

UTICAJ DATA CENTARA NA ŽIVOTNU SREDINU I MJERE ZA SMANJENJE UTICAJA

ENVIRONMENTAL IMPACT OF DATA CENTERS AND STRATEGIES FOR IMPACT REDUCTION

Autori: Snežana Đurović, Elektroprivreda Crne Gore AD Nikšić, Crna Gora, snezana.djurovic@epcg.com

Milisav Dačević, Elektroprivreda Crne Gore AD Nikšić, Crna Gora, milisav.dacevic@epcg.com

Koautorka: Snežana Krivokapić, Elektroprivreda Crne Gore AD Nikšić, snezana.krivokapic@epcg.com

KRATAK SADRŽAJ

Data centar je velika grupa međusobno umreženih servera i mrežnih skladišta, koje koriste kompanije za udaljeno pohranjivanje, procesiranje ili distribuciju velike količine podataka omogućavajući i podržavajući razne aktivnosti i usluge u modernom dobu. Oni sadrže, računarske servere, uređaje za skladištenje, sisteme za hlađenje i napajanje, bezbjednosne sisteme, mrežnu opremu i druge računarske resurse što rezultira značajnim uticajem na životnu sredinu.

Cilj ovog rada je da se ukaže na značaj primjene ekoloških principa i održivog razvoja prilikom planiranja i realizacije projekta data centara.

Uticaji data centara na životnu sredinu uglavnom su vezani za potrošnju energije i zagađenje koje je posledica proizvodnje navedene energije iz nekog od klasičnih izvora električne energije. U zemljama u razvoju, data centri su energetski intenzivni i oslanjaju se na neobnovljive izvore energije, što doprinosi degradaciji životne sredine i klimatskim promjenama. Drugi bitan uticaj koji data centri imaju na zagađenje životne sredine ogleda se u činjenici da svako procesiranje podataka oslobađa toplotu koju je potrebno odvesti od tehničkog sistema, putem sistema hlađenja, pri čemu se zagrijava okolina. Važan uticaj je takođe i onaj koji dolazi iz proizvodnje elektronskog i drugog otpada nakon završetka životnog ciklusa opreme smještene u data centrima.

Da bi se odgovorilo na ovaj izazov, pojavio se koncept „zelenog data centra“, koji je usmjeren na smanjenje potrošnje energije i emisije ugljen-dioksida, a zasnovan je na obnovljivim izvorima energije, energetski efikasnoj opremi i upotrebi savremenih tehnologija za distribuciju električne energije, hlađenje i osvjtljenje dajući doprinos u borbi protiv klimatskih promjena.

Ključne riječi: data centri, životna sredina

ABSTRACT

A data center is a large group of interconnected servers and network storage systems used by companies for the remote storage, processing, or distribution of large volumes of data, enabling and supporting various activities and services in the modern age. Data centers contain computing servers, storage devices, cooling and power supply systems, security systems, network equipment, and other computing resources, all of which result in a significant impact on the environment. The aim of this paper is to highlight the importance of applying ecological principles and sustainable development in the planning and implementation of data center projects. The environmental impacts of data centers are mainly related to energy consumption and pollution resulting from the production of energy from conventional sources. In developing countries, data centers are energy-intensive and rely on non-renewable energy sources, contributing to environmental degradation and climate change. Another significant environmental impact of data centers arises from the fact that all data processing generates heat that must be removed from technical systems through cooling, thereby increasing the temperature of the surrounding environment. Additionally, an important impact is associated with the generation of electronic and other types of waste at the end of the life cycle of the equipment. To address these challenges, the concept of the "green data center" has emerged. This concept focuses on reducing energy consumption and carbon dioxide emissions by utilizing renewable energy sources, energy-efficient equipment, and modern technologies for power distribution, cooling, and lighting, thereby contributing to the fight against climate change.

