

A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FENNTARTHATÓ ELLÁTÁSI LÁNCOK FEJLESZTÉSÉBEN

POTENTIAL FOR USING AI IN THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE SUPPLY CHAINS

Sarkadi Barnabás¹, Buglyó-Nyakas Erzsébet¹, Gál Tímea^{1,1}

¹ Logisztika Menedzsment Tanszék, Vidékfejlesztési és Funkcionális Gazdálkodási Intézet,
Gazdaságtudományi Kar, Debreceni Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

zöld ellátási lánc, logisztika, mesterséges intelligencia, ellátási lánc menedzsment

Keywords:

green supply chain, logistics, artificial intelligence, supply chain management

Összefoglalás

A logisztikai folyamatok egyre jelentősebb környezeti hatással járnak, amit részben a zöld logisztika ismeretének vagy prioritásának hiánya okozhat. A szállításból eredő kibocsátások, a termeléshez, raktározáshoz és anyagmozgatáshoz kapcsolódó energiafelhasználás, valamint a csomagolási hulladék mind komoly terhelést jelentenek. Ugyanakkor a környezetbarát megoldások javíthatják a vállalatok megítélését. A zöld ellátási lánc célja nemcsak a termékek eljuttatása a fogyasztóhoz, hanem a környezeti hatások csökkentése is, a hatékonyság és megbízhatóság fenntartása mellett. Az olyan fenntarthatósági stratégiák, mint a szénlábnyom mérséklése vagy az energiahatékonyság növelése, kulcsfontosságúak. A téma vizsgálatát szisztematikus irodalomelemzéssel végeztük a Web of Science adatbázis alapján (2014–2024), a PRISMA-módszertan alkalmazásával. Az eredmények szerint 2021-től előtérbe kerültek a digitális technológiák (pl. blockchain, Industry 4.0, mesterséges intelligencia), amelyek meghatározzák a zöld logisztika jövőjét és a további kutatási irányokat.

Abstract

Logistics processes have an increasingly significant environmental impact, which is partly caused by a lack of knowledge or priority for green logistics. Emissions from transport, energy consumption related to production, storage and material handling, as well as packaging waste are all serious burdens. At the same time, environmentally friendly solutions can improve the image of companies. The goal of a green supply chain is not only to deliver products to the consumer, but also to reduce environmental impact while maintaining efficiency and reliability. Sustainability strategies such as reducing the carbon footprint or increasing energy efficiency are crucial. The topic was examined by systematic literature analysis based on the Web of Science database (2014–2024), using the PRISMA methodology. According to the results, from 2021 onwards, digital technologies (e.g. blockchain, Industry 4.0, artificial intelligence) have come to the fore, which will determine the future of green logistics and further research directions.

¹ Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 30 4149171;
E-mail cím: gal.timea@econ.unideb.hu

1. Bevezetés

A zöld ellátási lánc folyamatának elemzése napjaink egyik meghatározó témájává vált a világgazdaságban, hiszen egyre több vállalat helyez hangsúlyt a fenntarthatóságra és környezetvédelemre. A hagyományos ellátási láncokkal szemben a zöld ellátási lánc (Green Supply Chain Management, GSCM) célja nemcsak a termékek, szolgáltatások hatékony eljuttatása a fogyasztóhoz, hanem a környezeti terhelés visszaszorítása vagy minimalizálása is. Ennek érdekében a vállalatok olyan stratégiákat vezetnek be, amelyek csökkentik a környezeti lábnyomot, optimalizálják az energiafelhasználást, és minimalizálják a hulladéktermelést a legkisebb gyártási és logisztikai folyamatok során [26].

A környezetbarát technológiák és eljárások bevezetése az ellátási lánc minden szakaszában hozzájárul a karbonlábnyom mérsékléséhez és a fenntartható gazdasági fejlődés előmozdításához [28].

A zöld ellátási lánc fontossága az utóbbi években egyre nagyobb növekedésnek indult különböző okok miatt, mint például a klímaváltozás, amely során egyre sürgetőbb szemponttá válik a környezetvédelmi intézkedések kialakítása és bevezetése világszinten. A klímaváltozás visszaszorításához valamelyest hozzájárul a zöld ellátási lánc és ezek menedzselési folyamatai. További okokhoz sorolható még a fogyasztói igények megváltozása is, hiszen a fogyasztók figyelembe veszik mely termék jár kisebb környezeti terheléssel [7; 29].

Az Európai Unió (EU) 2015-ben fogadta el az első Körforgásos Gazdaság cselekvési tervet, viszont az Európai Bizottság 2020 márciusában új cselekvési tervet fogadott el. A terv fő célja a környezeti terhelés csökkentése, mely során meghosszabbítja a termék életciklusát és ennek következtében mérsékeli a hulladékképződést. Ezek a folyamatok összességében magába foglalják az újrahasznosítás és újrafeldolgozás előmozdítását, a termék élettartamának fokozását és a környezetbarát tervezést is. A körforgásos gazdaság nagyban hozzájárul a vállalatok társadalmi és környezeti felelősségvállaláshoz, mely során elősegíti a természeti erőforrások fenntartható és biztonságos használatát és közreműködik a termelés, fogyasztás és hulladékgazdálkodás körforgásának fenntartásához. Ez tökéletesen kapcsolódik a zöld ellátási lánchoz, mivel nem csak a gyártást, hanem a hulladékkezelésre is hatalmas figyelmet fordít. Megállapítható, hogy zöld ellátási lánc és a körforgásos gazdaságra történő folyamat kulcsfontosságú eszközei egymásnak [7].

A környezeti szempontok figyelembevétele egyre széleskörűbb elterjedést indukálnak a vállalatokban, viszont ez egyre nagyobb nyomást eredményez életükben, mely megfigyelhető az egyre szigorodó kormányzati rendeletekkel is. A vállalatok által okozott legnagyobb környezetterhelést a beszerzés, gyártás és a logisztikai folyamatok okozzák. Szükséges kísérni azt is, hogy a vállalatok figyelembe vegyék ezeket a környezeti hatásokat, felmérjék és csökkentsék azokat. Az ellátási lánc menedzsment feladata új folyamattal bővül, amely nem más, mint a környezeti tényezők figyelembevétele és ezek optimalizálási folyamata [3].

A kutatás célkitűzései:

1. A zöld ellátási lánc menedzsment elméleti és gyakorlati aspektusainak feltárása, különös tekintettel a fenntarthatósági modellek alkalmazására és a logisztikai gyakorlatok kihívásaira.
2. A mesterséges intelligencia szerepének és innovációs lehetőségeinek vizsgálata a zöld ellátási lánc fejlesztésében és hatékonyságának növelésében.
3. Annak elemzése, hogy milyen gazdasági, környezeti és vállalati motivációs tényezők ösztönzik a cégeket a zöld ellátási lánc gyakorlatainak bevezetésére.

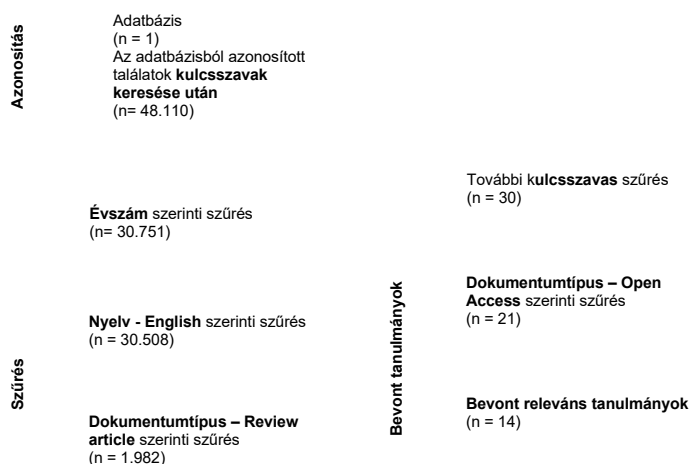
2. Anyag és módszer

A kutatás során bibliometriai elemzést alkalmaztunk a zöld logisztikával és ellátási lánc menedzsmenttel kapcsolatos publikációk elemzéséhez. A szisztematikus irodalomelemzések során az egyik leggyakrabban használt adatbázis a Web of Science (WoS) Core Collection, amely egy átfogó tudományos platform különféle típusú közlemények, publikációk,

konferenciaanyagok és könyvek számára [9]. A WoS jelenleg egy multidiszciplináris, globálisan hozzáférhető információforrás, több mint 18.000 magas impakt faktorral rendelkező folyóirattal, 180.000 konferencia-közleménnyel és több mint 80.000 könyvvel, összességében több mint egymilliárd idézettel és több mint egy évszázadra visszanyúló lefedettséggel [5]. A WoS megbízható és átfogó elemzéseket tesz lehetővé a tudományos trendekről, a kulcsterületek alakulásáról, valamint az idézettségi adatok alapján a legnagyobb hatású kutatások és kutatók azonosításáról így népszerű a kutatók körében. A platform fejlett analitikai funkciói segítenek a publikációk értékelésében, a megfelelő folyóirat kiválasztásában és a jövőbeli kutatási irányok kijelölésében is, így kiváló alapot nyújt szisztematikus irodalomelemzésekhez [27].

