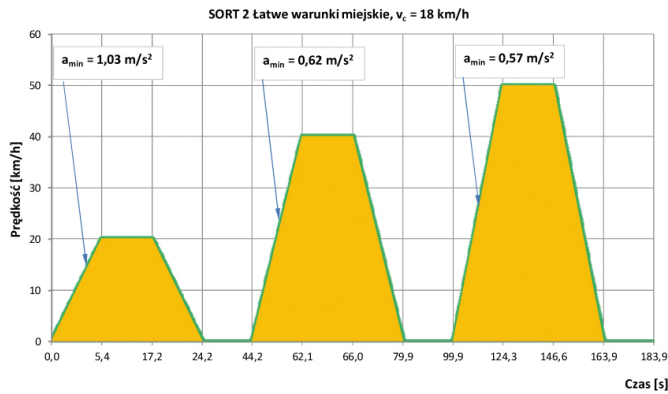
prostota i dokładność, przez co testy jezdne SORT składają się z długich cykli, a te z powtarzalnych modułów, dzięki czemu kierowca testowy po ustabilizowaniu stylu jazdy jest w stanie osiągnąć dużą powtarzalność przejazdów. Cykle bazowe mają za zadanie odwzorowanie typowego charakteru jazdy, składającego się z fazy ruszania, jazdy ze stałą prędkością, hamowania oraz zatrzymania. Tak zdefiniowany charakter jazdy autobusów przyjmuje kształt trapezów. W zależności od typu trasy zdefiniowano trzy rodzaje cykli:

- SORT 1 – *Heavy Urban* (odzwierciedlający warunki eksploatacji w centrum dużych miast);
- SORT 2 – *Easy Urban* (odzwierciedlający warunki eksploatacji występujące dla typowej trasy miejskiej);
- SORT 3 – *Suburban* (odzwierciedlający warunki eksploatacji autobusów komunikacji zbiorowej na przedmieściach dużych miast i na trasach wewnętrznych mniejszych miast). Odcinek pomiarowy musi być prostoliniowy, aby możliwe było wykonanie pełnego cyklu, i płaski (maksymalne dopuszczalne nachylenie wynosi 1,5%). Nawierzchnia powinna być sucha i dobrej jakości. Pomiary powinny być wykonane w temperaturze dodatniej 0–30°C przy wilgotności względnej nieprzekraczającej 95%. Prędkość wiatru podczas badań nie powinna przekraczać 3 m/s, przy czym dopuszczalne jest przeprowadzenie testu w porywach do 8 m/s.

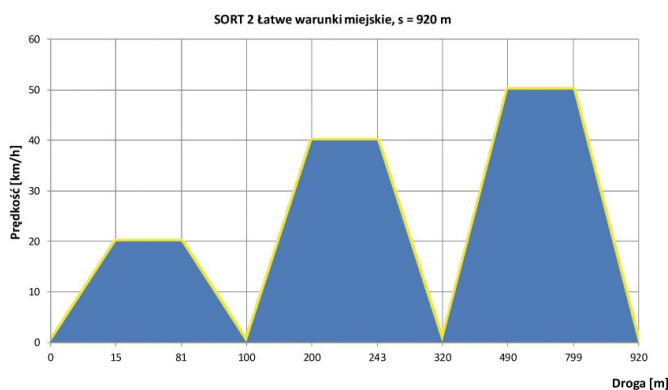
Obiekt badawczy musi być sprawny technicznie oraz wymagane jest, aby płyny eksploatacyjne były uzupełnione do poziomu nominalnego. Ciśnienie w ogumieniu musi mieć wartość zgodną z prawidłową. Pojazd powinien być obciążony ładunkiem, tak by pod względem masy pojazdu było odzwierciedlenie przejazdu z pasażerami. Podczas wykonywania pomiarów układy klimatyzacji i ogrzewania oraz oświetlenie wewnętrzne pojazdu powinny być wyłączone. Drzwi powinny być otwierane tylko przy ostatnim postoju. Podstawowe parametry cykli podano w tabeli 2. Dla przykładu podstawowy cykl jezdny dla SORT 2 obejmuje długość 920 metrów, powinien

