

# napędy i sterowanie

miesięcznik naukowo-techniczny

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

6  
2026

(325)  
czerwiec



The mark of  
responsible forestry  
FSC® C214416

Cena: **39,00 zł** (w tym 8% VAT)  
ISSN 1507-7764, Indeks 36018X

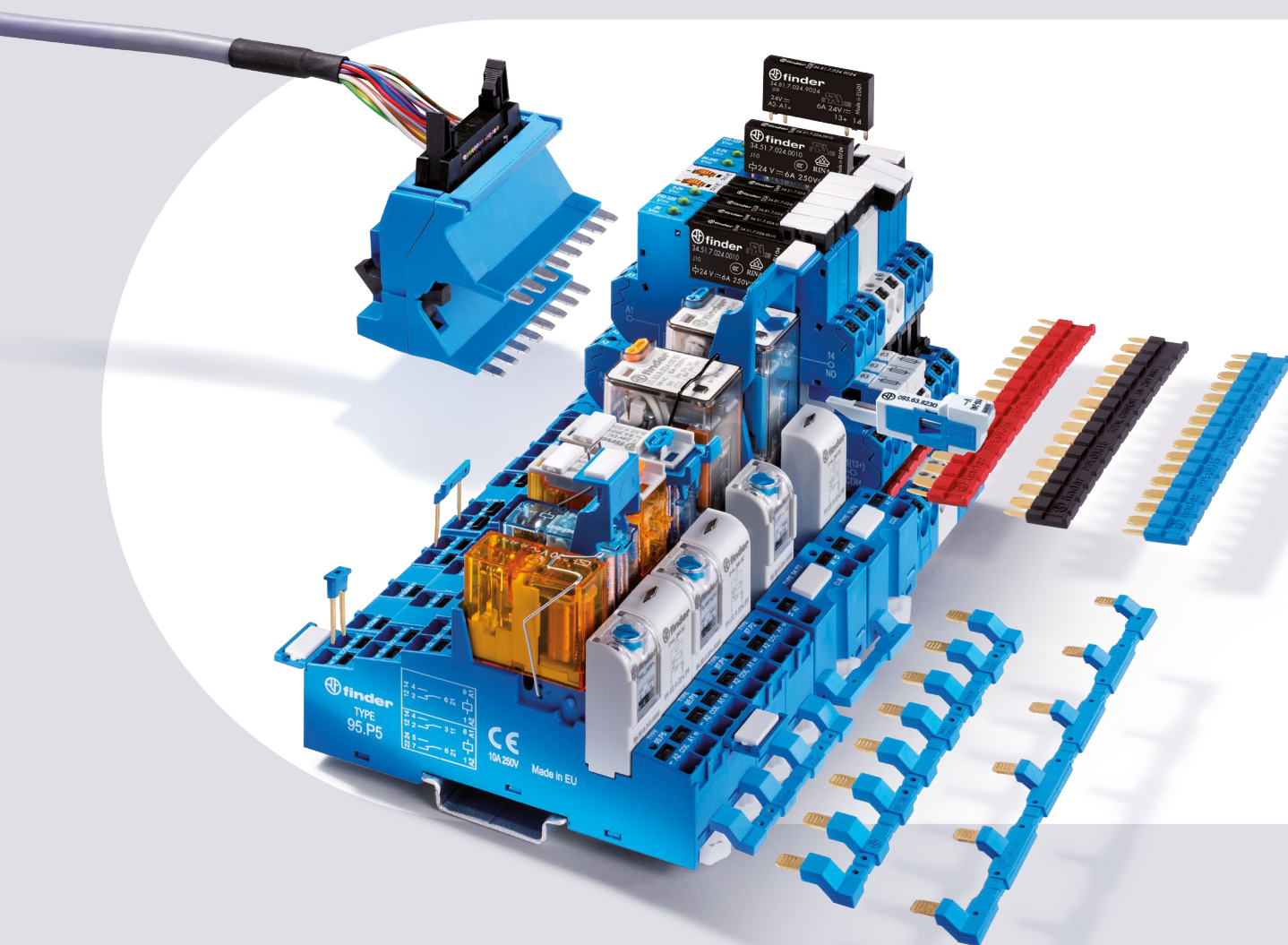
## MasterIN System

PRZEKAŹNIKI INTERFEJSOWE Z TECHNOLOGIĄ PUSH-IN



Seria 48 - Seria 4C - Seria 58 - Najbardziej kompletny zestaw akcesoriów

Seria 39 - MasterINTERFACE - Ultracienka, prosta i wszechstronna



 **finder**<sup>®</sup>  
RELAYING INNOVATION

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

# Gdzie szukać wiarygodnych partnerów w branży?

[nis.com.pl/katalog](http://nis.com.pl/katalog)

## Kategorie

- ✓ 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



« Odwiedź naszą stronę i znajdź firmy, które oferują rozwiązania, jakich potrzebujesz. Zaufaj wiedzy ekspertów i oszczędź swój czas.

W gąszczu informacji łatwo się zgubić. Dlatego stworzyliśmy profesjonalny katalog firm, dostępny na naszej stronie [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl). To kompendium wiedzy, które zbiera i porządkuje dane o dostawcach z kluczowych sektorów: od energoelektroniki i mechatroniki po utrzymanie ruchu.

## napędy i sterowanie

miesięcznik  
naukowo-techniczny

Dodaj swoją firmę do katalogu:  
[redakcja.nis@industriypublisher.com](mailto:redakcja.nis@industriypublisher.com)

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

**WYDAWCA:**

Industry Publisher sp. z o.o.  
NIP 727 288 28 68 | KRS 0001132587  
Konto: ING Bank Śląski  
46 1050 1461 1000 0091 5151 3471  
www.nis.com.pl

**REDAKTOR NACZELNA:**

Katarzyna Zając  
tel. +48 606 689 421  
e-mail: redakcja.nis@industrypublisher.com

**REDAGUJE ZESPÓŁ:**

Katarzyna Zając  
Ryszard Klencz

**REDAKCJA TECHNICZNA:**

Grzegorz Drobny

**DZIAŁ PRENUMERAT:**

e-mail: prenumerata@industrypublisher.com

**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 hab. inż. Stefan Gierlotka
- dr inż. Rafał Hein
- prof. inż. Jaroslav Homišin
- dr inż. Ryszard Jasiński
- prof. zw. dr hab. inż. Marek Jaszczuk
- prof. zw. dr hab. inż. Antoni Kalukiewicz
- dr hab. inż. Grzegorz Karoń
- prof. Mykola Karpenko
- prof. zw. dr hab. inż. Marian Piotr Kaźmierkowski
- 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 Pietruszewicz
- 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
- dr hab. inż. Waldemar Woźniak, prof. UZ
- dr inż. Paweł Zając

**REDAKTOR TEMATYCZNY:**

prof. zw. dr hab. inż. Wacław Kolek

**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 adiuścacji 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 Czytelnicy,

oddajemy w Państwa ręce wydanie, które skupia się na jednym z najbardziej dynamicznych kierunków rozwoju współczesnego przemysłu – Przemysłu 5.0 oraz rosnącemu znaczeniu cyberbezpieczeństwa w środowiskach produkcyjnych. To czas, w którym technologia nie tylko wspiera procesy wytwórcze, ale coraz częściej współdecyduje o ich odporności, elastyczności i bezpieczeństwie.

Dzisiaj przemysł nie zmienia się poprzez jedną wielką rewolucję, lecz raczej poprzez serię świadomych, dobrze zaprojektowanych kroków, które razem budują nową jakość funkcjonowania zakładów produkcyjnych. Coraz większe znaczenie mają rozwiązania, które pozwalają łączyć zaawansowaną automatykę z praktycznym podejściem do wdrożeń – bez konieczności kosztownych i długotrwałych przestoju.

W tym wydaniu znajdują Państwo między innymi artykuł dr. Mariusza Jabłońskiego z Politechniki Łódzkiej, który przybliży kierunki rozwoju Przemysłu 5.0 oraz wskazuje, jak zmienia się rola człowieka w coraz bardziej zautomatyzowanych systemach produkcyjnych. Autor podkreśla, że przyszłość przemysłu to nie tylko technologia, ale przede wszystkim umiejętność jej mądrego wykorzystania.

Szczególnie praktyczny wymiar tej dyskusji uzupełnia materiał przygotowany przez firmę Lenze, poświęcony cyberbezpieczeństwu w budowie maszyn. W obliczu wymagań Cyber Resilience Act producenci stają przed koniecznością integracji funkcjonalności automatyki z wysokim poziomem ochrony systemów – już na etapie projektowania.

W tym kontekście szczególnie ciekawie wybrzmiewa również artykuł firmy Finder „Sprawność bez rewolucji – czyli jak ‘od ręki’ wprowadzić zaawansowaną automatykę”. Autorzy zwracają uwagę, że nowoczesny przemysł wymaga dzisiaj kilku kluczowych elementów, które bezpośrednio wpływają na opłacalność procesów. W organizacjach, które skutecznie budują swoją przewagę rynkową, powtarzają się te same cechy: elastyczność działania, szybkie przebrojenia linii oraz ścisła kontrola nad procesami. Co istotne, wszystkie te elementy zaczynają się już na poziomie projektu rozdzielnic i doboru komponentów automatyki – tam, gdzie często decyduje się o późniejszej efektywności całego systemu.

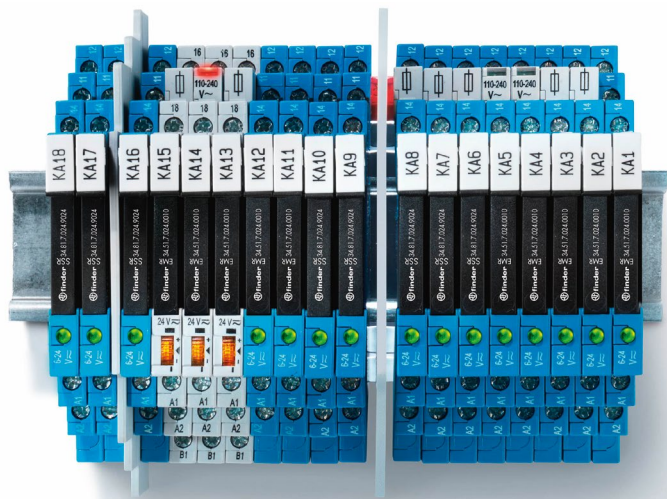
Dzisiejsze wydanie pokazuje więc wyraźnie, że rozwój przemysłu nie musi oznaczać gwałtownych skoków. Częściej jest to konsekwentne doskonalenie istniejących rozwiązań, które w efekcie prowadzi do bardziej inteligentnych, bezpiecznych i elastycznych zakładów produkcyjnych.

Zapraszamy do lektury numeru, który łączy perspektywę nauki, praktyki inżynierskiej i realnych wdrożeń przemysłowych.

Katarzyna Zając  
Redaktor naczelna



Dołącz do nas na  
**LinkedIn**



## Co w numerze

- 5 | Nowości techniczne
- 64 | Zestawienie firm
- 67 | Biblioteka

### TECHNOLOGIE I PRODUKTY

- 8 | Usprawnienia bez rewolucji – czyli jak „od ręki” wprowadzić zaawansowaną automatykę – FINDER Polska Sp. z o.o.
- 12 | Wydajne zasilacze prądu stałego: seria PRObas firmy Weidmüller – Conrad Electronic SE
- 14 | Czyste powietrze w miejscu pracy dzięki ZeroSmog Guard od Weller – Conrad Electronic SE
- 16 | Nowa biała księga: Jak radzić sobie z nieplanowanym zapotrzebowaniem – Conrad Electronic SE
- 17 | Cyberbezpieczeństwo w budowie maszyn. Jak sprostać wymaganiom CRA – Lenze Polska Sp. z o.o.
- 20 | NIS2 w zakładzie przemysłowym. Czy uwzględniłeś system UPS w analizie ryzyka OT? – EVER Sp. z o.o.
- 22 | Bezpieczeństwo funkcjonalne w systemach napędowych. Jak skutecznie chronić ludzi, maszyny i procesy – NORD Napędy Sp. z o.o.
- 26 | Układ 3DM-CV7 marki MicroStrain – Biuro Inżynierskie Maciej Zajączkowski
- 28 | Przewozy kolejowe w cieniu ciśniny Ormuz – Tadeusz Blofer

- 30 | Tenarai Europe: przemysłane wdrożenie AI w przedsiębiorstwach to szybsze decyzje, mniej błędów, niższe koszty operacyjne i lepsze wykorzystanie pracowników – Michał Sablik

- 32 | Transformacja biznesowa oparta na AI wymaga partnerstwa – Michał Sablik

### INFORMACJE BRANŻOWE

- 25 | CONTROL-TECH 2026 już we wrześniu w Targach Kielce
- 34 | VIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Energooszczędne Napędy Przekształtnikowe w Przemśle” – ENPP 2026

### NAUKA

- 38 | Analiza numeryczna efektywności różnych sposobów chłodzenia wirnika maszyn elektrycznych – Bartłomiej Będkowski
- 48 | Przemysł 5.0: Powrót człowieka, kreatywna automatyzacja bez hakowania – Mariusz Jabłoński

### INDEKS REKLAM

ABUS Crane Systems Polska .....	41, 66
BIBUS MENOS .....	6
Biuro Inżynierskie Maciej Zajączkowski .....	7, 27
Cantoni GROUP .....	31
Conrad Electronic SE .....	6, 13
EVER .....	21
FINDER Polska .....	1
Impakt .....	29
Lenze Polska .....	19
LOVATO Electric .....	5, 11
NORD Napędy .....	23
NOWIMEX .....	5
STAUFF .....	7, 33

## Modułowe analizatory parametrów sieci serii DMG

LOVATO Electric rozszerza swoją ofertę analizatorów parametrów sieci serii DMG o nowe wykonania modułowe przeznaczone do montażu na szynie DIN wewnątrz szaf rozdzielczych. Analizatory parametrów sieci serii DMG stanowią rdzeń systemu monitorowania, oferując innowacyjne funkcje i wysoką dokładność pomiarów.

Kolorowy wyświetlacz graficzny LCD umożliwia przejrzysty i kompleksowy podgląd pomiarów elektrycznych, statystyk i parametrów systemu prezentowanych w formie tabelarycznej lub w formie trendów graficznych. Menu dostępne jest w 10 językach. Konfiguracja parametrów jest prosta i intuicyjna. Można ją wykonać z użyciem klawiatury lub wbudowanej komunikacji NFC i smartfonu z zainstalowaną bezpłatną aplikacją LOVATO NFC, która dostępna jest na urządzeniach z systemem Android i iOS.

Wszystkie modele posiadają wbudowany, jeden lub więcej, port komunikacji, RS485 lub Ethernet, dzięki czemu możliwy jest zdalny nadzór i monitoring. Wersja z wbudowanym portem Ethernet posiada również funkcję web serwera, która umożliwia dostęp do danych za pośrednictwem przeglądarki internetowej. Dane wyświetlane są w formie graficznej lub tabelarycznej, a parametryzacja może być wykonana bez konieczności instalowania specjalnego oprogramowania. Bardziej zaawansowane modele posiadają również wbudowaną pamięć do zapisu danych. Wyboru zapisywanych parametrów i czasu próbkowania można dokonać za pośrednictwem web serwera.

Prawdziwą siłą analizatorów parametrów sieci serii DMG jest ich kompatybilność z wieloobwodowym systemem pomiarowym EASY BRANCH, rozwiązaniem typu plug-and-play firmy LOVATO Electric do monitorowania systemów lub instalacji z dużą liczbą obciążen. System EASY BRANCH oferuje bardziej wydajną i prostszą alternatywę w porównaniu z tradycyjnym systemem monitoringu, w którym każdy punkt pomiarowy wymaga niezależnego urządzenia.



Ofertę uzupełniają modułowe analizatory parametrów sieci wyposażone w cewki Rogowskiego do pomiaru prądu w zakresie od 100 A do 6300 A. To idealne rozwiązanie do montażu w systemach, w których tradycyjne urządzenia z przekładnikami prądowymi z rdzeniem stałym lub otwieranym są niepraktyczne lub zbyt kosztowne. Analizatory parametrów sieci serii DMG firmy LOVATO Electric idealnie nadają się do monitorowania parametrów elektrycznych sieci i zużycia energii w centrach handlowych, centrach danych, działach produkcyjnych, maszynach i wielu innych aplikacjach.

LOVATO Electric Sp. z o.o.

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

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.
- TEXELCO – Sygnalizatory świetlne i dźwiękowe.
- HUGRO – Dławice do kabli.
- LEAB – Systemy zasilania pojazdów specjalnych w prąd i sprężone powietrze.
- BREVETTI – Tworzywowe i stalowe prowadniki kabli.
- CATTRON – Przemysłowe systemy zdalnego sterowania i zatrzymania (E-Stop).
- MARECHAL – Wtykowe złącza przemysłowe i dekontaktry (z wbudowaną funkcją rozłączeniową).

[www.nowimex.com.pl](http://www.nowimex.com.pl)  
[info@nowimex.com.pl](mailto:info@nowimex.com.pl)



## Kollmorgen Essentials – kompletny, prosty i elastyczny system serwo

BIBUS MENOS wprowadził do oferty system serwonapędów Kollmorgen Essentials – ekonomiczną propozycję łączącą renomowaną jakość i niezawodność Kollmorgena z przystępną ceną. To gotowa do integracji rodzina: silnik (złącze obrotowe IP65, jeden kabel), napęd oraz opcjonalnie sterownik PCMM2G Essentials dla do 8 osi.

### Dlaczego warto?

- Jeden napęd obsługuje EtherCAT®, EtherNet/IP™ i PROFINET® – zmiana protokołu w oprogramowaniu, nie w sprzęcie.
- Enkoder absolutny SFD-M (24-bit single/16-bit multi-turn) bez baterii – brak konserwacji.
- Bezpieczeństwo STO (SIL2/Cat 3 PL d) w standardzie.
- Express Setup w WorkBench – uruchomienie w kilkanaście minut.
- Zasilanie 120–480 VAC, moc do 4 kW, moment ciągły 0,74–17,4 Nm.
- Ekspresowa dostępność z magazynu – najczęściej wybierane konfiguracje zawsze pod ręką.



System sprawdza się w pakowaniu, intralogistyce, pozycjonowaniu i obróbce materiałów – tam, gdzie liczy się szybkie wdrożenie, niezawodność i optymalny koszt, a nie przewymiarowanie.

**BIBUS MENOS**

[www.mechatronika.tech](http://www.mechatronika.tech)

## Kompaktowa złączka instalacyjna WAGO

Postępująca cyfryzacja oraz coraz bardziej złożone instalacje elektryczne stawiają nowe wyzwania przed techniką rozdzielczą, wymagając innowacyjnych rozwiązań. Firma WAGO odpowiada na te potrzeby, wprowadzając nową złączkę instalacyjną 221-420 – kompaktową, wszechstronną i oszczędzającą zarówno miejsce, jak i czas. Złączka WAGO z dźwignią wyznacza nowy standard w zakresie połączeń elektrycznych. Ten nowatorski produkt jest już dostępny na Conrad Sourcing Platform.

W przeciwieństwie do tradycyjnego mostkowania, zastosowanie złączki WAGO nie wiąże się z utratą żadnych punktów przyłączeniowych. Model 420 z serii 221 umożliwia szybkie i intuicyjne połączenie nawet do dziesięciu przewodów o tym samym potencjale – bez potrzeby użycia narzędzi. Do złączki można podłączyć przewody linkowe o przekroju od 0,14 do 4 mm<sup>2</sup> oraz wielodrutowe w zakresie od 0,2 do 4 mm<sup>2</sup>. Dzięki kompaktowej, dwupoziomowej budowie, złączka WAGO doskonale sprawdza się również w warunkach ograniczonej przestrzeni montażowej.

Złączka instalacyjna WAGO charakteryzuje się napięciem znamionowym 450 V oraz prądem znamionowym 32 A. Dzięki takim parametrom znajduje szerokie zastosowanie w różnorodnych instalacjach budynkowych – szczególnie przy okablowaniu rozdzielnic. Sprawdza się m.in. w systemach sterowania roletami, rozdzielaczach obwodów grzewczych, instalacjach zabezpieczeń, systemach domofonowych, a także przy podłączaniu kucharek elektrycznych.

Złączka WAGO wykorzystuje technologię CAGE CLAMP® – niezawodny i bezobsługowy system podłączenia przewodów oparty na sprężynie dociskowej. Dzięki temu nie ma



Źródło: WAGO

potrzeby czasochłonnych przygotowań, takich jak zaciskanie tulejek kablowych, co znacząco upraszcza pracę i oszczędza czas zarówno instalatorom, jak i producentom urządzeń. WAGO przywiązuje również dużą wagę do kwestii bezpieczeństwa. Przezroczysta obudowa umożliwia natychmiastową kontrolę wzrokową poprawności połączenia zgodnie z obowiązującymi normami. Nawet po zamontowaniu złączki możliwa jest wygodna kontrola techniczna – dzięki otworom inspekcyjnym umieszczonym z przodu i z tyłu.

Do złączki instalacyjnej WAGO dostępny jest szeroki wybór akcesoriów montażowych. W ofercie znajdują się adaptory montażowe – zarówno z zatraskami, jak i bez – umożliwiające montaż pionowy lub poziomy na szynie DIN, a także płytki odciążające. Dostępna jest również wersja z certyfikatem EX, przeznaczona do pracy w strefach zagrożonych wybuchem, a także bardziej edycja Green Range.

**Conrad Electronic SE**

[conrad.pl](http://conrad.pl)

## Przetwornik momentu obrotowego T110/T100

T110/T100 został zaprojektowany do pracy w trudnych warunkach i jest bezobsługowy. Użycie cyfrowego transferu danych zapewnia trwałą, bezbłędną akwizycję danych i transmisję pozbawioną problemów nawet w trudnych warunkach środowiskowych.

Ten sam stojan T100 jest używany dla wszystkich wersji tarcz T110, co upraszcza zastosowanie i ogranicza wydatki. Przetwornik T110 został zaprojektowany tak, aby zminimalizować jego długość w celu uproszczenia zabudowy i zwiększenia sztywności dla uzyskania najwyższej dynamiki. Dodatkowo tarcze są stosunkowo nieczułe na obciążenia pasożytnicze, umożliwiając bezpośredni montaż do korpusu bez potrzeby użycia dodatkowych wałków łączących lub spręgieł.

Nowy układ kompensacji wpływu temperatury automatycznie wykrywa kierunek zmian temperatury i stosuje zaawansowane algorytmy, aby zapewnić najlepsze rezultaty niezależnie od osiowego położenia montażu.

Sprawdzony magnetyczny system pomiaru prędkości o wysokiej rozdzielczości pozwala na swobodny wybór częstotliwości do 8192 impulsów/obrót. Zmierzony moment jest podawany w postaci sygnału na wyjściu napięciowym, częstotliwościowym i cyfrowym w postaci interfejsów: EtherCAT, Profinet czy EtherNet/IP.



Przetwornik posiada bardzo wysokie pasmo przenoszenia 15 kHz i klasę dokładności 0,03. Dzięki wbudowanemu webserwerowi parametryzacja jest znacznie łatwiejsza i zgodna z nowoczesnymi trendami. Niepotrzebna jest już instalacja specjalnego oprogramowania. Ułatwia to dostęp do przetwornika i zapewnia szybszą i łatwiejszą konfigurację.

**Biuro Inżynierskie Maciej Zajęczkowski**

[www.hbm.com.pl](http://www.hbm.com.pl)

## STAUFF z przedłużonymi certykatami Bureau Veritas dla kluczowych linii produktowych

STAUFF pomyślnie odnowił i rozszerzył homologacje typu wydane przez Bureau Veritas Marine & Offshore. Certyfikaty potwierdzają wysoką jakość, bezpieczeństwo i niezawodność komponentów wykorzystywanych w przemyśle stoczniowym oraz w aplikacjach offshore i morskich.

### STAUFF Test – złącza testowe

Certyfikat 07562/F0 BV, ważny do 7 stycznia 2031 r., obejmuje szybkozłącza STAUFF Test z zaworami kulowymi i stożkowymi w rozmiarach Test 20, Test 15 i Test 12. Produkty spełniają wymagania przepisów BV dla statków i jednostek offshore, zapewniając bezpieczną kontrolę parametrów w układach hydraulicznych.

### STAUFF Connect – złączki rurowe z pierścieniem zacinającym

Certyfikat 42033/C0 BV (do 7 stycznia 2031 r.) dotyczy licznych wariantów serii LL, L i S, zgodnych z normą DIN 2353 / ISO 8434-1. Rozwiązania te są przeznaczone do instalacji hydraulicznych na statkach i platformach offshore, gdzie liczy się trwałość i szczelność połączeń.

### STAUFF Form EVO – system do formowania rur

Certyfikat 71651/A1 BV, ważny do 20 lipca 2027 r., obejmuje kompletny system wraz z osprzętem. Rozszerzona homologacja dopuszcza zastosowanie w szerokim spektrum instalacji



morskich – od przewodów paliwowych, olejowych i gazowych po linie wody i chłodziwa.

Odnowione certyfikaty BV wzmacniają pozycję STAUFF jako dostawcy sprawdzonych technologii dla wymagających środowisk morskich.

**STAUFF**

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

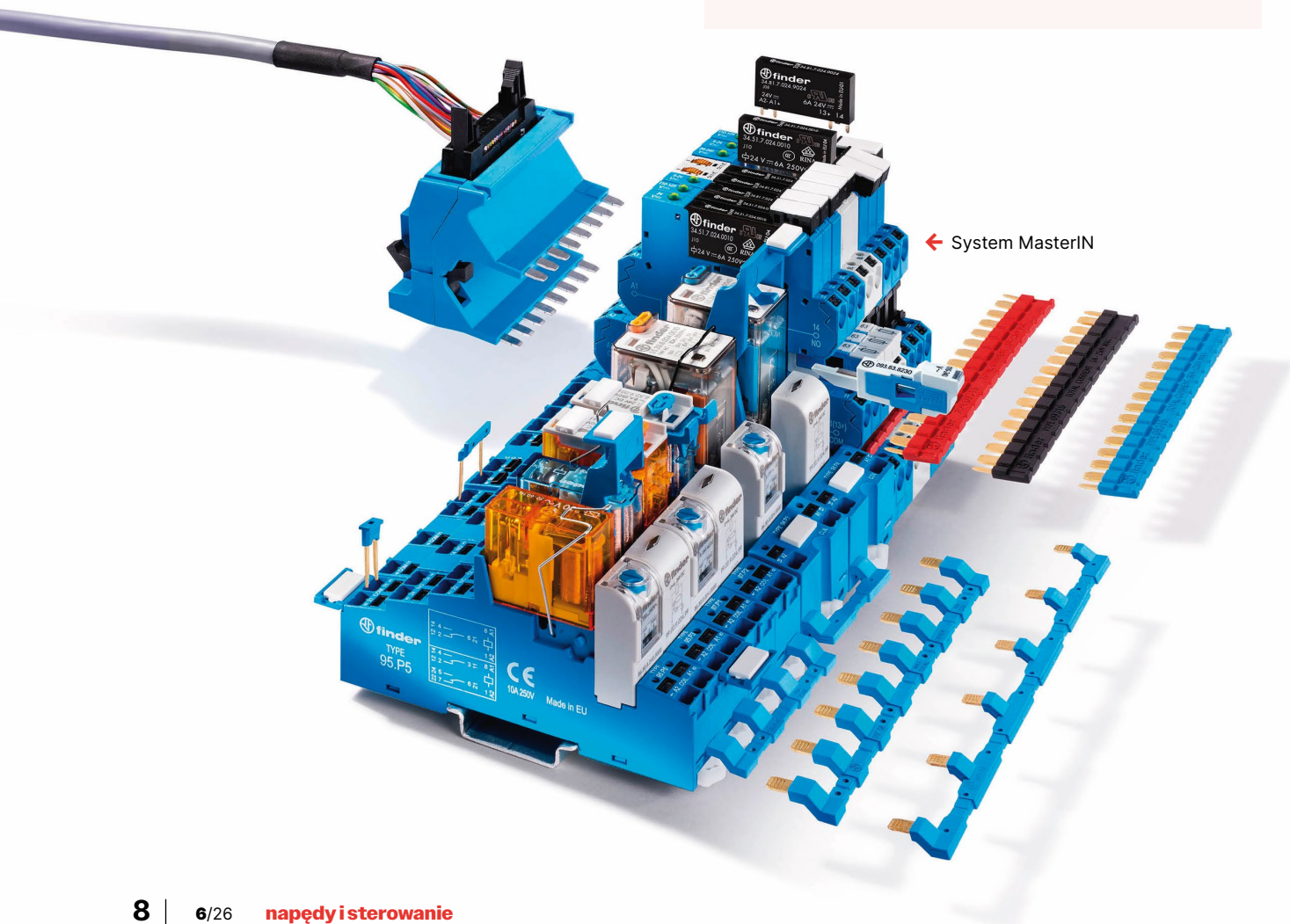
# Usprawnienia bez rewolucji – czyli jak „od ręki” wprowadzić zaawansowaną automatykę

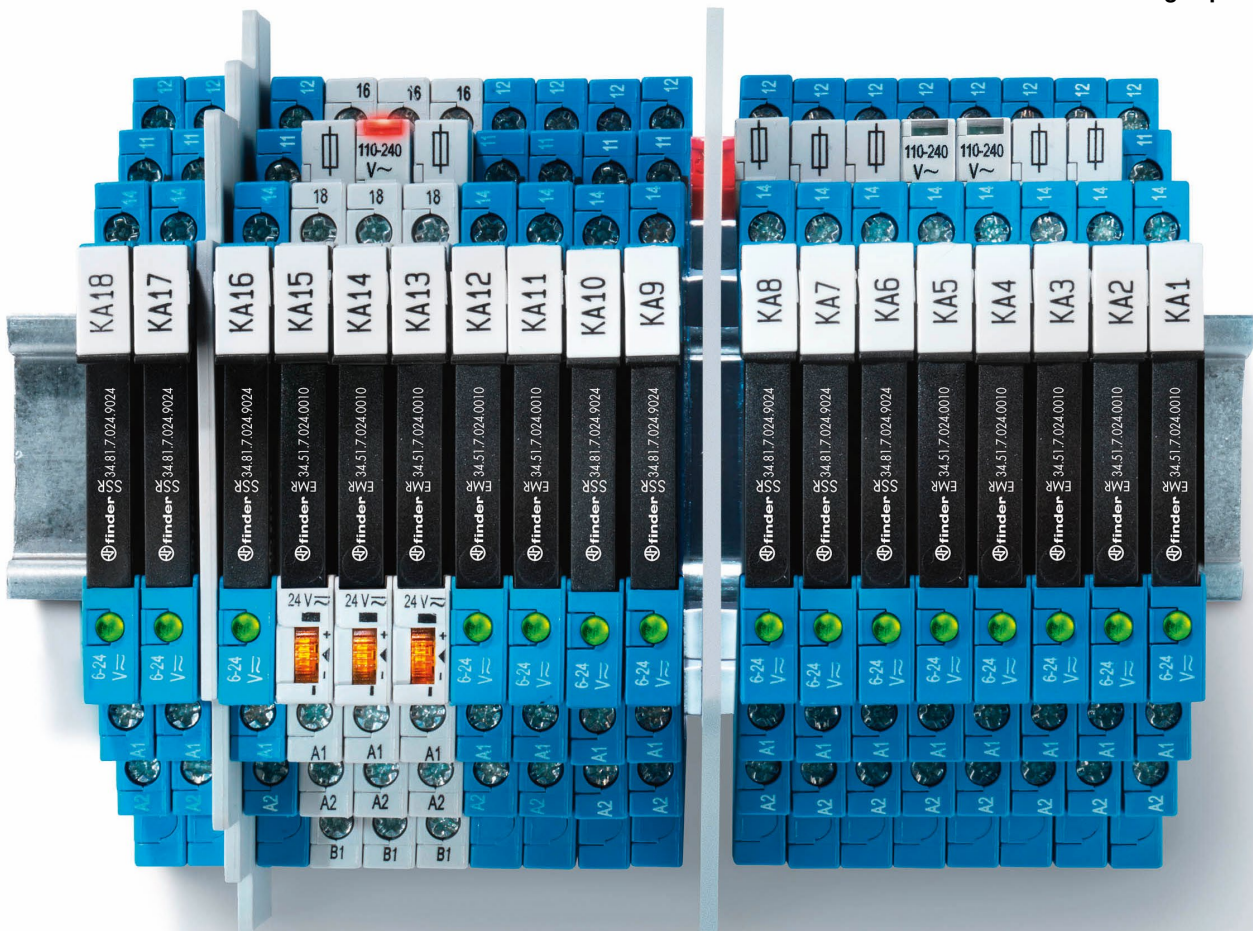
Nowoczesny przemysł wymaga kilku elementów, które mają kluczowe znaczenie przy optymalności procesów. Jeśli przyjrzymy się organizacjom, które odniosły sukces na rynku, zawsze w ich podejściu znajdziemy elastyczność działania, szybkie przebrojenia linii i ścisłą kontrolę. Wszystkie te czynniki zaczynają się już na etapie projektu rozdzielnic i elementów automatyki.

## MasterIN – system, który zmodernizuje bez modernizacji

Nasze długoletnie doświadczenie na rynku automatyki pozwoliło stworzyć linię produktów, które odpowiadają na potrzeby klientów w zakresie wygody stosowania i szybkich przebrojeń. Gotowość urządzenia do procesu, jaki ma wykonać, mierzona jest stosunkiem czasu gotowości do pracy do czasu przestoju, zarówno planowanych, jak i awarii.

**Gotowość urządzenia do procesu** mierzona jest stosunkiem czasu gotowości do pracy do czasu przestoju, zarówno planowanych, jak i awarii.





#### ↑ System MasterIN

Planowane przestoje, takie jak serwisy czy przebrojenia, wymagają często drobnych, ale uciążliwych ingerencji w maszynę i/lub rozdzielnicę. Warto więc zwrócić uwagę na szczegóły, które znacznie usprawnią takie działania.

Wygoda obsługi – w ofercie Finder wszystkie produkty mają nadrukowany numer katalogowy, który jest dobrze widoczny już na pierwszy rzut oka. Dzięki temu serwisant, nawet jeśli nie posiada niezbędnej dokumentacji, bez demon-tażu przekaznika wie, jaki element zamówić do wymiany.

Ponadto w wielu gniazdach stosować można moduły LED, które sygnalizują prawidłowe działanie przekaznika. Ułatwia to pracę przy skomplikowanych układach automatyki z wieloma przekaznikami, ograniczając czas na sprawdzanie kolejnych elementów – serwisant nie musi pracować w ciemno.

Tutaj warto pochylić się nad gamą produktów serii MasterIN. Ten system pozwala na zastosowanie przekazników i gniazd, tworząc z nich układy, które nie tylko łatwo obsługiwać, ale też dają wiele możliwości budowania zaawansowanej automatyki. Przykładem niech będzie MasterADAPTER, który umożliwia połączenie do 8 modułów MasterINTERFACE ze źródłem zasilania przez przewód i 14-żyłową płaską taśmę, która może zostać połączona z wyjściem PLC. Warto też nadmienić, że MasterIN to system wyposażony w szereg udogodnień akcesoryjnych, takich jak mostki łączeniowe oraz moduły do bezpieczników topikowych, zabezpieczających przekaznik.

## System MasterIN doskonale sprawdzi się przy projektach wymagających nowoczesnych, ale prostych udogodnień.

Tam, gdzie oszczędność miejsca w szafie jest wskazana, a przestoje związane z przebrojeniem nie mogą długo trwać.

W systemie MasterIN bardzo istotny jest również fakt, że do zasilania cewki można stosować różne napięcie w zależności od przekaznika: AC, DC lub AC/DC.

W samej gamie przekazników do gniazd również proponowane są przekazniki elektromagnetyczne oraz SSR. Tutaj warto zatrzymać się przy serii 39 o szerokości zaledwie 6,2 mm. Jest to rozwiązanie oszczędzające miejsce i zapewniające największą liczbę kombinacji gniazd i akcesoriów.



↑ Przekaznik programowalny logicznie serii 8A – OPTA

System MasterIN może przysłużyć się do wprowadzenia elementów automatyki tam, gdzie wcześniej praca maszyny wymagała większej ingerencji człowieka. Doskonale sprawdzi się przy projektach wymagających nowoczesnych, ale prostych udogodnień. Tam, gdzie oszczędność miejsca w szafie jest wskazana, a przestoje związane z przebrojeniem nie mogą długo trwać.

## Najwyższa forma automatyki bez wielkich nakładów

Natomiast w przypadku, gdy potrzebujemy wprowadzić więcej elementów związanych z różnego rodzaju procesami logicznymi, warto sięgnąć po rozwiązanie wszechstronne, jakim jest przekaznik programowalny logicznie serii 8A – OPTA.

Innowacyjność tego rozwiązania polega na możliwości programowania urządzenia w środowisku Arduino lub CODESYS (w zależności od wybranego modelu). Dzięki szeregowi wejść i wyjść można nie tylko sterować maszynami, ale też dokonywać różnych analiz, co niewątpliwie dla wielu przedsiębiorstw będzie ogromnym skokiem jakościowym. Połączenie OPTA z czujnikami oraz licznikami energii FINDER 7M pozwala nie tylko na optymalizację zarządzania energią elektryczną, ale jest to też duży krok w kierunku działań predykcyjnych, co przyczynia się do znacznego zmniejszenia liczby niepotrzebnych przestojów.

Stosowanie przekazników logicznych serii 8A to również możliwość szybkich przebrojeń, dzięki możliwości wprowadzenia zmian z poziomu programisty lub zaprojektowanych wcześniej dashboardów, pozwalających jednym kliknięciem na zmianę parametrów maszyny.

OPTA występuje w trzech wersjach: LITE, PLUS i ADVANCED, które różnią się między sobą dostępnymi typami

**Innowacyjność tego rozwiązania** polega na możliwości programowania urządzenia w środowisku Arduino lub CODESYS.

### Krok ku Przemysłowi 4.0

» **Połączenie** przekaznika OPTA z czujnikami oraz licznikami energii FINDER 7M to nie tylko optymalizacja zarządzania energią elektryczną. To duży krok w kierunku działań predykcyjnych (*Predictive Maintenance*), znacznie zmniejszających liczbę niepotrzebnych przestojów.

