

DOI: [10.46793/CIGRE37.D2.05](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.D2.05)**D2.05****UTICAJ RAZVOJA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE NA POTROŠNJU ELEKTRIČNE
ENERGIJE DATA CENTARA I EKOLOŠKI IZAZOVI****THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEVELOPMENT ON DATA CENTER
POWER CONSUMPTION AND ENVIRONMENTAL CHALLENGES****Jelena Apostolović, Miljana Stojanović***

Kratak sadržaj: Razvoj veštačke inteligencije (AI – Artificial Intelligence) značajno povećava potrebu za računarskim resursima, što direktno utiče na povećanje potrošnje električne energije u data centrima. Rast energetske potrošnje u data centrima zahteva efikasnije sisteme hlađenja, koji dodatno povećavaju potrošnju vode i električne energije i opterećuju ekološki sistem. Ovaj trend postavlja izazove u pogledu održivosti i smanjenja ekološkog otiska (karbonski, vodeni i infrastrukturalni). Optimizacija energetskih sistema i primena naprednih tehnologija ključni su za smanjenje spomenutih negativnih uticaja. Integracija pametnih sistema upravljanja resursima može doprineti boljoj kontroli potrošnje energije i vode, a efikasniji dizajn infrastrukture omogućava smanjenje gubitaka i povećanje pouzdanosti. Inženjerska rešenja treba da se fokusiraju na balans između rasta AI kapaciteta i očuvanja životne sredine. Primena obnovljivih izvora energije i inovativnih metoda hlađenja postaje sve važnija. Budućnost data centara zavisi od razvoja održivih i energetski efikasnih modela, a strateški prioritet je obezbeđenje stabilnih performansi uz minimizaciju ekoloških posledica. U radu će biti razmotrena poređenja i razlike klasičnih data centara i AI data centara, uticaji rastućih AI zahteva na potrošnju električne energije, kao i njihov uticaj na ekološki otisak. Takođe, biće razmotrene prednosti i „mane“ AI data centara kroz različita rešenja.

Ključne reči: AI, Data Centar, potrošnja električne energije, ekološki otisak

Abstract: The rapid development of artificial intelligence (AI) significantly increases the demand for computing resources, directly influencing the rise in power consumption in data centers. The growing energy demands of data centers require more efficient cooling systems, which further increase water and power consumption and place additional strain on the environmental system. This trend presents challenges in terms of sustainability and reducing the environmental footprint (carbon, water, and infrastructure-related). Optimizing energy systems and implementing advanced technologies are key to mitigating these negative impacts.

* Jelena Apostolović, ENEL PS, jelena.apostolovic@enelps.com
Miljana Stojanović, ENEL PS, miljana.stojanovic@enelps.com

The integration of smart resource management systems can contribute to better control of energy and water consumption, while more efficient infrastructure design enables the reduction of losses and increased reliability. Engineering solutions should focus on balancing the expansion of AI capacity with environmental preservation. The adoption of renewable energy sources and innovative cooling methods is becoming increasingly important. The future of data centers depends on the development of sustainable and energy-efficient models, with the strategic priority of ensuring stable performance while minimizing environmental consequences. This paper will examine the comparisons and differences between traditional data centers and AI data centers, the impact of increasing AI demands on power consumption, and their effect on the environmental footprint. Additionally, the advantages and "challenges" of AI data centers will be analysed through various solutions.

Key words: *AI, Data Center, power consumption, environmental footprint*

1 UVOD

Razvoj veštačke inteligencije (AI) u periodu od 2015 do 2024 transformisao je različite industrijske sektore, omogućavajući napredne analize podataka, automatizaciju i optimizaciju složenih procesa. Sa porastom AI aplikacija, dolazi i do eksponencijalnog povećanja potrošnje električne energije u data centrima, što predstavlja izazov u kontekstu energetske efikasnosti i održivosti. Globalna potrošnja električne energije data centara već sada dostiže preko 200 TWh godišnje, a predviđanja ukazuju na značajan porast do 2030. godine.

Sa povećanjem AI radnih zadataka, tradicionalni modeli upravljanja energetske resursima postaju neodrživi. Pored velike potrošnje električne energije, dodatni ekološki izazovi uključuju povećanu potrošnju vode za hlađenje i emisije ugljen-dioksida, što stvara potrebu za inovativnim rešenjima u domenu energetske efikasnosti. Upravo se u ovom radu razmatraju mogućnosti optimizacije energetske potrošnje kroz primenu naprednih AI algoritama, integraciju obnovljivih izvora energije i poboljšanje sistema hlađenja.

