

VPLIV RABE UMETNE INTELIGENCE V PROIZVODNEM OKOLJU NA EKOLOŠKE SLEDI

ŠTEFAN ŽUN

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
stefan.zun@guest.um.si

Tehnologija umetne inteligence (UI) postaja orodje za izboljšanje energetske učinkovitosti in zmanjševanje ekološkega odtisa (EF). V raziskavi analiziramo vpliv uporabe UI v opazovanem sistemu na spremembe EF. Rezultati kažejo, da razvoj in implementacija UI prispevata k zmanjšanju EF predvsem zaradi učinkovitejše rabe energije. Ko energetska učinkovitost sistema preseže določen prag, lahko nadaljnja uporaba UI dodatno zmanjšuje okoljske obremenitve. Avtomatizacija in robotizacija industrijskih procesov povečujeta učinkovitost rabe virov, zmanjšujeta emisije ter posledično znižujeta EF, hkrati pa izboljšujeta kakovost industrijskega in delovnega okolja. Čeprav gospodarska rast praviloma povečuje okoljske pritiske, lahko širša uporaba UI pomembno prispeva k njihovem zmanjšanju. V Sloveniji raba UI narašča, vendar se pojavljajo izzivi, kot so nezadostno financiranje temeljnih raziskav, potreba po ustrezni regulaciji ter večjih vlaganjih v človeški kapital in prilagoditev izobraževalnega sistema. Raziskava vključuje tudi primerjalno analizo Slovenije z državami Evropske unije ter poudarja pomen premišljenega oblikovanja razvojnih strategij in okoljskih politik za podporo trajnostnemu razvoju.

DOI

[https://doi.org/
10.18690/um.fov.3.2026.68](https://doi.org/10.18690/um.fov.3.2026.68)

ISBN

978-961-299-124-1

Ključne besede:

umetna inteligenca,
ekološke sledi,
energetska učinkovitost,
robotizacija proizvodnih
procesov,
cilji trajnostnega razvoja



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.fov.3.2026.68](https://doi.org/10.18690/um.fov.3.2026.68)

ISBN
978-961-299-124-1

Keywords:

artificial intelligence,
ecological footprints,
energy efficiency,
robotization of production
processes,
Sustainable Development
Goals (SDGs)

THE IMPACT OF THE USE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE PRODUCTION ENVIRONMENT ON THE ECOLOGICAL FOOTPRINT

ŠTEFAN ŽUN

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
stefan.zun@guest.um.si

Artificial intelligence (AI) is increasingly recognized as an important tool for improving energy efficiency and reducing the ecological footprint (EF). This study analyzes the impact of AI implementation within the observed system on changes in EF. Results indicate that the development and application of AI can reduce EF primarily through more efficient energy use. Once system energy efficiency exceeds a certain threshold, further AI use can additionally decrease environmental pressures. Automation and robotization of industrial processes improve resource efficiency, reduce emissions, and lower the ecological footprint, while also enhancing industrial and workplace environments. Although economic growth often increases environmental pressures, wider AI adoption can help mitigate these impacts. In Slovenia, AI use is growing, but challenges remain, including limited funding for fundamental research, the need for appropriate regulation and greater investment in human capital and education. The study also compares Slovenia with EU countries and highlights the importance of policies.



University of Maribor Press

1 Uvod

Naraščajoči negativni vplivi na okolje ovirajo doseganje ciljev trajnostnega razvoja (SDG). V obdobju razvoja umetne inteligence (UI) tehnološke spremembe spodbujajo industrijske preobrazbe in vplivajo na spremembe v sistemu globalnega upravljanja. Razvoj digitalnih tehnologij UI ponuja nove priložnosti za trajnosten razvoj (Francisco, 2023) in omogoča učinkovitejši pristop za doseganje ciljev trajnostnega razvoja.

Hiter razvoj in uporaba UI prinašata tudi vrsto etičnih, socialnih in okoljskih vprašanj. Na okoljskem področju razvoj in uporaba tehnologije UI zahtevata rabo energije in virov, kar lahko poslabša vplive na okolje (Coeckelbergh, 2021). Glede na poročilo, ki ga je objavila Mednarodna agencija za energijo (IEA, 2024) bi se lahko svetovna poraba električne energije v podatkovnih centrih, industriji UI in kriptovalutah podvojila, kar bi v naslednjih treh letih preseglo svetovno letno stopnjo rasti povpraševanja po električni energiji v višini 3,4 %. Podatkovni centri pomembno prispevajo (to lahko povzroča ekološki primanjkljaj na lokalnem nivoju) k povečanju rabe električne energije, njihova skupna poraba energije pa bi lahko do leta 2026 presegla 1000 TWh (IEA, 2024). Postopek odločanja o tehnologijah UI ni pregleden (Wang, 2024), kar lahko vodi do podcenjevanja okoljskih tveganj.