### Warianty komunikacyjne serii 8A – OPTA

- » **LITE:** port RJ45 (Ethernet / Modbus TCP/IP)
- » **PLUS:** port RJ45 + wbudowany port RS485 (Modbus RTU)
- » **ADVANCED:** port RJ45 + RS485 + zintegrowany moduł Wi-Fi i Bluetooth

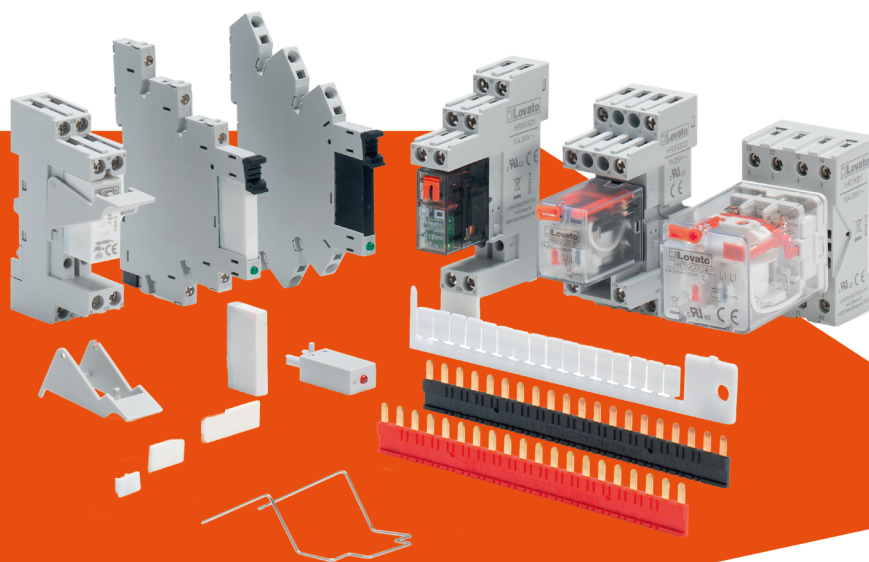
komunikacji. Każda wersja ma port RJ45 dla sieci Ethernet lub Modbus TCP/IP, dodatkowo model PLUS ma również wbudowany port RS485 dla Modbus RTU, a wersja najbardziej zaawansowana dysponuje także zintegrowanym modułem Wi-Fi i Bluetooth.

Wieloletnie doświadczenie w przemyśle, ciągłe spotkania z praktykami, elektrykami, automatykami i projektantami pozwoliły stworzyć nam szereg produktów, które nie tylko ułatwiają pracę, ale też pozwalają w prosty sposób zmodernizować niejedno przedsiębiorstwo bez wielkich rewolucji i globalnych zmian, ale z wielkimi, wręcz rewolucyjnymi efektami. □



**FINDER Polska Sp. z o.o.**  
ul. Logistyczna 27  
62-080 Sady  
finder.pl@findernet.com

# PRZEKAŹNIKI PRZEMYSŁOWE SERII HR



## OFERTA KOMPLETNA

LOVATO Electric oferuje szeroki wybór wykonania przełączników przemysłowych, zaprojektowanych tak, aby zagwarantować maksymalną wydajność i niezawodność. W ofercie znajdują się przełączniki interfejsowe, w wersji elektromechanicznej i SSR, przełączniki miniaturowe, w przezroczystej i nieprzezroczystej obudowie oraz wersje przemysłowe wyposażone we wskaźnik LED informujący o obecności napięcia zasilania cewki oraz przycisk mechaniczny, służący do przeprowadzenia testu i sygnalizujący położenie styków

Niezawodność, wydajność i elastyczność: wszystko, czego potrzebujesz, by zoptymalizować układy automatyki i sterowania.

Wykonania elektromagnetyczne i półprzewodnikowe (SSR)

Cewki AC lub DC

Gniazda z zaciskami śrubowymi lub sprężynowymi oraz do płytek PCB

Przełączniki ze wskaźnikiem LED statusu i przyciskiem mechanicznym zadziałania i testu

Złącza grzebieniowe i filtry przeciwzakłócenieniowe

Wykonania z atestem ATEX



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



**Lovato**  
**electric**  
ENERGY AND AUTOMATION

# Wydajne zasilacze prądu stałego: seria PRObas firmy Weidmüller

Dwanaście wariantów od 5 do 48 V dla optymalnych rozwiązań w zakresie zarządzania energią – teraz dostępne na Conrad Sourcing Platform.

- Wysoka efektywność energetyczna dzięki dużej sprawności
- Elastyczne możliwości zastosowania
- Bezpieczne, niezawodne i kompatybilne



← Wysoka wydajność, kompaktowa konstrukcja i optymalny bilans energetyczny to cechy wyróżniające nowe zasilacze PRObas firmy Weidmüller. Rodzina produktów obejmuje dwanaście wariantów z napięciem 5, 12, 24 lub 48 V DC

Źródło: Weidmüller

Jednym z najważniejszych elementów w obszarze zastosowań automatyzacyjnych jest zasilanie napięciem DC. W najlepszym przypadku jest ono bezpieczne i stabilne, a ponadto energooszczędne, co pozwala na obniżenie kosztów. Zwłaszcza wrażliwe na koszty miniaturowe maszyny wymagają ekonomicznych zasilaczy. Dwanaście wysokoefektywnych wariantów serii PRObas firmy Weidmüller jest teraz dostępnych na Conrad Sourcing Platform. Dr Christian Dülme, dyrektor zarządzający DACH w firmie Weidmüller, chwali w tym kontekście współpracę dystrybucyjną:

– Doceniamy szybkie wdrażanie nowych produktów na conrad.pl oraz ukierunkowane podejście do klientów. Otrzymujemy również pozytywne opinie z rynku na temat integracji elektronicznych katalogów Conrad z systemami zakupowymi naszych wspólnych klientów z sektora przemysłowego.

## Wysoka sprawność zmniejsza zużycie energii

Jednofazowe zasilacze impulsowe z serii PRObas firmy Weidmüller osiągają dzięki innowacyjnym komponentom, układom i mechanice sprawność sięgającą nawet 95% i charakteryzują się wyjątkowo niskimi stratami energii w trybie jałowym. Taka efektywność ma bezpośredni, pozytywny wpływ na koszty eksploatacji. Co więcej, ograniczone zapotrzebowanie na energię stanowi cenny wkład w zrównoważony rozwój w zastosowaniach przemysłowych.

## Indywidualne, kompaktowe i wytrzymałe

Zasilacze PRObas sprostają każdemu wyzwaniu: dwanaście wariantów z napięciem wyjściowym 5, 12, 24 lub 48 V DC oraz szerokozakresowym wejściem oferuje wartość MTBF przekraczającą milion godzin, co czyni je gotowymi do realizacji różnorodnych zadań. Przy szerokości obudowy wynoszącej zaledwie 23 do 59 mm zajmują wyjątkowo mało miejsca i mogą być montowane zarówno na szynach DIN, jak i bezpośrednio na ściankach paneli. Szeroki zakres temperatur pracy od  $-25$  do  $+70^{\circ}\text{C}$  umożliwia ich zastosowanie również w trudnych warunkach klimatycznych.

## Prosta integracja i użytkowanie na całym świecie

Za pomocą PRObas możliwa jest również budowa systemów zarządzania energią: wszystkie urządzenia są kompatybilne z elektronicznymi bezpiecznikami, zasilaczami DC-UPS oraz modułami diodowymi firmy Weidmüller, co umożliwia elastyczną rozbudowę systemów zasilania w złożonych aplikacjach. Bezpieczna praca nawet w wymagających warunkach, łatwa integracja oraz możliwość zastosowania na całym świecie są gwarantowane dzięki zaawansowanym funkcjom ochronnym oraz międzynarodowym certyfikatami. □

Conrad Electronic SE  
conrad.pl

Your  
**B2B**  
partner

**Tak!** Zawsze dostępna  
odpowiednia technologia  
budynkowa. Z Conrad.

Ponad 1 milion produktów



[conrad.pl/tak-z-conrad](https://conrad.pl/tak-z-conrad)

All parts of success

**CONRAD**

# Czyste powietrze w miejscu pracy dzięki ZeroSmog Guard od Weller

Nowość na platformie zakupowej Conrad – systemy odciągu dymu lutowniczego z serii ZeroSmog Guard marki Weller. To idealne uzupełnienie szerokiej oferty producenta.

- Skuteczność filtrowania pyłów drobnych na poziomie 99,95% oraz neutralizacja zapachów
- Ekstremalnie cicha praca
- Kompaktowa konstrukcja, łatwa obsługa i minimalne wymagania konserwacyjne



Marka Weller od lat jest synonimem wydajnych stacji lutowniczych, a równie dużą wagę przywiązuje do kwestii ochrony zdrowia w miejscu pracy.

– Jako światowy lider w produkcji sprzętu do lutowania doskonale rozumiemy, jak ważne jest zapewnienie czystego i zdrowego środowiska pracy. Nasz nowy system odciągu oparów lutowniczych ZeroSmog Guard, dostępny teraz w trzech wariantach także za pośrednictwem platformy zakupowej Conrad. To najcichsze rozwiązanie tego typu na rynku. W połączeniu z nową, kompaktową i wydajną stacją lutowniczą WT1M, zapewnia pracownikom nie tylko elastyczność i wysoką jakość pracy, ale także komfort oddychania czystym powietrzem – mówi Marcel Teller, Senior Director, Global Product Management i R&D w Weller Tools.

## Niski poziom hałasu i oszczędność miejsca

ZeroSmog Guard to wyjątkowo cichy i niezawodny system odciągu oparów lutowniczych. Nawet podczas pracy ciąglej poziom hałasu nie przekracza 50 dB, co czyni go jednym

↑ System ZeroSmog Guard firmy Weller usuwa z powietrza szkodliwe cząstki, dym i gazy dzięki trójstopniowej filtracji

Źródło: Weller Tools GmbH

z najcichszych rozwiązań dostępnych na rynku. Dzięki kompaktowej konstrukcji urządzenie można z łatwością umieścić pod stołem, maksymalnie wykorzystując przestrzeń roboczą. Do wyboru są trzy modele ZeroSmog Guard: podstawowy ZeroSmog Guard Light, rozszerzona wersja ZeroSmog Guard – wyposażona dodatkowo we wskaźnik stanu filtra, regulację siły ssania, filtr  $\text{KMnO}_4$  oraz opcjonalnego pilota zdalnego sterowania oraz model ZeroSmog Guard 2, który oferuje te same funkcje, a przy tym przystosowany jest do obsługi dwóch stanowisk pracy jednocześnie.

## 3-stopniowy, skuteczny proces filtrowania

Podblatowy wyciąg dymu ZeroSmog Guard firmy Weller zapewnia wyjątkowo skuteczne oczyszczanie powietrza, osiągając wydajność na poziomie 99,95%. Urządzenie usuwa



Źródło: Weller Tools GmbH

szkodliwe dla zdrowia substancje dzięki trójstopniowemu systemowi filtracji. W pierwszym etapie większe cząstki zostają wychwycone przez wstępny filtr pyłów drobnych. Następnie filtr HEPA klasy H13 o dużej powierzchni efektywnie eliminuje pyły zawieszone. W trzecim etapie szerokozakresowy filtr gazowy, składający się w 50% z węgla aktywnego i w 50% z nadmanganianu potasu (w modelach ZeroSmog Guard i ZeroSmog Guard 2), przekształca szkodliwe substancje chemiczne, opary oraz kleje w nieszkodliwe gazy. Dodatkowo ZeroSmog Guard skutecznie neutralizuje również nieprzyjemne zapachy.

### **Prosta konserwacja i bezpieczna eksploatacja**

Produkty z serii ZeroSmog Guard są zabezpieczone przed wyładowaniami elektrostatycznymi (ESD), które choć nieszkodliwe dla człowieka, mogą stanowić zagrożenie dla urządzeń elektronicznych i ich komponentów. System działa w sposób inteligentny: monitoruje stan filtra i automatycznie sygnalizuje konieczność jego wymiany, zapewniając tym samym optymalne warunki do utrzymania czystego i bezpiecznego środowiska pracy.

### **Praktyczne akcesoria dostępne w zestawie**

Za pośrednictwem Conrad Sourcing Platform dostępne są trzy modele urządzeń ZeroSmog Guard marki Weller, dostarczane standardowo z filtrem głównym oraz pięcioma filtrami wstępnymi. Dodatkowo wybrane zestawy oferują praktyczne akcesoria. ZeroSmog Guard Light Kit 1 zawiera wąż o średnicy 75 mm, dyszę ALFA oraz uchwyt mocujący do stołu. ZeroSmog Guard Kit 1 ALFA wyposażony jest dodatkowo w zawór odcinający. ZeroSmog Guard 2 Kit 2 przeznaczony do obsługi dwóch stanowisk pracy, a w zestawie ma węże, dysze ALFA, zawory stołowe do montażu węży oraz zawory odcinające (zarówno do urządzeń stołowych, jak i typu WFV).

Jako światowy lider w produkcji sprzętu do lutowania doskonale rozumiemy, jak ważne jest zapewnienie czystego i zdrowego środowiska pracy. Nasz nowy system odciągu oparów lutowniczych ZeroSmog Guard, dostępny teraz w trzech wariantach także za pośrednictwem platformy zakupowej Conrad. To najcichsze rozwiązanie tego typu na rynku.

**– Marcel Teller,**

Senior Director, Global Product Management i R&D w Weller Tools

### **Kompatybilność ze stacjami lutowniczymi WT1M**

Jednokanałowe stacje lutownicze WT1M firmy Weller (95 W) to doskonale uzupełnienie serii produktów ZeroSmog Guard. Można je ustawiać jedna na drugiej, co ułatwia organizację stanowiska pracy. Charakteryzują się wszechstronnością – sprawdzają się zarówno przy lutowaniu nanelementów, jak i mikroelementów. Mają krótką fazę nagrzewania i intuicyjną obsługę. Podczas pracy ze stacjami WT1M systemy odciągu dymu ZeroSmog Guard i ZeroSmog Guard 2 uruchamiają się automatycznie w momencie rozpoczęcia lutowania. Stacje lutownicze WT1M są dostępne również w czterech zestawach z różnymi akcesoriami. □

**CONRAD**

Conrad Electronic SE

conrad.pl

# Nowa biała księga: Jak radzić sobie z nieplanowanym zapotrzebowaniem

Minimalizacja kosztów przestoju, zapewnienie gotowości dostaw – praktyczne strategie dla przemysłu i działów zaopatrzenia.

- **Możliwość działania w przypadku nagłego braku kluczowych komponentów**
- **Analiza i ocena w celu obniżenia kosztów**
- **Podjęcie strategicznych środków zapobiegawczych, aby uniknąć powtórzenia się sytuacji**

Nieprzewidziane potrzeby to dla zakładów produkcyjnych codzienne wyzwanie. Nawet najlepsze planowanie nie wyeliminuje ryzyka nagłych przestoju spowodowanych awariami elektrycznymi, uszkodzeniami materiałów, zmianami konstrukcyjnymi czy czynnikami środowiskowymi. W takich sytuacjach ważne staje się szybkie działanie, aby uniknąć strat finansowych i utraty klientów. W nowej białej księdze zespół Conrad Electronic prezentuje szczegółowe analizy oraz sprawdzone w praktyce metody, które pomagają ograniczyć ryzyko związane z nieplanowanymi potrzebami i utrzymać ciągłość dostaw w trakcie trwającej produkcji.

## Nieplanowane zapotrzebowanie to nie wyjątek

„Nieplanowane zapotrzebowanie nie jest wyjątkiem, lecz stałym elementem produkcji przemysłowej” – podkreślono w raporcie. Mimo stosowania działań prewencyjnych w zakresie utrzymania ruchu, zawierania umów ramowych czy strategicznego gromadzenia zapasów, wciąż zdarzają się sytuacje, gdy nagle brakuje kluczowych komponentów. Nowy raport przedstawia sposoby, w jakie przedsiębiorstwa mogą skutecznie radzić sobie z tym wyzwaniem i zwiększać swoją odporność operacyjną. Szczególnie narażone są małe i średnie firmy, które – w przeciwieństwie do dużych koncernów – często nie dysponują wystarczającymi rezerwami kadrowymi, jasno określonymi procedurami awaryjnymi czy elastycznymi ścieżkami zaopatrzenia.

## Przyczyny, wskaźniki, metody

Nieplanowane zapotrzebowanie w złożonych procesach produkcyjnych jest zjawiskiem, którego nie da się całkowicie wyeliminować, jednak dzięki odpowiedniemu przygotowaniu można skutecznie nim zarządzać. Nasza biała księga skierowana jest do osób odpowiedzialnych za zakupy w przedsiębiorstwach przemysłowych i MŚP, a także do specjalistów ds. utrzymania ruchu. Analizuje najczęstsze przyczyny występowania takiego zapotrzebowania oraz przedstawia kluczowe wskaźniki umożliwiające ocenę kosztów. Ważnym elementem opracowania są strategie ograniczania ryzyka



↑ Nowy raport firmy Conrad pokazuje, w jaki sposób przedsiębiorstwa mogą wcześniej rozpoznawać nieplanowane zapotrzebowanie i podejmować ukierunkowane działania zaradcze

Źródło: Success Media – stock.adobe.com (zdjęcie po lewej stronie) / Illustration generated by ChatGPT-4o, April 2025 (zdjęcie po prawej stronie)

nieplanowanych potrzeb, obejmujące m.in. analizę prognozy rentowności, drugie źródło dostaw, klasyfikacje ABC-XYZ oraz procedury awaryjne. Poruszono także zagadnienia związane z ustalaniem odpłacalnych poziomów zapasów bezpieczeństwa, wdrażaniem inteligentnych strategii dostaw oraz tworzeniem przejrzystych modeli decyzyjnych dla działów technicznych i zakupowych.

## Skompresowana wiedza do pobrania

Praktyczne informacje dla wszystkich, którzy chcą uporządkować procesy zapewnienia ciągłości dostaw, ograniczyć koszty przestoju i zachować pełną zdolność działania nawet w sytuacjach niedoboru. Nowa biała księga „Nagle przestoje maszyn spowodowane nieplanowanym zapotrzebowaniem” jest już dostępne bezpłatnie do pobrania na platformie Conrad Sourcing: [conrad.pl/szybka-reakcja](https://conrad.pl/szybka-reakcja). □

Conrad Electronic SE  
conrad.pl

Lenze



# Cyberbezpieczeństwo w budowie maszyn. Jak sprostać wymaganiom CRA

W obliczu wymagań Cyber Resilience Act producenci maszyn potrzebują rozwiązań, które łączą funkcjonalność automatyki z wysokim poziomem bezpieczeństwa. Oznacza to konieczność współpracy z partnerami, którzy integrują kompetencje w obu tych obszarach i skutecznie wspierają wdrażanie nowych wymagań.

## Bezpieczne maszyny w praktyce – od czego zacząć

Podstawą skutecznego podejścia do cyberbezpieczeństwa jest koncepcja „security by design”, stosowana przez Lenze. Oznacza ona projektowanie systemów w taki sposób, aby mechanizmy ochrony były integralną częścią ich architektury – a nie dodatkiem wdrażanym dopiero po pojawieniu się zagrożeń.

### Kluczowe zasady budowy bezpiecznych maszyn

#### Projektowanie architektury bezpieczeństwa

Bezpieczeństwo komunikacji i dostępu powinno być definiowane już na etapie koncepcji. W praktyce obejmuje to stosowanie szyfrowanych protokołów, segmentację sieci oraz precyzyjne określenie, które urządzenia i użytkownicy mogą się ze sobą komunikować.

#### Wczesne wykrywanie podatności

Producenci powinni regularnie przeprowadzać testy bezpieczeństwa i audyty, aby identyfikować potencjalne

**Podstawą skutecznego podejścia do cyberbezpieczeństwa jest koncepcja „security by design”, stosowana przez Lenze. Oznacza ona projektowanie systemów w taki sposób, aby mechanizmy ochrony były integralną częścią ich architektury – a nie dodatkiem wdrażanym dopiero po pojawieniu się zagrożeń.**

## Producenci maszyn

- Opracowywanie koncepcji bezpieczeństwa maszyn
- Ochrona danych oraz know-how użytkowników końcowych
- Zapobieganie przestojom u użytkowników końcowych
- Zapewnienie zgodności przepisami



## Lenze

- Dostarczanie komponentów automatyki o wysokim poziomie bezpieczeństwa
- Ochrona danych i know-how klientów w całym cyklu życia
- Wsparcie eksperckie dla klientów
- Zgodność z przepisami i normami



Wszystkie nasze produkty muszą być zgodne z Cyber Resilience Act i spełniać najwyższe standardy w zakresie szyfrowania, kontroli dostępu oraz wykrywania zagrożeń.

– **Jürgen Rijkers**,

Head of Product Management w Lenze

zagrożenia. W praktyce oznacza to m.in. testy penetracyjne, przeglądy kodu oraz korzystanie z narzędzi wykrywających znane podatności.

### Zarządzanie aktualizacjami

Cyberbezpieczeństwo nie kończy się wraz z dostarczeniem maszyny. Kluczowe znaczenie ma możliwość bezpiecznego wdrażania aktualizacji oprogramowania i firmware'u, przy zachowaniu ciągłości pracy systemu.

### Kontrola dostępu i uwierzytelnianie

Zastosowanie mechanizmów takich jak uwierzytelnianie wieloskładnikowe (MFA), model kontroli dostępu oparty na rolach (RBAC) oraz jednoznaczna identyfikacja urządzeń pozwala ograniczyć dostęp do systemu wyłącznie do uprawnionych użytkowników.

### Ochrona przed zagrożeniami

Zabezpieczenia takie jak firewall, systemy IDS oraz rozwiązania antywirusowe umożliwiają wykrywanie i neutralizowanie ataków, w tym malware i ransomware.

### Zgodność z normami

Standardy takie jak IEC 62443, ISO 27001 czy wymagania dyrektywy NIS-2 stanowią podstawę budowy spójnej strategii bezpieczeństwa.

### Cyber Resilience Act – obowiązki producentów

Cyber Resilience Act wprowadza obowiązkowe wymagania cyberbezpieczeństwa dla produktów z elementami cyfrowymi. Obejmuje cały **cykl życia produktów**, nakładając

na producentów obowiązek **zarządzania podatnościami**, zapewnienia regularnych aktualizacji oraz **raportowania incydentów**.

W odpowiedzi na te wyzwania firma Lenze integruje odpowiednie mechanizmy cyberbezpieczeństwa w swoich rozwiązaniach już na etapie projektowania.

– Wszystkie nasze produkty muszą być zgodne z Cyber Resilience Act i spełniać najwyższe standardy w zakresie szyfrowania, kontroli dostępu oraz wykrywania zagrożeń – podkreśla Jürgen Rijkers, Head of Product Management w Lenze.

Podejście to znajduje potwierdzenie w certyfikacji. Lenze posiada certyfikat IEC 62443-4-1 (TÜV Rheinland), który potwierdza stosowanie bezpiecznego cyklu rozwoju oprogramowania. Równocześnie firma rozwija rozwiązania zgodne z poziomem Security Level 2 według IEC 62443-4-2.

### Technologie wspierające bezpieczeństwo maszyn

Rozwiązania stosowane przez producentów systemów napędowych umożliwiają wdrożenie kluczowych mechanizmów bezpieczeństwa w praktyce. Lenze zapewnia:

- **Szyfrowaną komunikację (OPC UA)** – ochrona transmisji danych,
- **Tworzenie i przywracanie kopii zapasowych** aplikacji i oprogramowania,
- **Uwierzytelnianie użytkowników i usług** – kontrola dostępu do systemów,
- **Zapory sieciowe (X500, sterowniki)** – filtrowanie ruchu sieciowego,
- **VPN (X500)** – bezpieczny dostęp zdalny,
- **Ochronę własności intelektualnej** – kodowanie aplikacji PLC.

## Cyberbezpieczeństwo nie kończy się wraz z dostarczeniem maszyny.

Kluczowe znaczenie ma możliwość bezpiecznego wdrażania aktualizacji oprogramowania i firmware'u, przy zachowaniu ciągłości pracy systemu.

Dzięki temu producenci maszyn mogą łatwiej implementować wymagania bezpieczeństwa bez konieczności budowania ich od podstaw.

## Cyberbezpieczeństwo w całym cyklu życia maszyny

Lenze wspiera ochronę w pełnym cyklu życia produktu, od projektowania, przez wdrożenie, aż po serwis i aktualizacje. Obejmuje to m.in.:

- bezpieczne mechanizmy aktualizacji,
- wykorzystanie szyfrowanych protokołów (OPC UA, HTTPS, SSH, SFTP),
- zarządzanie podatnościami i poprawkami,

Takie podejście pozwala producentom OEM rozwijać maszyny i wprowadzać nowe funkcje bez zwiększania ryzyka cyberataków.

## Transparentność i zarządzanie podatnościami

Istotnym elementem cyberbezpieczeństwa jest szybka identyfikacja i komunikacja zagrożeń. Lenze udostępnia informacje bezpieczeństwa w ustandaryzowanej formie:

- **security.txt (RFC 9116)** – kontakt dla zgłoszeń podatności
- **CERT@VDE** – oficjalne komunikaty bezpieczeństwa
- **CSAF** – dane w formacie do automatycznego przetwarzania

## Współpraca jako fundament bezpieczeństwa

Współpraca między producentami maszyn a dostawcami rozwiązań automatyki jest dziś kluczowa dla skutecznego podejścia do cyberbezpieczeństwa. Istotny jest przy tym jasny podział obowiązków i odpowiedzialności, który pozwala skutecznie zarządzać ryzykiem na każdym etapie cyklu życia produktu. Dzięki połączeniu kompetencji, znajomości norm oraz sprawdzonych technologii możliwe jest tworzenie rozwiązań, które łączą innowacyjność z bezpieczeństwem. □



Lenze Polska Sp. z o.o.

ul. Roździeńskiego 188 B, 40-203 Katowice

tel. 32 203 97 73, biuro.pl@lenze.com

www.lenze.com

Reklama

# Wydajne, skalowalne i intuicyjne sterowanie ruchem?

Przemienniki i serwonapędy  
Lenze...

# AND GO.

PORTFOLIO





# NIS2 w zakładzie przemysłowym. Czy uwzględniłeś system UPS w analizie ryzyka OT?

Od 3 kwietnia 2026 r. obowiązuje w Polsce nowelizacja ustawy o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa wdrażająca dyrektywę NIS2. Dla podmiotów kluczowych lub ważnych oznacza to zarządzanie ryzykiem cyberbezpieczeństwa. W przemyśle analiza nie powinna kończyć się na sterownikach PLC, systemach SCADA, sieciach komunikacyjnych i dostępie zdalnym. Powinna obejmować zasoby, od których zależy dostępność procesu.

## UPS jako element ciągłości działania

Jednym z takich zasobów może być system zasilania gwarantowanego (UPS). Jeżeli zasila sterowniki, serwery, komunikację lub systemy nadzoru, jego niedostępność może wpłynąć na pracę OT. Jeżeli dodatkowo komunikuje się z otoczeniem zakładu albo jest monitorowany, warto ująć go w dokumentacji połączeń, dostępu i odpowiedzialności.

NIS2 nie wymaga konkretnego zasilacza UPS i żadne pojedyncze urządzenie nie zapewnia zgodności z regulacją. Nowe obowiązki obejmują jednak m.in. zarządzanie ryzykiem, obsługę incydentów, ciągłość działania i bezpieczeństwo łańcucha dostaw. Pytanie brzmi: czy system zasilania wspierający krytyczne elementy OT został uwzględniony w analizie ryzyka?

## Od regulacji do praktyki OT

Pomocną ramą techniczną jest IEC 62443 – seria norm dotyczących bezpieczeństwa przemysłowych systemów automatyki i sterowania. Jej logika jest praktyczna: trzeba znać zasoby, ich rolę, połączenia i odpowiedzialności, a następnie dobierać środki ochrony.

W przypadku zasilacza UPS warto sprawdzić:

- jakie odbiorniki zasila i czy są istotne dla procesu;
- jakie interfejsy komunikacyjne są wykorzystywane;
- czy UPS jest monitorowany i kto odpowiada za konfigurację;
- czy rejestrowane są zdarzenia i istnieje procedura reakcji.

Taka inwentaryzacja może ujawnić niepotrzebne połączenia, brak właściciela technicznego, nieaktualną dokumentację albo dawno nieweryfikowaną konfigurację urządzenia chroniącego ważne odbiorniki.

## Monitoring wymaga kontroli

Monitorowanie zasilacza UPS pozwala obserwować pracę urządzenia i zdarzenia energetyczne, a w odpowiedniej konfiguracji wspierać bezpieczne zamykanie systemów komputerowych. W rozwiązaniach EVER funkcję tę może realizować **PowerSoft Professional**.



↑ Dobór, integracja i uruchomienie systemu UPS w zakładzie wymagają analizy rzeczywistej infrastruktury oraz obciążeń

Znaczenie ma jednak sposób wdrożenia: gdzie działa oprogramowanie, jakie urządzenia obsługuje, kto ma dostęp do konfiguracji i kto reaguje na alarmy. Każde aktywne połączenie powinno mieć uzasadnienie, właściciela oraz dokumentację.

Przykładem rozwiązania dla infrastruktury przemysłowej jest **EVER POWERLINE GREEN 33 PRO** – trójfazowy UPS online VFI z funkcjami komunikacji i monitoringu. Jego wdrożenie powinno uwzględniać nie tylko moc i czas podtrzymania, lecz także integrację z infrastrukturą zakładu.

## Dostawca także podlega ocenie

Analiza ryzyka powinna obejmować również dostawcę rozwiązania. Przy wyborze zasilacza UPS warto pytać o interfejsy, monitoring, dokumentację, wsparcie i serwis. Lokalny producent nie eliminuje ryzyk, może jednak ułatwić dostęp do wiedzy technicznej i serwisu. Właściwy dobór systemu



← Pomiar rzeczywistych parametrów instalacji wspierają właściwy dobór systemu zasilania gwarantowanego do potrzeb zakładu

zasilania powinien opierać się na rozpoznaniu chronionych odbiorników, wymaganej ciągłości działania oraz rzeczywistych warunków pracy instalacji.

Cyberbezpieczeństwo OT zaczyna się od wiedzy: co jest krytyczne, co komunikuje się z otoczeniem, kto tym zarządza i jak zakład zareaguje na zdarzenie. Jeżeli UPS wspiera automatykę, komunikację lub systemy nadrzędne, nie powinien pozostać poza analizą ryzyka. □

### Czy system zasilania gwarantowanego został uwzględniony w analizie ryzyka Twojego zakładu?

Zweryfikuj krytyczne odbiorniki, komunikację i monitoring z ekspertami EVER.

Centrum Zasilania EVER: [ever.eu/centrum-zasilania](http://ever.eu/centrum-zasilania)

EVER Sp. z o.o.  
ever.eu

Reklama

**EVER**  
POWER SYSTEMS

NIS2 w praktyce przemysłowej

# Uwzględnij system UPS w analizie ryzyka OT

Zasilanie sterowników, serwerów i komunikacji przemysłowej warto uwzględnić w analizie ryzyka oraz planowaniu ciągłości działania.



**Dobór UPS**  
do istniejącej infrastruktury



**Integracja**  
z obecną instalacją



**Monitoring**  
i rejestracja zdarzeń



**Wsparcie**  
techniczne EVER



**Bezpłatna konsultacja i dobór systemu zasilania**  
[ever.eu/centrum-zasilania](http://ever.eu/centrum-zasilania)



**UPS EVER**  
**POWERLINE GREEN 33 PRO**  
**10-40 kVA**

# Bezpieczeństwo funkcjonalne w systemach napędowych.

## Jak skutecznie chronić ludzi, maszyny i procesy

Współczesne zakłady produkcyjne stają się coraz bardziej zautomatyzowane, a wymagania dotyczące bezpieczeństwa stale rosną. Wraz ze wzrostem wydajności maszyn i dynamiki procesów produkcyjnych rośnie również znaczenie funkcji bezpieczeństwa, które stanowią dziś jeden z kluczowych elementów projektowania nowoczesnych systemów napędowych. W praktyce oznacza to konieczność zapewnienia, że nawet w przypadku awarii urządzenia lub błędu systemu maszyna przejdzie do bezpiecznego stanu w sposób kontrolowany i przewidywalny. Coraz częściej odpowiedzialność za realizację tych funkcji spoczywa bezpośrednio na układzie napędowym.

### Od bezpieczeństwa mechanicznego do inteligentnego napędu

Jeszcze kilka lat temu funkcje bezpieczeństwa realizowano głównie za pomocą zewnętrznych przekaźników, styczników oraz rozbudowanego okablowania. Obecnie producenci maszyn oczekują rozwiązań bardziej kompaktowych, łatwiejszych w integracji i pozwalających ograniczyć koszty projektowania oraz uruchomienia instalacji. Odpowiedzią na te potrzeby są nowoczesne przetwornice częstotliwości wyposażone w zintegrowane funkcje bezpieczeństwa. Dzięki temu część zadań związanych z ochroną operatorów i maszyn realizowana jest bezpośrednio przez napęd, bez konieczności stosowania dodatkowych komponentów.

**Obecnie producenci maszyn oczekują rozwiązań bardziej kompaktowych, łatwiejszych w integracji i pozwalających ograniczyć koszty projektowania oraz uruchomienia instalacji.**

Odpowiedzią na te potrzeby są nowoczesne przetwornice częstotliwości wyposażone w zintegrowane funkcje bezpieczeństwa.



Takie podejście nie tylko upraszcza architekturę systemu, ale również pozwala ograniczyć liczbę połączeń elektrycznych, skrócić czas uruchomienia oraz zwiększyć niezawodność całej instalacji.

### Dlaczego bezpieczeństwo funkcjonalne jest tak istotne?

Funkcje bezpieczeństwa mają za zadanie minimalizować ryzyko wynikające z niebezpiecznych ruchów maszyn. Dotyczy to zarówno ochrony ludzi, jak i zabezpieczenia urządzeń, materiałów oraz zapewnienia ciągłości produkcji.

W wielu branżach – od intralogistyki, przez przemysł spożywczy, aż po sektor opakowaniowy – spełnienie wymagań norm bezpieczeństwa jest dziś warunkiem koniecznym do dopuszczenia maszyny do eksploatacji. Wymagania te określają między innymi normy PN-EN 61508 oraz PN-EN 13849-1, definiujące poziomy SIL (*Safety Integrity Level*) oraz PL (*Performance Level*). Rozwiązania NORD umożliwiają realizację aplikacji wymagających poziomów bezpieczeństwa SIL2 i SIL3 oraz PL „d” i „e”.

### Najważniejsze funkcje bezpieczeństwa w napędach

Nowoczesne falowniki oferują wiele funkcji pozwalających dopasować reakcję napędu do konkretnego zagrożenia.

Najbardziej podstawową funkcją jest STO (*Safe Torque Off*), czyli bezpieczne wyłączenie momentu obrotowego. Po

**Spełnienie wymagań norm bezpieczeństwa jest dziś warunkiem koniecznym do dopuszczenia maszyny do eksploatacji. Rozwiązania NORD umożliwiają realizację aplikacji wymagających poziomów bezpieczeństwa SIL2 i SIL3 oraz PL „d” i „e”.**

jej aktywacji silnik przestaje generować moment, a napęd zatrzymuje się. Rozwiązanie to odpowiada zatrzymaniu kategorii 0 według normy PN-EN 60204-1 i stanowi fundament bezpieczeństwa funkcjonalnego w systemach napędowych.

W aplikacjach wymagających kontrolowanego zatrzymania wykorzystywana jest funkcja SS1 (*Safe Stop 1*). Napęd najpierw wyhamowuje silnik zgodnie z określoną rampą, a następnie automatycznie aktywuje funkcję STO. Dzięki temu możliwe jest bezpieczne zatrzymanie nawet układów o dużej bezwładności.

Coraz większą popularność zdobywają również funkcje związane z monitorowaniem prędkości. SLS (*Safe Limited Speed*) umożliwia bezpieczną pracę maszyny przy

Reklama



## Zdecentralizowana rozwiązania napędowe

- ▶ Szybka integracja z AS-Interface i innymi systemami komunikacji
- ▶ Odporna konstrukcja do pracy bezpośrednio na maszynie
- ▶ Prostsza instalacja, łatwa diagnostyka i niższe koszty eksploatacji
- ▶ Mniejsza ilość szaf sterowniczych, więcej elastyczności systemu



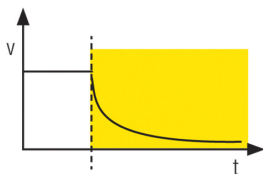
**DRIVESYSTEMS**

Our Solution. Your Success.

## Przegląd funkcji bezpieczeństwa

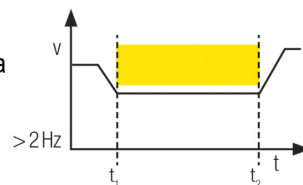
### STO - Safe Torque Off

Bezpiecznie wyłącza moment obrotowy, zapobiegając nieoczekiwanemu uruchomieniu bez przerywania zasilania.



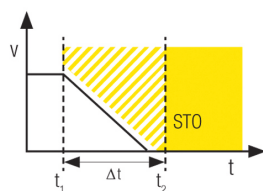
### ▶ SLS - Safely Limited Speed

Monitoruje prędkość i ogranicza ją do bezpiecznych wartości, aby zapobiegać zagrożeniom.



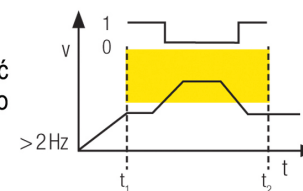
### SS1-t - Safe Stop 1 z monitorowaniem czasu

Wyzwała zwalnianie silnika z kontrolowanym czasowo wykonaniem funkcji STO.



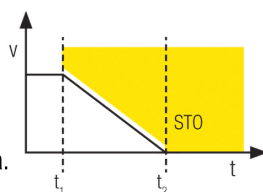
### ▶ SSM - Safe Speed Monitor

Ciągle monitoruje, czy prędkość pozostaje poniżej bezpiecznego limitu i wysyła ostrzeżenia lub powoduje zatrzymanie.



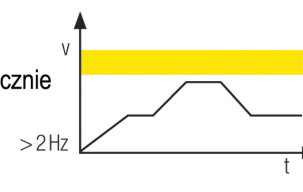
### SS1-r - Safe Stop 1 z monitorowaniem rampy

Wyzwała zwalnianie silnika za pomocą funkcji STO z monitorowaniem rampy zwalniania.



### ▶ SMS - Safe Maximum Speed

Stale monitoruje maksymalną dozwoloną prędkość i automatycznie uruchamia określoną funkcję bezpieczeństwa, np. STO, jeśli zostanie ona przekroczona.



ograniczonej prędkości, co jest szczególnie przydatne podczas przebrojeń lub czynności serwisowych. Z kolei SSM (*Safe Speed Monitor*) przekazuje bezpieczną informację o osiągnięciu określonego poziomu prędkości, a SMS (*Safe Maximum Speed*) nadzoruje, czy nie została przekroczona wartość maksymalna.