Keywords: data centers, the environment

UVOD

Digitalna transformacija, koja je vođena nevjerovatnom ekspanzijom cloud usluga i vještačke inteligencije se oslanja na infrastrukturu koja većini korisnika ostaje nevidljiva, iako zahtijeva ogromne energetske resurse. Data centri su mjesta gdje se podaci stvaraju, obrađuju i čuvaju, ali i mjesta sa velikom potrošnjom električne energije i prirodnih resursa. Dok digitalizacija donosi mogućnost efikasnijeg društva, ekološki uticaj same infrastrukture koja to omogućava, postaje njegov značajan izazov. Ovaj stručni rad proučava složen odnos između povećanja IT kapaciteta i očuvanja prirode. Rad se fokusira na poređenju različitih modela gradnje – od izgradnje novih, greenfield objekata do prilagođavanja postojećih brownfield lokacija, uzimajući u obzir njihove prednosti i ograničenja. Posebna pažnja je posvećena ideji „zelenog data centra“, koja kombinuje napredne sisteme hlađenja, obnovljive izvore energije i primjenu ISO standarda. Ovakav pristup nudi put ka održivoj digitalnoj budućnosti. Cilj ovog rada je da prikaže kako data centri mogu postati aktivni učesnici zelene tranzicije.

1. OPŠTE INFORMACIJE O DATA CENTRIMA (iz diplomskog rada)

Data centri predstavljaju temelj savremene digitalne ekonomije, pružajući fizičku ili virtuelnu infrastrukturu za smještaj serverskih i mrežnih resursa koji su ključni za nesmetano funkcionisanje informacionih tehnologija. Njihova osnovna funkcija, često nazvana „farmom servera“, sastoji se u skladištenju, obradi i distribuciji velikih količina podataka. Osim same IT opreme, kompleksnost ovih sistema dodatno definišu i ključni podsistemi, uključujući neprekidna napajanja (UPS i agregate), napredne protivpožarne mehanizme, fizičku bezbjednost, kao i sisteme za precizno održavanje ambijentalnih uslova.

Uvođenjem virtuelizacije, data centri su pretrpjeli značajnu transformaciju, što je omogućilo veću efikasnost u poslovanju. Danas je pouzdanost ovih centara direktno povezana sa stabilnošću globalnog tržišta, obzirom da funkcionisanje modernih korporacija gotovo u potpunosti zavisi od dostupnosti i integriteta njihovih informacionih sistema.[1]

1.1 Greenfield i Brownfield data centri

Prilikom planiranja infrastrukture data centara, ključna odluka investitora odnosi se na odabir između greenfield i brownfield modela gradnje. Ova dva pristupa određuju ne samo brzinu implementacije, već i dugoročni ekološku i ekonomsku održivost.

Greenfield projekti podrazumijevaju izgradnju na novim lokacijama. Glavna prednost ovog modela je projektovanje od samog početka, što inženjerima omogućava da svaki kvadratni metar i svaki kilovat snage usklade prema najsavremenijim standardima energetske efikasnosti i ESG (Environmental, Social, and Governance) kriterijumima. Bez ograničenja koja nameće stara infrastruktura, ovi centri lakše integrišu napredne sisteme hlađenja i obnovljive izvore energije.

Na Slici 1 možemo vidjeti ključne razlike između gradnje „iz temelja“ (Greenfield) i modernizacije već postojećih objekata (Brownfield).



Slika 1. Greenfield i Brownfield Data centar

Ovaj put zahtijeva ogromna početna ulaganja i mnogo vremena. Podaci iz 2025. godine pokazuju da razvoj ovakvog centra u prosjeku traje sedam godina. Zanimljivo je da se najveći dio tog vremena - čak 4,8 godina odnosi na administrativnu fazu planiranja i dobijanje dozvola, dok se sama izgradnja završi za oko 2,4 godine. Zbog visokih cijena zemljišta i obimne infrastrukture, ovaj model često nije najbolji izbor za investitore koji žele brz ulazak na tržište.

Brownfield model je fokusiran na adaptaciju postojećih objekata, poput napuštenih skladišta ili industrijskih hala. Njegova najznačajnija prednost je brzina. Korišćenjem postojeće konstrukcije u urbanim zonama, mogu se značajno smanjiti inicijalna ulaganja i logističke barijere. Međutim, integracija modernih IT sistema u stare objekte često rezultira energetsom neefikasnošću i ograničenim kapacitetima hlađenja.

