

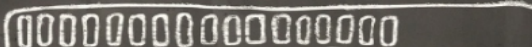
FÓRUM MANAŽÉRA

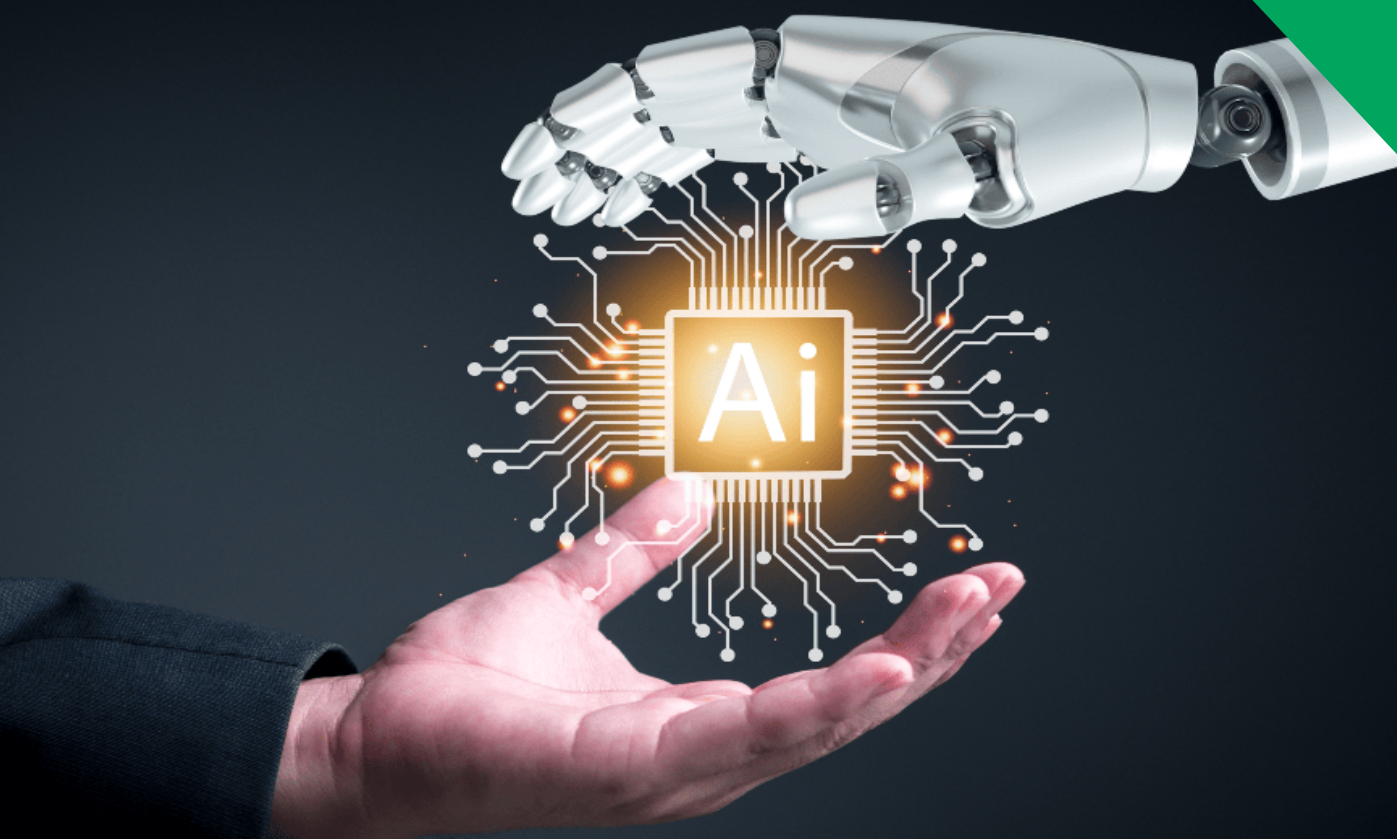
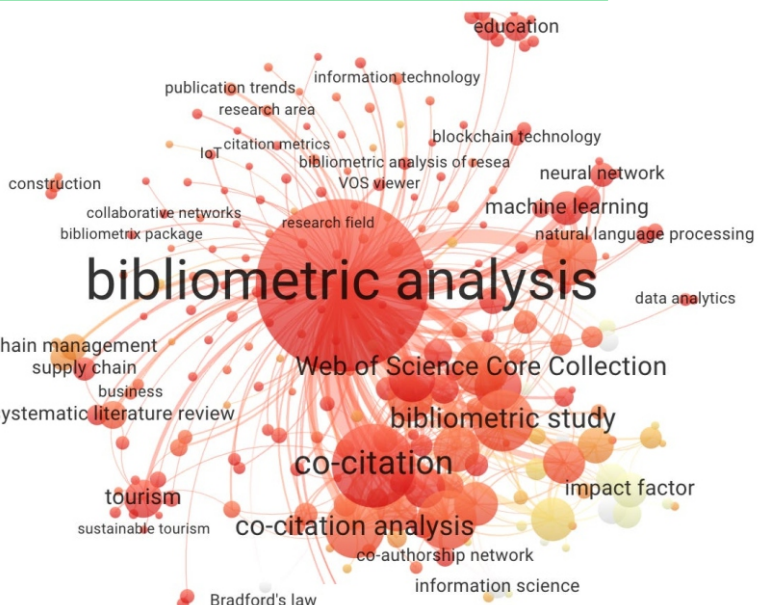
ISSN 1339-9403

ČÍSLO 1/2025



DIGITAL
TRANSFORMATION

0%  100%



Obsah

- 4 ÚROVEŇ PRIPRAVENOSTI VÝROBNÝCH PODNIKOV NA SLOVENSKU NA DIGITÁLNU TRANSFORMÁCIU**
READINESS LEVEL OF MANUFACTURING ENTERPRISES IN SLOVAKIA TO DIGITAL TRANSFORMATION
Adriána LEHUTOVÁ, Miroslava MLKVA
- 13 BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF RESEARCH IN THE FIELD OF INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS**
Augustín STAREČEK, Jana MESÁROŠOVÁ, Martin HIRTL
- 25 TRENDY, PRÍNOSY A REGULAČNÝ RÁMEC UMELEJ INTELIGENCIE V PRIEMYSELNEJ VÝROBE A LOGISTIKE**
TRENDS, BENEFITS, AND REGULATORY FRAMEWORKS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INDUSTRIAL MANUFACTURING AND LOGISTICS
Tomáš SULYOK, Helena MAKYŠOVÁ

Vážení čitatelia,

vitajte pri ďalšom vydaní nášho časopisu, ktoré je tentokrát venované téme, ktorá dnes rezonuje naprieč celým priemyslom – transformácii a inováciám. V čase, keď sa tempo technologického pokroku neustále zrýchľuje, je kľúčové nielen sledovať, ale aj aktívne formovať našu budúcnosť.

Práve preto sme pre vás pripravili príspevky, ktoré sa venujú najaktuálnejším výzvam a príležitostiam.

V prvom príspevku, ktorý sa zaoberá témou digitálnej transformácie, sa pozrieme na to, ako môžu spoločnosti efektívne prejsť z tradičných modelov k moderným, digitálne prepojeným procesom. Rozoberieme kľúčové prvky Industry X.0 a povieme si, prečo je pripravenosť podnikov a kompetencie zamestnancov alfou a omegou úspechu.

Ďalší príspevok prináša vedecký pohľad na integrované manažérske systémy z pohľadu bibliometrickej analýzy. Zistíte, ako sa svet mení pod vplyvom ISO noriem a ako sa v nich odráža rastúci dôraz na udržateľnosť. Tento príspevok poskytuje komplexný prehľad o tom, ako sú certifikácie nielen formálnym, ale aj strategickým nástrojom pre dosahovanie dlhodobých cieľov.

Na záver sa ponoríme do sveta umelej inteligencie, ktorá už dávno nie je len sci-fi. Skúmame jej adopciu v priemyselnej výrobe a logistike a prinášame pohľad na to, ako AI mení tradičné procesy. Zároveň sa venujeme aj otázke regulačného rámca, ktorý je nevyhnutný pre zodpovedné a etické nasadenie týchto prelomových technológií.

Verím, že toto vydanie vás inšpiruje a poskytne vám cenné informácie, ktoré vám pomôžu orientovať sa v dynamickom svete inovácií.

Prajeme vám príjemné čítanie.

Trnava, september 2025

doc. Ing. Miroslava Míkva, PhD.
Ústav priemyselného inžinierstva a manažmentu
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave

ÚROVEŇ PRIPRAVENOSTI STREDNÝCH A VEĽKÝCH VÝROBNÝCH PODNIKOV NA SLOVENSKU NA DIGITÁLNU TRANSFORMÁCIU

READINESS LEVEL OF MEDIUM-SIZED AND LARGE MANUFACTURING ENTERPRISES IN SLOVAKIA TO DIGITAL TRANSFORMATION

Adriána LEHUTOVÁ, Miroslava MLKVA

ABSTRAKT

Dynamický rozvoj technológií, automatizácia a digitalizácia zásadne menia charakter práce a spôsob riadenia podnikov. Koncept Industry 4.0 predstavuje novú etapu priemyselného vývoja, ktorá so sebou prináša nielen inovatívne výrobné postupy, ale aj potrebu transformácie kompetencií zamestnancov naprieč všetkými úrovňami riadenia, čo umožní podnikom efektívnejšie riadiť procesy a zvyšovať konkurencieschopnosť. V prostredí rastúcej nepredvídateľnosti trhu práce sa zvyšuje tlak na adaptabilitu, digitálne zručnosti a schopnosť chápať technologické zmeny v širšom kontexte. Osobitná pozornosť patrí líniovým manažérom, ktorí sú zodpovední za implementáciu strategických rozhodnutí do praxe a zohrávajú kľúčovú úlohu pri prepájaní technologickej transformácie s každodenným výkonom a kultúrou podniku. Pre úspešnú digitálnu transformáciu nestačí len zavádzať technológie, ale je potrebné pochopiť bariéry, ktoré tento proces spomaľujú a pochopiť aj reálnu pripravenosť podnikov na zmeny. Na Slovensku je téma Industry 4.0 mimoriadne aktuálna, keďže výrobné podniky čelia rastúcemu tlaku globalizácie, požiadavkám trhu aj nedostatku pracovnej sily. Cieľom príspevku je zhodnotiť aktuálnu úroveň pripravenosti slovenských výrobných podnikov na digitálnu transformáciu, identifikovať najväčšie bariéry tohto procesu a zistiť, ktoré technológie Industry sú v podnikoch známe a využívané.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: *digitálna transformácia, Industry X.0, pripravenosť, kompetencie*

ABSTRACT

The dynamic evolution of technology, automation, and digitalization is fundamentally changing the nature of work and enterprise management. The Industry 4.0 concept represents a new stage in industrial development, bringing with it not only innovative production processes, but also the need to transform employee competencies across all levels of management, enabling enterprises to manage processes more efficiently and increase competitiveness. In an environment of growing labour market unpredictability, there is increasing pressure on adaptability, digital skills, and the ability to understand technological changes in a broader context. Particular attention should be paid to line managers, who are responsible for implementing strategic decisions in practice and play a key role in linking technological transformation with day-to-day operations and organizational culture. For a successful digital transformation, it is not enough to simply introduce technology; it is also necessary to understand the barriers that slow down this process and the real readiness of enterprises for change. In Slovakia, the topic of Industry 4.0 is particularly relevant, as manufacturing enterprises face increasing pressure from globalization, market requirements, and labour shortages. The aim of this paper is to assess the current level of readiness of Slovak manufacturing enterprises for digital transformation, identify the biggest barriers to this process, and determine which Industry 4.0 technologies are recognized and applied in enterprises.

KEY WORDS: *digital transformation, Industry X.0, readiness, competencies*

ÚVOD

Priemysel prešiel v histórii viacerými revolúciami, ktoré vždy priniesli zásadné technologické zmeny. Aj keď sa vo svete objavujú pojmy Industry 5.0 či 6.0, Slovensko v implementácii automatizácie a digitalizácie výrazne zaostáva, najmä pre nedostatok odborníkov a slabšiu schopnosť podnikov financovať inovácie (INDUSTRY4UM, 2020).

V súčasnosti sa slovenský priemysel nachádza v štvrtej priemyselnej revolúcii – Industry 4.0, charakterizovanej rastúcou automatizáciou a využívaním inteligentných technológií, strojov a tovární (IBM, 2022). Tieto prvky umožňujú efektívnejšiu a produktívnejšiu výrobu, čo potvrdzuje revolučný charakter zmeny (INDUSTRY 4.0, 2022). Do výrobných procesov sa čoraz viac integrujú technológie ako priemyselný internet vecí, Cloud Computing, Big Data či umelá inteligencia, ktoré menia spôsob výroby, distribúcie aj zlepšovania produktov a služieb (Patro, 2018; SAP, 2022).

Kľúčom sú inteligentné továrne (Smart Factories), kde ľudia, stroje a produkty navzájom komunikujú, čím sa zvyšuje efektívnosť, znižujú náklady a získava sa možnosť pružne reagovať na zmeny trhu (IBM, 2022; INDUSTRY 4.0, 2022). Údaje z výrobných procesov umožňujú prediktívnu údržbu, sebaoptimalizáciu a celkové zlepšovanie efektivity (SAP, 2022).

Nadväzujúcou etapou je **Industry 5.0**, ktorý stavia na technologických pilieroch Industry 4.0, no dopĺňa ich o princípy humanizácie, udržateľnosti a odolnosti. Človek je tu chápaný ako tvorca hodnôt a partner inteligentných strojov (Maddikunta a kol., 2021). Humanizáciou je teda zdôraznená fyzická a psychická pohoda zamestnancov, rozvoj kreativity a udržateľnosťou je pozdvihnutá spoločenská zodpovednosť a environmentálne ciele (Zolotová, Kajáti, Pomšár, 2021; Ivanov, 2023). Sociálna udržateľnosť sa dosahuje prostredníctvom rekvalifikácie, personalizácie práce a zlepšovania bezpečnosti a spokojnosti na pracovisku (Leon, 2023). Tento koncept teda rozširuje technologickú perspektívu o dôraz na prosperitu človeka a spoločnosti (Alves a kol., 2023).

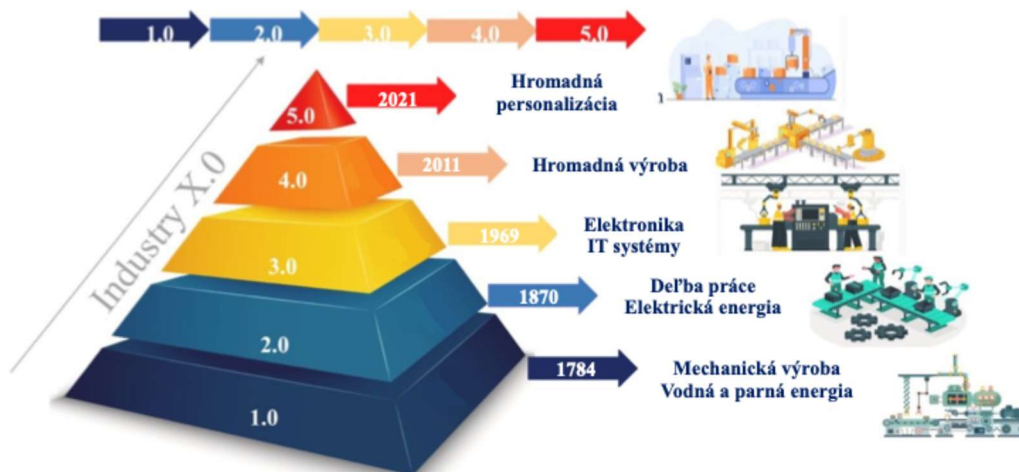
Ďalší predpokladaný krok – **Industry 6.0** – predstavuje integráciu Industry 4.0 a 5.0 s inovatívnymi technológiami a myšlienkou ešte užšej symbiózy človeka a strojov. Predpokladá sa jeho nástup v horizonte 10–15 rokov (Chourasia a kol., 2022). Základom budú kvantová výpočtová technika, rozšírená a virtuálna realita, pokročilá robotika, biotechnológie, nanotechnológie či viacrozmerná tlač (Medium, 2024). Industry 6.0 by mal priniesť antifragilnú výrobu, dynamické dodávateľské reťazce a prechod k modelu, kde človek nebude len používateľom, ale priamym riadiacim prvkom v interakcii so strojmi (Chourasia a kol., 2022).