Ovaj rad predstavlja stručnu analizu trenutnih trendova i tehnoloških rešenja u oblasti AI data centara, sa akcentom na optimizaciju energetske efikasnosti i smanjenje ekološkog otiska. Pored pregleda postojećih tehnologija, analiziraju se i budući pravci razvoja održivih AI data centara

Razvoj energetske efikasne AI data centara i njihov uticaj na ekološki otisak postali su predmet brojnih istraživanja u poslednjoj deceniji. Strubell et al. (2019) [1] analizirali su energetske potrebe dubokog učenja i predložili strategije za optimizaciju potrošnje. Google DeepMind (2018) [2] prikazao je upotrebu AI modela za smanjenje potrošnje energije u data centrima, dok su Masanet et al. (2020) [3] dali nove procene ukupne energetske potrošnje ovih objekata na globalnom nivou. Dalja istraživanja Evropske komisije (2020) ukazuju na potrebu za regulacijom i optimizacijom data centara kako bi se smanjila njihova potrošnja energije.

Cilj rada je da se analiziraju izazovi i rešenja u vezi sa potrošnjom električne energije AI data centara, kao i njihov uticaj na ekološki otisak. Poseban akcenat stavljen je na implementaciju tehnoloških inovacija koje mogu doprineti smanjenju ukupnog ekološkog uticaja ovih sistema.

Rad je organizovan na sledeći način:

- **Poglavlje 2** prikazuje razliku između klasičnih i AI data centara, naglašavajući njihove specifične potrebe i izazove.
- **Poglavlje 3** analizira potrošnju energije i ekološki otisak AI data centara.
- **Poglavlje 4** razmatra tehnologije i strategije za optimizaciju energetske efikasnosti.
- **Poglavlje 5** istražuje energetska održivost i buduće trendove AI data centara, uključujući inovacije u hlađenju i korišćenje obnovljivih izvora energije.
- **Poglavlje 6** donosi zaključke i preporuke za buduća istraživanja u ovoj oblasti.

2 RAZLIKE IZMEĐU KLASIČNIH I AI DATA CENTARA

Razvoj AI tehnologija donosi nove izazove u radu data centara, značajno ih razlikujući od klasičnih data centara koji su dizajnirani za tradicionalne IT operacije. Sa porastom upotrebe AI modela, potreba za naprednim hardverskim i softverskim rešenjima postaje ključna za dalji razvoj ove industrije.

2.1 Klasični data centri

Klasični data centri su infrastrukturni objekti optimizovani za standardne IT radne zadatke kao što su skladištenje podataka, pružanje usluga smeštaja (hostovanje) aplikacija i pružanje usluge u oblaku (cloud servisa). Ovi data centri koriste centralne procesorske jedinice (CPU) kao dominantne komponente i oslanjaju se na standardne metode hlađenja i distribucije toplotne energije.

Osnovne karakteristike klasičnih data centara:

- Koriste CPU kao primarni izvor računarske snage.
- Standardni sistemi hlađenja zasnovani na vazдушnom protoku i klimatizaciji.
- Relativno ujednačena potrošnja energije.
- Optimizovani za širok spektar poslovnih aplikacija.

2.2 AI data centri

AI data centri su specijalizovani objekti prilagođeni intenzivnim računarskim procesima potrebnim za obuku i izvođenje AI modela. Ovi centri koriste grafičke procesore (GPU), tenzorske procesore (TPU) i čipove za ubrzano procesiranje podataka (FPGA). Zbog znatno većih zahteva u vezi sa obradom podataka, AI data centri imaju drugačiju arhitekturu i sistem napajanja u odnosu na tradicionalne data centre.

Upotreba AI značajno menja dizajn i izgradnju data centara:

- **Raste potreba za modularnim dizajnom** – Fleksibilne arhitekture koje omogućavaju brzu skalabilnost AI resursa.
- **Povećana gustina serverskih ormara** – AI procesiranje zahteva veće snage po reku, često prelazeći 50 kW po rack-u (naspram 5-10 kW u klasičnim data centrima).
- **Rastu ulaganja u obnovljive izvore energije** – Kako bi se smanjio ugljeni otisak AI data centara.

- **Inovacije u hlađenju** – Direktno tečno hlađenje čipova postaje standard.

Najnapredniji AI data centri koriste energetske efikasne tehnologije i obnovljive izvore energije, kao i napredne AI modele za optimizaciju energetske efikasnosti smanjujući time potrošnju energije za hlađenje i do 40%.

2.3 Razlike AI u odnosu na klasične data centre

Ključne razlike između klasičnih i AI data centara:

- **Veća gustina računarskih resursa** – AI modeli zahtevaju paralelnu obradu podataka, što povećava potrebu za specijalizovanim hardverom.
- **Eksponencijalno veća potrošnja energije** – GPU i TPU troše više energije u poređenju sa CPU-ima.
- **Napredni sistemi hlađenja** – U AI data centrima se sve češće koriste tečno hlađenje i hibridni sistemi zbog visoke toplotne disipacije.
- **Optimizacija putem AI upravljanja** – AI algoritmi se koriste za praćenje potrošnje energije i optimizaciju radnog opterećenja u realnom vremenu.

