

**ENERGETSKA KRIZA KAO POVOD DECENTRALIZACIJE  
ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA****ENERGY CRISIS AS A MAIN REASON FOR POWER GRID DECENTRALISATION**Milan Stojanović, Vladan Krsman; *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U radu su opisane posledice energetske krize i dat je predlog rešenja za veću energetska nezavisnost. Detaljno su opisane tehnologije pametnih mreža, posebno mikromreže, tehnologija razmene energije između baterije električnog vozila i mreže, kao i pametne kuće i zgrade. Pomoću ovih tehnologija dat je predlog rešenja koji vodi ka većoj decentralizaciji elektroenergetskog sistema i ka većoj energetska nezavisnosti.

**Ključne reči:** Mikromreža, pametna kuća, pametna zgrada, stanice za punjenje električnih vozila

**Abstract** – This paper describes global energy crisis and gives a potential solution for more energy independence. By using smart grid technologies like microgrids, vehicle to grid technology and smart homes and buildings, we will provide a solution for more decentralised power grid.

**Keywords:** Microgrids, smart home, smart building, electric vehicle charging station

**1. UVOD**

Povećanje ljudske populacije i rast životnog standarda neminovno dovode do globalnog rasta potrebe za električnom energijom, odnosno veće potrošnje električne energije. Električna energija je zastupljena u svim sferama savremenog društva i predstavlja nezaobilazan faktor u svim privrednim i društvenim delatnostima. Usled trenutne energetske krize, države koje nemaju prirodne izvore gasa i nafte rešenje traže u elektrifikaciji i energetska nezavisnosti, odnosno proizvodnju električne energije žele da prebace na obnovljive izvore. Taj prelazak jeste komplikovan, ali je neizbežan i usled trenutne energetske situacije je veoma ubrzan. Cilj države treba da bude što veća energetska nezavisnost i bezbednost, kako bi se energetske potrebe zemlje mogle zadovoljiti bez obzira na različite političke nestabilnosti u svetu.

Povećanje potrošnje električne energije može da ima negativne posledice na nivou distributivne mreže, kao što su preopterećenje elemenata mreže, veći troškovi energije, veći padovi napona i lošiji kvalitet napona.

Rešenje postojećih problema potrebno je tražiti u konceptu pametnih mreža, koje predstavljaju najveći napredak u elektroenergetici još od prelaska sa jednosmerne na naizmeničnu električnu energiju.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladan Krsman, docent.**

Prelazak sa tradicionalnih na pametne mreže predstavlja samo prvi korak ka daljem razvoju i u ovom radu će detaljno biti opisane tehnologije pametnih mreža, plan ka većoj energetska nezavisnosti i decentralizacija elektroenergetskog sistema. Cilj je da se pomoću primarno tehnologija mikromreža, pametnih kuća i zgrada i tehnologije razmene energije od vozila ka mreži, ali i drugih tehnologija pametnih mreža izgradi sistem koji je skoro u potpunosti nezavisan od glavne mreže i koji može samostalno da radi duži vremenski period.

**2. ENERGETSKA KRIZA**

Energetska kriza ili nestašica energije predstavlja značajno sputavanje u snabdevanju privrede energetskim resursima. Kroz istoriju je većina energetska kriza bila uzrokovana ratovima, lokalnim nestašicama i manipulacijama na tržištu. U 20. i 21. veku više puta je dolazilo do ovakvih situacija, ali sa njima su se pojavljivala i rešenja za nastale probleme. Najveća energetska kriza do sad desila se sedamdesetih godina 20. veka, ali se smatra da će trenutna kriza biti većih razmera.

Trenutna energetska kriza počela je nakon pandemije Covid-19 2021. godine, usled izuzetno ubrzanog ekonomskog oporavka. Veći deo sveta se suočio sa nestašicom i povećanjem cena na tržištu nafte, prirodnog gasa i električne energije. Međutim, situacija se dodatno pogoršala i prerasla u potpunu globalnu energetska krizu nakon ruske invazije na Ukrajinu u februaru 2022. godine. Cena prirodnog gasa dostigla je rekordne vrednosti, a kao rezultat toga porasla je i cena električne energije, nafte i uglja.