## Ethernet – bezpieczeństwo bez dodatkowego okablowania

Rosnąca popularność sieci przemysłowych sprawia, że coraz większego znaczenia nabierają rozwiązania wykorzystujące bezpieczną komunikację sieciową. Zamiast prowadzić osobne przewody dla sygnałów bezpieczeństwa, producenci maszyn mogą korzystać z protokołów takich jak PROFIsafe, FSoE (*Fail Safe over EtherCAT*) czy CIP Safety.

Takie podejście umożliwia przesyłanie danych związanych z bezpieczeństwem przez istniejącą infrastrukturę Ethernet, ograniczając koszty instalacji oraz upraszczając projektowanie maszyn. Dodatkowo zapewnia większą elastyczność podczas modernizacji i rozbudowy systemów produkcyjnych.

## NORD – bezpieczeństwo funkcjonalne zintegrowane z napędem

NORD DRIVESYSTEMS konsekwentnie rozwija koncepcję bezpieczeństwa funkcjonalnego opartego bezpośrednio na napędzie. Najnowsze rozwiązania firmy umożliwiają integrację funkcji bezpieczeństwa z wykorzystaniem standardowych sieci przemysłowych, takich jak PROFINET czy EtherCAT, za pośrednictwem protokołów PROFIsafe i FSoE.

Szczególną uwagę zwracają zdecentralizowane przemienniki częstotliwości NORDAC ON, NORDAC LINK oraz NORDAC FLEX, które oferują szeroki zakres funkcji

bezpieczeństwa realizowanych bez konieczności stosowania dodatkowych enkoderów. Dzięki bezpiecznym wejściom i wyjściom możliwe jest również bezpośrednie podłączanie urządzeń takich jak wyłączniki awaryjne, kurtyny świetlne czy czujniki bezpieczeństwa.

Takie rozwiązanie pozwala projektantom maszyn tworzyć bardziej przejrzyste i skalowalne architektury sterowania, jednocześnie spełniając rygorystyczne wymagania norm bezpieczeństwa.

## Bezpieczeństwo jako element efektywności

Choć bezpieczeństwo funkcjonalne kojarzy się przede wszystkim z ochroną ludzi i maszyn, jego wpływ na efektywność produkcji jest równie istotny. Odpowiednio dobrane funkcje bezpieczeństwa pozwalają ograniczyć nieplanowane przestoje, skrócić czas przebrojeń oraz zwiększyć dostępność maszyn.

Integracja funkcji bezpieczeństwa bezpośrednio w napędzie umożliwia redukcję liczby komponentów, uproszczenie dokumentacji oraz łatwiejsze zarządzanie całym systemem. W efekcie bezpieczeństwo staje się nie tylko wymogiem normatywnym, ale również realnym źródłem oszczędności i przewagi konkurencyjnej.

W świecie nowoczesnej automatyki to właśnie połączenie bezpieczeństwa, efektywności i prostoty integracji staje się jednym z najważniejszych kryteriów wyboru systemów napędowych. Rozwiązania NORD pokazują, że wszystkie te cele można realizować jednocześnie. □

NORD Napędy Sp. z o.o.

www.nord.com

# CONTROL-TECH 2026 już we wrześniu w Targach Kielce

W dniach 22–24 września 2026 roku Targi Kielce ponownie staną się centrum nowoczesnych technologii za sprawą CONTROL-TECH 2026 – cały przemysł spotka się na najważniejszych targach techniki pomiarowej i badań NDT w Polsce.

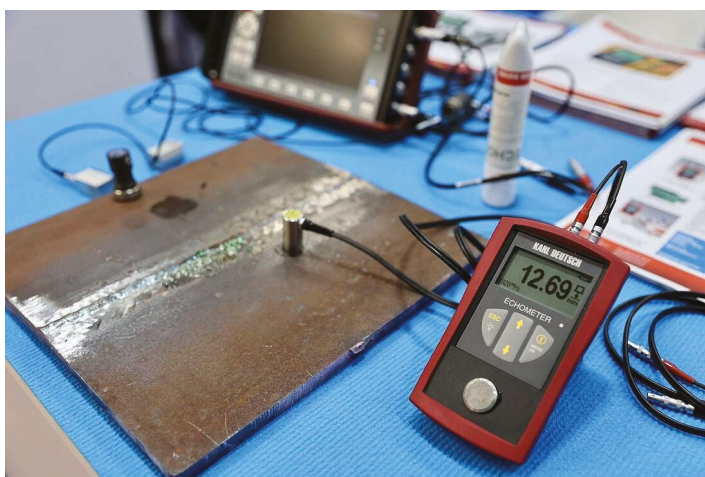
Wydarzenie, organizowane w ramach Przemysłowej Jesieni, zgromadzi przedstawicieli wielu gałęzi przemysłu, prezentując najnowsze rozwiązania z zakresu techniki pomiarowej, metrologii oraz badań nieniszczących (NDT). Co roku wydarzenie przyciąga ekspertów, producentów, dostawców technologii i praktyków reprezentujących kluczowe sektory przemysłu, tworząc międzynarodową platformę wymiany doświadczeń, wiedzy i kontaktów biznesowych.

Podczas edycji 2026 wystawcy zaprezentują szerokie spektrum nowoczesnych rozwiązań dla przemysłu – od specjalistycznych pomiarów i aparatury analitycznej, przez technologie badań materiałów, po przyrządy testujące oraz komponenty do zaawansowanych systemów metrologicznych. Ekspozycji towarzyszyć będą branżowe seminaria i wykłady ekspertów poświęcone najnowszym trendom oraz innowacjom wpływającym na rozwój współczesnego przemysłu.

Istotnym atutem wydarzenia jest jego szeroki zakres branżowy. CONTROL-TECH odbywa się w ramach cyklu Przemysłowa Jesień w Targach Kielce, obejmującego także Międzynarodowe Targi Odlewnictwa METAL, targi HEAT TREATMENT, ALUMINIUM & NONFERMET, RECYKLING oraz FilVent. Dzięki synergii wydarzeń uczestnicy zyskują dostęp do kompleksowej oferty dla przemysłu metalurgicznego, odlewniczego, obróbki cieplnej, recyklingu i nowoczesnych technologii produkcyjnych.

Międzynarodowy charakter targów podkreśla współpraca z portalem Foundry-Planet GmbH – jedną z najważniejszych światowych platform informacyjnych dla branży odlewniczej, która została globalnym partnerem medialnym targów METAL, HEAT TREATMENT i CONTROL-TECH 2026.

Najbliższa edycja targów CONTROL-TECH odbędzie się 22–24 września 2026 roku w Targach Kielce. Wydarzenie będzie okazją do poznania najnowszych technologii, nawiązania międzynarodowych kontaktów biznesowych oraz zdobycia praktycznej wiedzy. □



# Układ 3DM-CV7 marki MicroStrain

IMU (*Inertial Measurement Unit* – Inercyjna Jednostka Pomiarowa) to zaawansowany układ elektroniczny, który śledzi ruch, położenie i orientację obiektu w przestrzeni. W miarę jak autonomia staje się coraz bardziej powszechna w różnych branżach, w tym w dronach powietrznych, robotach naziemnych i pojazdach rolniczych, zapotrzebowanie na kompaktowe, dokładne i solidne rozwiązania nawigacyjne stale rośnie. W środowiskach, w których sygnały GNSS są przerywane, degradowane lub niedostępne, bezwładnościowe systemy nawigacyjne odgrywają kluczową rolę w utrzymywaniu wiarygodnych szacunków położenia, prędkości i orientacji.

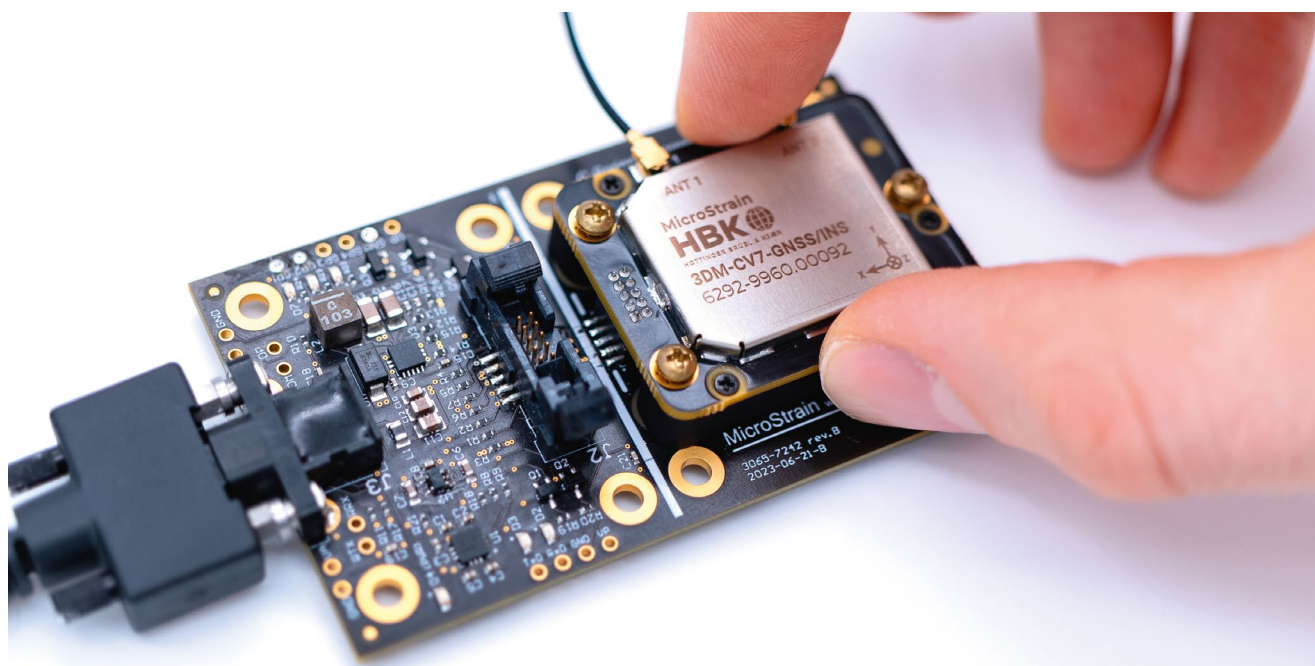
Rodzina produktów 3DM-CV7 marki MicroStrain, obejmująca systemy odniesienia położenia i kierunku (AHRS), bezwładnościowe systemy nawigacyjne (INS) oraz bezwładnościowe systemy nawigacyjne wspomagane przez GNSS (GNSS/INS), została zaprojektowana tak, aby sprostać tym potrzebom poprzez zapewnienie wysokiej wydajności bezwładnościowego pomiaru w kompaktowej, ekonomicznej obudowie. Zbudowany wokół precyzyjnie skalibrowanej matrycy IMU i obsługiwany przez ściśle zintegrowany system synchronizacji czasu, 3DM-CV7 osiąga poziom wydajności typowy dla znacznie większych i droższych systemów.

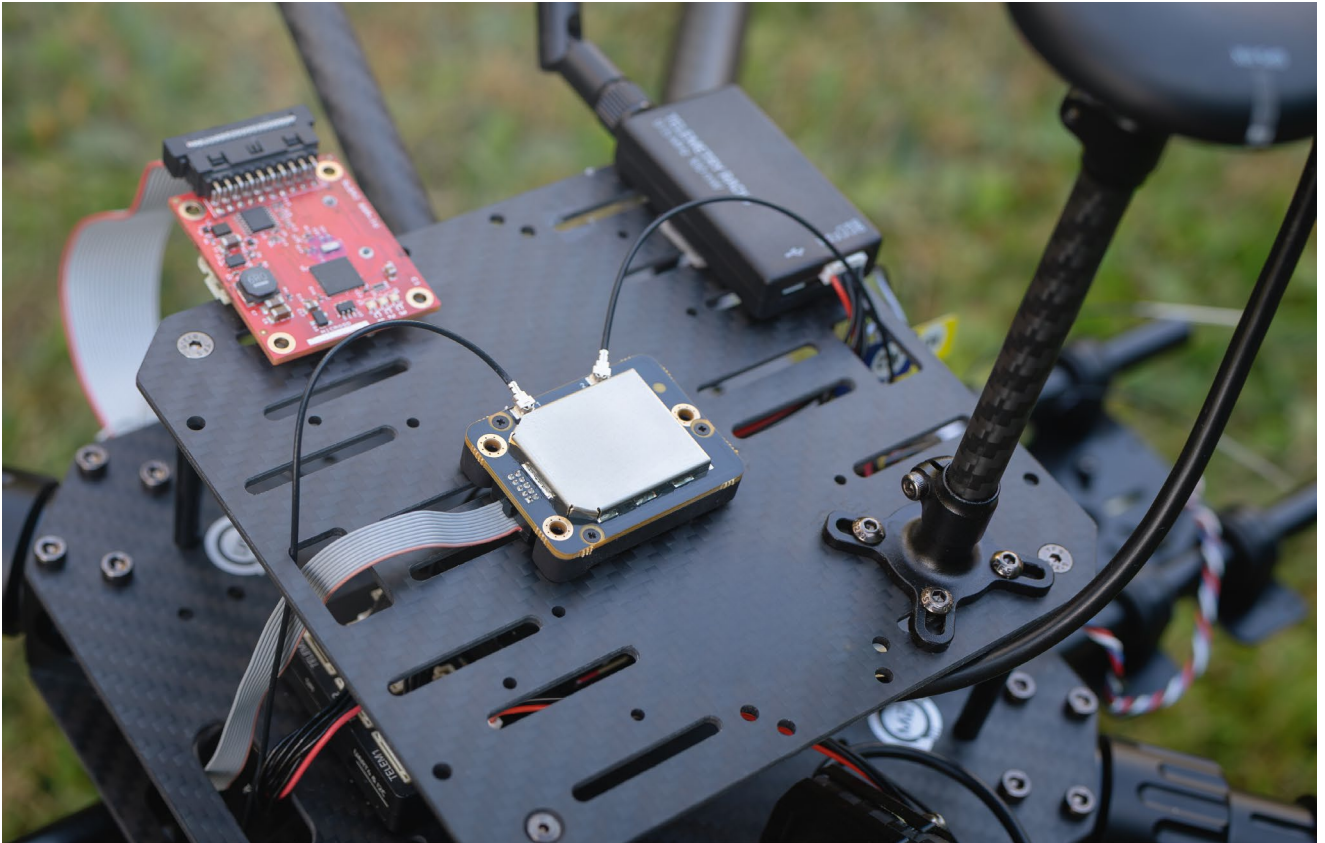
Sercem każdego modułu 3DM-CV7 jest inercyjna jednostka pomiarowa (IMU), która mierzy przyspieszenie liniowe i prędkość kątową z dużą częstotliwością. W zastosowaniach GNSS/INS pomiary IMU i GNSS są łączone, tworząc płynne, szybkie rozwiązanie nawigacyjne, które zachowuje dokładność nawet podczas przerw w działaniu GNSS lub degradacji sygnału. Nawet drobne błędy w odchyleniu, współczynniki skali lub wyrównaniu osi mogą szybko

**Zbudowany wokół precyzyjnie skalibrowanej matrycy IMU i obsługiwany przez ściśle zintegrowany system synchronizacji czasu, 3DM-CV7 osiąga poziom wydajności typowy dla znacznie większych i droższych systemów.**

przerodzić się w duże błędy położenia lub orientacji. W środowiskach o obniżonej jakości sygnału GNSS jakość IMU bezpośrednio decyduje o ogólnej wydajności i niezawodności systemu nawigacji.

Moduły pomiarowe MEMS IMU są z natury wrażliwe na temperaturę, a ich odchylenie, niewspółosiowość i nieliniowość różnią się znacząco w całym zakresie temperatur. Czujniki MicroStrain przechodzą rygorystyczny proces kalibracji





termicznej z wykorzystaniem precyzyjnego, wieloosiowego stołu pomiarowego z wbudowaną komorą termiczną. Urządzenie to umożliwia kontrolowane wprowadzanie danych wejściowych prędkości kątowej i przyspieszenia do IMU, jednocześnie analizując regulowany profil temperatury, co umożliwia precyzyjną charakterystykę zachowań zależnych od temperatury. Aby zredukować wpływ szumów, nasz system wykorzystuje architekturę macierzy IMU zsynchronizowaną w czasie, która uśrednia sygnały wyjściowe z 4 niezależnych jednostek IMU MEMS w celu poprawy wydajności układu 3DM-CV7. Znaczenie dokładności znaczników czasu staje się oczywiste w aplikacjach wrażliwych na czas, takich jak wyrównywanie chmur punktów lidarowych. Zarówno w mapowaniu, jak i SLAM, synchronizacja danych lidarowych w przestrzeni i czasie ma kluczowe znaczenie dla dokładnego pozycjonowania.

Czujniki MicroStrain zostały zaprojektowane z myślą o łatwej integracji z szeroką gamą platform robotycznych (takich jak PX4, ROS 1 i ROS 2) i autonomicznych. Obsługują zarówno interfejsy szeregowy, jak i USB, co ułatwia integrację sprzętową w różnych systemach. Dla głębszej integracji oferujemy zestawy SDK w Pythonie i C++, dając programistom elastyczność pracy w preferowanych przez nich środowiskach. Nasz zespół inżynierów aplikacji służy pomocą w przypadku pytań, rozwiązywania problemów i integracji na poziomie systemu, pomagając zespołom w szybkim i pewnym uruchomieniu. □

**Biuro Inżynierskie Maciej Zajęczkowski**

[www.hbm.com.pl](http://www.hbm.com.pl)

Reklama

**HBM**  
HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH

WYŁĄCZNY  
PRZEDSTAWICIEL  
MARKI HBM NA  
TERENIE POLSKI

## BIURO INŻYNIERSKIE MACIEJ ZAJĘCZKOWSKI

ul. Krauthofera 16, 60-203 Poznań

tel./fax: 61 662 56 66

tel. kom. 501 607 400

info@hbm.com.pl

[www.hbm.com.pl](http://www.hbm.com.pl)



- TENSOMETRY OPOROWE I OPTYCZNE, ZBIORNIKOWE MODUŁY WAŻĄCE
- PRZETWORNIKI WAGI, SIŁY, MOMENTU OBROTOWEGO, DROGI I CIŚNIENIA
- WZMACNIACZE POMIAROWE O CZĘSTOTLIWOŚCI PRÓBKOWANIA NAWET DO 100 000 000 Hz
- OPROGRAMOWANIE DO ZASTOSOWAŃ LABORATORYJNYCH, PRZEMYSŁOWYCH I POMIARÓW DYNAMICZNYCH

# Przewozy kolejowe w cieniu cieśniny Ormuz

Tadeusz Blofer

Kryzys paliwowy związany z blokadą cieśniny Ormuz znalazł swoje odzwierciedlenie w rosnącym zainteresowaniu transportem intermodalnym. Laude Smart Intermodal jest pewne, że kolej i usługi intermodalne, obejmujące połączone przewozy drogowo-kolejowe, będą – jako bezpieczniejsze rozwiązania – zyskiwać na znaczeniu. Proces ten wymaga jednak czasu.

Zacznijmy od twardych danych – zdecydowanie podkreślił Marcin Witczak, prezes zarządu Laude Smart Intermodal. – W bezpośrednim następstwie kryzysu w cieśninie Ormuz stawki transportowe w przewozach samochodowych wzrosły średnio o 15–20%, podczas gdy w transporcie intermodalnym – tylko o kilka procent. Powód jest prosty: w tym drugim modelu logistycznym główny i najdłuższy odcinek drogi pokonuje się koleją, która jest napędzana energią elektryczną, a nie olejem napędowym.

Z tego już wprost wynika przekonanie wielu przewoźników i zleceniodawców, że przyszłość będzie należeć do kolei, a bieżący kryzys tylko to przyspieszy. Kluczowym argumentem za taką przyszłością transportu towarów jest fakt, że choćby w Polsce operatorzy kupują prąd w cenie ustalonej w rocznych kontraktach, a nawet w przypadku zakupów spotowych wzrost cen energii jest nieproporcjonalnie wysoki w porównaniu do wzrostu kosztów diesla.

– Z uwagi na wciąż dość słaby rynek przewozów kolejowych oraz ustabilizowanie cen energii nie praktykuje się kontraktowania długoterminowego energii pod ewentualne przewozy spotowe. W takim wypadku również energię zakupuje się na spocie, wobec czego konkurencyjność rozwiązań kolejowych w porównaniu z drogowymi ma związek z różnicą między ceną prądu i oleju napędowego w danym czasie. Warto jednak dodać, że tak duże wahania cen oleju napędowego, z jakimi mamy do czynienia w ostatnich tygodniach w Europie, zdecydowanie podwyższają świadomość zleceniodawców, którzy poszukują już nawet nie tylko tańszych, ale i stabilniejszych propozycji przewozowych. Jesteśmy przekonani, że w zależności od kierunku i zastosowanych rozwiązań kontenerowych doskonałą alternatywą wobec transportu opartego tylko na wykorzystaniu samochodów może – i powinien być – transport intermodalny. W tym przypadku różnorodność w ramach jednej usługi logistycznej jest dobrym



Wahania cen oleju napędowego, z jakimi mamy do czynienia w ostatnich tygodniach w Europie, zdecydowanie podwyższają świadomość zleceniodawców, którzy poszukują już nawet nie tylko tańszych, ale i stabilniejszych propozycji przewozowych.

– **Janusz Górski**,  
wiceprezes zarządu ds. operacyjnych  
w Laude Smart Intermodal

rozwiązaniem, a Laude ma możliwości i zasoby do ich realizacji w całej Europie – przekonuje Janusz Górski, wiceprezes zarządu ds. operacyjnych w Laude Smart Intermodal.

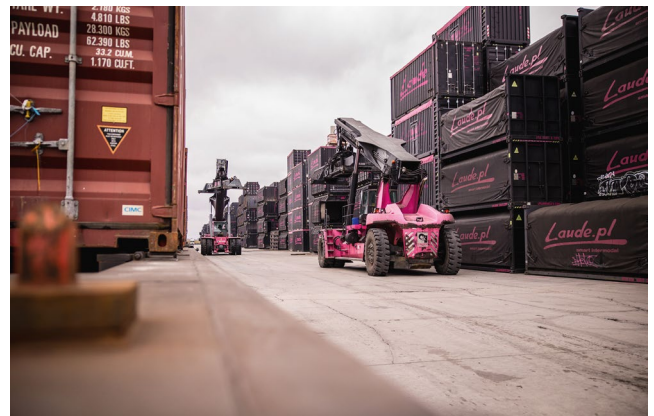
Oczywiście transport kolejowy jest zdecydowanie bardziej bezwładny, jeśli chodzi o zmiany cen energii i paliwa, niż transport drogowy. W krótkim okresie wzmaga się zainteresowanie i świadomość odbiorców usługi transportowej innych metod transportu, natomiast trwałych efektów przeniesienia można spodziewać się w średnim okresie, gdy zmiany ceny paliwa utrwala się, co przy obecnej sytuacji geopolitycznej nie jest jakkolwiek przewidywalne.

### Niepewność jeszcze potrwa

W branży od kilkunastu tygodni przewija się pytanie o konsekwencje kryzysu paliwowego i jego wpływ na przewozy kolejowe.

– Byłbym jednak ostrożny w formułowaniu opinii zakładających, że nastąpi jakiś gwałtowny przełom i odwrócenie tendencji – stwierdził Marcin Witczak. – Natomiast jeśli ceny paliwa ukształtują się na trwałe na wyższym poziomie – a wszystko za tym przemawia – zapewne wywoła to jeszcze większe zainteresowanie transportem intermodalnym.

Niemniej przewoźnicy drogowi świadczący przewozy poniżej realnych kosztów pracy, paliwa i zasobów długoterminowo będą musieli jeszcze bardziej podnieść ceny, inaczej po



prostu zbankrutują. Jedno jest pewne: wyższe ceny paliwa to wyższa inflacja, to dalsze zaciskanie pasa u odbiorców, a tym samym – zmniejszanie popytu. Gdy dołoży się do tego stagnację gospodarczą na zachodzie Europy i wysoką niestabilność geopolityczną na całym świecie, nie pozwala to patrzeć w przyszłość z optymizmem i nazywać „przełomem” kolejnego kryzysu rzutującego na całe gospodarki – stwierdził Marcin Witczak. – Oczywiście każdy kryzys daje równocześnie ciekawe możliwości. W Laude Smart Intermodal systematycznie chcemy zarówno rozwijać przewozy w ramach połączeń wewnątrz Unii Europejskiej, jak i sięgać po towary z Turcji i Azji Środkowej. Doświadczenie zdobyte w minionych latach i miesiącach będzie przekładać się na nowe trasy, pracujemy nad nimi z naszymi partnerami handlowymi – zapewnia prezes Witczak.

Póki co Laude Smart Intermodal widzi rosnące zainteresowanie przewozami intermodalnymi na trasach europejskich.

– Idąc za rynkowymi potrzebami, planujemy przyspieszyć rozbudowę siatki połączeń i częstotliwość między Zamościem, Śląskiem a Zagłębiem Ruhry do trzech razy w tygodniu jeszcze przed wakacjami – podsumowuje Marcin Witczak.

Laude Smart Intermodal, dzięki unikalnym rozwiązaniom technologicznym zastosowanym w swoich kontenerach, ma możliwość ich załadunku zarówno z boku, jak i z góry czy też z boku. Pozwala to transportować praktycznie każdy rodzaj ładunku. □

**Tadeusz Blofer**

Reklama

**PowerWalker**

**NOWE MOCE W EKIPIE UPS**  
**POWERWALKER VFI LICR IOT**

TERAZ TAKŻE 6000VA - 10000VA

DOWIEDZ SIĘ WIĘCEJ: [WWW.POWERWALKER.COM.PL](http://WWW.POWERWALKER.COM.PL)



LIFEPO4



DO 3X DŁUŻSZY  
CZAS PODTRZYMANIA



ONLINE



PF 1.0



IOT



APLIKACJA  
MOBILNA

# Tenarai Europe: przemyślane wdrożenie AI w przedsiębiorstwach to szybsze decyzje, mniej błędów, niższe koszty operacyjne i lepsze wykorzystanie pracowników

Michał Sablik

Zgodnie z wynikami badania „Jak polskie firmy wdrażają AI”, które na zlecenie EY przeprowadził CubeResearch wśród 499 średnich i dużych polskich firm w ostatnim kwartale 2025 r. aż 49% polskich przedsiębiorstw było w minionym roku rozczarowanych wdrożeniem sztucznej inteligencji.



Liczby z badania EY brzmią dramatycznie tylko z jednej strony: 49% firm jest rozczarowanych, 17% nie powtórzyło wdrożenia. Z drugiej strony ten sam raport mówi, że 51% firm osiągnęło lub przekroczyło swoje cele związane z AI, a 53% dzięki sztucznej inteligencji obniżyło koszty – zauważa Krystian Sperka, VP & Managing Director w Tenarai Europe, i dodaje: – Problem nie leży więc w technologii, leży w kolejności podejmowanych kroków.

Najczęstszy błąd, który można zauważyć w wielu – nie tylko zresztą polskich – firmach, to kupowanie modelu, zanim ktokolwiek zada pytanie, który proces biznesowy ma on usprawnić.

– Zgadzam się z opinią wyrażoną przez ekspertów z EY, że punktem wyjścia musi być konkretny problem operacyjny: czas reakcji, koszt jednostkowy, liczba błędów na linii, ścieżka decyzyjna w back office. W obszarze data & AI nie sprzedaje się modelu ani technologii. Sprzedaje się konkretny efekt

biznesowy. Dopiero wtedy AI przestaje być, jak to ujęła w jednej z prasowych wypowiedzi Iwona Kozera z EY Consulting, „kosztownym gadżetem” – stwierdził K. Sperka.

Drugi powód rozczarowań to pomijanie fundamentu. Niepełna 40% polskich firm dysponuje uporządkowaną bazą danych pozwalającą wyjść poza gotowe narzędzia. To jest właściwa diagnoza: bez integracji systemów źródłowych ERP, MES, danych telemetrycznych i bez warstwy analitycznej nawet najlepszy model pozostaje eksperymentem laboratoryjnym.

– W naszych projektach 60–70% pierwszych miesięcy to praca z danymi, nie z modelem. To nie jest atrakcyjny slajd dla zarządu, ale tu tkwi różnica między pilotażem a wdrożeniem produkcyjnym – podkreśla zdecydowanie Krystian Sperka. – I wreszcie: zmiana nie musi oznaczać rewolucji. – Firmom, które utknęły na trzecim poziomie dojrzałości AI, najczęściej polecam ścieżkę odwrotną do hype’u: dołożyć

Bez integracji systemów źródłowych ERP, MES, danych telemetrycznych i bez warstwy analitycznej nawet najlepszy model pozostaje eksperymentem laboratoryjnym. W naszych projektach 60–70% pierwszych miesięcy to praca z danymi, nie z modelem. To nie jest atrakcyjny slajd dla zarządu, ale tu tkwi różnica między pilotażem a wdrożeniem produkcyjnym.

– **Krystian Sperka**

VP & Managing Director w Tenarai Europe

agenta lub model do istniejącej, działającej aplikacji i zmierzyć efekt w zakresie jednego, wąsko zdefiniowanego procesu. Największy zwrot z AI przynosi dziś nie produkcja oprogramowania, tylko operacje biznesowe i obszary, gdzie wiedza domenowa spotyka się z technologią. My zaś nie jesteśmy już klasycznym dostawcą IT. Stajemy się partnerem w transformacji biznesowej opartej na agentach AI, rozwiązaniach, które nie tylko analizują dane, ale też samodzielnie podejmują działania w procesach klientów – podsumowuje K. Sperka.

#### Dane jako fundament. AI i agenci jako dźwignia

Krakowski zespół Tenarai od lat rozwija kompetencje w obszarze data & analytics oraz AI – i to właśnie tu widać dziś największe przesunięcie w sposobie pracy z klientami. Projekty zaczynają się zwykle od uporządkowania źródeł danych: integracji systemów produkcyjnych, ERP, MES czy danych telemetrycznych z linii technologicznych; następnie buduje się warstwę analityczną, na której można osadzać modele predykcyjne i rozwiązania AI. Bez tego fundamentu – jak podkreślają eksperci spółki – nawet najlepszy model pozostaje eksperymentem laboratoryjnym.

– W obszarze data & AI sprzedajemy klientom wymierny efekt biznesowy: szybsze decyzje, mniej błędów, niższe koszty

operacyjne, lepsze wykorzystanie ludzi tam, gdzie ich kompetencje są naprawdę potrzebne. A agenci AI są dziś najbardziej naturalnym sposobem, by ten efekt dowieźć wewnątrz procesów klienta, a nie obok nich – tłumaczą eksperci Tenarai.

Ważnym elementem tej oferty jest platforma Ignis – autorskie narzędzie spółki służące do projektowania, testowania i wdrażania rozwiązań AI, w tym całych zespołów współpracujących ze sobą agentów. Platforma pozwala skrócić czas, jaki mija od pomysłu i pierwszego PoC do produkcyjnego wdrożenia, z tygodni i miesięcy do dni.

Tenarai Europe (dawniej: Infogain Poland) działa w Polsce od 2020 r., kiedy to uruchomiono krakowskie centrum technologiczne, będące jednocześnie pierwszym polskim i europejskim hubem firmy. Od tego momentu stanowi centrum nearshore dla klientów z Europy i USA oraz jest ważnym ośrodkiem kompetencji AI i inżynierii oprogramowania. Polska spółka aktywnie uczestniczy w realizacji projektów m.in. w Rumunii i Urugwaju. □

Michał Sablik

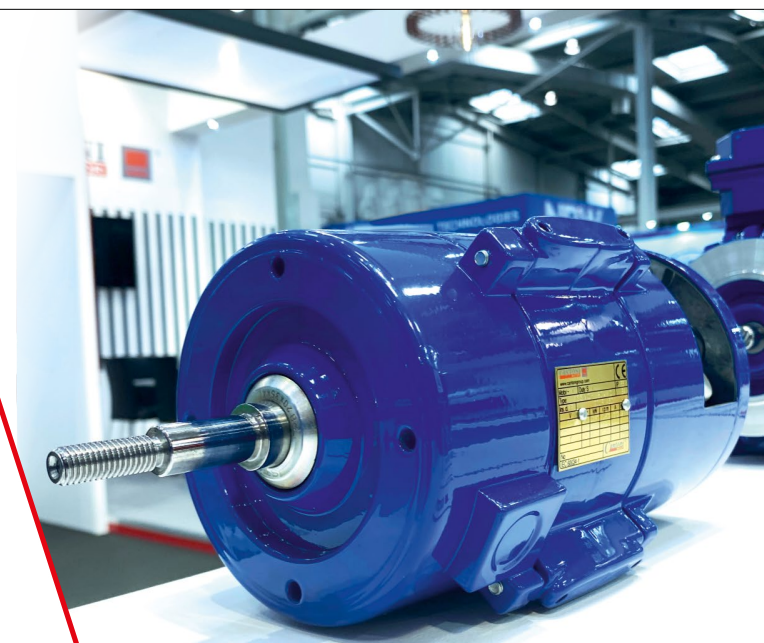
Reklama

**Cantoni**<sup>®</sup>  
GROUP



**Silniki elektryczne  
produkowane w Polsce  
od 0,04 kW do 7000 kW**

www.cantonigroup.com



Jednofazowy silnik w klasie sprawności IE4  
do napędu wentylatorów osiowych

# Transformacja biznesowa oparta na AI wymaga partnerstwa

Michał Sablik

Przemysłane i dopracowane wdrożenie AI w przedsiębiorstwach to szybsze decyzje, mniej błędów, niższe koszty operacyjne i lepsze wykorzystanie pracowników. Nadal zbyt często mamy jednak do czynienia z wdrażaniem modelu AI, zanim ktokolwiek zada pytanie, jaki proces biznesowy ma on usprawnić. Tymczasem w obszarze data & AI nie sprzedaje się modelu ani technologii. Sprzedaje się konkretny efekt biznesowy. Jeżeli jest inaczej, to fundujemy sobie co najwyżej kosztowny gadżet.

W polskim przemyśle nadal identyfikujemy wiele przestrzeni, które można usprawnić organizacyjnie, by zrationalizować koszty ich funkcjonowania. Możemy – i potrafimy to zrobić – w toku produkcji. Jesteśmy nadal stosunkowo małą globalną organizacją, której atutami pozostają elastyczność i szybkość działania – zapewnia Krystian Sperka i dodaje: – W wielu przypadkach, od momentu przyjęcia zadania do przedstawienia propozycji konkretnych rozwiązań, mija kilka godzin, ewentualnie kilka dni. Czasem już choćby dołożenie elementów AI do starej, ale działającej aplikacji przynosi wymierne efekty. Zmiana nie zawsze musi oznaczać rewolucję. Jako zespół potrafimy adaptować się do oczekiwań i uwarunkowań organizacyjnych, jakie zastajemy w przedsiębiorstwach.

Tenarai (dawniej: Infogain Poland) specjalizuje się w cloud i digital engineering, a obszar data & AI rozwija dziś w kierunku agentów AI działających wewnątrz procesów biznesowych klientów.

## Przemysł będzie się zmieniał

Tenarai realizuje przede wszystkim projekty łączące klasyczną analitykę z generatywną i agentową AI: od wykrywania nadużyć w procesach rozliczeniowych dużych przewoźników lotniczych (gdzie agenci AI wychwytyją przypadki pomijane przez tradycyjne silniki reguł), przez automatyzację testów end-to-end dla systemów rezerwacyjnych klasy enterprise, po wsparcie decyzji operatorów w przemyśle ciężkim, m.in. w hutnictwie i takich procesach jak cynkowanie ogniowe, gdzie kluczowe są parametry temperatury, czasu i bezpieczeństwa.

Cynkowanie to jeden z najskuteczniejszych sposobów zabezpieczenia stali przed korozją. Do najczęściej wykorzystywanych metod należy cynkowanie ogniowe, które polega na zanurzeniu elementu metalowego w cynku podgrzanym do temperatury ok. 450°C. Temperatura ta sprawia, że cynk może trwale złączyć się z powierzchnią metalową. To w wielkim skrócie, bo w rzeczywistości są to procesy wykonywane w różnym czasie i pełne zagrożeń dla ludzi i produktów. Począwszy od wstępnego i bardzo dokładnego oczyszczenia

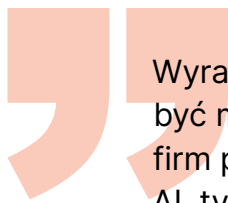


↑ Krystian Sperka, VP & Managing Director w Tenarai Europe

elementu, który będzie pokrywany cynkiem, przez obróbkę, trawienie, topnikowanie i osuszenie, aż po wystudzenie elementu pokrytego cynkiem w temperaturze 450°C.

– Dziś to ludzie dokonują wszelkich niezbędnych obliczeń związanych z przebiegiem każdego etapu w konkretnych procesach produkcyjnych. Czasem, zwłaszcza gdy chodzi o kwestie bezpieczeństwa i zagrożeń, dokonują oni subiektywnych ocen. Tymczasem AI może zrobić to szybciej, dokładniej i zgodnie z regułami BHP. Dziś, kiedy coraz częściej mamy problem z deficytem kompetencji i wykwalifikowanych pracowników, warto zadbać o to, aby nie obciążać ich pracą, z którą doskonale poradzi sobie oprogramowanie, odpowiednio dobrane i zasilane kluczowymi danymi – podkreślają eksperci krakowskiej spółki.

Przypomnijmy: wymiarowanie pracy potrzebnej na dany proces (inaczej: normowanie czasu pracy) jest kluczowe dla optymalizacji produkcji, planowania kosztów i zatrudnienia. Firmy mają tutaj różne rozwiązania, metody i systemy.



Wyraźnie trzeba podkreślić, że AI przestaje być modą, a staje się dźwignią. Dla polskich firm pytanie nie brzmi już, czy warto wdrażać AI, tylko jak utrzymać wzrost gospodarczy bez niej. I na to pytanie jak dotąd nikt w Europie nie ma dobrej odpowiedzi.

**– Krystian Sperka**

VP & Managing Director w Tenarai Europe

### Dane – jako fundament.

#### AI i agenci – jako dźwignia

– Nie od razu musimy wchodzić z naszymi systemami. Czasem zaczynamy od aktualizacji tych, którymi dysponują klienci, a następnie – od ich serwisowania. Jestem przekonany, że niekiedy warto do końca wykorzystywać pewien zapas, a może raczej – rezerwę systemową, która do pewnego momentu pozwala na dodawanie nowych funkcjonalności i usprawnianie działania zastanych rozwiązań technologicznych. Wtedy przejście na nowe aplikacje jest zdecydowanie łatwiejsze. To być może dłuższa droga, ale zdecydowanie elastyczniejsza i często łatwiejsza do implementacji – przekonuje Krystian Sperka i dodaje: – Dziś nie chodzi już o samo IT ani nawet o samo AI. Naszą rolę widzimy w budowaniu z klientami nowej generacji organizacji, opartej na agentach AI, którzy realnie współpracują z ludźmi w procesach biznesowych.

