

dr inż. Katarzyna Łacka¹

Akademia Bialska im. Jana Pawła II, Biała Podlaska

Agnieszka Hołonowicz

Fundacja im. Leśława A. Pagi, Warszawa

INTEGRACJA AI I ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU – PERSPEKTYWY I WYZWANIA W ROLNICTWIE

INTEGRATION OF AI AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT – PERSPECTIVES AND CHALLENGES IN AGRICULTURE

Streszczenie

Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych sprawia, że sztuczna inteligencja (AI) staje się jednym z kluczowych narzędzi transformacji współczesnego rolnictwa. Zastosowanie systemów bazujących na algorytmach sztucznej inteligencji umożliwia automatyzację, precyzyjne monitorowanie upraw, poprawę dobrostanu zwierząt oraz bardziej świadome gospodarowanie zasobami naturalnymi. W obliczu wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi, degradacją środowiska i rosnącym zapotrzebowaniem na żywność, AI zyskuje strategiczne znaczenie we wdrażaniu zasad zrównoważonego rozwoju. Technologie, obejmujące uczenie maszynowe, analizę danych, systemy wizyjne i Internet Rzeczy (IoT), tworzą nowe możliwości optymalizacji produkcji rolniczej. Mimo licznych korzyści proces wdrażania sztucznej inteligencji wiąże się także z wyzwaniami. Wyzwania te dotyczą: wysokich kosztów inwestycyjnych, konieczności zapewnienia odpowiedniej infrastruktury technicznej i łączności, skomplikowanych

¹ <https://orcid.org/0009-0001-4656-5635>, e-mail: k.lacka@dyd.akademiabialska.pl
Łacka, K., Hołonowicz, A. (2026). Integracja AI i zrównoważonego rozwoju – perspektywy i wyzwania w rolnictwie. W: A. Siedlecka, M. Pyra (red.), *AI 360°: innowacje i zastosowania sztucznej inteligencji w gospodarce, społeczeństwie i nauce* (s. 44-53). Biała Podlaska: Akademia Bialska im. Jana Pawła II. https://doi.org/10.29316/9788368103366_3

systemów cyfrowych oraz ryzyka wykluczenia technologicznego części producentów. Celem pracy jest przedstawienie możliwości zastosowania sztucznej inteligencji w procesie wspierania zrównoważonego rolnictwa, ze szczególnym uwzględnieniem monitorowania upraw, dobrostanu zwierząt oraz wyzwań infrastrukturalnych i społecznych związanych z wdrażaniem nowoczesnych technologii.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, zrównoważony rozwój, zrównoważone rolnictwo, automatyzacja rolnictwa

Abstract

The dynamic development of digital technologies means that artificial intelligence (AI) is becoming one of the key tools for transforming modern agriculture. The use of systems based on AI algorithms enables automation, precise crop monitoring, improved animal welfare, and more conscious management of natural resources. In the face of challenges related to climate change, environmental degradation and growing demand for food, AI is gaining strategic importance in the implementation of sustainable development principles. The dynamic development of digital technologies, including machine learning, data analytics, vision systems and the Internet of Things (IoT), is creating new opportunities for optimising agricultural production. Despite its many benefits, the implementation of AI also presents challenges. These include high investment costs, the need to ensure adequate technical and communications infrastructure, the complexity of integrating digital systems, and the risk of technological exclusion of some producers. The aim of this study is to present the possibilities of applying AI to support sustainable agriculture, with particular emphasis on crop monitoring, animal welfare, and the infrastructural and social challenges associated with the implementation of modern technologies.

Keywords: artificial intelligence, sustainable development, sustainable agriculture, agricultural automation

Wstęp

Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych sprawił, że sztuczna inteligencja (AI) stała się głównym motorem zmian we współczesnej gospodarce. AI umożliwia automatyczne gromadzenie i analizę danych, usprawnia procesy decyzyjne oraz przyspiesza rozwój wielu gałęzi gospodarki, również rolnictwa. Rozwój sektora rolnictwa jest nierozdzielnie związany z szeregiem kluczowych obszarów, takich jak kwestie społeczne, zdrowie publiczne, funkcjonowanie

ekosystemów czy gospodarowanie zasobami naturalnymi. Współczesne rolnictwo boryka się ze zmianami klimatycznymi, degradacją gleb, rosnącym zapotrzebowaniem na zdrową żywność i optymalnej jakości paszę oraz problemami z zachowaniem bioróżnorodności. Czynniki te sprzyjają integracji postępu technologicznego z zasadami zrównoważonego rozwoju (Kwasek i in., 2023).