Metoda merjenja trajnostnega razvoja z ekološkimi sledmi (EF), upošteva vplive ekonomskih, političnih, socialnih in delno tudi tehnoloških dejavnikov (Nketiah, 2024).

Večja produktivnost običajno izboljša učinkovitost izrabe virov, trend izboljšanja zaostaja za gospodarsko rastjo. Uporaba tehnologij UI lahko zaradi optimizacija proizvodnje in optimizacija rabe virov učinkovito zmanjša pritiske na okolje (Liu, 2024). Z uporabo digitalnih tehnologij (Big data, UI, blockchain) je mogoče podatke o trajnostnem razvoju učinkovito integrirati in analizirati, kar omogoča spremljanje in napovedovanje okoljskih sprememb v realnem času, s čimer se izboljša tudi možnost odločanja (Bibri, 2024).

Pri opredelitvi rabe umetne inteligence smo upoštevali podjetja z desetimi ali več zaposlenimi, pri čemer smo se zaradi obsežnega nabora možnih kazalcev omejili na izbrane (dostopne) kazalce uporabe UI.



Slika 1: Vloga digitalizacije pri obravnavanju trajnosti z različnih vidikov (Mondejar, 2021);

- povezava med hrano, vodo in energijo, blaginjo proizvodnega sektorja in državljanov ter, podnebnimi spremembami in varstvom biotske raznovrstnosti.

Upoštevajo se tudi celostni, trajnostni učinki, ki izhajajo iz povezanih koristi vseh teh ukrepov

Namen prispevka je empirično analizirati vpliv rabe umetne inteligence (UI) na velikost ekoloških sledi v Sloveniji. Prispevek presega deskriptivni prikaz stanja ter primerjalne analize z drugimi državami članicami EU, saj se osredotoča na kvantitativno preučevanje vzročno-posledičnih povezav med rabo UI, gospodarsko rastjo, energetske učinkovitostjo in obsegom ekoloških sledi Slovenije. Posebna pozornost je namenjena identifikaciji morebitnih asimetričnih učinkov navedenih dejavnikov na okoljsko obremenitev.

Izvirni znanstveni doprinos prispevka je večplasten, kot nam je znano, gre za prvo empirično raziskavo v slovenskem prostoru, ki sistematično preučuje povezavo med rabo umetne inteligence in ekološkimi sledmi na makroekonomski ravni. Raziskava metodološko nadgrajuje obstoječe študije z vključitvijo asimetričnega analitičnega pristopa, ki omogoča diferenciacijo med pozitivnimi in negativnimi spremembami obravnavanih dejavnikov ter njihovimi potencialno različno intenzivnimi vplivi na okoljsko trajnost. Uporaba koncepta ekoloških sledi kot celostnega in integriranega kazalnika omogoča širšo in bolj uravnoteženo presojo vplivov digitalne transformacije na trajnostni razvoj, v nasprotju s parcialnimi pristopi, ki se osredotočajo zgolj na posamezne emisijske ali energetske kazalnike. Prispevek tako zapolnjuje identificirano raziskovalno vrzel na presečišču digitalizacije in okoljske trajnosti ter zagotavlja empirično podprte ugotovitve, ki imajo pomembne implikacije za oblikovanje razvojnih, tehnoloških in okoljskih politik v Sloveniji.

2 Metodološka izhodišča

2.1 Ekološke sledi kot kazalec trajnostnega razvoja

EF opazovanega sistema predstavlja skupno površino bioproduktivnih površin in vodnih virov, potrebnih za zadovoljevanje njihovih potreb po porabi virov in absorpcijo nastalih odpadkov. Cilj metode EF je oceniti trajnost preučevanega opazovanega sistema s pretvorbo energijskih virov in snovnih tokov, glede na porabo, v šest glavnih kategorij ekološko produktivnih zemljišč: pozidane površine, energijske površine, kmetijske površine, vodne površine, gozda in jih primerjati z razpoložljivo bioproduktivno površino opazovanega sistema (Tabela 1, 2, Slika 2). Metoda EF se uporablja v raziskavah trajnostnega razvoja kot kazalnik trajnostnega razvoja opazovanega sistema.