A bibliometriai elemzés során a kutatás következő lépése a téma feltárása és strukturálás, melyhez a kulcsszavas elemzés során a VOSviewer szoftvert használtuk, amely sokféle adatkapcsolat feltérképezésére alkalmas. A VOSviewer szoftver hálózatalapú térképek létrehozására és megjelenítésére is kiválóan alkalmas, így a vizualizáció szempontjából egyre elterjedtebbé válik napjainkban [34]. Az előbb említett szoftver segít az előzetes kutatások során felmerülő információk rendszerezésében és a bibliográfiai elemzések elvégzésében azáltal, hogy vizuálisan ábrázolja a hálózatokat, az átfedéseket és a sűrűségi kapcsolatokat. A VOSviewer különösen hasznos, mivel támogatja az összehasonlító elemzések integrálását is [6; 17].

A kutatáshoz egy adatbázist (WoS Core Collection) használtunk. Az azonosítás során a Web of Science (WoS) oldalán a keresést 2024. októberében végeztük el és a keresési folyamatot a PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) modell alapján ábrázoltuk (1. ábra). Első lépésként hat darab kulcsszóval indítottuk a szűrést. A szavak a következők voltak: Green logistics, Green procurement, Green supply chain management, SCM, Supply chain management. A szavak szűrése után összesen 48.110 darab találat volt. Ezután az évszám szűrése következett, ahol 2014 és 2024 közötti adatokra voltam kíváncsi, amelyek ebben az időszakban megjelentek a zöld logisztika területein. A szűrőkeresés után 30.751 elemmel rendelkeztem. Csak angol (English) nyelvű cikkekre szűrtünk és a szűrő beállításával az adatbázis összesen 30.508 találatra szűkült, amely továbbra is magas értéknek bizonyult a további elemzésekhez. A következő szűrő a dokumentumtípus meghatározása és beállítása volt, amelynél a „Review article”-t választottuk. Az előző értékhez képest nagyszámú csökkenés történt, mivel ezen szűrő alkalmazása során 1.982 cikk született az eddig felsorolt feltételek mellett. Az idézettségi jelentés tekintetében ez az 1.982 publikáció önidézés nélkül történő cikkek idézése 63.707 darab míg hivatkozások száma szintén önidézések nélkül 91.489 darab és a H-indexe pedig 148.



1. ábra: A kutatás folyamata a PRISMA modell alapján

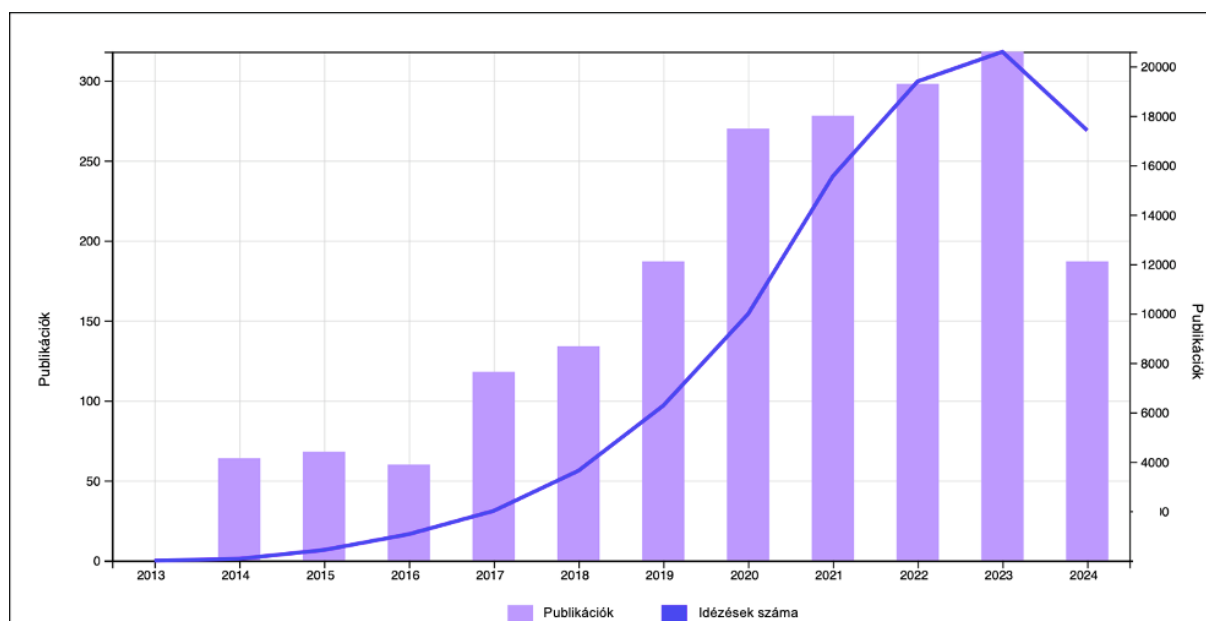
Forrás: Saját szerkesztés kutatási adatok és Page et al. (2021) alapján (2024)

Mivel a kutatáshoz ez az eredmény még mindig nagyon magas volt a részletes elemzéshez, így további kulcsszavakat vontunk be. Ekkor végeztük el a VOSviewer szoftverrel a kulcsszavak időbeli megjelenéséhez kapcsolódó elemzést, amelynek eredménye az lett, hogy a digitális és technológiai innováció témaköréhez kapcsolódnak. Így ennek eredményeképpen a kulcsszavak bővítése történt a korábban meghatározott kulcsszavakon felül. Ezután 9 kulcsszóval bővítettem a keresési eredményeim, melyek a következők voltak: Artificial intelligence, Big data, Internet of things, IoT, Machine learning, Predictive analytics, Blockchain, Industry 4.0, Sustainable supply chain management. Az alábbi szűrés beállítás után összesen már csak 30 elem volt elérhető. Az utolsó lépésként az eddigiek meghatározásán felül beállítottam a dokumentumtípust, mely az Open Access volt és ennek eredményeképpen 21 darab cikk volt elérhető az adatbázisban. A 21 darab cikk megvizsgálása során kiszűrtük a téma szempontjából a legrelevánsabbakat, így a tanulmányba összesen 14 darab cikk került bevonásra és a későbbiekben további elemzésre.

3. Eredmények

A kutatás során az első lépés az adatbázis időbeli elemzése volt. A 2014 és 2024 között megjelent ellátási lánc menedzsmenttel, zöld logisztikával kapcsolatos publikációkra alkalmazott bibliometriai elemzés főbb eredményeit ismerteti a 2. ábra. Az ábra alapján 3 fő időszak határozható meg: *P1 2014-2016 között stagnáló növekedés; P2 2017-2020 között dinamikus növekedés; P3 2021-2024 között exponenciális növekedés.*

2014 és 2016 (P1) közötti időszakban egy stagnáló növekedés vette kezdetét a kutatott témában, ezt a publikációs szám is bizonyítja, mivel összesen 192 publikáció született az alábbi témában, az adott időszakban. A P1 időszakban elkészült publikációk minösszesen 9,69%-át teszi ki a teljes publikációknak. A P2 időszak már egy sokkal dinamikusabb fejlődés figyelhető meg, 709 darab publikációval, mely összesen a teljes publikációs listából 35,77%-ot tesz ki. 2017 és 2020 közötti szakaszban a megjelent publikációk száma közel háromszorosára nőtt, így megállapítható, hogy a vizsgált időszakban egyre jobban érezhető a téma iránti növekedő tendencia. A P3 szakaszában 1081 publikáció született, mely az összes publikáció 54,54 %-át jelenti. A 2021 és 2024 közötti ciklusban exponenciális növekedés látható, 2021-ben 278 publikáció jelent meg míg 2023-ra már 318-ra emelkedett. Mivel a 2024-es év még tört évnek tekinthető, így nem ad pontos értéket a publikációk vonatkozásában.



2. ábra: Az idézetek és publikációk száma az idő múlásával

Forrás: Saját kutatás a WoS adatbázisa alapján (2024)

Az 1. táblázat bemutatja a legtöbbet idézett dokumentumokat, amely során részletesen bemutatásra kerülnek a szerzők, a kutatási év a tudományterület megnevezése is. A kutatás során jelentős fókusz került az idézettségre, a kutatási területre és a publikálás dátumára.

A legidézettebb cikket [35] publikálta („Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review”), amelyet összesen 1395 alkalommal idéztek. A cikk éves idézettségi adatai a következők: 2018-ban 60, 2019-ben 203, 2020-ban 247, 2021-ben 276, 2022-ben 260, 2023-ban 185, 2024-ben pedig eddig 164 idézetet kapott. A cikk főként a mérnöki tudományok területére fókuszál. A kutatás központi témája az Ipar 4.0 szerepe az intelligens gyártásban, és a technológia fejlődésével kapcsolatos innovációk áttekintése.