Razvoj vještačke inteligencije (AI) ima za posledicu potrebu za većom procesorskom snagom. Ovaj ahtjev često prevazilazi strukturalna i energetska ograničenja starijih zgrada, iziskujući radikalne i skupe izmjene. [2]

1.2 Ekološki izazovi i održive prakse u data centrima

Iako su moderni data centri neophodni za digitalno društvo, imaju značajan negativan uticaj na životnu sredinu. Na primjer, prosječni data centar u Americi, 2007. godine, trošio je količinu električne energije koja odgovara potrošnji 25. 000 domaćinstava što je činilo 1,5% ukupne potrošnje u zemlji. Danas, ti sistemi troše ogromne količine energije širom svijeta i doprinose oko 2% ukupne emisije ugljen-dioksida.

U ranijem periodu razvoj data centara prvenstveno je bio usmjeren na jačanje procesorske moći, brzinu i pouzdanost Sistema. Energetska efikasnost se često zanemarivala. Ovakav pristup je doveo do velike potrošnje energije za rad IT opreme i dodatnih sistema za hlađenje potrebnih za upravljanje generisanom toplotom. Iz perspektive energetske analize, svakom data centru možemo pristupiti kroz tri najvažnije komponente: IT opremu, sisteme napajanja i sisteme hlađenja. Da bi se postigla maksimalna održivost, svaka od ovih komponenti treba biti dizajnirana sa akcentom na smanjenje gubitaka.

Kako bi se smanjili negativni efekti, industrija se okrenula održivim rješenjima poput virtualizacije servera, korištenja energetski efikasnih uređaja i obnovljivih izvora energije. Veliki napredak napravljen je kroz projekat "Open Compute Project", koji je pokrenuo Facebook. Implementacijom održivih rješenja, u svom data centru u Prinevillu, kompanija je uspjela značajno smanjiti potrošnju energije za 38% i operativne troškove za 24%. Ovi primjeri pokazuju da održivi data centri nijesu samo potrebni zbog zaštite životne sredine, već su i ekonomski isplativi temelj za buduću digitalnu infrastrukturu. Neke od najvećih Data centara na svijetu imaju internet giganti kao što su *Google, Facebook, Amazon, Twitter, Apple i Microsoft*. [5] Na Slici 2, prikazan je izgled Data centra kompanije Facebook koji se nalazi, na površini od 28.000 m², u gradu Lulea u Švedskoj.[3]



Slika 2. Data centar kompanije Facebook - Švedska

2. UTICAJ RADA DATA CENTARA NA ŽIVOTNU SREDINU

Ekspanzija digitalizacije i sve veća prisutnost cloud usluga dovela je do povećanja broja data centara, koji danas igraju važnu ulogu i u kontekstu klimatskih promjena. Moderno društvo se suočava sa određenim tehnološkim paradoksom da teži ka energetski efikasnijim hardverima dok, sa druge strane, ukupna potrošnja energije raste. Porast potrošnje se javlja zbog povećanja potražnje za računarskom snagom i naprednim sistemima hlađenja.

U današnjem poslovnom svijetu, energetska efikasnost je postala faktor ekološke i ekonomske održivosti. Budući da su troškovi električne energije važna stavka u budžetu operatera, optimizacija potrošnje postala je glavni strateški cilj. Ipak, mnogi svjetski data centri još uvek se oslanjaju na neobnovljive izvore energije, što doprinosi emisiji gasova sa efektom staklene bašte (GHG).

Uticaj digitalnih tehnologija na globalne emisije ima dva aspekta. Prvi aspekt je poboljšanje efikasnosti u drugim industrijama omogućavajući razvoj inteligentnih mreža, dok je drugi aspekt doprinos GHG emisiji. Rastuća popularnost usluga koje troše puno energije, poput video striminga i online igara, doprinosi oko 2% globalnih emisija gasova sa efektom staklene bašte. Smanjenje ovog uticaja pa čak i neutralisanje je moguće kroz primjenu cirkularne ekonomije počevši od upotrebe visokoefikasne opreme u data centrima pa do reciklaže elektronskog otpada.

