

Dr hab. inż. Bożena Gajdzik, prof. PŚ
 Politechnika Śląska w Katowicach
 ORCID: 0000-0002-0408-1691
 e-mail: bozena.gajdzik@polsl.pl

Operator maszyn i urządzeń w Przemysle 4.0 — wprowadzenie do tematu

*Machine and equipment operator in Industry 4.0 —
introduction to the topic*

Streszczenie

W artykule przedstawiono obraz operatora maszyn i urządzeń w kontekście rozwoju przemysłowych systemów cyberfizycznych i adaptacyjnej automatyzacji w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Rozwój technologii sprawia, że pojawiają się nowe wyzwania wobec operatorów maszyn i urządzeń. Lansowana od dekady koncepcja Przemysłu 4.0 kształtuje nowe środowisko pracy operatorów obsługujących maszyny i urządzenia. Przemysł 4.0 jest pojęciem używanym do opisu technologii w czwartej rewolucji przemysłowej. Zastosowanie do sterowania produkcją nowoczesnych technologii informatycznych i komunikacyjnych, wspartych pełną automatyzacją i robotyzacją czynności, Internetem Rzeczy i przetwarzaniem danych w chmurze, zmienia dotychczasowe sposoby obsługi maszyn i urządzeń. W literaturze przedmiotu toczą się dyskusje wokół roli operatorów maszyn i urządzeń w nowoczesnych fabrykach. Wtórne źródła informacji były podstawą do nakreślenia ogólnych (ramowych) warunków pracy i cech operatora maszyn i urządzeń w Przemysle 4.0. Celem niniejszego artykułu jest wprowadzenie do szerokiej tematyki zagadnień o roli operatorów maszyn i urządzeń w cyberfizycznych systemach produkcji.

Słowa kluczowe:

Przemysł 4.0, operator maszyn i urządzeń,
cyberfizyczne systemy produkcji

Abstract

This paper presents an image of the machine and equipment operator in the context of the development of industrial cyber-physical systems and adaptive automation in manufacturing companies. The development of technology makes new challenges for machine and equipment operators. The concept of Industry 4.0, which has been lashed for a decade, is shaping a new work environment for operators who operate machinery and equipment. Industry 4.0 is the term used for technological advances in the fourth industrial revolution. Advanced information and communication technologies, supported by full automation and robotization, the Internet of Things and cloud computing to control production, are changing the existing ways of operating machinery and equipment. There are discussions in the literature around the role of machine and equipment operators in modern factories. Secondary sources of information was the basis for outlining the general (framework) conditions of work and profile of the operator of machinery and equipment in Industry 4.0. The aim of this paper is an introduction to the broad topic of issues about the role of the operators of machinery and equipment in cyber-physical systems of production.

Keywords:

Industry 4.0, machines and equipment operator, cyber-physical production systems

JEL: M29

Wprowadzenie

Historia rozwoju społeczeństw opiera się na rewolucjach przemysłowych. Każda rewolucja przemysłowa wymagała radykalnych zmian technologicznych. Przemysł 4.0 uznaje się za rezultat czwartej rewolucji przemysłowej. Pierwsze trzy rewolucje przemysłowe zwiększyły wydajność produkcji przez wprowadzenie

do fabryk: silnika parowego, energii elektrycznej, automatyzacji i systemów komputerowych. Czwarta rewolucja przemysłowa bazuje na technologiach, które łączą cyfryzację z rozwiązaniami fizycznymi. Przedsiębiorstwa stają się cyberfizycznymi systemami, wzmocnionymi przez Internet Rzeczy i Internet Usług (*Internet of Things* — IoT; *Internet of Service* — IoS) (Kagermann i in., 2011; 2013; Schuh i in., 2013; Kagermann, 2015). Określenie Przemysł 4.0