Rewolucja cyfrowa obejmująca sektor rolniczy dotyczy optymalizacji zabiegów agrotechnicznych, stabilności ekonomicznej, oddziaływania na środowisko rolnicze oraz wprowadzania innowacyjnych rozwiązań w chowie zwierząt. Rolnicy przy użyciu systemów bazujących na algorytmach AI mogą optymalizować zarządzanie gospodarstwem, monitorować zwierzęta i wpłynąć na zachowanie bioróżnorodności krajobrazu rolniczego (Różanowski, 2007). Algorytmy uczenia maszynowego na podstawie poznanych wzorców umożliwiają prognozę plonów, identyfikację chorób i szkodników w produkcji roślinnej oraz analizę pogody (Kamilaris, Prenafeta-Boldu, 2018a; Shah i in., 2020).

AI stanowi istotny element tzw. czwartej rewolucji przemysłowej. Zastosowanie technologii z wykorzystaniem sztucznej inteligencji ułatwia podejmowanie decyzji, usprawnia procesy produkcyjne oraz wprowadza nowe modele zarządzania zasobami. AI może znacząco uprościć zapewnianie zgodności z regulacjami oraz dostarczać organizacjom praktycznych, aktualnych informacji, pozwalając podejmować szybsze i bardziej trafne decyzje. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju definiuje sztuczną inteligencję jako „system oparty na maszynach, który w celu osiągnięcia wyraźnych lub domyślnych celów na podstawie otrzymanych danych wejściowych wnioskuje, w jaki sposób generować dane wyjściowe, takie jak prognozy, treści, zalecenia lub decyzje, które mogą wpływać na środowisko fizyczne lub wirtualne” (Grobelnik, Per-set, Russel, 2024). Sztuczna inteligencja staje się narzędziem wspierającym transformację rolnictwa w kierunku „inteligentnej i zielonej produkcji żywności”. Połączenie wykorzystania AI w procesie zrównoważonego podejścia do produkcji żywności to symbioza z zasadami efektywności energetycznej, etyki oraz odpowiedzialności środowiskowej. W tym kontekście coraz większego znaczenia nabiera koncepcja zrównoważonego rozwoju, której celem jest harmonijne łączenie wzrostu gospodarczego z ochroną środowiska i dobrobytem społecznym. Integracja sztucznej inteligencji z ideą zrównoważonego rozwoju staje się jednym z priorytetów rolnictwa (Prokopowicz, 2025). Kompleksowe gospodarowanie na podstawie racjonalności ekonomicznej, ochrony

środowiska oraz wdrażania innowacyjności w sektorze rolniczym to kluczowe wyzwania współczesnego rolnictwa (Sanyaolu, Sadowski, 2024).

Sztuczna inteligencja a zrównoważone rolnictwo

Rolnictwo stanowi obszar, w którym zastosowanie AI może przynieść wymierne korzyści dla zrównoważonego gospodarowania zasobami. Technologie analizy dużych zbiorów danych, systemy wizyjne, teledetekcja czy Internet rzeczy (IoT) umożliwiają precyzyjne monitorowanie upraw i zwierząt gospodarskich, optymalizację zużycia wody i pasz, redukcję stosowania środków chemicznych oraz poprawę dobrostanu zwierząt (Such-Pyrgiel i in., 2022). Zrównoważone podejście do rolnictwa cechuje ochrona środowiska naturalnego jednocześnie z uzyskaniem celów oczekiwanych w produkcji rolnej. Rolnictwo, jako jeden z kluczowych sektorów gospodarki, ma wpływ nie tylko na bezpieczeństwo żywnościowe, lecz także na stan środowiska naturalnego, jakość życia społeczeństwa oraz stabilność ekonomiczną – zarówno w skali lokalnej, jak i globalnej. W obliczu narastających wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi, kurczącymi się zasobami naturalnymi oraz pogłębiającymi się nierównościami społecznymi, konieczne staje się wypracowanie i wdrożenie nowych perspektyw rozwoju (Klusek i in., 2023).

