

Energetska budućnost gradova: Šta je važno sa stanovišta različitih zainteresovanih strana

Jelena Nikolić^{*,**}, Dušan Gordić^{*}, Vladimir Vukašinović^{*}, Davor Končalović^{*}, Mladen Josijević^{*}, Dubravka Živković^{*}

^{*} Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Srbija

^{**} Aalborg University, Danska

Rezime - Kako se u gradovima koristi gotovo 65% ukupno proizvedene finalne energije u svetu, oni predstavljaju nosioce energetske promene. Shodno tome, ovaj rad analizira uticaj nacrtane Strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2040. godine sa projekcijama do 2050. godine na kreiranje lokalnih politika i postizanja klimatske neutralizacije u gradovima. Metodologija koja se zasniva na skaliranju nacionalne strategije na nivo grada, primenjena je na primeru grada Kragujevca. U okviru ovog istraživanja korišćena je multikriterijumska analiza za evaluaciju i rangiranje mera predloženih Strategijom, uz analizu mišljenja ključnih zainteresovanih strana iz relevantnih oblasti, uključujući lokalne vlasti, stručnjake iz relevantnih oblasti, predstavnike civilnog društva, privatni sektor i građane. Rezultati istraživanja doprinose boljem razumevanju uticaja nacionalnih dokumenata na oblikovanje lokalnih politika, uz identifikaciju ključnih faktora za uspešno ostvarivanje energetske promene. Prikazani zaključci pružaju smernice za donošenje odluka koje su u skladu s lokalnim potrebama i prioritetima.

Ključne reči - energetske planiranje, energetske politike, gradovi, energetska tranzicija, MCDM

I UVOD

Smanjenje posledica globalnog zagrevanja, prouzrokovano povećanjem emisija gasova sa efektom staklene bašte, jedan je od glavnih izazova današnjice. Kako je povećanje emisije ugljen-dioksida (CO₂) najčešće povezano sa antropogenim delovanjem i kako u gradovima živi više od 50% svetske populacije [1], energetske aktivnosti u urbanim sredinama su od značaja. Shodno tome, ublažavanje klimatskih promena se ne može rešiti samo sa globalnog, ili nacionalnog nivoa, već su lokalne akcije i lokalne strategije od suštinske važnosti [2]. Međutim, napuštanje fosilnih goriva je proces koji zahteva vreme, određena novčana ulaganja, kao i građansko prihvatanje promena. Dok gradovi moraju da ispune energetske potrebe rastuće populacije, oni takođe moraju da učestvuju u sprovođenju politika za ispunjavanje klimatskih ciljeva. Na tom putu se gradovi i lokalne samouprave često suočavaju sa ograničenim resursima i budžetom i često su u senci nacionalnih krovnih regulativa. Zato je potrebno pronaći način za iskorišćenje prilika za delovanje unutar postojećih planova, kroz definisanje mehanizma za skaliranje nacionalnih strategija na lokalne nivoe, uz maksimalno iskorišćenje teritorijalno dostupnih obnovljivih

izvora energije (OIE). Pored toga, gradski energetske sistemi su identifikovani kao složeni društveno-tehnički sistemi [3], zbog čega planiranje energetske budućnosti treba da bude zasnovano na analizi dostupnih tehnologija i mogućnosti za njihovo korišćenje na lokalnom nivou u skladu sa aspektima društvene prihvatljivosti [4]. Dakle, dekarbonizacija u gradovima se zasniva na sveobuhvatnom pristupu, kroz analizu zakonodavnih okvira na nacionalnim nivoima, energetske potreba grada, kao i mogućnosti iskorišćenja potencijala OIE. Kako se razumevanje koncepta energetske tranzicije značajno razlikuje u zavisnosti od interesovanja i interesa građana [5], važno je pronaći način za obuhvatanje različitih mišljenja, čime se obezbeđuje održivost procesa energetske promene.

Shodno tome, u ovom radu je predstavljena metodologija za analizu uticaja nacionalnih energetske strategije na proces dekarbonizacije u gradu, primenjena na studiji slučaja grada Kragujevca. Metodologija uključuje analizu stavova različitih zainteresovanih strana, sa ciljem utvrđivanja važnosti različitih kriterijuma za usvajanje i implementaciju novih tehnologija, uzimajući u obzir ekonomske, društvene i kriterijume zaštite životne sredine. Na ovaj način omogućava se proces energetske promene u zemljama čiji se energetske sistem zasniva na upotrebi fosilnih goriva, na način koji je društveno prihvatljiv. Kako određivanje posledica lokalnih akcija na nacionalne i internacionalne energetske politike nije analizirano u dovoljno detalja [6], rezultati ovog rada doprinose proširivanju znanja iz oblasti energetske planiranja u gradovima i doprinose ostvarivanju sledećih ciljeva održivog razvoja [7]: 7 - dostupna i obnovljiva energija, 11 - održivi gradovi i zajednice, i 13 - klimatske akcije.

