

INTEGRACIJA UMJETNE INTELIGENCIJE U STRATEGIJE ZELENE TRANZICIJE: OPTIMIZACIJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE I ODRŽIVIH PRAKSI / INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN GREEN TRANSITION STRATEGIES: OPTIMIZATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AND SUSTAINABLE PRACTICES

Amila Rubanović¹, Fatima Abazović¹

¹Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Aleja Konzula – Meljanac bb, Travnik, BiH, e-mail: amilarubanovic31@gmail.com, fatimaabazovic2@gmail.com

Pregledni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20251401332>

UDK / UDC 004.8:621.31:338.45

Sažetak

U današnjem vremenu, rast zelene tranzicije će ubrzati održivi razvoj, a uvođenje umjetne inteligencije u obnovljive izvore energije predstavlja veliko postignuće u ostvarenju tog cilja. AI omogućava upravljanje resursima i optimizovanu potrošnju energije sa manjim štetnim uticajem na okolinu prelaskom na održive energetske modalitete. AI pomaže u analizi podataka solarnih i vjetroelektrana te inteligentnom upravljanju energetske mrežama. Motivacije za primjenu umjetne inteligencije ne odnose se samo na ekonomski aspekt koji se tiče smanjenja troškova, već i na optimizaciju sistema, što ne donosi samo ekološke prednosti, već i značajne uštede u operativnim troškovima za mnoge kompanije uz stvaranje novih prilika za održivi razvoj. Zahvaljujući primjeni pametnih mreža i prediktivnih algoritama, iskorištavanje obnovljivih izvora postaje efikasnije. Cilj ovog rada je fokusirati se na tehnologije, izazove i koristi primjene umjetne inteligencije kako bi se bolje shvatila njena potencijalna primjena u ostvarivanju održivih ciljeva.
Ključne riječi: umjetna inteligencija, zelena tranzicija, obnovljivi izvori, energija, pametne mreže
JEL klasifikacija: Q55, Q42, O33, Q01

Abstract

In today's world, the growth of the green transition will accelerate sustainable development, and the introduction of artificial intelligence in renewable energy sources represents a significant achievement in reaching this goal. AI enables resource management and optimized energy consumption with a lower environmental impact by shifting to sustainable energy models. It assists in data analysis of solar and wind power plants and intelligent energy grid management. The motivations for applying artificial intelligence are not only related to the economic aspect of cost reduction but also to system optimization, which brings not only environmental benefits but also significant operational cost savings for many companies while creating new opportunities for sustainable development. Thanks to the application of smart grids and predictive algorithms, the utilization of renewable energy sources becomes more efficient. The aim of this paper is to focus on the technologies, challenges, and benefits of applying artificial intelligence to gain a better understanding of its potential role in achieving sustainability goals.

Keywords: artificial intelligence, green transition, renewable energy sources, energy, smart grids
JEL classification: Q55, Q42, O33, Q01