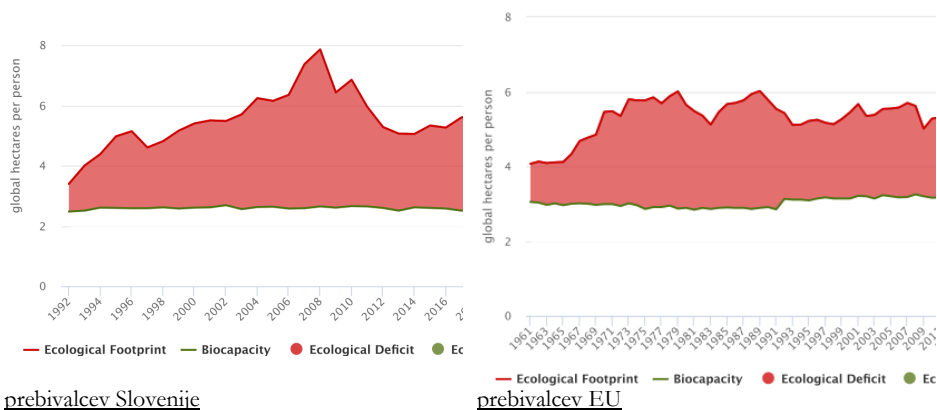
Tabela 1: Ekološke sledi in biokapaciteta prebivalcev Evrope (GFN, 2025, lasten)

leto	površine	pozidane	energijske	kmetijske	vodne	gozda	pašnikov	skupaj
		gha/preb						
2021	Biocap/preb	0,14	0	0,86	0,42	1,57	0,2	3,19
2021	EF/preb	0,14	2,75	0,9	0,19	0,62	0,2	4,8
2023	Biocap/preb	0,13	0	0,85	0,42	1,56	0,2	3,16
2023	EF/preb	0,13	2,64	0,92	0,18	0,62	0,2	4,69
2024	Biocap/preb	0,13	0	0,85	0,42	1,56	0,2	3,16
2024	EF/preb	0,13	2,64	0,92	0,18	0,62	0,2	4,69

Tabela 2: Ekološke sledi in biokapaciteta prebivalcev Slovenije (Global Footprint Network, 2025, lasten)

leto	površine	pozidane	energijske	kmetijske	vodne	gozda	pašnikov	skupaj
		gha/preb						
2021	Biocap/preb	0,08	0	0,40	0,01	1,85	0,16	2,5
2021	EF/preb	0,08	2,51	1,45	0,20	0,61	0,20	5,05
2023	Biocap/preb	0,07	0	0,39	0,01	1,81	0,16	2,44
2023	EF/preb	0,08	2,61	1,49	0,20	0,68	0,20	5,26
2024	Biocap/preb	0,07	0	0,39	0,01	1,81	0,16	2,44
2024	EF/preb	0,08	2,60	1,49	0,20	0,68	0,20	5,25

Ekološke sledi porabe vode določimo na osnovi porabljene energije za črpanje in oskrbo. Za potrebno površino za ohranjanje biotske raznolikosti se v literaturi najpogosteje uporablja vrednost 12% (Chambers, 2014). Ta površina zmanjšuje površino prostora, ki jo za svoje potrebe lahko izkoriščajo ljudje.



Slika 1:Ekološke sledi in biokapaciteta prebivalcev Evrope in Slovenije (Global Footprint Network)

Ekološke sledi populacije v opazovanem sistemu so lahko večje ali manjše od bioproduktivne površine tega sistema (ekološki primanjkljaj ali presežek). Glede na to ali primerjamo ekološke sledi sistema z lastno bioproduktivno površino ali pa z bioproduktivno površino celotnega planeta, lahko opredelimo lokalno ali globalno uravnoteženost ekoloških sledi (Slika 2, Tabela 1 in 2).

2.2 Raba UI v slovenskem gospodarstvu

UI lahko podjetja vključujejo v delovne procese na različne načine: pri prepoznavanju slik, generiranju naravnega jezika, prepoznavanju govora, besedilnem rudarjenju in pri avtomatizaciji procesov. Še vedno 77 % podjetij v vseh gospodarskih dejavnostih skupaj ne uporablja UI. Trenutno stanje v Sloveniji kaže naraščajoč trend uporabe UI, pri čemer je največje povečanje pri tehnologijah za generiranje naravnega jezika. Slovenija sooča z izzivi, kot je premajhno financiranje temeljnih raziskav in potreba po regulaciji UI, zato je za nadaljnji razvoj ključnega pomena vlaganje v raziskave, izobraževanje in sodelovanje med deležniki (Bandur, 2025).