Uvođenjem modela energetske nezavisnosti, data centri, mogu postati oslonci zelene tranzicije. Kroz integraciju sopstvenih solarnih elektrana, sistema za skladištenje energije i naprednih rješenja za ponovnu upotrebu otpadne toplote, regionalni data centri mogu promijeniti svoju ulogu i negativan uticaj na životnu sredinu. Oni mogu biti energetski samostalni sistemi, objekti sa neutralnim emisijama ugljenika i aktivni stabilizatori mreže.[6]

3. ZELENI DATA CENTRI

Kako bi se problem negativnog uticaja data centara, na životnu sredinu, ublažio razvijen je koncept „zelenog data centra“, primjenom održivih tehnologija.[4]

Zeleni data centar je energetski efikasan objekat dizajniran da minimizira uticaj na životnu sredinu. Za razliku od tradicionalnih data centara, zeleni data centri se fokusiraju na:

- Optimizaciju potrošnje energije i smanjenje potrošnje energije
- Korišćenje obnovljivih izvora energije poput solarne, vjetroelektrane i hidroenergije
- Primjenu naprednih tehnologija hlađenja radi minimiziranja rasipnja energije
- Korišćenje održivih građevinskih materijala i dizajna
- Davanje prioriteta inicijativama za smanjenje otpada i reciklažu.

Ove prakse rezultiraju nižim operativnim troškovima, smanjenom emisijom ugljenika i poboljšanom ukupnom održivošću u poređenju sa konvencionalnim data centrima.[8]

Održiva rješenja za data centre podrazumijevaju korišćenje obnovljivih izvora energije, energetski efikasne opreme i naprednih sistema hlađenja, ali se većina postojećih istraživanja fokusira na razvijene zemlje, dok su istraživanja u zemljama u razvoju nedovoljno zastupljena.

Na Slici 2 je prikazan koncept Zelenog data centra sa ključnim komponentama održivosti.



Slika 2. Koncept Zelenog data centra

Koncept zelenog data centra počiva na integrisanom pristupu projektovanju, upravljanju i optimizaciji infrastrukture, sa primarnim ciljem smanjenje ekološkog otiska uz što veće povećanje energetske efikasnosti. Važno je naglasiti da održivost ne znači samo prelazak na obnovljive izvore energije, već sveobuhvatan skup tehničkih i operativnih mjera koje transformišu način na koji digitalna infrastruktura troši resurse.

Sve počinje u fazi strateškog projektovanja i planiranja. Adekvatno definisana arhitektura sistema, precizan izbor opreme i raspored serverskih ormara (rack-ova) postavljaju temelje za energetske efikasnost objekta. Pravilno planiranje kapaciteta napajanja i hlađenja, uz strategiju skalabilnosti, osigurava da centar troši samo onoliko resursa koliko mu je u datom trenutku zaista potrebno.

Integracijom obnovljivih izvora energije (solarni, vjetro i hidro sistemi) smanjuje se zavisnost od fosilnih goriva i redukuje emisija CO₂. Da bi se neutralisala nepredvidivost obnovljivih izvora, usled vremenskih uslova, ovi sistemi se kombinuju sa baterijskim sistemima za skladištenje energije, čime se postiže neophodna stabilnost i pouzdanost napajanja.

Operativna efikasnost ogleda se kroz virtualizaciju servera i konsolidaciju resursa, čime se postiže veći učinak sa manje hardvera. U tom kontekstu, ključni indikator performansi (KPI) je PUE (Power Usage Effectiveness) indeks. On predstavlja odnos ukupne energije koju troši data centar i energije koja odlazi direktno na IT opremu. Što je ovaj koeficijent bliži vrijednosti 1.0, to je sistem efikasniji.