(*Industry 4.0* — I 4.0) pojawiło się po raz pierwszy w 2011 r. na targach w Hanowerze w Niemczech. Zostało użyte w projekcie strategii technologicznej dla promocji komputeryzacji procesów wytwórczych. Nie ma uniwersalnej definicji Przemysłu 4.0 ze względu na różnorodność zastosowania zaawansowanej technologii zespalającej świat fizyczny ze światem cyfrowym. Innowacyjność rozwiązań jest przyjmowana jako paradygmat dla wielu przyszłych zmian, określanych jako *smart*. Filarami nowej koncepcji są: Internet Rzeczy (IoT), Internet Usług (IoS), roboty, ogromne zbiory danych (*big data*), przetwarzanie w chmurze (*cloud computing*), rozszerzona rzeczywistość (*augmented reality*), autonomiczne systemy (*autonomous systems*), przyrostowe wytwarzanie (*additive manufacturing*) oraz zaawansowane symulacje (*advanced simulation*) (Pereira i Romero, 2017; Santos i in., 2017; Kagerman i in., 2011). Przyjęcie nowej technologii przez przedsiębiorstwa ma kluczowe znaczenie dla rozwoju inteligentnych środowisk produkcyjnych z elastycznymi modułami technologicznymi, umożliwiającymi wytwarzanie spersonalizowanych produktów. Technologia jest w stanie niezależnie wymieniać dane, wyzwać działania i kontrolować się samodzielnie, tworząc inteligentne środowiska produkcyjne, w których pracuje człowiek. Szybki rozwój inteligentnych czujników i urządzeń mobilnych stworzył nowe warunki obsługi maszyn i urządzeń przez operatorów. Użytkowane we wcześniejszych stadiach rozwoju przemysłu bardziej zawodne i nieelastyczne zespoły techniczne — dzięki postępowi technologicznemu — zastępowane są robotami, programowanymi technologiami i samouczącymi się zespołami technicznymi. Mobilne urządzenia z dostępem do sieci komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej oraz systemy wizualizacji umożliwiają ciągłe nadzorowanie pracy maszyn w czasie rzeczywistym (Olszewski, 2006). Informatyczno-komputerowe systemy ułatwiają prowadzenie diagnostyki urządzeń, a predykcyjne algorytmy analizy pracy maszyn przewidują np. potrzebę ich serwisowania lub czyszczenia.

W przeciwieństwie do klasycznej automatyzacji — określenie to jest charakterystyczne dla rozwoju technologii na poziomie Przemysłu 3.0 (Sheridan i Parasuraman, 2006) — w cyberfizycznych systemach produkcji operatorzy maszyn i urządzeń muszą być bardziej elastyczni i wielofunkcyjni, a współpraca z maszynami określana jest mianem „symbiozy” (Romero i in., 2015). Tworzone przez Przemysł 4.0 nowe środowisko pracy dla operatorów maszyn i urządzeń określane jest w języku angielskim jako *human cyber-physical systems* — H-CPS (Romero i in., 2015; Romero, Bernus i in., 2016; Romero, Stahre i in., 2016). W Przemysle 4.0 wyznacznikiem środowiska pracy dla operatorów są zintegrowane i zaawansowane technologie produkcji, wyposażone w zestaw czujników do śledzenia pracy maszyn oraz w systemy komunikacji do raportowania danych i wykonywania

zaawansowanych symulacji. Niniejszy artykuł zawiera rozważania o warunkach pracy operatora maszyn i urządzeń oraz jego cechach w cyberfizycznych systemach produkcji.

Poziomy rozwoju operatora maszyn i urządzeń w kolejnych rewolucjach przemysłowych