Pri analizi kazalcev UI je uporabljena opisna in komparativna metoda, analizo kazalcev UI na ravni gospodarskih dejavnosti smo opravili za zadnje razpoložljiva časovna obdobja. V analizi smo upoštevali podjetja z desetimi ali več zaposlenimi, pri čemer smo se zaradi obsežnega nabora možnih kazalcev omejili na izbrane (dostopne) kazalce uporabe UI. Omejitve se nanašajo na leta 2021, 2023 in 2024, saj ni na voljo

dovolj podatkov za analizo časovnih serij. Proučevali smo kazalce za Slovenijo in povprečje EU. Podatke smo analizirali po kvalifikaciji Nace Rev. 2 (*delitev gospodarskih dejavnosti po Nace Rev. 2. je (Braunsberger, 2010): C – predelovalna dejavnost, E – oskrba z vodo; ravnanje z odpadki in odpadki; saniranje okolja, F – gradbeništvo, G – trgovina; vzdrževanje in popravila motornih vozil, H – promet in skladiščenje, I – gostinstvo, J – informacijske in komunikacijske dejavnosti, M – strokovne, znanstvene in tehnične dejavnosti, N – druge raznovrstne poslovne dejavnosti*) na ravni gospodarskih dejavnosti. Podatke za primerjavo kazalcev UI po gospodarskih dejavnostih smo pridobili v podatkovni bazi Eurostat (Eurostat, 2025), predstavljamo jih v Tabeli 3.

UI je pomemben del širšega procesa digitalizacije in koncepta Industrija 4.0, ki predstavljata gonilni sili gospodarske rasti in konkurenčnosti ter s tem doseganje ciljev trajnostnega razvoja. Uporaba UI prinaša prednosti, obstajajo tudi izzivi, kot so tehnološka infrastruktura, usposobljenost kadra in varnost podatkov.

V Tabeli 3 prikazujemo primerjavo podatkov uporabe tehnologij UI v Sloveniji in EU in kako se razlikujejo deleži podjetij, ki te tehnologije UI uporabljajo. Slovenija ima večje deleže od EU pri treh kazalcih in sicer pri uporabi avtonomnih robotov, samovozečih vozil in avtonomnih dronov ter pri prepoznavanju slik, obdelavi slik in generiranju naravnega jezika. Največjo razliko lahko opazimo pri uporabi tehnologije UI za prepoznavanje in obdelavo slik, pri kateri ima Slovenija za 8,8 odstotne točke večji delež podjetij, ki implementirajo to tehnologijo UI. Slovenija najbolj zaostaja za EU pri uporabi tehnologij UI za besedilno rudarjenje, in sicer za 2,3 odstotne točke od povprečja EU. V Sloveniji največ podjetij uporablja UI za prepoznavanje in obdelavo slik.

Analiza kazalcev UI v Sloveniji za leto 2023 in 2024 kaže na naraščajoč trend uporabe večine tehnologij UI, še posebej tehnologije za generiranje naravnega jezika. Gospodarska dejavnost J (informacijske in komunikacijske dejavnosti) izstopa po največjem deležu podjetij, ki uporabljajo različne tehnologije UI, kot so prepoznavanje govora, programska robotska avtomatizacija procesov, uporaba računalništva v oblaku in analitika podatkov ter strojno učenje (Bandur, 2025).

Z razvojem UI se odpirajo delovna mesta, povezana z njenim razvojem, implementacijo in vzdrževanjem, kar zahteva nova znanja, to je pozitiven vpliv na socialno okolje trajnostnega razvoja. UI ne vpliva le na manj zahtevna dela, ampak lahko znatno vpliva tudi na bolj plačana in visoko izobražena delovna mesta, saj je učinkovita pri analizi podatkov in reševanju kompleksnih problemov.

Tabela 3: Podatke za primerjavo kazalcev UI po gospodarskih dejavnostih, za podjetja z več kot 10 zaposlenimi