UVOD

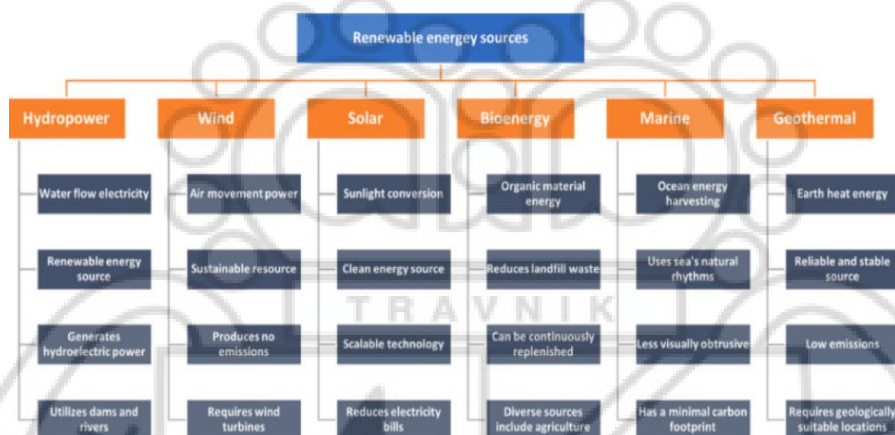
Globalni prelaz prema obnovljivim izvorima energije pruža jedinstvenu priliku za smanjenje negativnih utjecaja na okoliš, poboljšanje energetske učinkovitosti i stabilizaciju energetskih sistema. Kako se sve veći postotak obnovljive energije koristi u postojećim energetskim sistemima, važno je riješiti tehničke, ekonomske i probleme prihvatanja od strane javnosti koji prate ovu tranziciju. Stoga, primjena umjetne inteligencije (AI) ima potencijal uspješno optimizovati upravljanje složenim energetskim sistemima, čime poboljšava prediktivne, nadzorne i kontrolne funkcije u vezi s potrošnjom energije ili oslanjanjem na obnovljive izvore poput solarne i vjetroenergije. Primjena AI tehnologija poput algoritama strojnog učenja, neuronskih mreža i optimizacijskih pristupa poboljšat će analitičku preciznost raznih podataka, čime će povećati kapacitet za predviđanje i dinamičko prilagođavanje sistema obnovljivih izvora energije (OIE) na temelju predviđene opskrbe i potražnje za energijom. [1] Osim toga, AI će pomoći u postizanju veće energetske učinkovitosti i stabilnih energetskih sistema za integraciju veće upotrebe pametnih mreža, što je važno za prelaz na nisko-ugljični energetski sistem. Međutim, i dalje postoje izazovi u potpunoj primjeni AI metoda u složenim energetskim sistemima, poput kvalitete podataka, interoperabilnosti i etičkih problema. Ovaj rad sažima trenutno stanje istraživanja i razvoja, identificira ključne metodologije i prepreke za potpunu primjenu AI metoda u novim energetskim sistemima te daje prijedloge za važna područja budućeg razvoja inovacija u vezi s ulogom AI-a u ovom važnom području energetske transformacije.

1. AI KAO POKRETAČ ODRŽIVIH TEHNOLOGIJA

Umjetna inteligencija (AI) se brzo uspostavlja kao vodeći pokretač transformacije unutar energetskog sektora i prelaska na korištenje novih i održivih izvora energije. Njena snaga u analizi i automatizaciji velikih i raznolikih skupova podataka omogućava maksimizaciju resursa te povećanje efikasnosti i smanjenje emisija. AI koristi specifične algoritme i tehnike, uključujući mašinsko učenje (ML), duboko učenje (DL) i optimizacijske algoritme, za upravljanje mrežom, prognoziranje, skladištenje i distribuciju energije. [2] Rastuća potražnja za energijom i negativni efekti fosilnih goriva dodatno su ubrzali potrebu za prelazak na obnovljive izvore poput solarne, vjetro i hidroenergije. Međutim, varijabilnost ovih izvora i njihova integracija u postojeću elektroenergetsku mrežu predstavljaju izazove za efikasno upravljanje. AI u tom kontekstu djeluje kao “sposobnost posmatranja”, analizirajući vremenske i senzorske podatke te pružajući stabilnija operativna rješenja i bolje planiranje. [3] Mašinsko učenje (ML) predstavlja pristup ili algoritam koji uči iz podataka, prepoznaje obrasce i predviđa ishode ili odluke. U energetskom sektoru, ML optimizuje proizvodnju i upravljanje mrežom analizirajući vremenske uvjete i performanse sistema. [4] Duboko učenje (DL) ide korak dalje koristeći složene neuronske mreže za obradu sirovih podataka, sprečavanje problema i prediktivno održavanje, prepoznajući kvarove unaprijed. [5] Optimizacijski algoritmi dodatno poboljšavaju efikasnost sistema, na primjer automatskim podešavanjem ugla solarnih panela u zavisnosti od vremenskih podataka. [6] Kombinacijom ovih tehnologija, AI omogućava stvaranje stabilnijih, pametnijih i održivijih energetskih sistema i doprinosi smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima.

