

DIGITALIZACIJA I UMJETNA INTELIGENCIJA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU / DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ELECTRICAL POWER SYSTEM

Medina Mehić¹

¹Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Fakultet politehničkih nauka Travnik,
Aleja Konzula – Meljanac bb, Bosna i Hercegovina
e-mail: medinamehic78@gmail.com

Pregledni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20251403300>

UDK / UDC 621.311:004.8

Sažetak

Digitalizacija i primjena umjetne inteligencije u elektroenergetskom sistemu predstavlja ključne korake za modernizaciju i izgradnju pametnih mreža koje omogućavaju sigurnije, efikasnije i održivije upravljanje energijom. Motivi ovog istraživanja izašli su iz potebe da se odgovori na sve veću složenost elektroenergetskih mreža, povećanost potrošnje i integracije obnovljivih izvora energije. Cilj istraživanja je da se poveća efikasnost i sigurnost sistema, smanji gubitak u prijenosu i distribuciji i preciznije balansiranje proizvodnje i potrošnje u realnom vremenu. Korištene su savremene digitalne tehnologije kao što su pametna brojila, SCADA sistemi, i dr. Rezultati su pokazali da se značajno unapređuje upravljanje elektroenergetskim sistemom, omogućena je brža dijagnostika kvarova, smanjeni gubici i povećana pouzdanost snabdijevanja. Značaj navedenih rezultata proseže se kroz ekonomski, ekološki i društveni značaj, gdje se na taj način postavlja temelj za razvoj pametnih mreža i elektroenergetskih sistema budućnosti.

Ključne riječi: digitalizacija, umjetna inteligencija, elektroenergetski sistem, digitalne tehnologije.
JEL klasifikacija: L94, O33, Q4, Q47, Q55.

Abstract

Digitalization and the application of artificial intelligence in the power system represent key steps for the modernization and construction of smart grids that enable safer, more efficient and more sustainable energy management. The motives of this research arose from the need to respond to the increasing complexity of power grids, increased consumption and integration of renewable energy sources. The aim of the research is to increase the efficiency and security of the system, reduce losses in transmission and distribution and more precisely balance production and consumption in real time. Modern digital technologies such as smart meters, SCADA systems, etc. were used. The results showed that the management of the power system has been significantly improved, faster fault diagnostics have been enabled, losses have been reduced and supply reliability has been increased. The significance of the above results extends through economic, environmental and social significance, thus laying the foundations for the development of smart grids and power systems of the future.

Keywords: digitalization, artificial intelligence, electrical power system, digital technology.
JEL classification: L94, O33, Q4, Q47, Q55.

UVOD

Elektroenergetski sistemi, kako napredniji i savremeniji, suočava se sa sve većim izazovima uslovljenim većom potrošnjom električne energije, integracijom obnovljivih izvora energije, ali i potrebom za smanjenje emisije štetnih gasova.

Proces digitalizacije i primjene naprednih tehnologija, gdje se među njima najviše ističe umjetna inteligencija postaju važni i ključni faktori u transformaciji elektroenergetskog sistema. Digitalizacija podrazumijeva uvođenje digitalnih tehnologija u sve dijelove elektroenergetskog sistema što uključuje proizvodnju, prijenos, distribuciju i potrošnju. Navedena integracija uključuje razvijanje pametnih brojala, senzora, sistema za prikupljanje i analizu podataka i naprednijih softverskih rješenja. Time se stvara osnova za razvoj npr. pametnih mreža, SCADA sistema, virtualnih elektrana, što će također unutar ovog rada biti predstavljeno. Kroz upotrebu umjetne inteligencije mogu da se unaprijede procesi predviđanja potrošnje, otkrivanja kvarova, integracije obnovljivih izvora energije i donošenja odluka u realnom vremenu. Naravno, svaki od navedenih segmenata treba da ima veću zaštitu od pojave zlonamjernih softvera, virusa, krađe dokumenata, podataka i sl.