II KRATAK PREGLED ZNAČAJNIH POLITIKA

Ostvarivanje ciljeva energetske tranzicije, kroz promenu načina proizvodnje, distribucije i korišćenja energije, na nivou Evropske Unije postavljeno je kroz razvoj energetske politika i novih zakonodavnih okvira. Zajedno, oni predstavljaju regulatorni i strateški energetske okvir, kroz definiciju prioriteta i ostvarivanje energetske bezbednosti, uz obavezujuće standarde koji utvrđuju pravila za sprovođenje politika [8]. Evropski zeleni sporazum (eng. *European Green Deal*) [9] je krovna evropska strategija, sa dugoročnim ciljevima uspostavljanja klimatske neutralnosti u Evropi do 2050. godine, kroz kreiranje novih prilika za investicije i nove poslove, uz ostvarivanje energetske pravde i jednakih mogućnosti za sve građane. Sve zemlje članice, kao i

zemlje koje su kandidati za članstvo, su u obavezi da usaglasе svoje zakonodavne okvire sa novim zakonima predviđenim sporazumom i setom regulativa, koje za cilj imaju postizanje značajnog smanjenja emisije CO₂ - „Čista energija za sve Evropljane“ (eng. *Clean Energy for All Europeans*) [10], koji je stupio na snagu 2019. godine i „Prilagođeni za 55“¹ (eng. *Fit for 55*) koji je usvojen 2021. godine [11]. Kao rezultat toga, u avgustu 2024. godine, u Republici Srbiji je usvojen Integrirani nacionalni energetska i klimatski plan Republike Srbije za period do 2030. sa vizijom do 2050. godine [12], a u julu 2024. godine predstavljen je Nacrt Strategije Energetike Republike Srbije do 2040. godine sa projekcijama do 2050. godine [13]. Ovim dokumentima predloženi su koraci razvoja energetskog sistema Srbije, sa ciljem veće integracije OIE i smanjenja emisije CO₂.

Kada su u pitanju dokumenti na lokalnim nivoima, na osnovu Zakona o energetska efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije [14], sve lokalne samouprave u kojima živi više od 20.000 stanovnika su u obavezi da usvoje Programe energetske efikasnosti, kojima se promovira racionalna upotreba energije. Shodno tome, Kragujevac je u 2022. godine predstavio i usvojio Program energetske efikasnosti grada Kragujevca za period 2023-2025, kojim se „stvaraju preduslovi za izvršenje zakonskih obaveza grada Kragujevca u oblasti energetike, energetske efikasnosti i korišćenja OIE“ [15]. Ovim dokumentom su sistematično prikazane karakteristike grada, njegove trenutne energetske potrebe u javnim zgradama, kao i predložene mere za postizanje mogućih budućih ušteda. Međutim, uvid u predložene mere gotovo uopšte ne obuhvata OIE, što dovodi u pitanje realne ambicije ka procesu dekarbonizacije grada [4].

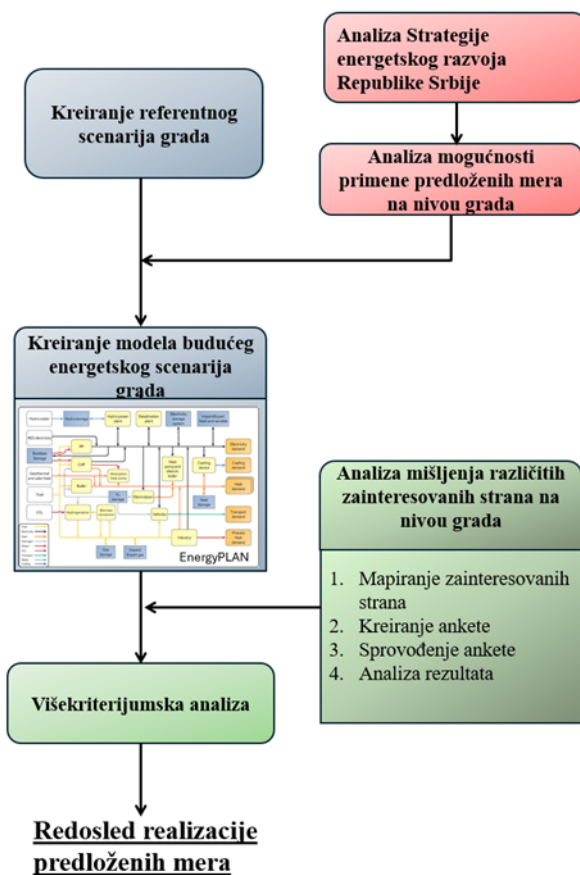
III METODOLOGIJA

Kako je cilj ovog rada utvrđivanje posledica nacionalne energetske strategije na dekarbonizaciju grada, kao i participativnog učešća zainteresovanih strana u procesu donošenja odluka o redosledu implementacije mera predloženim ovim dokumentom, metodologija u ovom radu (Slika 1.) se u osnovi zasniva na analizi energetskog modela grada Kragujevca.

Energetski sistem grada analiziran je simulacijom energetskog modela grada, primenom softverskog alata EnergyPLAN [16]. EnergyPLAN je simulacioni alat koji omogućava integraciju svih energetska sektora kroz optimizaciju tokova proizvodnje, konverzije, skladištenja i upotrebe energije, čime se ostvaruje koncept pametnih energetska sistema. Ova međusektorska integracija postiže se na časovnom nivou tokom cele godine, optimalnim angažovanjem svih postojećih tehnologija u sistemu, kao što su tehnologije centralizovane proizvodnje električne i toplotne energije, varijabilni obnovljivi izvori energije, toplotne pumpe i tehnologija za konverziju električne energije (tzv. *Power-to-X* tehnologije).