1. táblázat: Legtöbbször hivatkozott szerzők, publikációk a zöld logisztika témakörében

Szerzők	Publikáció címe	Folyóirat címe	Hivatkozások száma	Év
Zhong, R. Y.; Xu, X.; Klotz, E.; Newman, S. T.	Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review	ENGINEERING	1395	2017
Govindan, K.; Soleimani, H.; Kannan, D.	Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future	EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	1240	2015
Fahimnia, B.; Sarkis, J.; Davarzani, H.	Green supply chain management: A review and bibliometric analysis	INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS	1088	2015
Oztemel, E.; Gursev, S.	Literature review of Industry 4.0 and related technologies	JOURNAL OF INTELLIGENT MANUFACTURING	963	2020
Ghobakhloo, M.	Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	802	2020
Klewitz, J.; Hansen, E. G.	Sustainability-oriented innovation of SMEs: a systematic review	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	782	2014
Wang, G.; Gunasekaran, A.; Ngai, E. W. T.; Papadopoulos, T.	Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications	INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS	777	2016
Adams, R.; Jeanrenaud, S.; Bessant, J.; Denyer, D.; Overy, P.	Sustainability-oriented Innovation: A Systematic Review	INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT REVIEWS	747	2016
Govindan, K.; Rajendran, S.; Sarkis, J.; Murugesan, P.	Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	700	2015
Kamble, S. S.; Gunasekaran, A.; Gawankar, S. A.	Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives	PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION	652	2018

Forrás: Saját kutatás a WoS adatbázisa alapján (2024)

A második legidézettebb cikk [11] 2015-ben megjelent munkája, amely 1240 idézést kapott, melyből 2015-ben 37, 2016-ban 73, 2017-ben 128, 2018-ban 159, 2019-ben 174, 2020-ban 161, 2021-ben 179, 2022-ben 154, 2023-ban 104, 2024-ben eddig 69 idézetet kapott. Fő témájaként a zárt láncú ellátási láncok jövőjét és a visszaszármazás logisztikát tárgyalja.

A harmadik helyen [8] (2015) publikációja áll, amely 1088 idézést generált, és a zöld ellátási lánc menedzsmentet elemzi, különös figyelemmel annak gazdasági és környezeti előnyeire. A kutatást bibliometria elemzésekre alapozza, mellyel 2015-ben 8, 2016-ban 26, 2017-ben 49, 2018-ban 78, 2019-ben 105, 2020-ban 140, 2021-ben 193, 2022-ben 185, 2023-ban 178 és 2024-ben eddig 126 idézetet gyűjtött.

A negyedik helyen [19] 2020-as cikke található, amely 963 (2020 – 116 idézés, 2021 – 210 idézés, 2022 – 240 idézés, 2023 – 228 idézés, és 2024 – 146 idézés) idézést kapott. Ez a cikk áttekinti az Ipar 4.0 technológiáit és kapcsolódó fejlesztéseket, kiemelve a digitális átalakulás fő trendjeit és hatásait a gyártási szektorban.

802 idézéssel az ötödik helyen szerepel [10] 2020-as kutatása. 2020-ban 33, 2021-ben 125, 2022-ben 209, 2023-ban 241, és 2024-ben eddig 194 idézést gyűjtött be. A tanulmány az Ipar 4.0 digitalizációs lehetőségeit és azok fenntarthatósági aspektusait elemzi, különös tekintettel a fenntartható gyártási rendszerek kialakítására.

[15] 2014-ben megjelent tanulmánya a fenntarthatóságra orientált innovációval kapcsolatos kv-kat tárgyalja, és 782 idézést ért el. Az idézettség 2016-tól kezdve folyamatosan növekedett, ekkor már 55 idézetet gyűjtött, 2017-ben pedig 98-at. Az idézettség csúcspontját 2019-ben érte el, amikor 133 idézetet kapott, 2020-ban ez a szám tovább nőtt 143-ra. Az utóbbi években azonban csökkenés figyelhető meg: 2021-ben 109, 2022-ben 58, 2023-ban pedig 51 idézetet kapott. 2024-ben eddig 12 idézetet gyűjtött. A kutatás egy szisztematikus, átfogó áttekintést nyújt a fenntarthatósági innováció alkalmazásáról a kis- és középvállalkozások körében.

[32] (2016) cikke, amely az ellátási láncban alkalmazott big data analitika jelentőségét vizsgálja, eddig összesen 777 idézetet gyűjtött. Az idézettség 2016-os megjelenése óta folyamatosan nőtt, a csúcspont 2021-ben érte el 154 idézettel, majd 2022-ben 159 idézetet kapott. Az utóbbi két évben némi visszaesés figyelhető meg: 2023-ban 98, 2024-ben eddig 76 idézet. A cikk különös figyelmet fordít a fenntarthatóságra és a gyakorlatban alkalmazható megoldásokra.

[Hiba! A hivatkozási forrás nem található.] 2016-ban megjelent cikke, összesen 747 (2016-ban 15, 2017-ben 33, 2018-ban 71, 2019-ben 105, 2020-ban 135, 2021-ben 132, 2022-ben 113, 2023-ban 93 és 2024-ben 50 idézetet kapott) idézetet kapott, így a nyolcadik helyen szerepel a legidézettebb publikációk között. A tanulmány a fenntarthatóság-orientált innovációk rendszerezésére koncentrál különböző ipari és akadémiai szempontok alapján.

A kilencedik helyen [12] 2015-ös cikke áll, amelynek címe: „Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review”. Ez a publikáció összesen 700 idézetet kapott. A zöld beszállítókkal értékelésével és azok kiválasztásával foglalkozik szakirodalmi áttekintése során.

[13] (2018) cikke található az utolsó, azaz tizedik helyen áll. 2018-ban jelent meg, és összesen 652 idézést kapott. A tanulmány éves idézettsége 2018-tól folyamatosan emelkedett: ebben az évben 33 idézetet kapott, 2019-ben pedig 56-ot. A növekedés tovább folytatódott, 2020-ban 85, 2021-ben 124, majd 2022-ben elérte a csúcspontot 136 idézettel. 2023-ban enyhe csökkenés történt 126 idézetre, míg 2024-ben eddig 92 idézetenél tart. A kutatás az Ipar 4.0 és a fenntarthatóság közötti kapcsolatot vizsgálja.

A publikációk mindegyike jelentős hozzájárulást tett az Ipar 4.0, a fenntarthatóság, a logisztika és a zöld ellátási lánc menedzsment területén, amelyek központi kérdéseket tárgyalnak a jövőbeli ipari és technológiai fejlődés szempontjából.

A 2. táblázat az egyes kutatási területeket mutatja be, különös tekintettel az adott területen megjelent publikációkra és azok idézettségére.

2. táblázat: Kutatási területek a kutatásba bevont publikációk esetében

Kutatási terület	Publ. száma	Arány (%)	Hivatkozások száma
ÜZLETI KÖZGAZDASÁGTAN	612	30,88%	30 826
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK	560	28,25%	43 913
KÖRNYEZETTUDOMÁNY, ÖKOLÓGIA	457	23,06%	28 904
EGYÉB TERMÉSZETTUDOMÁNYOK	417	21,04%	28 198
OPERÁCIÓKUTATÁS, GAZDASÁGTUDOMÁNYOK	237	11,96%	20 498
SZÁMÍTÁSTECHNIKA	129	6,51%	7 391
ANYAGTUDOMÁNYOK	82	4,14%	3 031
ÉPÍTŐIPARI TECHNOLÓGIA	69	3,48%	2 944
ENERGIAHORDOZÓK	56	2,83%	4 448
KÉMIA	50	2,52%	2 376

Forrás: Saját kutatás a WoS adatbázisa alapján (2024)

A 2. táblázat alapján megállapítható, hogy a legtöbb dokumentum az *Üzleti közgazdaságtan* témában született (612), ami az összes publikáció 30,88 %-át adja, 30 826 idézéssel. A *Műszaki tudományok* szerepel a következő helyen, 560 publikációval (28,25 %), valamint a legmagasabb (43 913) idézési számmal. A 3. helyen a *Környezettudományok ökológiája* látható, 455 publikációval (23,06 % - 28 904 idézés). Ezt követően az *Egyéb természettudományok* kerül a rangsor következő helyére 28 198 idézési számmal, 417 publikációval és az össze publikációk 21,04 %-át teszi ki, majd ezt az értéket az *Operációkutatás, gazdaságtudományok* terület követi 237 (11,96 %-os aránnyal és 20 498 idézéssel) publikációval követi. A *Számítástechnika* témában 129 dokumentum került be a publikálási listára (6,51 %), mely összesen 7 391 idézést kapott a kutatott időszakban. Az *Anyagtudományok* idézettségét tekintve 3 031 darab, valamint 82 darab (4,16 %) publikációval van jelen a listán. Az *Építőipari technológia* a 8.helyen szerepel 69 dokumentummal (3,50%) és 2 944 idézéssel. Az *Energiahordozók* az utolsó előtti helyen kerül felvezetésre a listában 56 darab publikációval (2,84 %), viszont 4 448 idézési számmal kiemelkedő helyen található. A *Kémia* az utolsó helyen szerepel a legalacsonyabb idézettségi (2 376) és publikációs számmal (50), mely mindössze a vizsgált sokaság tekintetében 2,54%-os arányt jelent.