	Podjetja, ki uporabljajo tehnologije UI za analizo pisanega jezika (rudarjenje besedil)			Podjetja, ki uporabljajo tehnologije UI ki ustvarjajo pisni ali govorni jezik ali programske kode (generiranje naravnega jezika, sinteza govora)			Podjetja, ki uporabljajo strojno učenje (npr. globoko učenje) za analizo podatkov			Podjetja, ki uporabljajo tehnologije UI, identificirajo predmete ali osebe na podlagi slik (prepoznavanje slik, obdelava slik)		
leto 20xx	21	23	24	21	23	24	21	23	24	21	23	24
EU - 27	2,5	2,9	6,9	1,3	2,1	5,4	2,4	2,6	4,2	2,1	2,8	3,2
Belgija	4,5	6,1	15,1	2,1	4,0	12,7	4,4	4,8	8,1	3,5	4,5	6,2
Bolgarija	1,3	1,3	3,9	0,4	1,2	2,1	0,9	0,9	2,1	0,9	0,8	1,8
Češka	1,7	3,1	6,7	0,8	0,7	5,9	1,4	2,3	4,5	1,6	1,7	2,0
Danska	8,2	6,0	16,7	5,2	5,0	18,5	8,8	7,1	10,7	4,0	3,6	5,5
Nemčija	2,9	3,5	9,6	1,6	3,0	6,6	2,9	3,0	5,3	2,7	2,7	4,7
Estonija	0,9	2,0	7,8	0,6	1,2	5,8	1,1	1,6	3,5	1,2	1,5	4,2
Irska	2,7	2,7	6,4	1,1	2,2	7,3	3,5	3,0	5,5	2,0	1,4	3,1
Grčija	0,4	1,2	3,7	0,1	0,8	3,2	1,7	1,0	4,0	0,4	1,1	1,7
Šonija	2,3	3,1	5,1	1,5	2,3	4,3	2,3	3,0	3,9	3,1	3,3	3,5
Francija	2,1	2,3	4,4	1,1	1,1	3,2	2,4	2,7	4,0	1,1	1,5	2,2
Hrvaška	3,3	3,9	7,7	2,1	2,5	4,0	2,5	2,2	4,1	2,2	1,5	2,7
Italija	2,3	2,0	4,5	1,1	1,5	3,7	1,5	1,5	2,6	1,8	1,5	2,1
Ciper	0,8	1,2	3,2	0,5	1,2	3,1	1,4	2,1	5,3	1,0	1,9	1,53
Latvija	1,8	2,3	5,8	0,8	0,7	2,2	1,1	1,1	2,0	1,7	1,4	2,70
Litva	1,6	2,3	6,3	0,9	1,3	3,6	1,2	1,3	2,8	1,5	1,4	2,6
Luksemburg	8,5	9,4	17,6	2,6	3,5	8,7	3,5	3,9	6,3	2,9	3,2	4,6
Madžarska	1,0	1,2	3,3	0,4	1,0	2,7	0,7	1,0	1,8	1,0	1,1	2,3
Malta	3,1	4,5	6,6	2,1	3,4	3,7	4,5	4,7	6,5	4,1	4,6	5,8
Nizozemska	3,9	5,5	14,1	2,6	4,3	12,6	6,1	5,8	6,5	3,8	3,8	4,6
Avstrija	5,0	5,9	13,1	1,0	2,5	8,2	3,7	4,6	7,0	2,1	2,5	3,4
Poljska	0,8	0,5	1,49	0,3	0,9	2,4	0,7	1,0	1,6	0,7	0,9	1,7
Portugalska	2,5	2,8	4,2	1,0	1,4	3,1	2,0	2,1	2,9	2,4	3,5	3,1
Romunija	0,9	1,1	1,86	0,3	0,8	1,5	0,5	0,6	1,3	0,5	0,5	0,9
Slovenija	0,8	0,9	4,5	3,5	4,8	11,6	3,2	2,9	4,2	7,6	6,4	12,0
Slovaška	2,2	3,9	6,0	0,7	1,6	3,9	0,9	1,9	2,1	1,8	2,1	2,5
Finska	5,3	6,55	15,4	2,5	4,3	13,0	6,1	6,5	9,7	4,3	3,4	5,5
Švedska	3,49	4,4	15,6	2,3	3,8	12,0	4,4	4,0	8,1	2,1	2,5	5,1

Vir Eurostat, 2025, Data extracted on 18/12/2025 16:54:23 from [ESTAT] , Dataset: Artificial intelligence by size class of enterprise [isoc_eb_ai_custom_15887300], Last updated: 11/12/2025 11:00, Size classes in number of persons employed: 10 persons employed or more, Statistical classification of economic activities in the European Community (NACE Rev. 2)

UI lahko prispeva k trajnostni proizvodnji z optimizacijo dobavnih verig in transporta ter natančnejšim napovedovanjem potreb. Napovedi kažejo na široko implementacijo UI v prihodnosti z ocenami, da bo do leta 2030 okoli 70 % podjetij uporabljalo UI, kar bi

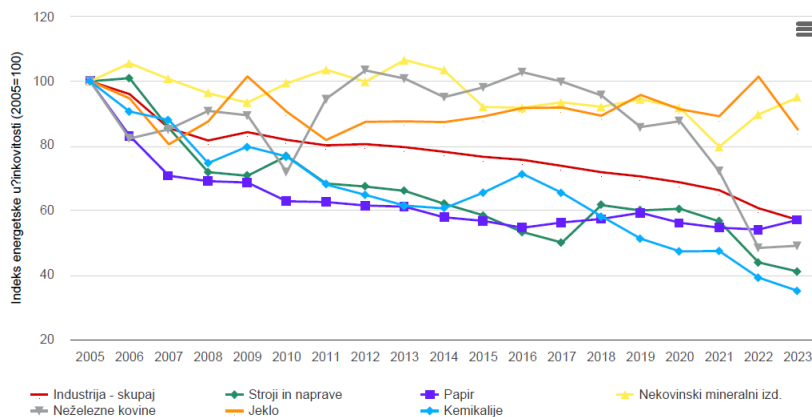
lahko svetovni BDP povečalo za 26 % (Knez, 2025). Za učinkovito izkoriščanje teh priložnosti je potrebno investirati v človeški kapital (socialno okolje), prilagoditi izobraževalne sisteme, obvladovati morebitne negativne vplive na trg dela ter zmanjšati neenakosti pri dostopu do tehnologije in njenih prednosti.