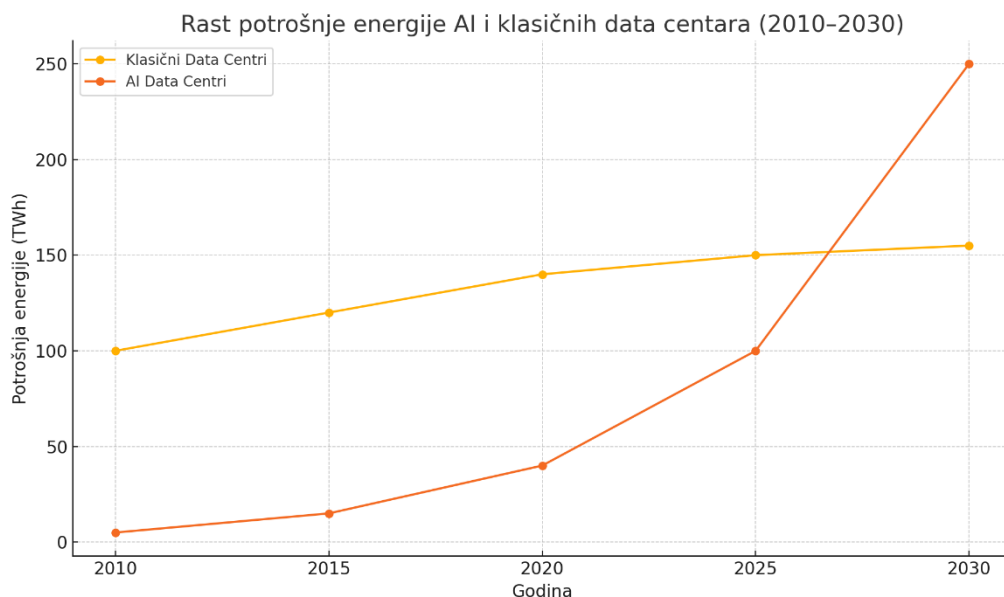
Prema istraživanjima Uptime Institute [4], do 2030. godine više od 50% novih data centara biće specijalizovano za AI obradu podataka, dok će potrošnja energije AI data centara porasti za 160%. Ove promene zahtevaju nove strategije održivosti i optimizacije potrošnje resursa.

Sledeće poglavlje detaljnije analizira potrošnju energije i ekološki otisak AI data centara.

2.4 Dijagram rasta potrošnje energije AI data centara

Na slici 1 prikazan je predviđeni rast potrošnje energije AI data centara u poređenju sa klasičnim data centrima od 2010. do 2030. godine.

Slika 1: Dijagram rasta potrošnje energije AI i klasičnih data centara



Sa slike 1 se može videti da klasični data centri beleže postepeni porast potrošnje energije, ali ostaju relativno stabilni u poređenju sa AI data centrima. AI data centri doživljavaju eksponencijalni rast potrošnje energije, sa naglim povećanjem u periodu 2020-2030. godine. Ovaj trend ukazuje na potrebu za unapređenjem energetske sistema, efikasnijih metoda hlađenja i upotrebom obnovljivih izvora energije kako bi se smanjio ekološki otisak.

Sledeće poglavlje detaljnije analizira potrošnju energije i ekološki otisak AI data centara.

3 POTROŠNJA ENERGIJE I EKOLOŠKI OTISAK AI DATA CENTARA

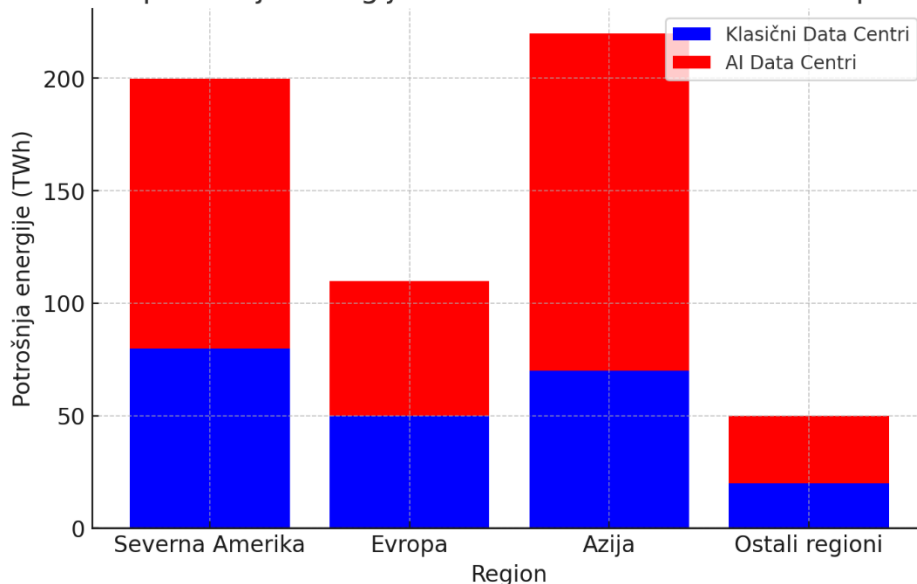
Eksponencijalni rast AI tehnologija dovodi do značajnog povećanja energetske potrošnje u data centrima. AI aplikacije poput velikih jezičkih modela (npr. ChatGPT, DALL-E) i sistema za autonomnu vožnju zahtevaju ogromne računarske resurse, što rezultira visokom potrošnjom električne energije i povećanim ekološkim otiskom.