Wraz ze zmianami technicznymi w środowisku produkcyjnym wykształciły się nowe funkcje operatorów maszyn i urządzeń. W historii rozwoju cywilizacji zapisały się cztery rewolucje przemysłowe z przełomowymi technologiami wytwarzania. Poszczególnym rewolucjom towarzyszyły zmiany w posługiwaniu się urządzeniami. Na przestrzeni wieków rozwijały się umiejętności pracowników obsługujących maszyny i urządzenia. Zgodnie z czterema poziomami rozwoju przemysłu wyróżnia się cztery poziomy rozwoju operatorów maszyn i urządzeń: operator 1.0, operator 2.0, operator 3.0, operator 4.0 (Ruppert i in., 2018). Pierwsza rewolucja przemysłowa obejmowała działania związane z wykorzystaniem siły wody, co zaowocowało powstaniem maszyny parowej i przyczyniło się do rozwoju narzędzi mechanicznych. Druga rewolucja przemysłowa była efektem wynalezienia elektryczności, co umożliwiło uruchomienie produkcji masowej na liniach produkcyjnych. Trzecia rewolucja przemysłowa polegała na automatyzacji produkcji z wykorzystaniem elektroniki i narzędzi informatycznych. Pierwsza i druga rewolucja należą już do historii, a trzecia rewolucja trwa nadal — ewoluuje w krajach wysoko rozwiniętych w czwartą rewolucję przemysłową, ukierunkowaną na rozwój cyberfizycznych systemów produkcji (*cyber physical production systems* — CPPS) (Płaczek, 2018; Lee i Seshia, 2017; Lee, 2008; Liu i in., 2017; Lee i in. 2015; Lu, 2017) i elastycznych łańcuchów dostaw. Dominuje ujęcie holistyczne powiązań określane jako *smart (end-to-end)*, uwzględniające wszystkie ogniwa dostarczania wartości konsumentom (Frankowska, 2018).

Operatorzy na poszczególnych etapach rozwoju technologii mieli różne zakresy czynności. Operator 1.0 (nazewnictwo przyjęte na podstawie: Ruppert i in., 2018) obsługiwał urządzenia manualnie, posługując się narzędziami pracy. Operator 2.0 korzystał z mechaniki. Operator 3.0 uzyskał wsparcie ze strony systemów komputerowych i informatycznych przedsiębiorstwa. Operator 4.0 rozpoczyna współpracę z robotami i zaawansowanymi technologicznie maszynami i komputerami. W tworzonych cyberfizycznych systemach produkcji rola operatorów ewoluuje. Najpierw operator obsługuje i nadzoruje pracę maszyn i urządzeń, a później (wraz ze wzrostem stopnia zaawansowania automatyzacji i robotyzacji czynności) wykonuje funkcje asystenta urządzeń i nauczyciela uczenia ma-

szynowego (*machine learning*) (Paprocki, 2016). Przewiduje się, że z czasem, rola operatora zostanie ograniczona do minimum, ponieważ urządzenia będą zdolne przejmować czynności operatorów, np. wykonywanie przeglądów, zamawianie części, wymianę komponentów, czyszczenie maszyn.

Praca operatora maszyn i urządzeń w Przemśle 4.0

Przemysł 4.0 stwarza nowe wyzwania i możliwości dla funkcjonowania operatorów maszyn i urządzeń. Maszyny i urządzenia stają się inteligentne poprzez wbudowane elementy (sensory i siłowniki) umożliwiające im komunikację oraz interakcję z innymi maszynami i urządzeniami (*machine-to-machine* — M2M). Obiekty nieistniejące w naturze (obiekty fizyczne) mogą funkcjonować w sieci, bazując na technologiach internetowych i tworząc systemy cyberfizyczne (Frankowska, 2018). Operator urządzeń funkcjonuje w tych cyberfizycznych systemach (Broy, 2010). Jego środowisko pracy jest wysoce dynamiczne. W nowoczesnych fabrykach operatorzy maszyn są wyposażeni w urządzenia mające zintegrowane możliwości przetwarzania danych i komunikacji. Obsługa urządzeń jest częścią inteligentnych technologii produkcji. Symbioza człowieka z technologią przystosowaną do elastycznego wytwarzania spersonalizowanych wyrobów jest realizowana przy minimalnej ludzkiej ingerencji. W inteligentnych fabrykach stawia się przede wszystkim na robotyzację i sztuczną inteligencję. Przemysł 4.0 zmniejsza zależność urządzeń od operatora. Maszyny z elementami sztucznej inteligencji stają się bardziej samodzielne i nabywają umiejętności uczenia się, pokonując problemy oraz weryfikując błędy (Paprocki, 2016).