Uz kombinaciju digitalizacije i umjetne inteligencije povećava se pojava novih trendova i inovacija, koje na neki način pokazuju samu efikasnost i pouzdanost navedene upotrebe. Digitalizacija i umjetna inteligencija predstavljaju nezaobilazan korak prema modernizaciji i održivom razvoju elektroenergetike. Tehnologije ne samo da povećavaju pouzdanost i efikasnost sistema, već prikazuju i prostor za inovacije i trendove, a i primjene koje su do sada izvršene npr. jedna od takvih je ENTSO – E, koja dosta ima veliku i ključnu ulogu na području Evrope, a i značajnu ulogu za jedan elektroenergetski sistem. Stvara prostor i za bolju integraciju obnovljivih izvora energije. Rad prikazuje i ekonomske, pravne i medijske integracija sa kojima se susreće navedena tema i šta se kroz navedeno može prikazati i poboljšati.

1.DEFINICIJA DIGITALIZACIJE I UMJETNE INTELIGENCIJE

Digitalizacija je proces putem kojeg se analogni podaci, informacije ili dokumenti pretvaraju u digitalni oblik. Taj digitalni oblik se može pohranjivati, obrađivati i prenositi preko računara ili nekog drugog elektronskog uređaja i neke od digitalnih tehnologija. Također, označava i transformaciju poslovanja i društva pomoću upotrebe neke od digitalnih tehnologija.

Umjetna inteligencija predstavlja upotrebu digitalne tehnologije za kreiranje novih sistema za obavljanje određenih zadataka, naredbi ili izvršavanje pomoći koje zahtijevaju ljudsku intervenciju. Za svoj rad analizira velike količine ulaznih podataka, otkriva obrazac uz upotrebu algoritama, obavlja zadatke, uči i poboljšava uspješnost izvršenja. Svoju primjenu razvija od proizvodnje, sigurnosti, obrazovanja, zdravstva, energetike, saobraćaja i drugih cjelina.

1.1.ZNAČAJ DIGITALIZACIJE I UMJETNE INTELIGENCIJE U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Značaj digitalizacije u elektroenergetskom sistemu ogleda se u nekoliko područja:

- razvoj pametnih uređaja kao što su: SCADA sistemi i neki od inteligentnijih uređaja,
- brža i veća detekcija kvarova,
- bolja koordinacija proizvodnje i potrošnje električne energije putem digitalnih sistema,
- integracija obnovljivih izvora energije,
- preciznije mjerenje, i
- analiza podataka.

Umjetna inteligencija omogućava naprednu analizu podataka i automatizovano donošenje odluka, te se njen se značaj ogleda u:

- predviđanju kvarova na opremi prije nego što se dogode,
- analiziranju velike količine podataka za optimizaciju proizvodnje energije i smanjenje gubitaka,
- omogućavanju pametnog upravljanja potrošnjom,
- predviđanju proizvodnje energije iz solarnih i vjetroelektrana na osnovu vremenskih i drugih podataka,
- boljem planiranju i stabilizaciji mreže,
- automatskom upravljanju raspodjelom energije, i
- balansiranje mreže u realnom vremenu.

2.TEHOLOGIJE DIGITALIZACIJE ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

2.1.PAMETNA BROJILA

Pametna brojila su digitalni uređaji koji služe za mjerenje i pohranu potrošnje električne energije, nivoa napona, struje, faktora snage i prenosi te informacije potrošaču i dobavljačima električne energije u bilo kojem vremenskom periodu. Kod pametnih brojila senzori mjere napon i struju koja protiče kroz električno kolo. Navedene vrijednosti se množe i time se računa potrošnja energije koja je mjerena u vatima (W). Brojilo također može da odredi ukupnu potrošnju električne energije, koja je mjerena u kilovatsatima (kWh).