**Tabela 2.** Podstawowe parametry cykli SORT

Parametr	SORT 1	SORT 2	SORT 3
Prędkość średnia $V_c$ (km/h)	12,1	18	25,3
Liczba zatrzymań na kilometr	5,8	3,3	2,1
Czas zatrzymania [%]	39,7	33,4	20,1
Trapez 1 stała prędkość [km/h] / długość [m]	20/100	20/100	30/200
Minimalne przyspieszenie [ $m/s^2$ ]	1,03	1,03	0,77
Trapez 2 stała prędkość [km/h] / długość [m]	30/200	40/220	50/600
Minimalne przyspieszenie [ $m/s^2$ ]	0,77	0,62	0,57
Trapez 3 stała prędkość [km/h] / długość [m]	40/220	50/600	60/650
Minimalne przyspieszenie [ $m/s^2$ ]	0,62	0,57	0,46
Czasy zatrzymania [s]	20/20/20	20/20/20	20/10/10
Droga całkowita s [m]	520	920	1 450
Opóźnienie hamowania [ $m/s^2$ ] (dla wszystkich trapezów)	0,8	0,8	0,8
Czas obliczeniowy [s]	154,5	183,9	206,2



Rys. 5. Cykl SORT 2, wykres prędkości w funkcji czasu



Rys. 6. Cykl SORT 2, wykres prędkości w funkcji drogi

być wykonany 2-krotnie w każdym kierunku dla toru obejmującego prostą ścieżkę testową, natomiast dla toru okrągłego próby powinny być minimum 3. Dwukrotne wykonanie testu w dwóch kierunkach na torze prostym daje odcinek pomiarowy jednej próby wynoszący 3680 metrów. Graficzne zobrazowanie parametrów, na przykładzie cyklu SORT 2, przedstawiono na rys. 5 i 6.

#### 4. Metodyka badawcza autobusu elektrycznego

W roku 2014 ukazało się nowe wydanie Projektu UTIP „SORT” [6] wzbogacone o wymagania dla intensywnie rozwijającej się technologii autobusów hybrydowych. Badania autobusu hybrydowego wymagają spełnienia kilku dodatkowych warunków tak aby podczas pomiaru zużycia paliwa uwzględnić wpływ urządzeń magazynujących energię ich stan naładowania, tak, by uniknąć zmierzania wartości bez uwzględnienia pracy tych urządzeń. Rozróżniamy dwa główne typy pojazdów hybrydowych, uwzględniając sposób naładowania akumulatorów, są to pojazdy hybrydowe, które mogą być ładowane z zewnętrznego źródła zasilania, oraz pojazdy, które nie mają możliwości ładowania akumulatorów z zewnątrz. Pierwsza grupa to pojazdy, które mogą poruszać się na dużych dystansach w trybie „czysto elektrycznym”, charakteryzują się dużą wydajnością RESS (*Rechargeable Energy Storage System*) i przy obliczaniu całkowitego zużycia paliwa zależność ta musi być brana pod uwagę, jednak grupa tych pojazdów w całkowitej liczbie pojazdów elektrycznych jest stosunkowo mała. Drugą grupę stanowią pojazdy,

które nie mogą być ładowane z zewnątrz, a energia niezbędna do przemieszczania się jest pozyskiwana z silnika spalinowego zasilanego np. olejem napędowym bądź CNG. Pojazdy z systemem RESS mogą odzyskiwać energię z fazy hamowania, a w trybie „czysto elektrycznym” poruszają się na krótkich dystansach, dlatego nie sprawdza się ich w trybie „czysto elektrycznym”, tylko w trybie hybrydowym. W przypadku pojazdów hybrydowych i elektrycznych bardzo ważnym parametrem, który należy wziąć pod uwagę, jest stan naładowania akumulatorów (lub RESS) przed i po teście, gdyż zbyt duże zróżnicowanie w stanie naładowania akumulatorów ma znaczący wpływ na całkowity wynik zużycia paliwa, który przez rozproszenie może mieć wpływ dodatni lub ujemny. Pożądane jest zatem zapewnienie na takim samym poziomie stanu naładowania akumulatorów po pomiarze, aby zminimalizować wpływ tej zmiany na zużycie paliwa. Dla zachowania tej zależności niezbędne jest, aby zmiana stanu naładowania akumulatorów *NECVariance* (*Net Energy Change*) po wykonaniu testu była bliska 0 zgodnie z SAE J2711. W tym samym okresie w ofercie producentów zaczęły pojawiać się autobusy w pełni elektryczne. Mimo to, nie wypracowano dla nich jednolitych zasad pomiaru zużycia energii elektrycznej. W związku z pilną potrzebą standaryzacji testów na potrzeby zamówień publicznych w maju 2015 IPS „TABOR” opracował procedurę PB-23 Badania zużycia energii elektrycznej autobusów elektrycznych [7].