Usled trenutne situacije, ali i gledajući zadnjih 50 godina, može se primetiti da nestašica energije može da izazove ozbiljne ekonomske probleme. Jedan od načina da se ostvari energetska nezavisnost je svakako elektrifikacija, a to znači da za motorni, železnički, vazdušni i vodni saobraćaj, kao i za grejanje, umesto fosilnih goriva koristi se električna energija. Da bi se ostvarila energetska nezavisnost, ova električna energija mora biti produkt obnovljivih izvora poput sunčeve energije, vetra, hidroenergije, biomase, geotermalne toplote, talasa i dr. Elektrifikacija bi dovela do velikog povećanja potrošnje električne energije, što bi izazvalo probleme u prenosnoj, a posebno distributivnoj mreži. Upravo nedostatak poverenja u sigurnost elektroenergetskog sistema navodi na ideje o potencijalnoj decentralizaciji. Pomoću decentralizacije primarni benefit bi bio veća sigurnost i bezbednost mikrosistema, a implicitno bi se rasteretio elektroenergetski sistem.

### 3. PAMETNE MREŽE

U poslednjoj deceniji se dešava novi svetski talas promena u elektroenergetskom sektoru koji je poznat pod nazivom pametne mreže (Smart Grids), a koji ima značajan uticaj na rad elektrodistributivnih sistema. Prema jednoj od definicija pametna distributivna mreža predstavlja arhitekturu budućnosti električne infrastrukture koja uključuje sve od tačke proizvodnje do tačke potrošnje. To uključuje kompleksnu mrežu tehnologija, sistema, hardvera, softvera, komunikacione infrastrukture, koja obezbeđuje visok nivo vidljivosti i kontrole sledećim učesnicima: proizvođačima, potrošačima, operatorima prenosne i distributivne mreže. Transformacija u pametnu mrežu je diktirana raznim faktorima društva, države, lokalnih propisa, lokalnih polisa i dostupnosti tehnologije.

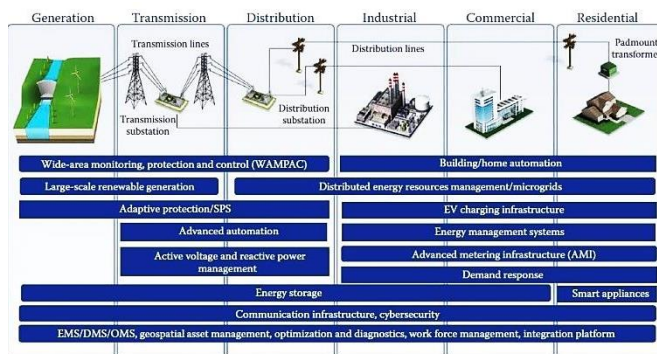
Elektroenergetski sistemi budućnosti, a time i distributivni sistemi, će morati da omoguće efikasnu integraciju velikog broja intermitentnih obnovljivih izvora, odnosno integraciju distribuiranih izvora različitih veličina i tehnologija. Takođe, moraće da omoguće promene u distributivnoj mreži koje će je prevesti iz domena pasivne mreže, zavisne od intervencija čoveka, u domen aktivne mreže. Ovo je neophodno zbog sve veće kompleksnosti operacija koje je potrebno sprovesti u mreži, široke primene distribuiranih izvora kao i povećanih zahteva za sigurnošću i kvalitetom napajanja [1].

Razlika između tradicionalnih i pametnih mreža je u tome što su tradicionalne mreže dominantno radijalne, one su realizovane bez distribuiranih izvora pa je tok snage jednosmeran. Kriva potrošnje i ponašanje potrošača su predvidivi, dok se za očitavanje struje koriste klasična daljinska brojila. U tradicionalnoj distributivnoj mreži broj prekidačkih uređaja je ograničen, ona je dominantno netelemetrisana izuzev kritičnih prekidačkih uređaja. Mreža je predvidiva u smislu režima i događaja, a sa njom se upravlja pomoću statičkih mapa.