Dziś Tenarai chce być dla przedsiębiorstw produkcyjnych i usługowych zarówno partnerem transformacji opartej na AI, jak i projektantem procesów biznesowych prowadzonych przez agentów AI.

– Wyraźnie trzeba podkreślić, że AI przestaje być modą, a staje się dźwignią. Dla polskich firm pytanie nie brzmi już, czy warto wdrażać AI, tylko jak utrzymać wzrost gospodarczy bez niej. I na to pytanie jak dotąd nikt w Europie nie ma dobrej odpowiedzi – stwierdził Krystian Sperka.

Krakowski zespół Tenarai od lat rozwija kompetencje w obszarze data & analytics oraz AI – i to właśnie tu widać dziś największe przesunięcie w sposobie pracy z klientami. Projekty zaczynają się zwykle od uporządkowania źródeł danych: integracji systemów produkcyjnych, ERP, MES czy danych telemetrycznych z linii technologicznych, a następnie zbudowania warstwy analitycznej, na której można osadzać modele predykcyjne i rozwiązania AI. Bez tego fundamentu – jak podkreślają eksperci spółki – nawet najlepszy model pozostaje eksperymentem laboratoryjnym.

Ważnym elementem tej oferty jest platforma Ignis – autorskie narzędzie spółki służące do projektowania, testowania i wdrażania rozwiązań AI, w tym całych zespołów współpracujących ze sobą agentów. To ona pozwala skrócić drogę od pomysłu i pierwszego Proof of Concept do produkcyjnego wdrożenia z tygodni i miesięcy do dni.

W Polsce Tenarai działa od 2020 r., kiedy to uruchomiono krakowskie centrum technologiczne, będące jednocześnie pierwszym polskim i europejskim hubem firmy. Od tego momentu spółka stanowi centrum nearshore dla klientów z Europy i USA oraz jest ważnym ośrodkiem kompetencji AI i inżynierii oprogramowania. Polska spółka aktywnie uczestniczy w realizacji projektów m.in. w Rumunii i Urugwaju. □

 Michał Sablik

Reklama



### 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](http://www.stauff.pl)

# VIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Energoszczędne Napędy Przekształtnikowe w Przemysle” – ENPP 2026



VIII Konferencja ENPP odbyła się w dniach 10–12 czerwca 2026 r. w Kompleksie Pałacowo-Parkowym w Kamieniu Śląskim i zgromadziła ponad 100 przedstawicieli przemysłu i nauki.

Wydarzenie po raz kolejny zgromadziło przedstawicieli środowiska naukowego, przemysłowego oraz firm związanych z napędami elektrycznymi, energoelektroniką, automatyką, robotyką, odnawialnymi źródłami energii, magazynami energii i efektywnością energetyczną.

Tegoroczna edycja miała szczególny charakter również ze względu na jubileusz 30-lecia działalności firmy JADAN, która od trzech dekad łączy praktykę przemysłową z wiedzą techniczną, współpracą z uczelniami oraz wdrażaniem nowoczesnych rozwiązań dla przemysłu. Organizatorem merytorycznym konferencji była Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, natomiast organizatorem wykonawczym – JADAN Automatyka Przemysłowa.

W przygotowanie wydarzenia zaangażowane były również: Katedra Automatykacji Napędów i Robotyki Politechniki Opolskiej, Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki Politechniki Śląskiej, Katedra Aparatów Elektrycznych Politechniki Łódzkiej oraz Stowarzyszenie Elektryków Polskich – Oddział Opolski.

Konferencja odbyła się pod patronatem Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej, Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej – PTE-TiS oraz INOVA Centrum Innowacji Technicznych – Grupa KGHM. Patronat medialny nad wydarzeniem objął miesięcznik „elektro.info”.

Konferencja zgromadziła szerokie grono uczestników reprezentujących uczelnie wyższe, instytuty badawcze, energetykę, hutnictwo, górnictwo, przemysł cementowy, OZE, automatykę, napędy, chłodnictwo, firmy technologiczne, media branżowe oraz stowarzyszenia branżowe. W wydarzeniu uczestniczyli przedstawiciele m.in.: Akademii Pożarniczej, ArcelorMittal Poland, ASTAT Sp. z o.o., Danfoss Poland, „elektro.info”, Elma Energia Sp. z o.o., ENEA Wytwarzanie Sp. z o.o., ENERGOPOLON, Ennovation Technology Sp. z o.o., ESIX Sp. z o.o., Flex Wind, Fundacji Green Gaya, Głucholańskich Zakładów Papierniczych Sp. z o.o., Górażdże Cement S.A., INOVA Centrum Innowacji Technicznych, Instytutu Automatyki Systemów Energetycznych Sp. z o.o., Instytutu OZE Sp. z o.o., Instytutu Techniki Górniczej KOMAG, JADAN Automatyka Przemysłowa, KGHM CUPRUM Sp. z o.o. – CBR, KGHM



Polska Miedź S.A., KISIELEWSKI Sp. z o.o., Koła SEP przy Elektrowni Opole, mcr S.A., MEB Group POWER DESIGNERS, OPA-ROW Sp. z o.o., PAK Kopalnia Węgla Brunatnego Konin S.A., PGE GiEK S.A., PGE GiEK S.A. Elektrownia Opole, PGE GiEK S.A. Elektrownia Bełchatów, PGE Polska Grupa Energetyczna S.A., Politechniki Łódzkiej, Politechniki Opolskiej, Politechniki Śląskiej, Politechniki Wrocławskiej, „Poltegor-Instytut” – Instytutu Górnictwa Odkrywkowego we Wrocławiu, Pracowni Historycznej SEP w Opolu, Sopotkiej Akademii Nauk Stosowanych, Uniwersytetu Radomskiego, Zakładu Usług Chłodniczych, ZPH Eleks Sp. z o.o. oraz ZW Automation Sp. z o.o.

Tak szeroka reprezentacja potwierdziła interdyscyplinarny charakter konferencji ENPP oraz jej znaczenie jako miejsca wymiany doświadczeń pomiędzy nauką, przemysłem i praktyką inżynierską. Należy również podkreślić udział stowarzyszeń branżowych i środowisk technicznych, w tym SEP, SITMN oraz SITPH, a także przedstawicieli uczelni wyższych.

## Dziekani i przedstawiciele uczelni wyższych

W konferencji uczestniczyli dziekani oraz przedstawiciele uczelni wyższych reprezentujący kilka ośrodków akademickich:

- **Politechnika Wrocławska – Wydział Elektryczny:** prof. dr hab. inż. Waldemar Rebizant
- **Politechnika Wrocławska – Wydział Mechaniczno-Energetyczny:** prof. dr hab. inż. Halina Pawlak-Kruczek, dr hab. inż. Tomasz Hardy, prof. uczelni

- **Politechnika Wroclawska – Wydział Mechaniczny:** dr inż. Grzegorz Wszelaczyński, dr. Inż. Tadeusz Leśniewski
- **Politechnika Opolska – Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki:** prof. dr hab. inż. Marian Łukaniszyn, dr hab. inż. Ryszard Beniak, prof. PO
- **Politechnika Śląska – Wydział Elektryczny:** dr hab. inż. Zbigniew Kaczmarczyk, prof. PŚ
- **Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego – Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki:** dr hab. inż. Jerzy Szymański, prof. URad.
- **Politechnika Łódzka – Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki:** dr inż. Mariusz Jabłoński

Obecność przedstawicieli uczelni wyższych podkreśliła naukowo-techniczny charakter wydarzenia oraz znaczenie współpracy pomiędzy środowiskiem akademickim a przemysłem.

### Zakres tematyczny konferencji

Konferencja została podzielona na sesje tematyczne oraz najważniejsze obszary technologiczne, m.in.:

- projektowanie, dobór i eksploatację układów napędowych oraz urządzeń zasilanych z przemienników częstotliwości,
- elektromobilność w transporcie, przemyśle oraz maszynach ciężkich,
- bezprzerwowe systemy zasilania, UPS i magazyny energii,
- bezpieczeństwo instalacji OZE i magazynów energii,
- cyberbezpieczeństwo w przemyśle,
- efektywność energetyczną i poprawę sprawności układów przemysłowych,
- automatykę, robotykę oraz nowoczesne rozwiązania napędowe.

### DZIEŃ 1

- **UROCZYSTE OTWARCIE VIII KONFERENCJI ENPP 2026** – dr inż. Krzysztof Dyrz, dr inż. Maciej Gwoździewicz, mgr inż. Wiesław Jasina
- **WYKŁAD INAUGURACYJNY** – dr Piotr Rataj (Pracownia Historyczna SEP w Opolu): „Początki techniki prądu przemiennego trójfazowego na ziemiach polskich do końca XIX wieku”
- **I SESJA PLENARNA** – „Projektowanie, dobór i eksploatacja układów napędowych, w tym również współpracujących z OZE”. Przewodniczący: dr hab. inż. Zbigniew Kaczmarczyk.
  - dr inż. Mariusz Jabłoński – Politechnika Łódzka: „Nowoczesne napędy elektryczne i układy energoelektroniczne w przemyśle”
  - mgr inż. Grzegorz Bonikowski – Instytut Automatyki Systemów Energetycznych Sp. z o.o.: „Monitoring maszyn nie tylko wirujących – UNIKONT 2”
  - dr inż. Maciej Gwoździewicz – Stowarzyszenie Elektryków Polskich: „Silnik synchroniczny niskiego napięcia z magnesami trwałymi o rozruchu bezpośrednim PM4SIE355ML4B 315 kW z odlewaną klatką wirnika”



- dr inż. Andrzej Włóczyk – PGE GiEK S.A. Oddział Elektrownia Opole: „Poprawa stanu dynamicznego pomp w układzie technologicznym z napędem przekształtnikowym”
- Maciej Cielątkowski – Danfoss Poland: „Rola napędów elektrycznych w przemyśle”
- **II SESJA PLENARNA** – „Elektromobilność w transporcie i przemyśle, ze szczególnym uwzględnieniem maszyn sektora ciężkiego”. Przewodniczący: dr inż. Bartosz Polnik, mgr inż. Krzysztof Pawlik.
  - mgr inż. Krzysztof Pawlik – INOVA Centrum Innowacji Technicznych
  - mgr inż. Paweł Janicki – INOVA Centrum Innowacji Technicznych
  - dr inż. Piotr Hylla – Instytut Techniki Górniczej „KOMAG”: „Zastosowanie hybrydowych magazynów energii – zbadanie możliwości zwiększenia OZE w sumarycznej produkcji energii elektrycznej”
  - dr inż. Paweł Ewert – Politechnika Wroclawska: „Zastosowanie wybranych metod wibroakustycznych w diagnostyce niewyważenia wirników układów napędowych”
  - Michał Borowski – Ennovation Technology Sp. z o.o.: „Konwersja pojazdów spalinowych na elektryczne – rozwiązania techniczne, efektywność, wdrożenie”
- **III SESJA PLENARNA** – „Systemy zasilania bezprzerwowego i magazynowania energii, w tym również z udziałem OZE oraz z udziałem wodoru i energetyki wodnej”. Przewodniczący: prof. dr hab. inż. Halina Pawlak-Kruczek, mgr inż. Julian Wiatr.
  - prof. dr hab. inż. Halina Pawlak-Kruczek – Politechnika Wroclawska: „Alternatywne metody utylizacji gazu koksowniczego”
  - mgr inż. Julian Wiatr – „elektro.info”: „Poprawność doboru przewodów instalowanych wewnątrz rozdzielnic jako warunek minimalizacji zagrożeń pożarowych”
  - dr inż. Piotr Kisielewski – KISIELEWSKI Sp. z o.o.: „ENERGY TOWER – Wiatrowa i solarna wieża energetyczna z bateryjnym magazynem energii”
  - dr inż. Adam Bajcar – „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego we Wrocławiu: „Możliwości magazynowania energii w kopalniach odkrywkowych”



- Piotr Hawliczek – ENERGYPOLON: „Magazyny BESS dla prosumentów”
- dr hab. inż. Jerzy Szymański, prof. URad. – Uniwersytet Radomski: „Wysokosprawne napędy AC w przemyśle i transporcie. Osiągnięcia i wyzwania”

## DZIEŃ 2

- **WYKŁAD** – ks. prof. dr hab. Zygfryd Glaeser: „Energooszczędne rozwiązania technologiczne z wykorzystaniem OZE w kompleksie pałacowym w Kamieniu Śląskim”
- **IV SESJA PLENARNA** – „Bezpieczeństwo pracy instalacji OZE i magazynów energii. Cyberbezpieczeństwo oraz odporność na zagrożenia krytycznej infrastruktury energetycznej”. Przewodniczący: dr inż. Marta Żurek, dr hab. inż. Marcin Wolkiewicz.
  - Damian Filiks – mcr S.A.: „Zabezpieczenie ppoż. bateryjnych magazynów energii i innych zastosowań akumulatorów litowo-jonowych”
  - dr inż. Szymon Ptak – Akademia Pożarnicza: „Blackout. Doświadczenia z perspektywy (nie tylko) Państwowej Straży Pożarnej”
  - Łukasz Matyjasek – ELMA Energia Sp. z o.o.: „Kompensacja mocy biernej i regulacja napięcia za pomocą urządzeń STATCOM”
  - Marek Czech – PGE Polska Grupa Energetyczna S.A.: „Wyzwania cyberbezpieczeństwa OT w energetyce”
  - Wojciech Wiatr – Flex Wind: „Doświadczenia eksploatacyjne i serwisowe w predykcijnym utrzymaniu ruchu turbin wiatrowych”
  - dr inż. Andrzej Książkiewicz – ASTAT Sp. z o.o.: „Redukcja wyższych harmonicznych prądu w układzie przemysłowym z wykorzystaniem filtra aktywnego”
- **SESJA POSTEROWA + SESJA STUDENCKA (Koła Naukowe)**
- **V SESJA PLENARNA** – „Metody poprawy sprawności oraz efektywności energetycznej w transformacji procesów przemysłowych”. Przewodniczący: dr inż. Andrzej Włóczyk, dr inż. Piotr Żarczyński.
  - dr hab. inż. Zbigniew Kaczmarczyk, prof. PŚ – Politechnika Śląska: „Realizacja jedнопроводового przesyłu energii elektrycznej”



- Kamil Pawlak – ArcelorMittal Poland: „Model prognozowania jakości koksu z wykorzystaniem sztucznej inteligencji”
- Adam Juszcak – ArcelorMittal Poland: „Poprawa efektywności energetycznej w procesie produkcji koksu na przykładach rozwiązań w Koksowni Zdzeszowice”
- dr inż. Michał Kubecki – Instytut OZE Sp. z o.o.: „Pompy ciepła w systemach ciepłowniczych i przemysłowych. Odzysk ciepła w praktyce”
- dr inż. Grzegorz Wszelaczyński – Politechnika Wroclawska: „Wpływ smarowania natryskowego otwartych przekładni zębatach na zużycie kół zębatach i energii elektrycznej”

## • UROCZYSTE ZAKOŃCZENIE CZĘŚCI REFERATOWEJ VIII KONFERENCJI ENPP

## DZIEŃ 3

- **PRZEJAZD UCZESTNIKÓW KONFERENCJI DO ARCELORMITTAL POLAND – KOKSOWNIA ZDZIESZOWICE**
- **PRELEKCJADOTYCZĄCA ARCELORMITTAL POLAND – KOKSOWNIA ZDZIESZOWICE ORAZ ZWIEDZANIE NAJWIĘKSZEJ W EUROPIE KOKSOWNI W ZDZIESZOWICACH**  
dr inż. Piotr Żarczyński – ArcelorMittal Poland: „ArcelorMittal Poland – Koksownia Zdzeszowice”
- **WYCIECZKA ROWEROWA NA GÓRĘ ŚW. ANNY**
- **ZAKOŃCZENIE VIII KONFERENCJI ENPP**

Istotnym elementem programu były również sesje post-rowe i studenckie, które dały możliwość prezentacji aktualnych prac badawczych, nowych koncepcji technicznych oraz spojrzenia młodego pokolenia inżynierów na kierunki rozwoju energetyki, automatyki i nowoczesnych technologii przemysłowych.

Jednym z kluczowych tematów było cyberbezpieczeństwo w przemyśle, coraz silniej powiązane z automatyką, układami napędowymi, systemami sterowania oraz infrastrukturą przemysłową. Warto również wspomnieć o rozwiązaniach rozwijanych i prezentowanych przez JADAN, związanych m.in. z napędami energoelektronicznymi, przemiennikami



częstotliwości, układami pozycjonowania, automatyką przemysłową, robotyką, silnikami liniowymi oraz rozwiązaniami dla przemysłu przyszłości.

### Kolacja jubileuszowa z okazji 30-lecia firmy JADAN

Ważnym elementem konferencji była uroczysta kolacja jubileuszowa związana z obchodami 30-lecia firmy JADAN. Było to wydarzenie szczególne, łączące część konferencyjną z podsumowaniem trzech dekad działalności firmy. Kolacja zgromadziła przedstawicieli świata nauki, przemysłu, partnerów technologicznych oraz osoby, z którymi firma JADAN współpracowała przez lata, a jej uroczysty charakter uświetnił występ kwartetu smyczkowego.

Jubileusz 30-lecia firmy JADAN był nie tylko doskonałą okazją do świętowania, ale również do zaprezentowania ciągłości jej rozwoju – od współpracy z przemysłem i serwisu napędów, przez realizacje techniczne, aż po nowoczesne rozwiązania z zakresu automatyki, robotyki i energoelektroniki.

W trakcie kolacji prezes firmy JADAN, p. Wiesław Jasina, otrzymał wyróżnienie od p. Juliana Wiatra, redaktora naczelnego „Elektro.info” – statuetkę „VERBA DOCENT”, nadawaną przez czasopismo jako wyróżnienie dla wybranych i nielicznych osób za zasługi w rozwoju branży elektrotechnicznej.

### Sesja wyjazdowa do ArcelorMittal Poland – Koksownia Zdzeszowice

Konferencję zakończyła sesja wyjazdowa do ArcelorMittal Poland – Koksownia Zdzeszowice, pozwalająca uczestnikom zapoznać się z praktycznym wymiarem omawianych zagadnień w jednym z najważniejszych zakładów przemysłowych w regionie.



Sesja wyjazdowa była cennym uzupełnieniem programu konferencji, ponieważ połączyła część naukowo-techniczną z bezpośrednim kontaktem z przemysłem. Uczestnicy mieli możliwość zobaczenia rozwiązań technicznych funkcjonujących w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych oraz odniesienia tematów poruszanych podczas wykładów do praktyki dużego zakładu przemysłowego.

### Wycieczka rowerowa na Górę Św. Anny

Dodatkowym elementem integracyjnym była wycieczka rowerowa na Górę Św. Anny. Ten nieformalny akcent spotkał się z bardzo pozytywnym odbiorem ze strony uczestników. Tego typu inicjatywy sprzyjają budowaniu relacji i pokazują, że ENPP to nie tylko sesje techniczne, ale również doskonała przestrzeń do integracji środowiska branżowego. □

Do zobaczenia za rok!  
Wiesław Jasina z Zespołem JADAN



Politechnika Łódzka



Politechnika Śląska



Politechnika Wroclawska



# Analiza numeryczna efektywności różnych sposobów chłodzenia wirnika maszyn elektrycznych

 Bartłomiej Będkowski

## 1. Wstęp

Efektywne odprowadzanie ciepła z wirnika maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi stanowi jedno z kluczowych zagadnień determinujących ich trwałość, sprawność oraz bezpieczeństwo pracy. W szczególności dotyczy to silników z wirnikiem typu IPM (*Interior Permanent Magnet*), szeroko stosowanych w napędach pojazdów elektrycznych, w których prędkości obrotowe przekraczają 10 000 obr/min. Tak wysoka prędkość, w połączeniu z zazwyczaj ośmiobiegunową konstrukcją maszyny, generuje znaczące straty w obwodzie wirnika, prowadzące do jego nagrzewania.

Wzrost temperatury wirnika bezpośrednio wpływa na właściwości magnetyczne magnesów trwałych. Zbliżanie się temperatury pracy do wartości krytycznych może powodować pogorszenie parametrów pracy maszyny, a w skrajnych przypadkach prowadzić do rozmagnesowania magnesów i trwałego uszkodzenia napędu. Dlatego kluczowym elementem konstrukcji jest poprawnie zaprojektowany układ chłodzenia wirnika, który ogranicza nagrzewanie magnesów i stabilizuje warunki pracy maszyny [1–16].

W niniejszej pracy przeanalizowano dwa różne rozwiązania chłodzenia wirnika, wykonano ich modele numeryczne oraz przeprowadzono porównawcze symulacje przepływowo-ciepłne, mające na celu ocenę ich efektywności.

## 2. Analizowane rozwiązania konstrukcyjne układów chłodzenia wirnika

Analizując różne rozwiązania układów chłodzenia uwzględniono trzy odmienne koncepcje chłodzenia wirnika:

### Wirnik z wałem chłodzonym za pomocą cieczy (rys. 1)

W tym rozwiązaniu medium chłodzące (glikol) przepływa przez wydrążony kanał w wale, co umożliwia odbiór ciepła z centralnej części wirnika. Jest to konstrukcja wymagająca precyzyjnego wykonania w celu zapewnienia szczelności oraz odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej wału.

### Wirnik chłodzony olejem przepływającym przez wał i kanały w rdzeniu wirnika (rys. 2)

W tym przypadku przez specjalnie wykonane kanały chłodzące w wale i pakiecie wirnika przepływa olej. Jest to rozwiązanie najbardziej zaawansowane konstrukcyjnie, które

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono analizę numeryczną efektywności chłodzenia wirnika maszyn elektrycznych za pomocą dwóch rozwiązań konstrukcyjnych. Porównano efektywność chłodzenia wirnika za pomocą mieszaniny glikolu przepływającej przez drążony wał z chłodzeniem za pomocą oleju, który przepływa przez kanały w wale i pakiecie wirnika. Otrzymane wyniki odniesiono do standardowego rozwiązania wirnika bez dodatkowego chłodzenia  
Słowa kluczowe: obliczenia ciepłne, CFD, chłodzony wirnik, silnik z magnesami trwałymi, bezpośrednie chłodzenie wirnika, silnik z drążonym wałem

### Numerical analysis of the effectiveness of various rotor cooling methods

**Abstract:** A numerical analysis of the cooling effectiveness of the rotor in electrical machines using two structural solutions is presented in this paper. The effectiveness of rotor cooling using a glycol mixture flowing through a hollow shaft is compared with cooling using oil that flows through channels in the shaft and the rotor core. The obtained results are referenced to a standard rotor design without additional cooling.

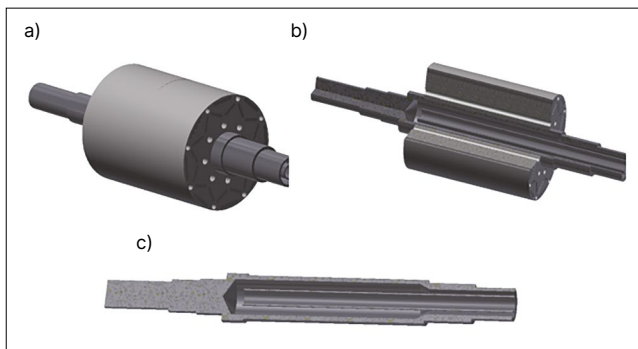
**Keywords:** thermal calculations, CFD, cooled rotor, permanent magnet motor, direct rotor cooling, hollow-shaft motor

wymagało uproszczeń geometrii w celu wykonania poprawnych symulacji. System taki pozwala na odbiór ciepła bezpośrednio z obszaru magnesów, co potencjalnie zapewnia najwyższą skuteczność chłodzenia.

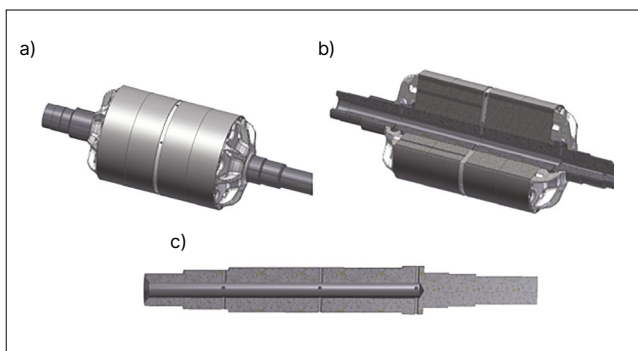
### Wirnik bez dodatkowego chłodzenia

Wariant referencyjny pozwalający ocenić wpływ naturalnego przewodzenia ciepła oraz oddziaływania termicznego od stojana. Brak aktywnego chłodzenia powoduje kumulację temperatury w obszarze magnesów oraz zwiększa wrażliwość na straty częstotliwościowe.

Dla każdego wariantu przygotowano trójwymiarowe modele w programie Autodesk Inventor, które posłużyły jako baza do analiz symulacyjnych.



↑ Rys. 1. Model 3D wirnika z chłodzonym wałem: a) model 3D wirnika, b) przekrój przez wirnik, c) widok kanału chłodzącego wał



↑ Rys. 2. Model 3D wirnika z kanałami olejowymi: a) model 3D wirnika, b) przekrój przez wirnik, c) widok kanałów olejowych w wałe

### 3. Budowa modeli numerycznych

Modele 3D wirników, po przygotowaniu w środowisku CAD, zostały zaimportowane do środowiska obliczeniowego CFD i uzupełnione o fizyczne modele medium chłodzącego (rys. 5 i 7), gdzie nadano im właściwości materiałowe (rys. 4 i 6) oraz zdefiniowano zestandaryzowane warunki brzegowe:

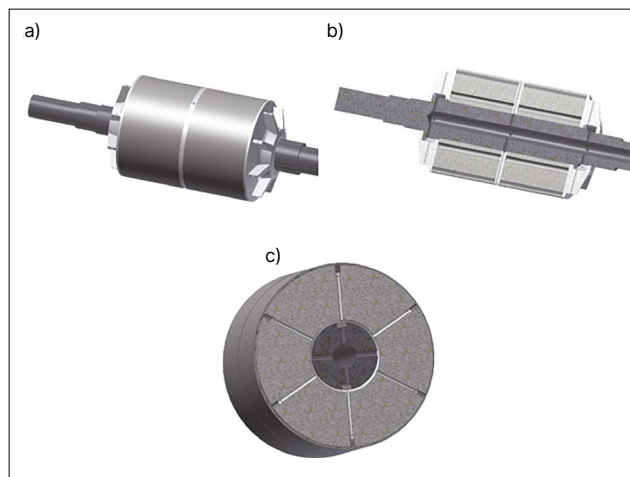
- straty ciepłe: 1 W na każdy magnes (łącznie 48 W w całym wirniku),
- temperatura stojana oddziałującego na wirnik: 100°C,
- przepływ medium chłodzącego: 25 l/min,
- temperatura medium chłodzącego: 40°C.

We wszystkich przypadkach uwzględniono te same parametry strat, temperatur oraz charakter przepływu, co pozwoliło na rzetelne porównanie efektywności układów chłodzenia.

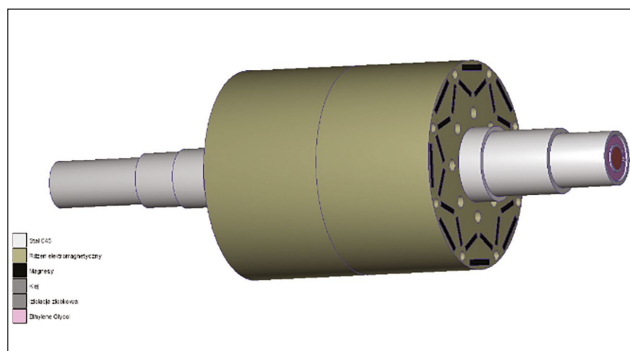
Modele 3D następnie zostały poddane dyskretyzacji (meshowaniu), przy czym wariant olejowy wymagał dodatkowych uproszczeń geometrii (rys. 3), aby uzyskać stabilność i poprawność obliczeń.

### 4. Symulacje numeryczne efektywności analizowanych układów

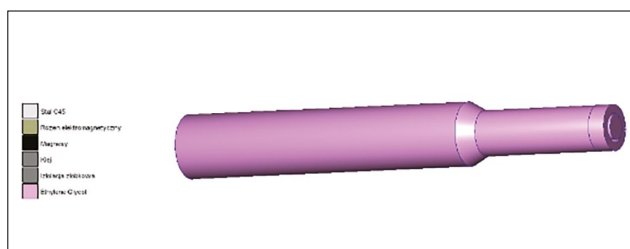
Na przygotowanych modelach obliczeniowych dokonano szeregu analiz. Symulacje numeryczne prowadzono jako analizy stacjonarne (steadystate) przepływu i wymiany ciepła. Uzyskane wyniki pozwoliły na wizualizację:



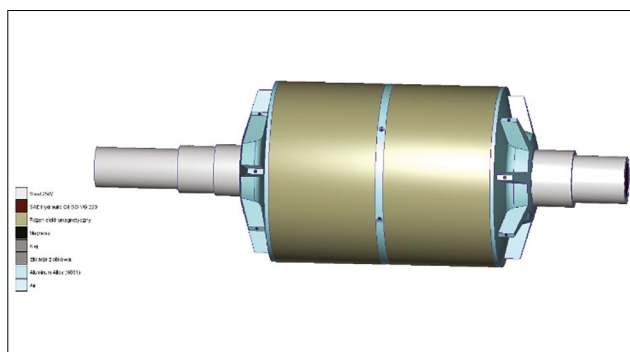
↑ Rys. 3. Uproszczony model 3D wirnika z kanałami olejowymi: a) model 3D wirnika, b) przekrój przez wirnik, c) widok kanałów olejowych w wirniku



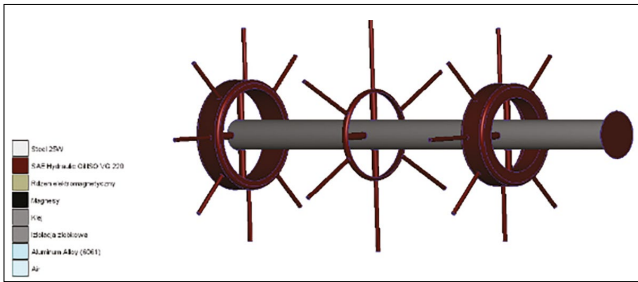
↑ Rys. 4. Model obliczeniowy 3D wirnika, z chłodzonym wałem, z nadanymi właściwościami materiałowymi



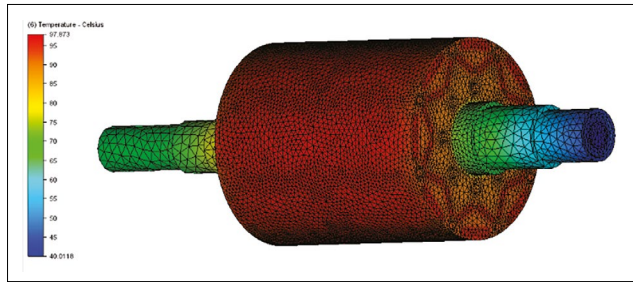
↑ Rys. 5. Model 3D cieczy chłodzącej (Glikol) wypełniającej wał wirnika



↑ Rys. 6. Model obliczeniowy 3D wirnika z kanałami olejowymi z nadanymi właściwościami materiałowymi



↑ Rys. 7. Model 3D cieczy chłodzącej (Olej ATF) wypełniającej rdzeń wirnika i wał



↑ Rys. 8. Zdyskretyzowany model wirnika z chłodzonym wałem za pomocą glikolu wraz z otrzymanym rozkładem pola temperatury

- przestrzennego rozkładu temperatury w wirniku (rys. 8, 10),
- pola prędkości przepływu medium chłodzącego w kanałach chłodzących (rys. 9, 11),
- miejsc kumulacji strat i obszarów największego gradientu temperaturowego (rys. 8, 10).

Otrzymano następujące wyniki dla poszczególnych przypadków:

**Brak dodatkowego chłodzenia (wariant referencyjny)**

Magnesy osiągają temperaturę do  $\sim 98^{\circ}\text{C}$ , co jest wartością bliską granicom bezpiecznej pracy dla tańszych typów magnesów NdFeB stosowanych w IPM. Wysoka temperatura sprzyja ryzyku rozmagnesowania.

**Chłodzenie wału cieczą**

Temperatura magnesów spadła do około  $86^{\circ}\text{C}$ , co daje zauważalne obniżenie temperatury oraz poprawę warunków pracy maszyny.

**Chłodzenie olejowe kanałami w wirniku**

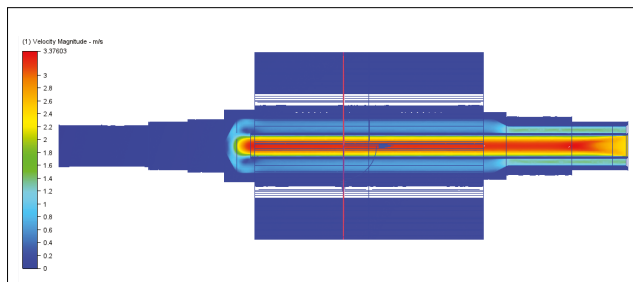
Najbardziej efektywny wariant – temperatura magnesów obniża się nawet do  $63^{\circ}\text{C}$ , co oznacza redukcję o około 35% w stosunku do przypadku bez chłodzenia. Układ ten zapewnia skuteczny odbiór ciepła w pobliżu magnesów, dzięki czemu istotnie stabilizuje ich temperaturę.

**5. Podsumowanie i wnioski końcowe**

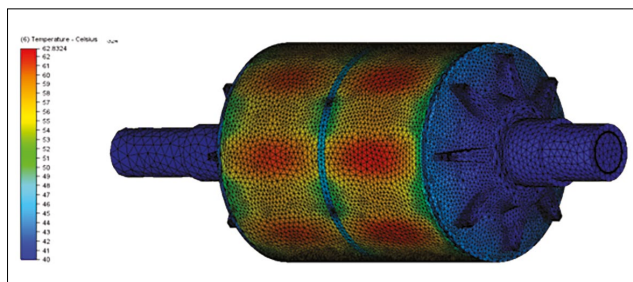
Przeprowadzone analizy i symulacje numeryczne jednoznacznie potwierdzają, że zastosowanie dodatkowych układów chłodzenia wirnika w maszynach IPM ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa pracy magnesów trwałych oraz ogólnej efektywności maszyny.

**Najważniejsze wnioski:**

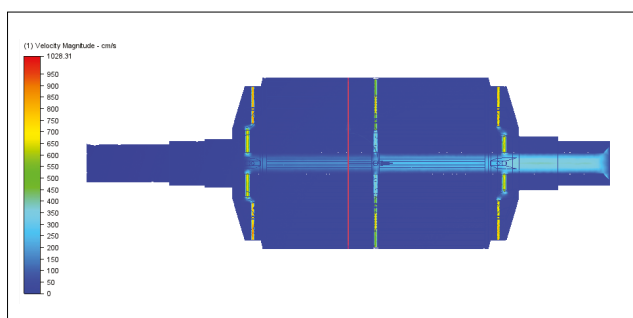
1. Brak dodatkowego chłodzenia prowadzi do wysokiej temperatury magnesów (ok.  $98^{\circ}\text{C}$ ), co, przy zastosowaniu magnesów niższej klasy temperaturowej, może zagrażać ich właściwościom i trwałości.
2. Chłodzenie wału cieczą pozwala na ograniczenie temperatury o ok.  $12^{\circ}\text{C}$  względem przypadku referencyjnego, przy umiarkowanej złożoności konstrukcji.
3. Chłodzenie olejowe wirnika wykazuje najwyższą skuteczność – redukuje temperaturę magnesów o ok. 35%



↑ Rys. 9. Otrzymany rozkład pola prędkości medium chłodzącego (glikol) – przekrój wzdłużny



↑ Rys. 10. Zdyskretyzowany model wirnika wraz z otrzymanym rozkładem pola temperatury wirnika chłodzonego olejem ATF



↑ Rys. 11. Otrzymany rozkład pola prędkości medium chłodzącego (Olej ATF) – przekrój wzdłużny

- i stanowi najbardziej perspektywiczne rozwiązanie, zwłaszcza w maszynach o wysokiej gęstości mocy.
- 4. Uzyskane wyniki wskazują, że rozwój systemów chłodzenia olejowego w konstrukcjach wirników IPM jest szczególnie uzasadniony, zwłaszcza w aplikacjach pojazdów elektrycznych i napędów o dużej gęstości mocy/momentu.

## Najważniejsze wnioski:

- » **Brak dodatkowego chłodzenia prowadzi do wysokiej temperatury magnesów (ok. 98°C)**, co, przy zastosowaniu magnesów niższej klasy temperaturowej, może zagrażać ich właściwościom i trwałości.
- » **Chłodzenie wału cieczą** pozwala na ograniczenie temperatury o ok. 12°C względem przypadku referencyjnego, przy umiarkowanej złożoności konstrukcji.
- » **Chłodzenie olejowe** wirnika wykazuje najwyższą skuteczność – redukuje temperaturę magnesów o ok. 35% i stanowi najbardziej perspektywiczne rozwiązanie, zwłaszcza w maszynach o wysokiej gęstości mocy.
- » **Uzyskane wyniki** wskazują, że rozwój systemów chłodzenia olejowego w konstrukcjach wirników IPM jest szczególnie uzasadniony, zwłaszcza w aplikacjach pojazdów elektrycznych i napędów o dużej gęstości mocy/momentu.

## Literatura

- [1] SWALES S.H. I INNI: Oil cooled motor/generator for an automotive powertrain, US patent application #US 8169110 B2.
- [2] Patent: Motor shaft for oil-cooled motor, oil-cooled motor, and motor vehicle, WO2024138769A1.
- [3] GARRIGA R., KUBIC M.: Systems and methods for cooling and lubrication of electric machines, US patent application #US 20120049668 A1.
- [4] BOGLIETTI A., CAVAGNINO A., STATON D., SHANEL M., MUELLER M., MEJUTO C.: Evolution and Modern Approaches for Thermal Analysis of Electrical Machines. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, t. 56, nr 3, s. 871–882.
- [5] WALLSCHEID O.: Thermal Monitoring of Electric Motors: State-of-the-Art Review and Future Challenges. IEEE Open Journal of Industry Applications, 2021, vol. 2, s. 204–223.
- [6] BILGIN B. I INNI: Modeling and Analysis of Electric Motors: State-of-the-Art Review, IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2019, vol. 5, no. 3, s. 602–61.
- [7] GIERAS J.F.: Advancements in Electric Machines, Springer Nature, 2022.
- [8] STATON D.A., GOSS J.: Open Source Electric Motor Thermal Model, IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD), 2017.
- [9] HUANG Z. I INNI: Thermal Management Technologies for Electric Vehicle Motor: A Review, Applied Thermal Engineering, 2021, vol. 183.
- [10] Patent: Oil cooling structure for high-speed electric motor rotor, US patent application #US 11245305 B2.
- [11] FATEMI A. I INNI: High-Power-Density Design of a Traction Motor With Oil Spray Cooling, IEEE Transactions on Industry Applications, 2018, vol. 54, nr 1.
- [12] BOGLIETTI A. I INNI: Thermal Analysis of a High Speed Traction Motor, International Conference on Electrical Machines (ICEM), 2018.
- [13] PYRHÖNEN J. I INNI: Design of Rotating Electrical Machines, Wiley, 2014.
- [14] KIM K.S. I INNI: Thermal Analysis of Oil-Cooled Electric Motor for Electric Vehicle, Journal of Electrical Engineering & Technology, 2020, vol. 15.
- [15] DAVIN T. I INNI: Loss and Thermal Modeling of a High-Speed Permanent Magnet Synchronous Machine, IEEE Transactions on Magnetics, 2015, vol. 51, nr 11.
- [16] ZHANG Y. I INNI: Research on Oil-Spray Cooling System for High-Speed Permanent Magnet Machines, IEEE Access, 2020, vol. 8.