A Web of Science segítségével a földrajzi eloszlás megvizsgálására is hangsúlyt fektettem a kutatásom során. Jelentős mértékben járulnak hozzá a 3. táblázatban felsorakoztatott országok a zöld ellátási láncról szóló tanulmányokhoz, így a következőkben a vizsgált időszak közötti teljesítményre összpontosítunk. A felállított rangsor a publikált cikkek száma szerint kerülnek bemutatásra.

A 3. táblázat alapján látható, hogy az első helyet India uralja 313 publikációval, mely az összes publikáció 15,79 %-a. USA legmagasabb helyen foglal helyet 20.567 idézéssel, valamint 311 publikációval mely százalékos arányban a vizsgált elemek 15,69 %-át teszi ki. Ezt követi a rangsorban Kína, 287 publikációval (14,48 %), Angliában 250 darab publikáció született (12,61 %), a következő Olaszország (138 publikáció – 9.050 idézés). Ausztrália (6,51 %), Németország (111 publikáció), Brazíliában 110 publikáció (5,55 %) született. Az utolsó két helyen Franciaország (97 publikáció) és Malajzia (94 publikáció) látható a kutatási eredmények alapján.

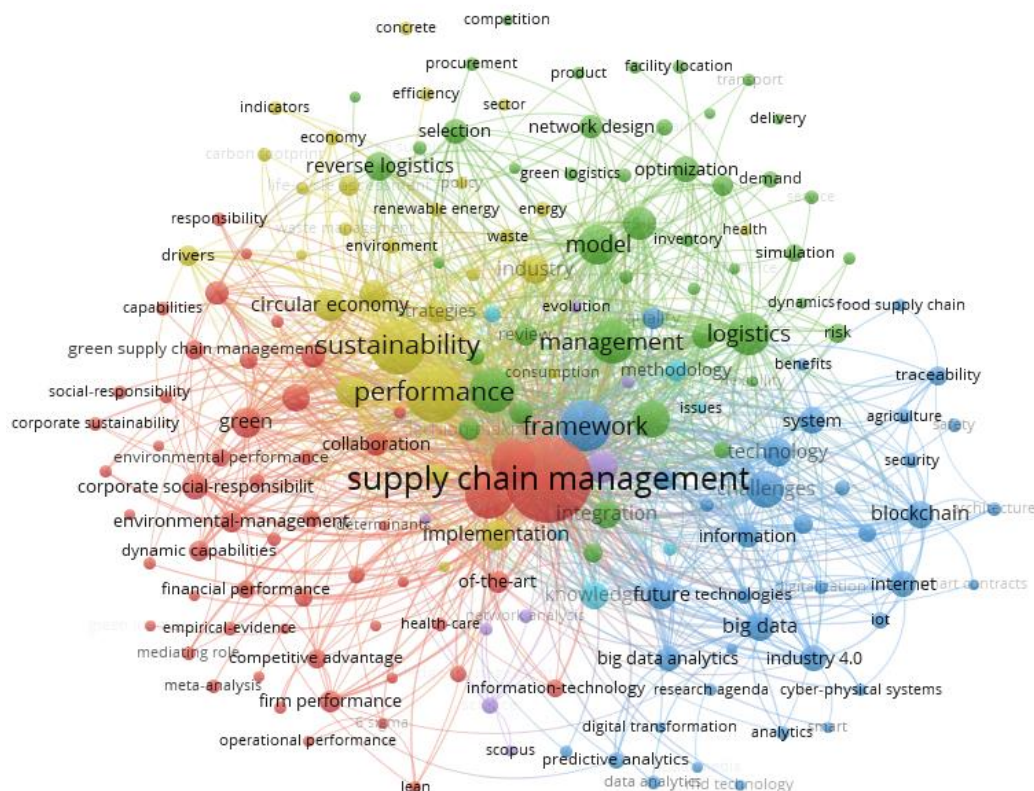
3. táblázat: Publikációk földrajzi eloszlása

Országok/Régiók	Publikációk száma	Hivatkozások száma	Arány (%)
INDIA	313	14 696	15,79%
USA	311	20 567	15,69%
KÍNA	287	13 391	14,48%
ANGLIA	250	17 055	12,61%
OLASZORSZÁG	138	9 050	6,96%
AUSZTRÁLIA	129	6 670	6,51%
NÉMETORSZÁG	111	9 834	5,60%
BRAZÍLIA	110	6 513	5,55%
FRANCIAORSZÁG	97	6 321	4,89%
MALAJZIA	94	4 549	4,74%

Forrás: Saját kutatás a WoS adatbázisa alapján (2024)

Kulcsszavas elemzés

Az elmúlt években a kulcsszavas keresés és elemzés egyre nagyobb szerepet kapott a szisztematikus irodalomelemzésekben, mivel a kulcsszavak együttes előfordulási hálózatai lehetővé teszik a publikációk alaposabb vizsgálatát és feltárását. A 3. ábra a zöld ellátási láncok témájában megjelent tudományos munkákhoz kapcsolódó kulcsszavak együttes előfordulási hálózatát ábrázolja.

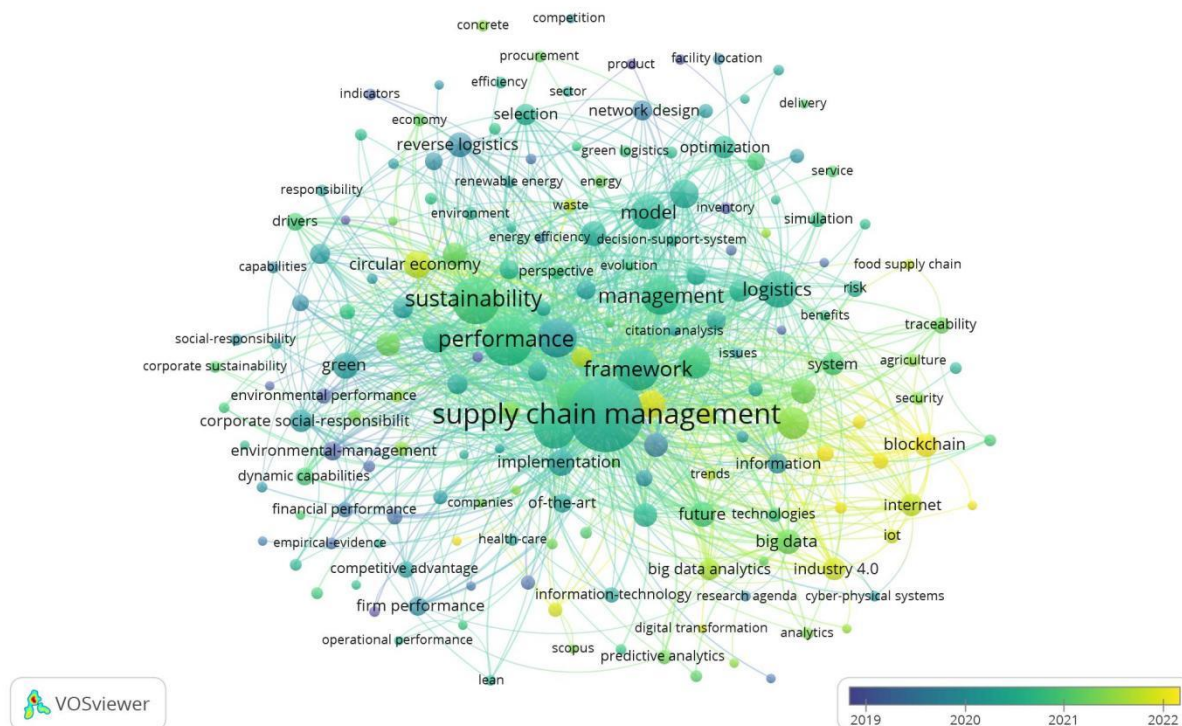


3. ábra: A kulcsszavak együttes előfordulási hálózata a kutatott témában
 Forrás: Saját kutatási eredmény a VOSviewer-rel történt elemzés alapján (2024)

A 3. ábra 6 klasztert különít el a témához kapcsolódóan (piros, kék, zöld, lila, türkíz), amelyek a kulcsszavak közös előfordulási hálózatát jelenítik meg. Az ábrán 182 kulcsszó szerepel, amelyeknek a teljes linkerőssége 33 427.