Vývoj od Industry 4.0 k Industry 6.0 tak ukazuje posun od **automatizácie a digitalizácie**, cez **humanizáciu a udržateľnosť**, až po **symbiózu ľudskej inteligencie a výpočtovej sily strojov**. Tento trend naznačuje, že budúcnosť priemyslu nebude založená len na technológiách, ale aj na rovnováhe medzi technickým pokrokom, ľudskými hodnotami a environmentálnou zodpovednosťou.

Koncept Industry X.0

Pojem **Industry X.0** zaviedla spoločnosť Accenture a prvýkrát bol spomenutý v roku 2011 v Hannoveri v súvislosti s Industry 4.0 (Marzano, Martinovs, 2020). Nejde o dezinterpretáciu konceptu Industry 4.0, ale o reakciu na fakt, že digitálne technológie napredujú takým tempom, že jednotlivé technologické stupne priemyselných revolúcií nemožno určiť na dlhší časový horizont. To, čo je dnes 4.0, sa rýchlo posúva na 5.0, 6.0 a ďalej (IoT Tech Expo, 2020).

Industry X.0 preto zdôrazňuje potrebu neustáleho **prehodnocovania a obnovovania digitálnych rámcov**, aby podniky dokázali využívať výhody rýchleho technologického pokroku. Organizácie musia byť agilné, flexibilné a schopné prispôbovať sa novým technológiám, požiadavkám i zmenám na trhu práce, namiesto pevne stanovených plánov digitalizácie (Gallab, Di Nardo, 2023).



Obrázok 1: Koncept Industry X.0 (vlastné spracovanie, 2025)

Vývoj ukazuje, že priemyselné revolúcie sa zrýchľujú – od prvej po tretiu trval prechod takmer 200 rokov, no z tretej na štvrtú už len 42 rokov. Industry 4.0 priniesol dôraz na produktivitu a hromadnú výrobu s podporou digitálnych technológií, zatiaľ čo Industry 5.0 posilňuje spoluprácu človeka a stroja (Maddikunta a kol., 2021).

Koncept **Industry X.0** tak predstavuje zastrešujúci rámec pre dynamicky sa meniace technologické stupne. Nejde len o inovácie vo výrobných procesoch – zásadné zmeny nastávajú aj v oblasti ľudského kapitálu. Transformujú sa pracovné pozície, vznikajú nové profesie a menia sa požadované kompetencie zamestnancov. Podniky preto musia pružne reagovať, investovať do rozvoja kompetencií a pripraviť zamestnancov na nové výzvy digitálnej transformácie.

METODOLÓGIA VÝSKUMU

Analýza súčasného stavu pripravenosti výrobných podnikov na Slovensku na digitálnu transformáciu bola realizovaná formou dotazníkového prieskumu. Jeho cieľom bolo zistiť úroveň informovanosti o koncepte **Industry 4.0/X.0**, identifikovať stav implementácie digitálnych technológií a poukázať na bariéry, ktoré podniky vnímajú. Zároveň boli sledované dopady Industry X.0 na zamestnancov a požiadavky na ich kompetencie.

Výskumnú vzorku tvorilo **308 oslovených priemyselných podnikov** rôznych veľkostných kategórií na Slovensku. Návratnosť dosiahla **15 %**, čo predstavuje **45 vyplnených dotazníkov**. Zber údajov prebiehal elektronicky od mája do polovice júla 2025.

Dotazník obsahoval **33 uzatvorených otázok** rozdelených do piatich častí:

1. identifikačné charakteristiky respondentov,
2. úroveň poznania konceptov Industry 4.0 a Industry X.0,
3. stav implementácie Industry X.0 v podnikoch,
4. požiadavky na kompetencie zamestnancov a vplyv digitálnej transformácie na ich kvalifikáciu,
5. komparatívna analýza kompetencií.

Limitáciou výskumu môže byť nedostatočné pochopenie konceptu Industry X.0 zo strany respondentov, čo mohlo viesť k odpovediam, ktoré neodzrkadľujú skutkový stav v tom ktorom podniku.

Dotazníkového prieskumu sa zúčastnilo 64% veľkých podnikov (29 respondentov), 29% stredných podnikov (13 respondentov), 4% malých podnikov (2 respondenti) a 2% mikro podnikov (1 respondent).

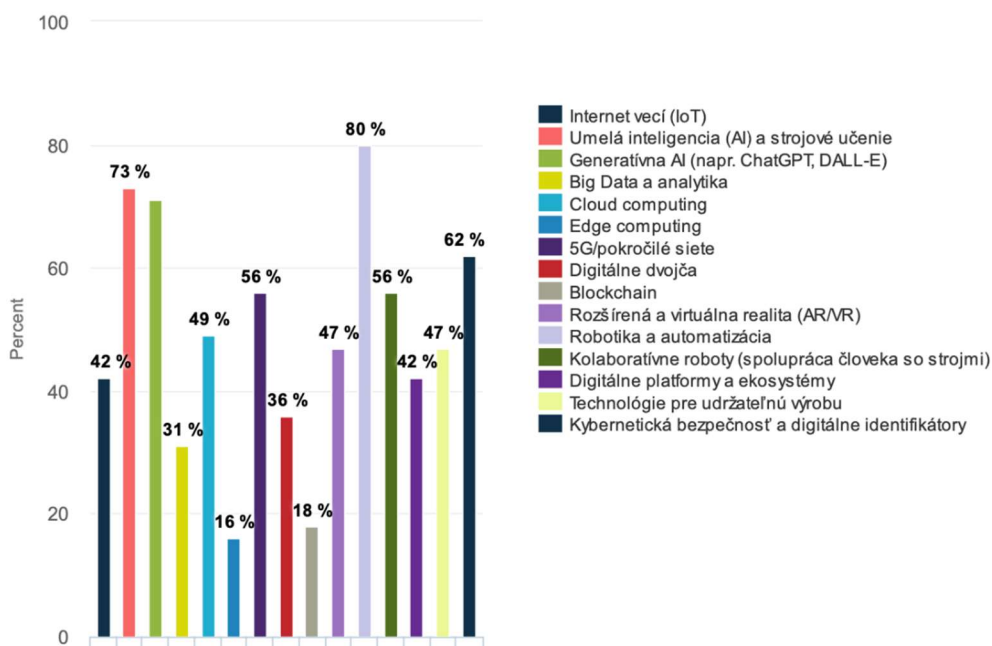
Z hľadiska odvetvia pôsobilo najviac podnikov v automobilovom priemysle (40%; 18 respondentov), nasledoval strojársky priemysel (18%; 8 respondentov) a elektrotechnický priemysel (16%; 7 respondentov). Päť respondentov uviedlo kategóriu „iné“, pričom tri podniky pôsobia v oblasti energetiky, jeden v stavebníctve a jeden vo viacerých odvetviach súčasne.

Pokiaľ ide o pracovné pozície, 40% respondentov (18) zastáva funkcie v strednom manažmente, 29% (13) v líniovom manažmente a 18% (8) v top manažmente. Zvyšných 13% (6) uviedlo iné pracovné pozície, napríklad procesní inžinieri, odborní referenti, technik v prevádzke či pracovník finančného oddelenia.

VÝSLEDKY VÝSKUMU

Druhá časť dotazníkového prieskumu bola zameraná na úroveň poznania konceptov Industry 4.0 a Industry X.0 a súvisiacich technológií. Výsledky ukázali, že 84% respondentov (38) pozná pojem Industry 4.0 veľmi dobre až priemerne, zatiaľ čo koncept Industry X.0 je medzi respondentmi menej známy – až 36% (16) ho vôbec nepozná a 47% (21) pozná len čiastočne.

7. Ktoré technológie z konceptov Industry poznáte? (môžete vybrať viacero možností)



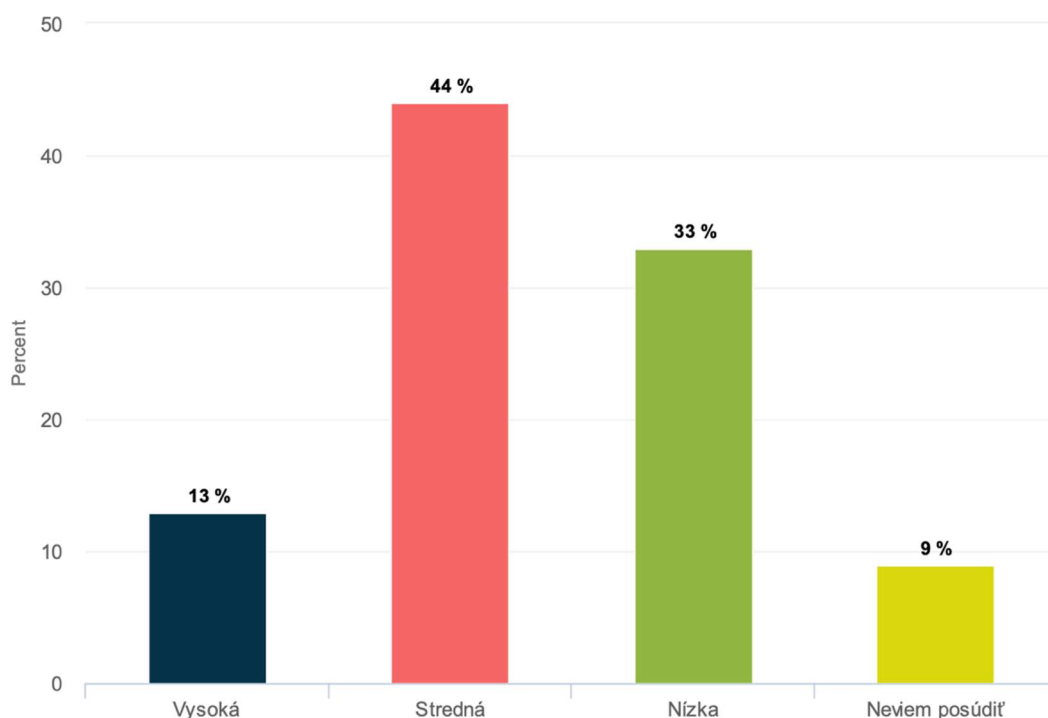
Obrázok 2: Grafické zobrazenie odpovedí na otázku č. 7 (vlastné spracovanie, 2025)

Najdôležitejšie zistenie pre ďalší výskum sa týka znalosti konkrétnych technológií Industry X.0. Len šesť technológií pozná viac ako polovica respondentov: robotiku a automatizáciu (80%; 36 respondentov), AI (73%; 33 respondentov), generatívnu AI (71%; 31 respondentov), kybernetickú bezpečnosť (62%; 28 respondentov), kolaboratívne roboty a 5G/pokročilé siete (56%; 25 respondentov).

Naopak, technológie kľúčové pre dátové toky a decentralizáciu procesov – ako Cloud computing (49%; 22 respondentov), Edge computing (16%; 7 respondentov), Blockchain (18%; 8 respondentov) či IoT (42%; 19 respondentov) – sú medzi respondentmi málo známe. Big Data a analýza dát sú poznané len u 31% respondentov (14), čo naznačuje nedostatočnú digitálnu vyspelosť podnikov.

Celkovo tieto údaje indikujú, že väčšina slovenských priemyselných podnikov zatiaľ nevyužíva systémovo potenciál digitálnych technológií a že rozvoj kompetencií v oblasti dátovej analytiky a interpretácie dát sa stáva prioritou pre adaptáciu na Industry X.0.

9. Ako by ste ohodnotili pripravenosť vášho podniku na Industry X.0?

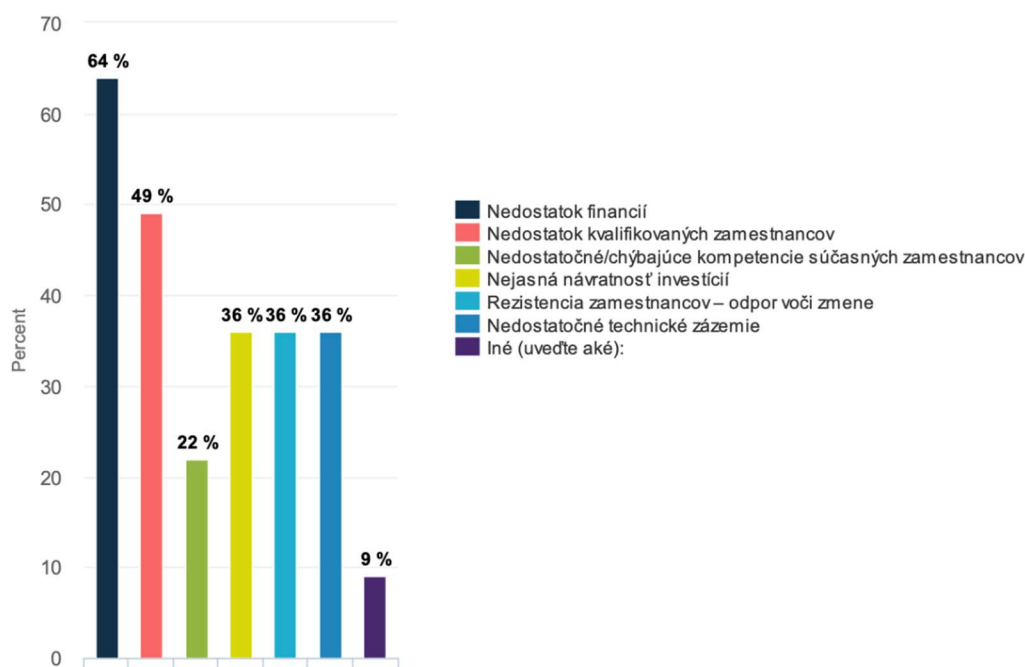


Obrázok 3: Grafické zobrazenie odpovedí na otázku č. 9 (vlastné spracovanie, 2025)

Respondenti hodnotili pripravenosť svojich podnikov na implementáciu princípov a techník Industry X.0. Výsledky ukazujú, že 44% respondentov (20) považuje pripravenosť podniku za strednú, čo naznačuje čiastočné povedomie o Industry X.0 alebo začatú transformáciu, no zároveň pravdepodobne chýba systematické zavádzanie technológií. 33% respondentov (15) označilo pripravenosť za nízku, čo signalizuje, že tretina podnikov nie je pripravená ani na počiatočné kroky digitalizácie.

Iba 13% respondentov (6) považuje pripravenosť podniku za vysokú, čo naznačuje, že aktívna implementácia technológií Industry X.0 je stále ojedinelá. Nízka úroveň pripravenosti môže obmedzovať konkurencieschopnosť slovenských podnikov a mať dlhodobé hospodárske, inovačné a sociálne dôsledky. Respondenti, ktorí nevedeli pripravenosť posúdiť, pravdepodobne reflektovali chýbajúce stratégie, nedostatočné zdieľanie informácií alebo nízku úroveň kompetencií zamestnancov.

14. Aké prekážky bránia rýchlejšej implementácii Industry X.0? (môžete vybrať viacero možností)



Obrázok 4: Grafické zobrazenie odpovedí na otázku č. 14 (vlastné spracovanie, 2025)

Respondenti mali možnosť označiť viacero prekážok, ktoré podľa nich bránia podnikom zavádzať princípy a techniky Industry X.0. Výsledky ukazujú, že implementácia je brzdená kombináciou ekonomických, technologických a ľudských bariér. Najčastejšie bol spomínaný nedostatok financií (64%; 29 respondentov), čo potvrdzujú aj iné prieskumy realizované na Slovensku.

Druhým najvýznamnejším faktorom bol nedostatok kvalifikovaných zamestnancov (49%; 22 respondentov), zatiaľ čo nedostatok kompetencií súčasných zamestnancov uviedlo 22% respondentov (10). Tieto údaje naznačujú, že podniky vnímajú skôr absenciu odborníkov na trhu práce v oblasti digitalizácie, IT alebo automatizácie, než nedostatky v kompetenciách existujúcich zamestnancov. Skutočná úroveň kompetencií súčasných zamestnancov môže byť rôzna – čiastočne prispôbená už implementovaným technológiám Industry X.0 alebo nepostačujúca pre požiadavky nových procesov.

Transformácia na Industry X.0 teda nie je len technologická výzva, ale komplexný organizačný proces, ktorý vyžaduje strategický prístup, vzdelávanie a dôslednú komunikáciu. Namiesto pasívneho čakania na ideálnych kandidátov z trhu práce by sa podniky mali sústrediť na rekvalifikáciu, rozvoj a rast svojich zamestnancov.