3.1 Povećana potrošnja energije AI data centara

Prema istraživanju Uptime Institute [4], do 2030. godine očekuje se da AI data centri troše **preko 250 TWh godišnje**, što je rast od preko **160%** u odnosu na trenutnu potrošnju. Veliki AI modeli, poput onih koje koriste Google, OpenAI i Meta, troše značajno više energije po jedinici obrade podataka u poređenju sa tradicionalnim aplikacijama.

Na slici 2 prikazana je predviđena potrošnja energije AI i klasičnih data centara po regionima do 2030. godine. Kao što se vidi, Azija i Severna Amerika su vodeći regioni u potrošnji energije AI data centara, dok Evropa teži regulaciji i energetskej efikasnosti. Očekuje se da će i ostali regioni u narednoj deceniji povećati ulaganja u AI infrastrukturu, što će dodatno povećati globalnu potrošnju energije.

Predviđena potrošnja energije AI vs. klasičnih data centara po regionima



Slika 2: Dijagram potrošnje energije Ai i klasičnih data centara po regionima

Glavni razlozi za povećanu potrošnju električne energije uključuju obuku AI modela, inferenciranje tj. izvođenje modela, kao i hlađenje i upravljanje infrastrukturom.

Trening kompleksnih modela uključuje obradu ogromne količine podataka kroz složene algoritme i može zahtevati hiljade GPU-ova koji rade simultano, povećavajući energetske potrebe. Nakon treniranja, AI modeli zahtevaju značajnu kontinuiranu procesorsku snagu za izvođenje zadataka u realnom vremenu. Povećana gustina serverskih rekova i veća disipacija toplote, zbog intenzivnog rada servera, zahtevaju efikasnije metode hlađenja. Sistem za hlađenje je ključan za održavanje optimalne temperature, što dodatno povećava potrošnju energije.

3.2 Karbonski i vodeni otisak AI data centara

AI data centri imaju značajan **karbonski otisak**, jer mnogi još uvek koriste energiju iz fosilnih goriva. Istraživanja pokazuju da **obuka modela poput GPT-3 emituje oko 552 tone CO₂**, što je ekvivalent godišnjoj emisiji **123 automobila na benzin**.

Pored ugljeničnog otiska, **vodeni otisak** AI data centara postaje ključni problem. Sistemi hlađenja velikih objekata troše milione litara vode godišnje, posebno u oblastima sa visokim temperaturama i sušnim klimama.

Na primer:

- **AI data centri** u Arizoni koriste inovativne sisteme reciklaže vode kako bi smanjili potrošnju.
- **AI data centar** u Holandiji koristi vetroenergiju i kišnicu za hlađenje kako bi minimizirao ekološki otisak.

3.3 Poređenje potrošnje energije AI i klasičnih data centara

Tabela I: Predviđena razlika u potrošnji električne energije između klasičnih i AI data centara

Godina	Klasični data centri (TWh)	AI data centri (TWh)
2010	100	5
2015	120	15
2020	140	40
2025	150	100
2030	155	250

Kako se vidi iz tabele I, AI data centri preuzimaju sve veći udeo u ukupnoj potrošnji energije, što postavlja izazove za održivost industrije.

3.4 Uticaj na infrastrukturu i održivost

Kako bi se smanjio negativan uticaj AI data centara na životnu sredinu, kompanije razvijaju sledeće strategije:

- **Optimizacija AI modela** – Smanjenje energetske potrebe kroz efikasnije algoritme.
- **Obnovljivi izvori energije** – Korišćenje solarnih i vetroelektrana za napajanje data centara.
- **Napredni sistemi hlađenja** – Direktno tečno hlađenje smanjuje potrošnju vode i energije.
- **Reciklaža otpadne topline** – Ponovna upotreba toplotne energije u lokalnim zajednicama.

Sledeće poglavlje razmatra tehnologije koje mogu poboljšati energetske efikasnosti AI data centara.

4 TEHNOLOGIJE I STRATEGIJE ZA OPTIMIZACIJU ENERGETSKE EFIKASNOSTI AI DATA CENTARA

Kako bi se smanjila ogromna potrošnja energije i ekološki otisak AI data centara, sve veći fokus se stavlja na implementaciju naprednih tehnologija i strategija energetske efikasnosti.

4.1 Optimizacija energetske infrastrukture AI data centara

Energetska infrastruktura AI data centara značajno se razlikuje od klasičnih data centara. Visoka gustina računarskih resursa i potrebe za neprekidnom obradom podataka nameću nove zahteve za projektovanje elektroenergetskih sistema.