W kolejnych latach procedura PB-23 [7] została wykorzystana w postępowaniach przetargowych na dostawy autobusów elektrycznych do kilku polskich miast. Podczas testów opisanych w PB-23 [7] wyznaczana jest całkowita  $E_c$  pobierana przez autobus, która jest sumą energii pobieranej z baterii  $E_z$  i energii  $E_0$  oddawanej podczas procesu rekuperacji zgodnie z niżej wymienioną zależnością:

$$E_c = E_z + \eta \times E_0 \quad (1)$$

gdzie:

$E_z$  – energia elektryczna pobierana z baterii [VAs];

$E_0$  – energia elektryczna oddawana do baterii [VAs];

$\eta$  – sprawność energetyczna ładowania baterii, wartość podana przez producenta akumulatorów, w przypadku braku danych przyjmuje się wartość 80%, z podaniem tej informacji w sprawozdaniu z badań.

Energia elektryczna  $E_z$  pobierana z baterii obliczana jest z zależności:

$$E_z = \sum_{t=0}^n U_z \times I_z \times \Delta t \quad (2)$$

gdzie:

$U_z$  – napięcie na wyjściu z baterii [V];

$I_z$  – prąd pobierany z baterii (ze znakiem dodatnim) [A];

$\Delta t$  – odstęp czasu próbkowania [s];

$n$  – liczba próbek obliczana jako iloraz czasu przez częstotliwość próbkowania dla prądu wypływającego z baterii (ze znakiem dodatnim).

Energia elektryczna  $E_0$  oddawana do baterii obliczana jest z zależności:

$$E_0 = \sum_{t=0}^n U_0 \times I_0 \times \Delta t \quad (3)$$

gdzie:

- $U_0$  – napięcie na wyjściu z baterii [V];
- $I_0$  – prąd wpływający do baterii (ze znakiem ujemnym) [A];
- $\Delta t$  – odstęp czasu próbkowania [s];
- $n$  – liczba próbek obliczana jako iloraz czasu przez częstotliwość próbkowania dla prądu wpływającego do baterii (ze znakiem ujemnym).

Wyznaczenie bilansu energii elektrycznej całkowitej  $E_B$  oblicza się z poniższej zależności:

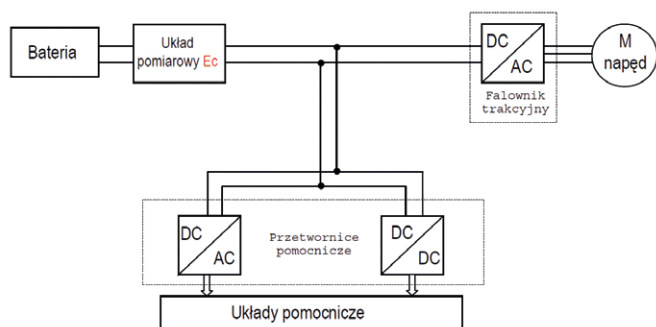
$$E_B = \frac{E_c}{1000 \times 3600 \times S_n} \quad (4)$$

gdzie:

- $E_B$  – bilans energii elektrycznej całkowitej [kWh/km];
- $S_n$  – długość cyklu SORT [km].

Miejsce pomiaru energii  $E_c$  pokazano na rys. 7.