### Bartłomiej Będkowski

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnśląski Instytut Technologiczny,  
Centrum Napędów i Maszyn Elektrycznych  
e-mail: bartlomiej.bedkowski@git.lukasiewicz.gov.pl

Reklama



**ABUS**  
CRANE SYSTEMS POLSKA

**NIEZAWODNOŚĆ  
NA KAŻDYM POZIOMIE**

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

# Przemysł 5.0: Powrót człowieka, kreatywna automatyzacja bez hakowania

 Mariusz Jabłoński

Przejsie od Przemysłu 4.0 do Przemysłu 5.0 nie jest już rewolucją technologiczną, lecz fundamentalną ewolucją mentalną i architektoniczną. Industry 4.0, zorientowane na technocentryzm, traktowało człowieka jako najsłabsze ogniwo procesu, które należy wyeliminować. Przemysł 5.0 redefiniuje tę relację, wprowadzając paradygmat antropocentryzmu (*Human-Centric*), rezyliencji oraz zrównoważonego rozwoju. Szybka automatyzacja Industry 4.0 obiecywała fabryki bez ludzi, ale przyniosła sztywne linie produkcyjne, podatne na przestoje i cyberataki. Przemysł 5.0 ma naprawić ten błąd, przesuując inżyniera z pozycji nadzorca do roli inżyniera procesów sztucznej inteligencji lub architekta procesów „myślących”. Techniczna anatomia nowej ery zaczyna się od sterowników PLC z systemami kontenerowymi i napędów przemiennikowych z kompleksową diagnostyką sygnałów i zaawansowaną analityką prądowo-momentową po cyberbezpieczeństwo sieci przemysłowych. Te rozwiązania i nowoczesny sprzęt mają rozwijać ludzką kreatywność, aby to człowiek zbudował tarczę cyfrową, odporną na zagrożenia współczesnego Przemysłu. W pierwszej kolejności dokonajmy inżynierskiej analizy błędów poprzedniej ery oraz zweryfikujmy oczekiwania, które definiują architekturę nowych współczesnych fabryk.

## I. Krytyczna analiza i błędy epoki Przemysłu 4.0 – mit pełnej autonomizacji i „sztywna elastyczność”

Głównym założeniem Industry 4.0 było stworzenie fabryk bezobsługowych (*Lights-out Manufacturing*). Wdrożenia te obnażyły jednak zjawisko nazywane „sztywną elastycznością”. Systemy cyberfizyczne (CPS – *Cyber-Physical Systems*), zaawansowane systemy, które ściśle łączą świat cyfrowy (oprogramowanie, algorytmy sztucznej inteligencji, sieci bezprzewodowe) ze światem fizycznym (maszyny, czujniki, obiekty w ruchu), doskonale radziły sobie z optymalizacją deterministyczną, gdy parametry wejściowe były precyzyjnie określone. W momencie pojawienia się anomalii rynkowych (np. nagła potrzeba zmiany profilu produkcji z dnia na dzień) lub zakłóceń w łańcuchu dostaw, opracowane algorytmy okazywały się mało przydatne lub nawet bezradne. Koszt i czas nieustannego przeprogramowania do nowej funkcjonalności, w pełni autonomicznych linii, mógłby nawet przewyższać zysk z korzyści wdrożenia.

Dążenie do zastąpienia człowieka maszyną doprowadziło do tzw. Paradoксу Automatyzacji. Generalizując, im bardziej

system jest zautomatyzowany, tym bardziej kluczowy staje się udział operatora (człowieka) w sytuacjach awaryjnych. Często jednak, lata sprowadzania ludzi w fabrykach do roli „podawaczy komponentów” spowodowały, że zakłady zaczęły tracić unikalną własną wiedzę rzemieślniczą i inżynierską (tzw. *Tacit Knowledge*). Zatem gdy dochodziło do skomplikowanej awarii kaskadowej, pracownicy nie rozumieli fizyki procesu produkcyjnego, ukrytego za algorytmami SCADA/MES, co drastycznie wydłużało czas naprawy i usunięcia awarii oraz wskaźnik MTTR (*Mean Time To Repair*). Co prawda, Przemysł 4.0 zalał fabryki czujnikami, generując petabajty danych, trafiające np. do tzw. Data Lakes w chmurze, ale błędem inżynierskim był brak selekcji tych danych u źródła rozumiany jako:

- brak agregacji i filtracji danych w warstwie Edge,
- przesyłanie niefiltrowanych (surowych) strumieni danych z maszyn,
- brak selektywnego próbkowania danych na poziomie sterowników/czujników,

Obecnie fabryki ponoszą ogromne koszty za transfer i utrzymanie infrastruktury chmurowej, z której analizuje się zaledwie od 1 do 3% informacji, a brak korelacji danych maszynowych z ludzkim kontekstem operacyjnym sprawiło, że systemy predykcyjne generowały fałszywe alarmy. W ostatnich latach drastycznie wzrosła liczba, jak również tzw. podatność fabryk na cyberataki, spowodowana szybką ewolucją sieci komunikacyjnych, szczególnie Industrial IoT (IIoT – *Industrial Internet of Things*) i bezkrytycznym otwieraniem sieci OT (Operational Technology) na świat IT/Cloud, bez wdrożenia odpowiednich standardów bezpieczeństwa. Rozwiązania standardu Przemysł 4.0 stworzyły następujące zagrożenia:

### I.1. Zagrożenia operacyjne i ciągłości produkcji, powodujące możliwości:

- Paraliżu linii produkcyjnych (przestoje) oznaczające blokadę systemów sterowania i powodujące natychmiastowe zatrzymanie fabryki (np. poprzez ransomware – oprogramowanie szantażujące lub wymuszające okup). Każda godzina takiego przestoju może generować gigantyczne straty finansowe.
- Sabotażu przemysłowego i uszkodzenia maszyn, gdzie cyberprzestępca może zdalnie zmienić parametry pracy urządzeń (np. obroty, temperaturę, ciśnienie), co może doprowadzić do fizycznego zniszczenia drogich maszyn lub całych linii technologicznych.

↓ **Tabela 1.** Trzy kluczowe filary definiujące Przemysł 5.0 według Komisji Europejskiej [1, 2, 3]

1. Człowiek w centrum uwagi (Human-Centric)	2. Odporność na kryzysy (Resilience)	3. Zrównoważony rozwój i ekologia (Sustainability)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologia służąca człowiekowi – maszyny i sztuczna inteligencja nie zastępują pracowników, lecz ich wspierają. Technologię dostosowuje się do potrzeb, możliwości i ograniczeń człowieka (np. systemy dopasowujące tempo pracy do poziomu zmęczenia operatora).</li> <li>• Współpraca człowiek-maszyna – symbolem tej ery są coboty (roboty współpracujące), które pracują ramię w ramię z ludźmi bez barier ochronnych, łącząc siłę i precyzję maszyny z kreatywnością i elastycznością człowieka.</li> <li>• Bezpieczeństwo i dobrostan – priorytetem staje się ochrona zdrowia psychicznego i fizycznego pracowników poprzez stosowanie urządzeń ubieralnych (wearables) czy egzozoskieletów.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwinne łańcuchy dostaw – Przemysł 5.0 z naciskiem na to, aby fabryki potrafiły błyskawicznie reagować na nagłe zakłócenia geopolityczne, pandemie czy kryzysy gospodarcze.</li> <li>• Elastyczność produkcji – zdolność do natychmiastowego przestawienia linii produkcyjnej z jednego produktu na inny lub szybkiej zmiany dostawców dzięki cyfrowym bliźniakom (Digital Twins).</li> <li>• Cyber-odporność – systemy są projektowane tak, aby w przypadku cyberataku (np. ransomware) fabryka mogła utrzymać minimalne, bezpieczne operacje zamiast całkowitego paraliżu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gospodarka o obiegu zamkniętym (Circular Economy) – projektowanie procesów w taki sposób, aby maksymalnie ograniczyć odpady, a zużyte zasoby, surowce i energię przetwarzać i wykorzystywać ponownie.</li> <li>• Minimalizacja śladu węglowego – Przemysł 5.0 zakłada optymalizację zużycia energii i przejście na odnawialne źródła energii (OZE) wewnątrz fabryk, monitorowane w czasie rzeczywistym przez AI.</li> <li>• Odpowiedzialność społeczna (ESG) – działania fabryki są oceniane nie tylko przez pryzmat zysku finansowego, ale również jej wpływu na lokalną społeczność i środowisko naturalne.</li> </ul>

- Rozregulowania procesów i utraty jakości produkcji, gdzie niezauważalna zmiana receptury lub parametrów produkcji (np. w branży spożywczej, farmaceutycznej czy chemicznej) może skutkować wypuszczeniem na rynek wadliwych lub niebezpiecznych partii produktów.

## I.2. Zagrożenia dla infrastruktury i bezpieczeństwa ludzi, powodujące możliwości:

- Zagrożenia życia i zdrowia pracowników wynikające z przejęcia kontroli nad robotami przemysłowymi, systemami wentylacji czy instalacjami chemicznymi. Stwarza to bezpośrednie ryzyko wypadków przy pracy, wybuchów lub wycieków substancji toksycznych.
- Ataków na infrastrukturę krytyczną, w sytuacji gdy fabryka produkuje np. energię, ciepło czy uzdatnioną wodę, taki atak może odciąć od dostaw całe miasta lub regiony.

## I.3. Zagrożenia sieciowe i danych (wynikające bezpośrednio z braku selekcji danych), powodujące możliwości:

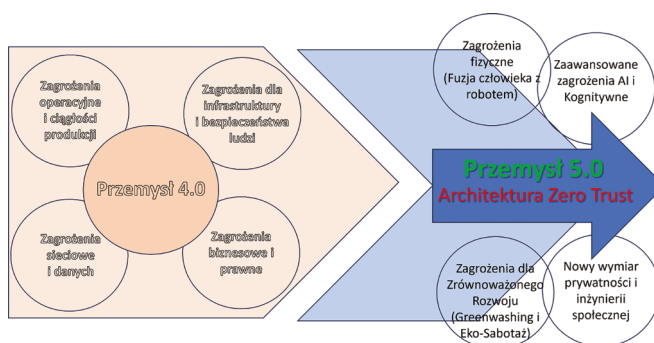
- Zatrucia (falszowania) danych (*Data Poisoning*) poprzez celowy cyberatak na systemy sztucznej inteligencji (AI) i uczenia maszynowego (ML). Mechanizm ten polega na manipulowaniu danymi wejściowymi, aby oszukać algorytm i zmusić go do podejmowania błędnych decyzji. Np. skoro fabryka bezkrytycznie wysyła wszystkie surowe dane do chmury, haker może wstrzyknąć do tego strumienia fałszywe odczyty. Systemy AI/kognitywne w chmurze podejmą wtedy błędne decyzje zarządcze.
- Ułatwień dla ruchu bocznego (przemieszczanie poziome w sieci (*Lateral Movement*)). Jest to technika stosowana przez cyberprzestępców po włamaniu się do wnętrza sieci komputerowej, która polega na stopniowym przejmowaniu kontroli nad kolejnymi komputerami, serwerami i urządzeniami wewnątrz firmy w celu dotarcia do najważniejszego obiektu (tzw. „klejnotów koronnych”). W sytuacji,

gdy nasza sieć OT jest „otwarta na świat”, cyberprzestępca, który włamie się do prostej kamery, czy czujnika IIOT lub komputera biurowego (IT), zyska wolną drogę bezpośrednio do sterowników PLC zarządzających krytycznymi maszynami.

- Szpiegostwa przemysłowego, gdzie poprzez analizę pełnych, niefiltrowanych strumieni danych, wysyłanych do chmury, konkurencja lub hakerzy mogą bez trudu odtworzyć know-how fabryki, wydajność produkcji oraz unikalne receptury.

## I.4. Zagrożenia biznesowe i prawne, powodujące możliwości:

- Kar finansowych i utratę certyfikatów. W obliczu unijnych przepisów dotyczących cyberbezpieczeństwa (takich jak dyrektywa NIS 2), brak wdrożenia odpowiednich standardów w warstwie OT grozi ogromnymi karami finansowymi dla zarządu spółki.
- Utraty reputacji i zaufania. Informacja o udanym cyberataku może drastycznie obniżyć wycenę giełdową firmy lub wręcz zniszczyć zaufanie partnerów biznesowych, którzy mogą obawiać się również infekcji własnych systemów.



↑ **Rys. 1.** Zagrożenia wymuszające przejście od Przemysł 4.0 do Przemysł 5.0 [koncepcja własna]

↓ **Tabela 2.** Zestawienie kosztów nieplanowanych przestoju firm w zależności od rozmiaru przedsiębiorstwa

Rozmiar przedsiębiorstwa	Koszt na minutę	Koszt na godzinę	Źródło
Micro-SMB (<25 employees)	\$137 – \$427	\$8,220 – \$25,620	Atlassian/ITIC
SMB (25–200 employees)	\$427 – \$1,670	\$25,620 – \$100,000	ITIC 2024
Mid-market	\$5,600 – \$9,000	\$300,000 – \$540,000	Gartner/EMA
Large enterprise	\$14,056 – \$23,750	\$843,000 – \$1,425,000	BigPanda/EMA 2024
Fortune 500	\$8,300 – \$83,000+	\$500,000 – \$5,000,000+	Gartner/ITIC 2024

Tradycyjne bezpieczeństwo opierało się na modelu „twierdzy”, gdzie zakładano, że wszystko wewnątrz sieci fabrycznej jest bezpieczne. Podejście tzw. *Zero Trust* (Zaufanie Zerowe) całkowicie zmienia ten paradygmat, opierając się na zasadzie: „Nigdy nie ufaj, zawsze weryfikuj”. W warstwie produkcyjnej (OT) oznacza to, że żadne urządzenie (czujnik IIoT, sterownik PLC), aplikacja w chmurze ani użytkownik nie otrzymują dostępu do zasobów fabryki tylko dlatego, że znajdują się w tej samej sieci. Każda próba nawiązania połączenia musi być stale autoryzowana, szyfrowana i monitorowana. Kluczowe filary podejścia *Zero Trust*, jako odpowiedź na powyższe zagrożenia, są następujące:

- mikrosegmentacja sieci (Blokada *Lateral Movement*), która dzieli sieć fabryki na małe, odizolowane strefy. Jeśli haker zainfekuje laptopa w biurze (IT) lub pojedynczą kamerę Wi-Fi, infekcja zostanie uwięziona w tej jednej strefie i nie „przeskoczy” na sterowniki maszyn (PLC).
- Uwierzytelnianie u źródła (Ochrona przed *Data Poisoning*), kiedy każdy strumień danych przesyłany z poziomu Edge (brzegu sieci) do chmury, musi potwierdzić swoją tożsamość. System AI przetwarza wyłącznie zweryfikowane telemetryczne dane, eliminując ryzyko wstrzyknięcia fałszywych odczytów.
- Zasada minimalnych uprawnień (*Least Privilege*), według której pracownicy, integratorzy systemów oraz same maszyny mają dostęp tylko i wyłącznie do tych funkcji, które są im niezbędne w danym czasie do pracy. Ogranicza to ryzyko przypadkowego lub celowego sabotażu. Wdrożenie architektury *Zero Trust* w warstwie OT przestało być już tylko projektem technologicznym, a stało się strategią zarządzania ryzykiem biznesowym i ciągłością działania firmy. Wydatki na zabezpieczenie sieci i selekcję danych na brzegu (*Edge*) to ułamek kwoty, jaką firma traci w trakcie zaledwie jednej godziny przestoju wywołanego cyberatakiem.

Brak wdrożenia architektury *Zero Trust* niesie za sobą realne, katastrofalne skutki finansowe. Według globalnych raportów przemysłowych (m.in. *Aberdeen Strategy & Research* oraz analiz rynkowych z lat 2024–2026), koszty nieplanowanego przestoju w przemyśle drastycznie wzrosły. I tak:

- **Średni koszt godziny przestoju**, dla średniej wielkości zakładu produkcyjnego wyniósł od 100 000 do 250 000 PLN za godzinę. W sektorach o wysokiej intensywności (motoryzacja, farmacja, chemia, przemysł ciężki) koszty

te sięgają już od 1 000 000 PLN do nawet 4 000 000 PLN za każdą godzinę bezczynności linii produkcyjnej.

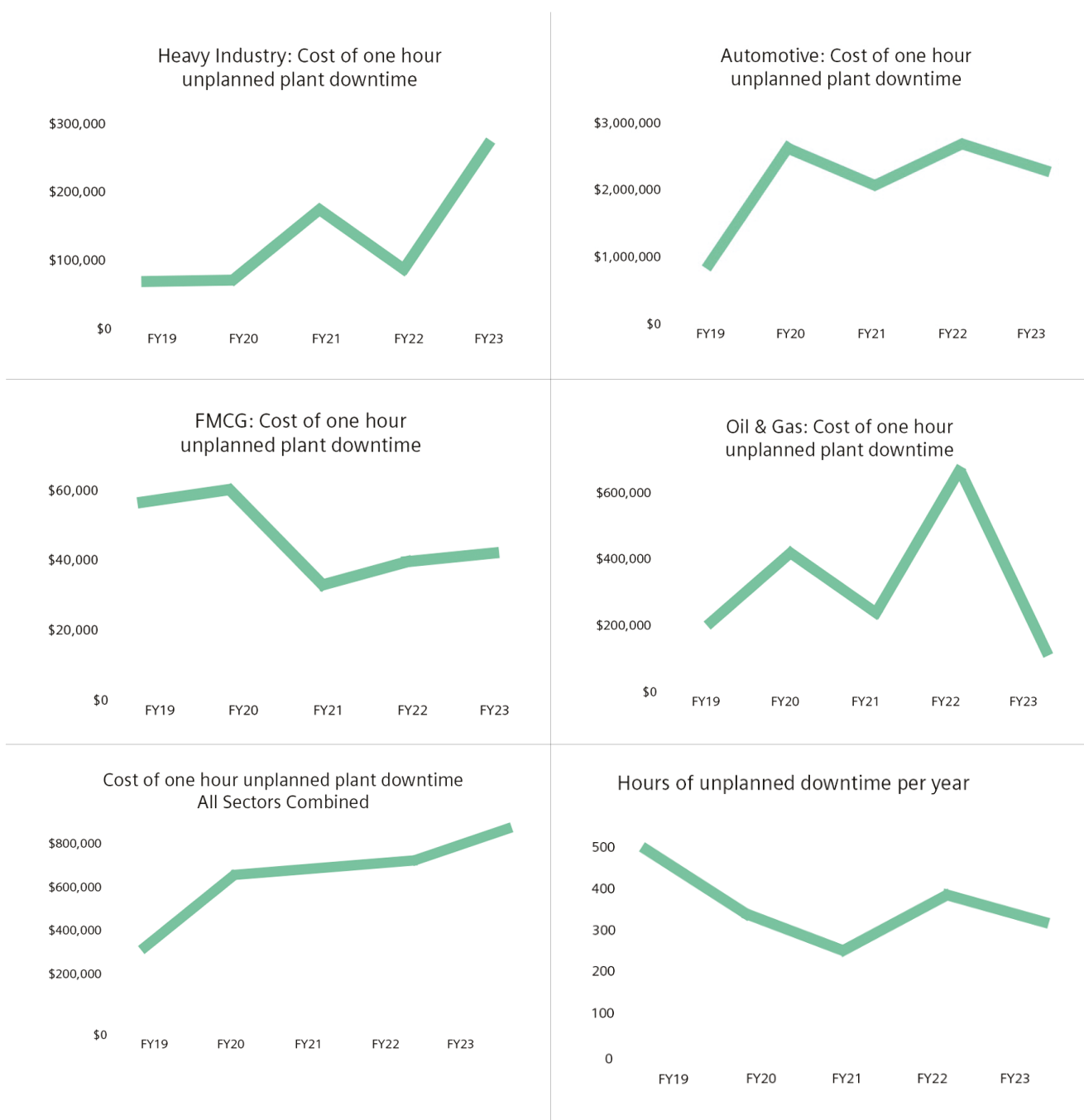
- **Ukryte koszty incydentu**, gdzie straty to nie tylko zatrzymane maszyny. Należy pamiętać, że dochodzą do tego koszty zniszczonych surowców (np. zastygnięcie mas w mikserach, przerwanie ciągu chłodniczego), kary umowne za opóźnienia w dostawach do klientów, koszty nadgodzin pracowników oraz opłacenie zewnętrznych ekspertów ds. cyber-remediacji.
- **Długoterminowy paraliż firmy (*Ransomware*)** wynikający z faktu, że średni czas usuwania skutków zaawansowanego ataku ransomware w sektorze produkcyjnym i przywrócenia pełnej sprawności fabryki wynosi **od 7 do 21 dni**. Oznacza to straty liczone w **dziesiątkach milionów złotych**, które dla wielu firm mogą oznaczać już utratę płynności finansowej, a nawet bankructwo.

Na stronie [www.sonarops.it](http://www.sonarops.it) [5] czytamy, że Raport Splunk i Oxford Economics z 2024 roku wykazał, że dwa tysiące największych firm na świecie traci łącznie 400 miliardów dolarów rocznie z powodu nieplanowanych przestoju. Ta kwota stanowi około 9% całkowitych zysków. Dla każdej z tych organizacji średnia roczna strata wynosi około 200 milionów dolarów. Koszty przestoju nie są tylko problemem zarezerwowanym dla firm z listy Fortune 500. Średniej wielkości firma e-commerce generująca 2 miliony dolarów rocznie traci ponad 200 dolarów bezpośredniego przychodu za każdą godzinę, w której jest offline – nie licząc utraty produktywności, szkód wizerunkowych i erozji SEO. W przypadku oprogramowania SaaS B2B z 500 aktywnymi klientami godzina przestoju może oznaczać dziesiątki zgłoszeń do pomocy technicznej, naruszenia SLA i ciche odejścia w kolejnych miesiącach.

Na stronie [www.sonarops.it](http://www.sonarops.it) [5] czytamy również, że najczęściej cytowanym wskaźnikiem w branży jest Gartner, który w 2014 roku oszacował średni koszt przestoju na 5600 dolarów za minutę. Choć jest to już nieaktualne, liczba ta pozostaje najczęściej cytowanym punktem odniesienia. Problem polega na tym, że znacznie zaniża ona dzisiejsze rzeczywiste koszty. Raport EMA Research zlecony przez BigPanda i opublikowany w 2024 roku znacząco aktualizuje ten szacunek: średni koszt nieplanowanego przestoju wzrósł do 14 056 dolarów za minutę, osiągając nawet 23 750 dolarów w przypadku dużych przedsiębiorstw. Wzrost ten wynosi 60% w przypadku organizacji zatrudniających mniej niż 10 000 pracowników w porównaniu z pomiarem z 2022 roku. Rozpiętość

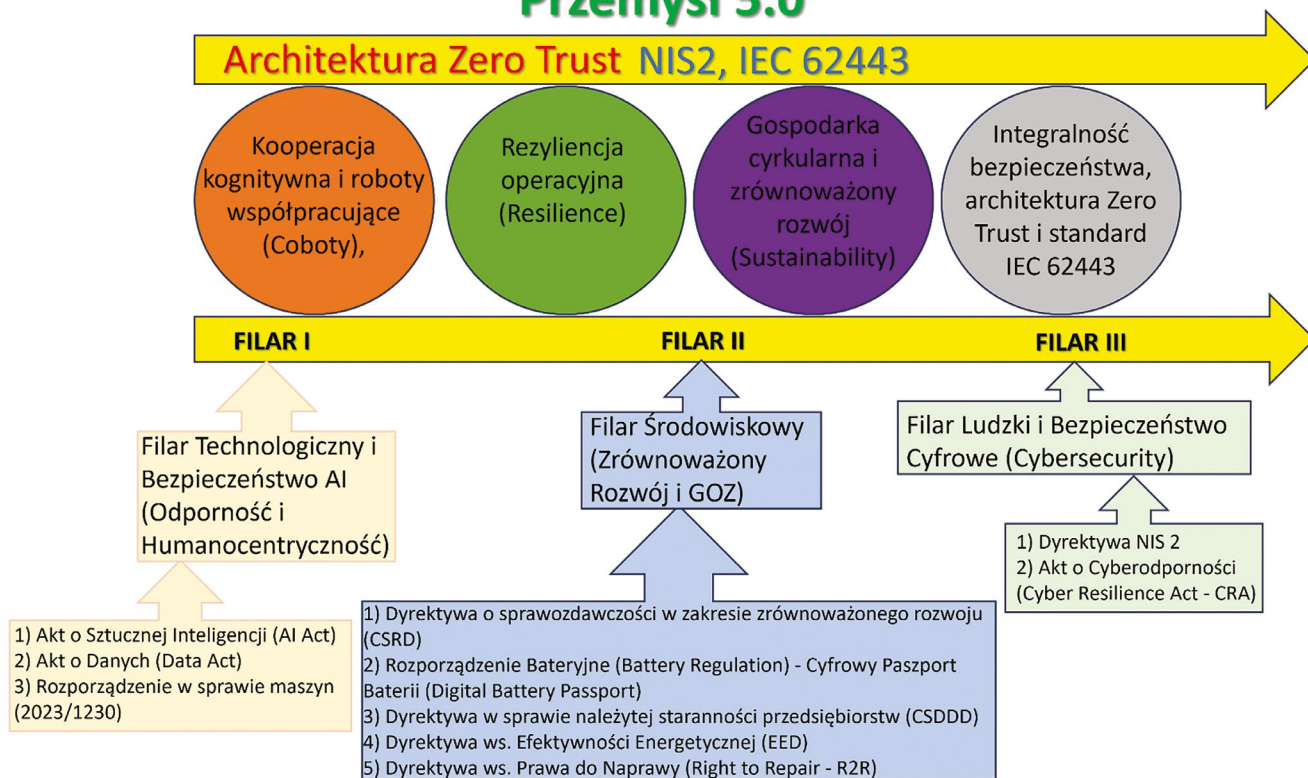
↓ **Tabela 3.** Zestawienie nieplanowanych kosztów dla poszczególnych branż przemysłu [5]

Przemysł	Estymowany koszt na godzinę	Główne czynniki pogarszające
Finanse / Bankowość	\$1M – \$5M+	Transakcje w czasie rzeczywistym, ścisła zgodność, zaufanie klientów
Opieka zdrowotna	\$636K – \$5M+	Ryzyko kliniczne, HIPAA/RODO, ciągłość opieki
Motoryzacja / Produkcja	\$500K – \$2.3M	Łańcuch dostaw, nieużywane linie produkcyjne, IoT/automatyzacja
E-commerce / Handel detaliczny	\$500K – \$2M (szczyt)	Sezonowość (Czarny Piątek), natychmiastowa rotacja klientów
Telekomunikacja	\$350K – \$1M	Surowe umowy SLA, kaskadowy wpływ na klientów końcowych
SaaS / Technologia	\$100K – \$1M	Kredyty SLA, odejścia, reputacja społeczności programistów
FMCG / Dobra konsumpcyjne	\$36K	Relatywnie ograniczony wpływ IT w porównaniu z fizycznym łańcuchem dostaw



↑ **Rys. 2.** Zestawienie kosztów nieplanowanych przestoju z podziałem na sektory i liczba nieplanowanych godzin na rok w latach 2019 – 2023, [6] według – Siemens SENSEYE PREDICTIVE MAINTENANCE – The True Cost of Downtime 2024 – Siemens · Brochure template · A4 portrait

# Przemysł 5.0



↑ Rys. 3. Podstawowe filary oraz akty prawne na najbliższe lata dla Przemysł 5.0 [koncepcja własna]

jest szeroka i zależy od wielkości firmy, branży i modelu biznesowego. Dane ITIC są szczególnie uderzające: ponad 90% firm objętych badaniem w 2024 r. szacuje koszty przestoju przekraczające 300 000 dolarów na godzinę, a 41% zgłasza straty od 1 miliona do 5 milionów dolarów na godzinę [4]. Kwoty te obejmują utracone przychody, koszty odzyskiwania danych i nadgodziny, ale nie uwzględniają jeszcze wpływu na reputację ani długoterminowych szkód dla SEO.

Według Siemens The True Cost of Downtime 2024, [6] nieplanowane przestoje to obecnie koszt, na który duzi producenci nie mogą sobie pozwolić. W sektorze motoryzacyjnym koszt nieczynnej linii produkcyjnej w dużym zakładzie wynosi obecnie 695 milionów dolarów rocznie, czyli 1,5 raza więcej niż pięć lat temu. W zakładzie przemysłu ciężkiego wynosi on 59 milionów dolarów, czyli 1,6 raza więcej niż w 2019 roku. W związku z tym nieplanowane przestoje kosztują obecnie 500 największych firm świata 11% ich przychodów. To łącznie 1,4 biliona dolarów, co odpowiada rocznemu PKB dużego kraju uprzemysłowionego, takiego jak Hiszpania.

Kluczowe wnioski z tego raportu, przeglądu rzeczywistych kosztów przestoju ponoszonych przez producentów i organizacje przemysłowe w ciągu ostatnich pięciu lat przedstawia rys. 2.

W najniższym segmencie koszty straconej godziny wynoszą obecnie 36 000 dolarów w sektorze dóbr szybko zbywalnych. W najwyższym segmencie w sektorze motoryzacyjnym wynoszą one 2,3 miliona dolarów – czyli ponad 600 dolarów na sekundę.

W obliczu tego rodzaju kosztów firmy zostały zmuszone do bezwzględnego ograniczania przestoju i większości się to udało. Od 2019 roku niemal każdy sektor zmniejszył liczbę przestoju. Przemysł ciężki zmniejszył je do prawie jednej trzeciej poziomu z 2019 roku. Tylko te działania zapobiegły gwałtownemu wzrostowi ogólnych kosztów przestoju. Firmy wprowadziły zaawansowane, nowe technologie, aby zminimalizować liczbę utraconych godzin produkcji. Internet Rzeczy umożliwił im gromadzenie danych o stanie maszyn.

## II. Oczekiwania i filary architektury Przemysłu 5.0

Przemysł 5.0 nie odrzuca technologii Industry 4.0 (IoT, AI, Big Data, Chmura), natomiast zmienia cel ich stosowania. Według standardu Przemysł 5.0 technologia jest dla człowieka, ma służyć człowiekowi, ale nie jest po to, aby go eliminować. Kontynuując myśl z tabeli 1, możemy tutaj wydzielić następujące filary:

1. Kooperacja kognitywna i roboty współpracujące (Coboty), której oczekiwaniem dla Industry 5.0 jest stworzenie środowiska, w którym robot nie pracuje za wygradzeniem ochronnym, lecz ramię w ramię z operatorem. Coboty przejmują zadania powtarzalne, niebezpieczne i obciążające fizycznie (np. powtarzalny montaż, paletyzacja). Człowiek wnosi do układu normalizację i bezpieczeństwo, zmysł estetyki, zdolność adaptacji do niestandardowych detali oraz unikalną cechę kognitywną: kreatywność. Systemy sterowania mają być programowane intuicyjnie

(np. poprzez fizyczne prowadzenie ramienia robota lub komendy głosowe AI), co obniży próg wejścia technologicznego dla personelu obsługującego.

2. Rezyliencja operacyjna (*Resilience*) zamiast ślepej optymalizacji, gdzie w sytuacji, której Industry 4.0 skupiało się na efektywności w idealnych warunkach (*Just-in-Time*), a Industry 5.0 stawia na odporność (rezyliencję) na kryzysy (*Just-in-Case*). Architektura fabryki musi pozwalać na natychmiastowe przebrojenie linii. Można to osiągnąć za pomocą dynamicznej parametryzacji komponentów jak sterowników PLC, realizujących przetwarzanie brzegowe (*Edge*) w kontenerach (*Docker*) oraz serwonapędów modyfikujących profile krzywek w czasie rzeczywistym. Człowiek w tym systemie jest najwyższym organem decyzyjnym, zdolnym do zarządzania chaosem, którego algorytm AI nie potrafi zinterpretować.
3. Gospodarka cyrkularna i zrównoważony rozwój (*Sustainability*), według której nowoczesne fabryki muszą monitorować swój ślad węglowy i zużycie mediów w czasie rzeczywistym. Przemysł 5.0 wymaga również, aby systemy napędowe były elementem gospodarki energetycznej. Oczekuje się masowego stosowania przemienników częstotliwości ze zwrotem energii do sieci (np. AFE – *Active Front End* – *Siemens*) i prostownikami z tranzystorami IGBT (*Isolated Gate Bipolar Transistor*) zdolnych do regeneracji energii oraz bezczujnikowego sterowania wektorowego silnikami indukcyjnymi, silnikami synchronicznymi z magnesami trwałymi, czy silnikami reluktancyjnymi (*SynRM*) o klasach sprawności IE5. Dane dostarczane przez automatykę służą menedżerom (człowiek) do optymalizacji zużycia surowców i minimalizacji odpadów w myśl dyrektywy ESG (terminem tym określa się pakiet unijnych przepisów regulujących kwestie środowiskowe (E), społeczne (S) i ładu korporacyjnego (G)).
4. Integralność bezpieczeństwa, architektura *Zero Trust*, NIS2 i standard IEC 62443 (PN-EN 62443 Bezpieczeństwo w systemach sterowania i automatyki przemysłowej) według których w Przemysle 5.0 tarcza ochronna inżyniera zostaje przeniesiona bezpośrednio do warstwy aparatury obiektowej. Oczekiwaniem jest pełna

implementacja normy IEC 62443 oraz architektury *Zero Trust*. Według powyższych, każdy sterownik, falownik i panel HMI (*Human Machine Interface*) powinien posiadać unikalną tożsamość kryptograficzną, gdzie każda komenda zapisu parametru procesowego powinna być autoryzowana, co uniemożliwi sabotaż operacyjny (np. wstrzyknięcie fałszywych ramek do sieci). Bezpieczeństwo cyfrowe staje się tutaj fundamentem bezpieczeństwa fizycznego pracowników oraz całej fabryki.

Na podstawie powyższych trendów i standardów, przejście do Przemysłu 5.0, to powrót do zdroworozsądkowego balansu. Automatyzacja daje powtarzalność i precyzję, ale to ludzka empatia, elastyczność i kreatywność generują innowacje oraz realną przewagę konkurencyjną. Nowoczesna fabryka Industry 5.0 to już nie jest wizja pustej (bez ludzi), zimnej i nieoświetlonej hali produkcyjnej, lecz zaawansowany technologicznie ekosystem, w którym maszyna jest doskonałym narzędziem w rękach kreatywnego inżyniera (człowieka).

### III. Zmiana paradygmatu produkcyjnego: Symbioza kognitywna zamiast pełnej autonomizacji maszyn

Tradycyjny model Industry 4.0 dążył do maksymalnej eliminacji czynnika ludzkiego na rzecz powtarzalnych, cyfrowych algorytmów. Przemysł 5.0 redefiniuje tę strukturę, wprowadzając model zorientowany na człowieka (*Human-Centric Manufacturing*), gdzie technologie kognitywne wspierają, a nie zastępują ludzką elastyczność. Maszyny i roboty przejmują procesy deterministyczne, charakteryzujące się wysoką powtarzalnością i dużym obciążeniem fizycznym. Człowiek zostaje przesunięty na pozycję architekta procesów procesowych i decydenta w sytuacjach niedeterministycznych. Taka symbioza pozwala na dynamiczne zarządzanie produkcją jednostkową na masową skalę (*Mass Customization*). Zapewnia to elastyczność operacyjną, której sztywne systemy zautomatyzowane nie są w stanie samodzielnie wygenerować. Koncepcję tę szczegółowo opisuje publikacja [7] Przemysł 5.0: definicja i znaczenie dla produkcji na portalu Explitia. Wskazuje ona, że przewagę zyskują zakłady, które łączą dane maszynowe z unikalną wiedzą inżynierską

↓ **Tabela 4.** Porównanie paradygmatów: Technologiczna transformacja fabryk

Cecha / Wymiar	Przemysł 4.0 (Factory-Centric)	Przemysł 5.0 (Human-Centric & Resilient)
Główny cel	Maksymalna automatyzacja i eliminacja ludzi	Kooperacja człowieka z maszyną (Symbioza)
Model sieciowy	Sztywna piramida (Purdue Model)	Zdecentralizowana sieć kratowa (Mesh / TSN)
Rola sterownika PLC	Wykonywanie cyklicznego kodu logicznego	Przetwarzanie brzegowe (Edge) + konteneryzacja
Diagnostyka napędów	Reaktywna lub bazująca na zewnętrznych czujnikach	Predykcyjna wbudowana (np. algorytmy MCSA)
Interfejs HMI	Dedykowane aplikacje SCADA / ekrany wektorowe	Responsywne aplikacje webowe HTML5 / WebSockets
Cyberbezpieczeństwo	Ochrona obwodowa (Firewall na styku IT/OT)	Architektura Zero Trust i norma IEC 62443
Elastyczność linii	Kosztowne przezbieranie pod partie produktów	Zmiana parametrów „w locie” – osie wirtualne, modele cyfrowych osi

↓ Tabela 5. Ramka technologiczna

Cecha	Przemysł 4.0	Przemysł 5.0
Główny punkt skupienia	Maszyny, systemy cyber-fizyczne, automatyzacja	Człowiek, zrównoważony rozwój, odporność procesów
Cel produkcji	Masowa produkcja, wysoka wydajność	Hiper-personalizacja, krótkie serie, elastyczność
Rola robota	Zastąpienie pracy ludzkiej	Współpraca z człowiekiem (Coboty)

operatorów. Poniższa tabela zestawia fundamentalne różnice w podejściu do architektury i operacji między dwoma generacjami systemów przemysłowych.