Rola operatora urządzeń ulega zmianie, musi być dostosowana do konfiguracji (modularności) urządzeń działających w obszarze przemysłu procesowego. Urządzenia i instalacje nadzorowane przez operatorów są łatwe w obsłudze przez dostęp do tych samych rozwiązań informatyczno-komputerowych dla różnych komponentów. Operatorzy mają podgląd na dane, które są analizowane w czasie rzeczywistym. W Przemśle 4.0 maszyny ze sztuczną inteligencją dokonują samoczynnej optymalizacji parametrów pracy i mierzą poziom efektywności (Lorenz i in., 2015; Bick, 2014; Wagner i in., 2017). Na obecnym etapie rozwoju technologii operatorzy wyposażeni w mobilne urządzenia operatorskie nadzorują dobór parametrów pracy maszyn. Dostęp do „otwartego” Internetu oraz systemów IT w chmurze zwiększa ich możliwości pracy z urządzeniami. Dostępne już na rynku systemy umożliwiają operatorom automatyczne śledzenie pracy maszyn w czasie rzeczywistym. Modularna automatyka procesowa z czasem umożli-

wi zebranie wielu danych z maszyn od różnych producentów i ich porównywanie w celu wyboru najlepszych rozwiązań technologicznych.

Ogromne zbiory danych z urządzeń po przetworzeniu stają się informacją, która buduje wiedzę o funkcjonowaniu urządzeń. Ujednolicone dane o pracy urządzeń, nawet od różnych dostawców, zwiększą pewność informacji, skrócą czas wprowadzania danych potrzebnych do konfiguracji urządzeń, zmniejszą ryzyko wystąpienia błędu, a przede wszystkim wyeliminują konieczność inwestowania w dodatkową infrastrukturę czujników. Przemysł 4.0 przyspiesza cyfryzację procesów i standaryzację wymiany danych między maszynami (M2M). Skracą również czas obiegu informacji od maszyny do maszyny. Na początek trzeba jednak zainwestować w sensory, które pozwalają na pomiar i przesyłanie danych do systemów nadrzędnych. Pozytskane w ten sposób informacje pomagają zapobiegać przestojom w pracy urządzeń, planować serwis maszyn i sterować ich wydajnością (Stone i in., 2012). W pracy operatora smartsensory i smartmaszyny naberają istotnego znaczenia. Koncepcja zapewnienia bezawaryjności pracy urządzeń — kompleksowe utrzymanie sprawności maszyn — TPM (Total Productive Maintenance) zostaje wzbogacona o predykcję (Predictive Maintenance — PM) (Standnicka i Antonelli, 2016; Patel, 2018; Gajdzik, 2019). Wyposażone w czujniki maszyny, przy użyciu odpowiednich algorytmów informatycznych, stają się urządzeniami przewidywalnymi.

W cyberfizycznych systemach produkcyjnych rozwija się nowa współpraca człowieka z maszyną. Czujniki wykrywają wszystkie niepokojące zdarzenia w pracy urządzeń i natychmiast informują o nich operatora. Operator nie musi towarzyszyć urządzeniom w miejscu ich pracy (nie musi przebywać w hali produkcyjnej). Nadzór nad pracą urządzeń jest możliwy na odległość. Gdy dojdzie do niebezpiecznej sytuacji, maszyna zawiesza lub spowalnia pracę do czasu, aż ryzyko zostanie wyeliminowane. Stosuje się również inteligentne kamery do monitorowania pracy urządzeń. Zebrane w ten sposób materiały są na bieżąco przesyłane do centrali, gdzie zarządza się pracą maszyn (Hancock i in., 2013; Lee i in., 2012; Lee i in., 2014). Operator skupia się na monitorowaniu całego procesu. Systemy monitorowania ukierunkowane są między innymi na: wydajność, kontrolę jakości, utrzymanie ruchu (bezawaryjność), terminowość, bezpieczeństwo pracy. Globalna transformacja danych umożliwia operatorom dostęp do dużych zbiorów danych. Operator dysponuje danymi o obecnej pracy maszyny, o wydarzeniach wcześniejszych i wynikach predykcji, np. w zakresie wydajności pracy urządzeń przy zmianie parametrów ich pracy (Spath i in., 2013; Rüßmann i in., 2015).