2. PRIMJENA AI U OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

Za razliku od fosilnih goriva, kojima su potrebni milioni godina da se razviju, obnovljivi izvori energije su izvori energije koji se prirodno obnavljaju tokom ljudske vremenske linije. Oni nude čistu i održivu alternativu tradicionalnim izvorima energije i postaju sve važniji u borbi protiv klimatskih promjena. OIE dolaze u širokom rasponu, svaki sa jedinstvenim prednostima i nedostacima. Neki od najčešćih uključuju energiju vjetra, solarnu energiju i hidroenergiju.



Slika 1. Obnovljivi izvori energije

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X24001536> (Datum pristupa: 20.03.2025.)

2.1. SOLARNA ENERGIJA

Povećani globalni fokus na energetske i ekološke izazove daje dodatni zamah tranziciji s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije, s posebnim naglaskom na solarnu energiju. Solarni sistemi pokazuju se kao ekološki prihvatljiviji i finansijski isplativiji u poređenju s drugim obnovljivim izvorima, poput energije vjetra i hidroenergije, s ciljem smanjenja emisija za 70% do 2050. godine. [7] Iako se energetska tranzicija nastavlja, solarna tehnologija se i dalje suočava sa značajnim izazovima, kao što su: smanjena efikasnost u nepovoljnim vremenskim i drugim uslovima, složenost skladištenja energije i povezivanje sa postojećim elektroenergetskim mrežama. Prednosti umjetne inteligencije (AI), posebno metoda mašinskog učenja (ML) i dubokog učenja (DL), sve se više istražuju kako bi se prevazišle prepreke povezane sa solarnom energijom. AI omogućava napredno predviđanje proizvodnje energije analizirajući velike količine podataka sa satelita, vremenskih prognoza i senzora. Ovi modeli pružaju kontekstualno svjesne i vremenski precizne kratkoročne i dugoročne prognoze proizvodnje energije, uz prepoznavanje složenih obrazaca atmosferskog zračenja i klimatskih promjena. Pored klasičnih AI metoda, generativna umjetna inteligencija (Gen-AI) se pojavljuje kao ključna tehnologija za još preciznije simulacije i optimizaciju performansi sistema u ekstremnim vremenskim uslovima ili složenim okruženjima. Gen-AI nadograđuje tradicionalne modele kako bi kreirala efikasne, pametne u pogledu resursa i otporne sisteme. [8] AI se koristi i za prediktivno održavanje, što podrazumijeva otkrivanje kvarova prije nego što se dogode, analizom podataka o temperaturi, naponu i performansama sistema — čime se smanjuju troškovi i vrijeme zastoja. Također, AI optimizira pozicioniranje solarnih panela analizom obrazaca sunčevog zračenja i automatski reaguje na promjene vremenskih uslova. Modeli vremenske prognoze zasnovani na AI dodatno poboljšavaju planiranje proizvodnje i skladištenja energije, olakšavajući integraciju u elektroenergetske mreže i povećavajući stabilnost sistema.

Zajedno, solarna energija i umjetna inteligencija povećavaju pouzdanost i održivost energetske rješenja, podržavajući globalnu tranziciju ka čistim i pametnijim energetskim mrežama.

2.2. VJETROENERGIJA

Vjetroenergija je od velike važnosti za održivi razvoj i zelenu tranziciju. Vjetroelektrane proizvode vjetrovitu energiju koja doprinosi smanjenju emisije stakleničkih plinova, povećava energetske nezavisnost i omogućava razvoj lokalne zajednice kroz stvaranje radnih mjesta. Vjetroenergija je bitna za globalnu tranziciju s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije. Vještačka inteligencija predstavlja važnu komponentu za postizanje učinkovitog upravljanja vjetroelektranama, pri čemu algoritmi koriste vremenske uvjete, brzine vjetra i historijske podatke kako bi proizveli razumne prediktivne izlaze o energiji. [9] Osim toga, AI algoritmi koriste vibracije i zvukove koje proizvode turbine kao sredstvo za otkrivanje kvarova i smanjenje ukupnih troškova održavanja i prekida usluge. [10] AI će maksimizirati operativnu učinkovitost kroz autonomno upravljanje turbinama u stvarnom vremenu, minimizirajući gubitke energije. Najvažnije, AI će pomoći u povećanju opće stabilnosti i održivosti sistema obnovljive energije.