### III. 1. Koniec ery „robot zastąpi człowieka”

Przez ostatnią dekadę żyliśmy w kulcie całkowitej autonomizacji. Fabryki miały działać w ciemnościach (*dark factories*), bez ludzi. Okazało się jednak, że super-automatyczne linie są potężne, ale sztywne. Zatem, gdy rynek zaczął żądać hiper-personalizacji i krótkich serii (krótkich partii ubrań, limitowanych edycji aut, spersonalizowanych leków), algorytmy poległy. Pojawił się kolejny etap rozwoju w przemyśle. Przemysł 5.0 to powrót operatora, ale w wersji „2.0”. To redefinicja roli: człowiek nie jest już „tanim zamiennikiem siłownika”, ale dyrygentem, którego technologia ma wspierać, a nie zastępować.

**Przykładowo:** zakład produkcyjny realizował montaż wielowariantowych bloków zaworowych, a proces wymagał precyzyjnego osadzania uszczelki o-ring (tolerancja współosiowości (*coaxiality*)  $\pm 0,05$  mm) oraz dokręcania śrub z określonym momentem obrotowym. Wysoka zmienność produkcji (krótkie serie) powodowała, że tradycyjna cęła z robotem przemysłowym i sztywnym pozycjonowaniem detali była ekonomicznie nieuzasadniona ze względu na czas przebrajania (*Changeover Time*). Na stanowisku zaimplementowano zatem 6-osiowego cobota (robot współpracujący) o udźwigu 10 kg, wyposażonego w zintegrowane czujniki momentu siły w każdym przegubie (*Force/Torque Sensors*). Na ramieniu cobota zintegrowano kamerę inteligentną z sensorem 2.5D i wbudowanym kognitywnym procesorem brzegowym (*Edge AI*). W tym procesie:

- Człowiek odpowiada za dostarczenie komponentów bazowych na stół roboczy (bez konieczności stosowania kosztownych palet pozycjonujących).
- Kamera za pomocą sieci neuronowej identyfikuje typ bloku, jego orientację przestrzenną (kąt obrotu na płaszczyźnie) oraz weryfikuje brak wad powierzchniowych.
- Cobot pobiera odpowiednią uszczelkę, a dzięki algorytmowi aktywnej kompensacji siły (*Force Control*) delikatnie wciska ją w gniazdo, naśladując motorykę ludzkiej dłoni. Jeśli napotka opór przekraczający zadany próg (np. podwinięcie uszczelki), natychmiast przerywa ruch i sygnalizuje anomalie operatorowi.
- Operator wykonuje równolegle skomplikowane operacje okablowania wewnętrznego, pracując bezpośrednio w przestrzeni roboczej cobota bez wygradzeń ochronnych.

### Co uzyskano dzięki takiemu rozwiązaniu?

- Spadek czasu cyklu (*Cycle Time*) o 38% dzięki podziałowi zadań (człowiek = logistyka i detale, cobot = powtarzalny montaż i dokręcanie).
- Zmniejszenie liczby błędnie osadzonych uszczelki do poziomu bliskiego zera (0,02% w skali roku) – Wskaźnik defektów (*Scrap Rate*),
- Skrócony czas przebrojenia (*Flexibility*) z 4 godzin do niespełna 5 minut. Nowy wariant produktu wgrywany jest parametrycznie z poziomu kodu HMI, a uczenie trajektorii nowych punktów odbywa się metodą ręcznego prowadzenia ramienia (*Lead-Through Programming*).

## IV. Architektura sprzętowa nowej generacji – komponenty wykonawcze jako sensory brzegu sieci (Edge IoT)

### IV. 1. Programowalne Kontrolery i Sterowniki Automatyki (PAC/PLC) z natywnym przetwarzaniem brzegowym

Współczesne sterowniki PLC ewoluowały od prostych rozwiązań dla maszyn i stanów logicznych do wielordzeniowych platform obliczeniowych łączących systemy czasu rzeczywistego (RTOS) z systemami ogólnego przeznaczenia (np. Linux). Architektura ta pozwala na jednoczesne wykonywanie kodu sterującego (IEC 61131-3) oraz zaawansowanych skryptów analitycznych (Python/C++). Bezpośrednia integracja protokołów IT, takich jak MQTT czy OPC UA, eliminuje potrzebę stosowania bramek pośredniczących, co minimalizuje opóźnienia (latency) w przesyłce danych do systemów nadrzędnych. Klasyczne podejście oparte wyłącznie na cyklu skanowania tasków (*Input-Logic-Output*) w czasie rzeczywistym zostało zastąpione architekturą wielordzeniową z asymetrycznym wieloprzetwarzaniem (AMP). Jeden rdzeń procesora dedykowany jest pod rygorystyczny system czasu rzeczywistego (RTOS), obsługujący deterministyczny kod IEC 61131-3 (np. ST, STX). Pozostałe rdzenie kontrolują hiperwizor z systemem Linux (np. Debian LTS). Dzięki temu inżynier programista może uruchamiać kontenery Docker bezpośrednio na sterowniku, może napisać zaawansowaną aplikację (np. do analizy danych, sztucznej inteligencji czy bazy danych) na swoim laptopie, zamknąć ją w kontenerze (*Docker*), a następnie wgrać prosto na sterownik przemysłowy. Sterownik uruchomi ją bez problemu, bo kontener przynosi ze sobą całe swoje „środowisko życia”, nie psując przy tym stabilnej, podstawowej pracy samego PLC. Kluczowym aspektem jest tutaj bezpośrednia wymiana danych między

↓ **Tabela 6.** Techniczna analiza porównawcza wybranych platform sterowania PLC/PAC/IPC – kolejność alfabetyczna

[wspomaganie bazami AI]

Producent	Flagowa rodzina sterowników	Środowisko inżynierskie (IDE)	Główne protokoły magistrali (OT)	Integracja IT & Przetwarzanie Brzegowe (Edge / IoT)	Unikalne cechy i mocne strony
ABB	AC500 / AC500-eCo V3	Automation Builder (oparty na CODESYS V3)	PROFINET, EtherCAT, Modbus TCP, IEC 61850	AC500 V3 Edge: wbudowany serwer OPC UA, klient MQTT, obsługa Web Servera HTML5 bezpośrednio na CPU.	Elastyczność dzięki architekturze CODESYS, dobre parametry w aplikacjach infrastrukturalnych, energetycznych (IEC 61850) i mo
Beckhoff	TwinCAT 3 IPC / CX (Embedded PC)	TwinCAT 3 (zintegrowane z MS Visual Studio)	EtherCAT (natywny), EtherCAT G, OPC UA	Natywny system Windows/TwinCAT BSD: bezpośrednie uruchamianie C++, C#, Python, IoT Data Agent (MQTT, HTTP).	Sterowanie oparte na PC (PC-based Control). Szybkie cykle zadań (<100 μs), pełna integracja automatyki z zaawansowaną inżynierią IT.
Mitsubishi Electric	MELSEC iQ-R / iQ-F	GX Works3 (w pakiecie iQ Works)	CC-Link IE TSN, MELSECNET/H	Moduły MES / C Controller: bezpośrednie połączenie z bazami danych SQL (Oracle, MS SQL) bez PC, Edgecross.	Niezawodność, natywna integracja z TSN (CC-Link IE TSN) umożliwiająca ultra-dokładną synchronizację napędów i wizji.
Rockwell Automation	ControlLogix 5580 / CompactLogix	Studio 5000 Logix Designer	EtherNet/IP (natywny, CIP), DeviceNet	FactoryTalk Edge Gateway: konteneryzacja poprzez moduły compute (np. ControlLogix Compute), MQTT, REST API.	Przewaga na rynku amerykańskim, architektura oparta na tagach (Tag-based), dobre skalowanie systemów procesowych i zaawansowanych systemów Motion.
Schneider Electric	Modicon M262 / M580	EcoStruxure Machine Expert / Control Expert	Modbus TCP, EtherNet/IP, OPC UA	EcoStruxure Edge: natywny klient MQTT, HTTPs (API), bezpośrednia integracja z chmurą bez dodatkowych modułów.	Silny nacisk na cyberbezpieczeństwo (M580 jako pierwszy sterownik z certyfikatem ePAC i wbudowanym zielonym switch'em odpornym na DDoS).
Siemens	Simatic S7-1500 / S7-1500 TM	TIA Portal (Step 7)	PROFINET, OPC UA, PROFIBUS	Siemens Industrial Edge: konteneryzacja (Docker), natywne MQTT/TLS, obsługa modułów AI (NPU).	Przewaga na rynku europejskim, zaawansowana diagnostyka systemowa, zaawansowane moduły technologiczne (Motion Control i AI).

pamięcią obrazu procesu PLC a stosem sieciowym Linuksa za pomocą wewnętrznego API (pamięć współdzielona o ultraniskich opóźnieniach). Umożliwia to lokalne uruchamianie skryptów Python do wstępnej filtracji danych pomiarowych i ich serializację do formatu JSON. Transmisja do brokerów chmurowych odbywa się natywnie przez protokół MQTT z szyfrowaniem TLS 1.3, bezpośrednio z poziomu warstwy sprzętowej. Przykładowo, architektura Siemens Industrial Edge, [8] umożliwia uruchamianie aplikacji kontenerowych (*Docker*) bezpośrednio przy warstwie sprzętowej. Pozwala to na lokalną agregację danych z linii produkcyjnej bez obciążania cyklu pracy sterownika. Poniżej przedstawiono porównanie platform PLC/PAC/IPC.

#### IV.2. Inteligentne przemienniki częstotliwości w diagnostyce predykcyjnej

Nowoczesne falowniki przestały być jedynie elementami wykonawczymi układu napędowego. Wykorzystując zaawansowane algorytmy przetwarzania sygnałów, mierzą prąd stojana oraz przesunięcia fazowe z wysoką częstotliwością próbkowania. Pozwala to na realizację różnych funkcji matematycznych, w tym analizy kształtu prądu silnika (*MCSA – Motor Current Signature Analysis*). Dzięki temu układ potrafi wykryć mikropęknięcia kłatek wirnika, asymetrię zasilania

czy degradację łożysk bez stosowania zewnętrznych czujników wibracji. Przykładem może być Platforma Schneider Electric EcoStruxure Asset Advisor [9], która agreguje dane z przemienników częstotliwości. Wykorzystuje przy tym chmurowe algorytmy AI do precyzyjnego prognozowania czasu bezawaryjnej pracy napędów, ponieważ współczesne falowniki realizują zaawansowane sterowanie polowo zorientowane (FOC) z częstotliwością kluczowania tranzystorów IGBT/SiC na poziomie do 16 kHz. Wysoka moc obliczeniowa wbudowanych procesorów DSP pozwala na jednoczesne próbkowanie prądów fazowych z rozdzielczością 16-bitową. Algorytmy inżynierskie implementują szybką transformację Fouriera (FFT) bezpośrednio na mikrokontrolerze napędu, realizując metodę MCSA. Układ stale analizuje widmo częstotliwościowe prądu stojana. Pojawienie się specyficznych wstępnych boków wokół częstotliwości podstawowej jest natychmiast klasyfikowany przez lokalny, uproszczony model matematyczny jako uszkodzenie klatki wirnika lub niesymetryczność szczeliny powietrznej. Wynik tej analizy (indeks kondycji maszyny) jest mapowany do rejestrów Modbus TCP lub obiektów Profinet, eliminując potrzebę instalacji kosztownych, zewnętrznych akcelerometrów piezoelektrycznych. W tabeli zestawiono porównanie dostępności napędów falownikowych (przemienników) w Polsce i na świecie.

↓ **Tabela 7.** poziomów napięć przemienników częstotliwości (falowników) w przemyśle [wspomaganie bazami AI]

Klasa napięcia	Poziom napięcia znamionowego	Zastosowanie i obecność w POLSCE	Zastosowanie i obecność na ŚWIECIE	Typowa topologia i budowa falownika
Niskie Napięcie (LV)	230 V (1-faz / 3-faz)	Tak. Lekki przemysł, podajniki, wentylatory, mikronapędy maszynowe.	Tak. Globalny standard dla mniejszych maszyn i napędów laboratoryjnych.	2-poziomowa (6-pulsowa), tranzystory IGBT, zasilanie 1-fazowe lub 3-fazowe.
Niskie Napięcie (LV)	400 V (3-faz)	Tak. Absolutny standard w przemyśle: linie montażowe, pompy, kompresory, CNC.	Tak (lub bliskie 380V / 415V). Standard przemysłowy w Europie, Azji i Afryce.	2-poziomowa, tranzystory IGBT, sterowanie wektorowe FOC.
Niskie Napięcie (LV)	460 V / 480 V		Tak. Główny standard przemysłowy w Ameryce Północnej (USA, Kanada).	2-poziomowa, tranzystory IGBT, specyfikacja pod rynek UL/ NEMA.
Niskie Napięcie (LV)	500 V	Tak. Przemysł wydobywczy (górnictwo podziemne), hutnictwo, starsze zakłady chemiczne.	Tak. Specjalistyczne gałęzie przemysłu ciężkiego i przetwórczego.	Wzmocniona izolacja DC-bus, filtry dV/dt ze względu na długie trasy kablowe.
Niskie Napięcie (LV)	690 V	Tak. Przemysł ciężki, cukrownie, duże pompy, elektrownie wiatrowe (turbiny).	Tak. Powszechny standard dla aplikacji morskich (Marine) i turbin wiatrowych.	2-poziomowa lub 3-poziomowa, tranzystory IGBT wyższego napięcia (1200V–1700V).
Średnie Napięcie (MV)	2,3 kV / 2,4 kV		Tak. Bardzo popularny poziom w USA i Kanadzie dla silników średniej mocy (od kilkuset kW).	Wielopoziomowa NPC (Neutral Point Clamped) lub CHB (Cascaded H-Bridge).
Średnie Napięcie (MV)	3,0 kV / 3,3 kV	Tak. Starsze instalacje w górnictwie węglowym oraz energetyce zawodowej.	Tak. Szeroko stosowane w Azji (Japonia, Chiny) oraz w przemyśle morskim.	Wielopoziomowa (3 lub 5 poziomów) oparta na wysokonapięciowych modułach IGBT.
Średnie Napięcie (MV)	4,16 kV		Tak. Standardowy poziom dystrybucyjny i napędowy w przemyśle ciężkim USA.	Kaskadowy mostek H (CHB), bardzo często zintegrowany transformator wejściowy.
Średnie Napięcie (MV)	6,0 kV	Tak. Kręgosłup polskiego przemysłu ciężkiego: bloki energetyczne, kopalnie, wielkie pompy wodne.	Tak. Główny standard obok 6,6 kV w Europie i części Azji.	CHB (wielopoziomowa komórkowa) lub prądowa CSI (tranzystory IGCT/SGCT lub IGBT).
Średnie Napięcie (MV)	6,6 kV		Tak. Standard międzynarodowy (częsty na platformach wiertniczych i w Azji).	Analogiczna jak dla 6 kV, zwiększona liczba komórek mocy w kaskadzie.
Średnie Napięcie (MV)	10 kV	Tak. Najwyższe napięcie silnikowe w Polsce (np. wentylatory ciągów elektrycznych, pompy systemowe >10 MW).	Tak. Powszechny poziom w Europie dla maszyn wielkich mocy (Multi-Megawatt).	Kaskadowa CHB (ponad 15–20 poziomów napięcia), zaawansowana optoelektronika.
Średnie Napięcie (MV)	11 kV		Tak. Standard w Wielkiej Brytanii, Australii oraz krajach Brytyjskiej Wspólnoty Narodów.	Struktura komórkowa CHB z wbudowanym transformatorem przesuwającym fazę.
Średnie Napięcie (MV)	13,8 kV		Tak. Najwyższy seryjny standard falownikowy (wielkie kompresory gazu w USA, petrochemia).	Złożone systemy kaskadowe CHB lub napędy tyrystorowe typu LCI (Load Commutated Inverter).

**Uwaga:** Odnośnie terminu średnie napięcie – wszystkie poziomy napięć przekraczające 1000 V AC / 1500 V DC, wykraczają poza zakres normy instalacyjnej serii 60364 i klasyfikowane są jako wysokie napięcie podlegające pod odrębne przepisy i normy elektroenergetyczne

W polskiej praktyce inżynierskiej granicą dla falowników niskonapięciowych jest 690 V. Powyżej tej wartości przechodzi się od razu na poziomy średniego napięcia (najczęściej 6,0 kV, rzadziej historyczne 3,3 kV oraz najpotężniejsze 10 kV). Poziomy pośrednie (takie jak 2,4 kV, 4,16 kV czy 6,6 kV) są domeną maszyn importowanych, głównie z rynku amerykańskiego. W Polsce nie stosuje się falowników zasilających bezpośrednio silniki na napięcia rzędu 13,8 kV. Jeśli w polskim zakładzie istnieje potrzeba zasilania aplikacji z sieci 15 kV lub 30 kV, standardem projektowym jest zastosowanie transformatora obniżającego napięcie do 6 kV lub 10 kV, przeprowadzenie regulacji częstotliwościowej na

tych poziomach, i zasilanie dedykowanego silnika średniego napięcia. Specyfiką polskiego przemysłu wydobywczego (KGHM, kopalnie JSW/PGG) jest zasilanie maszyn dołowych napięciem 500 V, a coraz częściej 1000 V (traktowanym wciąż według norm jako niskie napięcie AC). Falowniki pracujące w tych sieciach wymagają ekstremalnie odpornych na wyładowania filtrów wyjściowych (sinus-filtrów), ponieważ odbicia fali napięciowej na długich kablach w podziemiach kopalń potrafią zniszczyć izolację silnika w kilka dni. W aplikacjach o dużej bezwładności (np. wielkie wentylatory wyciągowe w kopalniach, wirówki, taśmociągi pochyłe) kluczowym problemem jest zatrzymanie maszyny. Klasyczne

↓ **Tabela 8.** Analiza porównawcza platform napędowych niskiego napięcia (LV do 1 kV) – kolejność alfabetyczna [wspomaganie bazami AI]

Producent	Flagowa seria przemysłowa	Główny algorytm sterowania silnikiem	Obsługiwane typy silników	Natywne interfejsy i protokoły (OT)	Diagnostyka predykcyjna i funkcje Industry 5.0
ABB	ACS880	DTC (Direct Torque Control)	IM, PM, SynRM, SM	PROFINET, EtherCAT, EtherNet/IP, Modbus TCP	Zaawansowana estymacja temperatury uzwojeń, obliczanie cyklu życia kondensatorów, wbudowane bezpieczeństwo (FSO-21).
Danfoss	VLТ AutomationDrive FC 302	VVC+ (Voltage Vector Control) / FOC	IM, PM, IPM, SynRM	PROFINET, EtherNet/IP, Modbus TCP, POWERLINK	Wbudowane monitorowanie stanu (CBM): analiza asymetrii prądu stojana i izolacji silnika bezpośrednio w napędzie (Edge).
Delta Electronics	C2000 Plus	FOC (z/bez enkodera) / TPE Vector	IM, PM, SynRM	Modbus RTU (natywny), EtherNet/IP, PROFINET	Wbudowany sterownik PLC o pamięci do 10k kroków, pozwalający na realizację lokalnej logiki kognitywnej bez nadrzędnego CPU.
Fuji Electric	FRENIC-MEGA (G2)	Dynamic Torque Vector Control / FOC	IM, PM	Modbus RTU (natywny), PROFINET, EtherNet/IP	Autorska konstrukcja modułów IGBT nowej generacji z wbudowanymi czujnikami temperatury złącza półprzewodnika dla predykcji zużycia mocy.
LS Electric (LG)	Industrial L100 / H100	Zaawansowany Sensorless Vector / V/f	IM, PM	Modbus TCP, EtherNet/IP, Metasys N2	Dedykowane algorytmy wielopompe (Anti-Water Hammer, Flownode Control) stabilizujące ciśnienie w niedeterministycznych warunkach przepływu.
Mitsubishi Electric	FR-E800 / FR-A800	Real Time Sensorless Vector Control	IM, PM, IPM	CC-Link IE TSN (natywny), PROFINET, EtherNet/IP	Wbudowana sztuczna inteligencja Maisart AI: automatyczna diagnostyka korozyjności otoczenia oraz estymacja uszkodzenia izolacji silnika.
Rockwell Automation	PowerFlex 755T / 755	TotalFORCE / FOC / V/f	IM, PM, SynRM	EtherNet/IP (natywny z CIP Safety), DeviceNet	Adaptacyjne tłumienie rezonansów mechanicznych w czasie rzeczywistym, predykcyjne powiadomienia o zużyciu wentylatorów i tranzystorów IGBT.
Schneider Electric	Altivar Process (ATV900)	Zaawansowany FOC / Dynamiczny V/f	IM, PM	Modbus TCP (natywny), EtherNet/IP, PROFINET	Services-oriented Drives: wbudowane algorytmy monitorowania wydajności pomp, bezpośredni dashboard energetyczny po HTML5 i komunikacja IIoT.
Siemens	SINAMICS S120 / G120	FOC (Field Oriented Control) / V/f	IM, PM, SynRM, Reluctance	PROFINET (natywny), PROFIBUS, EtherNet/IP	Pełna integracja z Cyfrowym Bliźniakiem (Digital Twin) przez program Startdrive, monitorowanie stanu mechanicznego (Vibration Monitoring).
WEG Industries	CFW11 / CFW500	Optimal Braking / FOC / V/f	IM, PM (W-Magnet)	Modbus RTU (natywny), PROFINET, EtherNet/IP	Technologia Drive+Motor Bundle: fabrycznie zaimplementowane mapy magnetyczne silników WEG IE4/IE5 dla optymalizacji sprawności cieplnej.
Yaskawa	GA700 / GA800	EZ Vector / FOC (z/bez enkodera)	IM, PM, IPM, SynRM	PROFINET, EtherNet/IP, Modbus TCP, CC-Link	Wyjątkowo wysoka bezawaryjność (projektowane na 10 lat pracy bez obsługi), konfiguracja i backup z poziomu smartfona przez Bluetooth/Cloud.

**Uwaga:** Skrótów typów silników: IM (*Induction Motor* – asynchroniczny), PM/IPM (*Permanent Magnet / Interior Permanent Magnet*), SynRM (*Synchronous Reluctance Motor* – synchroniczny reluktancyjny)

systemy marnują tę energię, zamieniając ją w ciepło na rezystorach hamowania. Podejście Industry 5.0 uwzględni fakt, że nowoczesne falowniki wyposażone są np. w moduły AFE (*Active Front End*) i działają dwukierunkowo. Podczas hamowania gigantycznych mas, silnik przechodzi w stan pracy prądnicowej, a falownik przekształca energię, synchronizuje ją z częstotliwością sieci i oddaje (regeneruje) bezpośrednio do sieci zakładowej 6 kV lub 10 kV z czystą sinusoidą (THDi < 3%). Taki mechanizm wprowadza zakład w realny cykl gospodarki cyrkularnej i zrównoważonego rozwoju (*Sustainability*).

### Kluczowe wnioski inżynierskie dla projektantów systemów napędowych niskiego napięcia (LV do 1 kV):

- DTC vs. FOC: Marka ABB konsekwentnie rozwija sterowanie DTC (bezpośrednie sterowanie momentem), które zapewnia najszybszą odpowiedź dynamiczną na nagłe zmiany obciążenia wału bez użycia enkodera. Większość pozostałych producentów (Siemens, Rockwell, Yaskawa) opiera się na wysoce zoptymalizowanym sterowaniu polowo zorientowanym (FOC), które wymaga dokładniejszej parametryzacji matematycznej silnika.

↓ **Tabela 9.** Analiza porównawcza platform napędowych średniego napięcia (6 kV) – kolejność alfabetyczna [wspomaganie bazami AI]

Producent	Flagowa seria dla aplikacji 6 kV	Topologia falownika i technologia półprzewodników	Konfiguracja prostownika (Prostowanie)	Wbudowany transformator dopasowujący	Unikalne patenty i rozwiązania inżynierskie
ABB (Szwajcaria)	ACS580MV / ACS6080	Wielopoziomowy VSI (Voltage Source Inverter) oparty na modułach IGCT (w serii 6080) lub IGBT.	36-pulsowy DFE (Diode Front End) lub AFE (Active Front End).	Zintegrowany (wersje kompaktowe) lub zewnętrzny (konfigurowalny).	Algorytm DTC (Direct Torque Control). Ekstremalnie szybka kontrola momentu; technologia IGCT zapewnia najwyższą gęstość mocy i sprawność.
Fuji Electric (Japonia)	FRENIC4600FM5	Wielopoziomowa kaskadowa komórkowa oparta na dedykowanych komponentach MVD-IGBT.	36-pulsowy / 48-pulsowy układ prostowniczy.	Zintegrowany transformator suchy (klasa izolacji H).	Autorskie matryce półprzewodnikowe. Fuji produkuje własne elementy IGBT, optymalizując straty przełączania ( $\{E_{on}\}/E_{off}\}$ ) bezpośrednio pod kątem aplikacji 6 kV.
GE Vernova / Power Conversion (USA)	MV6000 / MV7000	MV6000: Kaskadowa CHB. MV7000: 3-poziomowa struktura NPC (IGBT/ IEGT).	Dynamiczny Active Front End (AFE) umożliwiający pełny zwrot energii.	Dostępna opcja zintegrowana lub zaawansowana konfiguracja beztransformatorowa.	Nested NPP (Neutral-Point-Pilot). Opatentowana technologia pozwalająca uzyskiwać bardzo wysokie napięcia wyjściowe przy mniejszej liczbie komponentów, co zwiększa MTBF układu.
Hitachi (Japonia)	HIVERT Series	Wielopoziomowa struktura kaskadowa (CHB) z inteligentnymi modułami mocy.	Multi-pulse DFE z przesunięciem fazowym zapewniający czysty prąd sieciowy.	Zintegrowany transformator wejściowy zoptymalizowany pod sprawność cieplną.	Zaawansowany system chłodzenia i redundancji sterowania. Podwójne procesory sterujące pracujące w układzie Hot-Standby (automatyczny bezprzerwywy przepływ sterowania).
Inovance (Chiny)	HD9x Series	Zaawansowana kaskadowa struktura wielopoziomowa CHB (IGBT).	Multi-pulse (36/48-pulsowy) prostownik diodowy dla THDI < 2%.	Zintegrowany wewnętrznie (suchy, chłodzony wymuszonym obiegiem powietrza).	Szybko rosnący lider azjatycki; zaawansowane algorytmy bezczujnikowego sterowania wektorowego (SVC) dla silników synchronicznych wielkiej mocy.
Mitsubishi Electric (Japonia)	MELVEC-MEGA / MEV Series	3-poziomowa lub wielopoziomowa NPC/CHB z wykorzystaniem modułów HV-IGBT.	Zaawansowany 24- lub 36-pulsowy DFE / AFE.	Konfigurowalny (zintegrowany dla standardowych gabarytów szafy).	Integracja z systemem automatyki MelsecNet/CC-Link TSN. Ultra-niski poziom pulsacji momentu obrotowego i zaawansowana kontrola harmonicznych prądu.
Rockwell Automation (USA)	PowerFlex 6000 / 7000	PF6000: Kaskadowa CHB (IGBT). PF7000: Prądowa (CSI – Current Source Inverter) oparta na SGCT.	PF6000: do 54-pulsów DFE. PF7000: AFE o strukturze PWM z technologią regeneracji energii.	PF6000: Zintegrowany. PF7000: Dostępna unikalna wersja Direct-to-Drive (beztransformatorowa).	Technologia CSI w PF7000. Wykorzystanie półprzewodników SGCT pozwala na beztransformatorowe zasilanie silnika 6 kV z sieci, co radykalnie zmniejsza wagę napędu.
Schneider Electric (Francja)	Altivar Process ATV6000	Kaskadowy mostek H (CHB) sterowany mikroprocesorowo (IGBT).	36-pulsowy lub 48-pulsowy układ prostowniczy DFE/ AFE.	Zintegrowany wielouzojieniowy transformator przesuwający fazę.	IoT Services-oriented Architecture. Wbudowany Web Server (HTML5), kalkulatory sprawności pomp i wentylatorów z bezpośrednim raportowaniem do systemów chmurowych.
Siemens (Niemcy) / Innomatics	SINAMICS GH180 (Perfect Harmony)	Wielopoziomowa kaskadowa komórkowa (CHB – Cascaded H-Bridge) oparta na IGBT.	Wielopulsowy (do 54 pulsów) zaawansowany układ diodowy.	Zintegrowany transformator separacyjny (wielouzojieniowy) na pokładzie.	Funkcja Cell Bypass. Automataczne bocznikowanie uszkodzonej komórki mocy w czasie < 1 ms; napęd kontynuuje pracę przy pełnym prądzie obciążenia.
Toba / Toshiba (Japonia / USA)	T300MV2	5-poziomowa topologia z diodami poziomującymi (NPC – Neutral Point Clamped) lub kaskadowa.	24-pulsowy / 36-pulsowy prostownik diodowy.	Zintegrowany transformator suchy w standardowej obudowie napędu.	Wyjątkowo bezpieczne obwody optoelektroniczne PP-IGBT. Wysokie napięcie izolacji impulsowej; konstrukcja odporna na bardzo trudne warunki środowiskowe.
WEG Industries (Brazylia)	MVW3000	Kaskadowy mostek H (CHB) z tranzystorami IGBT nowej generacji.	36-pulsowy prostownik diodowy jako standard sieciowy.	Zintegrowany w szafie napędowej (suchy izolowany żywicą).	Optymalizacja systemowa z silnikami WEG H-Line. Pełna korelacja algorytmu sterowania z nieliniowościami magnetycznymi wielkich silników klatkowych i synchronicznych 6 kV.
Yaskawa (Japonia)	MV1000	Kaskadowy mostek H (CHB) z bezpośrednim wyjściem wielopoziomowym na bazie IGBT.	36-pulsowy lub 48-pulsowy DFE dla minimalizacji zakłóceń sieciowych.	Zintegrowany (standard) – transformator suchego typu z przesunięciem fazowym.	Smart Harmonics. Generuje prąd wyjściowy o niemal idealnej sinusoidzie; brak konieczności stosowania dodatkowych filtrów wyjściowych (sinus-filtrów).

- Edge AI i Diagnostyka: Nowoczesne napędy przestały być „czarnymi skrzynkami” wykonawczymi. Przemienniki Mitsubishi Electric (z Maisart AI) oraz Danfoss (z algorytmami *Condition-Based Monitoring*) potrafią samodzielnie przetwarzać sygnały prądowe i wibracyjne na poziomie fizycznym (*Edge*) i alarmować o awarii mechanicznej zanim informacja ta trafi do nadrzędnego systemu SCADA.
- Optymalizacja energetyczna: W dobie wymogów zrównoważonego rozwoju (Przemysł 5.0), kluczowa staje się obsługa silników synchronicznych reluktancyjnych (SynRM). Liderami w natywnym wsparciu i bezczujnikowym sterowaniu tymi wysoce sprawnymi energetycznie jednostkami są ABB, Danfoss oraz Siemens.

Przemienniki częstotliwości średniego napięcia (*Medium Voltage Drives – MVD*) na napięcie 6 kV to zaawansowane inżynierskie systemy stosowane w przemyśle ciężkim (górnictwo, energetyka, hutnictwo, duże przepompownie, produkcja opon). W tym segmencie dominują zupełnie inne kryteria projektowe niż w przypadku niskiego napięcia (LV) – kluczowa jest wielopoziomowa topologia falownika, eliminacja wyższych harmonicznych (THD) oraz ochrona izolacji silnika przed zjawiskiem  $dV/dt$ . Przemienniki częstotliwości (falowniki) na napięcia wyższe niż 6 kV są produkowane seryjnie i stosowane w najcięższych gałęziach przemysłu globalnego (np. w wielkich przepompowniach, kompresorach gazu, kopalniach oraz hutnictwie). W energetyce i ciężkim przemyśle napędowym standardy napięciowe powyżej 6 kV obejmują najczęściej poziomy 6,6 kV, 10 kV, 11 kV oraz 13,8 kV. Główne poziomy napięcie powyżej 6 kV i ich zastosowanie:

- 6,6 kV: Bardzo popularny standard międzynarodowy (często stosowany zamiennie lub jako rozwinięcie sieci 6 kV w Europie i Azji). Falowniki na to napięcie produkuje niemal każdy duży gracz (np. Rockwell PowerFlex 7000, Siemens Sinamics GH180, ABB ACS1000).
- 10 kV / 11 kV: Standardy powszechne w europejskich i azjatyckich sieciach dystrybucyjnych. Stosuje się je, gdy moc pojedynczego silnika przekracza kilkanaście megawatów (MW), aby drastycznie obniżyć prąd znamionowy (grubość kabli zasilających). Przykładem są napędy pomp sieciowych i głównych wentylatorów kopalnianych.
- 13,8 kV: Najwyższy powszechny standard dla seryjnych przemienników częstotliwości (głównie rynek amerykański, platformy wiertnicze, systemy przesyłu gazu). Silniki zasilane bezpośrednio takim napięciem mają moce sięgające od kilkunastu do kilkudziesięciu megawatów.

Tabela zestawia 9 największych globalnych producentów systemów napędowych 6 kV, posiadających pełną infrastrukturę badawczo-rozwojową (B+R) oraz własne fabryki testowe wielkich mocy.

### Kluczowe pojęcia inżynierskie dla aplikacji średniego napięcia (6 kV)

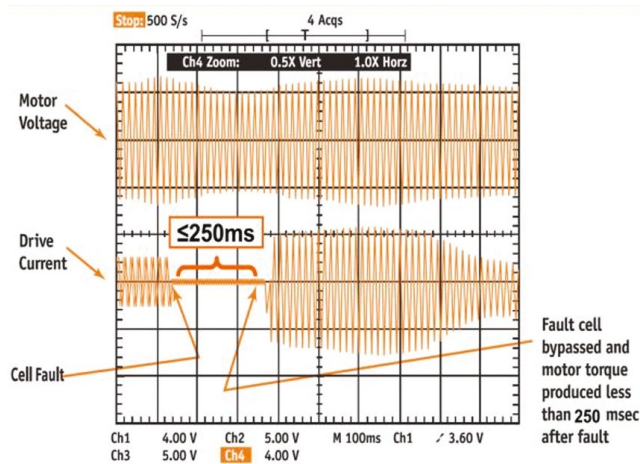
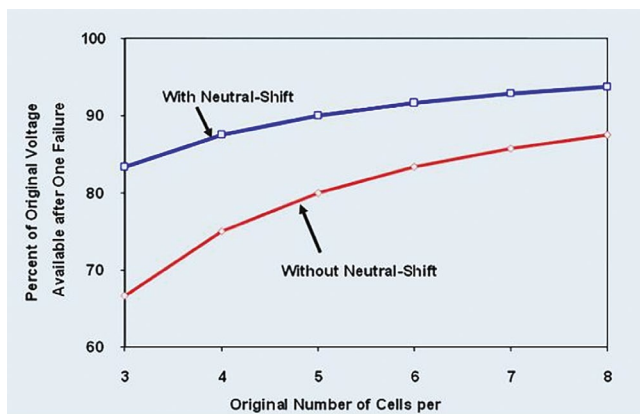
- Topologia CHB (*Cascaded H-Bridge*): Jest to obecnie standard przemysłowy (wykorzystywany m.in. przez Siemens,

Yaskawę, Schneidera). Polega na szeregowym łączeniu niezależnych, niskonapięciowych komórek mocy (*Power Cells*) dla wygenerowania końcowej sinusoidy 6 kV. Pozwala to uzyskać doskonałą jakość napięcia bez filtrów wyjściowych, a uszkodzenie jednej komórki nie musi zatrzymać napędu (funkcja *Cell Bypass*).

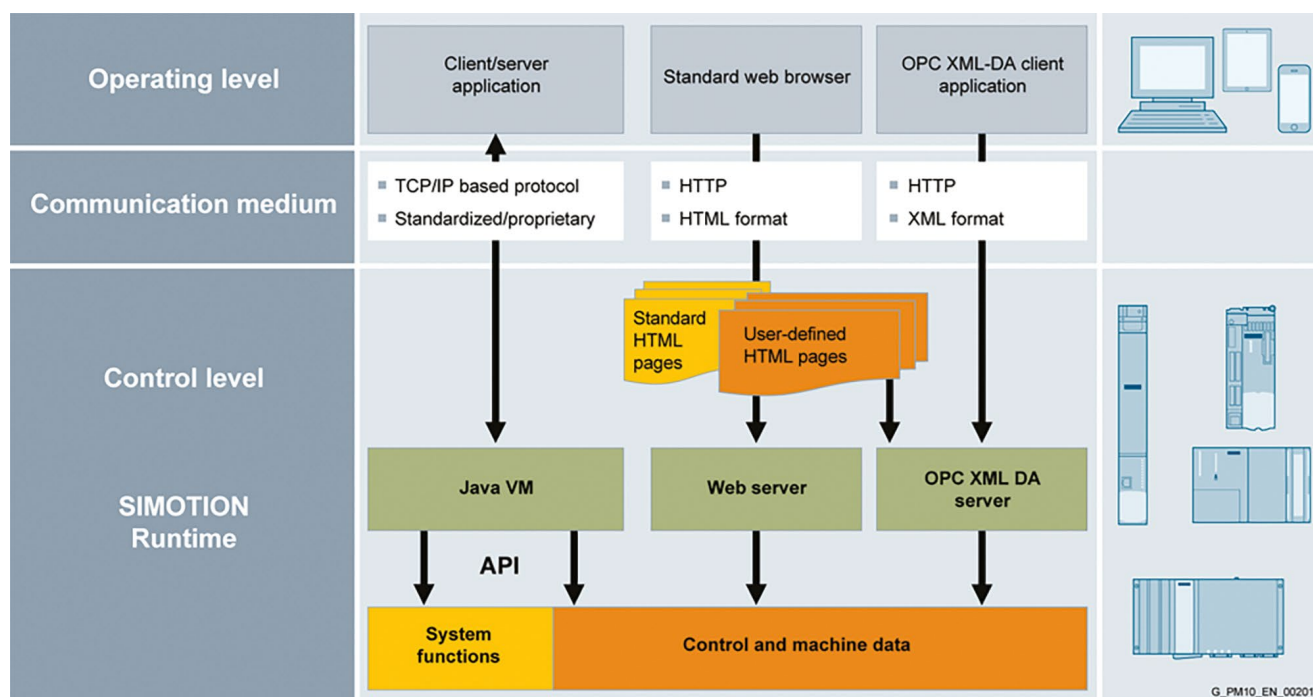
- Topologia CSI vs. VSI: Rockwell Automation (w serii PF7000) jako jeden z niewielu stosuje falownik prądowy (CSI). Zaletą jest to, że nie wymaga on stosowania kondensatorów elektrolitycznych w obwodzie pośrednim DC (zastąpiono je dławikami DC), a napęd z natury pozwala na zwrot energii do sieci (regenerację) bez dodatkowych modułów.
- Wielopulsowość wejściowa: Ponieważ napędy 6 kV mają moce mierzone w megawatach, ich prostowniki wejściowe muszą minimalizować odkształcenia prądu sieciowego (zgodnie z normą IEEE 519). Zastosowanie zintegrowanego transformatora o wielu uzwojeniach wtórnych przesuniętych w fazie pozwala na budowę prostowników 36-, 48-, a nawet 54-pulsowych, co eliminuje harmoniczne 5., 7., 11. i 13. bez zewnętrznych filtrów harmonicznych. Większość producentów (np. Siemens z serią Perfect Harmony, Yaskawa, Inovance) buduje falowniki wielopoziomowe. Przykładowo, aby uzyskać napięcie wyjściowe 10 kV, falownik nie korzysta z jednego wielkiego tranzystora (który uległby przebiciu). Zamiast tego łączy szeregowo kilkanaście mniejszych, niezależnych komórek mocy (*Power Cells*) pracujących na niskim napięciu. Napięcia poszczególnych komórek sumują się, dając na wyjściu czystą sinusoidę rzędu 10–11 kV. Dla ekstremalnych mocy i napięć (np. do 2 x 10 kV lub 2 x 25 kV) stosuje się technologię ABB MEGADRIVE-LCI. Są to potężne systemy napędowe (często oparte na tyrystorach zamiast tranzystorów IGBT), które współpracują z wielkimi silnikami synchronicznymi (np. o mocy do 150 MW).