Operatorzy maszyn i urządzeń, z uwagi na rozległość zastosowanych rozwiązań technologicznych, są wielozadaniowi. Przypisywane są im różne role wo-

bec maszyn i urządzeń, takie jak: nauczyciel urządzeń, mentor rozwiązań, kontroler procesów, asystent robotów, programista maszyn, menedżer robotów mobilnych, analityk cyberfizycznych systemów, współpracujący operator, łącznik urządzeń, operator sztucznej inteligencji, wirtualny operator. Zakres poszczególnych ról wynika z otrzymywanych zadań i rodzaju obsługiwanej technologii (Ruppert i in., 2018 za: Romero, Bernus i in., 2016; Romero, Stahre i in., 2016). Role przypisywane operatorom mogą być również uwarunkowane trybami pracy urządzeń, takimi jak: rozruch, praca, serwisowanie, czyszczenie, zapamiętywanie (Poreda, 2020). Wielozaładowość wzbogaca pracę i ułatwia rotację stanowiskową. Specjalizacja może wynikać ze specyfiki monitorowanych urządzeń i kosztów ich zakupu oraz eksploatacji. Zakres specjalizacji może dotyczyć obsługi wybranej grupy maszyn, np. ze względu na specyfikę danych generowanych przez urządzenia.

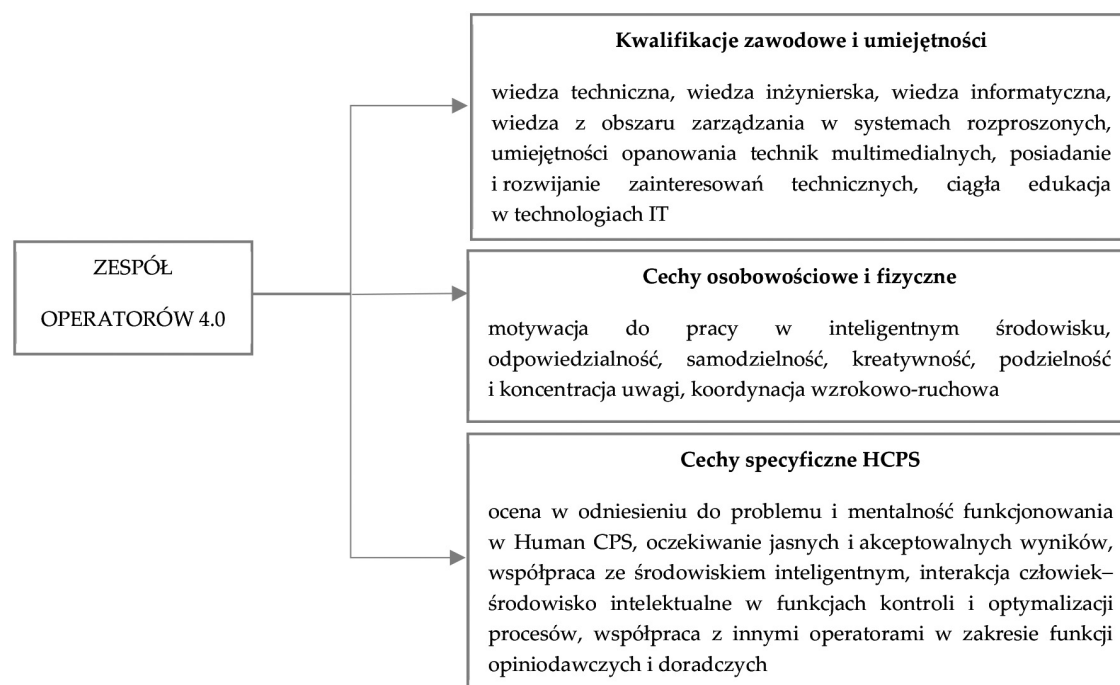
Sylwetka operatora maszyn i urządzeń w cyberfizycznym środowisku pracy