Az ábrán jól látható a 6 kulcsszó, a **piros** klaszterben a *supply chain management*, ami 909 publikációban szerepelt a teljes linkerősségét tekintve pedig 5 154. Az első klaszter, amely a legnagyobb is, az a piros, ami összesen 55 elemet tartalmaz. Az első klaszter legdominánsabb szavai *supply chain management* (909), *impact* (277), *systematic literature review* (235), *green* (112). A **zöld** klaszter központi szava a *literature review* aminek linkerőssége 1.565 és 257 publikációban található meg. A második legnagyobb klaszter a zöld (45 elem) amiben a leggyakrabban előforduló szavak a *literature review* (257), *management* (238), *logistics* (221), *supply chain* (173). A **kék** klaszterben kulcsszava a *framework* 317 publikációval és 2.222 linkerősséggel. A klaszterben többségében a következő szavak jelennek meg gyakrabban: *framework* (317), *challenges* (172), *technology* (100), *future* (99). A **sárga** klaszter központi eleme a *performance*, ami 399 alkalommal szerepelt a dokumentumokban 2 556 linkerősséggel kalkulálva. Ebben a klaszterben jellemzően a *performance* (399), *sustainability* (361), *circular economy* (128), és *innovation* (127) szavak fordultak elő. A **lila** klaszter jelentős eleme a *bibliometric analysis*, amely 129-szer szerepelt a kutatásokban, teljes linkerősségét tekintve 838. A gyakoriságot megfigyelve a *bibliometric analysis* (129), *science* (35), *network analysis* (23), *citation analysis* (20) szavak kerültek leggyakrabban megemlítésre. A **türkíz** klaszter kulcsszavak a *knowledge* 94 publikációval és 622 darabszámú linkerősséggel. A klaszterben a *knowledge* (94), *methodology* (59), *perspective* (35) szavak kerültek felhasználásra.

A téma mélyebb elemzése, valamint a jelenlegi és jövőbeli tendenciák azonosítása érdekében megvizsgáltam a kulcsszavak időbeli alakulását, amelyet a 4. ábra szemléltet. Valamint az alábbi ábra kiválóan mutatja be a kulcsszavak időbeli előfordulását és a kutatások időbeli fókuszának változását is.



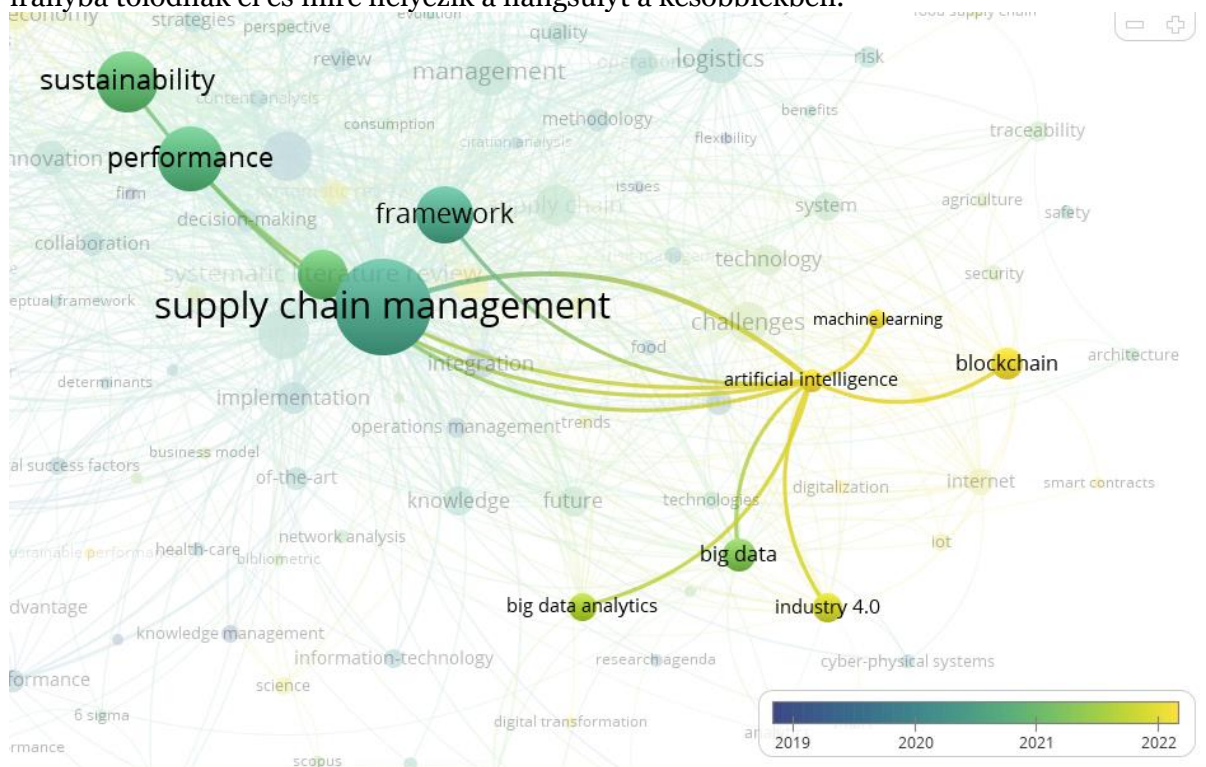
4. ábra: Overlay - A kulcsszavak időbeli megjelenítése

Forrás: Saját kutatási eredmény a VOSviewer-rel történt elemzés alapján (2024)

A kutatások nagy része az elmúlt néhány évben készült, amit a világosabb színek dominanciája is mutat. A 2019 előtti kulcsszavak inkább a kék színű területeken helyezkednek

el, míg a 2021-2022-es kulcsszavak a sárga és zöld színű területeken láthatók. Jól megfigyelhető, hogy a korábbi években a kutatásokban olyan klasszikus kulcsszavak domináltak, mint a *performance*, *management*, *logistics*, *sustainability*, és a *framework*. Ezek a kulcsszavak a téma alapvető, hagyományos vonatkozásait tükrözik. Az újabb kutatásokban, különösen 2021-től kezdve megjelennek a digitális és technológiai innovációval kapcsolatos kulcsszavak, amelyet a 7. és 8. ábra is jól szemléltet, ilyenek például a *blockchain*, *big data*, *internet of things (IoT)*, *industry 4.0*, valamint a *predictive analytics*. Ezek a fogalmak jól szemléltetik a kutatások jövőbeli irányát, ahol a technológia és a digitális átalakulás kerül a középpontba a későbbiekben. A 2022-es kulcsszavak, világosan mutatják, hogy a kutatások egyre inkább a digitalizáció, adatfeldolgozás és a fenntartható fejlődés technológiai oldalára helyezik a hangsúlyt. Ez előre vetíti a téma jövőbeli fókuszát, amely a technológiai innovációval és a fenntarthatósággal való szoros kapcsolatot erősíti meg.

Az 5. ábrán jól láthatók azok a szavak, melyek a megmutatják, hogy a kutatások milyen irányba tolnak el és mire helyezik a hangsúlyt a későbbiekben.



5. ábra: Fontosabb kulcsszavak a jövőre fókuszálva

Forrás: Saját kutatási eredmény a VOSviewer-rel történt elemzés alapján (2024)

Az alap szűrés után bővítettük a kulcsszavakat és a keresési feltételt is. A kulcsszavak a következők: Artificial intelligence, Big data, Green logistics, Internet of things, IoT, Machine learning, Predictive analytics, SCM, Supply chain management, Blockchain, Green procurement, Green supply chain management, Industry 4.0, Sustainable supply chain management, Green procurement. A keresési feltételek 2014-2024 közötti időszak, angol nyelvű Review Article és Open Access. A szűrés után összesen 21 darab cikk szerepelt, amelyből 14 volt releváns a témát illetően. A következőkben megjelent kutatásokat hasonlítom össze melyek azok a módszerek és metódusok, amelyekben mindegyik megtalálható, valamint mire fektetnek nagyobb hangsúlyt. A 4. táblázatban a megjelent publikációkat mutatja be a zöld logisztikai és digitális technológiák, innovációk témakörében.