Pametna distributivna mreža je radijalna sa sve više potencionalnih ili konstantnih upetljavanja, a zbog značajnog prisustva distribuiranih izvora, tok snage je dvosmeran. Potrošač je postao potrošač/proizvođač. Mreža postaje sve više telemetrisana i ugrađuje se sve više prekidačkih uređaja, inteligentnih uređaja i senzora. Pametna brojila zamenila su klasična brojila. Režim u pametnoj distributivnoj mreži je neizvestan usled prisustva stanica za punjenje električnih vozila i distribuiranih generatora, a potrošnja je drugačija usled mnoštva pametnih kuća i zgrada. Mrežom se upravlja daljinski pomoću online integrisanih informacionih sistema u realnom vremenu. Sedam glavnih karakteristika koje definišu funkcije pametne mreže su:

- Obezbeđuje potpune informacije o ceni električne energije u realnom vremenu.
- Visok nivo prisustva distribuiranih i obnovljivih izvora električne energije.
- Zreo, dobro integrisan market tj. tržište sa konstantnim rastom.
- Kvalitet električne energije je prioritet svima, ali se dozvoljava blaga optimizacija sa cenom električne energije.
- Visok nivo inteligentnih uređaja.
- Preventivno upravljanje poremećajima u mreži, minimizovanje štete i brza restauracija.

- Otporna na vremenske nepogode i hakerske napade, prediktivno upravljanje, izbegavanje i umanjivanje posledica, efikasna restauracija.



Slika 1. Ključne tehnologije pametnih mreža [2]

### 4. MIKROMREŽE

Kao osnovni koncept za decentralizaciju elektroenergetskog sistema izdvaja se tehnologija mikromreža. Pojam mikromreže se može definisati kao integrisani energetska sistem, koji se sastoji od međusobno povezanih distribuiranih energetskih resursa, potrošača i skladišta energije, koji zajedno mogu da rade u sklopu sa distributivnom mrežom tj. povezani na glavni sistem, ali i u autonomnom ostrvskom režimu.

Mikromreža predstavlja platformu za sjedinjavanje distribuirane proizvodnje, jedinica za skladištenje električne energije i potrošača koji se nalaze u lokalnoj distributivnoj mreži. Ona mora da bude osposobljena da radi i u nominalnom režimu, gde je povezana na glavnu mrežu, ali i u ostrvskom režimu, koji može da se izazove planski ili usled havarije. Ideja je da mikromreže u budućnosti veći deo vremena provode u povezanom režimu, iz koga bi se dobile najveće koristi samog koncepta mikromreža. Takođe, ona mora da zadovoljava i visoke zahteve po pitanju kapaciteta u slučaju povećanih zahteva za potrošnjom u ostrvskom pogonu. Pošto najveća korist koncepta mikromreža proizilazi iz povezanosti sa glavnom mrežom, predlog rešenja će se bazirati na tome, tako da se neće težiti ka potpunoj decentralizaciji odnosno autonomiji.

Razlika između mikromreže i pasivne mreže na koju su priključeni distribuirani izvori je u obimu regulacije i koordinacije koje poseduje mikromreža nad raspoloživim resursima. Takođe, mikromreže mogu ali ne moraju da budu sačinjene isključivo od uređaja električne energije, već one mogu da budu i više-energetske. Gas, toplotna energija ili vodovod mogu da se integrišu u mikromrežu i na taj način ona postaje još više nezavisna.

Zbog mogućnosti da funkcioniše zasebno, koncept mikromreže je sve popularniji, posebno zbog povećane potražnje za sigurnošću i stabilnošću sistema, ali i zbog lakše implementacije obnovljivih izvora.

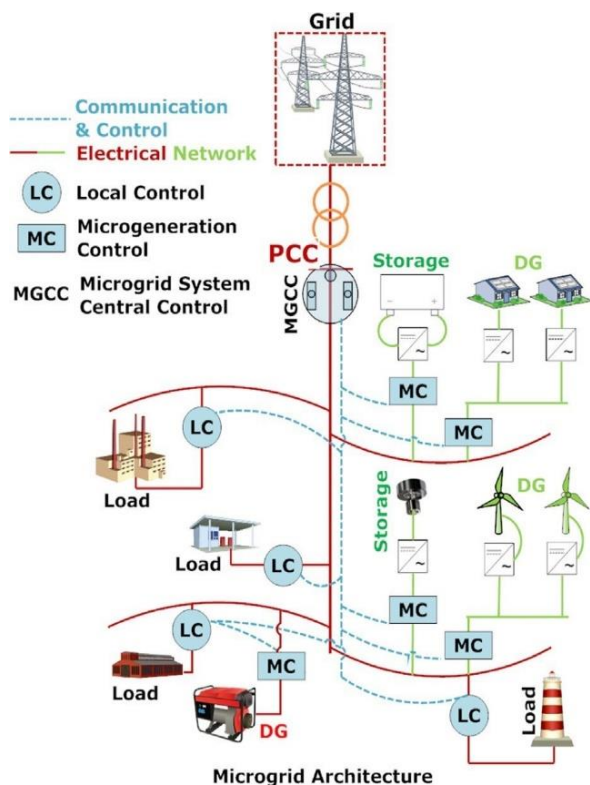
Karakteristike mikromreža su sledeće:

- Obezbeđuju dovoljnu i konstantnu električnu energiju za većinski deo potreba mikromreže.
- Ima svoju posebnu kontrolnu i optimizacionu strategiju.
- Mogu da pređu u ostrvski režim i da se ponovo povežu na glavnu mrežu veoma jednostavno,

preko tačke zajedničkog spajanja (Point of Common Coupling – PCC).

- Mogu da služe kao fleksibilna celina za optimizaciju mreže.
- Imaju kapacitet da skladište energiju.
- Primenljive su za različite naponske nivoe, obično manje od 20kV.

Tipičan primer mikromreže može da se vidi na slici 2.



Slika 2. Tipičan primer mikromreže [3]

Implementacija distribuiranih generatora u elektroenergetski sistem utiče na bilans snaga i učestanost u sistemu, pa upravljanje postaje veoma važno. Prednosti integracije distribuiranih generatora blizu potrošača je u smanjenju tokova snaga u distributivnim vodovima, što dovodi do smanjenja snaga gubitaka i poboljšanja kvaliteta napajanja krajnjih potrošača.

Postojanje dvosmernog napajanja rasterećuje vodove u periodima visokih opterećenja i pruža mogućnost bržeg ponovnog uspostavljanja napajanja posle kvarova. Najbolji način za iskorišćenje potencijala distribuiranih izvora jeste da se delovi mreže sa distribuiranim generatorima i potrošačima u njihovoj neposrednoj blizini posmatraju kao jedna podcelina sistema koja ustvari čini mikromrežu. Usvajanje mikromreža kao obrasca za masovnu integraciju distribuiranih generatora će omogućiti rešavanje tehničkih problema na decentralizovan način, čime će se smanjiti potreba za kompleksnom centralnom koordinacijom.

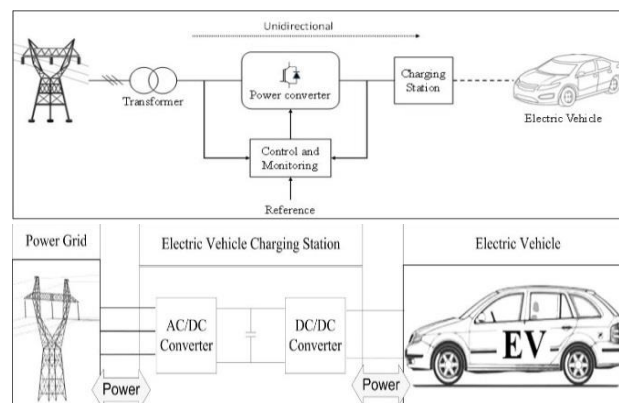
Očigledno je da koncept mikromreže može da donese brojne benefite elektroenergetskom sistemu, posebno kada se troši električna energija koja je proizvedena iz lokalnih obnovljivih izvora. Mikromreže mogu da utiču na smanjenje gubitaka električne energije, povećanje stabilnosti i sigurnosti mreže, kao i na smanjenje cene električne energije za potrošače i smanjenje troškova rada elektro-distributivnih preduzeća.

## 5. STANICE ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA

Električna vozila predstavljaju alternativu saobraćajnog prevoza čija je glavna prednost nulta emisija štetnih gasova. Električna vozila za pogon koriste elektromotor i bateriju čime se postiže veća efikasnost i manji operativni troškovi u odnosu na konvencionalna vozila sa motorom sa unutrašnjim sagorevanjem. Usled brzog razvoja litijum-jonskih baterija i stanica za brzo punjenje, električna vozila postaju sve traženija, međutim industrija elektromobila se susreće i sa mnogim tehničkim ograničenjima poput visokih početnih cena, ograničenih mogućnosti punjenja, smanjeni domet vožnje i dugo vreme punjenja baterije. Takođe, konekcija velikog broja električnih vozila na mrežu može da izazove negativne uticaje na rad električne mreže.