Badania przeprowadzono z kierowcą znającym zasady jazdy zgodnej z założeniami testów jedynych oraz mającym duże doświadczenie wykonywania takich jazd. Zachowano założenia



Rys. 7. Miejsce zainstalowania układu pomiarowego do wyznaczenia energii  $E_c$

wymagane dla warunków pogodowych oraz wytyczne związane z eksploatacją i warunkami pomiarów dla pojazdu. Pomiary realizowano jednego dnia dla trzech rodzajów cykli SORT. Na rys. 8 przedstawiono przykładowe wykresy zużycia energii  $E_c$  wykonane podczas pomiarów dla dwóch kierunków jazdy zarejestrowanych podczas testów dla cyklu SORT 2.

Do wyznaczenia całego zużycia energii, która jest niezbędna do przewozów obsługiwanych przez autobusy elektryczne, trzeba uwzględnić jeszcze jeden czynnik. Sprawność systemu ładowania. W lipcu 2017 r. opublikowano procedurę UIPT PROJECT E-SORT [8], uzupełnioną o ten właśnie etap. Według tych wymagań proces pomiaru realizowany jest w następujących krokach:

1. Wyznaczenie zużycia energii w danym cyklu SORT<sub>i</sub>:

$$C_i \left[ \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \right] = \frac{100E_i}{d_i} \quad (5)$$

gdzie:

- $c_i$  – zużycie energii w cyklu SORT<sub>i</sub> [kWh/100 km];
- $E_i$  – energia zmierzona w cyklu SORT<sub>i</sub> [kWh];
- $d_i$  – dystans zmierzony w cyklu SORT<sub>i</sub> [km].

2. Wyznaczenie maksymalnego zasięgu w cyklu SORT<sub>i</sub>:

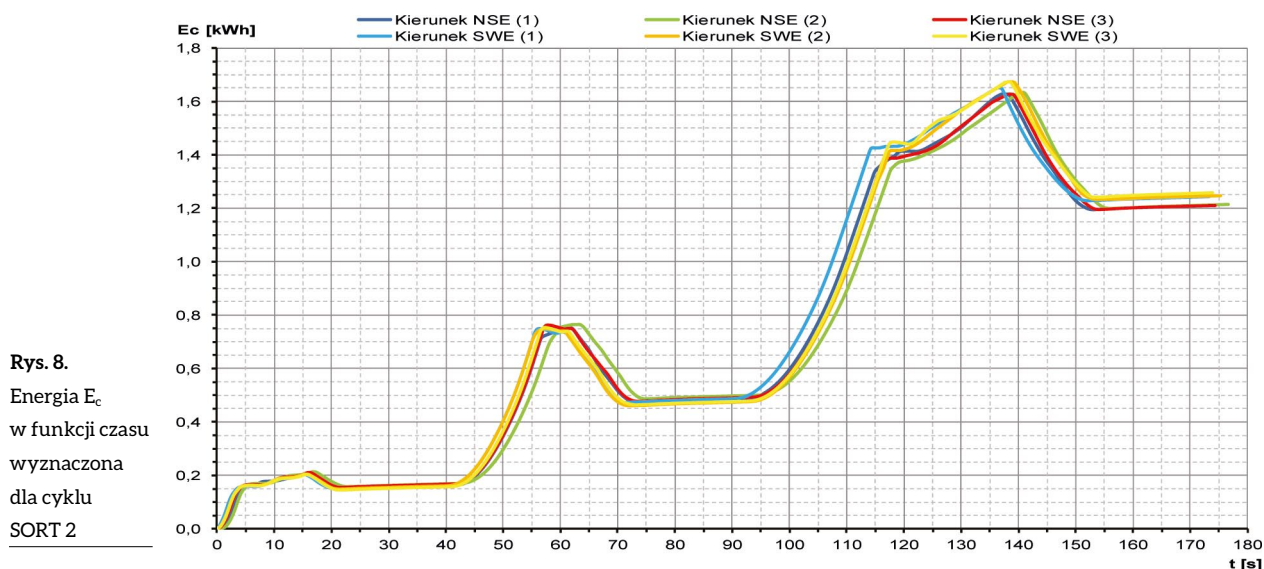
$$d_{Max}^i = \frac{100E_c^{Max}}{C_i} = \frac{E_c^{Max}}{E_i} \times d_i \quad (6)$$

gdzie:

- $E_c^{Max}$  – energia zmierzona na wyjściu stacji ładowania [kWh], (pomiar od minimalnego do maksymalnego stanu naładowania);
- $d_{Max}^i$  – maksymalny zasięg w cyklu SORT<sub>i</sub> [km].