2.3 Energetska učinkovitost

Energetska učinkovitost je pomemben dejavnik trajnostnega razvoja, saj neposredno vpliva na učinkovitost rabe virov (Khan, 2022). To kaže, da uporaba UI prispeva k zmanjšanju EF.

Energetska učinkovitost v slovenski industriji se je v obdobju 2005–2023 opazno izboljšala, saj je bila leta 2023 za 43 % višja kot leta 2005. Največ so k izboljšanju prispevale panoge kemična industrija, proizvodnja strojev in naprav, neželezne kovine, proizvodnja papirja, najmanj pa jekla in nekovinskih mineralnih izdelkov. Energetska učinkovitost v industriji se mora povečevati, kar pomeni, da se mora indeks energetske učinkovitosti zmanjševati (Slika 3). Kvantitativni cilj za ta kazalnik ni bil določen. Kazalnik energetska učinkovitost v industriji prikazuje gibanje indeksa učinkovitosti rabe energije v industriji, ki je izračunan na podlagi analize intenzivnosti rabe energije po panogah izračunane kot kvocient rabe energije in gibanja indeksa proizvodnje ter strukture rabe energije v industriji. Uporabljena je bila metodologija razvita v sklopu EU (Kazalci okolja v Sloveniji, 2025).

V industriji se v Sloveniji največ energije porabi pri proizvodnji kovin. Leta 2023 je njen delež v celotni rabi energije v industriji znašal 18 %. Dodatno lahko ta sektor razdelimo na proizvodnjo jekla, na katero je odpadlo slabi dve tretjini rabe sektorja in proizvodnjo neželeznih kovin. Raba energije v tej panogi se je v letih 2022 in 2023 znatno znižala, kot posledica opustitve proizvodnje primarnega aluminija. Po rabi energije je leta 2023 sledila proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov (cement, apno) s 17 %. Proizvodnja strojev in naprav je predstavljala 14 %, kemična industrija 13 %, papirna industrija pa 11 % rabe energije. Naštete panoge so leta 2023 skupaj predstavljale slabe tri četrtine rabe energije v industriji. Ostale panoge so živilska industrija, tekstilna industrija, proizvodnja prevoznih sredstev, lesna industrija, ostala industrija, pridobivanje rud in kamnin ter gradbeništvo.



Slika 3: Gibanje indeksa energetske učinkovitosti za celotno industrijo ter panoge, ki porabijo največ energije

Vir: Kazalci okolja v Sloveniji, 2025

Učinkovitost rabe energije v industriji se je v obdobju 2005–2023 izboljšala, kar pomeni, da se je raba energije na enoto industrijske proizvodnje zmanjšala. Od leta 2009 do leta 2023 se zaradi počasnega gospodarskega okrevanja in s tem naraščanja industrijske proizvodnje, strukturnih sprememb ter izboljšanja učinkovitosti procesov, učinkovitost povečuje. Leta 2023 se je nadaljevalo počasno izboljšanje energetske učinkovitosti. Leta 2023 je bila energetska učinkovitost rabe energije v industriji glede na leto 2005 višja za 43 % (Kazalci okolja v Sloveniji, 2025).

3 Empirični rezultati medsebojnih povezav med rabo umetne inteligence, energetske učinkovitostjo in ekološkimi sledmi

Ugotovimo, da raba UI in energetska učinkovitost prispeva k zmanjšanju EF. Na primeru opazovanega sistema Slovenije je to zmanjšanje manjše od pričakovanega (Tabela 4).

Predhodne raziskave objavljene v literaturi predstavljajo večji vpliv UI (Liu, 2024). Raba UI zaradi optimizacije proizvodnih procesov, uporabe pametnih tehnologij za upravljanje z električno energijo in spremljanje okolja poveča učinkovitost proizvodnje, s čimer zmanjša količino odpadkov in porabo energije (Huang, 2022), kar ima za posledico zmanjšanje EF. Pričakujemo pomembno vlogo rabe UI na zmanjšanje EF.

Tabela 4: Primerjava energetske učinkovitosti, rabe UI in EF v Sloveniji

leto	energijska učinkovitost	UI	EF
		Podjetja, ki uporabljajo tehnologije UI, ki ustvarjajo pisni ali govorni jezik ali programske kode	
2005	1	/	6,16 gha/preb
2023	0,57	4,83 %	5,26 gha/preb
2024	pričakovano izboljšanje	11,61 %	5,26 gha/preb

Vir: Lasten

Napredek tehnologij UI odpira nove možnosti za doseganje ciljev trajnostnega razvoja. Večji vpliv v rabe UI v začetni fazi pričakujemo pri večji energetske učinkovitosti, pričakovano pa se bodo v časovnem obdobju ko energetska učinkovitost doseže določen prag zmanjšale tudi EF. Ugotovitve razkrivajo regionalne razlike v tem kako razvoj UI vpliva na EF.