Simulacije se zasnivaju na tehničkim simulacijama koje istovremeno balansiraju upotrebu električne i toplotne energije, određivanjem prioriteta angažovanja tehnologija u sistemu daljinskog grejanja. Ovakva postavka prioritizuje upotrebu otpadne toplotne, kao i solarnih kolektora u sistemu daljinskog grejanja. Integracija značajnih kapaciteta (OIE) uz povećanje

mogućnosti njihove upotrebe i minimizaciju viškova proizvodnje energije omogućena je prvenstveno angažovanjem toplotnih pumpi. Toplotne pumpe smanjuju proizvodnju iz kombinovanih toplotnih i električnih postrojenja (TETO) usled smanjenja toplotnog opterećenja, čime se smanjuje i proizvodnja električne energije. Istovremeno, neiskorišćena toplotna energija može biti skladištena u sistemima za akumulaciju toplotne, omogućavajući maksimizaciju iskorišćenja proizvedene toplotne energije. Kada u sistemu postoji višak električne energije, ona se može skladištiti u formi vodonika primenom elektrolize, pri čemu otpadna toplota iz ovog procesa može biti korišćena u sistemu daljinskog grejanja. Takođe, električna energija se može skladištiti kroz integraciju električnih baterija, ili reverzibilnih elektrana. Energija će se skladištiti kada postoji višak proizvodnje, a koristiće se kada sistem ne proizvodi energiju iz OIE, čime se smanjuje uvoz energije ili angažovanje energetska jedinica koje koriste fosilna goriva. Pored toga, smanjenje uvoza ili redukcija proizvodnje viškova energije moguća je smanjenjem proizvodnje iz varijabilnih OIE, zamenom kotlova na fosilna goriva električnim kotlovima, ili smanjenjem proizvodnje električne energije iz TETO uz povećanje proizvodnje toplotne iz vršnih kotlova, pri čemu je moguće definisati redosled uspostavljanja ovih mera.



Slika 1. Šematski prikaz korišćene metodologije

Da bi simuliranje ponašanja sistema bilo moguće, neophodno je prvo definisati proizvodne kapacitete, gubitke sistema, kao i časovnu potrebu i proizvodnju energije. Nakon toga, EnergyPLAN prikazuje podatke o potrošnji primarne energije u

¹ Slobodan prevod autora rada

sistemu, emisijama CO₂, troškovima sistema, kao i sveobuhvatni energetski bilans.

Da bi se odredile posledice integracije novih mera dekarbonizacije, potrebno je kreirati model sadašnjeg, referentnog sistema. Kako energetske potrebe u gradu uključuju ne samo sektor zgrada, već i industriju i transport, neophodno je usvojiti određene pretpostavke kojima bi se omogućila ravnomerna i pravedna raspodela energetskih potreba u svim energetski intenzivnim sektorima na nivou države. Naime, u procesu dekarbonizacije nacionalnog energetskog sistema, gradovi treba da budu prepoznati kao delovi slagalice i nosioci energetskih promena. Kako se produkti sektora industrije ne koriste samo unutar gradova u kojima se fizički proizvode, uspostavljanje principa pravednosti zasniva se na ravnomernoj raspodeli potrošnje energenata u skladu sa udelom stanovnika u analiziranom gradu u poređenju sa ukupnim brojem stanovnika u Srbiji. Isti principi pravednosti usvojeni su i za sektor transporta, jer se očekuje da stanovnici često putuju i izvan geografskih granica samog grada. S tim u vezi, energetske potrebe u sektoru transporta i industrije definisane su na osnovu energetskog bilansa Republike Srbije za 2019. godinu. Ova godina je uzeta u obzir jer je poslednja godina sa dostupnim podacima koja ne uključuje kovid krizu, kao ni havarije u elektroenergetskom sektoru, koje su rezultirale neuobičajenim energetskim ponašanjem energetskog sistema. Sa druge strane, podaci o potrošnji energije u sistemu daljinskog grejanja, kao i podaci o energetskim potrebama svih javnih institucija, odgovaraju realnim potrošnjama u gradu tokom analizirane godine. Kako ne postoje precizni podaci o sistemu grejanja u individualnim ložištima, usvojeni su statistički podaci prikazani u radu [17].