3. Wyznaczenie sprawności stacji ładowania:

$$\eta_c [\%] = \frac{E_c^{Max}}{E_G^{Max}} \quad (7)$$



Rys. 8. Energia  $E_c$  w funkcji czasu wyznaczona dla cyklu SORT 2

gdzie:

$E_G^{Max}$  – energia zmierzona na wejściu stacji ładowania [kWh],  
(pomiar od minimalnego do maksymalnego stanu naładowania).

4. Wyznaczenie zużycia energii uwzględniającego TCO (*Total Cost of Ownership*), całkowity koszt pozyskania (przykład):

$$C[\text{€}] = \frac{(e_i[\text{kWh}/100 \text{ km}] \times L[\text{years}] \times K[\frac{\text{km}}{\text{year}}] \times p[\text{€}/(\text{kW}/\text{h})])}{\eta_c[100\%]} \quad (8)$$

gdzie:

$L$  – czas resursu autobusu;

$K$  – średni przebieg autobusu w czasie resursu;

$p$  – średnia cena energii elektrycznej.

Zastosowanie tej metody umożliwia oszacowanie kosztów zużycia energii elektrycznej przez autobus w całym cyklu jego eksploatacji. Trzeba jednak pamiętać, że wyliczone tym sposobem wartości obciążone są znaczną niepewnością. Podczas pomiarów zużycia energii  $c_i$  w danym cyklu SORT w autobusie wyłączono wszystkie odbiorniki za wyjątkiem systemów niezbędnych do sterowania pojazdem. Energia pobierana przez układy ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji, monitoringu, obsługi urządzeń – biletomaty, wewnętrzny system informacji pasażerskiej oraz oświetlenia wewnętrznego – nie jest uwzględniana. Ponadto procedura E-SORT nie precyzuje zagadnień związanych z optymalizacją układu napędowego w egzemplarzu autobusu dostarczanego na testy, jak na przykład zwiększenie histerezy załączania chłodzenia układu napędowego, co może mieć istotny wpływ na wynik pomiaru. Wersje oprogramowania badanego pojazdu i dostarczanego do użytkownika powinny być identyczne.


## 6. Podsumowanie

Wzrost cen energii, który obserwujemy w ostatnich miesiącach i latach, nasuwa niezbyt optymistyczne perspektywy na zmianę tego trendu. Wszystko to wpływa na coraz baczniejsze przyglądanie się przez przewoźników zużyciu energii przez tabor i określanie parametrów z tym związanych dla nowych zamówień. Weryfikacja danych technicznych zadeklarowanych przez producenta wskazana jest do przeprowadzenia na etapie badań typu i w przypadku elektrycznych zespołów trakcyjnych, przy nieznacznym zwiększeniu nakładów, można ją połączyć z innymi badaniami, na przykład przy wyznaczaniu parametrów trakcyjnych, badań hamulca czy współpracy odbieraków z siecią. Znormalizowane metody badań opisane w niniejszym opracowaniu, zarówno dla taboru kolejowego, jak i autobusów, wymagają doprecyzowania. W warunkach polskich, z uwagi na wymagania dla profilu i prędkości, realizacja części scenariuszy jazd testowych podanych w specyfikacji CLC/TS 50591:2013 [4] byłaby bardzo trudna. Z kolei ogólnie rozumiane procedury SORT, w opisie metody i standardowych arkuszach dokumentujących testy, pomijają bardzo istotną kwestię związaną z udokumentowaniem wersji oprogramowania układu napędowego

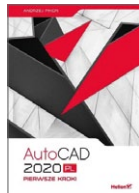
i sterownika głównego, które mogą mieć wpływ na zużycie energii przez pojazd.