Obzirom na to da hlađenje predstavlja jedan od najvećih energetske izazova, primjena naprednih metoda poput slobodnog hlađenja (free cooling), tečnog hlađenja ili optimizacije vazdušnih struja, postaje najvažniji zahtjev.

Ove tehnologije koriste prednosti spoljašnje temperature smanjujući potrebu za radom kompresora i energetski intenzivnih rashladnih sistema [7].

Slika 3 predstavlja komparativni prikaz konvencionalnog i zelenog data centra, sa akcentom na održivi razvoj urbanih sredina kao što su Jakarta i Tangerang. Ona predstavlja vizuelni prikaz energetskog modela u poređenju sa održivim i tehnološki naprednim sistemom.[9]

Potrošnja vode, za potrebe data centra, je važan aspekt održivosti, naročito kod sistema hlađenja koji koriste vodu kao rashladni medijum. Implementacija zatvorenih sistema, recirkulacija i pametno upravljanje vodnim resursima doprinose smanjenju ukupne potrošnje vode.



Slika 3. Komparativni prikaz konvencionalnog i zelenog data centra

Korišćenje otpadne toplote predstavlja inovativan pristup povećanju energetske efikasnosti. Toplota generisana radom serverske opreme može se iskoristiti za grijanje objekata ili u industrijskim procesima, čime se dodatno smanjuje ukupni energetski otisak sistema.

Sve navedene komponente zajedno čine integrisani model zelenog data centra, čiji je cilj postizanje visoke pouzdanosti, optimalnih performansi i minimalnog uticaja na životnu sredinu. U cilju primjene principa "cirkularne ekonomije" potrebno je uspostaviti programe reciklaže e-otpada tokom rada i na kraju radnog vijeka data centra.

4. ZAHTJEVI ISO STANDARDA PRILIKOM IZGRADNJE DATA CENTARA

U sledećem tekstu su predstavljeni ekološki standardi koji se moraju uzeti u obzir prilikom pripreme Studije izvodljivosti za gradnju Data Centra. Svrha primjene ovih ekoloških standarda je da se pokaže da je projekat održiv sa stanovišta životne sredine, energije i klimatskih promjena, kao i da je u skladu sa praksom Evropske unije. Izrada studije izvodljivosti za savremene data centre više se ne može oslanjati isključivo na ekonomsku računicu već mora integrisati međunarodne standarde koji garantuju ekološku i regulatornu usklađenost sa EU direktivama.

Standard ISO 14001:2015 predstavlja bazu za identifikaciju ekoloških aspekata kao što su energija, voda i otpad. Bez sistemskog pristupa koji nudi ISO 14001, studija se u EU regulatornim okvirima smatra nepotpunom i metodološki neadekvatnom.

ISO 14064-1:2018 - Direktiva poput *EED* (Energy Efficiency Directive) i *CSRD* (Corporate Sustainability Reporting Directive), nameće precizno mjerenje direktnih i indirektnih emisija gasova sa efektom staklene bašte. Bez GHG analize, studija gubi klimatsku validnost i mogućnost za zeleno finansiranje.

Kad su u pitanju standardi ISO 50001:2018 i ISO 50002-1:2025, uzimajući u obzir energetska intenzivnost data centara jako je važna primjena EnMS (Energy Management System) logike. Najnoviji standard ISO 50002-1:2025 nalaže da studija mora dokazati energetska opravdanost i precizno projektovati potencijal ušteda kroz detaljan energetski audit.

Cjelovit pristup projektu je dat kroz zahtjeve standarda LCA-ISO 14040 i ISO 14044. EU institucije zahtijevaju pristup koji analizira uticaj infrastrukture i opreme u svim ciklusima. LCA metodologija osigurava da se emisije ne posmatraju samo tokom rada centra, već i kroz proizvodnju i odlaganje hardvera.

Budući da hlađenje predstavlja kritičnu tačku potrošnje resursa, analiza vodenog otiska kroz standard ISO 14046:2014 postaje nezaobilazni zahtjev. Ovaj standard omogućava preciznu procjenu uticaja na lokalne vodene resurse, što je često ključni faktor za dobijanje ekoloških dozvola u urbanim zonama.