Rozwój sektora rolnictwa jest nierozdzielnie związany z szeregiem kluczowych obszarów, takich jak kwestie społeczne, zdrowie publiczne, zmiany klimatyczne, dostęp do energii, funkcjonowanie ekosystemów czy gospodarowanie zasobami naturalnymi. Wszystkie wyodrębnione elementy wymagają precyzyjnego zdefiniowania w formie konkretnych celów. Cele te umożliwią ukierunkowanie działań na osiągnięcie zrównoważonego rozwoju. W perspektywie powinny one umożliwić przekształcenie rolnictwa w sektor bardziej zrównoważony, efektywny i zdolny sprostać potrzebom ludności dbając o zapewnienie bezpieczeństwa żywności oraz stabilności ekosystemów (Thornhill i in., 2016). Oznacza to dążenie do maksymalizacji produkcji przy jednoczesnym ograniczaniu negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko naturalne (Tian i in., 2021). Systemy bazujące na algorytmach AI w przyszłości mogą odegrać pierwszoplanową rolę w zarządzaniu zasobami naturalnymi, w tym w monitorowaniu i przewidywaniu zużycia wody w rolnictwie (Aliyu, Liu, 2023). Dane pochodzące z różnych źródeł, zarówno z czujników rozmieszczonych na polach

uprawnych, jak i w budynkach inwentarskich są gromadzone, przechowywane i przetwarzane w czasie rzeczywistym (Kamilaris i in., 2017). Analiza obrazów w połączeniu z algorytmami sztucznej inteligencji umożliwia wykrywanie anomalii w wielu obszarach rolnictwa. Popularne techniki analizy obrazu obejmują uczenie maszynowe oraz wskaźniki wegetacji (takie jak NDVI). Zastosowanie tych metod pozwala między innymi na: wykrywanie chorób roślin, rozpoznawanie gatunków roślin, liczenie owoców, identyfikację chwastów, przewidywanie plonów oraz monitorowanie stanu zdrowia zwierząt. Co istotne, techniki te pozostają skuteczne mimo zmiennych warunków oświetleniowych, zróżnicowanego tła oraz odmiennych orientacji obrazów (Amara i in., 2017).

W obliczu narastających wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi, ograniczonymi zasobami naturalnymi czy narastającymi nierównościami społecznymi konieczne staje się wypracowanie i wdrożenie perspektyw, które umożliwią zachowanie zasad zrównoważonego rolnictwa.

Sztuczna inteligencja a dobrostan zwierząt

Wśród innowacji z wykorzystaniem sztucznej inteligencji wyróżnia się rewolucyjne podejście w zachowaniu dobrostanu zwierząt. Dostarczanie informacji na temat zdrowia, stanu oraz kondycji krów odbywa się przez monitorowanie bydła. Monitoring każdej sztuki bydła umożliwia wczesne reagowanie na wszelkie występujące anomalie w zachowaniu zwierząt (Neethirajan, 2023). Krowy są monitorowane w czasie rzeczywistym na podstawie unikalnych cech biometrycznych. Technologia biometrycznego rozpoznawania, np. głów krów, oparta na zaawansowanych metodach uczenia głębokiego i sieciach neuronowych (CNN), umożliwia precyzyjną identyfikację zwierząt. Identyfikacja bydła polega na obserwacji i analizie konkretnych cech ciała zwierzęcia. Wśród cech charakteryzujących głowę zwierzęcia można wyróżnić różnice w kształcie oczu, pigmentacji, wielkości nozdrzy czy umaszczeniu (Mahato, Neethirajan, 2025). Oprócz charakterystyki cech biometrycznych przetwarzane są nagrania wideo, umożliwiające monitorowanie ruchu i zachowania zwierząt (Dhaliwal i in., 2025). Informacje na temat zachowania oraz zmian w zachowaniu zwierząt umożliwiają ocenę ich stanu zdrowia, a tym samym wydajności zwierzęcia (Mahato, Neethirajan, 2025). Adaptacja technologii biometrycznego rozpoznawania głów u krów mlecznych to proces złożony, lecz potencjalnie niezwykle