Operator maszyn i urządzeń w Przemśle 4.0 obcuje z zaawansowaną technologią. Odpowiednie cechy osobowości i predyspozycje fizyczne ułatwiają

operatorom wykonywanie pracy. Często operatorzy przed dopuszczeniem do obsługi urządzeń przechodzą test oceniający cechy psychofizyczne. Rezultatem badań jest odpowiedź na pytanie o możliwości obsługi i współpracy operatora z maszynami i urządzeniami. Podstawą do pracy z maszynami jest wiedza techniczna i inżynierska, na przykład z zakresu: elektroniki, mechaniki, automatyki i robotyki, inżynierii jakości, inżynierii informatycznej, inżynierii precyzyjnej. Wiedza techniczna powinna być uzupełniona wiedzą na temat metod i technik zarządzania, np. technik podejmowania decyzji. Operator porusza się w wielodziedzinowych obszarach tematycznych, obejmujących elementy takich dziedzin jak: informatyka, automatyka, elektrotechnika, elektronika, mechanika, robotyka, optyka i fotonika, sensoryka i inne (Olśzewski, 2006, s. 19). Oprócz kwalifikacji zawodowych powinien posiadać umiejętności miękkie. Od operatorów wymaga się spostrzegawczości i dokładności w działaniu, umiejętności analitycznych, umiejętności oceny sytuacji w odniesieniu do problemu, podzielności i koncentracji uwagi, dobrej koordynacji wzrokowej i ruchowej, posiadania i rozwijania zainteresowań technicznych, a przede wszystkim gotowości do pracy w inteligentnym środowisku pracy i inteligentnej przestrzeni. Od operatora oczekuje się umiejętności opanowania technik multimedialnych w komunikacji z urządzeniami i systemami. Na rysunku 1 przedstawiono kluczowe kryteria doboru zespołu operatorów do pracy z urządzeniami w Przemśle 4.0.

Rysunek 1

Zbiór cech operatora maszyn i urządzeń w Przemśle 4.0



Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

Wyzwania, jakie stwarza Przemysł 4.0 dla operatorów maszyn i urządzeń, są nowym tematem badań naukowców. W chwili obecnej trudno jednoznacznie wskazać na pełną listę cech przynależnych operatorom nowoczesnej technologii. Profil operatora maszyn i urządzeń w nowoczesnej fabryce tworzy wiedza z różnych obszarów nauk technicznych i nauk o zarządzaniu oraz wiele cech osobowościowych. Istotne są takie cechy jak: umiejętność identyfikowania problemów, skupiania uwagi na danych, odbierania informacji, uzdolnienia analityczne, predyspozycje fizyczne, np. szybkość i zwinność w obsłudze urządzeń mobilnych. W przedsiębiorstwach na obecnym etapie

transformacji do Przemysłu 4.0 ważne wydaje się zapewnienie kompatybilności tradycyjnej technologii, dominującej jeszcze w przemyśle, z technologią Przemysłu 4.0, która w nieodległej przyszłości wkroczy do firm w znacznie większym stopniu niż obecnie. Pytanie o miejsce operatora maszyn i urządzeń w cyberfizycznych systemach produkcji jest pytaniem aktualnym w kontekście dokonujących się przeobrażeń technologicznych. Na obecnym etapie operator obsługuje maszyny i urządzenia i nadzoruje ich pracę. Wraz z rozwojem cyberfizycznych systemów produkcji warunki pracy operatora będą badane wieloaspektowo ze względu na bogactwo technologii stosowanej w przedsiębiorstwach dążących do utworzenia fabryk typu *smart*.