Sastoje se od dva dijela: digitalnog brojila električne energije i komunikacijske jedinice. Predstavljaju alat za digitalizaciju i dekarbonizaciju energetske sistema unutar sistema koji je zasnovan na obnovljivim izvorima energije.

Prema FERK - ovom izvještaju za 2024. godinu, u Federaciji Bosne i Hercegovine ugrađeno je 296.321 pametno brojilo za dva elektroprivredna preduzeća, a to su: Elektroprivreda Bosne i Hercegovine (EPBiH) i Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg - Bosne (EP HZHB) i time se smatra 29% pokrivenosti. Za Republiku Srpsku postoje dostupne informacije iz projekta Elektro - Bijeljina i Elektrokrajina da je riječ oko 60.000 uređaja.

U AMM (engl. Automated Meter Management) sistemu je 193.943 mjerna mjesta od ukupno 821.646 mjernih mjesta i time se smatra da čine 24% od ukupnog broja mjernih mjesta.

Do 2027. godine je planirana ugradnja dodatnih 200.000 pametnih brojila i nakon ugradnje udio pametnih brojila u odnosu na ukupan broj mjernih mjesta će porasti na 47%, ali i uz uzimanje u obzir broj novih kupaca koji će biti priključeni do kraja 2027. godine. [4]



Slika 1. Pametno brojilo

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter (Datum pristupa: 09.11.2025.)

2.2.SCADA SISTEM

SCADA (engl. Supervisory Control And Data Acquisition) je sistem za mjerenje, praćenje i kontrolu industrijskih sistema. Sastoje se od: velike opreme, podsistema i tehničkih rješenja koja omogućavaju prikupljanje i obradu podataka o procesima i reagovanje na adekvatan način. Ključni su za elektroenergetske mreže, proizvodnju i upravljanje saobraćajem za nadzor željezničkog i cestovnog saobraćaja, daljinsko praćenje, upravljanje i optimizaciju određenih procesa.

Osnovne funkcije SCADA sistema uključuju prikupljanje podataka, daljinsko upravljanje, HMI analizu podataka i pisanje izvještaja. Neophodne su za proizvodnju, prijenos i distribucijske sisteme.

Unutar SCADA sistema u realnom vremenu se prikupljaju sljedeći tipovi podataka:

- mjerenje aktivne i reaktivne snage, napona i frekvencije,
- signalizacija stanja sklopnih aparata kao što su: prekidači, rastavljači, uzemljivači i dr.,
- položaji regulacionih preklopki transformatora od interesa,
- signalizacija pomoću alarma sa zaštitne i upravljačke opreme,
- brzina i smjer vjetra, pritisak i temperatura sa lokacija modula elektroenergetskih parkova, i
- ostali podaci u zavisnosti od potrebe. [3]



Slika 2. SCADA sistem u Nacionalnom dispečerskom centru – Crnogorski elektroprijenosni sistem (CGES)

Izvor: <https://www.cges.me/en/multimedia/video/108-implementacija-novog-video-zida-u-nacionalnom-dispecerskom-centru> (Datum pristupa: 09.11.2025.)

2.3.PAMETNA MREŽA

Pametna mreža je elektroenergetska mreža koja za praćenje i upravljanje transportom električne energije iz svih izvora proizvodnje koristi digitalne i naprednije tehnologije, senzore i softver. Putem upotrebe određenih segmenata usklađuje ponudu i potražnju za električnom energijom u stvarnom vremenu uz smanjenje troškova, održavanja stabilnosti i veće pouzdanosti mreže.