DISKUSIA

Výsledky realizovaného dotazníkového prieskumu poukazujú na pretrvávajúcu nízku úroveň pripravenosti slovenských priemyselných podnikov na digitálnu transformáciu. Až dve tretiny respondentov deklarovali, že ich podniky nie sú pripravené na zavádzanie princípov a technológií Industry X.0. Tento výsledok korešponduje s poznatkami z medzinárodných štúdií (napr. Roland Berger, 2022; PwC, 2023, WEF, 2025), ktoré opakovane poukazujú na regionálne rozdiely v implementácii digitalizačných stratégií, pričom stredná a východná Európa patrí medzi oblasti s pomalším tempom adaptácie. Nedostatočná pripravenosť môže predstavovať významnú konkurenčnú nevýhodu Slovenska, a to nielen v technologickej oblasti, ale aj z pohľadu udržateľnosti a atraktivity pre zahraničných investorov.

Identifikované bariéry implementácie Industry X.0 potvrdzujú, že transformácia nie je podmienená len technologickými inováciami, ale predovšetkým ekonomickými a ľudskými faktormi. Nedostatok finančných zdrojov (64% respondentov) sa ukazuje ako kľúčová prekážka, čo súvisí so štruktúrou slovenského priemyslu, kde dominujú subdodávateľské podniky s nižšou pridanou hodnotou a obmedzeným kapitálom na inovačné projekty. Nedostatok kvalifikovaných zamestnancov (49%) je dlhodobo reflektovaným problémom aj v správach Európskej komisie (EK, 2024), ktorá upozorňuje na rastúcu potrebu odborníkov v oblasti automatizácie, digitalizácie a IT.

Zaujímavým zistením je rozpor medzi vnímaním nedostatku kvalifikovaných pracovníkov na trhu a hodnotením kompetencií súčasných zamestnancov. Len 22% respondentov považuje kompetencie svojich pracovníkov za bariéru, čo môže signalizovať, že podniky potenciál existujúceho ľudského kapitálu buď nedostatočne vyhodnocujú, alebo nemajú zavedený systematický prístup k meraniu a rozvoju kompetencií. Tento rozpor je v súlade so závermi autorov Lasi et al. (2014) a Schumacher et al. (2019), ktorí zdôrazňujú, že úspech digitálnej transformácie je podmienený nielen prítomnosťou technológií, ale aj rozvojom organizačných a ľudských zdrojov.

Ďalším slabým miestom je nízka priorita priradená technickým kompetenciám, ako sú dátová analytika (20%), orientácia na udržateľnosť (22%) a reporting (13%). Tieto oblasti však predstavujú základné predpoklady pre systematické rozhodovanie a prechod od tradičných výrobných procesov k inteligentným, dátovo riadeným systémom. Výskum Deloitte (2023) potvrdzuje, že práve podniky, ktoré aktívne rozvíjajú dátové kompetencie, sú úspešnejšie pri implementácii Industry 4.0 riešení a dosahujú vyššiu pridanú hodnotu vo výrobe.

Výsledky prieskumu môžu byť skreslené a nemusia byť platné pre všetky výrobné podniky na Slovensku, keďže výskumná vzorka bola tvorená prevažne z veľkých podnikov (64%) v oblasti automobilového a strojárkeho priemyslu.

ZÁVER

Výsledky realizovaného prieskumu poukázali na to, že úroveň pripravenosti priemyselných podnikov na Slovensku na zavádzanie princípov a technológií Industry X.0 je relatívne nízka. Väčšina respondentov deklarovala, že ich podniky nie sú dostatočne

pripravené na digitálnu transformáciu, čo môže predstavovať závažnú konkurenčnú nevýhodu v medzinárodnom prostredí. Tento fakt je o to alarmujúcejší, že v iných krajinách EÚ sa podstatná časť priemyslu už posúva od základnej digitalizácie smerom k sofistikovaným technológiám založeným na dátovej analytike, umelej inteligencii či autonómnych systémoch. Pre Slovensko je výzvou presunúť sa od reaktívnych, krátkodobých riešení k dlhodobým udržateľným stratégiám, ktoré zohľadnia nielen technologický, ale aj spoločenský a vzdelávací rozmer digitalizácie.

Na základe zistení z prieskumu možno odporučiť, aby podniky neorientovali svoju pozornosť výlučne na získavanie nových pracovníkov z trhu, ale aby aktívne pracovali s existujúcim ľudským kapitálom prostredníctvom rekvalifikácie, rozvoja a systematického budovania kompetenčných profilov. Digitálna transformácia totiž nie je len otázkou technológií, ale predovšetkým ľudí a ich schopností adaptovať sa na nové pracovné podmienky.

Ďalší výskum by sa preto mal zamerať na detailnejšie porovnanie požadovaných a reálnych kompetencií, a to najmä u kľúčovej skupiny – líniových manažérov. Tí zohrávajú zásadnú úlohu v procese riadenia zmien a ich schopnosť viesť tímy, komunikovať, systematicky myslieť a podporovať inovácie bude rozhodujúca pre úspech transformácie v podmienkach Industry X.0.

Celkovo možno konštatovať, že slovenské podniky stoja na začiatku cesty k Industry X.0. Ak má byť táto cesta úspešná, nevyhnutná je nielen technologická modernizácia, ale aj investícia do ľudí a do vzdelávania. Len prostredníctvom súbežného rozvoja technológií a kompetencií bude možné dosiahnuť plnohodnotnú adaptáciu na digitálnu budúcnosť a zabezpečiť konkurencieschopnosť Slovenska v európskom i globálnom kontexte.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- ALVES, J., LIMA, T. M., GASPAR, P. D. 2023. Is Industry 5.0 a human-centred approach? A systematic review. *Processes*, vol. 11, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11010193>
- GALLAB M., DI NARDO M. 2023. New Innovation, Sustainability, and Resilience Challenges in the X.0 Era. *Applied System Innovation*, vol. 6, no. 2, pp. 39. DOI: [10.3390/asi6020039](https://doi.org/10.3390/asi6020039)
- CHOURASIA, S., TYAGI, A., PANDEY, S. M. ET AL. 2022. Sustainability of Industry 6.0 in Global Perspective: Benefits and Challenges. *MAPAN*, 37, pp. 443–452. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12647-022-00541-w>
- IBM. 2022. *What is Industry 4.0?* [online]. [cit. 2025–21–07]. Dostupné na internete: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>
- INDUSTRY 4.0. 2022. *Princípy*. [online]. [cit. 2025–02–07]. Dostupné na internete: <https://industry4.sk/o-industry-4-0/principy/#>
- INDUSTRY4UM. 2020. *Prieskum o úrovni aplikácie Industry 4.0 do podnikov*. [online]. [cit. 2025–02–07]. Dostupné na internete: <https://www.plasticportal.eu/image/clanky/6918/pdf/15386.pdf>
- IOT TECH EXPO. 2020. *Looking ahead to Industry X.0*. [online]. [cit. 2025–02–07]. Dostupné na internete: <https://www.iottechexpo.com/2020/03/iot/looking-ahead-to-industry-x-0/>

- IVANOV, D. 2023. The Industry 5.0 framework: Viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, vol. 61, no. 5, pp. 1683-1695. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892>
- LEON, R. D. 2023. Employees' reskilling and upskilling for Industry 5.0: Selecting the best professional development programmes. *Technology in Society*, vol. 75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102393>
- MADDIKUNTA, P. K. R. ET AL. 2021. Industry 5.0: A Survey on Enabling Technologies and Potential Applications. *Journal of Industrial Information Integration*. 26, 100257. DOI: 10.1016/j.jii.2021.100257
- MARZANO G., MARTINOVŠ A. 2020. Teaching Industry 4.0. *Proceedings of the International Scientific Conference*, vol. 2, pp. 69-76. DOI: 10.17770/sie2020vol2.4833
- MEDIUM. 2024. *The Future: Industry 6.0*. [online]. [cit. 2025-04-07]. Dostupné na internete: <https://medium.com/@mustafabakla/the-future-industry-6-0-4ed653ec897f>
- PATRO, T. 2018. *Priemysel 4.0*. [online]. [cit. 2025-01-07]. Dostupné na internete: <https://casopis.fit.cvut.cz/tema/priemysel-4-0/>
- SAP. 2022. *Čo je priemysel 4.0?* [online]. [cit. 2025-29-06]. Dostupné na internete: <https://www.sap.com/sk/insights/what-is-industry-4-0.html>
- ZOLOTOVÁ, I., KAJÁTI, E., POMŠÁR, L. 2021. *Industry 5.0 – koncept, technológie, ciele (1)*. [online]. [cit. 2025-21-07]. Dostupné na internete: https://www.atpjournals.sk/rubriky/prehladove-clanky/industry-5.0-koncept-technologie-ciele-1.html?page_id=33728

Kontaktné údaje autorov

Ing. Adriána Lehutová
doc. Ing. Miroslava Míkva, PhD.

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave,
Ústav priemyselného inžinierstva a manažmentu
Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava

Email: adriana.lehutova@stuba.sk
miroslava.mikva@stuba.sk



BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF RESEARCH IN THE FIELD OF INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS

Augustín STAREČEK, Jana MESÁROŠOVÁ, Martin HIRTL

Abstract: In connection with the growing importance of integrated management systems (IMS) in business practice, the need for a systematic evaluation of their scientific treatment is increasing. This manuscript addresses the identified research gap and presents a bibliometric analysis of IMS publications based on Scopus data for the period 2000 – 2025. The main aim is to analyse data from the Scopus scientific database and identify bibliometric relationships as well as logical areas in which IMS are used within research and scientific projects. The analysis was conducted using the PRISMA methodology and the VOSviewer visualization tool. Results show a marked rise in interest in IMS within the scientific literature, with Western European and North American countries exhibiting the highest publication activity. Based on a keyword co-occurrence analysis, three main thematic areas were identified: integration of ISO standards, IMS in the context of sustainability, and IMS in the Industry 4.0 environment. The manuscript also offers recommendations for future research aimed at strengthening theoretical and practical understanding of IMS in light of global challenges.

Keywords: bibliometric analysis, integrated management systems, ISO standards and sustainability.

1 INTRODUCTION

Over recent decades, management systems have undergone dynamic development, and an increasing number of organisations are integrating them into a unified framework an integrated management system (IMS). An IMS represents a strategic approach to managing quality, the environment, safety, and other areas through the harmonisation of requirements from multiple standards. Despite the rising significance of IMS in business practice, scientific knowledge about its application in research projects remains fragmented and limited. This paper addresses the identified research gap namely, the shortage of bibliometric overviews that systematically map the development and trends of IMS in the scientific literature. The aim is to analyse publication outputs from the Scopus database and, through bibliometric methods, identify the principal research areas, thematic clusters, and contributing countries.

2 THEORETICAL BACKGROUNDS

In today's dynamic and highly competitive business environment, the ability of companies to manage and continually improve their production processes effectively is crucial. Traditionally, companies implemented management systems separately, a practice that demanded significant resources because each system had to be documented, monitored, and audited independently. Implementing an Integrated Management System (IMS) merges these individual management systems into a single entity, reducing duplication across processes and resulting in greater efficiency, consistency, and transparency.

2.1 INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS AND THEIR PRINCIPLES

Specialist publications define Integrated Management Systems (IMS) and their application as follows. IMS are designed to combine various management subsystems into a coherent framework, thereby enhancing efficiency and effectiveness in meeting stakeholder requirements (Dragomir et al., 2017; Garengo and Biazzo, 2013). The traditional approach of implementing and managing separate management systems is increasingly being replaced by

IMS, with the aim of aligning multiple management subsystems to international standards (Domingues et al., 2012). The level of integration achieved by an IMS can vary significantly across organisations and is influenced by the specific standards and models adopted (Trierweiler et al., 2016). Implementing an IMS involves overcoming several challenges, including employee resistance to change and the need for a clear strategy focused on linking different management tools (Surkov et al., 2015). New methodologies for effective IMS implementation—particularly for small and medium sized enterprises (SMEs)—are currently being developed to facilitate the transition from traditional standards to an integrated approach (Garengo and Biazzo, 2013; Trierweiler et al., 2016; Bravi and Murmura, 2022). Figure 1 illustrates how integrated management systems function within an organisation.

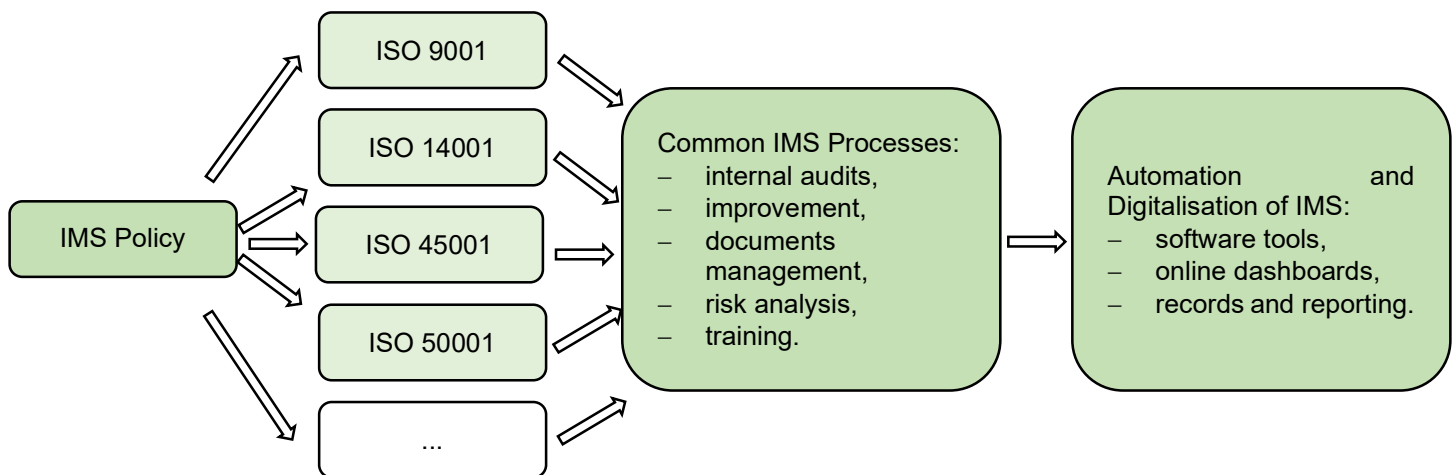


Figure 1: IMS Policy (Own elaboration, 2025)

The starting point in Figure 1 is the IMS policy, which provides the fundamental framework and represents top management's commitment to fulfilling the requirements of individual standards. It also sets the strategic direction for the entire management system in use. Within an IMS, four key standards are most commonly integrated. These systems are linked through common IMS processes that form its operational core, ensuring a unified approach and synergy across the various management areas. Digitalisation and automation of IMS now play a pivotal role, streamlining its administration, facilitating performance monitoring, and increasing system flexibility (Francisco et al., 2024; Talapatra et al., 2019).

2.2 ISO STANDARDS AND THE BENEFITS OF INTEGRATION

Given rising regulatory and societal demands, the scope of International Organization for Standardization (ISO) norms has expanded significantly—currently containing more than 24 000 standards across more than 30 topics (ISO, 2025). Integrated management systems can therefore be configured in various ways, depending on an organisation's needs. The most commonly used systems are (Susanto et al., 2025; Zebek, 2021; Marrugo et al., 2024; Culot et al., 2021):

- Quality Management System (QMS).
- Environmental Management System (EMS).
- Occupational Health and Safety Management System (OHSM)
- Information Security Management System (ISMS).
- Energy Management System (EnMS).

Organisations typically begin by implementing a QMS in accordance with ISO 9001, which forms the foundation for further integration (Susanto et al., 2025). Additional areas, such

as EMS (ISO 14001), OHSM (ISO 45001), or EnMS (ISO 50001) are then added. In the current era of digitalisation, ISMS (ISO 27001) has also gained importance for protecting against cyber-threats and supporting business continuity (Zebek, 2021; Marrugo et al., 2024; Culot et al., 2021).

Key advantages of an IMS include:

- Process simplification and optimised resource use → greater competitiveness (Barbosa et al., 2022).
- Reduced administrative burden and costs, as well as simplified management (Zeng et al., 2011).
- Synergistic benefits of integration exceed those of standalone systems (Maier et al., 2013).
- More effective management of organisational sustainability and performance (Gianni et al., 2017).

Implementing an IMS delivers measurable gains, particularly in efficiency, flexibility, and an organisation's ability to respond to changing market conditions and regulatory requirements.

3 MATERIALS AND METHODS

The following section sets out the main research main aim and defines the research questions (RQs). It then describes the methodology used to conduct the bibliometric analysis.