Postoje standardi koji nijesu obavezni ali mogu biti uključeni za postizanje ciljeva neutralnosti kod naprednih investitora. Standardi ISO 14064-2:2019 i ISO 14064-3:2019 koji definišu mjerenje, dokumentovanje i verifikaciju karbonskog otiska. Nadalje standardi koji definišu karbonsku neutralnost ISO 14068-1 i ekodizajn u okviru EMS-a, ISO 14006. U svrhu mjerenja efekata proizvoda na životnu sredinu tokom cijelog životnog ciklusa zasnovan je na standardu ISO 14025, koji je međunarodno priznat i predstavlja međunarodno priznatu ekodeklaraciju.

5. ZAKLJUČAK

Savremeni data centri, kao neosporni temelj digitalne ekonomije, nalaze se na prekretnici između tehnološkog razvoja i ekološke odgovornosti. Dok njihovo funkcionisanje generiše značajne energetske zahtjeve i doprinosi globalnim emisijama GHG, oni istovremeno postaju važno polje za primjenu inovativnih zelenih rješenja. Problem nije samo u potrošnji električne energije, već u cjelokupnom životnom ciklusu opreme – od upravljanja elektronskim otpadom do racionalizacije potrošnje vode i suzbijanja termičkog zagađenja okoline.

Prilikom planiranja infrastrukture data centara, ključna odluka investitora odnosi se na izbor između greenfield i brownfield modela gradnje. Ova dva pristupa određuju i brzinu implementacije i dugoročni ekološki i ekonomski aspekt projekta.

Dok greenfield projekti nude platformu za maksimalnu tehnološku optimizaciju i nulti karbonski otisak, brownfield adaptacije zahtijevaju inovativne inženjerske pristupe kako bi se prevazišla infrastrukturna ograničenja.

Koncept zelenog data centra više nije opcionalna kategorija, već standard koji definiše budućnost industrije. Integracija obnovljivih izvora energije, prelazak na tačna hlađenja i rekuperacija otpadne toplote, uz primjenu ISO standarda, čine okvir koji osigurava regulatornu usklađenost i društvenu odgovornost. Ovi sistemi prestaju biti pasivni potrošači i postaju aktivni stabilizatori energetskog sistema.

Na kraju, održivi razvoj data centara predstavlja jedini održivi put ka uspostavljanju balansa između digitalne ekspanzije i očuvanja ekosistema. Postizanje ekološke, energetske i ekonomske održivosti nije samo tehnički izazov, već predušlov za dugoročni legitimitet digitalne transformacije društva.

6. LITERATURA

1. Radosavljević M, 2015, "Data Centri-diplomski rad", Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu
2. <https://blog.purestorage.com/purely-technical/greenfield-vs-brownfield-data-centers/>
3. <https://www.ncc.com/our-projects/facebook-data-center-in-lulea/>
4. Design and Functional Implementation of Green Data Center, November 2023, DOI:10.1007/978-981-99-6586-1_22, In book: IoT Based Control Networks and Intelligent Systems (pp.327-341)
5. Jovanović B, Aćimović T, Marinović M, Cvetković N, 2023, "Održivi data centri: ekološki orijentisani pristupi u upravljanju IT infrastrukturom", "Zbornik radova XIV Skupa privrednika i naučnika SPIN'23 – Digitalni i zeleni razvoj privrede", str. 173

6. <https://www.itnetwork.rs/kako-regionalni-data-centri-mogu-da-funkcionisu-energetski-nezavisno-i-zeleno/>
7. Vuković I, 2017, "Sistemi za napajanje i hlađenje green data centra", "Zbornik radova sa XXII međunarodnog naučno-stručnog skupa 'Informacione tehnologije – sadašnjost i budućnost'", str. 94
8. <https://encoradvisors.com/green-data-center/>
9. <https://www.linkedin.com/pulse/conventional-data-centre-vs-green-m-marendra-puvmc>