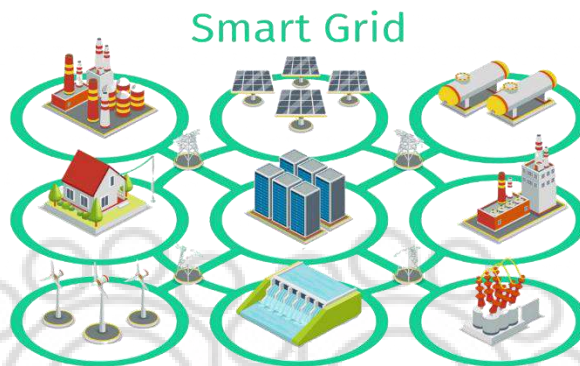
Između 2005. i 2008. godine, Evropska skupina stručnjaka u okviru tehnološke platforme Smart Grids je razvila viziju za električne mreže budućnosti. Rezultat toga objavljena su tri osnovna dokumenta, a to su: Zajednička vizija, Strateško istraživanje i Strateški dokument o implementaciji.

Pametna mreža kao jedna funkcionalna cjelina za veću efikasnost ima svoje glavne karakteristike:

- dvosmjerna komunikacija,
- integracija obnovljivih izvora energije, gdje se neki od navedenih izvora energije lakše i jednostavnije uklapa unutar sistema,
- veća pouzdanost za brže otkrivanje i reagovanje na kvarove,
- energetska učinkovitost, smanjenje gubitaka u prijenosu i optimizacija potrošnje, i
- pametna brojila, omogućuju detaljniji uvid u potrošnju energije u stvarnom vremenu.

Jedna od ključnih prednosti pametne mreže je integracija obnovljivih izvora energije, kao što su solarne i vjetroelektrane, čime se povećava udio čiste energije u ukupnoj potrošnji i smanjuje negativan utjecaj na životnu sredinu.

Pametna mreža doprinosi energetskejoj efikasnosti jer omogućava potrošačima da prate i prilagođavaju sopstvenu potrošnju, biraju povoljnije tarife i čak prodaju višak energije nazad u mrežu, ukoliko posjeduju sopstvene izvore proizvodnje. Razvoj pametnih mreža predstavlja važan korak prema stvaranju održivih gradova budućnosti, jer osim stabilnije i pouzdanije distribucije energije, otvara mogućnost za razvoj novih poslovnih modela u oblasti elektroenergetike i digitalnih usluga.



Slika 3. Pametna mreža

Izvor: https://www.initiumsoft.com/blog_initium/smart-grid/ (Datum pristupa: 09.11.2025.)

2.4.VIRTUALNA ELEKTRANA

Virtualna elektrana je energetska sistem unutar oblaka (engl. Cloud) koji skuplja kapacitete različitih distributivnih izvora energije u jedan jedinstveni i objedinjen izvor koji će nakon toga nadopunjavati proizvodnju električne energije. Bavi se i prodajom električne energije na elektroenergetskom tržištu. Skupljanje distributivnih resursa unutar virtualne elektrane je značajno moguće za doprinos ravnoteže elektroenergetske mreže. Unutar virtualne elektrane priključujemo male proizvođače, sisteme za skladištenje energije, poslovne i industrijske potrošače, gdje se pruža pristup profitabilnom tržištu uravnoteženja.

Na području Balkana, tačnije područje Hrvatske postoje tvrtke Nano Energy i KOER. Od 2020. godine su se pozicionirali kao tehnološka tvrtka koja je napravila infrastrukturu za prvu virtualnu elektranu u Hrvatskoj i time je postala prvi agregator na hrvatskom tržištu. KOER upravlja virtualnom elektranom i omogućuje korisnicima da dijele dio svojih kapaciteta proizvodnje i potrošnje električne energije na održiviji i učinkovitiji način. Može da se koristi sa kapacitetima od 100 kW pa i do nekoliko megavata, te i sami prihodi ovise o samom kapacitetu. [6]

3.PRIMJENA U EVROPI

3.1.ENTSO – E

ENTSO – E (engl. European Network of Transmission System Operators for Electricity) je evropska mreža operatora sistema prijenosa električne energije koja je osnovana 2009. godine sa sjedištem u Briselu. Predstavlja udruženje koje okuplja sve nacionalne operatore prijenosnih sistema iz 36 evropskih država. Glavna uloga je da osigura pouzdano, sigurno i održivo funkcionisanje evropske elektroenergetske mreže, koja predstavlja jednu od najvećih povezanih mreža na svijetu.