Ključni elementi energetske infrastrukture AI data centara uključuju:

- **UPS (neprekidni izvori napajanja)** – Obezbeđuje stabilno napajanje i sprečava prekid rada AI sistema koji bi mogli dovesti do gubitaka podataka i prekida u funkcionisanju aplikacija.
- **Sistemi za rezervno napajanje** – Većina AI data centara koristi napredne baterijske sisteme (kao što su litijum-jonske baterije) umesto tradicionalnih dizel električnih agregata, čime se smanjuje emisija CO₂ i operativni troškovi.
- **Optimizacija distribucije energije (PUE - Power Usage Effectiveness)** – PUE je ključna metrika u ocenjivanju efikasnosti data centara. AI omogućava precizno praćenje i prilagođavanje potrošnje energije u realnom vremenu, smanjujući nepotrebne gubitke.
- **Pametne mreže i automatizovani sistemi upravljanja napajanjem** – AI može optimizovati raspodelu opterećenja između serverskih čvorova kako bi smanjio energetske intenzitet rada.

4.1 Potrošnja energije u AI data centrima – analiza komponenata

AI data centri troše znatno više energije od klasičnih data centara zbog povećane potrebe za računanjem, skladištenjem podataka i naprednim metodama hlađenja.

Glavni izvori potrošnje električne energije u AI data centrima su:

- **Procesori (CPU, GPU, TPU, FPGA)** – GPU i TPU čipovi troše i do 10 puta više energije po jedinici obrade u poređenju sa klasičnim CPU-ima. A100 GPU, na primer, može imati potrošnju veću od **400 W po čipu**, što je značajno više od standardnog server CPU-a.
- **Memorijski sistemi i skladištenje (SSD, NVMe, RAM moduli)** – Brza memorijska rešenja povećavaju efikasnost, ali zahtevaju sofisticirane strategije hlađenja zbog generisanja toplote pri velikim brzinama obrade podataka.
- **Hlađenje i klimatizacija** – AI data centri troše do **40% ukupne energije samo na hlađenje**, jer serverske sobe sa visokom gustinom uređaja generišu veliku količinu toplote.

Uzimajući u obzir ove faktore, industrijski lideri razvijaju inovativne metode za optimizaciju potrošnje energije i smanjenje ukupnog ekološkog otiska AI data centara.

4.2 Modularna i fleksibilna infrastruktura

Kako bi se omogućila optimizacija energetske efikasnosti, sve više data centara koristi modularne sisteme koji omogućavaju bolju prilagodljivost i optimizaciju resursa u skladu sa trenutnim potrebama korisnika.

Glavne komponente modularne infrastrukture uključuju:

- **Modularni dizajn** – Omogućava fleksibilno skaliranje kapaciteta prema potrebama AI radnih opterećenja. Umesto velikih centralizovanih objekata, kompanije sada razvijaju **modularne servere** koji se mogu lako nadograđivati i optimizovati prema trenutnim zahtevima aplikacija.
- **DCIM (Data Center Infrastructure Management)** – Softverski alati omogućavaju praćenje ključnih parametara rada data centra, uključujući temperaturu, potrošnju energije, vlažnost, protok vazduha i efikasnost hlađenja, što omogućava brzo uočavanje potencijalnih problema. Automatizovane AI platforme koriste DCIM za predviđanje i sprečavanje preopterećenja serverskih rekova, kvarove opreme ili druge kritične situacije.
- **Hibridni sistemi napajanja** – Kombinacija obnovljivih izvora energije sa mrežnim napajanjem omogućava balansiranje potrošnje i smanjenje oslanjanja na fosilna goriva.

Upotrebom modularnih i fleksibilnih rešenja, AI data centri postaju prilagodljiviji, energetski efikasniji i sposobni da odgovore na rastuće zahteve tržišta.

4.3 Budućnost energetski efikasnih AI data centara

S obzirom na sve veću potrebu za energetski održivim rešenjima, AI data centri sve više uvode inovacije koje će oblikovati njihovu budućnost.

Neki od ključnih pravaca razvoja uključuju:

- **Pametni energetski sistemi** – Upotreba AI za balansiranje potrošnje energije u realnom vremenu. Očekuje se da će do 2030. godine preko 50% globalnih data centara koristiti AI sisteme za automatsku optimizaciju potrošnje energije.
- **Reciklaža otpadne toplote** – AI data centri mogu koristiti viškove generisane toplote za zagrevanje objekata u blizini, čime se smanjuju ukupni energetski troškovi. Na primer, data centar u Danskoj već koristi otpadnu toplotu za grejanje lokalnih zajednica.
- **Integracija AI i pametnih gradova** – Budući AI data centri biće ključni za optimizaciju distribucije energije u pametnim gradovima, omogućavajući bolju iskorišćenost solarne i vetroenergije.
- **Razvoj novih materijala i rashladnih tečnosti** – Tradicionalni rashladni sistemi sve više ustupaju mesto tečnim rashladnim sistemima sa ultra-niskim koeficijentima trenja, smanjujući potrošnju energije za hlađenje za čak **30%**.

Sa obzirom na rastuću potrebu za AI procesima, energetska efikasnost i optimizacija infrastrukture postaće ključni faktori u razvoju sledeće generacije AI data centara.