## Literatura

- [1] ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) NR 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.
- [2] EN-50463-2:2012 Railway applications – Energy measurement on board trains – Part 2: Energy measuring.
- [3] EN-50215:2009 Railway applications – Rolling stock – Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service.
- [4] CLC/TS 50591:2013 Specification and verification of energy consumption for railway rolling stock.
- [5] SORT (D) Projekt UITP „SORT”. Znormalizowane cykle testów jezdnych, UITP, 2013.
- [6] SORT (D + H) UITP PROJECT ‘SORT’ STANDARDISED ON-ROAD TEST CYCLES, New edition UITP 2014.
- [7] PB-23 Badania zużycia energii elektrycznej autobusów elektrycznych wydanie 02, IPS „TABOR” Poznań, maj 2015 r.
- [8] E-SORT UITP PROJECT E-SORT, Cycles for electric vehicles, July 2017.
- [9] BAJERLEIN M., RYMANIAK Ł., ŚWIĄTEK P., ZIÓŁKOWSKI A., DASZKIEWICZ P., DOBRZYŃSKI M.: *Modification of a Hybrid City Bus Powertrain in the Aspect of Lower Fuel Consumption and Exhaust Emissions*. „Applied Mechanics and Materials”, Vol. 518.
- [10] DASZKIEWICZ P., ANDRZEJEWSKI M., MERKISZ J., STAWECKI W., BOLZHELARSKI Y.: *Ocena sposobu organizacji prac rozrządowych w aspektach ekologicznych*. „AUTOBUSY: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 12/2018.
- [11] GOLDA I.J., GOLEBIEWSKI P., IZDEBSKI M., KŁODAWSKI M., JACHIMOWSKI R., SZCZEPANSKI E.: *The evaluation of the sustainable transport system development with the scenario analyses procedure*. „JOURNAL OF VIBROENGINEERING”, Volume: 19, Issue: 7, 2017.
- [12] MERKISZ J., RYMANIAK Ł.: *The assessment of vehicle exhaust emissions referred to CO<sub>2</sub> based on the investigations of city buses under actual conditions of operation*. „Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability”, 19(4)/2017.
- [13] MERKISZ J., PIELECHA I., ANDRZEJEWSKI M., DASZKIEWICZ P., STAWECKI W.: *Legal conditions in the aspect of pollutant emissions from exhaust systems of rail vehicles engines*. „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 25, No. 1/2018.
- [14] TOMASZEWSKI S., TOMASZEWSKI F., STRZEMKOWSKI J.: *Influence of selected lubricants on operation of relay valves of braking systems of rail vehicles*. „POJAZDY SZYNOWE”, 2/2018.

 mgr inż. Krystian Woźniak, e-mail: k.wozniak@tabor.com.pl,  
dr inż. Maciej Andrzejewski, e-mail: m.andrzejewski@tabor.com.pl,  
dr inż. Paweł Daszkiewicz, e-mail: p.daszkiwicz@tabor.com.pl,  
Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu;  
dr inż. Łukasz Rymaniak – Politechnika Poznańska, Wydział  
Inżynierii Transportu, e-mail: lukasz.rymaniak@put.poznan.pl

## BIBLIOTEKA



Andrzej Pikoń  
**AutoCAD 2020 PL. Pierwsze kroki**  
Wydawnictwo: Helion  
Rok wydania: 2019

AutoCAD stanowi standardowe narzędzie pracy w większości biur projektowych i uczelni technicznych na całym świecie, również w Polsce. To nie przypadek, że projektowanie wspomagane komputerowo kojarzy się przede wszystkim z tym programem – dla wielu osób stanowi on pierwsze, podstawowe, a nierzadko jedyne rozwiązanie CAD, z którego korzystają. Tę niebywałą popularność AutoCAD zawdzięcza między innymi wydajnym funkcjom znajdującym szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach techniki, możliwościom automatyzacji pracy i rozbudowywania środowiska za pomocą dodatków, a także wygodnemu interfejsowi użytkownika, pozwalającemu w krótkim czasie osiągać zamierzone cele.

Jeśli chcesz szybko opanować podstawy posługiwania się programem, a przy tym uniknąć typowych błędów początkującego użytkownika, sięgnij po odpowiednie źródło wiedzy! Książka *AutoCAD 2020 PL. Pierwsze kroki* bezboleśnie wprowadzi Cię w świat projektowania technicznego. Przedstawia najważniejsze narzędzia rysunkowe i sposoby ich używania, metody poruszania się w przestrzeni projektu, możliwości modyfikowania obiektów, zasady korzystania z szyków, uchwytów i kreskowania, a także funkcje umożliwiające dodawanie napisów, wymiarowanie projektów oraz ich parametryzację. Poznasz również możliwości oferowane przez bloki i warstwy oraz najlepsze sposoby drukowania efektów swojej pracy.