1.2.1. *Opasnosti korištenja umjetne inteligencije (AI) u vjetroelektranama*

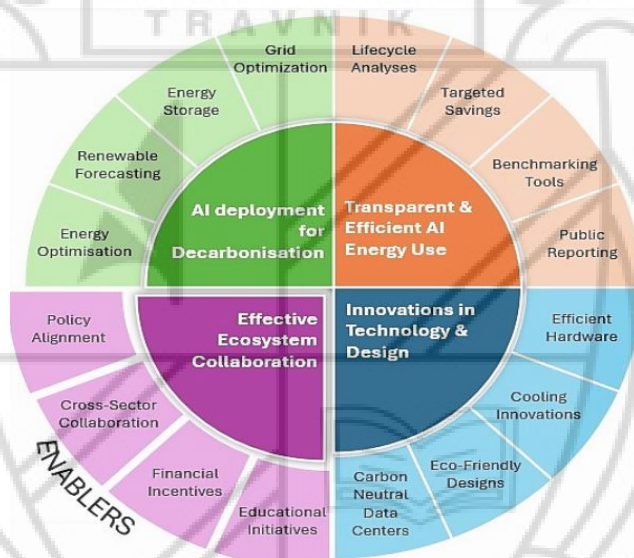
Upotreba umjetne inteligencije (AI) u sistemima vjetroturbina predstavlja različite rizike. Prvi rizik je algoritamska pristranost i halucinacije, koje mogu dovesti do toga da AI generira netačne ili izmišljene rezultate, poput pogrešnih rasporeda održavanja ili neotkrivenih kritičnih kvarova. Drugi rizik je oslanjanje na podatke, koji mogu biti nepouzdana ili neskladna, što dovodi do netačnih predviđanja i neprikladnog donošenja odluka (kao što su nepotrebni popravci ili odgađanje održavanja). AI sistemi također mogu postati meta cyber kriminalaca koji bi mogli preuzeti kontrolu nad turbinama i izazvati ozbiljne probleme. Dodatno, etička pitanja (kao što su privatnost podataka ili odgovornost za odluke AI-a) i složenost AI sistema mogu otežati njihovo upravljanje. Na kraju, odgovornost za štetu može biti posebno teška kada dođe do nenamjernih kvarova nakon što je AI donio odluku. [11]

2.3. PAMETNE MREŽE

Pametna mreža predstavlja jedinstvenu priliku za elektroenergetsku industriju da postane pouzdanija, dostupnija, ekonomičnija i ekološki prihvatljivija. Ovakav elektroenergetski sistem se temelji na integraciji dvosmjernih komunikacionih i informacionih tehnologija, skladištenju električne energije, automatizaciji distributivne integraciji obnovljivih izvora. [12] Prelazak na obnovljive izvore energije (OIE) nosi određene rizike za pouzdanost i kvalitet energije, jer OIE predstavljaju stohastički i nepredvidiv resurs. Tradicionalna tehnologija obnovljivih izvora energije ne pruža potrebnu podršku inercije, što povećava potencijalni rizik za mrežu. Umjetnička inteligencija (AI) može značajno poboljšati rad pametnih mreža. AI omogućava precizno predviđanje potrošnje energije, optimizaciju distribucije i identifikaciju potencijalnih kvarova u realnom vremenu. Takođe, AI poboljšava upravljanje obnovljivim izvorima energije, smanjujući njihove fluktuacije i nepredvidivost. [13] Također, automatizovani sistemi zasnovani na AI mogu brzo reagovati na promjene u mreži, osiguravajući stabilnost i pouzdanost energetskog sistema, što je ključno kako mreža integriše rast OIE. Na kraju, AI omogućava odgovarajuću integraciju koja osigurava efikasno planiranje i optimizaciju resursa, čime omogućava fleksibilnost i otpornost mreže na nesigurnosti u snabdijevanju energijom.