3.1 MAIN AIM AND RESEARCH QUESTIONS

The purpose of this manuscript is to present the results of a bibliometric analysis focused on integrated management systems (IMS). Accordingly based on the mentioned, we can define the main aim of the research.

Main Aim is to analyse data from the Scopus scientific database and identify bibliometric relationships as well as logical areas in which IMS are employed within research and scientific projects.

To address the identified research gap regarding the use of IMS in research and research projects, three research questions were formulated:

- 1. RQ: What is the current state of publication of scientific studies and research-project results in the field of IMS?*
- 2. RQ: Which countries are the most frequently represented in IMS-related research and projects, and which thematic areas do these studies most commonly include?*
- 3. RQ: Which common thematic clusters can be identified in IMS-related scientific articles based on qualitative content analysis?*

The next subsection outlines the tools and methods employed in the study, followed by a step-by-step description of the applied methodology.

3.2 METHODS AND METHODOLOGY USED

Several analytical tools and procedures were employed in this study. The core intellectual approaches applied by the authors include analysis, synthesis, generalisation, deduction, induction, and classification. Microsoft Excel and the specialised, open-source software VOSviewer were also used. VOSviewer is a free tool developed at Leiden University for creating and visualising bibliometric maps (van Eck & Waltman, 2010). It enables

researchers to analyse and graphically display relationships among publications, authors, keywords, and institutions, thereby helping to identify research trends and co-authorship networks. Thanks to its capacity to process large datasets and generate clear visualisations, VOSviewer has become one of the most widely used tools for systematic literature reviews and bibliometric analyses (Martins et al., 2024; Rochman et al., 2024).

To improve the transparency of the analysed data, the authors adopted a modified version of the scientific PRISMA methodology. The PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) framework is a standardised set of recommendations for conducting systematic reviews and meta-analyses, aimed at enhancing the transparency, clarity, and completeness of research studies (Moher et al., 2009). In 2020, PRISMA was updated to reflect methodological advances and extend the original guidelines (Page et al., 2021). PRISMA is widely applied across scientific disciplines to ensure the quality and reproducibility of bibliometric and review studies (Tricco et al., 2018). Figure 2 presents the seven-step workflow followed by the authors in this research.

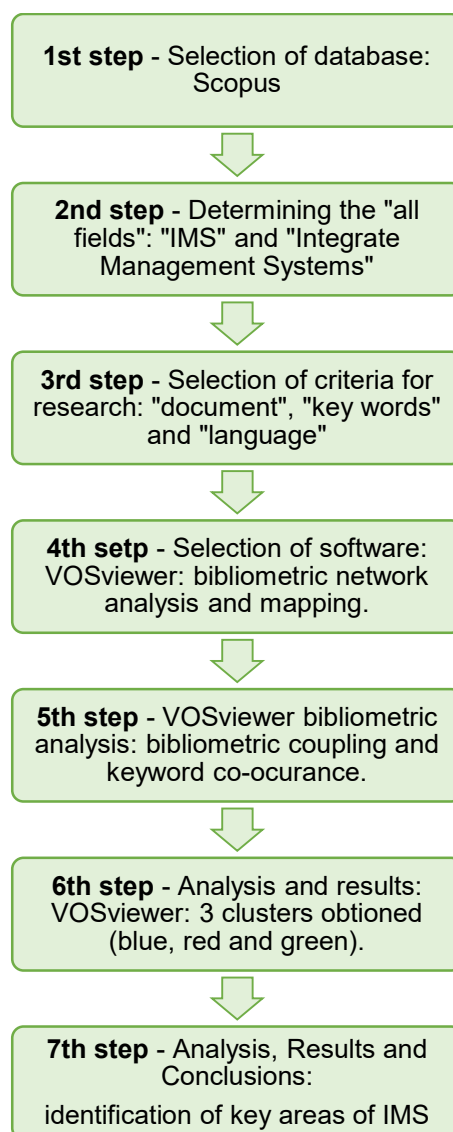


Figure 2: Used methodology – bibliometric analysis and PRISMA (Own elaboration, 2025)

4 RESULTS

The results section is divided into three parts, each addressing one of the predefined research questions. To enhance clarity, multiple graphs are provided to visualise complex relational patterns.

4.1 EVALUATION OF THE FIRST RESEARCH QUESTION

To answer **RQ 1. What is the current state of publication of scientific studies and research-project results in the field of IMS?** – the authors analysed the two largest and most widely used scientific databases, Scopus and Web of Science (WoS), covering the period 2000 – 2025. The primary search term employed was „integrated management system” (IMS). The findings are illustrated in Figure 3 below.

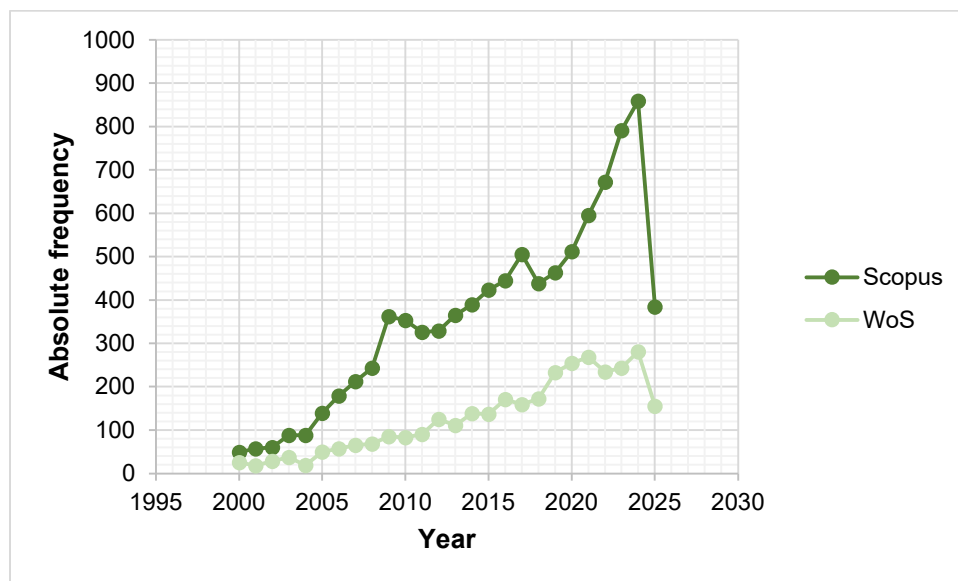


Figure 3: The occurrence of manuscripts on the topic of IMS in the Scopus and WoS databases (Own elaboration, 2025)

Figure 3 indicates that the Scopus database contains a larger number of IMS-related manuscripts: 9 326 records over the past 25 years, compared with 3,306 records in WoS. As outcomes indicated, Scopus holds nearly two-thirds more manuscripts than WoS. Another notable finding is, that 2024 holds the highest annual increase in IMS publications in both databases. For the purposes of the in-depth analysis, the authors developed a PRISMA flow diagram (Figure 4) based solely on Scopus database.

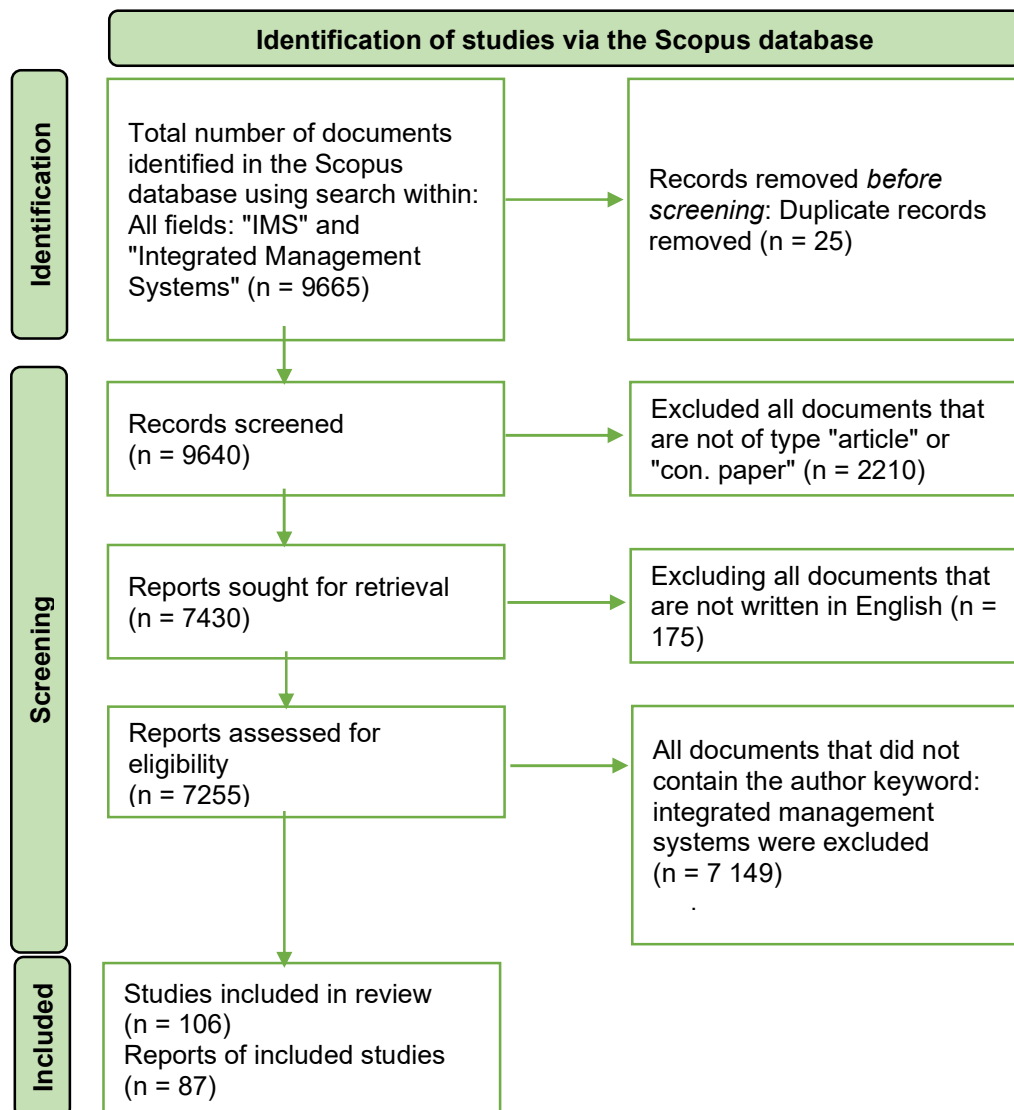


Figure 4: Application of PRISMA methodology using the Scopus database (Own elaboration, 2025)

The PRISMA methodology was applied to extract a smaller number of scientific studies (manuscripts), which were subsequently used for analysing bibliometric relationships and conducting a qualitative content analysis of selected manuscripts.

4.2 EVALUATION OF THE SECOND RESEARCH QUESTION

In evaluating the second research question, the authors focused on answering **RQ 2:** *Which countries are the most frequently represented in IMS-related research and projects, and which thematic areas do these studies most commonly include?*

The analysis was conducted using VOSviewer software. Results from the first part, focused on the analysis of countries, are shown in Figure 5.

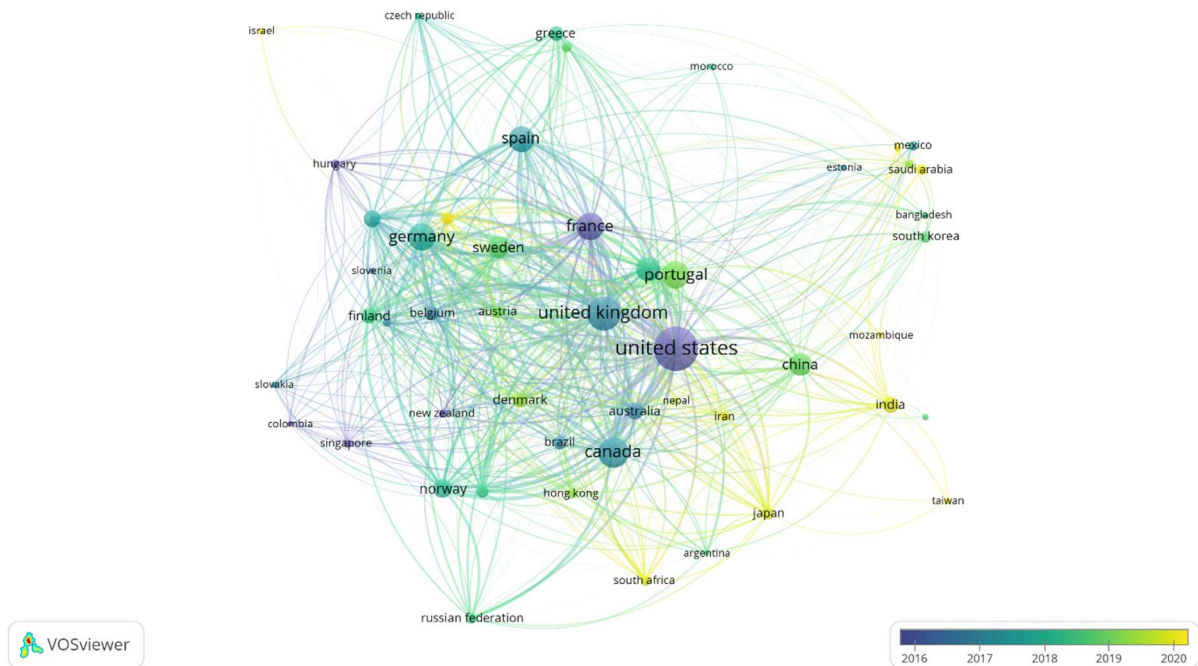


Figure 5: Bibliographic coupling analysis with focus on countries (Own elaboration, 2025)

From Figure 5, it is clear that the displayed temporal diffusion (from 2016 to 2020) is differentiated by colours ranging from purple to yellow. Countries represented by the colour purple (2016) include the United States, United Kingdom, France, Germany, and Canada. These countries have consistently published IMS-related research since 2016, forming a core research cluster around which most peripheral countries connect. Conversely, countries represented by the colour yellow (2020), whose IMS outputs were documented later in the Scopus database, include India, Japan, and South Africa. Analysing the shape in the context of globalisation, the map is nearly circular, indicating no significantly isolated continents. However, connections remain thickest within Europe and between Europe and North America. Asian countries (India, Japan, South Korea, Bangladesh, Israel, Mexico, Morocco) form secondary connections, suggesting slight regional thematic variations (e.g., production-led integration, safety in Industry 4.0, etc.). A densely interconnected Western European cluster (Germany, France, the UK, Spain, Portugal) indicates common citation relationships rooted in studies focused on ISO standards, Total Quality Management (TQM), and Sustainable Development Goals (SDGs).

Furthermore, Figure 6 displays an analysis based on logical thematic clusters and additional keywords from a set of 87 publications retrieved from the Scopus database. The graph illustrates the results of a keyword co-occurrence analysis. This visualisation represents a network of relationships among the most frequently occurring keywords within the field of integrated management systems. Each node represents a specific keyword, with node size corresponding to the frequency of its occurrence within the analysed dataset. The thickness of lines connecting the nodes signifies the strength of the relationship, indicating how frequently those keywords co-occur.