Budući energetski scenario počiva na istim postulatima pravedne energetske raspodele, pri čemu se u obzir uzima predviđeni budući broj stanovnika u Srbiji i u gradu Kragujevcu za 2045. godinu. Takođe, kako Strategija energetskog razvoja Republike Srbije uzima u obzir dekarbonizaciju cele zemlje, potrebno je svesti je na nivo grada. Usaglašavanje nacionalnih strategija i lokalnih ciljeva je od važnosti, jer je samo kroz saradnju na različitim nivoima moguće ostvariti ciljano smanjenje emisije CO₂. Vodeći se pomenutim postulatima, Nacionalna strategija je svedena na nivo grada Kragujevca, usvajanjem odgovarajućih udela predloženih mera OIE, čije je izvođenje moguće na analiziranom lokalitetu. Dakle, očekivane promene u elektroenergetskom sistemu grada, koje su u skladu sa Strategijom energetskog razvoja RS, su:

- povećana potreba za električnom energijom u svim sektorima i njeno moguće uparivanje potražnje do 25% (tzv. fleksibilnost sistema);
- povećana energetska efikasnost u sektoru zgradarstva: 1% godišnje do 2030. i 2% godišnje od 2030. do 2045. za sektor domaćinstava; i 3% godišnje do 2030. i 6% godišnje nakon toga za sektor javnih zgrada;
- povećan udeo toplotnih pumpi (15% toplotnih potreba u domaćinstvima i 25% u javnim zgradama); u domaćinstvima toplotne pumpe zamenjuju individualna ložišta koja koriste lož ulje i ugalj, kao i 50% ložišta na prirodni gas i biomasu;
- povećan udeo električnih vozila; električna energija predviđena za potrebe transporta usvojena je na osnovu

udela predviđenih energetskih potreba iz bilansa prikazanog u Strategiji;

- 5% sanitarne tople vode zagrevaće se primenom solarnih kolektora;
- solarni kolektori će se koristiti i u sistemu daljinskog grejanja, prema predviđenom udelu;
- kapaciteti i produkcija OIE usvojeni su na osnovu mogućnosti korišćenja teritorijalno dostupnih OIE;
- kako je planirana izgradnja reverzibilne elektrane Bistrica, usvojen je udeo koji odgovara gradu, radi balansiranja instaliranog kapaciteta OIE;
- potreba za biogorivima usvojena je na osnovu tabele energetskog bilansa, uz napomenu da je upotreba biomase ograničena na količinu biomase koja se smatra globalno održivom (27 GJ/stanovnik godišnje), na osnovu preporuka prikazanih u [2,18,19].

Energetske potrebe sektora transporta, industrije i električne energije usvojene su prema udelu predviđenom broju stanovnika u gradu u poređenju sa predviđenim brojem stanovnika u Srbiji, na osnovu energetskog bilansa, prikazane u Tabeli A. 11. na strani 101 Energetske strategije Republike Srbije.

Redosled instaliranja predloženih mera (instalacija OIE, toplotnih pumpi i solarnih kolektora²) određen je na osnovu participativnog učešća zainteresovanih strana i primene višekriterijumske analize. Višekriterijumska analiza je u dosadašnjoj literaturi korišćena u procesu energetskog planiranja na više nivoa [20]. Prilikom donošenja odluka mogu se koristiti različite metode u okviru višekriterijumske analize. Za potrebe ovog rada, predložena je primena WSM metode (eng. *Weight Sum Method*), jer zbog jednostavne primene može da bude replicirana u različitim studijama slučaja i time doprinese učešću građana u procesu donošenja odluka. Rangiranje predloženih mera zasnovano je na jednačini 1:

$$R_i = \sum_{j=1}^n k_j \cdot \bar{n}_{ij} \quad \text{za } i=1 \text{ to } m \quad (1)$$

gde su:

R_i [–] rezultat WSM metode; veći rezultat ukazuje na prednost pri rangiranju,

n [–] broj kriterijuma,

m [–] broj predloženih mera,

k_j [%] težinski faktor za svaki od kriterijuma,

n_{ij} [–] normalizovani faktor za svaku predloženu meru.

Kako bi rangiranje predloženih mera bilo moguće, neophodno je usvojiti kriterijume. U ovom radu, u obzir su uzeti ekonomski kriterijumi (troškovi instalacije OIE, troškovi održavanja sistema); društveni kriterijumi (kreiranje novih radnih mesta tokom ugradnje tehnologije, kreiranje novih radnih mesta u toku radnog veka tehnologije i održavanja); tehnički kriterijumi (proizvodnja energije na godišnjem nivou; efikasnost tehnologije); kriterijumi zaštite životne sredine (godišnje smanjenje emisije CO₂). Dakle, ukupno je u obzor uzeto 7 kriterijuma. Normalizovani faktor za svaku od mera određen je u

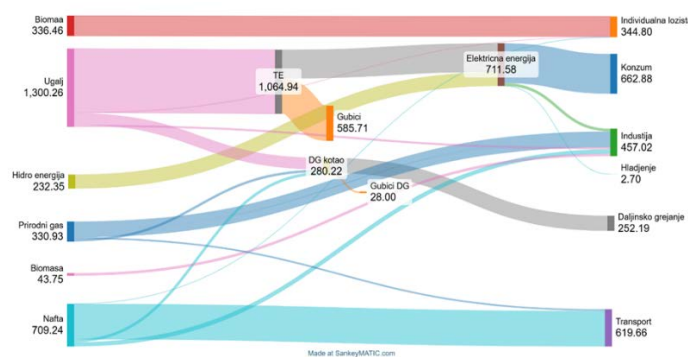
² U obzir su uzete samo pobrojane mere, jer se očekuje postepeni prelazak na električna vozila i napuštanje motora sa unutrašnjim sagorevanjem, kao i unapređenje energetske efikasnosti. Reverzibilna hidroelektrana Bistrica je od nacionalnog interesa, te se njena izgradnja svakako očekuje u analiziranom periodu.