4. táblázat: Megjelent publikációk a zöld logisztikai és digitális technológiák, innovációk témakörében

Szerzők	Publikáció címe	Év
Rusch, M.; Schoegg, J.-P.; Baumgartner, R. J.	Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review	2023
Bongomin, O.; Yemane, A.; Kembabazi, B.; Malanda, C.; Mwape, M. C.; Mpofu, N. S.; Tigalana, D.	Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: A State of the Art	2020
Tavana, M.; Shaabani, A.; Raeesi Vanani, I.; Kumar Gangadhari, R.	A Review of Digital Transformation on Supply Chain Process Management Using Text Mining	2022
Santhi, A. R.; Muthuswamy, P.	Pandemic, War, Natural Calamities, and Sustainability: Industry 4.0 Technologies to Overcome Traditional and Contemporary Supply Chain Challenges	2022
Remondino, M.; Zanin, A.	Logistics and Agri-Food: Digitization to Increase Competitive Advantage and Sustainability. Literature Review and the Case of Italy	2022
Wang, Y.; Yang, Y.; Qin, Z.; Yang, Y.; Li, J.	A Literature Review on the Application of Digital Technology in Achieving Green Supply Chain Management	2023
Varriale, V.; Cammarano, A.; Michelino, F.; Caputo, M.	Industry 5.0 and Triple Bottom Line Approach in Supply Chain Management: The State-of-the-Art	2023
Althabatah, A.; Yaqot, M.; Menezes, B.; Kerbache, L.	Transformative Procurement Trends: Integrating Industry 4.0 Technologies for Enhanced Procurement Processes	2023
Labaran, M. J.; Masood, T.	Industry 4.0 Driven Green Supply Chain Management in Renewable Energy Sector: A Critical Systematic Literature Review	2023
Patalas-Maliszewska, J.; Losyk, H.	Changes in Sustainable Development in Manufacturing in Cases of Unexpected Occurrences-A Systematic Review	2024
Rojek, I.; Jasiulewicz-Kaczmarek, M.; Piszcz, A.; Galas, K.; Mikolajewski, D.	Review of the 6G-Based Supply Chain Management within Industry 4.0/5.0 Paradigm	2024
Zrelli, I.; Rejeb, A.	A bibliometric analysis of IoT applications in logistics and supply chain management	2024
Osuna-Velarde, D. V.; Salazar-Echeagaray, J. E.; Bueno-Fernandez, M. M.; Rosado-Castellanos, D. U.; Canarte-Velez, C. R.; Baque-Cantos, M. A.; Baque-Parrales, E. M.; Granados-Aya, F. A.; Cano-Vargas, A. A.; Cedeno-Ramirez, J. D.; Lemos-Tamayo, J.; Rincon-Guio, C.	The confluence of Logistics 4.0 and agribusiness: A systematic review and future directions	2024
Khan, H. U.; Malik, M. Z.; Khan, S.	Systematic Analysis of Risk Associated with Supply Chain Operations Using Blockchain Technology	2022

Forrás: Saját kutatás a WoS adatbázisa alapján (2024)

Az alábbiakban felsorolt cikkek fontos kutatási témát fednek le a digitális technológiák (például az AI, IoT és a bloklánc) alkalmazása a fenntarthatóság, az ellátási lánc menedzsment, valamint az Ipar 4.0 és 5.0 paradigmára való átállás tekintetében. A következőkben átfogó elemzést készítek a legfontosabb megállapításokról, módszertanokról és

a tanulmányok közötti kapcsolatokról, különös tekintettel a mesterséges intelligencia (AI) és a digitális technológiák alkalmazásában.

Főbb összefüggések a cikkek tartalomelemzése alapján

Fenntarthatóság és körkörös gazdaság: Számos tanulmány azt vizsgálja, hogy a digitális technológiák hogyan segíthetik elő a fenntartható gyakorlatokat a körkörös gazdaság keretein belül. [24] arra összpontosít, hogy az olyan technológiák, mint a blokklánc és a mesterséges intelligencia, hogyan optimalizálhatják a termékek életciklusát, hozzájárulva a hulladék csökkentéséhez energiahatékonyság javítását és a szállítási költségek csökkentését és az erőforrás-hatékonyság javításához olyan stratégiák megvalósításával, mint az újrahasznosítás és újragyártás. A fenntartható ellátási lánc menedzsment és a zöld gyakorlatok kiemelése szintén közös téma a cikkek többségében, ami főként minden esetben a környezeti hatások csökkentésére összpontosít. A prediktív analitika előrejelzi a keresletváltozásokat, így a vállalatok gyorsabban és pontosabban reagálhatnak a piaci igényekre, minimalizálva a felesleges készletezést. [21] tanulmánya a fenntartható fejlődést vizsgálja a váratlan események, például természeti katasztrófák és pandémiák hatásain keresztül. Az AI és a digitalizáció alkalmazása segíti a gyártási rendszerek rugalmasabbá tételét és a fenntartható fejlődési célok elérését is egyben.

Ipar 4.0 és 5.0: A cikkek mindegyike kapcsolatban áll az Ipar 4.0 koncepcióval, amely minden esetben a modern technológiák integrációját és a gyártási folyamatok átalakításával van szoros összefüggésben. [31] és [4] az Ipar 4.0-ról az Ipar 5.0-ra való váltást vizsgálják, amely a gyártás emberközpontú megközelítését foglalja magában, miközben a fenntarthatóságra, a hatékonyságra és a társadalmi jólétre összpontosít. Az Ipar 5.0-ra való átállás nagyobb hangsúlyt fektet az AI és a gépi tanulás integrációjára és a zöld logisztikai folyamatokra is, hogy intelligensebb, adaptívabb gyártási, beszerzési és szállítmányozási folyamatokat tegyenek lehetővé.

Adatelemzés és prediktív elemzés: Például [30] használja a digitális átalakulás hatásainak elemzésére az ellátási lánc kezelésében, bemutatva, hogy az AI hogyan javítja a működési hatékonyságot az összetett folyamatok automatizálásával és a prediktív elemzéssel.

Az AI valós idejű adatelemzést tesz lehetővé összetett hálózatokon keresztül, lehetővé teszi a vállalatok számára a kereslet előrejelzését, a készlet hatékonyabb kezelését és az erőforrás-felhasználás csökkentését. [33] az AI-t a zöld ellátási lánc kezelésében a döntéshozatal javításának eszközeként emelik ki azáltal, hogy nagy adatkészleteket elemeznek, hogy azonosítsák azokat a mintákat, amelyeket az emberi elemzők esetleg figyelmen kívül hagynak.

Digitális Transzformáció: Mindegyik publikáció nagy hangsúlyt fektet a digitális technológiák, mint például a mesterséges intelligencia, gépi tanulás és a Big Data analitikus szerepét az ellátási láncok menedzsmentjében. Az automatizálás egy kulcsfontosságú alkalmazása, amelyet a tanulmányok tárgyalnak. [4] szerint a mesterséges intelligencia olyan, amely automatizálja a hagyományos ipari folyamatokat, hatékonyabbá és kevésbé erőforrás-igényessé téve azokat. A blockchain technológia hozzájárul a zöld ellátási lánc átláthatóságához és nyomon követhetőségéhez. Ez különösen hasznos az olyan ágazatokban, mint az élelmiszeripar vagy a gyógyszeripar, ahol a termékek eredetének és feldolgozásának megbízható nyilvántartása kiemelt fontosságú. Az agrár-élelmiszeripari logisztika számára a digitalizáció révén csökkenthető az élelmiszerpazarlás, növelhető a fenntarthatóság, és javítható az ellátási láncok versenyképessége. Az adatalapú elemzések lehetővé teszik a pontosabb előrejelzéseket és az optimális logisztikai tervezést.

Stratégia menedzsment: A stratégiai menedzsment fontos szerepet játszik a logisztika és az ellátási lánc menedzsment közötti kapcsolatban, különösen akkor, ha a vállalatok célja a versenyképesség növelése. A két terület szorosan összefügg, mivel az ellátási lánc menedzsment (SCM) integrált folyamatokat használ a teljes logisztikai láncon belül annak érdekében, hogy az áruk, szolgáltatások és információk áramlását hatékonyan és eredményesen kezeljék. Ezzel szemben a logisztika az ellátási lánc egyik kritikus része, amely az anyagok és termékek fizikai mozgatásáért, tárolásáért, valamint a megfelelő időben történő kézbesítésért felelős.

Ellátási lánc rugalmasság és válságkezelés: A világjárványok és természeti katasztrófák kapcsán hangsúlyt kapott az ellátási láncok rugalmassága és az azonnali reagálás képessége. Az AI és a blokklánc technológiák például lehetővé teszik a gyorsabb, prediktív döntéshozatalt és a készletek hatékony kezelését, ami különösen válsághelyzetekben kulcsfontosságú.