korzystny dla nowoczesnych gospodarstw. Wymaga on charakterystyki cech anatomicznych zwierząt, ich naturalnych zachowań oraz warunków środowiskowych panujących w oborze. Konieczna jest także integracja zaawansowanych komponentów technologicznych, obejmujących systemy rejestracji obrazu, jednostki przetwarzania danych oraz narzędzi analitycznych opartych na sztucznej inteligencji (Sztandarski i in., 2025). W tym kontekście niezwykle użyteczny staje się multimedialny, zintegrowany system monitorowania bydła. Takie rozwiązania umożliwiają integrację różnych strumieni danych, takich jak obrazy z kamer, dane z czujników IoT oraz wyniki zaawansowanej analizy, w ramach jednej platformy wspomagającej proces podejmowania decyzji w gospodarstwie rolnym. System ten pozwala na precyzyjne monitorowanie dobrostanu, zdrowia i wydajności krów mlecznych, znacząco podnosząc efektywność zarządzania stadem (Parivendan, Sailunaz, Neethirajan, 2025).

AI i zrównoważone rolnictwo – wyzwania

W procesie dążenia do zrównoważonego rozwoju rolnictwa, w konsekwencji wprowadzania zaawansowanych technologii pojawia się szereg trudności oraz wyzwań. Wyzwania te obejmują obszar: ekonomiczny, społeczny i środowiskowy. Dziedziny te pozostają ze sobą ściśle powiązane np. ograniczenia ekonomiczne wpływają na możliwości wdrażania technologii przyjaznych środowisku, a presja społeczna może determinować kierunki polityki rolnej. Z tego powodu skuteczna analiza oraz poszukiwanie optymalnych rozwiązań wymagają podejścia interdyscyplinarnego, obejmującego zarówno nauki przyrodnicze, ekonomiczne, techniczne, jak i społeczne. Tylko integracja różnorodnych perspektyw pozwala zrozumieć złożoność współczesnych systemów żywnościowych oraz projektować strategie, które równocześnie wspierają równowagę środowiska, bezpieczeństwo ekonomiczne producentów i potrzeby społeczeństwa (Kamilaris, Prenafeta-Boldú, 2018b). W odpowiedzi na te problemy konieczne jest wdrażanie nowoczesnych, udoskonalonych metod gospodarowania oraz innowacyjnych praktyk rolniczych, które pozwolą zwiększyć efektywność produkcji, a jednocześnie utrzymać wysoki poziom zrównoważenia całego sektora (Kostina-Bednarz i in., 2023).

Mimo wielu korzyści wynikających z zastosowania sztucznej inteligencji w sektorze rolnictwa jej wdrażanie wiąże się także z istotnymi ograniczeniami.

Dotyczą one etyki, dostępności innowacji oraz wpływu technologii cyfrowych na środowisko naturalne.

Dotyczy to zwłaszcza rosnącego zapotrzebowania na energię, konieczności rozbudowy infrastruktury cyfrowej oraz związanego z tym śladu węglowego. Odpowiedzialne wdrażanie sztucznej inteligencji wymaga zatem uwzględnienia nie tylko jej potencjału, lecz także kosztów środowiskowych i społecznych (Toorajipour i in., 2021).

Jednym z głównych wyzwań jest koszt wdrożenia nowych technologii a także awarie, które mogą wywołać chaos w działaniu gospodarstwa i spowodować proces produkcji. Awarie mogą mieć skutki bezpośrednio wpływające na bezpieczeństwo integralności instytucji i rynku. Wyzwaniem staje się także wykluczenie cyfrowe wielu rolników oraz często niechęć do wdrażania nowych technologii (Xu i in., 2018).