Osnovni zadatak je koordinacija prijenosa električne energije između zemalja članica, obezbjeđivanje stabilnosti elektroenergetskog sistema i unapređenje unutrašnjeg tržišta električne energije u Evropi. Uz pomoć ENTSO – E, evropska elektroenergetska mreža funkcioniše kao jedinstven i povezan sistem koji može da odgovori na izazove sve veće potrošnje, integracije obnovljivih izvora i klimatskih promjena. U njenom se sastavu kao članice nalaze i: Bosna i Hercegovina (NOSBiH), Srbija (Elektromreža Srbije), Hrvatska (HOPS), Crna Gora (CGES), Albanija (OST) i dr.

5.SIGURNOSNI ASPEKTI DIGITALIZACIJE I UMJETNE INTELIGENCIJE

5.1.CYBER SECURITY U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Cyber security (kibernetička sigurnost) je sigurnost zaštite ljudi, sistema, podataka, dokumenata ili nekih sličnijih segmenata od kibernetičkih napada uz upotrebu različitih tehnologija, procesa i dr. Uobičajene cyber prijetnje uključuju ransomware i neke od drugih zlonamjernih softvera, phishing prevara, krađe podataka, a i u današnjem novijem vremenu napade koji su pokrenuti od strane umjetne inteligencije. Osobe koje se nalaze iza određenih prevara koriste umjetnu inteligenciju za izvođenje naprednijih napada. Koriste umjetnu inteligenciju otvorenog koda za kreiranje lažnih e – mail poruka, aplikacija i nekih drugih dokumenata za nekoliko minuta.

Kako cyber security ima svoju veliku zastupljenost u raznim dijelovima i poljima, tako svoju zastupljenost pronalazi i u području elektroenergetike, najviše putem SCADA sistema. Njihova primjena je široka od elektrane, sistema elektrana, sistema prijenosa i sistema distribucije električne energije. Kako postoji u današnjem svijetu velika prijetnja od strane cyber napada, važna je i povezanost uz napade računarskih nadzornih SCADA sistema u funkciji upravljanja sistemima za distribuciju vode, plinovoda i elektroenergetskog sistema. Svaki SCADA sistem je u par slučajeva podložan cyber napadu ovisno o integrisanim karakteristikama predmetnog SCADA sistema.

Napad na SCADA sistem može da dođe iz samog sistema putem direktnog pristupa na hardver navedenog sistema, ali može i da dođe i iz vanjskog izvora preko komunikacijskog dijela. Osnovni cilj je smanjivanje mogućnosti ili potpunog eliminisanja zlonamjernih cyber napada.

Jedan od napada na elektroenergetsku mrežu koji se dogodio bio je Industroyer, poznat i kao Crashoverride. To je zlonamjerni framework koji je korišten u cyber napadu na elektroenergetsku mrežu Ukrajine 2016. godine. Napad je isključio petinu dijela grada Kijeva, bez struje na jedan sat i smatra se da je test bio sa velikim razmjerama. Napad na Kijev je bio drugi cyber napad koji se desio u dvije godine. Prvi napad se desio 2015. godine. Ovaj zlonamjerni virus je posebno dizajniran za napade na elektroenergetske mreže.