4 Zaključek in razprava

Glede na rezultate raziskave so predlagana naslednja priporočila za povečanje pozitivnega vpliva UI na doseganje ciljev trajnostnega razvoja:

- Rabo UI usmeriti v spremljanje parametrov pritiskov na okolje, upravljanju virov ter zmanjševanju porabe energije in zmanjšanju emisij. Raba UI lahko analizira velike količine podatkov in z uporabo simulacij lahko spodbudi razvoj zaznavanja pritiskov na okolje (zgodnje opozarjanje, zmanjševanje odpadkov, raba virov) v realnem času.
- V začetnem obdobju se je potrebno osredotočiti na izboljšanje energetske učinkovitosti in spodbujati zeleni prehod.
- Načrtno izvajati strategijo usposabljanja kadrov v industriji UI ter vzpostaviti mehanizme sodelovanja s tehnološkimi podjetji.

Še vedno obstajajo omejitve, ki so posledica kratkega časovnega intervala (raba UI) baza podatkov se izboljšuje, zato bi prihodnje raziskave lahko uporabile podatke z daljšim časovnim razponom in bi bili trendi bolj poudarjeni ob uporabi dinamičnih modelov

Teorija okoljske Kuznetsove krivulje trdi, da obstaja obrnjena povezava med gospodarsko rastjo in poslabšanjem okolja (Grossman, 1995), kar pomeni, da najprej povečana gospodarska rast vodi do povečanja EF, s pomočjo rabe UI lahko te učinke obvladujemo. Integracija industrijskih robotov (IR) v proizvodne procese poveča učinkovitost (Yu, 2023), zmanjša porabo energije in emisije CO₂. Potrebno je upoštevati povratni učinek, pričakovati je, da večja učinkovitost rabe virov vodi do splošnega povečanja porabe virov.

Ta koncept je ključnega pomena za razumevanje nenamernih ekoloških vplivov uvajanja IR v razviti industrijskih državah z UI. Povratni učinek nakazuje, da lahko raba IR poveča učinkovitost in zmanjša neposredne EF, vendar se lahko splošno povpraševanje in poraba povečata, s čimer se lahko povečajo skupne EF. V obdobju gospodarske rasti so podjetja bolj naklonjena k vlaganju v posodabljanje industrijske proizvodnje, vključno z IR. To pa lahko povzroči negativno korelacijo z rastjo EF. Opazovana industrijska okolja morajo celostno zasledovati doseganje SDG, kar združuje tehnološki napredek, gospodarsko rast in okoljsko trajnost za doseganje dolgoročne blaginje celotne družbe.

Viri in literatura

- Bandu, Ana, FIR, Nejc. Uporaba umetne inteligence v slovenskih podjetjih, Društvo ekonomistov, 2025. Str. 11-31, ilustr. ISBN 978-961-6059-29-9. <https://demb.si/publikacije/zbornik-recenziranih-znanstvenih-prispevkov-na-posvetovanju-digitalna-ekonomija-in-pravo-2025.pdf>. [COBISS.SI-ID 249405699],
- Bibri, S.E., Krogstie, J., Kaboli, A., Alahi, A., 2024. Smarter eco-cities and their leading- edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: a comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology* 19, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.esec.2023.100330>.
- Braunsberger, F., Hlavaty, M., Schlambger, N., C Stevanovič, S. (2010). Standardna klasifikacija dejavnosti 2008. SURS. <https://www.stat.si/doc/pub/skd.pdf>
- Brodny, J., C Tutak, M. (2022). Digitalization of small and medium-sized enterprises and economic growth: Evidence for the EU-27 countries. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(2), 67. <http://doi.org/10.3390/joitmc8020067>
- Chambers N., C. Simons C., M. Wackernagel M.: Sharing Natures Interest, *Ekological Footprints as an Indicator of Sustainability*, eBook, 2014
- Coeckelbergh, M., 2021. AI for climate: freedom, justice, and other ethical and political challenges. *AI and Ethics* 1 (1), 67–72. <https://doi.org/10.1007/s43681-020-00007-2>.
- Detiček, Gal, FIR, Nejc. Konkurenčnost slovenskih podjetij pri uporabi umetne inteligence : primerjalna analiza na agregatni ravni z državami EU, Društvo ekonomistov, 2025. Str. 32-53, ilustr. ISBN 978-961-6059-29-9. <https://demb.si/publikacije/zbornik-recenziranih-znanstvenih-prispevkov-na-posvetovanju-digitalna-ekonomija-in-pravo-2025.pdf>, Digitalna knjižnica Univerze v Mariboru – DKUM. [COBISS.SI-ID 249406723],