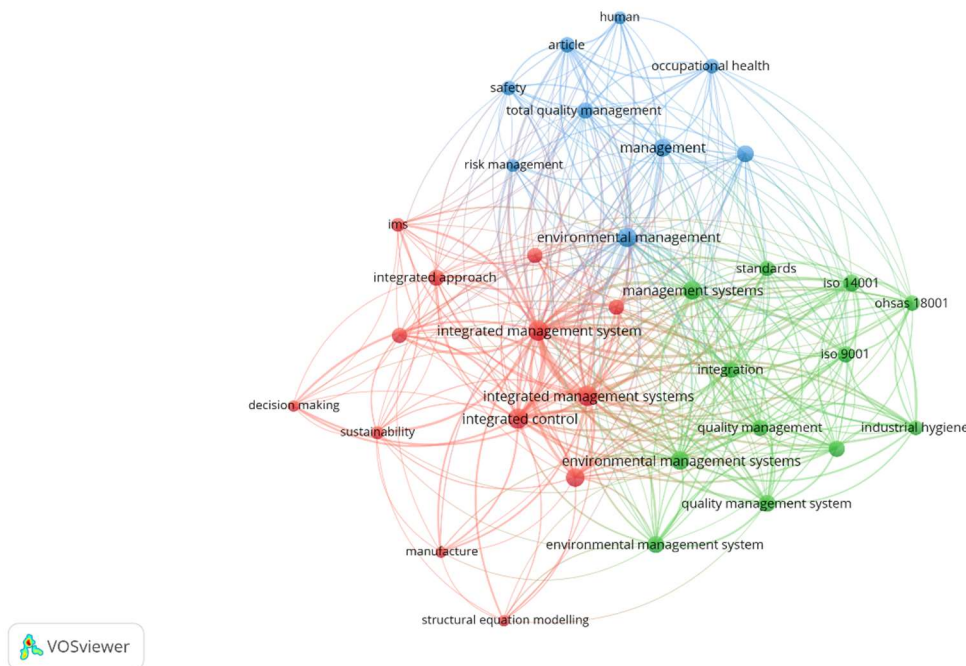


Figure 6: Co-occurrence analysis focusing on all keywords (Own elaboration, 2025)

Figure 6 identifies three primary thematic clusters. Red Cluster contains terms such as „integrated management system“, „sustainability“, „decision making“, and „integrated control“. This cluster highlights research focused on integrated approaches, sustainability and decision-making processes within management systems. Green Cluster includes concepts like „management systems“, „ISO“, „ISO 9001“, „ISO 14001“, „OHSAS 18001“, „integration“, „quality management system“ and „standards“. This cluster represents research related to the implementation and integration of international quality standards, as well as environmental and safety management. Blue Cluster centres around words such as „management“, „risk management“, „occupational health“, „total quality management“, „safety“, „environmental management“ and „human“. This cluster reflects a focus on occupational health and safety, risk management and overall quality management. The map illustrates visually how the main research topics in IMS interconnect, demonstrating how individual concepts complement each other to form thematic groups. The keyword co-occurrence map clearly indicates that IMS research is simultaneously standards-oriented, risk-oriented and strategically oriented, visually capturing the interdependencies of major themes.

4.3 EVALUATION OF THE THIRD RESEARCH QUESTION

In evaluating the third research question, the authors focused on addressing **RQ 3.:** *Which common thematic clusters can be identified in IMS-related scientific articles based on qualitative content analysis?*

The results of the qualitative analysis are presented in Table 1.

Table 1: Qualitative analysis of scientific contributions on the topic of IMS from the Scopus database (Own elaboration, 2025)

Group	Main Topics / Keywords	Number of Reports	Description
A	water, desalination, mineral, contamination	2	Niche focus on IMS in water treatment and chemical contamination environments. Clearly domain specific.
B	management, integrated, safety, performance, environment	29	Broad and core IMS implementation issues, especially related to quality, health, safety, environment (QHSE). Most articles in this cluster.
C	integrated, risk, research, sustainable, systems	23	Emphasis on sustainability, risk management, and strategic integration. Wider scope than cluster 1.
D	manufacturing, modelling, CSR, performance	7	IMS applied in manufacturing, with focus on modelling, performance measurement, and corporate social responsibility.
E	security, healthcare, tactical, network	8	Narrow domain: IMS in healthcare and information systems, including EDMS and cybersecurity aspects.
F	maturity, food, integration model	11	Focused on maturity models, food sector, and the instrumentation of integration (frameworks, levels).
G	ISO 14001, OHSAS, ISO 9001, IMS integration	20	Standards-focused: IMS based on ISO 9001, 14001, 18001, OHSAS. Methodologically strong and compliance oriented.
H	safety, accident indicators, productivity	6	Specific studies on safety indicators, productivity, and accident metrics in industrial environments.

The evaluation of Table 1 indicates that scientific articles on IMS can be grouped into eight logical clusters, confirming the existence of both common and specific thematic areas. Group B, comprising 29 contributions, constitutes the core discussion of IMS, reflecting general issues related to quality, health and safety and environmental management (QHSE). Groups C and G extend this discussion by incorporating sustainability, risk management, and normative frameworks such as ISO and OHSAS standards. Conversely, Groups A, E, F, and H represent specialized areas, including water management, healthcare, food industry and industrial safety indicators. These distinctions in focus, employed metrics, and application areas underscore that although the articles share the common IMS framework, their thematic focus and contributions are distinct and justify their categorization as unique scientific contributions.

5 CONCLUSIONS

Based on the theoretical framework, it can be stated that the implementation of an Integrated Management System (IMS) represents an effective approach to enhancing organizational performance through the elimination of duplications, the simplification of processes and the optimization of resource utilization. Although IMS implementation brings several challenges, such as employee resistance or the need for strategic change management, the synergistic benefits of integration significantly outweigh those of individual, standalone systems. In the context of increasing digitalization and the expanding spectrum of international ISO standards, IMS plays ever more important role in ensuring organizational flexibility, sustainability, and long-term competitiveness.

The evaluation of the defined research questions demonstrated that IMS remains a relevant and significant topic within academic research and research projects. Furthermore, it

was shown, that IMS has been integrated into various research domains. Based on a qualitative analysis of a dataset (87 manuscripts) from the Scopus database, eight thematic logical clusters related to IMS implementation were identified. The largest cluster (29 articles) focuses on general aspects of IMS in the areas of quality, health, safety, and environment (QHSE). However, the remaining clusters highlight specific domains of IMS application, such as healthcare, the food industry, water management and information systems. These thematic groupings vary significantly in their applied methods, evaluation indicators, and application areas, confirming their unique contributions.

Among the limitations of the research, is the fact, that the analysis was restricted solely to data processed from the Scopus database. Another shortcoming is that the PRISMA methodology was applied in a modified version, focusing on filtering the dataset according to general criteria. A further limitation is that the qualitative analysis of the final set was conducted based on abstracts rather than full manuscripts. As part of future research, the authors plan to expand the analysis to include the Web of Science (WoS) database, as well as the domain of robotics and collaborative robots.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was written with the financial support of the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences as a part of the project No. VEGA 1/0518/22 *“Implementation of integrated management systems with value-oriented requirements for the construction of modular collaborative workplaces”*.

This article was written with the support of the Cultural and Educational Grant Agency of the Ministry of Education, Research, Development and Youth of the Slovak Republic as a part of the project No. KEGA 025STU-4/2023 *“Building the Modular Laboratory for the Development of Management Systems Auditing Skills”*.

REFERENCES

- Barbosa, A. D. S., Bueno da Silva, L., de Souza, V. F., & Morioka, S. N. (2022). Integrated Management Systems: their organizational impacts. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(7–8), 794–817. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1893685>
- Björnsdóttir, S. H., Jensson, P., de Boer, R. J., & Thorsteinsson, S. E. (2022). The importance of risk management: What is missing in ISO standards? *Risk Analysis*, 42(4), 659–691. <https://doi.org/10.1111/risa.13803>
- Bravi, L., & Murmura, F. (2022). Evidences about ISO 9001:2015 and ISO 9004:2018 implementation in different-size organisations. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(11–12), 1366–1386. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1954900>
- Cabecinhas, M., Sampaio, P., & Casadesús, M. (2021, December). A model to assess the impacts of ISO management systems standards. In 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (pp. 1208–1215). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9672900>
- Culot, G., Nassimbeni, G., Podrecca, M., & Sartor, M. (2021). The ISO/IEC 27001 information security management standard: Literature review and theory-based research agenda. *The TQM Journal*, 33(7), 76–105. <https://doi.org/10.1108/TQM-09-2020-0202>
- Domingues, J. P. T., Sampaio, P., & Arezes, P. M. (2012, December). Latest developments aiming an integrated management systems tool focusing maturity assessment. In 2012

- IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (pp. 2063–2067). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2012.6838109>
- Dragomir, M., Popescu, S., Neamțu, C., Dragomir, D., & Bodi, Ș. (2017). Seeing the immaterial: A new instrument for evaluating integrated management systems' maturity. *Sustainability*, 9(9), 1643. <https://doi.org/10.3390/su9091643>
- Francisco, F. E., Costa, A. C. F., Sampaio, P. A. C. A., Domingues, P., & de Oliveira, O. J. (2024). Implementation and improvement of Integrated Management Systems: recommendations for their adaptation to the ISO High-Level structure. *Cleaner Environmental Systems*, 15, 100227. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100227>
- Garengo, P., & Biazzo, S. (2013). From ISO quality standards to an integrated management system: An implementation process in SME. *Total Quality Management & Business Excellence*, 24(3–4), 310–335. <https://doi.org/10.1080/14783363.2012.704282>
- Gianni, M., Gotzamani, K., & Tsiotras, G. (2017). Multiple perspectives on integrated management systems and corporate sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1297–1311. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.061>
- Hussain, T., Eskildsen, J. K., & Edgeman, R. (2020). The intellectual structure of research in ISO 9000 standard series (1987–2015): A bibliometric analysis. *Total Quality Management & Business Excellence*, 31(11–12), 1195–1224. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1469977>
- ISO. (n.d.). ISO - International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/home.html>
- Maier, D., Olaru, M., Hohan, A., & Maier, A. (2013, November). Development of an organization by adopting the integrated management systems. In *European Conference on Management, Leadership & Governance* (p. 507). Academic Conferences International Limited.
- Marrugo, E. A. B., Aleman, M. M., Giraldo, I. O., Calderon, D. D. S., & Osorio, B. C. (2024). Integración y usos de los sistemas de gestión ISO 9001, 14001 y 45001 en el sector industrial. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 26(2), 651–669. <https://doi.org/10.36390/telos262.14>
- Martins, J., Gonçalves, R., & Branco, F. (2024). A bibliometric analysis and visualization of e-learning adoption using VOSviewer. *Universal Access in the Information Society*, 23, 1177–1191. <https://doi.org/10.1007/s10209-022-00953-0>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Rochman, S., Rustaman, N., Ramalis, T., & Amri, K. (2024). How bibliometric analysis using VOSviewer based on artificial intelligence data. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 4(2), 251–294. <https://doi.org/10.17509/ajse.v4i2.71567>
- Su, H. C., Dhanorkar, S., & Linderman, K. (2015). A competitive advantage from the implementation timing of ISO management standards. *Journal of Operations Management*, 37, 31–44. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2015.03.004>

- Susanto, D. A., Suef, M., Karningsih, P. D., & Prasetya, B. (2025). ISO 9001 implementation model: A review and future research agenda. *The TQM Journal*, 37(5), 1342–1363. <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2023-0343>
- Surkov, I. V., Kantere, V. M., Motovilov, K. Y., & Renzyaeva, T. V. (2015). The development of an integrated management system to ensure the quality stability and food safety. *Foods and Raw Materials*, 3(1), 111–119. <https://doi.org/10.12737/11245>
- Talapatra, S., Santos, G., Sharf Uddin, K., & Carvalho, F. (2019). Main benefits of integrated management systems through literature review. *On Quality Innovation and Sustainability*, 13(4), 85-97. <https://doi.org/10.24874/IJQR13.04-19>
- Tarí, J. J., Molina-Azorín, J. F., & Heras, I. (2012). Benefits of the ISO 9001 and ISO 14001 standards: A literature review. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 5(2), 297–322. <https://doi.org/10.3926/jiem.488>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., ... & Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467–473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Trierweiler, A. C., Bornia, A. C., Sobierajski Gisi, M. F., Spenassato, D., Severo-Peixe, B. C., & Ribeiro Rotta, M. J. (2016). An exploratory survey on the topic integrated management systems. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 13(2). <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2016.v13.n2.a5>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Zebek, E. (2021). Environmental management of ISO 14001 system enforcement in EU countries. *Revista Europea de Derecho Comparado*, 44, 53. <https://doi.org/10.31743/recl.9958>
- Zeng, S. X., Xie, X. M., Tam, C. M., & Shen, L. Y. (2011). An empirical examination of benefits from implementing integrated management systems (IMS). *Total Quality Management*, 22(2), 173–186. <https://doi.org/10.1080/14783363.2010.530797>

CONTACT:

Ing. Augustín Stareček, PhD., Ing. Paed. IGIP
Ing. Jana Mesárošová, PhD.
Ing. Martin Hirtl

Institute of Industrial Engineering and Management
Faculty of Materials Science and Technology in Trnava
Slovak University of Technology in Bratislava
Jána Bottu 25, 917 24 Trnava, Slovakia
augustin.starecek@stuba.sk
jana.mesarosova@stuba.sk
martin.hirtl@stuba.sk

TRENDY, PRÍNOSY A REGULAČNÝ RÁMEC UMELEJ INTELIGENCIE V PRIEMYSELNEJ VÝROBE A LOGISTIKE

TRENDS, BENEFITS, AND REGULATORY FRAMEWORKS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INDUSTRIAL MANUFACTURING AND LOGISTICS

Tomáš SULYOK, Helena MAKYŠOVÁ

ABSTRAKT

Príspevok poskytuje výstup analýzy aktuálnej vedeckej literatúry a priemyselných správ o zavádzaní umelej inteligencie v oblasti priemyselnej výroby a logistiky. Ponúka prehľad hlavných aplikačných oblastí, trendov a bariér prijatia v období rokov 2019 až 2024. Pozornosť je venovaná technologickej pripravenosti, dátovej infraštruktúre a regulačným rámcom, vrátane Aktu o umelej inteligencii Európskej únie. Zistenia poukazujú na obmedzenú mieru integrácie umelej inteligencie, často obmedzenú na pilotné projekty. Medzi hlavné prekážky patria nedostatok odborných kapacít, finančné obmedzenia a regulačná neistota. Prehľad identifikuje rozdiely v adopcii medzi podnikmi rôznej veľkosti a sektora. Typickými príkladmi aplikácie sú prediktívna údržba a detekcia anomálií. Literárna rešerš sumarizuje existujúce poznatky v štruktúrovanej forme, vhodnej na orientáciu v súčasnom stave výskumu a praxe.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: *umelá inteligencia, priemyselná výroba, logistika, adopcia technológií, regulačný rámec*

ABSTRAKT

The paper presents the results of an analysis of current scientific literature and industrial reports on the implementation of artificial intelligence in industrial production and logistics. It provides an overview of key application areas, trends, and adoption barriers between 2019 and 2024. Attention is devoted to technological readiness, data infrastructure, and regulatory frameworks, including the European Union's Artificial Intelligence Act. The findings indicate a limited degree of AI integration, often restricted to pilot projects. Major obstacles include a lack of expert capacity, financial constraints, and regulatory uncertainty. The review identifies differences in adoption across companies of varying sizes and sectors. Typical application examples include predictive maintenance and anomaly detection. The literature review summarizes existing knowledge in a structured form, suitable for orientation within the current state of research and practice.

KEYWORDS: *artificial intelligence, industrial production, logistics, technology adoption, regulatory framework*

ÚVOD

Príspevok vychádza z kvalitatívnej analýzy odborných článkov a podnikových reportov publikovaných v rokoch 2019–2024. Cieľom je systematicky zhrnúť aktuálne trendy, praktické aplikácie a hlavné výzvy implementácie umelej inteligencie (AI) v priemyselnej výrobe a logistike. Analýza sa sústreďuje na reálne podmienky zavádzania AI v podnikoch, s dôrazom na faktory ovplyvňujúce úspešnosť integrácie, vrátane rozpočtových a personálnych obmedzení, organizačnej kultúry a legislatívneho rámca - Akt o umelej inteligencii Európskej únie (AI Act EÚ). Táto literárna rešerš:

- mapuje aktuálne aplikácie AI v priemyselnej výrobe a logistike,
- identifikuje hlavné výzvy priemyselnej integrácie AI,
- analyzuje vplyv AI Act EÚ a faktory ovplyvňujúce ďalšiu adopciu AI v podnikoch.