Marek Wiktor Szelerski  
**Robotyka przemysłowa**  
Wydawnictwo: Kabe  
Rok wydania: 2019, wydanie pierwsze

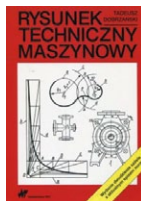
Książka zawiera przystępne omówienie budowy i kinematyki manipulatorów. Zawiera też opisy podstaw programowania, zasady eksploatacji i bezpieczeństwa.

Książka ta jest przeznaczona dla osób związanych z pracą w służbach utrzymania ruchu parku maszynowego przedsiębiorstw, programistów, operatorów manipulatorów oraz osób odpowiedzialnych za modernizowanie lub projektowanie stanowisk, centrów i linii produkcyjnych. Może ona również stanowić uzupełnienie literatury dla hobbyistów, uczniów techników oraz studentów kształcących się w kierunkach robotyka, elektronika, mechatronika, mechanika i innych.



Ryszard Tadeusiewicz, Maria Mazurek,  
Marcin Wierchowski  
**Alicja w krainie przyszłości, czyli jak działa sztuczna inteligencja**  
Wydawnictwo: Mando  
Rok wydania: 2019, wydanie pierwsze

Czy można się zaprzyjaźnić z robotem? Kiedy w domu Alicji pojawia się nowy członek rodziny – Basia, robot humanoidalny – rodzą się też nowe pytania. Czy życie domowników stanie się teraz łatwiejsze? Czy Basia będzie odrabiać lekcje za Alicję, zmieniać pieluchy Adasia i gotować obiady? I najważniejsze – czy robot może zastąpić człowieka? Poznajcie nowe przygody Alicji. W świat sztucznej inteligencji wprowadzi Was profesor Ryszard Tadeusiewicz, znany automatyk i informatyk, pod którego okiem kształcili się rzesze polskich inżynierów. Podobnie jak poprzednio, nie brakuje w książce dobrego humoru, a dzięki ilustracjom z łatwością przeniesiecie się w świat przyszłości. Porada dla rodzica: przeczytaj razem ze swoim dzieckiem, aby wiedzieć, jak poruszać się w świecie botów, robotów i algorytmów.



Tadeusz Dobrzański  
**Rysunek techniczny maszynowy**  
Rok wydania: 2019  
Wydawnictwo Naukowe PWN, WNT

Wraz z rozwojem i postępowaniem technicznym w przemyśle maszynowym rosną wymagania dotyczące dokumentacji technicznej, powodując konieczność stosowania różnych rodzajów i odmian rysunków technicznych.

Wyraźne są przy tym tendencje do ujednoczenia zasad i przepisów rysunku technicznego maszynowego, elektrycznego i architektoniczno-budowlanego, co znajduje odzwierciedlenie w ciągłym uaktualnianiu tych przepisów i normalizowaniu ich w skali międzynarodowej.

W książce podano zbiór najważniejszych informacji z dziedziny rysunku technicznego opracowany z uwzględnieniem Polskich Norm. Omówiono szczegółowo zasady rysunku maszynowego oraz podano wiadomości z rysunku elektrycznego, architektoniczno-budowlanego i chemicznego dla mechaników, a także zasady gospodarki rysunkowej. Treść książki uzupełniono licznymi przykładami rysunków opracowanych zgodnie z obowiązującymi przepisami.



XIV edycja Konkursu miesięcznika

**napędy** miesięcznik  
**i sterowanie** naukowo-  
-techniczny

# PRODUKT ROKU 2019

## KATEGORIE:

- Nowe maszyny i technologie
- Poprawa bezpieczeństwa
- Napędy i silniki
- Systemy sterowania procesami i układami
- Urządzenia pomiarowe i czujniki



Ogłoszenie wyników konkursu oraz wręczenie nagród i wyróżnień odbędzie się podczas Międzynarodowych Targów AUTOMATICON 2020, w Warszawskim Centrum EXPO XXI, ul. Prądzyńskiego 12/14, w dniu 18.03.2020 r. o godz. 10:00, w Sali Konferencyjnej B-1.