zavisnosti od toga da li je poželjni rezultat najviši u opsegu rezultata dobijenih simulacijom, ili najniži. Kada je najniža vrednost najpoželjnija, normalizovana vrednost $\bar{n}_{ij}$ predstavlja odnos minimalne vrednosti svih predloženih mera i vrednosti dobijene za posmatranu meru. Kod kriterijuma gde je najviša vrednost najpoželjnija, normalizovana vrednost $\bar{n}_{ij}$ predstavlja odnos dobijene vrednosti za posmatranu meru i maksimalne vrednosti svih predloženih mera u okviru posmatranog kriterijuma.

Težinski faktori su određeni sprovođenjem ankete među zainteresovanim stranama na nivou grada uključujući sektor akademije, nevladinih organizacija, lokalne donosioca odluka i građane.

IV REZULTATI I DISKUSIJA

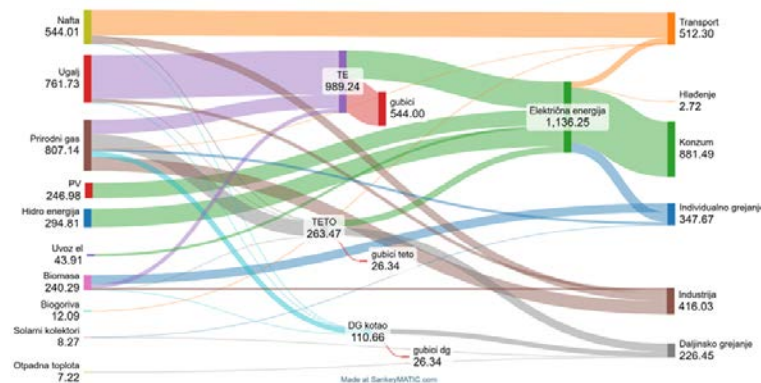
Rezultati energetskog modeliranja Referentnog modela grada Kragujevca (Slika 2.) pokazuju da je energetsko snabdevanje u gradu još uvek visoko zavisno od fosilnih goriva u svim sektorima, izuzev u individualnim ložištima, u kojima je najzastupljenija upotreba biomase. Međutim, individualna grejna tela karakteriše niska efikasnost, što rezultira korišćenjem biomase na način koji se ne može smatrati održivim.



Slika 2. Dijagram tokova referentnog energetskog scenarija

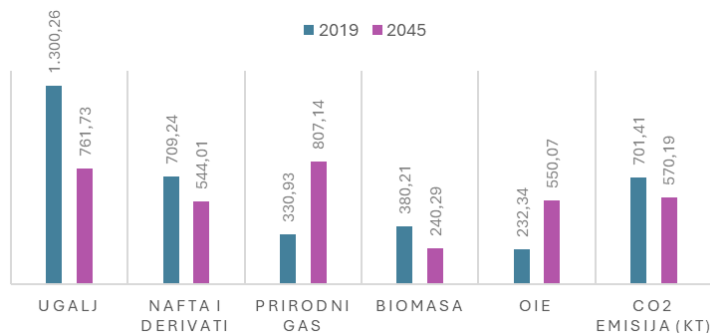
Analizom dijagrama tokova energije budućeg energetskog scenarija, prikazanom na na slici 3. uviđa se povećanje integracije OIE, prvenstveno solarnih panela. Napominje se da, iako strategija obuhvata instaliranje kapaciteta vetrogeneratora, oni su izuzeti iz analize na nivou grada, jer njihova instalacija nije moguća zbog karakteristika lokaliteta. Elektrifikacija dela transportnog sektora rezultira smanjenjem upotrebe fosilnih goriva. S druge strane, iako se u sektoru industrije očekuje povećanje elektrifikacije, takođe se zapaža povećana upotreba nafte i naftnih derivata, kao i prirodnog gasa. Shodno prikazanom, zaključuje se da sektor industrije predstavlja jedini sektor u kojem se u budućem periodu očekuje povećanje emisije CO₂. Kao takav predstavlja izazov za buduća energetska planiranja, ali i sektor koji pruža potencijale za primenu novih tehnologija, poput hvatanja i skladištenja ugljenika i njegove upotrebe prilikom proizvodnje goriva nove generacije (e-metan, e-metanol i sl.). Upotreba otpadne toplote iz industrije, kao i primena solarnih kolektora u sistemu DG smanjuju upotrebu fosilnih goriva u ovom sektoru. Takođe, zamena individualnih ložišta efikasnijim, kao i primena toplotnih pumpi, rezultiraju redukcijom emisije u sektoru zgradarstva. Ovakav pristup

rezultira i smanjenjem upotrebe biomase na neodrživ način, čime se omogućava korišćenje ovog energenta u sistemima sa većom efikasnošću.