- Ejjami, R. (2024). Emerging professions in the age of AI across multiple sectors. *International Journal for Multidisciplinary Research*, c(5), 1–32. <http://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i05.28762>
- Eurostat. (2024a). Digital Intensity Index (DII) composition overview 2015–2024. Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/Annexes/isoc_e_dii_esmsip2_an_1.pdf
- Francisco, M., 2023. Artificial intelligence for environmental security: national, international, human and ecological perspectives. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 61, 101250 <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101250>.
- Global Footprint Network, <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=2002&type=BCpc,EFCpc>, 25.12.2025
- Grossman, A.B. Krueger, Economic growth and the environment, *Q. J. Econ.* 110 (2) (1995) 353–377.
- Himeur, Y., Rimal, B., Tiwary, A., Amira, A., 2022. Using artificial intelligence and data fusion for environmental monitoring: a review and future perspectives. *Inf. Fusion* 86–87, 44–75. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2022.06.003>.
- Huang Y, Kuldasheva Z, Bobojanov S, Djalilov B, Salahodjaev R, Abbas S. Exploring the links between fossil fuel energy consumption, industrial value-added, and carbon emissions in G20 countries. *Environ Sci Pollut Res* 2022;0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22605-9>.
- Huo, D., Zhang, X., Meng, S., Wu, G., Li, J., Di, R., 2022. Green finance and energy efficiency: dynamic study of the spatial externality of institutional support in a digital economy by using hidden Markov chain. *Energy Econ.* 116, 106431 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106431>.
- IEA, 2024. Electricity 2024—Analysis and Forecast to 2026. Pdf. IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>.
- Kazalci okolja v Sloveniji, Energetska učinkovitost v industriji, RS Ministrstvo za okolje in prostor, zadnja posodobitev 3.12.2025, <https://kazalci.arso.gov.si/index.php/sl/content/energetska-ucinkovitost-v-industriji-0>, 28.12.2025
- Khan, I., Zakari, A., Dagar, V., Singh, S., 2022. World energy trilemma and transformative energy developments as determinants of economic growth amid environmental sustainability. *Energy Econ.*
- Knez, Nina, FIR, Nejc. Vloga umetne inteligence pri povečevanju produktivnosti in njeni učinki na gospodarstvo : sistematični pregled literature, Društvo ekonomistov, 2025. Str. 62-76. ISBN 978-961-6059-29-9. <https://demb.si/publikacije/zbornik-recenziranih-znanstvenih-prispevkov-na-posvetovanju-digitalna-ekonomija-in-pravo-2025.pdf>, Digitalna knjižnica Univerze v Mariboru – DKUM. [COBISS.SI-ID 249424899]
- Liu, L., Rasool, Z., Ali, S., Wang, C., Nazar, R., 2024. Robots for sustainability: evaluating ecological footprints in leading AI-driven industrial nations. *Technol. Soc.* 76, 102460 <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102460>.
- Nketiah, E., Song, H., Adjei, M., Obuobi, B., Adu-Gyamfi, G., 2024. Assessing the influence of research and development, environmental policies, and green technology on ecological footprint for achieving environmental sustainability. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 199, 114508 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114508>.
- Mondejar ME, Avtar R, Diaz HLB, Dubey RK, Esteban J, Go´mez-Morales A, et al. Digitalization to achieve sustainable development goals: steps towards a smart green planet. *Sci Total Environ* 2021;794:148539. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148539>.
- Song, M., Pan, H., Shen, Z., Tamayo-Verleene, K., 2024. Assessing the influence of artificial intelligence on the energy efficiency for sustainable ecological products value. *Energy Econ.* 131, 107392 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107392>.
- Sorrell, J. Dimitropoulos, The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions, *Ecol. Econ.* 65 (3) (2008) 636–649.

- SURS. (2024). Digitalno podjetništvo, podrobni podatki, 2024. Statistični urad Republike Slovenije. <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/13267>
- Taddeo, M., Tsamados, A., Cows, J., Floridi, L., 2021. Artificial intelligence and the climate emergency: opportunities, challenges, and recommendations. *One Earth* 4 (6), 776–779. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.018>.
- Wang, P., Ding, H., 2024. The rationality of explanation or human capacity? Understanding the impact of explainable artificial intelligence on human-AI trust and decision performance. *Inf. Process. Manag.* 61 (4), 103732 <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2024.103732>.
- Yu, Y. Wang, X. Wei, C. Zeng, Towards low-carbon development: the role of industrial robots in decarbonization in Chinese cities, *J. Environ. Manag.* 330 (2023) 117216.