3. ODRŽIVE PRAKSE I EKONOMSKE KORISTI

Cilj održivog razvoja usmjeren je na poticanje inkluzivnog i održivog ekonomskog rasta, te stvaranje dostojanstvenog rada za sve. Ovi ciljevi naglašavaju potrebu za smanjenjem nejednakosti, smanjenjem siromaštva i prilagođavanjem tržišta rada izazovima poput tehnoloških promjena i automatizacije. Dva ključna aktera u ostvarivanju ovog cilja su vladine vlasti koje mogu utjecati kroz dodjelu prioriteta inkluzivnim politikama i obrazovanju, te preduzeća koja su odgovorna za etičke i održive radne uvjete. Prelazak na ekonomiju koja se temelji na održivim načelima nije samo ekološka odgovornost, već i pametna poslovna odluka jer donosi brojne koristi. Ekološka održivost zahtijeva balansiranje kvalitete okoliša, racionalno korištenje resursa i minimiziranje zagađenja. Društvena održivost zahtijeva zaštitu kulturnih i društvenih vrijednosti, ljudskih prava i jednakosti. Ekonomska održivost zahtijeva očuvanje prirodnog, društvenog i ljudskog kapitala kako bi se podigao životni standard. Tri dimenzije održivosti su međusobno povezane, a njihov integrirani pristup prikazan je kroz koncept "Trostrukog dna", gdje integracija znači ravnotežu, jer održivost nije moguća bez povezivanja svih triju dimenzija. [13]



Slika 2. Četiri ključna stuba za održivu energetske upotrebu AI

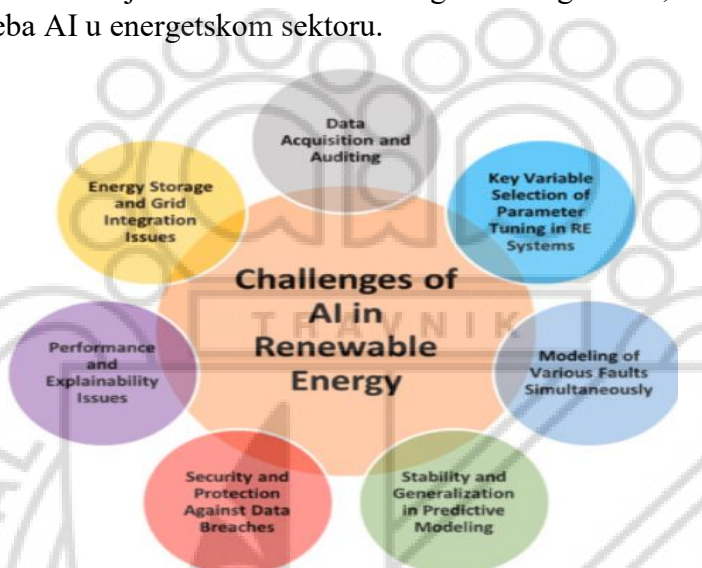
Izvor: <https://www.weforum.org/stories/2025/01/ai-energy-dilemma-challenges-opportunities-and-path-forward/> (Datum pristupa: 23.03.2025.)

4. BALANS IZMEĐU PREPREKA I INOVACIJA

Integracija umjetne inteligencije (AI) u energetske sektor predstavlja širok spektar mogućnosti, ali i izazova koji otežavaju održivu implementaciju.

AI može donijeti uštede i optimizirati procese, ali još uvijek nije jasno koliki će biti njezin ukupni energetske utjecaj, posebno zbog povećanja potrošnje električne energije, koja bi mogla porasti do 50% od 2023. do 2030. godine, čime se vrši pritisak na elektroenergetske sisteme. [14] Energetski sektor, kao važna infrastruktura, suočava se s izazovima zbog značajnih regulacija, sigurnosnih zahtjeva i ekoloških pritisaka.