Zapewnienie niezawodnej i szybkiej łączności jest kluczowe dla skutecznego przetwarzania i przesyłania danych wykorzystywanych w systemach sztucznej inteligencji, zwłaszcza takich, które działają w czasie rzeczywistym. Oprócz kamer rejestrujących obraz, system wymaga również specjalistycznego sprzętu do przetwarzania danych wizualnych oraz uruchamiania algorytmów analitycznych. Urządzenia te muszą być wydajne, odporne na uszkodzenia oraz dostosowane do warunków panujących w gospodarstwie m.in.: zmienne temperatury, różna wilgotność, kurz czy możliwość kontaktu ze zwierzętami.

Niezbędnym elementem jest również odpowiednia infrastruktura techniczna umożliwiająca stabilny montaż kamer, ich zabezpieczenie oraz ochronę pozostałych podzespołów systemu przed czynnikami środowiskowymi. Obejmuje to m.in. specjalne obudowy, konstrukcje montażowe, przewody odporne na warunki atmosferyczne oraz systemy zasilania awaryjnego (Mahato, Nethirajan, 2025). Według Department for Science, Innovation and Technology (2025) konieczne są dalsze badania nad zwiększaniem możliwości zastosowania technologii opartych na wykorzystaniu systemów AI w zmiennych warunkach środowiskowych oraz integracją z innymi technologiami rolniczymi.

Podsumowanie

Odpowiedzialne wykorzystanie zasobów sztucznej inteligencji w celu realizacji zrównoważonego rolnictwa ma kluczowe znaczenie dla przyszłości

produkcji żywności. Wdrożenie systemów AI w rolnictwie pozwala nie tylko na automatyzację i optymalizację procesów produkcyjnych, ale również na bardziej świadome gospodarowanie zasobami naturalnymi, takimi jak woda, gleba czy energia. Mimo wielu wyzwań związanych z implementacją systemów opartych na AI – w tym wysokich kosztów inwestycyjnych, wymagań infrastrukturalnych, skomplikowanych procesów integracji z istniejącymi technologiami oraz ryzyka wykluczenia technologicznego części producentów – potencjał aplikacyjny sztucznej inteligencji w rolnictwie dynamicznie rośnie.

Odpowiednio zaprojektowane i regulowane systemy AI mogą stać się kluczowym elementem w budowaniu bardziej efektywnego i zrównoważonego rolnictwa. Przykłady ich zastosowania obejmują m.in. monitorowanie stanu zdrowia roślin i zwierząt w czasie rzeczywistym, precyzyjne prognozowanie plonów, optymalizację zużycia nawozów i pestycydów oraz zarządzanie nawadnianiem w oparciu o dane meteorologiczne. Wdrożenie takich systemów pozwala nie tylko zwiększyć wydajność gospodarstw, ale również ograniczyć negatywny wpływ produkcji rolniczej na środowisko, wspierając jednocześnie realizację celów zrównoważonego rozwoju.

Literatura

1. Aliyu, A. A., Liu, J. (2023). Blockchain-Based Smart Farm Security Framework for the Internet of Things. *Sensors*, 23(18), 7992. <https://doi.org/10.3390/s23187992>
2. Amara, J., Bouaziz, B., Algergawy, A. (2017). A deep learning-based approach for banana leaf diseases classification. W: Mitschang B. (red.), *Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW 2017)* (s. 79-88). LNI.
3. Department for Science, Innovation and Technology. (2025). *International AI Safety Report: First Key Update*. DSIT 2025/033.
4. Dhaliwal, Y., Bi, H., Neethirajan, S. (2025). Bimodal Data Analysis for Early Detection of Lameness in Dairy Cows Using Artificial Intelligence. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21, 101832. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101837>
5. Gołębiowska, A., Such-Pyrgiel, M. K., Prokopowicz, D. (2022). The post-pandemic reality and the security of information technologies ICT, Big Data,