Pojava koncepta pametnih mreža omogućila je modernizaciju elektroenergetskih sistema pre svega sa dodatnim komunikacionim karakteristikama. Koncepti mreža ka vozilu (grid to vehicle – G2V) i vozilo ka mreži (vehicle to grid – V2G) predstavljaju jednu od tehnologija pametnih mreža čiji je cilj poboljšanje rada elektroenergetskog sistema korišćenjem električnih vozila. Razmena energije između baterija električnih vozila i električne mreže doprinosi dodatne usluge mreži, ali i vlasnicima vozila.

Tehnologija razmene električne energije između baterija električnih vozila i mreže može da se kategoriše na dva načina: jednosmeran tok snage odnosno tok od mreže ka vozilu i bidirekciono tok snage koji omogućava razmenu energije između baterije i mreže u oba pravca. Jednosmerni tok snage može da zaštiti mrežu od preopterećenja, pada napona i da utiče na stabilnost sistema. Iz perspektive mreže, baterija električnog vozila je pre svega potrošač, ali ukoliko bi postojala mogućnost dvosmernog toka snage, baterija bi se posmatrala i kao skladište električne energije. Bidirekciono tokovi snaga između baterije i mreže omogućavaju dopunu baterije električnog vozila, ali i podršku elektroenergetskom sistemu.



Slika 3. Jednosmerna i dvosmerna razmena energije [4]

## 6. PAMETNE KUĆE I ZGRADE

Pametne kuće svojim stanarima pružaju udoban, potpuno kontrolisan i siguran način života. Štaviše, pametne kuće mogu da uštede energiju i novac uz mogućnost ostvarivanja profita od prodaje „čiste“ energije iz obnovljivih izvora. Sa druge strane, mogućnost smanjenja potrošnje u domaćinstvima podstiče mnoge vlade da podrže koncept i tehnologiju pametnih kuća i zgrada.

Da bi se kontrolisalo unutrašnjim ambijentom kuće, pametna kuća je automatizovana tako što ima mogućnost kontrole nekih uređaja, kao što su uređaji za osvetljenje ili grejanje. Savremeno upravljanje ima kontrolu i nad ostalim uređajima, ono ima mogućnost da prati unutrašnje okruženje i aktivnosti stanara.

Pametne kuće se mogu definisati kao stambene zgrade koje koriste različite komunikacione šeme i algoritme optimizacije za predviđanje, analizu, optimizaciju i upravljanje potrošnjom energije tako da maksimalno povećaju beneficije za kuću bez velike promene stila i udobnosti života [6].

Kao i slučaju pametnih kuća, u pametnim zgradama se koriste inteligentni uređaji i komunikacioni sistemi kako bi se prikupile informacije o događajima u zgradi, što će omogućiti optimizaciju performansi same zgrade.

Razlika između pametnih zgrada i pametnih kuća pre svega je u veličini i broju stanara, ali je sam koncept pametnog objekta isti.

## 7. PREDLOG REŠENJA I ZAKLJUČAK

Usled trenutne energetske krize sve više potrošača gubi poverenje u sigurnost elektroenergetskog sistema i traže rešenje u decentralizaciji. Primeri decentralizacije će biti obrađeni na stambenom kompleksu, industrijskom postrojenju i vojnoj bazi.

**Stambeni kompleks** može da se izgradi tako da formira mikromrežu. To bi zahtevalo vezu sa glavnom mrežom preko tačke zajedničkog spajanja (PCC) preko koje bi mikromreža dobijala električnu energiju u normalnom pogonu. Integracija obnovljivih izvora i skladišta električne energije su neophodni. Kako solarni paneli predstavljaju najpristupačniji izvor obnovljive energije u gradu, zgrade ovog kompleksa bi na svojim krovovima imale instalisane solarne elektrane, ali bi i implementacija mikro vetroturbina bila moguća. Da bi energija dobijena iz obnovljivih izvora bila korisna, potrebno je postaviti i skladišta za električnu energiju u vidu baterija ili gorivnih ćelija. Pošto je integracija električnih vozila u mrežu sve veća, ovaj stambeni kompleks mora da obezbedi veliki broj stanica za punjenje. Ukoliko bi broj stanica za dopunu bio isti sa brojem električnih vozila, sva vozila bi mogla da učestvuju u razmeni električne energije između baterije i mreže.