METODOLÓGIA

Rešerš bola realizovaná v databázach SCOPUS, Web of Science a IEEE Xplore, doplnených o voľne dostupné platformy Google a SciSpace. Hlavným jazykom vyhľadávania bola angličtina. Použité boli kľúčové výrazy ako:

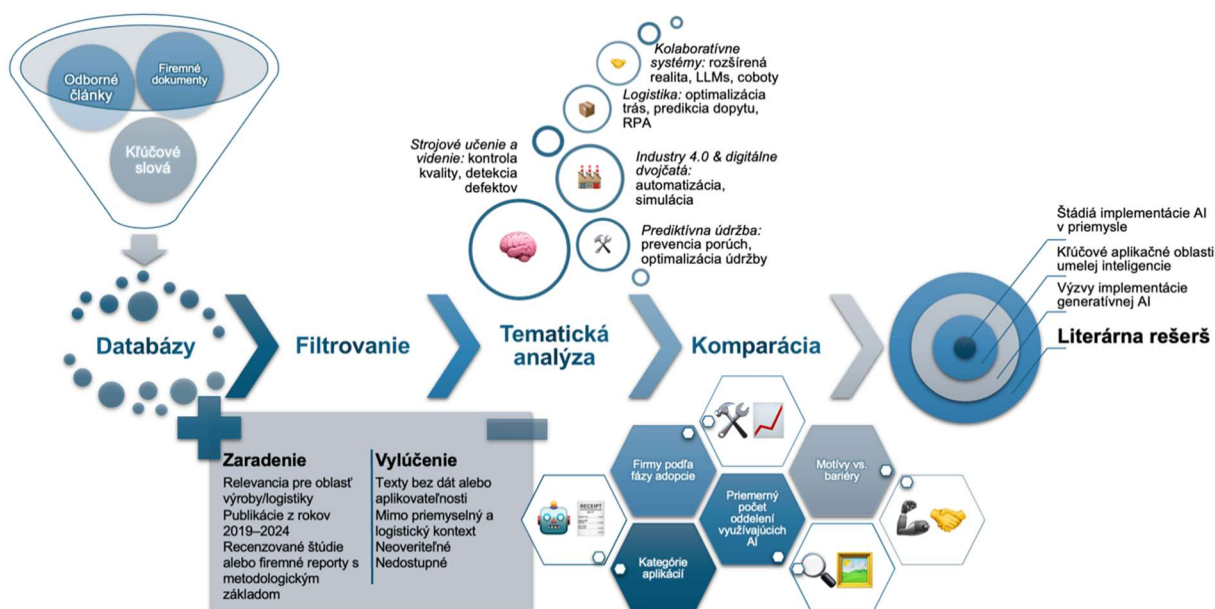
- (“Artificial Intelligence” OR “AI”) AND (“Manufacturing” OR “Logistics”) AND (“Predictive Maintenance” OR “Industry 4.0”)
- intelligent systems in manufacturing
- data-driven optimization in logistics
- real-world automation use cases

Rešerš a analytický postup sumarizuje obrázok 1. Získané publikácie boli tematicky rozdelené podľa oblastí (napr. prediktívna údržba, digitálne školenia) a porovnané medzi akademickými a aplikačnými štúdiami. Výskumné otázky sa zameriavali na:

1. Praktické využitie AI v priemyselnej výrobe.
2. Výzvy integrácie AI do prevádzky.
3. Dopady regulačných rámcov, vrátane AI Act EÚ.

Výber zdrojov sa riadil ich tematickou relevanciou a praktickou výpovednou hodnotou. Do analýzy boli zaradené iba texty s dostupnými dátami a jasným priemyselným kontextom; zdroje mimo tejto oblasti alebo bez možnosti overenia boli vylúčené. Tematická analýza prebiehala manuálne pomocou induktívneho prístupu s cieľom identifikovať opakujúce sa témy (napr. prediktívna údržba, logistická optimalizácia). Komparatívna analýza porovnávala výsledky medzi vedeckými a podnikovými štúdiami a identifikovala rozdiely. Overovanie zdrojov zo SciSpace prebiehalo na základe konzistencie a vierohodnosti.

Hlavnými limitmi rešerše sú obmedzený rozsah databáz, nezahrnutie konkrétnych geografických trhov a úzka tematická selekcia.



Obrázok 1 Krokový postup rešeršného a analytického procesu (Vlastné spracovanie, 2025).

VÝSLEDKY

Na základe reportu od spoločnosti Microsoft (2024), je možné rozdeliť nasadenie AI v priemyselnej výrobe a logistike do niekoľkých štádií alebo fáz. Identifikované boli štádia: prieskum, plánovanie, škálovanie a realizácia. Popis jednotlivých štádií je nasledovný:

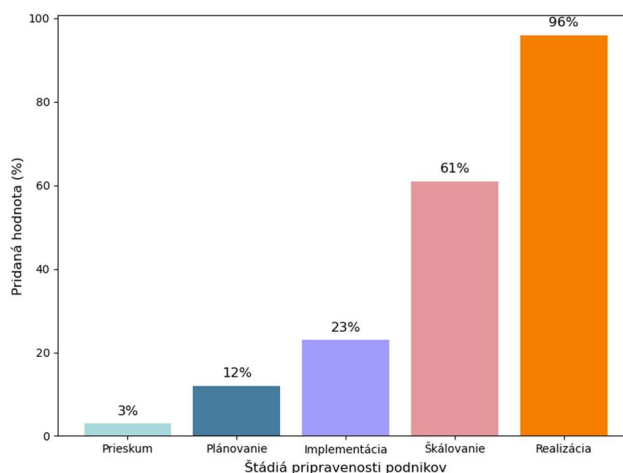
- **Fáza prieskumu a plánovania** sa vyznačuje realizáciou prieskumných aktivít a experimentov na overenie konceptov (Proof of Concept, PoC). Podniky zhromažďujú základné interné dáta a zosúladujú projekty umelej inteligencie s podnikateľskými cieľmi. V tomto kroku často identifikujú potrebu modernizácie existujúcej infraštruktúry a nastavujú konkrétnejšie stratégie v oblasti podnikových dát.
- **Fáza implementácia a škálovania** - podniky v tomto štádiu vytvárajú špecializované tímy a pozície pre vedenie implementácie umelej inteligencie do podnikových procesov. Tieto tímy posilňujú dátové toky a zavádzajú AI riešenia v oblastiach ako prediktívna údržba a predikcia dopytu. Možnosti škálovania a implementácie ovplyvňujú podnikový rozpočet. Iba 52 % výrobných podnikov deklaruje dostatočné financovanie pre vnútropodnikové projekty škálovania a implementácie umelej inteligencie (Microsoft, 2024).
- **Fáza realizácia** - Podniky v tomto štádiu dosahujú vyššiu úroveň správy nasadených riešení na báze umelej inteligencie. Pravidelne vykonávajú monitoring modelov a organizujú školenia pre zamestnancov. Podľa Microsoft (2024) viaceré podniky definujú ciele zamerané na zákazníka alebo udržateľnosť a umelú inteligenciu používajú na prispôsobenie a plnenie týchto cieľov.

Pripravenosť výrobných a logistických podnikov na umelú inteligenciu

Hodnotiaca správa Microsoft (2024) mapuje aktuálny stav a úroveň pripravenosti priemyselných a logistických podnikov na implementáciu umelej inteligencie. Výsledky potvrdzujú rozdiely medzi stupňami zrelosti. Podľa správy (Microsoft, 2024):

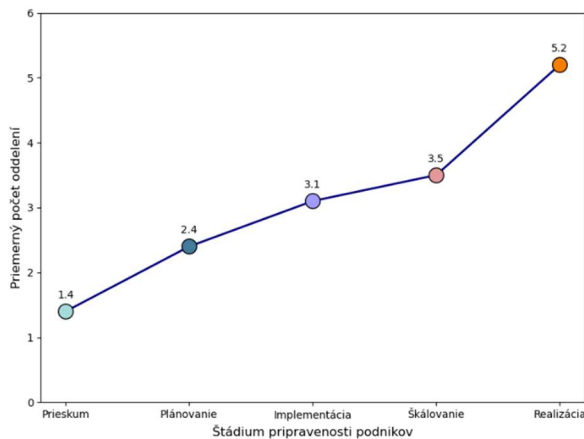
- 38 % výrobných podnikov sa nachádza vo fázach prieskumu a plánovania,
- 23 % prešlo do fázy škálovania,
- 5% dosiahlo najvyššiu úroveň (realizáciu),
- 17 % výrobcov zaviedlo pilotné AI riešenia,
- 52 % podnikov alokuje dostatočný rozpočet alebo zdroje,
- 66 % firiem uvádza efektivitu prevádzky ako hlavný dôvod pre zavedenie AI,
- 54 % prioritizuje bezpečnosť a súlad s reguláciami AI.

Obrázok 2 zobrazuje podiel podnikov, ktoré identifikujú merateľnú pridanú hodnotu AI v jednotlivých fázach pripravenosti. Vo fáze prieskumu uviedli pridanú hodnotu len 3 % podnikov. V pokročilom štádiu realizácie potvrdilo zvýšený až vysoký prínos AI pre operačný a obchodný model 96 % podnikov.



Obrázok 2 Percentuálne vyjadrenie pridanej hodnoty v závislosti od štádia implementácie umelej inteligencie v podnikoch (Microsoft, 2024).

Výsledky hodnotiacej správy poukazujú na nerovnomerné rozšírenie využívania umelej inteligencie vo výrobných a logistických podnikoch. Napriek všeobecnému záujmu, len malé percento firiem systematicky integruje umelú inteligenciu do operačných procesov. Podniky vo fáze realizácie evidujú viac ako trojnásobný počet oddelení, ktoré aktívne používajú technológie s AI, v porovnaní s firmami vo fáze prieskumu (Microsoft, 2024). Obrázok 3 znázorňuje priemerný počet oddelení, ktoré využívajú AI v každodennej prevádzke, pričom údaje sú rozdelené podľa jednotlivých fáz pripravenosti (prieskum, plánovanie, implementácia, škálovanie, realizácia).



Obrázok 3 Priemerný počet oddelení využívajúcich AI vo svojich každodenných funkciách (Microsoft, 2024).

Aplikácie AI v priemyselnej výrobe a logistike

Využitie umelej inteligencie v priemyselnej výrobe a logistike vedie k automatizácii činností, presnejšiemu monitorovaniu a efektívnejšiemu riadeniu výrobných a logistických operácií. Podniky aplikujú AI na optimalizáciu výrobných procesov, riadenie kvality a skracovanie dodacích lehôt. Medzi hlavné oblasti využitia patria:

- **Strojové učenie a videnie, rozpoznávanie vzorov**

Systémy strojového učenia a technického videnia využívajú pokročilé rozpoznávanie vzorov na detekciu odchýlok a defektov vo výrobnom procese (Zhou et al., 2024). Dokážu porovnávať vizuálne vstupy s referenčnými obrazmi a identifikovať anomálie až 1 000-krát rýchlejšie a

presnejšie než človek (ESP, 2024). V automobilovom priemysle sa uplatňujú pri kontrole kvality dielov a kontrole montáže, zatiaľ čo v potravinárstve slúžia na overovanie obalov a označovania. Automatizovaná kontrola kvality znižuje počet reklamácií a náklady na opravy, pričom eliminuje chyby spôsobené človekom a zabezpečuje konzistentnú výstupnú kvalitu (Etisoft, 2024).

- **Generatívna umelá inteligencia v detekcii anomálií**

Modely generatívnej umelej inteligencie sa využívajú pri rozširovaní výrobných datasetov prostredníctvom simulácií realistických anomálií, čím vytvárajú podklady na tréovanie systémov strojového učenia a strojového videnia (Yafei et al., 2024). Spoločnosť SAP uvádza, že takto generované dáta imitujú rôzne prevádzkové scenáre a zvyšujú pripravenosť detekčných algoritmov (SAP, 2024). Tieto prístupy umožňujú systémom identifikovať aj zriedkavé alebo slabo rozpoznateľné chyby, ktoré by v reálnej prevádzke nemuseli byť dostatočne zachytené (Sekaj, 2024).

- **Prediktívna údržba**

Podniky zavádzajú prediktívnu údržbu na základe analýzy senzorových dát a historických záznamov z údržby s cieľom včas identifikovať potenciálne poruchy zariadení. Tento prístup znižuje neplánované prestoje a predlžuje životnosť výrobných komponentov (Mohapatra, 2024). Podľa analýzy PwC môže implementácia takéhoto systému znížiť náklady na údržbu o 20–30 % a skrátiť prestoje až o 70–75 % (Florkin, 2024a). Toyota aplikovala tento model vo svojich výrobných linkách kde využíva údaje zo senzorov zabudovaných priamo do vozidiel na predikciu porúch komponentov, včasnú signalizáciu potreby servisného zásahu a zároveň tak prispieva k zvýšeniu bezpečnosti a plynulosti výroby (OBS, 2024). Na dosiahnutie presnej predikcie je nevyhnutné zhromažďovať kvalitné prevádzkové dáta vrátane histórie porúch a opráv. Presnosť predikcie zvyšuje množstvo a frekvencia meraní relevantných parametrov (Tlačové správy SME, 2024). Shell monitoruje pomocou umelej inteligencie vyše 10 000 zariadení, od ventilov cez kompresory, až po čerpadlá. Takto Shell znížil náklady a optimalizoval údržbu (ATP Journal, 2024c). Festo zaznamenalo, že prediktívna údržba s využitím umelej inteligencie skrátila čas do opravy o 20 % a obmedzila neplánované odstávky až o štvrtinu (Festo, 2024).

- **Industry 4.0 a inteligentné podniky**

Priemyselné podniky integrujú IoT zariadenia na zber dát v reálnom čase a ich následné vyhodnocovanie prostredníctvom automatizovaných systémov s cieľom optimalizovať výrobné procesy (Teerasoponpong & Sugunnasil, 2022). Rozšírenie dátovej analytiky naprieč sektormi vedie k merateľným zlepšeniam v riadení výroby. Podľa nemeckej asociácie Bitkom sa očakáva, že trh s AI technológiami v priemysle vzrastie do konca roku 2025 o 92 %, čím sa jeho hodnota zdvojnásobí (ATP Journal, 2024a; McKinsey, 2024). Bosch identifikuje vysoký ekonomický potenciál umelej inteligencie v rámci svojich výrobných prevádzok, pričom PwC predpokladá, že do roku 2030 prispeje umelá inteligencia k nárastu globálneho HDP o 14 % (Trend, 2024).

- **Hlboké učenie formou odmeňovania (Deep Reinforcement Learning, DRL) a digitálne dvojča**

Digitálne dvojčatá riadené umelou inteligenciou zvyšujú presnosť simulácií a poskytujú aktuálne a prediktívne údaje o výrobe. Systémy založené na učení na základe odmen a trestov (DRL) dokážu optimalizovať riadenie v reálnom čase aj v prostredí s nestabilnými podmienkami (Zhang et al., 2023; Yang & Liu, 2024). Khoudi et al. (2024) preukázali, že využitie DRL v digitálnom dvojčatovom modeli vedie k zníženiu nákladov a zvýšeniu kvality výstupu. Mattera, Caggiano a Nele (2024) demonštrovali aplikáciu DRL pri riadení procesu aditívnej výroby metódou WAAM, kde technológia zvládla zložité rozhodovanie a adaptáciu parametrov počas zvarovania.

- **Adaptívno-kognitívne výrobné systémy (ACMS)**

Systémy kombinujúce ľudskú odbornosť s algoritmami umelej inteligencie zvyšujú operačnú odolnosť výroby prostredníctvom dynamického pridelovania úloh (ElMaraghy & ElMaraghy, 2022). Podľa Asseco CEIT zavedenie digitálneho dvojčata Twiserion Digital Manager zvýšilo produktivitu o 20 %, znížilo rozpracovanú výrobu o 30 % a prispelo k vyššej bezpečnosti pracovníkov. Virtualizácia procesov a rozsiahle nasadenie senzorov zabezpečujú zber dát, ktoré sa následne analyzujú na optimalizáciu výrobných tokov (Asseco CEIT, 2024a; Asseco CEIT, 2024b; Asseco CEIT, 2024c).

- **Integrácia rozšírenej reality (AR) a umelej inteligencie**

Systémy rozšírenej reality (AR) podporované umelou inteligenciou rozširujú situačné povedomie operátorov a umožňujú monitoring v reálnom čase (Sesana & Tavola, 2021). Vizualizácia zložitých výrobných procesov sa využíva pri zaškolení a navigácii pracovníkov vo výrobnej prevádzke. Technici sledujú digitálne informácie premietané do reálneho prostredia a pracujú podľa jednoznačných pokynov pre montáž a kontrolu. Týmto spôsobom nahradili papierovú dokumentáciu (ATP Journal, 2024b). Podľa EU-OSHA (2024) zaviedol taliansky výrobca automobilových komponentov nástroje na riadenie práce pomocou AI, ktoré sa využívajú pri pridelovaní úloh, kontrole kvality a koordinácii tímov. Zaznamenali aj zlepšenie v oblasti bezpečnosti práce.

- **Kolaboratívne roboty (Cobots) a veľké jazykové modely (LLMs)**

Roboty riadené umelou inteligenciou vykonávajú opakované alebo rizikové úlohy v spolupráci s operátormi. Znižujú expozíciu pracovníkov riziku, a uvoľňujú kapacity pre komplexné činnosti (Valaboju, 2024). Veľké jazykové modely podporujú hlasové ovládanie, zjednodušujú interakciu so strojmi a zvyšujú funkčnosť riadiacich systémov (Lim et al., 2024). V simuláciách výroby dosiahol GPT-4 úspešnosť 100 % pri dvojkrokových a 86 % pri štvorkrokových procesoch, čo potvrdzuje schopnosť riadiť viacstupňové operácie (Lim et al., 2024). Podľa World Economic Forum (2024) môžu LLMs slúžiť ako rozhranie pre prácu s rozsiahlymi databázami a premostiť znalostné rozdiely medzi pracovníkmi a systémami.