A cikkek elemzése során az alábbi **megoldási javaslatok** születtek a zöld ellátási lánc menedzsment és mesterséges intelligencia tekintetében:

1. [24] szerint az IoT, a mesterséges intelligencia (AI), valamint az adatvezérelt rendszerek integrálása lehetővé teszik az erőforrások fenntarthatóbb felhasználását és a termékek életciklusának hatékonyabb menedzselését, mely hozzájárul a digitális technológiák és körforgásos gazdaság fejlődéséhez. A digitális transzformáció és más új technológiák segítségével jobban nyomon követhető az anyagáramlás, ezáltal támogatható a nyersanyagok újrahasznosítása és a hulladék minimalizálása, amely alapvető célja a körforgásos gazdaság előmozdításának.
2. [30] kiemelik, hogy a digitalizáció az ellátási lánc rugalmasságának növelésében is kulcsszerepet játszik, különösen az olyan válságok idején, mint a világjárványok vagy természeti katasztrófák. Az AI-vezérelt rendszerek és a blockchain technológia alkalmazása segíthet a kereslet és a kínálat pontos előrejelzésének meghatározásában, a készletek optimalizálásában, valamint az ellátási lánc átláthatóságának növekedésében.
3. [25] kutatása hangsúlyozza az Ipar 4.0 technológiák fontosságát a vállalatok válságkezelési képességeinek javításában. Az automatizált döntéshozatal és a valós idejű adatelemzés révén a cégek gyorsabban és hatékonyabban tudnak reagálni a kihívásokra, ezáltal minimalizálva a kockázatokat és a termelési leállások következményeit.
4. Az agrár-élelmiszeripar számára [22] a big data és az AI alapú megoldások bevezetését javasolják, amelyek optimalizálhatják a logisztikai folyamatokat és csökkenthetik az élelmiszerpazarlást. Ezek a rendszerek segítenek az erőforrások fenntarthatóbb felhasználásában, valamint növelik az agrár-élelmiszeripari szektor versenyképességét.
5. [33] a zöld ellátási lánc menedzsment előmozdítására hívják fel a figyelmet, amelynek alapja a digitális technológiák, például az AI és az IoT bevezetése. Ezek az eszközök csökkenthetik a környezeti terhelést és növelhetik az energiahatékonyságot, így hozzájárulva a fenntarthatóbb ellátási láncok kialakításához.
6. [14] kiemelik a blockchain technológia alkalmazásának fontosságát az ellátási lánc kockázatainak csökkentésére. A decentralizált és átlátható rendszerek használata lehetővé teszi a folyamatok és az adatok biztonságos követését, ezáltal csökkentve az ellátási lánc zavarainak hatásait.

4. Következtetések, javaslatok

Az AI és az ipar 4.0 technológiák, mint például az IoT és a blockchain, közös célt szolgálnak a fenntarthatóság és a zöld ellátási láncok elérése érdekében. Az AI lehetővé teszi az adatok folyamatos monitorozását és elemzését, míg az IoT eszközök adatokat szolgáltatnak a valós idejű döntéshozatalhoz. A blockchain biztosítja, hogy az adatok biztonságosan és átláthatóan nyomon követhetők legyenek. A modern digitális technológiák alkalmazása a vállalatok számára könnyebbé teszi a környezetvédelmi szabályozásoknak való megfelelést. A blockchain lehetőséget ad arra, hogy az összes szükséges adatot biztonságosan tárolják és osszák meg a hatóságokkal, így egyszerűsítve a nyilvántartási és jelentési folyamatokat. A mesterséges intelligencia olyan prediktív analitikai eszközöket biztosít, amelyekkel a vállalatok előrejelezhetik a kereslet változásait, optimalizálhatják az ellátási lánc folyamatait, és csökkenthetik az erőforrás-pazarlást. Ez különösen hasznos a fenntarthatóbb logisztikai és szállítási rendszerek kialakításában. Az ipar 4.0 technológiák, különösen az automatizáció és a robotizáció, hozzájárulnak a globális zöld ellátási láncok rugalmasságának növeléséhez. A

vállalatok gyorsabban tudnak reagálni a piaci változásokra és a globális kihívásokra, például a pandémiára vagy a természeti katasztrófákra.

A kutatások egymást kiegészítve mutatják be, hogyan segíthetik elő a digitalizáció és az ipari innovációk a fenntarthatóságot, a rugalmasságot és a hatékonyságot. Az Ipar 4.0 és a kibontakozó technológiai eszközei, köztük a mesterséges intelligencia, az IoT, a blockchain és a digitalizáció általános alkalmazása, lehetőséget adnak az ellátási láncok stratégiai újragondolására és az olyan célok megvalósítására, mint a fenntarthatóság, az erőforrások optimalizálása és a gyorsabb reagálási képesség. Ezek a kutatások nemcsak az egyes ágazatok fejlesztésére összpontosítanak, hanem integrált megoldásokat kínálnak a globális ellátási láncok működésének javítására is.

Az ipar fejlődése nem áll meg az Ipar 4.0-nál, és az Ipar 5.0 újabb technológiai eszközöket kínál, melyek célja az emberek és gépek szorosabb együttműködésének előmozdítása a fenntarthatósági célok érdekében. Az Ipar 5.0 központi elemei, az emberközpontú megközelítés és a társadalmi jólét hangsúlyozása, arra ösztönzik a vállalatokat, hogy innovatív és zöld működési modelleket alakítsanak ki. Az intelligens szenzorok és a blockchain nyomon követhetősége különösen alkalmas arra, hogy a körkörös gazdaság elvei szerinti működést támogassa, lehetővé téve az anyagok újrahasznosítását és a hulladék csökkentését. Az Ipar 5.0 koncepciójának előretörése lehetőséget teremt a gépek és az emberi munkaerő közötti együttműködés maximalizálására, előtérbe helyezve az emberközpontú technológiákat. Ennek következtében nemcsak a termelékenység javul, hanem a munkakörnyezet is fenntarthatóbbá és hatékonyabbá válik, amely közvetett módon hozzájárul a zöld ellátási láncok céljainak eléréséhez.

Az AI segítségével a gyártási folyamatok optimalizálhatók, lehetővé teszik a gépek és rendszerek intelligens automatizálásának folyamatát. Az algoritmusok képesek valós időben figyelni a termelési teljesítményt és az esetleges problémákat előre jelezni, így csökkentik a leállások idejét és a hibás termékek arányát is egyaránt. Ezzel a vállalatok nemcsak költségeket takaríthatnak meg, hanem a környezetre gyakorolt hatásukat is nagyban csökkenthetik. A blockchain technológia a nyersanyagok forrásának és útvonalának nyomon követésére is alkalmas. Ez lehetővé teszi, hogy a vállalatok megbízhatóbb és fenntarthatóbb beszállítókkal dolgozzanak, ezzel is hozzájárulva a felelős beszerzéshez és további folyamatokhoz. Az átláthatóság biztosítása révén a vásárlók is tudatosabb döntéseket hozhatnak ennek hatására, elősegítve a fenntartható termékek keresletének növelését. Az ipar 4.0 technológiák tekintetében, különösen az IoT, segítenek a cirkuláris gazdaság koncepciójának megvalósításában. Ez csökkenti a hulladék mennyiségét, miközben maximálisan szinten kihasználja az erőforrásokat. Energiagazdálkodás tekintetében az AI és az IoT alkalmazása az energiafogyasztás optimalizálása során hatalmas kulcsszerepet játszik. Az intelligens rendszerek képesek előre jelezni az energiaigényt, és automatikusan szabályozni az energiafelhasználást a legoptimálisabb időszakokban, ezáltal csökkentve a felesleges fogyasztást és a költségeket minimalizálni.

Az integrált adatrendszerek kialakítása a vállalatok között átlátható és biztonságos adatmegosztást biztosíthat és erősítheti a vállalatok együttműködést, ezzel csökkentve az ellátási lánc megszakadásainak kockázatát. Ezen megoldások révén a vállalatok könnyebben reagálhatnak a gyorsan változó piaci igényekre és a környezeti kihívásokra. Az IoT-alapú szenzorok és az intelligens rendszerek fejlesztésével a vállalatoknak lehetősége nyílik az energiafelhasználás pontos nyomon követésére és automatikus optimalizálására. Ezáltal minimálisra csökkenthetők a felesleges energiaveszteségek, hozzájárulva az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséhez. A blockchain és AI-technológiák bevezetésével megvalósítható a beszállítói hálózatok teljes átláthatósága. Ez lehetőséget nyújt a vállalatoknak arra, hogy fenntartható, etikus és helyi beszállítókat válasszanak, ezzel csökkentve az ellátási lánc környezeti lábnyomát és elősegítve a lokális gazdaságok fejlődését.

Következtetésképpen levonható, hogy a mesterséges intelligencia és az ipar 4.0 technológiák központi szerepet játszanak a zöld ellátási lánc menedzsment nagymértékű fejlődésében. A kutatások rámutatnak arra, hogy az AI és a digitális technológiák segíthetnek a fenntarthatósági célok elérésében, miközben növelik a hatékonyságot és a rugalmasságot az ellátási lánc minden szintjén. Ahogy a technológiai innovációk terjednek, úgy a vállalatok egyre

inkább képesek lesznek fenntarthatóbb és rugalmasabb működési modellek kidolgozására, amelyek nemcsak a saját érdekeiket, hanem a társadalom és a környezet érdekeit is szolgálják.