5.2.INTEGRITET, KVALITETA I PRIVATNOST PODATAKA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Digitalizacija, upotreba umjetne inteligencije, uvođenje naprednijih mjernih tehnologija, pametne mreže i automatizovani upravljački sistemi doveli su do toga da se u elektroenergetskom sistemu danas prikuplja, obrađuje i razmjenjuje velika količina podataka. Integritet podataka u elektroenergetskom sistemu predstavlja očuvanje potpunosti i tačnosti informacija koje se koriste za proces planiranja, monitoringa i upravljanja mrežom. U dispečerskim centrima vezanim za elektroenergetiku, a i u automatizovanim zaštitnim uređajima odluke se donose na osnovu prikupljenih podataka za proizvodnju, prijenos i potrošnju energije. Ako se desi da dođe do narušavanja integriteta podataka može da dovede do pogrešnog balansiranja sistema, nestanka električne energije, čak i do pojave havarije velikih razmjera. Kvaliteta podataka u elektroenergetskom sistemu utječe na donošenje odluka i pouzdanosti sistema. Podaci koji se prikupljaju putem senzora, pametnih brojala i komunikacijskih mreža treba da budu tačni, potpuni i ažurni. Ako se desi da dispečer ili neki automatizovani sistem dobije netačne informacije o opterećenju mreže, može da dovede do neoptimalne raspodjele snage, povećanih gubitaka, a i do poremećaja stabilnosti sistema. Time, velika kvaliteta podataka omogućuje efikasnije planiranje potrošnje, proizvodnje, optimizacije rada mreže, upravljanje obnovljivim izvorima energije i smanjenje troškova za operatere i krajnje korisnike.

Privatnost podataka u elektroenergetskom sistemu dolazi do svog izražaja putem razvoja pametnih brojala i naprednijih mjernih infrastruktura. Putem ovih tehnologija prikupljaju se detaljnije informacije o potrošnji električne energije u domaćinstvima i preduzećima. Također, zaštita privatnosti zahtijeva i poštovanje zakona i regulativa, transparentnost prema korisnicima, sigurnosne mjere putem enkripcije, višefaktorske autentifikacije i dr.

6. BUDUĆI TRENDOWI I INOVACIJE

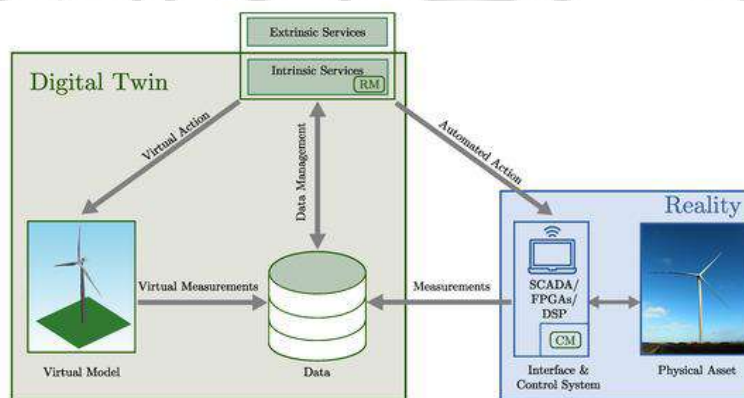
Razvoj elektroenergetskih sistema u budućnosti je dosta povezan sa digitalizacijom i primjenom umjetne inteligencije. Sama elektroenergetska infrastruktura, transformiše se u pametne, fleksibilne i interaktivne mreže. Upotrebom digitalnih alata omogućava se preciznije upravljanje potrošnjom i proizvodnjom energije, dok sama primjena umjetne inteligencije doprinosi optimizaciji rada mreže, integraciji obnovljivih izvora energije i prediktivnom održavanju. Primjena trendova i inovacija otvara put prema održivijem, sigurnijem i ekonomičnijem elektroenergetskom sektoru u budućnosti.

6.1. DIGITAL TWINS U ELEKTROENERGETICI

Digital twins (digitalni blizanac) je digitalni prikaz neke fizičke stvari, imovine ili okruženja, kao što naprimjer može biti automobil, kuća, itd. Predstavlja referencu podataka koja se kreira tokom same faze planiranja projekta, čak i obuhvata njene faze od dizajna, proizvodnje, izgradnje, rada, održavanja, pa čak i do buduće ili neke ponovne upotrebe.