Dlaczego to ma znaczenie dla Industry 5.0? Przejście na wyższy poziom napięcia (np. z 6 kV na 11 kV lub 13,8 kV) przy bardzo dużych mocach pozwala na redukcję strat przesyłowych (cieplnych) na kablach. Z perspektywy zrównoważonego rozwoju i ekologii, nowoczesne falowniki na te napięcia są wyposażane w moduły AFE (*Active Front End*), które pozwalają na pełen zwrot energii do sieci energetycznej podczas hamowania gigantycznych mas maszynowych (np. wyciągów szybowych czy taśmociągów), co stanowi kluczowy element optymalizacji kosztów w nowoczesnym przemyśle. W rozwiązaniach na średnie napięcie firmy posiadają wiele własnych, opatentowanych rozwiązań – rys. 4.

Rys. 4 przedstawia dostępne napięcie wyjściowe po obejściu jednego uzwojenia, w zależności od liczby uzwojeń w konfiguracji i zastosowanej metody obejścia. SINAMICS Perfect Harmony GH180 z funkcją przesunięcia punktu neutralnego jest w stanie zapewnić 83% napięcia wyjściowego w porównaniu do poniżej 70% w przypadku napędu z tą samą liczbą ogniw, ale bez funkcji przesunięcia punktu neutralnego.



↑ Rys. 4. SINAMICS Perfect Harmony GH180 – Dostępne napięcia wyjściowe po obejściu – Technologia opatentowana przez firmę Siemens; numer patentu 5 986 909 [10]



↑ Rys. 5. Struktura poziomów w rozwiązaniach Simotion Siemens [11]

### IV.3. Wysokoobrotowe systemy serwonapędowe w elastycznej parametryzacji osi

Współczesne serwonapędy bazują na zaawansowanych pętlach regulacji prądu, prędkości i pozycji o częstotliwościach taktowania przekraczających kilkanaście kHz. Wprowadzenie technologii jednoetapowego sprzężenia zwrotnego DSL (*Digital Servo Link*) lub OCC (*One Cable Connection*) pozwala na transmisję danych z encodera i zasilania jednym przewodem, redukując zakłócenia EMI.

Cyfrowe profile krzywek (*Electronic Cams*) mogą być rekonfigurowane w locie (*on-the-fly*) z poziomu HMI, co umożliwia natychmiastową zmianę gabarytów pakowanego produktu bez zatrzymywania linii.

Regulacja pozycji w nowoczesnych serwonapędach opiera się na kaskadowych układach PID z pętlą prądową taktowaną z częstotliwością do 62,5 (mikrosekundy). Zastosowanie

interfejsów takich jak Hiperface DSL czy EnDat 3 umożliwia transmisję sygnału pozycji o rozdzielczości do 24 bitów na jeden obrót za pomocą zaledwie dwóch żył współdzielonych w kablu zasilającym (*One Cable Technology*).

Od strony programistycznej kluczem do elastyczności Industry 5.0 są dynamiczne krzywki elektroniczne (*Electronic Camming*). Zamiast stałych tabel punktów profilu ruchu zaszytych w pamięci nieulotnej, profile są generowane parametrycznie za pomocą wielomianów 5. stopnia (zapewniających ciągłość przyspieszenia i zrywu – *jerk*). Inżynier sterowania może za pomocą komend PLCopen (np. MC\_CamIn, MC\_MotionIn) modyfikować punkty przegięcia krzywej w czasie rzeczywistym, dopasowując ruch popychaczy czy noży odcinających do zmienianych gabarytów produktu, raportowanych przez system wizyjny.

↓ **Tabela 10.** Porównanie technologii Simotion vs 10 wiodących platform Motion Control– kolejność przypadkowa

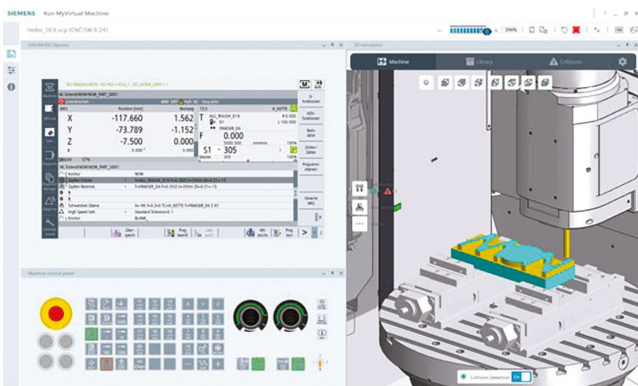
[wspomaganie bazami AI]

Producent / Technologia	Ekosystem / Główny produkt	Architektura i Wydajność	Główna Sieć / Bus	Standard IEC 62443 & Cyberbezpieczeństwo
0. Siemens (Odniesienie)	Simotion D (D4×5-2) Phase-Out of SIMOTION D	Hybryda PLC/Motion (wbudowana w napęd lub zewnętrzna) Architectural Comparison. Środowisko Simotion Scout Siemens. Ogromna wydajność, ale starsza architektura SIMOTION Phase-out.	PROFINET (IRT), PROFIBUS	Podstawowy (starsza generacja). Bezpieczeństwo oparte głównie na segmentacji sieci zewnętrznej Network Security.
0+ Siemens (Sukcesor)	Simatic S7-1500T Phase-Out of SIMOTION D	Pełna integracja z TIA Portal. Do kilkudziesięciu zaawansowanych osi skoordynowanych w jednym CPU SIMOTION Phase-out.	PROFINET (IRT)	Pełna zgodność z IEC 62443-4-2. Wbudowany mechanizm Secure Communication, ochrona integralności kodu i autentykacji.
1. Beckhoff	TwinCAT 3 / IPC	Komputerowy system sterowania (PC-based). Niezrównana wydajność obliczeniowa (mikrosekundowe czasy cykli). Programowanie w Visual Studio.	EtherCAT (twórca standardu)	Wysoki poziom bezpieczeństwa na poziomie IPC (system operacyjny Windows/TwinCAT BSD). Wspiera szyfrowanie komunikacji i kontrolę dostępu.
2. Bosch Rexroth	ctrlX AUTOMATION	Nowoczesna, otwarta architektura oparta na Linuxie i technologii kontenerowej (Docker). Aplikacje pisane w wielu językach (Python, C++, IEC 61131).	EtherCAT, PROFINET, sercos	Zaprojektowany od zera pod IEC 62443. Wbudowany firewall, zaawansowane zarządzanie użytkownikami (OAuth2) i pełna izolacja procesów.
3. B&R (ABB)	Automation Studio / ACOPOS	Bardzo wysoka kultura sterowania Motion (wielooosiowe systemy transportowe jak SuperTrak). Zaawansowane funkcje matematyczne i symulacyjne.	POWERLINK, OPC UA FX	Ścisła integracja z politykami bezpieczeństwa IT. Bezpieczna komunikacja OPC UA z certyfikatami x.509.
4. Rockwell Automation	ControlLogix / Kinetix	Amerykański standard rynkowy. Systemy sterowania oparte na obiektach Motion w środowisku Studio 5000. Bardzo silna pozycja w procesach ciągłych.	EtherNet/IP (z CIP Motion)	Certyfikacja IEC 62443-4-2 dla nowej linii kontrolerów ControlLogix. Wspiera standard CIP Security (szyfrowanie ruchu sieciowego).
5. Omron	Sysmac NJ/NX	Jeden kontroler dla PLC, Motion, Wizji i Robotyki (One Controller). Bardzo szybka synchronizacja osi i łatwa integracja z robotami Delta/Scara.	EtherCAT	Konstrukcja ukierunkowana na fabryki przyszłości. Bezpieczne logowanie, kontrola integralności danych i bezpieczne bazy danych (SQL przez TLS).
6. Schneider Electric	PacDrive 3 / EcoStruxure	Legendarna technologia w maszynach pakujących (dawny Elau). Genialne, gotowe szablon aplikacji dla maszyn typu „Packaging”.	Sercos III	Integracja w ramach platformy EcoStruxure, spełniającej wymagania cyberbezpieczeństwa dla poziomów systemowych.
7. Mitsubishi Electric	iQ-R Series / MELSERVO	Niezwykle popularny w Azji. Dedykowane moduły Motion CPU (Simple Motion) współpracujące bezpośrednio na magistrali z głównym PLC.	CC-Link IE TSN (Time-Sensitive Networking)	Wykorzystanie technologii TSN ułatwia separację ruchu IT i OT na poziomie warstwy sprzętowej, zwiększając odporność na ataki DoS.
8. Yaskawa	MP3000 Series / Sigma-7	Wybitna dynamika napędów i algorytmów Motion. Urządzenia dedykowane stricte do zaawansowanych maszyn CNC i robotyki.	MECHATROLINK-III / IV	Skupienie na stabilności warstwy OT. Cyberbezpieczeństwo opiera się głównie na zewnętrznych barierach (strefy wg IEC 62443).
9. Lenze	Controller 3200 C / i950	Silna specjalizacja w logistyce magazynowej i prostszych maszynach produkcyjnych. Narzędzia inżynierskie mocno zorientowane na konfigurację, a nie programowanie od zera.	EtherCAT, PROFINET	Podstawowe mechanizmy ochrony dostępu do kontrolera; zalecane stosowanie przemysłowych firewalli w sieci zakładowej.
10. CODESYS (Platforma)	CODESYS SoftMotion	Oprogramowanie uruchamiane na sprzęcie różnych marek (np. Wago, Eaton, Festo). Elastyczne, tanie rozwiązanie z pełnym wsparciem dla profili CNC (G-code) i robotyki SIMOTION Phase-out.	Zależnie od sprzętu (głównie EtherCAT)	Najnowsze wersje środowiska runtime oferują zaawansowane wsparcie dla szyfrowania kodu, zarządzania użytkownikami oraz komunikacji TLS zgodnie z wymogami bezpieczeństwa.

#### IV. 4. Zintegrowane systemy sterowania CNC o otwartej architekturze

Współczesna technika CNC opiera się na pełnej integracji z tzw. Cyfrowym Bliźniakiem (*Digital Twin*) obrabiarki. Układy sterowania przetwarzają kod G (*G-code*) wspierany algorytmami *Look-Ahead* (analiza trajektorii

z wyprzedzeniem setek bloków programu). Pozwala to na optymalizację prędkości posuwu i minimalizację błędów konturu w czasie rzeczywistym. Otwarte interfejsy API umożliwiają integrację systemów CNC z zewnętrznymi algorytmami optymalizacji zużycia narzędzi skrawających. Architektura nowoczesnych jąder CNC (*Motion Control Kernel*) bazuje na



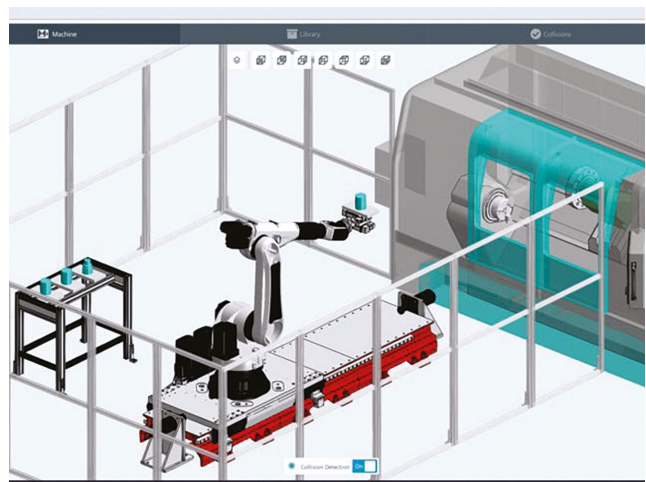
↑ **Rys. 6.** Cyfrowa platforma podwójna dla SINUMERIK CNC, wspierająca programowanie, weryfikację i training z symulacją wysokiej jakości oraz pełny cyfrowy bliźniak CNC z kinematyką – Siemens MyVirtual Machine Sinumerik CNC [12]

zaawansowanej interpretacji kodu G (ISO 6983) połączonej z blokami predykcji trajektorii (*Look-Ahead*) o głębokości analizy przekraczającej 1000 bloków.

Algorytmy interpolacji wieloosiowej w czasie rzeczywistym obliczają wektory przyspieszeń, aby zapobiegać rezansom mechanicznym konstrukcji (funkcje *Input Shaping*). Kluczowym elementem inżynierskim jest integracja otwartych interfejsów API (np. poprzez OPC UA Information Models dla obrabiarek – *Umati*). Pozwala to na dwukierunkową komunikację z Cyfrowym Bliźniakiem (*Digital Twin*) uruchomionym na serwerze brzegowym. Sterownik CNC przesyła w czasie rzeczywistym aktualne obciążenie wrzeciona oraz pozycje osi z częstotliwością interpolatora (np. co 1 ms), otrzymując w zamian dynamiczne korekty posuwu (*Override*), optymalizujące zużycie ostrza narzędzia w zależności od lokalnej twardości materiału.

#### IV.5. Panele HMI oparte na technologiach webowych (HTML5 i Vector Graphics)

Współczesne interfejsy człowiek-maszyna (HMI) porzuciły zamknięte, dedykowane środowiska graficzne na rzecz technologii webowych (HTML5, CSS3, JavaScript). Panele operatorskie działają jako serwery WWW, renderując responsywne ekrany (*Responsive Web Design*). Pozwala to na bezpieczne skalowanie interfejsu na urządzenia mobilne (tablety, smartfony) przy zachowaniu restrykcyjnej separacji uprawnień użytkowników. Nowoczesne terminale operatorskie zrezygnowały z zamkniętych, binarnych runtime'ów graficznych na rzecz silników przeglądarek opartych na architekturze Chromium. Środowisko projektowe generuje czysty kod HTML5, SVG oraz CSS3. Komunikacja między panelem HMI (działającym jako klient/serwer) a procesem sterownika PLC nie odbywa się już poprzez powtarzalne zapytania odpytujące (*polling*), lecz poprzez asynchroniczne, dwukierunkowe kanały WebSockets. Dzięki grafice wektorowej ekrany skalują się bezstratnie do dowolnej rozdzielczości, a dynamiczne arkusze stylów (CSS) pozwalają na błyskawiczną zmianę układu interfejsu (*Responsive Web Design*). Dodatkowo, separacja warstwy



prezentacji od warstwy danych pozwala na jednoczesne renderowanie tego samego widoku procesu na panelu fizycznym, tablicie serwisanta oraz w centrum nadzoru, przy czym każde urządzenie uwierzytelnia się osobnym tokenem JWT (*JSON Web Token*), definiującym uprawnienia do edycji parametrów.

#### IV.6. Inteligentna asysta: Autonomiczne systemy agentowe i roboty współpracujące (Coboty)

W Przemysle 5.0 roboty współpracujące (*coboty*) są wyposażone w zaawansowane układy sensoryczne – czujniki momentu siły w każdej osi oraz systemy wizyjne 3D zasilane sieciami neuronowymi. Dzięki temu nie wymagają barier ochronnych (wygradzeń). Jeśli trajektoria ruchu cobota przecnie się z operatorem, układ natychmiast przechodzi w stan bezpiecznego zatrzymania (*Safe Stop*). Z kolei Generatywna Sztuczna Inteligencja (*GenAI*) wdrażana jest w postaci tzw. systemów agentowych (*Agentic AI*). Nie są to proste chatboty, lecz autonomiczne oprogramowanie zdolne do interpretacji anomalii, generowania scenariuszy naprawczych i autonomicznego programowania robotów na podstawie komend wydawanych językiem naturalnym.

Przykład wdrożenia: Strategię tę obrazują najnowsze rozwiązania zaprezentowane przez Siemens na targach Hannover Messe dotyczące *Agentic AI*. Systemy te pozwalają na koordynację autonomicznych agentów AI, którzy wspierają inżynierów w projektowaniu i diagnostyce maszyn w czasie rzeczywistym.

W Przemysle 5.0 automatyzacja nie podejmuje ostatecznych decyzji – ona przygotowuje grunt pod decyzję człowieka. Przykład z życia (Krótkie serie i personalizacja): Wyobraź sobie manufakturę luksusowych mebli. Robot (*cobot* – robot współpracujący) zajmuje się ciężkim, powtarzalnym szlifowaniem surowego drewna, idealnie odmierzając siłę nacisku. Gdy baza jest gotowa, do akcji wkracza rzemieślnik. To on decyduje o finalnym wykończeniu, unikalnym usłojeniu i detalach, na które klient czeka i za które płaci premium. Robot zdjął z niego zmęczenie fizyczne, zostawiając przestrzeń na kreatywność.

↓ **Tabela 11.** Porównanie Siemens Sinumerik vs 10 wiodących systemów CNC -- kolejność przypadkowa [wspomaganie bazami AI]

Producent / System	Flagowy produkt / Ekosystem	Główny profil zastosowań	Filozofia i Interfejs	Integracja z IT / Cyfrowy Bliźniak
0. Siemens (Odniesienie)	Sinumerik ONE / 828D Siemens	Premium / Uniwersalny (5-osiowe frezowanie, zaawansowane toczenie, wielozadaniowość) Fryer / Siemens SINUMERIK ONE....	Sinumerik Operate + ShopMill/ShopTurn. Otwarte środowisko programowania, zaawansowane cykle pomiarowe i matematyczne Porównanie systemów sterowań..., [SINUMERIK	Siemens](https://www.siemens.com/pl-pl/products/sinumerik/).
1. Fanuc	Series 30i/31i-B Plus, 0i-F Plus Sinumerik 840D vs Fanuc 31i...	Produkcja wielkoseryjna, motoryzacja, robotyzacja. Globalny standard niezawodności Fanuc kontra Siemens....	Konserwatywny, czysty G-kod (ISO) Sinumerik 840D vs Fanuc 31i.... Interfejs iHMI unowocześnił wygląd, ale system stawia na purystyczne i surowe podejście FANUC kontra Siemens?....	Dobra na poziomie zbierania danych (MTConnect, OPC UA). Mniejszy nacisk na natywne środowiska symulacji 3D niż w Siemensie.
2. Heidenhain	TNC7 / TNC 640	Produkcja form, matryc, skomplikowana obróbka 5-osiowa, przemysł lotniczy Sinumerik 840D vs Fanuc 31i....	Programowanie dialogowe (Klartext) dedykowane operatorom. Wyjątkowe algorytmy kontroli konturu (ADP, Dynamic Efficiency) i grafika 3D.	Bardzo wysoka. TNC7 oferuje pełne wirtualne odzwierciedlenie maszyny i zaawansowaną integrację z systemami CAM/CAD.
3. Mazak	Mazatrol SmoothAi	Maszyny wielozadaniowe (np. Integrex), zaawansowane centra tokarsko-frezarskie.	Programowanie konwersacyjne Mazatrol (nie wymaga znajomości G-kodu do szybkich detali) z możliwością pracy w czystym EIA/ISO.	Wysoka. Systemy wykorzystują sztuczną inteligencję (AI) do optymalizacji skrawania w czasie rzeczywistym i synchronizacji z robotami.
4. Mitsubishi Electric	M800V / M80V Series	Szybkie centra obróbcze, automaty tokarskie wzdłużne (Swiss-type), elektrodrążarki (EDM).	Przejrzysty interfejs dotykowy, zbliżony w logice do systemów Fanuc, ale z nowocześniejszym, graficznym kreatorem procesów.	Bardzo dobra. Silna integracja z robotami Mitsubishi oraz fabrycznymi systemami nadrzędnymi e-F@ctory za pomocą łączności TSN.
5. Fagor Automation	8065 / 8070 CNC	Duże gabaryty, tokarki karuzelowe, zaawansowane frezarki bramowe i wycinarki laserowe.	Elastyczny system łączący G-kod z autorskim trybem konwersacyjnym ProGTL. Bardzo otwarty na modyfikacje producentów maszyn (OEM).	Dobra. Otwarta architektura pozwala na łatwe wdrażanie aplikacji zewnętrznych i integrację z sieciami przemysłowymi.
6. Haas Automation	Next Generation Control (NGC)	Uniwersalne maszyny warsztatowe, produkcja małej i średnioseryjna (zamknięty ekosystem Haas).	Niezwykle intuicyjny, prosty w nauce. Dużo graficznych podpowiedzi, wbudowane kalkulatory i szybkie cykle restartu programu.	Dobra. System chmurowy HaasConnect pozwala na monitoring maszyny na żywo na telefonie, prosty eksport danych produkcyjnych.
7. Hurco	Max5 Control	Narzędziownice, produkcja jednostkowa, prototypownie (błyskawiczne przezbrojenia).	Pionier programowania konwersacyjnego (ekrany dwumonitorowe). Operator wprowadza geometrię rysunku, system sam dobiera ścieżki.	Średnia. Nacisk położony na maksymalną wydajność i programowanie bezpośrednio na hali produkcyjnej, a nie w biurze inżynierskim.
8. Okuma	OSP-P500	Produkcja ciężka, bardzo dokładne toczenie i frezowanie na maszynach własnych Okuma.	Architektura oparta na otwartym systemie operacyjnym Windows (OSP to w zasadzie komputer PC). Unikalny system unikania kolizji (CAS).	Wybitna. Dzięki otwartemu API inżynierowie mogą pisać własne aplikacje uruchamiane bezpośrednio na ekranie sterowania maszyny.
9. Bosch Rexroth	MTX (ctrlX CNC)	Maszyny specjalistyczne, linie transferowe, szybkie wycinanie laserowe/plazmowe i giętarki.	System bazujący na architekturze PLC i standardach przemysłowych PLCopen. Bardzo krótki czas interpolacji dla setek osi jednocześnie.	Bardzo wysoka. Najnowsze edycje oparte na ctrlX (Linux) wspierają konteneryzację (Docker) i aplikacje IoT programowane w Pythonie.
10. Beckhoff (SoftCNC)	TwinCAT CNC	Maszyny niestandardowe, specjalne, linie przetwórcze drewna, szkła, kompozytów, roboty kartezjańskie.	Całkowity SoftCNC (PC-based). Kod CNC wykonywany bezpośrednio przez procesor komputera przemysłowego. Brak fizycznego „pulpitu CNC”.	Maksymalna. Sterowanie CNC jest po prostu jedną z usług w systemie operacyjnym, co pozwala na bezprecedensową integrację z bazami IT/ERP.

Oprogramowanie i AI w roli doradcy: Systemy wizyjne AI nie odrzucają automatycznie produktów na linii montażowej skomplikowanej elektroniki. Zamiast tego system podświetla operatorowi na ekranie (lub przez okulary AR) potencjalną mikrowadę i mówi: „Wskaźnik anomalii wynosi 82%. Rekomenduję poprawę lutu X”. Ostateczna decyzja: „złom czy poprawka” należy do człowieka, który zna kontekst zamówienia.

## IV.7. Nowoczesne sieci przemysłowe: Krwioobiegi elastycznej fabryki

### IV.7.1. Sieci klasy Industrial Ethernet (Nowoczesne, szybkie sieci)

Industrial Ethernet to adaptacja komercyjnego standardu Ethernet (znanego z sieci biurowych i domowych) do rygorystycznych warunków panujących w przemyśle. Stanowi on obecnie standard w nowo projektowanych fabrykach.

↓ **Tabela 12.** Szczegółowe zestawienie danych i funkcjonalności 10 wiodących producentów cobotów

Producent	Kraj	Kluczowe serie	Maks. Udzwig	Maks. Zasięg	Unikalne funkcjonalności i cechy wyróżniające	Główne zastosowania
Universal Robots	Dania	UR e-Series, UR20, UR30	30 kg	1750 mm	Globalny lider rynku; ekosystem akcesoriów UR+ (plug-and-play); intuicyjne oprogramowanie PolyScope.	Paletyzacja, obsługa maszyn CNC, montaż, pick-and-place.
FANUC	Japonia	CR, CRX	35 kg	1823 mm	Legendarna niezawodność przemysłowa (wysokie MTBF); programowanie tabletowe połączone z zaawansowanym językiem KAREL.	Spawanie, ciężka paletyzacja, obsługa maszyn w trudnym środowisku.
Techman Robot	Tajwan	TM, TM AI Kobot	25 kg	1902 mm	Wbudowana kamera z systemem AI w standardzie na flanszy robota; natywne rozpoznawanie wzorców i kodów kreskowych.	Kontrola jakości, precyzyjny montaż elektroniki, sortowanie.
Doosan Robotics	Korea Płd.	M-SERIES, A, H, E	25 kg	1700 mm	Czujniki momentu obrotowego w każdej osi (seria M); najwyższa czułość ochrony i zaawansowana kontrola siły.	Polerowanie, szlifowanie, pakowanie, sektor laboratoryjny i HoReCa.
ABB	Szwajcaria	YuMi, GoFa, CRB	12 kg	1270 mm	Wyjątkowa prędkość ruchu (do 2,2 m/s); najlepsze na rynku oprogramowanie do symulacji i cyfrowych bliźniaków RobotStudio.	Szybki montaż drobnej elektroniki, laboratoria, pick-and-place.
KUKA	Niemcy	LBR iiwa, LBR iisy	15 kg	1300 mm	Nowoczesny system operacyjny iiQKA; ultra-precyzyjne prowadzenie po ścieżce; pełna zgodność ze standardami Automotive.	Przemysł motoryzacyjny, zaawansowane testowanie, aplikacje medyczne.
Yaskawa	Japonia	HC (Moto-man)	30 kg	1900 mm	Typowo przemysłowa, aluminiowa konstrukcja; ochrona IP67 w standardzie; hybrydowy tryb pracy (pełna prędkość bez ludzi).	Spawanie łukowe, obsługa pras i maszyn CNC w trudnych warunkach.
Dobot	Chiny	CR, CRA, Magician	20 kg	1750 mm	Technologia SafeSkin (bezdotykowe wykrywanie ludzi przed kolizją); bardzo korzystny stosunek ceny do parametrów.	Edukacja, dozowanie płynów/kleju, lekki montaż, pakowanie.
JAKA	Chiny	Zu, Pro, Mini	20 kg	1713 mm	Sterowanie całkowicie bezprzewodowe z aplikacji (iOS/Android/Win); mini szafy sterownicze; seria Pro z uszczelnieniem IP68.	Przemysł chemiczny i farmaceutyczny, mobilne ramiona, gastronomia.
Elite Robots	Chiny	EC, CS	25 kg	1800 mm	W pełni otwarta architektura oprogramowania (Java, Python, C++, ROS/ROS2); wysoki stopień integracji z wózkami AGV/AMR.	Logistyka magazynowa, wkręcanie, aplikacje badawcze, polerowanie.

↓ **Tabela 13.** Sieci klasy Industrial Ethernet (Nowoczesne, szybkie sieci)

Nazwa sieci	Główny promotor / Organizacja	Maks. szybkość	Topologia	Cechy funkcjonalne i unikalne zalety	Główne zastosowania
PROFINET (RT / IRT)	Siemens / PI	100 Mbit/s do 1 Gbit/s	Gwiazda, Linia, Drzewo, Pierścień	Standard IRT umożliwia pełną deterministyczną synchronizację (< 1 μs). Łatwa integracja z diagnostyką IT, obsługa profili PROFI-safe (bezpieczeństwo) i PROFInergy.	Linie produkcyjne, systemy automatyki oparte na sterownikach PLC (szczególnie Siemens), motoryzacja.
EtherCAT	Beckhoff / ETG	100 Mbit/s (opcja 1 Gbit/s)	Linia, Drzewo, Gwiazda, Pierścień	Koncepcja „przetwarzania w locie” (ramka Ethernet jest modyfikowana przez urządzenia podczas przejścia). Ekstremalnie szybki, idealny do synchronizacji wielu osi jednocześnie.	Systemy sterowania ruchem (Motion Control), robotyka, maszyny pakujące i CNC.
EtherNet/IP	Rockwell Automation / ODVA	10 Mbit/s do 1 Gbit/s	Gwiazda, Pierścień (DLR)	Wykorzystuje standardowy protokół CIP (Common Industrial Protocol) na warstwie aplikacji. Korzysta w 100% ze standardowego sprzętu sieciowego (switche komercyjne).	Przemysł procesowy i dyskretny, systemy oparte na sterownikach Allen-Bradley (USA).
Modbus TCP	Schneider Electric / Modbus Org.	10 Mbit/s do 1 Gbit/s	Gwiazda, Drzewo	Prosta enkapsulacja klasycznych ramek Modbus w pakiety TCP/IP. Ekstremalnie łatwy w implementacji, ale brak mu determinizmu czasu rzeczywistego.	Monitorowanie zużycia energii, systemy HVAC, komunikacja systemów SCADA z prostymi licznikami/czujnikami.
CC-Link IE	Mitsubishi Electric / CLPA	1 Gbit/s lub 100 Mbit/s	Pierścień, Gwiazda, Linia	Pierwsza sieć Industrial Ethernet o natywnej prędkości gigabitowej. Wysoka przepustowość danych i stabilność cyklu przesyłu.	Fabryki elektroniki, przemysł motoryzacyjny (szczególnie na rynku azjatyckim), linie montażowe.

↓ **Tabela 14.** Sieci klasy Fieldbus (Klasyczne sieci szeregowe)

Nazwa sieci	Typ magistrali (Warstwa fizyczna)	Maks. szybkość	Maks. zasięg (bez repeaterów)	Cechy funkcjonalne i unikalne zalety	Główne zastosowania
PROFIBUS DP	RS-485	12 Mbit/s	do 100 m (przy 12 Mbps) / do 1200 m (przy 9.6 kbps)	Klasyczna, rozproszona sieć polowa. Architektura Master-Slave. Bardzo odporna na zakłócenia, łatwa w diagnostyce sprzętowej za pomocą testerów.	Połączenie PLC z wyspami zaworowymi, falownikami i modułami I/O w starszych maszynach.
Modbus RTU	RS-485 / RS-232	115.2 kbit/s (standardowo)	do 1200 m	Najpopularniejszy, otwarty i najprostszy protokół przemysłowy na świecie. Bardzo tania implementacja, brak opłat licencyjnych.	Oprządkowanie budynków, proste czujniki, liczniki energii, komunikacja z układami klimatyzacji.
CANopen	CAN (Controller Area Network)	1 Mbit/s	do 40 m (przy 1 Mbps) / do 1000 m (przy 50 kbps)	Pierwotnie stworzony dla motoryzacji. Zapewnia detekcję błędów (system niedopuszczający do kolizji ramek o wyższym priorytecie) i wysoką niezawodność.	Pojazdy specjalne, maszyny rolnicze, windy, automatyka medyczna, komunikacja wewnątrz urządzeń.
DeviceNet	CAN	500 kbit/s	do 100 m (przy 500 kbps) / do 500 m (przy 125 kbps)	Amerykańska sieć polowa oparta na technologii CAN i protokole CIP. Umożliwia zasilanie urządzeń polowych bezpośrednio z kabla sygnałowego magistrali.	Starsze systemy produkcyjne w przemyśle ciężkim i motoryzacyjnym, głównie w Ameryce Północnej.
AS-Interface (AS-i)	Dwuprzewodowy kabel płaski	167 kbit/s	do 100 m (rozszerzalne do 600 m)	Sieć najniższego poziomu (czujnik/aktuator). Wykorzystuje charakterystyczny żółty przewód profilowany, który zasila i przesyła dane. Montaż metodą nacinania izolacji.	Podłączanie setek prostych czujników (indukcyjnych, krańcówek) i przycisków na długich transporterach/przenośnikach.

Tradycyjny Ethernet biurowy nie nadaje się do sterowania maszynami, ponieważ jest niedeterministyczny – pakiety danych mogą się zderzać (kolizje), co powoduje losowe opóźnienia. W automatyce opóźnienie rzędu kilkudziesięciu milisekund mogłoby doprowadzić do awarii maszyny. Sieci Industrial Ethernet rozwiązują ten problem poprzez zmodyfikowanie warstwy sprzętowej lub programowej, wprowadzając mechanizmy czasu rzeczywistego (*Real-Time*). Zapewniają one, że sygnał z czujnika dotrze do sterownika PLC w dokładnie określonym, przewidywalnym czasie (często poniżej 1 milisekundy). Fizycznie sieci te wykorzystują wzmocnione, ekranowane przewody (często zielone), odporne na zakłócenia elektromagnetyczne (EMI), oraz złącza przemysłowe (np. M12 lub wzmocnione RJ45). Główne zalety to:

- Przepustowość: Szybkości od 100 Mbit/s do kilku Gbit/s pozwalają na jednoczesne przesyłanie sygnałów sterujących, obrazu z kamer wizyjnych oraz danych diagnostycznych.
- Integracja z IT (IIoT): Dane z poziomu hal produkcyjnych mogą bezpośrednio, bez skomplikowanych konwerterów, trafić do systemów chmurowych, baz danych SQL oraz systemów ERP/MES.
- Elastyczna topologia: Za pomocą switchy sieć można niemal dowolnie rozgałęziać (gwiazda, drzewo, linia, a także pierścień zapewniający redundancję/odporność na przerwanie kabla).

#### IV.7.2. Sieci klasy Fieldbus (Klasyczne sieci szeregowe)

Sieci polowe (Fieldbus) to technologie cyfrowe opracowane w latach 80. i 90. XX wieku. Ich pojawienie się było rewolucją,

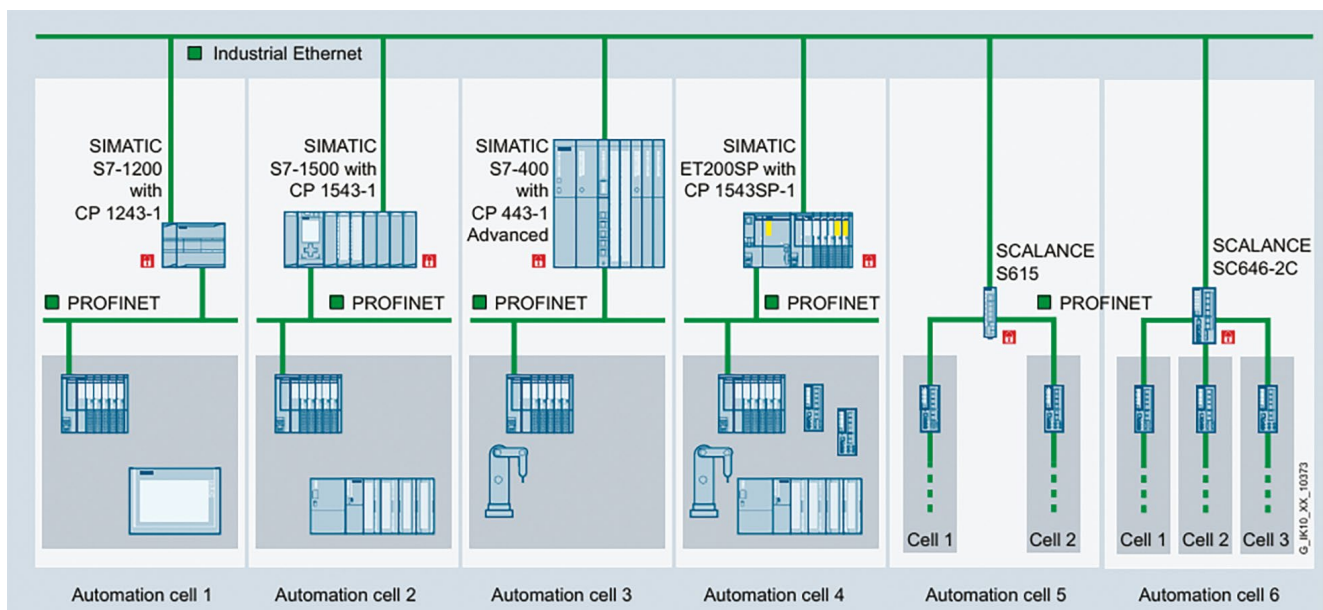
ponieważ pozwoliły zastąpić setki pojedynczych przewodów biegnących od każdego czujnika do szafy sterowniczej jednym wspólnym kablem magistralnym. Są to sieci szeregowe, bazujące najczęściej na standardach elektrycznych takich jak RS-485 lub CAN. Komunikacja opiera się tu zazwyczaj na architekturze Master-Slave (Nadrzędny-Podrzędny). Jeden główny sterownik (*Master*) po kolei „odpytuje” poszczególne urządzenia wykonawcze (*Slaves*) o ich stan i wydaje im polecenia. Urządzenie podrzędne nigdy nie zaczyna mówić samo z siebie – musi czekać na swoją kolej. Sieci Fieldbus mają strukturę ściśle liniową (magistrala). Kabel biegnie od jednego urządzenia do drugiego, a na obu końcach linii wymagane są tzw. rezystory terminujące, które zapobiegają odbiciom sygnału elektrycznego.

#### Główne zalety to:

- Niski koszt wdrożenia: Prosta konstrukcja i brak konieczności stosowania drogich switchów sieciowych.
- Ogromny zasięg: Przy obniżeniu prędkości transmisji, klasyczne sieci szeregowe potrafią przesyłać dane na odległość nawet 1200 metrów bez żadnych wzmacniaczy.

Odporność i dojrzałość technologii: Protokoły te są dopracowane do perfekcji, stabilne, a urządzenia cechuje wysoka odporność na trudne warunki środowiskowe i zakłócenia.