Veliki broj električnih vozila bi mogao da preoptereći mrežu, ali ukoliko bi se pravilno upravljalo energijom, baterije električnih vozila bi mogle da posluže kao dodatno skladište za električnu energiju. Još jedan način smanjenja potrošnje je implementacija pametnih zgrada, pomoću kojih bi se povećala energetska efikasnost i koje bi omogućile upravljanje opterećenjem odnosno demand response program. Na taj način bi se mogla održavati ravnoteža između proizvodnje i potrošnje. Pošto je cilj decentralizacija, uz pravilno upravljanje ovakva mikromreža bi mogla da funkcioniše u ostrvskom režimu duži vremenski period. Električna energija bi se proizvodila iz obnovljivih izvora i uz pomoć skladišta energije i baterija električnih vozila ona bi zadovoljavala potrebe potrošnje.

**Industrijska postrojenja** takođe mogu da se transformišu u mikromreže, ovakva postrojenja obični imaju svoj izvod iz prenosne mreže preko kojeg dobijaju električnu energiju. Kako su ovakva industrijska postrojenja uglavnom izolovana i prostiru se na velikim površinama, osim fotonaponskih panela mogli bi se implementirati i vetrogeneratori, a ako na teritoriji postoji izvor ili reka, može se konstruisati i mikro hidroelektrana. Baterije, zamajci i gorivne ćelije su neophodne za normalno funkcionisanje ovakve mikromreže tokom ostrvskog režima. Upravljanje odzivom opterećenja takođe može da se primeni, ali kako je to industrijski kompleks, većina mašina mora da bude u pogonu i njihovo gašenje nije opcija, tako da se može upravljati samo opterećenjima koja nisu ključna za nastavak rada postrojenja. Kako industrijsko postrojenje ima jednog vlasnika, upravljanje mikromrežom bi bilo centralizovano, jer korisnici mikromreže imaju zajedničke ciljeve tj. Zajedničko radno okruženje pa teže koordinaciji zarad ostvarivanja sopstvenih ciljeva.

**Vojne baze** zahtevaju visok stepen sigurnosti i bezbednosti, a kako je jedna od najvećih mana pametnih mreža mogućnost hakerskih napada i ispada celog sistema, vojska je veoma zainteresovana za decentralizaciju. Ispad celog sistema može da izazove velike ekonomske gubitke, ali u vojsci može da izazove i gubitke života. Uglavnom sve vojne baze poseduju dizel generatore koji mogu da obezbede proizvodnju električne energije, ali da bi se obezbedio ostrvski rad na duže vremenske periode to nije dovoljno, tako da je implementacija solarnih i vetro elektrana neophodna. Zgrade vojnih baza bi bile modernizovane pomoću pametnih brojila, senzora, solarnih panela i baterija za skladištenje električne energije. Na taj način bi objekti u vojnim bazama bili više energetske efikasni, trošili bi manje resursa i postojala bi mogućnost upravljanja odzivom opterećenja.

## 8. LITERATURA

- [1] Koncept pametnih mreža (Smart Grids) u elektrodistributivnom sistemu, Ž.N. Popović, B.B. Radmilović, V.M. Gačić
- [2] Smart Grids: Advanced Technologies and Solutions Second Edition, Stuart Borlase, 2018.
- [3] Microgrid: Architecture, policy and future trends, Lubna Mariam, Malabika Basu, Michael F. Conlon
- [4] Vehicle to Grid Technology, Priya Gupta, Devangee Bhurawalla, Pooja Shah, Prof. Bhushan Save
- [5] Smart homes: potentials and challenges, Rasha El-Azab

### Kratka biografija:

**Milan Stojanović** rođen je u Novom Sadu 1997. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranio je 2021. godine.

**Vladan Krsman** rođen je u Sarajevu 1985. godine. Doktorsku disertaciju odbranio je 2017. godine na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektroenergetski sistemi.