Slika 3. Dijagram energetskih tokova grada Kragujevca za 2045. godinu

Usvajanje novih mera, predloženih Strategijom, dovodi do promena u energetskom miksu grada. Kao što je prikazano na Slici 3, svodenje nacionalne strategije na gradski nivo rezultira smanjenjem upotrebe uglja, kao i nafte i naftnih derivata. Međutim, usled zamene uglja prirodnim gasom u TE i TETO, očekuje se povećana upotreba ovog energenta.



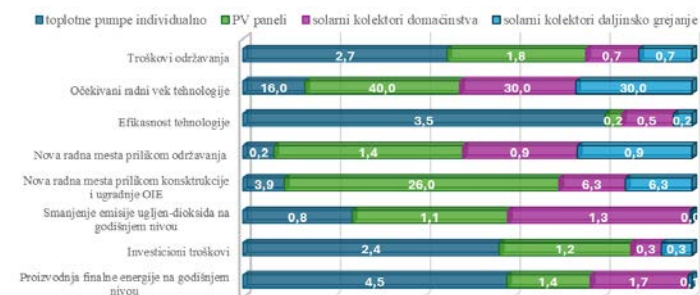
Slika 4. Upotreba finalne energije (GWh/godina) i emisija CO₂ u Kragujevcu u toku 2019. i 2045. godine

Sveobuhvatno, integracija svih predloženih mera u Strategiji rezultira smanjenjem emisije od 131 kt CO₂ na godišnjem nivou. Integracija analiziranih mera se višestruko odražava na sistem, ne samo u pogledu tehno-ekonomskih parametara, poput proizvodnje energije i smanjenja emisije CO₂, već utiče i na društvene kriterijume kreiranjem novih radnih mesta. Posledice instaliranja mera predloženih strategijom na svaki posmatrani kriterijum koji utiče na utvrđivanje redosleda instaliranja mera, prikazane su na Slici 5.

Kako prikazani proces predstavlja dugoročni plan i kako je neophodno prilagoditi energetsku tranziciju građanima, prilikom implementacije predloženih mera u obzir treba uzeti mišljenje svih zainteresovanih strana. Na ovaj način, učesćem u procesu donošenja odluka i prezentovanja različitih mogućnosti, građani postaju aktivni učesnici u kreiranju budućnosti svog grada.

Anketu, u kojoj su zainteresovane strane ocenjivale značaj kriterijuma, popunilo je 128 građana. Od prikupljenih odgovora,

20% pripada javnoj upravi i donosiocima odluka, 28% akademskoj zajednici, 11% nevladinom sektoru i 61% građanima.



Slika 5. Posledica implementacije jedinične snage predloženih mera na analizirane kriterijume³

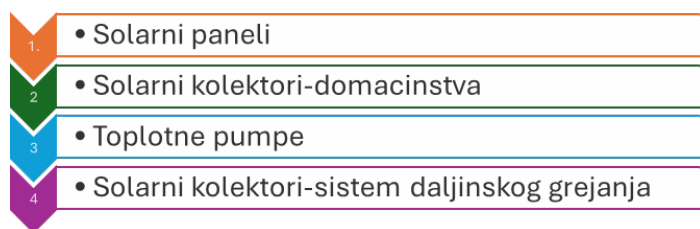
Normalizacijom odgovora, utvrđeni su težinski faktori za svaku od analiziranih grupa (Tabela 1.).

Tabela 1. Težinski faktori za svaki kriterijum iz ugla različitih zainteresovanih strana

	Proizvodnja finalne energije	Investicioni troškovi	Smanjenje emisije CO ₂	Nova radna mesta (izgradnja)	Nova radna mesta (o&m)	Efikasnost tehnologije	Očekivani radni vek tehnologije	Troškovi održavanja
akademija	13,42%	12,97%	12,52%	9,93%	10,04%	13,20%	13,99%	13,92%
građani	13,46%	12,51%	12,51%	10,50%	10,70%	13,80%	13,85%	12,66%
javna uprava	13,10%	12,37%	12,37%	11,64%	11,79%	13,25%	12,52%	12,95%
NVO	13,56%	12,50%	13,03%	11,44%	10,90%	12,77%	12,77%	13,03%

Na osnovu prikazanih podataka, uviđa se da je u svim ispitivanim kategorijama najvažnija godišnja produkcija energije, dok kreiranje novih radnih mesta ne predstavlja imperativ ni u jednoj grupi ispitanika.

Uzimajući u obzir težinske faktore i primenom formule (1), utvrđen je redosled implementacije novih mera za dekarbonizaciju grada (Slika 6).