4.4 Korišćenje AI za optimizaciju potrošnje energije

Napredni AI algoritmi se koriste za praćenje i optimizaciju potrošnje energije u realnom vremenu:

- **DeepMind AI sistem** smanjuje potrošnju energije za hlađenje za 40% korišćenjem prediktivne analize temperatura.
- **Automatska regulacija napajanja** – AI omogućava inteligentnu distribuciju resursa, smanjujući potrošnju energije tokom perioda manje aktivnosti i osiguravajući da se dodatni resursi brzo aktiviraju tokom perioda intenzivnog rada, čime se optimizuje ravnoteža između uštede energije i performansi.

4.5 Održive strategije napajanja

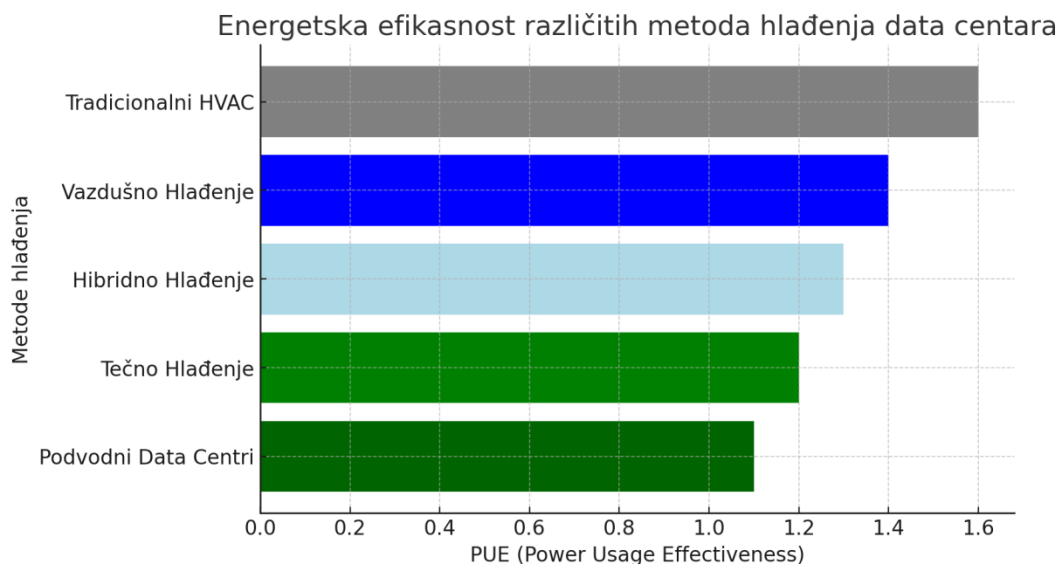
Obnovljivi izvori energije postaju ključni deo energetske strategije AI data centara:

- **Solarne i vetroelektrane** – Mnoge velike kompanije ulažu u solarne farme za napajanje svojih data centara.
- **Upotreba baterijskih skladišta** – Integracija baterijskih sistema smanjuje oslanjanje na neobnovljive izvore energije.
- **Kombinacija više izvora energije** – Hibridni sistemi koji kombinuju solarnu energiju, vetroelektrane i nuklearnu energiju za stabilno napajanje.

4.6 Inovacije u hlađenju

Hlađenje predstavlja jedan od najvećih izazova u radu data centara, jer može činiti i do **40% ukupne potrošnje energije**. Razvoj novih metoda hlađenja ima za cilj povećanje energetske efikasnosti i smanjenje ekološkog otiska AI data centara.

Na slici 3 prikazana je **energetska efikasnost različitih metoda hlađenja**, izražena kroz **PUE (Power Usage Effectiveness)**, gde niža vrednost označava bolju efikasnost.



Slika 3: Energetska efikasnost različitih metoda hlađenja

- **Tradicionalni HVAC sistemi** imaju najvišu PUE vrednost (1.6), što znači da su **najmanje energetski efikasni** i troše dosta dodatne energije na klimatizaciju.
- **Vazdušno hlađenje** (PUE 1.4) koristi protok vazduha kroz data centar, ali i dalje zahteva značajnu količinu energije.
- **Hibridno hlađenje** (PUE 1.3) kombinuje vazdušno i tečno hlađenje, čime se smanjuju gubici energije.
- **Tečno hlađenje** (PUE 1.2) koristi direktno hlađenje procesora i serverskih jedinica pomoću rashladnih tečnosti, što omogućava **znatno manju potrošnju energije**.
- **Podvodni data centri**, još uvek u eksperimentalnoj fazi, (PUE 1.1) koriste prirodno hlađenje okeana ili dubokih voda, čime se eliminiše potreba za aktivnim rashladnim sistemima i postiže **najveća efikasnost**.

4.7 Budućnost metoda hlađenja

U budućnosti, data centri će sve više koristiti inovativne metode hlađenja, uključujući:

- **Direktno tečno hlađenje čipova** – omogućava efikasno odvođenje toplote direktno sa čipova, korišćenjem specijalizovanih električno neprovodnih termalnih tečnosti, i niže PUE vrednosti.