Ključno je učinkovito upravljati i pratiti zahtjeve energetske efikasnosti u kontekstu rastuće primjene AI. Osim toga, mnoge organizacije nemaju jasno definiran pristup implementaciji AI, što usporava procese zbog nedostatka kulture inovacija. Dodatni izazovi uključuju ograničene resurse, zastarjelu infrastrukturu i nedostatak tržišnog znanja, što također otežava usvajanje AI. Energetski sektor raspolaže velikim količinama podataka, ali modernizacija i digitalizacija sustava često zaostaju za ostatkom društva. Sve ove prepreke zahtijevaju saradnju između regulatora, industrije i akademske zajednice kako bi se osigurala odgovorna, transparentna i energetska učinkovita upotreba AI u energetske sektoru.



Slika 3. Izazovi AI u obnovljivoj energiji

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X24001536> (Datum pristupa: 25.03.2025.)

ZAKLJUČAK

Ovo istraživanje je pokazalo značajnu ulogu umjetne inteligencije u ubrzavanju energetske tranzicije prema obnovljivim izvorima energije. Primjena tehnologija umjetne inteligencije posebno doprinosi u širokom spektru obnovljivih izvora energije, poput solarnih i vjetroturbinskih sistema, značajno poboljšavajući modele predviđanja, optimizaciju potrošnje i integraciju u pametne mreže. Ipak, uprkos napretku u korištenju umjetne inteligencije u energetske sistemima, i dalje postoje brojni izazovi koji ograničavaju širu primjenu umjetne inteligencije. To uključuje probleme s kvalitetom i preciznošću podataka, interoperabilnost ili integraciju sistema, etičke i privatnosne zabrinutosti. Buduća istraživanja trebaju biti usmjerena na poboljšanje performansi i preciznosti algoritama umjetne inteligencije, koji moraju biti pouzdani i prilagođeni različitim strategijama za različite aplikacije, kao i nastavak napora na usklađivanju politika koje omogućuju bolje povezivanje industrije, vlasti i univerziteta na svim nivoima obrazovanja i istraživanja. Stalna ulaganja u poboljšanje infrastrukture i standarda također bi omogućila lakšu integraciju umjetne inteligencije u nacionalne energetske sisteme. Ukratko, ako se prepreke uspješno prepoznaju i riješe, umjetna inteligencija može postati ključni element strategije za napredak prema održivoj energetske budućnosti, olakšati smanjenje emisije ugljičnog dioksida i doprinijeti općem ublažavanju utjecaja klimatskih promjena širom svijeta.

LITERATURA

- [1] (PDF) Artificial Intelligence Techniques Applied on Renewable Energy Systems: A Review (Datum pristupa: 04.03.2025.)
- [2] (PDF) Leveraging Artificial Intelligence for optimizing renewable energy systems: A pathway to environmental sustainability (Datum pristupa: 09.03.2025.)
- [3] Integrating artificial intelligence in energy transition: A comprehensive review - ScienceDirect (Datum pristupa: 12.03.2025.)
- [4] What Is Machine Learning (ML)? | IBM (Datum pristupa: 15.03.2025.)
- [5] Introduction to Deep Learning | GeeksforGeeks (Datum pristupa: 19.03.2025.)
- [6] AI Optimization Algorithms: The Brains Behind Intelligent Decision-Making | by Alya Rahik | Medium (Datum pristupa: 20.03.2025.)
- [7] AI and Solar Energy: A Perfect Pair for Sustainable Growth - SolarFeeds Magazine (Datum pristupa: 22.03.2025.)
- [8] What is Generative AI? | IBM (Datum pristupa: 23.03.2025.)
- [9] AI Applications in Wind-Energy Systems | Wind Systems Magazine (Datum pristupa: 27.03.2025.)
- [10] AI Applications in Wind-Energy Systems | Wind Systems Magazine (Datum pristupa: 07.04.2025.)
- [11] Smart grids and renewable energy systems: Perspectives and grid integration challenges - ScienceDirect (Datum pristupa: 08.04.2025.)
- [12] A. Shukla, N.Kharat, R.Sakhare, "A Study on Power System: Smart Grid" International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 4, pp. 7732–7737, September 2015.
- [13] Elkington, J. Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development. California Management Review, Vol. 36, No. 2, 1994. str. 91..
- [14] Michael H. , We bring together government, businesses and civil society to improve the state of the world , Weforum.