Slika 6. Redosled implementacije novih mera energetske tranzicije, zasnovan na analizi mišljenja građana

Energetsku tranziciju u gradu poželjno je otpočeti sa instalacijom mera koje pružaju najbolji odnos troškova instalacije i

moгуćnosti proizvodnje energije na godišnjem nivou. Na osnovu analize prikupljenih podataka, kako bi energetska tranzicija u gradu bila u skladu sa nacionalnom strategijom, predlaže se instaliranje solarnih panela na krovovima domaćinstava i javnih zgrada, zatim instaliranje solarnih kolektora za zagrevanje sanitarne tople vode. Kako se u Srbiji za zagrevanje STV najčešće koriste električni grejači, ova mera će uticati na smanjenje potrošnje električne energije, čija proizvodnja predstavlja karbonski intenzivan sektor u Srbiji. Nakon toga se predlaže ugradnja toplotnih pumpi, kao zamena za neefikasna ložišta. Ova mera u sprezi sa solarnim panelima može da omogući bolju integraciju varijabilnih OIE na nivou grada. Solarni kolektori u sistemu daljinskog grejanja u Kragujevcu bi imali veći udeo u proizvodnji energije kada bi se sistem daljinskog grejanja koristio i za zagrevanje STV u domaćinstvima koja su deo mreže sistema daljinskog grejanja. Na ovaj način, solarni kolektori bi mogli da zadovolje deo energetskih potreba u letnjim mesecima, čime bi se uticalo na smanjenje proizvodnje električne energije.

V ZAKLJUČAK

Analiza uticaja nacionalne strategije na klimatsku neutralnost u gradu ukazuje na to da strateški okvir predviđa smanjenje emisije CO₂ u sektoru saobraćaja i zgradarstva. Međutim, izostanak očekivanog napretka u industrijskom sektoru sugerise da su potrebni dodatni napor, kako u pogledu inovacija, tako i u kreiranju specifičnih lokalnih politika koje bi podržale tranziciju industrije ka niskougljeničnom razvoju. Istovremeno, kako bi se podstakla energetska tranzicija na lokalnim nivoima, neophodno je uključiti sve zainteresovane strane. Mogući način za jačanje participativnog pristupa je uključivanje građana u proces vrednovanja predloženih rešenja za energetska budućnost grada. Rezultati pokazuju da građani najveću važnost pridaju kriterijumima koji garantuju tehničku i ekonomsku održivost, pre svega proizvodnji energije i očekivanom radnom veku instalirane tehnologije. S druge strane, kriterijumi poput kreiranja novih radnih mesta dobili su najmanji značaj, što ukazuje da građani trenutno više vrednuju funkcionalne i dugoročne koristi energetskih rešenja nego kratkoročne socioekonomske efekte.

Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da na lokalnom nivou postoji značajan prostor za dalje unapređenje procesa dekarbonizacije, kako kroz povećanu institucionalnu podršku, tako i kroz intenzivnije uključivanje zajednice. Unapređenje komunikacije između lokalne vlasti i građana, jasnije definisanje ciljeva i koristi predloženih mera, kao i razvoj mehanizama za praćenje i evaluaciju implementacije, predstavljaju ključne korake za ubrzanje tranzicije ka klimatski neutralnom gradu.

LITERATURA

- [1] Share of the population living in urban areas. <https://ourworldindata.org/grapher/share-of-population-urban> [pristupljeno 23.01.2025]
- [2] Thellufsen, J.Z., Lund, H., Sorknaes, P., Østergaard, P.A., Chang, M., Drysdale, D., Nielsen, S., Djørup, S.R., Sperling, K. Smart energy cities in a 100% renewable energy context, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 129, 109922, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109922>
- [3] Gupta, K., Karlsson, K., Ahlgren, E.O. City energy planning: Modeling long-term strategies under system uncertainties, Energy Strategy Reviews, Vol. 56, 101564, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101564>

³ Količine proizvedene energije (GWh/godina), kao i smanjenje emisije CO₂ (kt) određeni su simulacijom energetskog modela budućeg scenarija. Troškovi instalacije mera usvojeni su na osnovu udela planiranih troškova prikazanih u Strategiji energetike, dok su troškovi održavanja usvojeni kao procentuani udeo investicionih troškova u skladu sa preporukama prikazanim u [21]. Faktor zapošljavanja i kreiranja novih radnih mesta usvojen je na osnovu [22]. Radni vek tehnologije određen je na osnovu očekivanog razvoja tehnologija za analiziranu 2045. godinu [22]