- **Podvodni data centri** – smanjuju operativne troškove i eliminišu potrebu za dodatnim hlađenjem.
- **Reciklaža otpadne toplote** – omogućava korišćenje toplotne energije za grejanje objekata.

Ove inovacije će omogućiti smanjenje ukupne energetske potrošnje AI data centara, čineći ih održivijim i ekološki prihvatljivijim.

4.8 Studije slučaja energetske efikasne AI data centara

Neke od vodećih kompanija već implementiraju održiva rešenja:

- Oslanjaju se na 100% obnovljive izvore energije i koriste napredne sisteme za upravljanje otpadnom toplotom.
- Koriste DeepMind AI za optimizaciju potrošnje energije i tačno hlađenje.
- Implementiraju AI sisteme za kontrolu temperature i smanjenje potrošnje vode.

Razvoj i implementacija ovih strategija ključni su za budućnost održivih AI data centara. Sledeće poglavlje sumira glavne nalaze rada i daje preporuke za dalja istraživanja.

5 ENERGETSKA ODRŽIVOST I BUDUĆI TRENDVI AI DATA CENTARA

Sa rastom AI tehnologija, potreba za energetski efikasnim rešenjima postaje sve važnija. Održivi AI data centri nisu samo ekološki prihvatljivi, već i dugoročno smanjuju operativne troškove. Ovo poglavlje istražuje **buduće pravce razvoja AI data centara u kontekstu održivosti, uštede energije i inovativnih tehnologija.**

5.1 Uloga AI u energetske efikasnosti

AI se ne koristi samo za računarske zadatke, već i za optimizaciju same infrastrukture data centara. Ključne primene uključuju:

- **Prediktivna analiza potrošnje energije** – AI može predvideti kada su pikovi u potrošnji i prilagoditi kapacitete u skladu s tim.
- **Automatizovana kontrola hlađenja** – Sistem može automatski prilagoditi rashladne sisteme kako bi smanjio potrošnju energije.
- **Inteligentna distribucija radnih opterećenja** – AI može rasporediti obrade na manje opterećene serverske čvorove kako bi smanjio ukupnu potrošnju energije.

5.2 Primena obnovljivih izvora energije u AI data centrima

Zbog ogromne potrošnje električne energije, sve više AI data centara prelazi na obnovljive izvore energije. Glavne strategije uključuju:

- **Solarni paneli na lokaciji data centra** – Neki data centri koriste solarnu energiju za deo svojih operacija.

- **Vetroelektrane kao primarni izvor napajanja** – Neki data centri ulažu u vetroparkove kako bi snabdeli svoje AI centre čistom energijom.
- **Geotermalna energija i energetska skladišta** – Razvijaju se hibridna rešenja koja kombinuju više obnovljivih izvora energije sa naprednim baterijskim sistemima.

Tabela II: Procenat AI data centara koji koriste obnovljive izvore energije

Obnovljivi izvori energije (%)	Glavni izvor napajanja
90%	Solarne elektrane
80%	Vetroelektrane
100%	Solarni i vetroparkovi
50%	Mešavina obnovljivih izvora

5.3 Budućnost dizajna AI data centara

Buduće AI data centre karakterisaće:

- **Samostalni moduli i vertikalna integracija** – Fleksibilni dizajni koji omogućavaju dodavanje novih servera bez potrebe za dodatnim energetske prilagođavanjima.
- **Povećanje efikasnosti upotrebom hlađenja tečnim azotom ili CO₂** – Ove inovacije mogu smanjiti energetske gubitke u hlađenju za više od 40%.
- **Razvoj podvodnih data centara** – već se testiraju podvodni AI centre koji koriste morsku vodu za prirodno hlađenje.

5.4 Regulatorna i standardizacija energetske efikasnosti

Sve veći pritisak vlada i međunarodnih organizacija znači da će budući AI data centri morati da poštuju strože propise:

- **EU Direktiva o energetske efikasnosti (EED)** – Od 2025. godine, AI data centri u EU biće obavezni da smanje emisiju CO₂ za 30%.
- **PUE standardi (Power Usage Effectiveness)** – Očekuje se da prosečna vrednost PUE u AI centrima do 2030. godine padne ispod **1,2**, što znači znatno veću energetske efikasnost.
- **ISO standardi za zelene data centre** – Kompanije sve više implementiraju ISO 50001 standarde kako bi osigurale održivu potrošnju energije.

Tabela III: Usporedni prikaz PUE vrednosti AI data centara

Godina	Prosečan PUE (klasični DC)	Prosečan PUE (AI DC)
2020	1.5	1.4
2025	1.4	1.3
2030	1.3	1.2

6 ZAKLJUČAK

Brzi razvoj veštačke inteligencije doneo je značajne promene u načinu na koji se projektuju i koriste data centri. AI data centri troše znatno više energije u odnosu na tradicionalne IT infrastrukture, što ih čini ključnim faktorom u globalnoj energetskej potrošnji i ekološkom otisku. Potreba za efikasnijim sistemima napajanja, hlađenja i upravljanja resursima postaje sve izraženija.