Więcej na [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl)

## TEMATYKA

**napędy i sterowanie** miesięcznik naukowo-techniczny

**Nr 3 (251)**  
Rok XXII  
Marzec 2020

- Automatyka i robotyka
- Nowe technologie
- Roboty przemysłowe
- Termowizja
- Aparatura kontrolno-pomiarowa
- Systemy mechatroniczne



Promocja pisma zgodnie z planem wydawniczym na [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl)  
Kontakt: e-mail: [redakcja.nis@drukart.pl](mailto:redakcja.nis@drukart.pl); tel. 32 755 19 17

1/2020 (249)

2/2020 (250)

**3/2020 (251)**

4/2020 (252)

5/2020 (253)

6/2020 (254)

7-8/2020 (255-256)

9/2020 (257)

10/2020 (258)

11/2020 (259)

12/2020 (260)

## PRENUMERATA

Prenumeratę miesięcznika „Napędy i Sterowanie” można rozpocząć w dowolnym momencie. Cena prenumeraty pozostaje bez zmian, niezależnie od zmiany stawki VAT na czasopismo. Faktura za prenumeratę zostanie przesłana wraz z pierwszym zamówionym egzemplarzem. Koszty przesyłki pokrywa Wydawnictwo. Studenci oraz uczniowie mogą skorzystać z 50-proc. zniżki, przesyłając kserokopię ważnej legitymacji szkolnej. Zniżka obejmuje również szkoły i wyższe uczelnie.

Cena prenumeraty rocznej wynosi 118,80 zł (w tym 8% VAT).

Informacje na temat prenumeraty oraz numerów archiwalnych można uzyskać pod numerem tel./fax: 32 755 15 74.

Miesięcznik „Napędy i Sterowanie” można zaprenumerować, wykorzystując:

- druk zamówienia pobrany z naszej witryny internetowej, [www.nis.com.pl/nis/prenumerata](http://www.nis.com.pl/nis/prenumerata);
- pocztę elektroniczną, e-mail: [prenumerata@drukart.pl](mailto:prenumerata@drukart.pl).

lub za pośrednictwem:

- Wydawnictwa SIGMA NOT, tel./fax 22 840 35 89;
- RUCH SA, tel. 801 800 803 lub 22 693 70 00 (godz. 7<sup>00</sup>–17<sup>00</sup>)  
[www.prenumerata.ruch.com.pl](http://www.prenumerata.ruch.com.pl), [prenumerata@ruch.com.pl](mailto:prenumerata@ruch.com.pl);
- GARMOND PRESS SA, tel./fax 12 412 75 60;
- KOLPORTER SA, tel. 22 355 04 10.



- ◀ Aparatura kontrolno-pomiarowa
- ◀ Automatyka przemysłowa
- ◀ CAD/CAM/CAE
- ◀ Elementy i systemy hydrauliczne
- ◀ Elementy i systemy pneumatyczne
- ◀ Energoelektronika
- ◀ Napędy
- ◀ Oleje przemysłowe
- ◀ Oprogramowanie
- ◀ Robotyka
- ◀ Systemy zasilające
- ◀ Utrzymanie ruchu

Płacisz raz,  
promujesz się  
cały rok

# NAPĘDY I STEROWANIE – KATALOG BRANŻOWY 2020

WYDANIE SZESNASTE



druk



internet

Więcej informacji: [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl)

**napędy** miesięcznik  
**i sterowanie** naukowo-  
-techniczny

# STANOWISKA ZROBOTYZOWANE

SPAWANIE MIG/MAG, TIG, LASER

**NOWE OPCJE OSZCZĘDNOŚCIOWE!**



spawamy części samochodów i maszyn, zbiorniki, stelaże i narzędzia  
stal czarną, nierdzewną, aluminium



**ROBOTY**  
PRZEMYSŁOWE

**FANUC**

info@robotyprzemyslowe.pl | +48 734 167 108  
[www.RobotyPrzemyslowe.pl](http://www.RobotyPrzemyslowe.pl)