Razvoj budućeg elektroenergetskog sistema treba da prođe kroz veliku tranziciju u svojoj operativnoj strategiji. Zbog velikog broja ispada konvencionalnih sinhronih generatora, prisutna inercija u sistemu će se smanjiti i time se ugrožava stabilnost mreže, jer intrinzične rezerve snage nestaju. Sama proizvodnja će se sastojati od više obnovljivih izvora energije i sistema za skladištenje, a potrošnja će da zadovolji lokalne i individualne potrebe.

Da bi se riješili izazovi koji dolaze iz ove tranzicije, neophodne su ekološke, ekonomske i funkcionalne informacije međusobnog povezanog sistema u stvarnom vremenu. Rad takvog jednog složenog sistema obuhvata prebacivanje energetske elektroničke uređaja na nivou komponenti, praćenje tačke maksimalne snage na nivou jedinice, optimalno upravljanje vjetroparkovima na nivou elektrane, stabilnost frekvencije i napona na nivou mreže. Cilj toga svega je da se omogući fleksibilan i stabilan rad cjelokupnog sistema, omogućiti distribuirano i optimalno upravljanje energijom lokalnih podsistema.



Slika 4. Sistem digitalnog blizanca

Izvor: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/6/5259> (Datum pristupa: 12.11.2025.)

7.EKONOMSKE, PRAVNE I MEDIJSKE INTEGRACIJE

Digitalizacija i umjetna inteligencija u elektroenergetskom sistemu donosi značajne ekonomske povezanosti. Na tržištu sa električnom energijom javlja se mogućnost optimizacije proizvodnje, distribucije i potrošnje. Primjenom umjetne inteligencije mogu da se analiziraju ogromne količine podataka u stvarnom vremenu i predviđanje potreba potrošača, što omogućava smanjenje gubitaka, troškova, postojanost novih tržišta i modela poslovanja, razvoja investicija i inovacija što dovodi do većeg ulaganja u infrastrukturu, softver i obuku tehničkih i odgovornih lica.

Pravna regulativa ima veliku ulogu u usmjeravanju digitalizacije elektroenergetskog sistema. Otvara nova pitanja vezano za zaštitu podataka i privatnosti za prikupljanje detaljnijih informacija o navikama potrošača, sigurnosti i odgovornosti, regulacija tržišta gdje je potrebno da se prilagodi zakon i da se omogući integracija distributivnih izvora energije, digitalnih platformi za trgovinu, i dr.

Prisustvo medija stvara na neki način ulogu o formiranju percepcije javnosti vezano za navedenu temu. Kroz zastupljenost medija stvara se informisanje javnosti gdje se građani upoznaju sa prednostima poput manjih troškova, sigurnije mreže, ali i prisustvom potencijalnih rizika koji se mogu pojaviti, transparentna komunikacija o načinu na kojem se podaci koriste i kako primjena umjetne inteligencije doprinosi sigurnost sistemu ima za ključnu važnost prihvatanja novih tehnologija.

ZAKLJUČAK

Digitalizacija i upotreba umjetne inteligencije u elektroenergetskom sistemu predstavljaju jedan od ključnih načina za razvoj savremenih energetske mreža i infrastrukture. Uvođenje digitalnih tehnologija, senzorskih mreža, naprednih mjernih sistema omogućavaju prelazak na tzv. pametne mreže (engl. Smart Grids) koje imaju i nude veći stepen fleksibilnosti, sigurnosti i optimizacije. Umjetna inteligencija se pokazala veoma kao posebno važan alat u analizi velikih količina podataka koje elektroenergetski sistem svakodnevno generiše. Algoritmi umjetne inteligencije mogu da unaprijede proces predikcije potrošnje i proizvodnje, da omoguće brže otkrivanje kvarova, automatizacije procesa za balansiranje mreže i poboljšanje integracije obnovljivih izvora energije. Time se značajno smanjuju gubici u prijenosu i distribuciji i povećava se stabilnost sistema. Osim tehničkih aspekata, digitalizacija i umjetna inteligencija donose nove izazove: potrebu za kibernetičkom sigurnošću, standardizacijom podataka, pravnim regulativama i prilagođavanje postojećih poslovnih modela elektroenergetskih kompanija. Zbog toga, proces transformacije treba da bude pažljivo planiran i podržan multidisciplinovanom pristupom u kojem učestvuju inženjeri, IT stručnjaci, zakonodavci i krajnji korisnici.