A következő javaslatok elősegítik a fenntartható ellátási láncok fejlesztését és a mesterséges intelligencia hatékony alkalmazását a zöld logisztikai folyamatokban:

- Az energiahatékonyság növelése érdekében javasolt olyan technológiák alkalmazása, melyek csökkentik az energiafogyasztást a szállítás és raktározás során, például elektromos vagy hibrid járművek használata.
- A környezetbarát csomagolások kialakítása hozzájárul a hulladéktermelés csökkentéséhez, valamint nagyban erősíti a vállalt imázsát is. Minden esetben érdemes a beszállítói környezetvédelmi követelményeket szigorítani, hiszen a szigorúbb környezeti normákat megkövetelni a beszállítóktól, hogy az ellátási lánc minden résztvevője megfeleljen a zöld követelményeknek és elvárásoknak.
- Nagy szükség van a közeljövőben a mesterséges intelligencia alkalmazására a raktárkészlet optimalizálása, kereslet előrejelzése és útvonaltervezés szempontjából, ezáltal növelve a hatékonyságot és csökkentve a környezeti terhelést.
- A fordított logisztikai rendszerek kiépítése is egy fontos lépés, hiszen lehetővé teszik a termékek és csomagolási anyagok visszagyűjtését és újrahasznosítását, hozzájárulhat a hulladék csökkentéséhez és a zárt láncú ellátási rendszer kiépítéséhez.
- Az alacsony szénlábnyomú szállítmányozási lehetőségek elengedhetetlenek, így javasolt a közlekedési módok közül a leginkább környezetbarátokat előnyben részesíteni. Ilyenek például a vasúti vagy hajózási szállítmányozást a közúti helyett, ha lehetséges.
- Az ISO 14001 környezetirányítási rendszer bevezetése egy fontos mozzanat. A rendszer bevezetése elősegítheti a vállalat környezeti teljesítményének folyamatos javítását, valamint az ügyfelek és partnerek körében való kedvező megítélését.
- Ajánlott a körforgásos gazdaság alapelveinek alkalmazása, például az anyagok visszaforgatása és újrafeldolgozása a termék életciklusának minden szakaszában.
- A Big Data elemzési rendszerének használata a nagy adatok elemzése lehetőséget adhat a fenntarthatóság növelésére a kereslet előrejelzésének finomításával, a túlkészletezés és az alulkészletezés minimalizálásával.
- Az ellátási láncban a fenntarthatóság érdekében javasolt minél több újrahasznosított alapanyag beépítése, ezáltal csökkentve a primer alapanyagok iránti igényt.
- Olyan szoftverek használata is javasolt, amelyek segítségével optimalizálható az energia- és vízfelhasználás a gyártási és logisztikai folyamatokban.
- A rendszeres auditálás révén biztosítani lehet a fenntarthatósági szabványoknak való megfelelést, ami segíti a zöld ellátási lánc célkitűzéseinek megvalósulását.
- Az ellátási lánc rugalmasságának növelése érdekében érdemes olyan rendszereket bevezetni, amelyek gyorsan alkalmazkodnak a változó piaci és környezeti feltételekhez, például a keresleti ingadozásokhoz.

Ezek a javaslatok hozzájárulhatnak a fenntartható ellátási lánc kialakításához, a vállalati hírnév javításához és a költségek csökkentéséhez is.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24-2 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- [Hiba! A hivatkozási forrás nem található.] Adams, R., Jeanrenaud, S., Bessant, J., Denyer, D., & Overy, P. (2016). Sustainability-oriented innovation: A systematic review. *International Journal of Management Reviews*, 18(2), 180–205. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12068>
- [2] Althabatah, A., Yaqot, M., Menezes, B., & Kerbache, L. (2023). Transformative procurement trends: Integrating Industry 4.0 technologies for enhanced procurement processes. *Logistics*, 7(3), 63. <https://doi.org/10.3390/logistics7030063>
- [3] Beamon, B. M. (1999). Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4), 332–342.
- [4] Bongomin, O., Yemane, A., Kembabazi, B., Malanda, C., Mwape, M. C., Mpofo, N. S., & Tigalana, D. (2020). Industry 4.0 disruption and its neologisms in major industrial sectors: A state of the art. *Journal of Engineering*, 2020, 8090521. <https://doi.org/10.1155/2020/8090521>
- [5] Clarivate Analytics. (2019). Web of Science databases. <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/>
- [6] Eck, N. J., Waltman, L., Dekker, R., & van den Berg, J. (2010). A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(12), 2405–2416.
- [7] European Commission. (2020). *A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe*. <https://edz.bib.uni-mannheim.de/edz/doku/wsa/2020/ces-2020-1189-en.pdf>
- [8] Fahimnia, B., Sarkis, J., & Davarzani, H. (2015). Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 162, 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.01.003>
- [9] Garfield, E. (1964). Science Citation Index—A new dimension in indexing science. *Science*, 144(3619), 649–654.
- [10] Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- [11] Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66–83. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.046>
- [12] Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603–626. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.012>
- [13] Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408–425. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- [14] Khan, H. U., Malik, M. Z., & Khan, S. (2022). Systematic analysis of risk associated with supply chain operations using blockchain technology. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, 8725767. <https://doi.org/10.1155/2022/8725767>
- [15] Klewitz, J., & Hansen, E. G. (2014). Sustainability-oriented innovation of SMEs: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 57–75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.017>
- [16] Labaran, M. J., & Masood, T. (2023). Industry 4.0 driven green supply chain management in renewable energy sector: A critical systematic literature review. *Energies*, 16(19), 6977. <https://doi.org/10.3390/en16196977>
- [17] Naganuma, S. (2017). Communication and public engagement: An assessment of civic scientific literacy in Japan.
- [18] Osuna-Velarde, D. V., Salazar-Echeagaray, J. E., Bueno-Fernández, M. M., Rosado-Castellanos, D. U., Cañarte-Vélez, C. R., Baque-Cantos, M. A., Baque-Parras, E. M., Granados-Aya, F. A., Cano-Vargas, A. A., Cedeño-Ramírez, J. D., Lemos-Tamayo, J., & Rincón-Guio, C. (2024). The confluence of Logistics 4.0 and agribusiness: A systematic review and future directions. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(2), 1–30. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i2.2871>
- [19] Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127–182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- [20] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
- [21] Patalas-Maliszewska, J., & Łosyk, H. (2024). Changes in sustainable development in manufacturing in cases of unexpected occurrences—A systematic review. *Sustainability*, 16(2), 717. <https://doi.org/10.3390/su16020717>
- [22] Remondino, M., & Zanin, A. (2022). Logistics and agri-food: Digitization to increase competitive advantage and sustainability. Literature review and the case of Italy. *Sustainability*, 14(2), 787. <https://doi.org/10.3390/su14020787>
- [23] Rojek, I., Jasielewicz-Kaczmarek, M., Piszcz, A., Galas, K., & Mikołajewski, D. (2024). Review of the 6G-based supply chain management within Industry 4.0/5.0 paradigm. *Electronics*, 13(13), 2624. <https://doi.org/10.3390/electronics13132624>
- [24] Rusch, M., Schögg, J.-P., & Baumgartner, R. J. (2023). Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. *Business Strategy and the Environment*, 32(3), 1159–1174. <https://doi.org/10.1002/bse.3099>
- [25] Santhi, A. R., & Muthuswamy, P. (2022). Pandemic, war, natural calamities, and sustainability: Industry 4.0 technologies to overcome traditional and contemporary supply chain challenges. *Logistics*, 6(4), 81. <https://doi.org/10.3390/logistics6040081>
- [26] Sarkis, J., & Dou, Y. (2017). *Green supply chain management: A concise introduction*. Routledge.

- [27] Schnell, J. D. (2018). Web of Science: The first citation index for data analytics and scientometrics. In F. J. Cantú-Ortiz (Ed.), *Research analytics: Boosting university productivity and competitiveness through scientometrics* (pp. 15–29). Taylor & Francis.
- [28] Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710.
- [29] Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80.
- [30] Tavana, M., Shaabani, A., Raeesi Vanani, I., & Gangadhari, R. K. (2022). A review of digital transformation on supply chain process management using text mining. *Processes*, 10(5), 842. <https://doi.org/10.3390/pr10050842>
- [31] Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., & Caputo, M. (2023). Industry 5.0 and triple bottom line approach in supply chain management: The state-of-the-art. *Sustainability*, 15(7), 5712. <https://doi.org/10.3390/su15075712>
- [32] Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.014>
- [33] Wang, Y., Yang, Y., Qin, Z., Yang, Y., & Li, J. (2023). A literature review on the application of digital technology in achieving green supply chain management. *Sustainability*, 15(11), 8564. <https://doi.org/10.3390/su15118564>
- [34] Yıldız S. Y. – Tosun N. (2021): Sosyal Pazarlama Literatüründe Sağlık Hizmetlerinin Gelişimi. Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi. 7. évf. 3. sz. pp. 713–725.
- [35] Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
- [36] Zrelli, I., & Rejeb, A. (2024). A bibliometric analysis of IoT applications in logistics and supply chain management. *Heliyon*, 10(16), e36578. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36578>