Bibliografia/References

- Bick, W. (2014). Warum Industrie 4.0 und Lean zwingend zusammengehören. Man kann auch schlechte Prozesse digitalisieren. *VDI-Z Integrierte Produktion*, (11), 46–47.
- Broy, M. (2010). *Cyber-Physical Systems* (17–32). Berlin: Springer.
- Frankowska, M. (2018). Technologie Smart Industry a rozwój zarządzania łańcuchami dostaw. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (6), 2–12.
- Gajdzik, B. (2019). Predyktywne i inteligentne utrzymanie urządzeń w Przemysle 4.0 — maszyny wzmocnione o dane. Historia zmian w UR na przykładzie krajowego sektora stalowego. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (8), 10–17. <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2019.8.2>
- Hancock, P. A., Jagacinski, R. J., Parasuraman, R., i in. (2013). Human-automation interaction research: past present and future. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 21(2), 9–14. <https://doi.org/10.1177/1064804613477099>
- Kagermann, H., Lukas, W.-D., Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI Nachrichten*, (13), http://www.wolfgang-wahlster.de/wordpress/wp-content/uploads/Industrie_4_0_Mit_dem_Internet_der_Dinge_auf_dem_Weg_zur_vierten_industriellen_Revolution_2.pdf (2.02.2020).
- Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industry 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*; Forschungsunion, Acatech-National Academy of Science and Engineering, München, <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/> (2.02.2020).
- Kagermann, H. (2015). Change Through Digitization — Value Creation in the Age of Industry 4.0. In: H. Albach, H. Meffert, A. Pinkwart, R. Reichwald, (eds.), *Management of Permanent Change*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6>
- Lee, E. A. (2008). *Cyber Physical Systems: Design Challenges*. 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 363–369. <https://doi.org/10.1109/isorc.2008.25>
- Lee, E. A., Seshia S. A. (2017). *Introduction to embedded systems. A cyber-physical systems approach*, 2-nd Ed., MIT Press.
- Lee, J. D., Seppelt, B. D. (2012). Human factors and ergonomics in automation design. In: G. Salvendy (ed.), *Handbook of human factors and ergonomics* (1615–1642). Hoboken: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118131350.ch59>
- Lee, J., Bagheri, B., Kao, H. (2015). Research Letters: A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lee, J., Kao, H. -A., Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, (16), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001>
- Liu, Y., Peng, Y., Wang, B., Yao, S., Liu, Z. (2017). Review on cyber-physical systems. *Journal of Automatica Sinica*, 4(1), 27–40.
- Lorenz, M., Rüfmann, M., Strack, R., Luetk, K. L., Bolle, M. (2015). *Man and Machine in Industry 4.0. How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025?* The Boston Consulting Group (BCG).
- Lu, Y. (2017). Cyber-physical system (CPS) — based Industry 4.0: A survey. *Journal of Industrial Integration and Management*, 2(3). <https://doi.org/10.1142/S2424862217500142>
- Olszewski, M. (2006). *Podstawy mechatroniki*. Warszawa: Wydawnictwo REA.
- Paprocki, W. (2016). Koncepcja Przemysłu 4.0 i jej zastosowanie w warunkach gospodarki cyfrowej. W: J. Gajewski, W. Paprocki, J. Pieriegud (red.), *Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa — szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych*. Gdańsk: Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego. Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową — Gdańska Akademia Bankowa. http://www.efcongress.com/sites/default/files/publikacja_ekf_2016_cyfryzacja_gospodarki_i_spoleczestwa.pdf, (17.02.2018).
- Patel, M. (2018). *The Future of Maintenance. White paper*. Bengaluru: Infosys. <https://www.infosys.com/industries/aerospace-defense/white-papers/Documents/enabled-predictive-maintenance.pdf> (16.07.2019).
- Pereira, A. C., Romero F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, 28–30 June 2017, Vigo (Pontevedra). *Procedia Manufacturing*, (13), 1206–1214; https://www.researchgate.net/publication/320341295_A_review_of_the_meanings_and_the_implications_of_the_Industry_40_concept (9.09.2020). <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Plączek, E. (2018). Logistyka w erze Przemysłu 4.0. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, 19(11/3), 55–66.
- Poreda, R. (2020). *Jak odpowiedzieć na wyzwania przemysłu 4.0 w języku maszyn?*, <https://www.astor.com.pl/biznes-i-produkcja/packml-jak-odpowiedzic-na-wyzwania-przemyslu-4-0-w-jezyku-maszyn/> (20.02.2021).