Digitalizacija i umjetna inteligencija nisu samo tehničke inovacije, nego i ključni faktori za energetske tranziciju prema dekarbonizovanom, decentralizovanom i digitalizovanom sistemu. Njihova primjena omogućuje veću integraciju obnovljivih izvora energije, optimizaciju rada postojećih kapaciteta, smanjenje emisija CO₂ i kreiranje pametnih gradova i zajednica koje su energetske samoodržive. Treba da se posmatraju kao ključni stubovi energetske tranzicije. Njihova uspješna implementacija podrazumijeva ulaganje u infrastrukturu, edukaciji kadrova, izgradnju pravnog i regulatornog okvira i jačanje međunarodne saradnje.

LITERATURA

Knjige:

[1] Jelčić, L., (2021). *Primjena umjetne inteligencije u elektroenergetskom sustavu*, 58, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, Specijalistički diplomski stručni studij Ekonomike energije i okoliša, Zagreb.

[2] Tomašević, I., (2019). *Sustavi nadzora i upravljanja (SCADA) u energetici*, 29, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek.

[3] (2025). *Mrežni kodeks*, 119, Nezavisni operator sistema Bosne i Hercegovine.

Web stranice:

[1] Europsko vijeće, (2025), „Umjetna inteligencija: primjene i učinci“, <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/ai-explained/> (Datum pristupa: 08.11.2025.)

[2] IBM, „What are smart meters?“, <https://www.ibm.com/think/topics/smart-meter> (Datum pristupa: 08.11.2025.)

[3] GridX, (2024), „Smart Meter“, <https://www.gridx.ai/knowledge/smart-meter> (Datum pristupa: 08.11.2025.)

[4] Raonić, I., (2025), „Računi za struju rastu, ali bez digitalnih brojila nema tačne potrošnje“, <https://ba.bloombergadria.com/ekonomija/bih/85521/bez-pametnih-brojila-nema-ni-pravednih-racuna-za-struju/news> (Datum pristupa: 09.11.2025.)

[5] IEA, „Smart Grids“, <https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids> (Datum pristupa: 09.11.2025.)

[6] KOER, „KOER Virtualna elektrana“, <https://www.koer.com/hr/o-nama/> (Datum pristupa: 10.11.2025.)

[7] Jonker, A., Lindemulder, G., Kosinski, M., „What is cybersecurity?“, <https://www.ibm.com/think/topics/cybersecurity> (Datum pristupa: 11.11.2025.)

[8] Stojkov, M., „SCADA nadzorni sustav EES s aspekta cyber sigurnosti“, <https://festung.unisb.hr/konferencija/strucnjaci-iz-znanosti-i-obrazovanja/izlaganja-strucnjaka-iz-znanosti-i-obrazovanja/scada-nadzorni-sustav-ees-s-aspekta-cyber-sigurnosti> (Datum pristupa: 11.11.2025.)

[9] Turney, D., (2024), „What is a digital twin? How intelligent data models can shape the built world“, <https://www.autodesk.com/design-make/articles/what-is-a-digital-twin> (Datum pristupa: 12.11.2025.)

[10] Song, Z., Hackl, C. M., Anand, A., Thommessen A., and others, „Digital Twins for the Future Power System: An Overview and a Future Perspective“, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/6/5259> (Datum pristupa: 12.11.2025.)