- **Autonómne operácie**

Systémy riadené umelou inteligenciou znižujú rozsah manuálnych zásahov a zrýchľujú logistické operácie (Reddicharla & Ali, 2024). GEFCO v sklade v Zavare pri Trnave nasadilo drony na inventarizáciu zásob. Spoločnosť skrátila čas inventúry a predpokladá návratnosť investície za približne 17 mesiacov (ATP Journal, 2022). Linde Material Handling implementovalo autonómne mobilné roboty, ktoré prepravujú náklady do 1 500 kg a spolupracujú s pracovníkmi v sklade. Firma zracionalizovala vnútropodnikové logistické toky a znížila počet opakovaných ručných činností (Linde Material Handling, 2024).

- **Automatizácia robotických procesov (RPA)**

Umelá inteligencia automatizuje opakované logistické úlohy, napríklad triedenie a balenie. Amazon Robotics nasadil systém Robin, ktorý denne manipuluje so 6 miliónmi balíkov a celkovo spracoval viac ako 2 miliardy kusov. Tento systém využíva pokročilé algoritmy na plánovanie výberu a manipuláciu s balíkmi (Li et al., 2023, Thenmozhi & Krisknakumari, 2024). Spoločnosť EVS International uvádza, že nasadenie paletizačných robotov v logistike skracuje čas potrebný na triedenie, balenie a stohovanie. Kolaboratívny robot s nosnosťou 12 kg a dosahom 1300 mm zvláda väčšie zaťaženie a objemnejšie predmety v skladoch (EVS International, 2024).

- **Predikcia dopytu a správa zásob a obstarávanie**

Podniky využívajú AI na predikciu dopytu a optimalizáciu zásob s cieľom minimalizovať riziko nedostatku alebo nadmerných zásob (Shekhar, 2023). McKinsey uvádza, že analýza výdavkov pomocou AI znižuje obstarávacie náklady až o 20 % pričom podľa PwC úspory dosahujú 15 % až 25 %. Unilever implementoval AI v obstarávaní a zaznamenal pokles nákladov o 12 % v priebehu dvoch rokov. Accenture uvádza, že AI dokáže zvýšiť efektívnosť

obstarávania až o 40 %. Deloitte identifikoval skrátenie cyklu obstarávania o 30 % pri použití AI. IBM Watson analyzuje podmienky v dodávateľských zmluvách a kontroluje ich dodržiavanie. Gartner zaznamenal, že spoločnosti, ktoré zaviedli strojové učenie do prognózovania dopytu, zvýšili presnosť prognóz o 20 % (Florkin, 2024a; Florkin, 2024b).

- **Optimalizácia trás, dynamická koordinácia dodávateľského reťazca a monitorovanie v reálnom čase**

Generatívna umelá inteligencia sa používa na spracovanie dát o doprave, počasí a rozvrhoch doručovania, pričom sa využíva na optimalizáciu trás a koordináciu partnerov v dodávateľskom reťazci v reálnom čase (Adesoga et al., 2024; Khlie et al., 2024). Systémy s AI a IoT senzormi poskytujú aktuálne údaje o stave dodávateľského reťazca (Narayanan et al., 2024). Kombináciou AI a blockchainu firmy zavádzajú bezpečné a transparentné zdieľanie dát v rámci dodávateľských procesov (Singh & Prabhu, 2023). Adaptívne systémy AI monitorujú riziká a riadia narušenia dodávok, napríklad pri prírodných katastrofách alebo ekonomických výkyvoch (Riad et al., 2024).

DISKUSIA

Diskusia nadväzuje na zistenia literárnej rešerše a interpretuje ich v kontexte aktuálnych výziev, legislatívnych rámcov a praktických dôsledkov pre priemyselné podniky. Výsledky literárnej rešerše potvrdzujú, že integrácia umelej inteligencie v priemyselnej výrobe a logistike je nerovnomerná a ovplyvnená viacerými kritickými faktormi. Zatiaľ čo technológie ako prediktívna údržba či digitálne dvojčatá dosiahli v niektorých podnikoch fázu realizácie, väčšina organizácií stále zostáva v skorých etapách prieskumu a plánovania (Microsoft, 2024). Hlavnou bariérou sú finančné limity, ktoré bránia investíciám do potrebnej dátovej infraštruktúry a personálnych kapacít (Florkin, 2024a). Výrazný podiel podnikov deklaruje nedostatok špecializovaných tímov či nedostatočné rozpočtové možnosti na prechod od pilotných projektov k stabilnej prevádzke (Microsoft, 2024).

Analýza tiež zdôrazňuje význam generatívnych modelov v oblasti detekcie anomálií a simulácie dát. Aj keď tieto technológie umožňujú zvyšovanie kvality procesov, podniky musia čeliť výzvam ako zabezpečenie kvalitných tréningových dát a riešenie etických otázok vrátane duševného vlastníctva (SAP, 2024; Sekaj, 2024). Nedostatok odborných kapacít a finančných zdrojov môže limitovať ich širšie využitie.

V oblasti regulácií zohráva kľúčovú úlohu AI Act Európskej únie, ktorý môže zavádzanie AI spomaliť, zároveň však jasne stanovuje rámec pre transparentnosť a dôveryhodnosť AI systémov. Podniky vnímajú regulácie ako dvojsečnú zbraň, nakoľko na jednej strane poskytujú istotu a jasné pravidlá, na druhej však prinášajú riziko pokút a potreby úprav už nasadených systémov (EU-OSHA, 2024). To vedie k opatrnejšiemu prístupu k investíciám a potenciálne k oneskoreniu adopcie AI.

Limitácie tohto výskumu zahŕňajú použitie prevažne anglických zdrojov, ktoré môžu opomenúť relevantné regionálne štúdie. Taktiež nedostupnosť niektorých podnikových dát obmedzuje celkový pohľad na skutočný stav adopcie AI. Budúce výskumy by mali rozšíriť geografické zameranie a detailnejšie analyzovať konkrétne prípadové štúdie, ktoré poskytnú hlbší pohľad do špecifik implementácie AI v rôznych priemyselných sektoroch.

Pre prax vyplýva potreba jasného plánovania rozpočtov a investícií do ľudských kapacít, ako aj potreba rozvoja kompetenčných centier zameraných na integráciu AI do výrobných a logistických operácií. Systematická implementácia AI vyžaduje koordinované úsilie naprieč celou organizačnou štruktúrou, s dôrazom na etické a regulačné aspekty.

ZÁVER

Výsledky analýzy potvrdzujú, že implementácia umelej inteligencie v priemyselnej výrobe a logistike prebieha prevažne v úvodných fázach. Medzi hlavné oblasti využitia patria prediktívna údržba, automatizovaná kontrola kvality a optimalizácia procesov. Integrácia generatívnych modelov naráža na bariéry v podobe nedostatku kvalitných dát a odborných kapacít. Regulačné rámce, najmä AI Act EÚ, ovplyvňujú charakter a rýchlosť adopcie technológií. Udržiateľné zavádzanie AI si vyžaduje zosúladienie technickej infraštruktúry, organizačných schopností a legislatívnych požiadaviek. Budúci výskum by mal analyzovať prípadové štúdie v regionálnom kontexte a zamerať sa na kvantifikáciu prínosov v rôznych typoch výrobných prostredí.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok je súčasťou vedeckého projektu VEGU č. 2/0013/24: *Akceptácia a používanie inovácií 4.0 vo vzťahu ku kognitívnym prínosom a záťaži v kontexte cieľov udržateľného rozvoja*.

BIBLIOGRAFICKÉ ODKAZY

Adesoga, T. O., Ajibaye, T. O., Nwafor, K. C., Imam-Lawal, U. T., Ikekwere, E. A. and Ekwunife, D. I. (2024) 'The rise of the "smart" supply chain: How AI and automation are revolutionizing logistics', *International Journal of Science and Research Archive*, 12(2), p.1304.

Dostupné na: <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.12.2.1304> [Citované 19 Jan. 2025].

Asseco CEIT (2024a). *Digitálne dvojča pre neustále zlepšovanie výroby*. [online]
Dostupné na: <https://www.asseco-ceit.com/sk/pripadove-studie/digitalne-dvojca-pre-neustale-zlepsovanie-vyroby/>
[Citované 19. januára 2025].

Asseco CEIT (2024b). *Twiserion Digital Manager*. [online]
Dostupné na: <https://www.asseco-ceit.com/sk/twiserion-digital-manager/>
[Citované 19. januára 2025].

Asseco CEIT (2024c). *Sila digitálnej transformácie vo výrobe za pomoci moderných technológií*. [online]
Dostupné na: <https://www.asseco-ceit.com/sk/sila-digitalnej-transformacie-vo-vyrobe-za-pomoci-modernych-technologii/>
[Citované 19. januára 2025].

ATP Journal (2022). 'Drony a mobilná robotika majú svoje miesto už aj v logistike'. [online]
Dostupné na: https://www.atpjournals.sk/rubriky/aplikacie/drony-a-mobilna-robotika-maju-svoje-miesto-uz-aj-v-logistike.html?page_id=34585
[Citované 19. januára 2025].

ATP Journal (2024a). 'Umelá inteligencia a Priemysel 4.0'. [online]
Dostupné na: <https://www.atpjournals.sk/novetrendy/umela-inteligencia-apriemysel-4.0.html>
[Citované 19. januára 2025].

ATP Journal (2024b). 'Ako rozšírená a zmiešaná realita zapadajú do Priemyslu 4.0'. [online]
Dostupné na: https://www.atpjournals.sk/rubriky/prehladove-clanky/ako-rozsirena-azmiesana-realita-zapadaju-dopriemyslu4.0.html?page_id=31011
[Citované 19. januára 2025].

- ATP Journal (2024c). 'Shell využíva UI v prediktívnej údržbe na monitorovanie 10 000 zariadení'. [online]
Dostupné na: https://www.atpjournals.sk/rubriky/aplikacie/shell-vyuziva-ui-v-prediktivnej-udrzbe-na-monitorovanie-10-000-zariadeni.html?page_id=39961
[Citované 19. januára 2025].
- ElMaraghy, H. A. and ElMaraghy, W. (2022) 'Adaptive Cognitive Manufacturing System (ACMS) – a new paradigm', *International Journal of Production Research*, 60(20), pp. 6267–6293.
Dostupné na: <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2078248> [Citované 19. januára 2025].
- ESP (2024). *Strojové videnie: Inšpekcia a kontrola kvality*. [online]
Dostupné na: <https://esp.cz/cs/reseni/vyroba/strojove-videni-inspekce-kontrola-kvality>
[Citované 19. januára 2025].
- Etisoft (2024). *Ako funguje systém videnia a prečo by ste ho mali implementovať vo vašej spoločnosti?*. [online]
Dostupné na: <https://etisoft.sk/etiside/ako-funguje-system-videnia-a-preco-by-ste-ho-mali-implementovat-vo-vasej-spolocnosti>
[Citované 19. januára 2025].
- EU-OSHA (2024). *AI-based worker management in an automotive parts manufacturer in Italy: Implications for occupational safety and health*. [online]
Dostupné na: <https://osha.europa.eu/sk/publications/ai-based-worker-management-automotive-parts-manufacturer-italy-implications-occupational-safety-and-health>
[Citované 19. januára 2025].
- EVS International (2024). 'Ako paletizačné roboty riadia automatizáciu v inteligentných logistických operáciách'. [online]
Dostupné na: <https://www.evsint.com/sk/how-palletizing-robots-drive-automation-in-smart-logistics-operations/>
[Citované 19. januára 2025].
- Festo (2024). *Prediktívna údržba: Zvýšte OEE pomocou AI*. [online] Dostupné na: https://www.festo.com/sk/sk/e/journal/innovation/zvyste-oe-pomocou-ai-a-prediktivnej-udrzby-id_2018896/
[Citované 19. januára 2025].
- Florkin, J. (2024a). 'AI v digitálnej transformácii'. [online]
Dostupné na: <https://julienflorkin.com/sk/obchodn%C3%A9/digit%C3%A1lny-transform%C3%A1cie/ai-v-digit%C3%A1lnej-transform%C3%A1cii>
[Citované 19. januára 2025].
- Florkin, J. (2024b). *Umelá inteligencia v obstarávaní: Zvyšovanie efektívnosti a znižovanie nákladov*. [online] Dostupné na: <https://julienflorkin.com/sk/oper%C3%A1cie/verejn%C3%A9ho-obstar%C3%A1vania/ai-v-obstar%C3%A1van%C3%AD/> [Citované 20. januára 2025].
- Khdoudi, A., Masrour, T., El Hassani, I. and El Mazgualdi, C. (2024) 'A Deep-Reinforcement-Learning-Based Digital Twin for Manufacturing Process Optimization', *Systems*, 12(2), 38.
Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/systems12020038> [Citované 19. januára 2025].
- Khlie, K., Benmamoun, Z., Jebbor, I. and Serrou, D. (2024) 'Generative AI for enhanced operations and supply chain management', *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(10), p.6637.
Dostupné na: <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i10.6637> [Citované 19. januára 2025].
- Li, S., Keipour, A., Jamieson, K., Hudson, N., Zhao, S., Swan, C. and Bekris, K. (2023) 'Pick Planning Strategies for Large-Scale Package Manipulation', arXiv preprint

- arXiv:2309.13224.
Dostupné na: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2309.13224> [Citované 19. januára 2025].
- Lim, J., Patel, S., Evans, A., Pimley, J., Li, Y. and Kovalenko, I. (2024) 'Enhancing Human-Robot Collaborative Assembly in Manufacturing Systems Using Large Language Models', arXiv preprint arXiv:2406.01915. Dostupné na: <https://arxiv.org/abs/2406.01915> [Citované 19. januára 2025].
- Linde Material Handling (2024). *Autonómne mobilné roboty (AMR)*. [online] Dostupné na: <https://www.linde-mh.sk/sk/Riesenia/Automatizacia/Autonómne-mobilne-roboty/> [Citované 19. januára 2025].
- Mattera, G., Caggiano, A. and Nele, L. (2024) 'Optimal data-driven control of manufacturing processes using reinforcement learning: an application to wire arc additive manufacturing', *Journal of Intelligent Manufacturing*. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02307-w> [Citované 19. januára 2025].
- Microsoft (2024). The AI Strategy Roadmap - Navigating the Stages of AI Value Creation *Zaslané newsletterom/e-mailom, január 2024*.
- Mohapatra, A. (2024) 'Generative AI for Predictive Maintenance: Predicting Equipment Failures and Optimizing Maintenance Schedules Using AI', *International Journal of Scientific Research and Management*, 12(11), p.ec03. Dostupné na: <https://doi.org/10.18535/ijrm/v12i11.ec03> [Citované 19 Jan. 2025].
- Narayanan, N. S. P., Ghapar, F., Chew, L. L., Sundram, V. P. K., Naidu, B. M., Zulfakar, M. H. and Daud, A. (2024) 'Artificial Intelligence-Powered Risk Assessment in Supply Chain Safety', *Information Management and Business Review*, 16(3s(i)), p.4124. Dostupné na: [https://doi.org/10.22610/imbr.v16i3s\(i\)a.4124](https://doi.org/10.22610/imbr.v16i3s(i)a.4124) [Citované 19 Jan. 2025].
- OBS (2024). *Umelá inteligencia je tu a my vám s ňou pomôžeme*. [online] Dostupné na: <https://obs.sk/blog/umela-inteligencia-je-tu-a-my-vam-s-nou-pomozeme> [Citované 19. januára 2025].
- Reddicharla, N. and Ali, M. S. (2024) 'Innovating Oil and Gas Field Operations – Harnessing the Power of Generative AI for Supporting Workforce Towards Achieving Autonomous Operations', *SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition*. Dostupné na: <https://doi.org/10.2118/222046-ms> [Citované 19. januára 2025].
- Riad, M., Naïmi, M. and Okar, C. (2024) 'Enhancing Supply Chain Resilience Through Artificial Intelligence: Developing a Comprehensive Conceptual Framework for AI Implementation and Supply Chain Optimization', *Logistics*, 8(4), p.111. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/logistics8040111> [Citované 19 Jan. 2025].
- SAP (2024). *What is Generative AI?*. [online] Dostupné na: <https://www.sap.com/sk/products/artificial-intelligence/what-is-generative-ai.html> [Citované 19. januára 2025].
- Sekaj, I. (2024). *AI a jej využitie v priemysle*. [online] APZD. Dostupné na: https://www.apzd.sk/wp-content/uploads/2024/10/Ivan-Sekaj_AI-a-jej-vyuzitie-v-priemysle.pdf [Citované 19 Jan. 2025].
- Sesana, M. and Tavola, G. (2021) 'Resilient Manufacturing Systems enabled by AI support to AR equipped operator', *IEEE International Conference on Engineering and Technology*. Dostupné na: <https://doi.org/10.1109/ICE/ITMC52061.2021.9570221> [Citované 19 Jan. 2025].
- Shekhar, E. (2023) 'Generative AI in Supply Chain Management', *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. Dostupné na: <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i9.9786> [Citované 19 Jan. 2025].