- Romero, D., Bernus P., Noran O., Stahre J., Fast-Berglund, A. (2016). The Operator 4.0: Human Cyber-Physical Systems & Adaptive Automation Towards Human-Automation Symbiosis Work Systems. W: *Advances in Production Management Systems: Initiatives for a Sustainable World. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems — APMS*, 677–686. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-51133-7_80 (20.02.2021). https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_80
- Romero, D., Noran, O., Stahre, J., Bernus, P., Fast-Berglund, A. (2015). Towards a human-centred reference architecture for next generation balanced automation systems: human-automation symbiosis. W: *Advances in Production Management Systems: Initiatives for a Sustainable World. IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems — APMS*, 556–566. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-22759-7_64 (20.02.2021). https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7_64
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, A., Gorecky, D. (2016). *Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies*. International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE46), Tianjin, China, 29–30.11.2016, 1–11.
- Ruppert, T., Jaskó, Sz., Holczinger, T., Abonyi, J. (2018). Enabling Technologies for Operator 4.0: A Survey. *Apply Science*, 8, 1650; <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/9/1650> (20.02.2021). <https://doi.org/10.3390/app8091650>
- Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M. (2015). *Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, Boston Consulting Group (BCG).
- Santos, C., Mehra, A., Barros, A. C., Araújo, M., Ares, E. (2017). *Towards Industry 4.0: An overview of European strategic roadmaps*. Paper prepared for the Manufacturing Engineering Society International Conference, 28–30 June 2017, Vigo (Pontevedra). <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.093>
- Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., Hauptvogel, A. (2013). *Sustainable Increase of Overhead Productivity due to Cyber-Physical Systems*. Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing (GCSM) — Innovative Solutions, Universitätsverlag der TU Berlin.
- Sheridan, T., Parasuraman, R. (2006). Human-automation interaction. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society (Hum. Factors Ergon.)* 1(1), 890129.
- Stadnicka, D., Antonelli, D. (2016). *Discussion on lean approach implementation in a collaborative man-robot workstation*. Sixth International Conference on Business Sustainability „Management, Technology and Learning for Individuals, Organisations and Society in Turbulent Environment”, 16–18.11.2016.
- Stone, H., Bleibaum, R., Thomas, H. A. (2012). *Sensory Evaluation Practices*. 4th ed. Amsterdam: Elsevier.
- Spath, D., Ganschar, O., Hämmerle, M., Krause, T., Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft — Industrie 4.0*. Stuttgart: Studie.
- Wagner, T., Herrmann, Ch., Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. Elsevier, 50-th CIRP Conference of manufacturing Systems. *Procedia CIRP*, 63, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>

Dr hab. inż. Bożena Gajdzik, prof. PŚ

Profesor w Katedrze Informatyki Przemysłowej na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej. Prodziekan do spraw współpracy i rozwoju. Interesuje się problematyką zarządzania przedsiębiorstwami hutniczymi oraz zmianami zachodzącymi w tej branży po transformacji systemowej w Polsce i w perspektywie dostosowania sektora do wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0.

Dr hab. inż. Bożena Gajdzik, prof. PŚ

PhD BEng, employed in the Silesia University of Technology, Faculty of Materials Engineering, Department of Industrial Informatics. Vice-dean for cooperation and development. Deals with problems of management of metallurgical companies, monitoring the scope of changes introduced in that industry after the period of systemic transformation in Poland and in the context of implementation of Industry 4.0.

Klub książki PWE

Z myślą o swoich Czytelnikach Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne stworzyło Klub książki PWE. W ramach członkostwa w Klubie proponujemy następujące udogodnienia i korzyści:

- ✓ szybkie zakupy;
- ✓ zakupy z rabatem;
- ✓ informacje o nowościach, promocjach, konkursach.

Po więcej informacji zapraszamy na stronę PWE:



www.pwe.com.pl