Povećanje upotrebe AI u data centrima donosi izazove u pogledu energetske efikasnosti i ekološkog otiska. Da bi AI data centri ostali održivi, neophodno je usvojiti inovativne metode napajanja i hlađenja, kao i koristiti obnovljive izvore energije. Integracija naprednih AI sistema u upravljanje podacima može doprineti znatnoj uštedi energije i smanjenju ekološkog uticaja

6.1 Ključni nalazi rada

- **Potrošnja energije AI data centara** eksponencijalno raste, a predviđa se da će do 2030. godine AI infrastruktura trošiti preko **250 TWh godišnje**.
- **Energetska infrastruktura AI data centara** značajno se razlikuje od klasičnih modela, zahtevajući napredne UPS sisteme, optimizaciju distribucije energije i održive izvore napajanja.
- **Hlađenje predstavlja jedan od najvećih izazova** – tečno hlađenje i napredni algoritmi za regulaciju temperature ključni su za smanjenje energetske potrošnje.
- **Modularni dizajn i fleksibilnost infrastrukture** omogućavaju prilagođavanje kapaciteta u skladu sa zahtevima AI aplikacija, smanjujući ekološki otisak.
- **Smanjenje zavisnosti od fosilnih goriva** kroz pametne energetske mreže i integraciju sa obnovljivim izvorima energije.
- **Automatska regulacija AI infrastrukture** kako bi se smanjila potrošnja energije kroz upravljanje radnim opterećenjem i optimizaciju resursa.
- **Dalje inovacije u oblasti hlađenja** kako bi se povećala energetska efikasnost i smanjili operativni troškovi.

- **Razvoj podvodnih i samostalnih modula za AI data centre** kao odgovor na sve veću potrebu za računarstvom visokih performansi uz očuvanje energetske efikasnosti.

6.2 Preporuke za dalja istraživanja

S obzirom na globalni rast AI infrastrukture, potrebno je nastaviti istraživanja u sledećim oblastima:

- **Razvoj energetske efikasne AI procesora** – dalji napredak u razvoju TPU, FPGA i drugih specijalizovanih čipova može značajno smanjiti potrošnju energije.
- **Optimizacija energetske efikasnosti kroz upravljačke sisteme** – primena AI za analizu i predikciju potrošnje energije može poboljšati rad AI data centara.
- **Integracija AI data centara u pametne mreže i pametne gradove** – povezivanje AI infrastrukture sa obnovljivim izvorima energije i efikasnim upravljanjem potrošnjom i kapacitetima može omogućiti održiviji razvoj tehnologije.
- **Dodatna istraživanja o alternativnim metodama hlađenja** – napredne tehnike poput imerzivnog hlađenja mogu dodatno smanjiti energetske otisak AI data centara.
- **Povećanje regulatornog okvira i standardizacija** – razvoj novih propisa koji će osigurati da AI data centri imaju minimalan ekološki uticaj.
- **Razvoj strategija za reciklažu elektronskog otpada** – AI centri generišu veliku količinu tehnološkog otpada koji zahteva inovativna rešenja za reciklažu.

Iako razvoj veštačke inteligencije dovodi do povećanja potrošnje energije, istovremeno nudi alate i metode za njeno efikasnije upravljanje. Primenom naprednih energetskih rešenja, optimizacijom AI modela i integracijom sa obnovljivim izvorima energije, moguće je unaprediti održivost AI infrastrukture. AI data centri predstavljaju ključni stub buduće digitalne ekonomije, ali njihov održivi razvoj zahteva inovacije, efikasnost i strateško planiranje. Održiva energetska rešenja postaće neizostavan deo svakog modernog AI data centra u budućnosti.

7 LITERATURA

- [1] **E. Strubell, A. Ganesh, A. McCallum**, "Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP", Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp. 3645–3650, Florence, Italy, 2019.
- [2] **Google DeepMind (2017)**. Machine learning can boost the value of wind energy. Wired
- [3] **E. Masanet, A. Shehabi, N. Lei, S. Smith, J. Koomey**, "Recalibrating global data center energy-use estimates", *Science*, Vol. 367, No. 6481, pp. 984–986, 2020.
- [4] **Uptime Institute**, "Global Data Center Survey 2023: Five Trends Shaping the Future", Uptime Institute Report, 2023.

- [5] **U.S. Department of Energy (2021).** Data Center Energy Efficiency & Sustainability Best Practices. Energy.gov
- [6] **IEA (International Energy Agency) (2023).** Data Centres and Energy Demand: Global Trends & Future Scenarios. IEA Report
- [7] **ASHRAE (2022).** Guide on Data Center Cooling. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [8] **Tesla AI Infrastructure Team (2023).** Dojo Supercomputer: AI Training at Scale. Tesla Research Publication
- [9] **Jones, N. (2018).** The AI revolution and its environmental cost. Nature, 563(7729), 182-185. DOI: 10.1038/d41586-018-07286-2