- Singh, A. and Prabhu, S. (2023) 'Agile Blockchain-based Risk Management Framework with Integrated Artificial Intelligence in a Supply Chain Industry', *2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAISS)*. Dostupné na: <https://doi.org/10.1109/icaiss58487.2023.10250525> [Citované 19 Jan. 2025].
- Teerasoponpong, S. and Sugunnasil, P. (2022) 'Review on Artificial Intelligence Applications in Manufacturing Industrial Supply Chain – Industry 4.0's Perspective', *2022 ECTI DAMT & NCON*. Dostupné na: <https://doi.org/10.1109/ECTIDAMTNCN53731.2022.9720417> [Citované 19 Jan. 2025].
- Thenmozhi, V. and Krisknakumari, S. (2024) 'Artificial Intelligence in Enhancing Operational Efficiency in Logistics and SCM', *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 11(5), p.107. Dostupné na: <https://doi.org/10.32628/ijrst24115107> [Citované 19 Jan. 2025].
- Tlačové správy SME (2024). 'Na čo myslieť pri prediktívnej údržbe'. [online] Dostupné na: <https://tlacovespravy.sme.sk/c/23148993/na-co-mysliet-pri-prediktivnej-udrzbe.html> [Citované 19. januára 2025].
- Trend (2024). 'Ako nakopnúť Priemysel 4.0? Stavte na umelú inteligenciu'. [online] Dostupné na: <https://www.trend.sk/biznis/ako-nakopnut-priemysel-4-0-stavte-umelu-inteligenciu> [Citované 19. januára 2025].
- Valaboju, P. (2024) 'The Synergistic Impact of Human-AI Collaboration: A Multi-Domain Analysis', *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 10(5). Dostupné na: <https://doi.org/10.32628/cseit241051083> [Citované 19 Jan. 2025].
- World Economic Forum (2024). *Why Large Language Models are the future of manufacturing*. [online] Dostupné na: <https://www.weforum.org/stories/2024/04/why-large-language-models-are-so-important-for-the-future-of-the-manufacturing-industry/> [Citované 19. januára 2025].
- Yafei, X., Wu, Y., Song, J. J., Gong, Y. and Lianga, P. (2024) 'Generative AI in Industrial Revolution: A Comprehensive Research on Transformations, Challenges, and Future Directions', *Journal of Knowledge Learning and Science Technology*, 3(2), p.20. Dostupné na: <https://doi.org/10.60087/jklst.vol.3n2.p20> [Citované 19 Jan. 2025].
- Yang, Y. and Liu, Y. (2024) 'Adaptive Optimization Control Strategy for Intelligent Manufacturing Systems Based on Deep Reinforcement Learning', *Proceedings of the 2024 International Conference on Intelligent Information Systems and Technology (IIST)*. Dostupné na: <https://doi.org/10.1109/iist62526.2024.00044> [Citované 19 Jan. 2025].
- Zhang, R., Lv, J., Bao, J. and Zheng, Y. (2023) 'A digital twin-driven flexible scheduling method in a human-machine collaborative workshop based on hierarchical reinforcement learning', *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 35, pp.1–28. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s10696-023-09498-7> [Citované 19 Jan. 2025].
- Zhou, H., Wolfschläger, D., Florides, C., Werheid, J., Behnen, H., Woltersmann, J.-H., Pinto, T. C., Kemmerling, M., Abdelrazeq, A. and Schmitt, R. H. (2024) 'Generative AI in Industrial Machine Vision - A Review', arXiv. Dostupné na: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2408.10775> [Citované 19 Jan. 2025].

Kontaktné údaje autorov

Ing. Tomáš Sulyok

E-mail: tomas.sulyok@stuba.sk

ORCID iD: 0009-0004-3344-4510

Doc. Ing. Helena Makyšová, PhD.

E-mail: helena.vidovah@stuba.sk

ORCID iD: 0000-0003-3852-2595

Slovenská technická univerzita v Bratislave

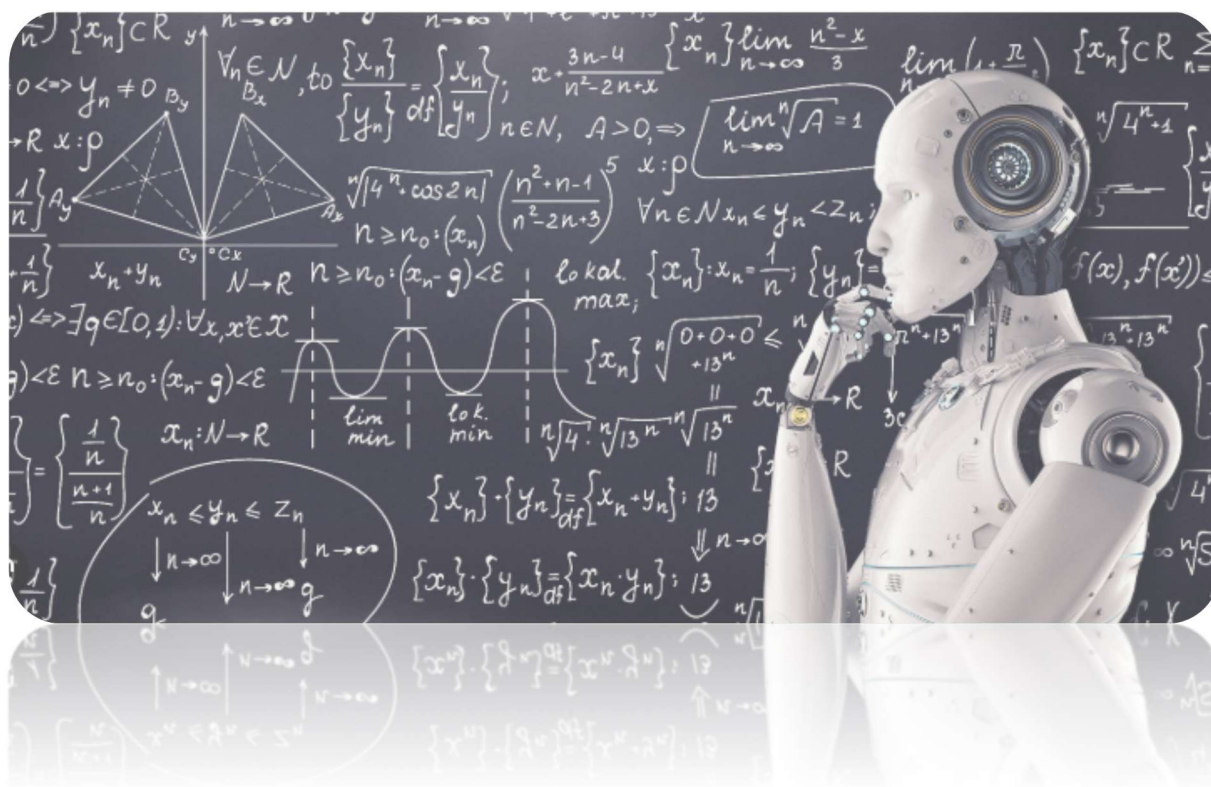
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave,

Ústav priemyselného inžinierstva a manažmentu

Ulica Jána Bottu č. 2781/25,

917 24 Trnava

Slovenská republika



REDAKČNÁ RADA

Dr. hab. Paula Bajdor

Czestochowa University of Technology, Poland

dr inż. Renata Stasiak-Betlejewska

Czestochowa University of Technology, Faculty of Management, Poland

Dr. György Czifra

Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering

Mag. Stefan Friedrich

Ingenium Education – Internationale Fort- und Weiterbildung, Graz, Austria

Doc. PhDr. Ing. Aleš Gregar, CSc.

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta managementu a ekonomiky, ČR

Prof. Ing. Josef Jablonský, CSc.

University of Economics Prague, ČR

Assist. Professor Christina E. Lekka

Department of Materials Science and Engineering, University of Ioannina, GREECE

Prof. Ing. Radim Lenort, PhD.

ŠKODA AUTO Vysoká škola, Czech Republic

Prof. Ing. Jaroslav Nenadál, CSc.

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, ČR

Dr hab. Marta Melania Starostka-Patyk

Czestochowa University of Technology, Poland

Dr. Ilona Pawełoszek

Czestochowa University of Technology, Poland

Igor Pihir Ph.D., associate professor

University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics, Croatia

Dr. h.c. Dipl.-Finw. Rolf Pfrengle

Administrative Director / Executive Board, Leibniz-Institut IFW Dresden, SRN

Prof. Ing. Mária Režňáková, CSc.,

Fakulta podnikatelská VUT v Brně, Ústav financí, ČR

Doc. Ing. Saniuk Anna, PhD.

Faculty of Economy and Management, University of Zielona Góra, Poland

SUN Mei, PhD,

Waseda University, Graduate school of environment and energy engineering, Tokyo, Japan

Doc. Ing. Krzysztof Witkowski, PhD.

Waterworks Ltd in Zielona Góra, Poland

Doc. PhDr. Ladislav Zapletal, PhD.

Vysoká škola Karla Engliše a.s., Brno, ČR

Prof. Dr. Oliver Momčilović

Faculty for management, Novi Sad, Serbia

Doc. Ing. Miroslava Míkva, PhD.

Ústav priemyselného inžinierstva a manažmentu (UPIM), Materiálovotechnologická fakulta (MTF) v Bratislave so sídlom v Trnave, STU

Doc. Ing. Ľubica Černá, PhD.

Vysoká škola manažmentu, Bratislava

Prof. Ing. Ľuboslav Dulina, PhD.

Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita

Prof. Ing. Anna Šatanová, CSc.

Bankovní inštitút vysoká škola, Banská Bystrica

Ing. Ivana Klačková, PhD.

Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita

Doc. Ing. Dagmar Babčanová, PhD.

UPIM, MTF STU, Trnava

Doc. Ing. Zdenka Gyurák Babel'ová, PhD.

UPIM, MTF STU, Trnava

Doc. Ing. Henrieta Hrablík Chovanová, PhD., Ing. Paed. IGIP

UPIM, MTF STU, Trnava

Doc. Ing. Jaromíra Vaňová, PhD.

UPIM, MTF STU, Trnava

Ing. Lukáš Jurík, PhD.

UPIM, MTF STU, Trnava

Ing. Katarína Lestyánszka Škúrková, PhD.

UPIM, MTF STU, Trnava

Ing. Petra Marková, PhD.

UPIM, MTF STU, Trnava

Ing. Vanessa Prajová, PhD.

UPIM, MTF STU, Trnava

Ing. Peter Szabó, PhD.

UPIM, MTF STU, Trnava

Časopis FÓRUM MANAŽÉRA je vedeckou periodickou publikáciou UPIM, MtF STU Bratislava v spolupráci s občianskym združením Vivaeduca. V časopise sú uverejňované výsledky vedecko-výskumnej činnosti a výstupy praktickej aplikácie teoretických poznatkov pedagogických, výskumných a odborných zamestnancov univerzít a ostatnej odbornej verejnosti. Cieľom je vytvoriť priestor pre spoluprácu medzi vzdelávacími, vedeckými inštitúciami a hospodárskou praxou doma i v zahraničí a získanie obojstranne prospešných výstupov a kontaktov. Časopis je určený pre všetkých, ktorí sa radi podelia o cenné informácie a získané skúsenosti v oblasti riadenia podniku a tiež tých, ktorí sa chcú dozvedieť viac ako využiť príležitosti pre efektívne fungovanie svojho podniku.

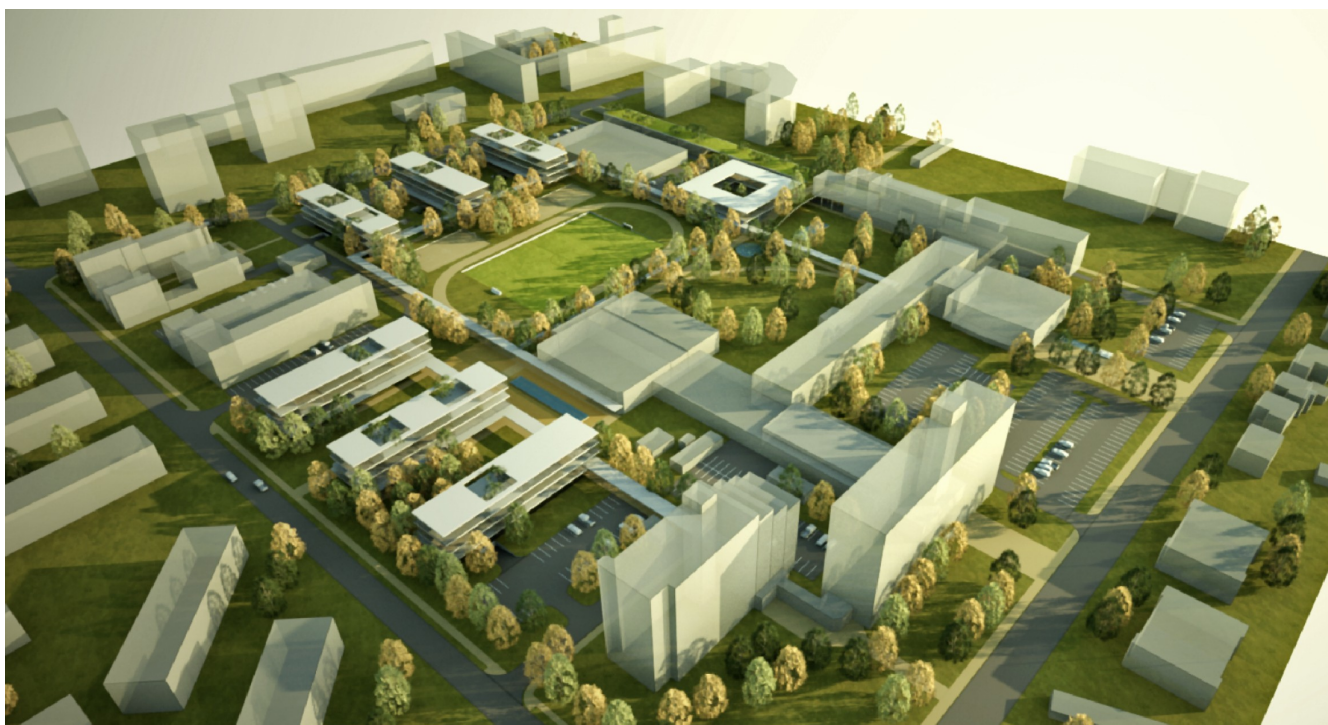
Príspevky sa uverejňujú v jazyku slovenskom, českom, anglickom, alebo nemeckom na základe recenzných posudkov vypracovaných členmi redakčnej rady. Za jazykovú a vedeckú úroveň zodpovedá autor článku. Autorom článkov sa nevyplácajú honoráre. Nevyžiadané články redakčná rada autorom nevracia. Poskytnutím autorského príspevku autor súhlasí s jeho rozmnožovaním, rozširovaním a uverejňovaním v časopise Fórum Manažéra v akejkoľvek či už tlačenej alebo elektronickej podobe. Autor súhlasí s úpravami a zodpovedá za právnu i faktickú bezchybnosť príspevku.

Všetky práva vyhradené. Publikované názory autorov príspevkov sa nemusia stotožňovať s názormi členov redakčnej rady časopisu.

grafické spracovanie, layout a zalomenie: doc. Ing. Miroslava Míkva, PhD.
Ing. Peter Szabó, PhD.

vydavateľ: **VIVAEDUCA, o.z., Stavebná 14, 917 01 Trnava**
IČO **37 846 761**

periodicita: polročník
dátum vydania: september 2025
ročník vydania: 21. ročník





Trnava