- Industry 4.0, social media portals and the Internet. *Journal of Modern Science*, 49(2), 10-43. <https://doi.org/10.13166/jms/156912>
6. Grobelnik, M., Perset, K., Russell, S. (2024). *What is AI? Can you make a clear distinction between AI and non-AI systems?* OECD. AI Policy Observatory.
7. Kamilaris, A., Kartakoullis, A., Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
8. Kamilaris, A., Prenafeta-Boldú, F. X. (2018a). A review of the use of convolutional neural networks in agriculture. *The Journal of Agricultural Science*, 156(3), 312-322. <https://doi.org/10.1017/S0021859618000436>
9. Kamilaris, A., Prenafeta-Boldú, F. X. (2018b). Deep learning in agriculture: a survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
10. Klusek, T., Łukasiewicz, K., Mrówczyńska-Kamińska, A., Pietrzak, P., Sobczak-Malitka, W. (2023). *Zrównoważony rozwój a funkcjonowanie wybranych sektorów gospodarki*. Oficyna Wydawnicza ASPRA-JR.
11. Kostina-Bednarz, M., Płonka, J., Barchanska, H. (2023). Allelopathy as a source of bioherbicides: challenges and prospects for sustainable agriculture. *Review of Environmental Science and Biotechnology*, 22, 471-504. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09656-1>
12. Kwasek, A., Maciaszczyk, M., Kocot, M., Rzepka, A., Kocot, D., Gasiński, H., Prokopowicz, D. (2023). Energy Saving Practices in the IT Area as a Factor of Sustainable Development of the Organization: A Case Study of Poland. *Energies*, 16(4), 1942. <https://doi.org/10.3390/en16041942>
13. Mahato, S., Neethirajan, S. (2025). Integrating Artificial Intelligence in dairy farm management – biometric facial recognition for cows. *Information Processing in Agriculture* 12(3), 312-325. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2024.10.001>
14. Neethirajan, S. (2023). SOLARIA-SensOr-driven resilient and adaptive monitoring of farm animals. *Agriculture*, 13(2), 436. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020436>
15. Parivendan, S. C., Sailunaz, K., Neethirajan, S. (2025). Socializing AI: Integrating Social Network Analysis and Deep Learning for Precision Dairy Cow Monitoring – A Critical Review. *Animals*, 15(13), 1835. <https://doi.org/10.3390/ani15131835>

16. Prokopowicz, D. (2025). Sztuczna inteligencja i przemysł 4.0 w rolnictwie przyjaznym dla klimatu i odbudowie ekosystemów, ResearchGate, manuskrypt artykułu, preprint. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30817.57447>
17. Rózanowski, K. (2007). Sztuczna inteligencja: rozwój, szanse i zagrożenia. *Zeszyty Naukowe: Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki*, 2, 109-135.
18. Sanyaolu, M., Sadowski, A. (2024). The Role of Precision Agriculture Technologies in Enhancing Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 16(15), 6668. <https://doi.org/10.3390/su16156668>
19. Shah, M., Naik, N., Somani, B. K., Hameed, B. Z. (2020). Artificial intelligence (AI) in urology – current use and future directions: An iTRUE study. *Turkish Journal of Urology*, 46(1), 27. <https://doi.org/10.5152/tud.2020.20117>
20. Sztandarski, P., Marchewka, J., Jaszczyk, A., Solka, M., Michnowska, H., Pogorzelski, G., Gotxi, J. R., Damaziak, K., Wójcik, W., Siwiec, D., Seidawi, A., Horbańczuk, J. O. (2025). Scientific literature on AI technologies to enhance animal welfare, health and productivity. *Animal Science Papers and Reports*, 42(2), 11-132. <https://doi.org/10.2478/aspr-2025-0009>
21. Thornhill, S., Vargyas, E., Fitzgerald, T., Chisholm, N. (2016). Household food security and biofuel feedstock production in rural Mozambique and Tanzania. *Food Security*, 8, 953-971. <https://doi.org/10.1007/s12571-016-0603-9>
22. Tian, Z., Wang, J-W., Li, J., Han, B. (2021). Designing future crops: challenges and strategies for sustainable agriculture. *The Plant Journal*, 105(5), 1165-1178. <https://doi.org/10.1111/tpj.15107>
23. Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., Fischl, M. (2021). Artificial Intelligence in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Journal of Business Research*, 122, 502-517. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>
24. Xu, L.D., Xu, E. L., Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>