Aby operator mógł w locie zmieniać parametry produkcji krótkich serii (np. zmiana koloru i graweru na 10 sztukach produktu), sieć fabryczna musi być elastyczna jak guma. Tradycyjne, sztywne kable ustępują miejsca sieciom 5G/6G wewnątrzprzemysłowym oraz technologii TSN



↑ Rys. 7. Siemens – Bezpieczna komunikacja między komponentami z Security Integrated w oddzielnych komórkach automatyki [14]

(*Time-Sensitive Networking*). Operator podchodzi do stanowiska z tabletem, a ponieważ linia jest modułowa, przełączenie robota do innego zadania zajmuje minuty, a nie dni. Dane z sensorów spływają w czasie rzeczywistym, bez opóźnień. Człowiek widzi na żywo, jak zmiana jednego parametru wpływa na wydajność i natychmiast koryguje proces za pomocą intuicyjnego oprogramowania (*low-code/no-code*), bez czekania na dział IT. Elastyczność struktury produkcyjnej wymaga odejścia od sztywnego, hierarchicznego modelu sieciowego (*Purdue Model*) na rzecz topologii zdecentralizowanych. Kluczowym standardem staje się TSN (*Time-Sensitive Networking*) – zestaw rozszerzeń standardu IEEE 802.1. Umożliwia on jednocześnie przesyłanie krytycznego czasu ruchu sterowania (*deterministic, hard real-time*) oraz pakietów diagnostycznych IT (np. wizyjnych) przez jedno pasmo sieciowe bez ryzyka kolizji. W warstwie bezprzewodowej kluczową rolę odgrywają prywatne sieci 5G SA (*Standalone*). Oferują one ultraniskie opóźnienia (URLLC < 1ms) oraz gwarantowaną gęstość połączeń, co jest niezbędne do sterowania flotami robotów mobilnych AMR (*Autonomous Mobile Robots*) i AGV.

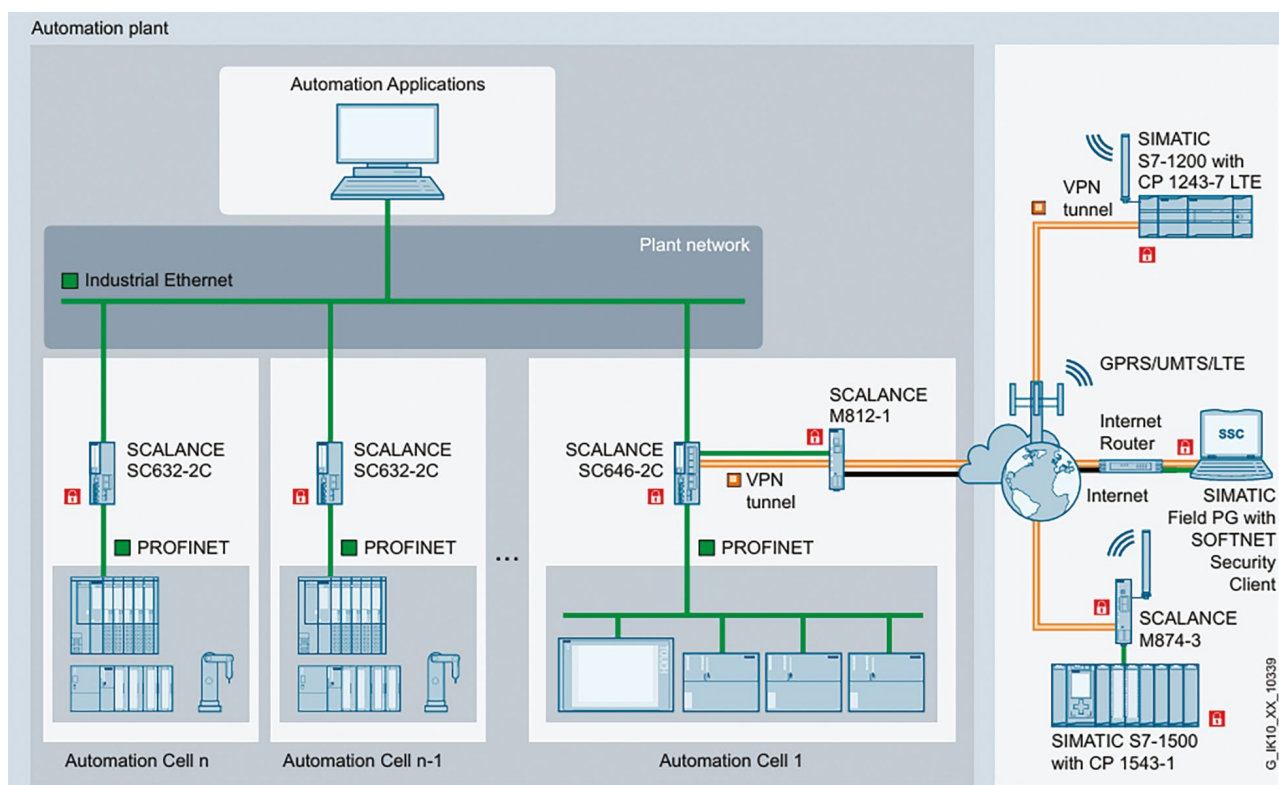
#### IV.8. Cyberbezpieczeństwo: Im bliżej człowieka, tym większa tarcza

Większa elastyczność i otwarcie sieci na urządzenia mobilne operatorów to niestety zaproszenie dla cyberprzestępców. W Przemysle 5.0 cyberbezpieczeństwo nie może być „wtyczką” dodaną na końcu – musi być fundamentem. Jeśli operator steruje procesem z tabletu, a maszyny wymieniają dane z chmurą, cyberprzestępca może próbować przejąć kontrolę nad parametrami fizycznymi (np. zmienić temperaturę pieca hutniczego, co grozi katastrofą). Z pomocą przychodzi Architektura *Zero Trust* (Nigdy nie ufaj, zawsze weryfikuj): Każde urządzenie i każdy operator (np. przez biometrię w smartfonie czy tokeny) musi potwierdzać swoją tożsamość

przy każdej krytycznej zmianie w produkcji. Specjalistyczne oprogramowanie monitoruje ruch w sieci przemysłowej. Jeśli system zauważy, że maszyna nagle wysłała nietypowe pakiety danych do serwera zewnętrznego, nie wyłącza fabryki (co przyniosłoby miliony strat), ale alarmuje operatora: „Wykryto nietypowy ruch. Czy autoryzujesz tę komunikację?”. Człowiek zachowuje pełną kontrolę operacyjną.

Wraz z otwarciem sieci OT na świat IT i chmurę obliczeniową, tradycyjna ochrona obwodowa (firewalle na styku sieci) stała się niewystarczająca. Standard IEC 62443 definiuje rygorystyczne wymagania bezpieczeństwa cybernetycznego dla komponentów i systemów automatyki, wprowadzając podział na strefy (*Zones*) i kanały komunikacyjne (*Conduits*). Nowoczesne podejście opiera się na architekturze *Zero Trust* (Nigdy nie ufaj, zawsze weryfikuj). Każde urządzenie w sieci, w tym sterownik PLC czy panel HMI, musi posiadać kryptograficzną tożsamość (*Machine Identity*) realizowaną poprzez infrastrukturę klucza publicznego (PKI) i certyfikaty X.509. Dowolne żądanie zmiany kodu sterującego lub parametrów pracy napędu wymaga ciągłej autentykacji i autoryzacji. Ewolucję standardów bezpieczeństwa opisuje przekrojowy raport. Wskazuje on na konieczność rezygnacji z domyślnego zaufania wewnątrz sieci przemysłowych na rzecz weryfikacji kryptograficznej każdego pakietu danych.

Koncepcja ochrony komórek według Siemens i norm – rys. 8. W ramach koncepcji ochrony komórek sieć zakładowa jest segmentowana na pojedyncze, chronione komórki automatyki, w obrębie których wszystkie urządzenia mogą bezpiecznie komunikować się ze sobą. Poszczególne komórki są połączone z siecią zakładową w bezpieczny sposób za pomocą sieci VPN i zapory sieciowej. Ochrona komórek zmniejsza podatność na awarie całego zakładu produkcyjnego, a tym samym zwiększa jego dostępność. Do wdrożenia można wykorzystać produkty Security Integrated, takie jak przemysłowe urządzenia bezpieczeństwa SCALANCE S, routery



↑ Rys. 8. Bezpieczny zdalny dostęp bez bezpośredniego połączenia z siecią automatyki dzięki urządzeniom zabezpieczającym SCALANCE S Industrial Security Appliances [14]

przemysłowe SCALANCE M oraz procesory komunikacji bezpieczeństwa.

W celach serwisowych integrator systemów wymaga bezpiecznego dostępu przez Internet do swojej maszyny lub urządzenia u użytkownika końcowego. Integrator ma jednak otrzymać dostęp tylko do określonych urządzeń, a nie do sieci zakładowej. Ponadto, należy nawiązać bezpieczne połączenie z zakładu do stacji zdalnej za pośrednictwem sieci komórkowych (np. UMTS lub LTE). Punktem wyjścia jest na przykład integrator systemów z klientem VPN (SOFTNET Security Client, CP 1628, SCALANCE M874-3) punktem końcowym (systemem automatyki): SCALANCE SC646-2C jako serwer VPN.

## V. Industry 5.0 – efektywność ekonomiczna oparta na ludzkiej rezyliencji i zrównoważonym rozwoju

Końcowy bilans wdrożenia Industry 5.0 jednoznacznie dowodzi, że deterministyczne algorytmy i maszyny są nie-zrównane w optymalizacji powtarzalnych procesów, lecz wykazują całkowitą bezradność w obliczu nagłych anomalii rynkowych czy kryzysów geopolitycznych (tzw. „czarnych łabędzi”). Prawdziwy i długofalowy zysk przedsiębiorstwa (ROI) nie wynika już z samej automatyzacji, ale z synergii: stabilności maszyn oraz ludzkiej empatii, kreatywności i zdolności do adaptacji (rezyliencji).

Jednocześnie zrównoważony rozwój (*Sustainability*), wymuszany przez unijne rygory prawne (w tym raportowanie ESG oraz dyrektywy CSRD), przestał być wyłącznie

kwestią wizerunkową. Stał się on twardym wymogiem operacyjnym, determinującym pozycję rynkową firm. W nowoczesnym paradygmacie zaawansowana automatyka (systemy PLC, SCADA, Edge) dostarcza precyzyjnych, granularnych danych o zużyciu energii, mediów i surowców w czasie rzeczywistym. Jednak to człowiek podejmuje na ich podstawie strategiczne decyzje o charakterze ekologicznym, społecznym i biznesowym. To podejście redefiniuje pojęcie produktywności, gdzie wskaźnik OEE (ang. *Overall Equipment Effectiveness*) zostaje rozbudowany o metryki śladu węglowego i efektywności energetycznej.

## VI. Katalizatory transformacji cyfrowej: Technologie przełamujące bariery produkcyjne

Praktyczna realizacja założeń Industry 5.0 wymaga wdrożenia zaawansowanych technologii, które łączą świat fizyczny (OT), cyfrowy (IT) oraz potencjał ludzki. Do kluczowych należą:

### 1. Wytwarzanie przyrostowe (Druk 3D) w metalu i maszyny hybrydowe

Integracja głowic drukujących bezpośrednio w wieloosiowych centrach obróbkowych CNC redefiniuje procesy regeneracyjne i prototypowanie. Maszyny hybrydowe łączą technologie ubytkowe (skrawanie) z przyrostowymi w jednej przestrzeni roboczej. Wykorzystują one napawanie laserowe (LMD – ang. *Laser Metal Deposition*) przy użyciu proszków metali. Technologia umożliwia precyzyjne napawanie ubytków i uszkodzeń w drogich formach wtryskowych, matrycach

↓ Tabela podsumowująca komponenty techniczne

Komponent	Rola w Przemśle 5.0	Kluczowa technologia / Protokół
Sterownik (PLC)	Integracja kodu automatyki z aplikacjami operatora (Edge)	Linux, Docker, Python, IEC 61131-3
Falownik (VFD)	Bezpieczna koegzystencja maszyny z człowiekiem w locie	Funkcje bezpieczeństwa: SLS, STO, SS1 przez Fail-Safe
Zasilanie	Ciągłość procesów personalizacji, autodiagnostyka	IO-Link, komunikacja Ethernet, Superkondensatory
Sieć (TSN)	Wspólne pasmo dla danych sterowania i multimediów z AR/AI	IEEE 802.1Qbv (Time-Aware Shaper), OPC UA FX
Cyberbezpieczeństwo	Ochrona decyzji operatora przed sabotażem i manipulacją	Certyfikaty X.509, TLS/DTLS, OPC UA Security, CIP Security

czy łopatkach turbin. Bezpośrednio po zakończeniu procesu przyrostowego, maszyna przełącza się na obróbkę skrawaniem (frezowanie, szlifowanie), wykonując natychmiastowe uszlachetnianie i wykańczanie powierzchni do tolerancji mikronowych. Pozwala to na drastyczne skrócenie czasu przestoju narzędziowni, redukcja odpadów materiałowych (zgodnie z ideą gospodarki obiegu zamkniętego) oraz eliminacja konieczności transportu detali między osobnymi stanowiskami.

## 2. Rozszerzona Rzeczywistość (AR) w nowoczesnym utrzymaniu ruchu

Przeniesienie dokumentacji technicznej z papieru i tradycyjnych ekranów bezpośrednio w pole widzenia inżyniera serwisowego przy użyciu okularów przemysłowych (np. HoloLens, RealWear). Systemy AR wykorzystują zaawansowane algorytmy rozpoznawania obrazu i lokalizacji przestrzennej do nakładania cyfrowych obiektów na rzeczywisty świat. Serwisant patrzący na fizyczną szafę sterowniczą widzi nałożone trójwymiarowe modele CAD, schematy elektryczne oraz dynamiczne statusy parametrów z PLC (np. prądy na falownikach, stany wejść/wyjść). System prowadzi operatora krok po kroku przez procedurę diagnostyczną lub wymianę uszkodzonego modułu, podświetlając wadliwe komponenty. Pozwala to na bezprecedensowe skrócenie kluczowego wskaźnika MTTR (ang. *Mean Time To Repair*), minimalizacja ryzyka ludzkich błędów podczas prac pod napięciem oraz możliwość zdalnego wsparcia lokalnych techników przez ekspertów z dowolnego miejsca na świecie (ang. *Remote Assistance*).

## 3. Scentralizowane środowiska Cloud Computing i analityka Big Data

Przetwarzanie rozproszonych strumieni danych produkcyjnych na poziomie korporacyjnym w celu budowy zintegrowanego ekosystemu decyzyjnego. Tysiące urządzeń brzegowych (*Edge*) zainstalowanych w zakładach na całym świecie agregują, wstępnie filtrują i bezpiecznie przesyłają (np. przez protokół MQTT/OPC UA) dane do chmury obliczeniowej. Agregacja wielkich zbiorów danych (*Big Data*) z geograficznie odseparowanych fabryk pozwala na zaawansowaną korelację parametrów jakościowych i wydajnościowych. Algorytmy

uczenia maszynowego (ML) analizują historyczne i bieżące zmienne procesowe (wibracje, temperatury, czasy cykli), identyfikując ukryte wąskie gardła oraz wzorce zwiastujące awarie (*Predictive Maintenance*). Pozwala to na globalną optymalizację łańcucha dostaw w oparciu o realne moce przerobowe, standaryzacja wskaźników efektywności (OEE) w skali całego koncernu oraz możliwość szybkiego reagowania na wahania popytu poprzez elastyczne przesunięcia zleceń produkcyjnych między zakładami.

## VII. Podsumowanie

Przemysł 5.0 udowadnia, że najdoskonalszym komputerem na świecie wciąż jest ludzki mózg – ze swoją zdolnością do adaptacji, empatii i nieszablonowego myślenia. Maszyny mają być potężne, szybkie i bezpieczne. Ludzie mają być pomysłodawcami. Połączenie tych dwóch światów za pomocą bezpiecznych sieci i mądrego oprogramowania to jedyna droga do przetrwania na rynku, który nudzi się masowością, a pożąda unikalności.

Przemysł 5.0 to ostateczny dowód na to, że ślepa pogoń za pełną automatyzacją bez udziału człowieka była technologicznym ślepym zaułkiem. Maszyny, choćby najbardziej inteligentne, są jedynie powtarzalnymi wykonawcami kodu. Prawdziwa rezyliencja fabryki – zdolność do natychmiastowej adaptacji, tworzenia innowacji i radzenia sobie z nieprzewidywanymi awariami – tkwi w ludzkim intelekcie. Inwestycja w nowoczesne sterowniki Edge, zaawansowane napędy i otwarte sieci nie służy eliminacji pracownika, lecz stworzeniu mu bezpiecznego, odpornego na cyberataki środowiska. Wygrają te przedsiębiorstwa, które rozumieją, że najwyższy zwrot z inwestycji (ROI) daje unikalne równanie: bezkompromisowa precyzja krzemu połączona z nieograniczoną kreatywnością ludzkiego umysłu.

Niniejszy artykuł ma charakter edukacyjny i popularnonaukowy. W procesie zbierania materiałów, weryfikacji danych inżynierskich oraz strukturyzacji tekstu wykorzystano zaawansowane narzędzia sztucznej inteligencji (AI). Wygenerowany materiał bazowy został poddany autorskiej selekcji, interpretacji oraz redakcji merytorycznej, zapewniając zgodność z wiedzą techniczną i założeniami paradygmatu

Przemysłu 5.0. W duchu opisywanego w artykule Przemysłu 5.0 – który stawia na synergię człowieka i technologii – tekst ten powstał w modelu hybrydowym. Do analizy trendów rynkowych i wstępnego przygotowania struktury publikacji wykorzystano narzędzia AI. Ostateczny kształt artykułu, styl, dobór metafor oraz nadzór merytoryczny są w pełni dziełem ludzkiego autora. Materiał ma charakter czysto edukacyjny.

## Literatura

- [1] Raport bazowy KE (2021): Publikacja autorstwa M. Breque, L. De Nul oraz A. Petridisa. Industry 5.0 – Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry – Research and innovation The European Green Deal – European Commission.
- [2] Oficjalny portal Komisji Europejskiej: Dedykowana sekcja na podstronie Dyrekcji Generalnej ds. Badań Naukowych i Innowacji (DG RTD) – Industry 5.0 – Research and innovation, Industry 5.0 – Publications Office of the EU, The European Green Deal – European Commission.
- [3] Dziennik Urzędowy UE: Oficjalne stanowiska oraz opinie doradcze (np. Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego) odwołujące się do innej definicji, publicznie dostępne w bazach takich jak EUR-Lex. EUR-Lex – 52021PC0206 – EN – EUR-Lex.
- [4] The Real Cost of Unplanned Downtime in Manufacturing (2026 Data): The Real Cost of Unplanned Downtime in Manufacturing (2026 Data)
- [5] How Much Does a Minute of Downtime Cost? Calculate the Impact on Your Business – Cost of Downtime per Minute 2026: Benchmarks + Calculator
- [6] SENSEYE PREDICTIVE MAINTENANCE The True Cost of Downtime 2024: Siemens · Brochure template · A4 portrait.
- [7] Przemysł 5.0: co oznacza dla firm produkcyjnych i jak przygotować się na piątą rewolucję przemysłową: Przemysł 5.0: definicja, przykłady i znaczenie dla produkcji.
- [8] Siemens – Smarter manufacturing with Industrial Edge computing: Smarter manufacturing with Industrial Edge computing | Siemens.
- [9] Schneider Electric – EcoStruxure Asset Advisor: EcoStruxure Asset Advisor | Schneider Electric USA.
- [10] Siemens / Innometrics – SINAMICS Perfect Harmony GH180 – dostępne napięcia wyjściowe po obejściu – technologia opatentowana przez firmę Siemens; numer patentu 5 986 909
- [11] Dokumentacja Simotion – Siemens
- [12] Oprogramowanie Siemens – Sinumerik: Run MyVirtual Machine – SINUMERIK CNC Digital Twin | Siemens
- [13] Sieci komunikacyjne PI – PROFIBUS/PROFINET
- [14] Siemens Industrial Network Security: Network Security
- [15] Raport Top 7 ICS/OT Cybersecurity Trends and Frameworks for 2026: Top 7 ICS/OT Cybersecurity Trends on IIoT World
- [16] [AI] – Materiał ma charakter edukacyjny i został opracowany na podstawie baz danych AI Google Gemini.

 **dr inż. Mariusz Jabłoński**

e-mail: mariusz.jablonski@p.lodz.pl

Katedra Aparatów Elektrycznych

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki  
Politechnika Łódzka

Reklama



**Darmowa**

# e-prenumerata

Teraz możesz otrzymać pełny dostęp do miesięcznika „Napędy i Sterowanie” w wersji cyfrowej – całkowicie za darmo.

**napędy i sterowanie**

miesięcznik naukowo-techniczny

» Więcej na [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl)

# Zestawienie firm

Aparatura kontrolno-pomiarowa		
<b>AXIS Sp. z o.o.</b> ul. Kartuska 375B 80-125 Gdańsk	tel. 58 320 63 01 e-mail: handel@axis.pl www.axis.pl	Szeroki wybór wag elektronicznych własnej produkcji. Nasze produkty wykorzystywane są tam, gdzie stawiane są najwyższe wymagania co do dokładności, niezawodności i odporności na czynniki środowiskowe. Oferujemy także dynamometry (siłomierze), urządzenia do pomiaru momentu siły i nowoczesne akcesoria do nich.
<b>TRONIA Sp. z o.o.</b> ul. Sycowska 11 02-266 Warszawa	tel. 781 991 168 e-mail: tronia@poczta.onet.pl www.tronia.pl	TRONIA Sp. z o.o. projektuje i produkuje zarówno stacjonarne jak i przenośne rejestratory zakłóceń elektrycznych SRZ-AMP o maksymalnej częstotliwości próbkowania 3200 próbek/s. Dostarczają one wielu informacji o jakości zasilania, odnoszących się między innymi do mocy biernej, zawartości harmonicznych, krótkich jednorazowych zakłóceń itp. Możliwy bieżący podgląd dołączonych sygnałów. Użytkownicy chwalą przede wszystkim łatwą, intuicyjną obsługę rejestratorów.
Automatyka przemysłowa		
<b>BAUMER Sp. z o.o.</b> ul. Wydawnicza 1/3 92-333 Łódź	tel. 42 676 73 30 e-mail: sales.pl@baumer.com www.baumer.com	Nasza oferta to szerokie portfolio aparatury kontrolno-pomiarowej, skierowane do klientów przemysłowych. Tworzymy produkty do trudnych aplikacji higienicznych w przemyśle chemicznym, spożywcym i medycznym. Nasze portfolio produktów w zakresie aparatury kontrolno-pomiarowej to gama przetworników i czujników ciśnienia, temperatury, przepływu, poziomu, siły, naprężenia i drgań. Jedną z naszych sztandarowych marek z Process Instrumentation jest Bourdon, który produkuje wysokiej jakości manometry i termometry bimetaliczne znane na całym świecie. Jesteśmy liderem w projektowaniu i produkcji czujników, enkoderów obrotowych, elementów do automatycznego przetwarzania obrazu oraz profilometrów.
<b>Fatek Polska Sp. z o.o.</b> Al. Pokoju 78 31-564 Kraków	tel. 533 329 921 e-mail: info@fatekpolska.pl www.fatek.pl	Oferujemy kompleksową automatyzację maszyn, wsparcie w zakresie doradztwa technicznego, pomoc w doborze komponentów oraz pełne wsparcie dla naszych klientów po uruchomieniu urządzenia. Jesteśmy oficjalnym dystrybutorem sterowników PLC, paneli operatorskich HMI oraz serwonapędów firmy Fatek.
<b>Festo Sp. z o.o.</b> Janki k. Warszawy ul. Mszczonowska 7 05-090 Raszyn	Customer Interaction Center tel. 22 711 41 00 fax 22 711 41 02 festo_poland@festo.com www.festo.pl	Festo – lider innowacyjnych rozwiązań w dziedzinie automatyki przemysłowej i automatyzacji procesów. Oferta Festo obejmuje m.in.: siłowniki i napędy pneumatyczne oraz elektryczne, chwytaki, manipulatory i roboty przemysłowe, zawory, wyspy zaworowe, przygotowanie sprężonego powietrza, technikę podciśnieniową, czujniki, sterowniki elektroniczne, systemy magistral, technikę przyłączeniową.
<b>Multiprojekt Automatyka sp. z o.o.</b> ul. Pilotów 2 E 31-462 Kraków	tel. 12 413 90 58 fax 12 376 48 94 e-mail: krakow@multiprojekt.pl www.multiprojekt.pl	Dystrybuujemy panele operatorskie WEINTEK, serwonapędy i kontrolery ruchu TRIO, technikę liniową HIWIN, siłowniki liniowe LinMot, falowniki MICNO, coboty Neura Robotics, sterowniki PLC FATEK, przekładnie planetarne Sesame, serwowzmacniacze Copley Controls, a także silniki krokowe. Zapewniamy doradztwo techniczne, podstawowe i zaawansowane szkolenia oraz pomoc techniczną przy uruchomieniu.

Automatyka przemysłowa (cd.)		
<b>N.B.C. Polska Sp. z o.o.</b> ul. Złoty Potok 10/16 02-699 Warszawa	tel. 22 855 18 30 e-mail: nbc@nbc-el.pl www.nbc-el.pl	Oferujemy szeroką gamę wysokiej jakości włoskich czujników tensometrycznych, standardowych i projektowanych na zamówienie, akcesoria do czujników, torsjometry, mierniki wagowe z wieloma typami interfejsów, moduły dozujące, ograniczniki do dźwignów i suwnic z rejestratorem danych, wagi dynamometryczne.
<b>SKAMER-ACM Sp. z o.o.</b> ul. Rogoyskiego 26 33-100 Tarnów	tel. 14 63 23 400 e-mail: tarnow@skamer.pl www.skamer.pl	SKAMER-ACM to sprawdzony partner w pomiarach, automatyce przemysłowej i robotyce. Działalność firmy obejmuje: projektowanie systemów automatyki przemysłowej; programowanie przemysłowych systemów sterownikowych; tworzenie systemów monitoringu i wizualizacji mediów energetycznych, procesów przemysłowych i efektywności produkcji; prefabrykację szaf sterowniczych i rozdzielni; montaż, rozruch i serwis instalacji AKPiA; sprzedaż urządzeń i systemów branży AKPiA.
<b>SMC Industrial Automation Polska Sp. z o.o.</b> ul. Stefana Batorego 10A 05-870 Błonie	tel. 22 344 40 00 e-mail: sales.pl@smc.com	SMC – WIODĄCY EKSPERT Z PASJĄ do automatyki przemysłowej. Firma SMC dąży do satysfakcji klientów na całym świecie wspierając automatyzację poprzez najbardziej zaawansowane technologie. Pełna gama produktów SMC do pneumatyki i automatyzacji: • Napędy pneumatyczne • Napędy elektryczne • Zawory rozdzielające • Przygotowanie powietrza • Złącza i przewody • Elementy podciśnieniowe • Elementy do procesów technologicznych • Czujniki i przekaźniki • Neutralizacja ładunków elektrostatycznych • Regulacja i kontrola temperatury • Elementy do wysokiego podciśnienia • Rozwiązania w zakresie bezpieczeństwa • Produkty zgodne z ATEX • Produkty do czystych pomieszczeń • Produkty stosowane przy produkcji baterii.
<b>steute Polska</b> al. Wilanowska 321 02-665 Warszawa	tel. 22 843 08 20 e-mail: info@steute.pl www.steute.pl	Niemiecko-amerykańska firma steute (www.steute.pl) oferuje wysokiej jakości komponenty przemysłowych systemów sterowania i bezpieczeństwa oraz bezprzewodowe systemy wykorzystywane w intralogistyce. Oferta obejmuje urządzenia standardowe oraz specjalne – do pracy w strefach zagrożonych wybuchem, w niskiej i wysokiej temperaturze, w atmosferze agresywnej i/lub wysokiej wilgotności, a także wersje bezprzewodowe (radiowe). Oferta obejmuje m.in. wyłączniki linkowe bezpieczeństwa (www.linkowe.pl), czujniki zbiegania oraz czujniki do wykrywania uszkodzeń taśmy przenośników taśmowych, wyłączniki nożne (www.nozne.pl), czujniki magnetyczne i indukcyjne, wyłączniki i blokady elektromagnetyczne bezpieczeństwa, kasety sterownicze, kurtyny świetlne, listwy i maty bezpieczeństwa (www.grein.pl).
Napędy		
<b>Cantoni Group</b> ul. 3 Maja 28 43-400 Cieszyn	tel. 33 813 87 00 e-mail: motor@cantonigroup.com www.cantonigroup.com	Grupa Cantoni to największy w Polsce producent silników elektrycznych w zakresie mocy od 0,04 kW do 7000 kW oraz hamulców. Silniki elektryczne są produkowane przez firmy: Besel SA w Brzegu, Celma Indukta SA w Cieszynie i Bielsku-Białej, Emit SA w Żychlinie. Hamulce produkuje firma Ema-Elfa Sp. z o.o. w Ostrzeszowie.
<b>Steinlen Polska Sp. z o.o.</b> ul. W. Grabskiego 4/8 63-500 Ostrzeszów	tel. 62 732 23 50 fax 62 732 23 51 marketing@steinlenpolska.pl	Steinlen Polska Sp. z o.o. jest autoryzowanym przedstawicielem firmy Bauer Gear Motor GmbH. Prowadzimy sprzedaż oraz serwis motoreduktorów, silników, przekładni, hamulców i sprzęgieł.

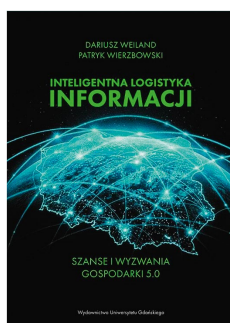
Napędy (cd.)		
<p><b>SMC Industrial Automation Polska Sp. z o.o.</b> ul. Stefana Batorego 10A 05-870 Błonie</p>	<p>tel. 22 344 40 00 e-mail: sales.pl@smc.com</p>	<p>SMC – WIODĄCY EKSPERT Z PASJĄ do automatyki przemysłowej. Firma SMC dąży do satysfakcji klientów na całym świecie wspierając automatyzację poprzez najbardziej zaawansowane technologie. Pełna gama produktów SMC do pneumatyki i automatyzacji:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Napędy pneumatyczne • Napędy elektryczne • Zawory rozdzielające • Przygotowanie powietrza • Złącza i przewody • Elementy podciśnieniowe • Elementy do procesów technologicznych • Czujniki i przekaźniki • Neutralizacja ładunków elektrostatycznych • Regulacja i kontrola temperatury • Elementy do wysokiego podciśnienia</li> <li>• Rozwiązania w zakresie bezpieczeństwa • Produkty zgodne z ATEX</li> <li>• Produkty do czystych pomieszczeń • Produkty stosowane przy produkcji baterii.</li> </ul>
Systemy transportowe		
<p><b>ABUS Crane Systems Polska sp. z o.o.</b> ul. Gaudiego 20 44-109 Gliwice</p>	<p>tel. 32 334 70 00 e-mail: info@abuscranes.pl www.abuscranes.pl</p>	<p>ABUS Crane Systems Polska sp. z o.o. specjalizuje się w projektowaniu i produkcji systemów dźwignicowych najwyższej jakości przy zachowaniu konkurencyjności cen. Dodatkowo firma oferuje szeroką gamę akcesoriów i komponentów, doradztwo techniczne, montaż, serwis gwarancyjny i pogwarancyjny.</p>
		
Utrzymanie ruchu		
<p><b>ABUS Crane Systems Polska sp. z o.o.</b> ul. Gaudiego 20 44-109 Gliwice</p>	<p>tel. 32 334 70 00 e-mail: info@abuscranes.pl www.abuscranes.pl</p>	<p>ABUS Crane Systems Polska sp. z o.o. specjalizuje się w projektowaniu i produkcji systemów dźwignicowych najwyższej jakości przy zachowaniu konkurencyjności cen. Dodatkowo firma oferuje szeroką gamę akcesoriów i komponentów, doradztwo techniczne, montaż, serwis gwarancyjny i pogwarancyjny.</p>
<p><b>Energy Serwis Sp. z o.o.</b> Al. Roździeńskiego 188 b 40-203 Katowice</p>	<p>tel. 604 580 907 e-mail: biuro@filtracjaoleju.pl www.filtracjaoleju.pl</p>	<p>Jesteśmy grupą profesjonalistów, którzy dzięki zdobytemu doświadczeniu są w stanie rozwiązać większość problemów związanych z gospodarką olejową. Ponad 80% awarii w urządzeniach spowodowanych jest zanieczyszczeniami występującymi w oleju. Służymy pomocą w doborze odpowiedniego sprzętu oraz usprawnieniu gospodarki olejowej u klienta.</p>

» Aktualne trendy i technologie znajdziesz na **www.nis.com.pl**.



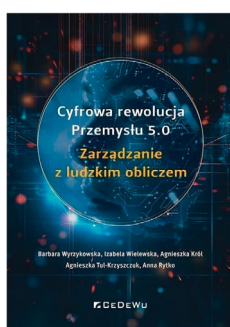
J. Steinberg  
**Cyberbezpieczeństwo dla bystrzaków. Wydanie II**  
 Wydawnictwo: Helion  
 Data wydania: 2023  
 Prosto o cyberbezpieczeństwie

Cyberbezpieczeństwo dotyczy dziś każdego. Nowe, zaktualizowane wydanie Cyberbezpieczeństwa dla bystrzaków pomoże Ci chronić osobiste informacje i zabezpieczyć dane biznesowe. Dowiedz się, co się dzieje z plikami, które przechowujesz online. Pracuj bezpiecznie w domu i unikaj dezinformacji. Upewnij się, że Twoje zdjęcia, hasła i inne ważne dane są chronione przed hakerami. A jeśli wpadną w niepowołane ręce? Wyjaśniamy, jak zidentyfikować problem i jak go rozwiązać. Pozwól, by ta książka stała się Twoim cyfrowym obrońcą.



Dariusz Weiland, Patryk Wierzbowski  
**Inteligentna logistyka informacji. Szanse i wyzwania gospodarki 5.0**  
 Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego  
 Rok wydania: 2025

Niniejsza monografia prezentuje kompleksowe spojrzenie na logistykę informacji w kontekście wizji gospodarki 5.0. Autorzy analizują, w jaki sposób inteligentne systemy informacyjne, wspierane przez zaawansowane technologie takie jak sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe, sensoryka oraz autonomizacja robotyki, przekształcają tradycyjne modele logistyczne. Szczególny nacisk położono na optymalizację przepływów informacji, jej analiz i możliwości wspierania ludzi w podejmowaniu decyzji poprzez odpowiednią logistykę zasobów informacyjnych. Autorzy analizują najnowsze trendy, a także narzędzia w zakresie zarządzania zasobami niematerialnymi oraz materialnymi, a co za tym idzie optymalizacji procesów logistycznych.



Opracowanie zbiorowe  
**Cyfrowa rewolucja Przemysłu 5.0**  
 Wydawnictwo: CeDeWu  
 Rok wydania: 2025

Publikacja przedstawia nowy paradygmat rozwoju – Przemysł 5.0, który redefiniuje relacje między technologią a człowiekiem. Autorzy analizują ewolucję od modelu Przemysłu 4.0 ku gospodarce opartej na zrównoważonym rozwoju, odporności systemów i humanistycznych wartościach. Książka omawia wpływ sztucznej inteligencji na rynek pracy i kompetencje przyszłości, nowe koncepcje zarządzania kapitałem ludzkim, znaczenie zrównoważonej innowacyjności przedsiębiorstw oraz wyzwania cyberbezpieczeństwa w dobie cyfrowej transformacji. Publikacja adresowana jest do naukowców, praktyków zarządzania, przedsiębiorców oraz decydentów publicznych, poszukujących narzędzi i inspiracji do budowy nowoczesnych, odpowiedzialnych modeli rozwoju organizacji.

# Zamów prenumeratę

## Dołącz do społeczności „Napędy i Sterowanie”

### 1. E-prenumerata (bezpłatnie)

Bądź pierwszy z informacjami o nowych wydaniach, tematach numerów i akcjach specjalnych. Zapis zajmuje chwilę: [www.nis.com.pl/prenumerata](http://www.nis.com.pl/prenumerata) (sekcja e-prenumerata) lub napisz: [prenumerata@industriypublisher.com](mailto:prenumerata@industriypublisher.com).

### 2. Wydanie papierowe – kup teraz

Możesz zamówić **pojedynczy egzemplarz** bezpośrednio w redakcji:  
tel. 507 061 574 / 606 689 421, [prenumerata@industriypublisher.com](mailto:prenumerata@industriypublisher.com).

### 3. Prenumerata papierowa – najwygodniej

- **Cena roczna: 429 zł (z 8% VAT)**
- **Start w dowolnym miesiącu**; faktura przy pierwszym egzemplarzu
- Zamów online: [www.nis.com.pl/prenumerata](http://www.nis.com.pl/prenumerata) lub e-mailem: [prenumerata@industriypublisher.com](mailto:prenumerata@industriypublisher.com)
- Prenumerata dostępna jest również za pośrednictwem **Garmond Press** – telefon: (12) 422 14 85, e-mail: [prenumerata.krakow@garmondpress.pl](mailto:prenumerata.krakow@garmondpress.pl)

### Zniżki dla świata nauki i edukacji (-10%)

Oferta obowiązuje dla **bibliotek, uczelni, pracowników naukowych, studentów i doktorantów**.



## Poprzedni numer

- 30 lat SEW-EURODRIVE Polska. Rozumiemy potrzeby. Dostarczamy rozwiązania
- Przemienne Lenze w aplikacjach pompowych – najprostsza droga do lepszej aplikacji
- Ukryty sprzęt, który pomaga rozwiązać problem przegrzewania się systemów AI. Dlaczego układy PCHE są kluczowe dla kolejnego etapu rozwoju sztucznej inteligencji
- Studenci Politechniki Warszawskiej nagrodzeni w USA. Robotyka, AI i przemysł przyszłości w centrum uwagi
- Wybrane metody diagnozowania uszkodzeń łożysk w układach napędowych

Poprzednie wydania dostępne są w wersji elektronicznej na stronie [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl)



## Podziel się wiedzą

Zostań autorem w miesięczniku  
„Napędy i Sterowanie”

### » Jesteś pasjonatem technologii?

Otwórz się na nowych odbiorców i zyskaj  
uznanie w branży, publikując w naszym  
czasopiśmie.

---

**napędy  
i sterowanie**

miesięcznik  
naukowo-techniczny

Wyślij propozycję artykułu na:  
[redakcja.nis@industriypublisher.com](mailto:redakcja.nis@industriypublisher.com)

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

---



# Twoje rozwiązania w centrum uwagi!

## » Chcesz dotrzeć do decydentów i specjalistów z branży?

Od ponad 25 lat miesięcznik „Napędy i Sterowanie” jest idealnym miejscem do promocji technologii i usług. Pokaż swoją ofertę tam, gdzie liczy się jakość i innowacja.

---

**napędy  
i sterowanie**

**miesięcznik  
naukowo-techniczny**

**Napisz do nas:**  
redakcja.nis@industrypublisher.com

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

---