- [4] Nikolić, J., Gordić, D., Vukašinović, V., Josijević, M., Živković, D. Planiranje energetske budućnosti grada: SWOT analiza - Studija slučaja grada Kragujevca, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 25, No. 2, pp. 22-28, 2023. <https://doi.org/10.46793/EEE23-2.22N>
- [5] Ristić, V., Žikić, M., Vujanović, D., Trkulja, I., Mijušković, O. Definisanje optimalnog proizvodnog miksa u dekarbonizovanom energetskom sistemu, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 1, pp. 22-27, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.22R>
- [6] Fuhr, H., Hickmann, T., Kern, K. The role of cities in multi-level climate governance: local climate policies and the 1.5 °C target, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 30, pp. 1-6, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.10.006>
- [7] The 17 goals. United Nations n.d., <https://sdgs.un.org/goals> [pristupljeno 23.01.2025]
- [8] Pavlović, B., Madžarević, A., Ivezić, D., Živković, M., Mojić, D. Energetska tranzicija u domaćinstvima: analiza usaglašenosti Srbije sa paketom „Čista energija za sve Evropljane“, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 26, No. 1, pp. 51-58, 2024. <https://doi.org/10.46793/EEE24-1.51P>
- [9] European Green Deal. European Commission 2019. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en [pristupljeno 23.01.2025]
- [10] Clean energy for all Europeans 2019. <https://south.euneighbours.eu/wp-content/uploads/2022/07/Clean-energy-for-all-europeans-package-ENG-0-1.pdf> [pristupljeno 23.01.2025]
- [11] Fit for 55. European Council n.d. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/> [pristupljeno 23.01.2025]
- [12] Integrisani nacionalni energetska i klimatski plan republike Srbije za period do 2030. sa vizijom do 2050. godine. <https://www.mre.gov.rs/tekst/1115/-integrisani-nacionalni-energetski-i-klimatski-plan-republike-srbije-za-period-do-2030-sa-vizijom-do-2050-godine.php> [pristupljeno 23.01.2025]
- [13] Javne konsultacije i javne rasprave o nacrtu Strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2040. godine sa projekcijama do 2050. godine. <https://www.mre.gov.rs/tekst/sr/5910/-javne-konsultacije-na-nacrt-strategije-razvoja-energetike-rs-do-2040-sa-projekcijama-do-2050godine-sa-pratecim-izvestajem-o-spu.php> [pristupljeno 26.01.2025]
- [14] Zakon o energetske efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije, Sl. glasnik RS, br. 35/2023, https://www.paragraf.rs/izmene_i_dopune/290423-zakon-o-izmenama-i-dopunama-zakona-o-koriscenju-obnovljivih-izvora-energije.html [pristupljeno 26.01.2025]
- [15] Program energetske efikasnosti grada Kragujevca za period 2023-2025. sa planom energetske efikasnosti za 2023. god. <https://kragujevac.ls.gov.rs/extfile/sr/481/81/Broj%2039A%2027.%20DEC-EMBAR%202022..pdf> [pristupljeno 26.01.2025]
- [16] Lund, H., Thellufsen, J.Z., Østergaard, P.A., Sorknæs, P., Skov, I.R., Mathiesen, B.V. EnergyPLAN - Advanced analysis of smart energy systems, *Smart Energy*, Vol. 1, 100007, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100007>
- [17] Pavlović, B., Ivezić, D., Živković, M. Izazovi energetske tranzicije u sektoru individualnog grejanja, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 1, pp. 17-21, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.17P>
- [18] Lund, H., Thellufsen, J.Z., Sorknæs, P., Mathiesen, B.V., Chang, M., Madsen, P.T., Kany, M.S., Skov, I.R. Smart energy Denmark. A consistent and detailed strategy for a fully decarbonized society, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 168, 112777, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112777>
- [19] Lund, H., Skov, I.R., Thellufsen, J.Z., Sorknæs, P., Korberg, A.D., Chang, M., Mathiesen, B.V., Kani, M.S. The role of sustainable bioenergy in a fully decarbonised society, *Renewable Energy*, Vol. 196, pp. 195-203, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.026>
- [20] Shimray, B.A., Singh, K.M., Mehta, R.K. A survey of Multi-Criteria Decision Making Technique used in Renewable Energy Planning, *International Journal of Computer*, Vol. 25, No. 1, 2017. <https://doi.org/10.53896/ijc.v25i1.967>
- [21] Technology Catalogues. Energystyrelsen 2025. <https://ens.dk/en/analyses-and-statistics/technology-catalogues> [pristupljeno 26.01.2025]
- [22] Ram, M., Osorio-Aravena, J.C., Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Breyer, C. Job creation during a climate compliant global energy transition across the power, heat, transport, and desalination sectors by 2050, *Energy*, Vol. 238, Part A, 121690, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121690>

AUTORI

Jelena Nikolić - istraživač saradnik, Aalborg University, Denmark, jelenan@plan.aau.dk, ORCID [0000-0001-6781-8059](https://orcid.org/0000-0001-6781-8059)

Dušan Gordić - redovni profesor, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, gordic@kg.ac.rs, ORCID [0000-0002-1058-5810](https://orcid.org/0000-0002-1058-5810)

Vladimir Vukašinović - vanredni profesor, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, vladimir.vukasinovic@kg.ac.rs, ORCID [0000-0001-6489-2632](https://orcid.org/0000-0001-6489-2632)

Davor Koncalović - vanredni profesor, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, davor.koncalovic@kg.ac.rs, ORCID [0000-0003-1207-2653](https://orcid.org/0000-0003-1207-2653)

Mladen Josijević - docent, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, mladenjosijevic@gmail.com, ORCID [0000-0001-9619-0897](https://orcid.org/0000-0001-9619-0897)

Dubravka Živković - docent, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, dubravka@uni.kg.ac.rs, ORCID [0000-0002-0266-456X](https://orcid.org/0000-0002-0266-456X) (autor za korespondenciju)

The Energy Future of Cities: What Matters from a Stakeholder Perspective

Abstract - As cities consume nearly 65% of the total final energy produced globally, they represent key drivers of energy transitions. Accordingly, this paper analyses the impact of the draft of Energy Sector Development of Republic of Serbia up to 2040 with projections up to 2050, on the creation of local policies and the achievement of climate neutrality in cities. The methodology, based on scaling the national strategy to the city level, was applied to the case study of the city of Kragujevac. This research utilized multi-criteria decision making to evaluate and rank the measures proposed by the Strategy, alongside an analysis of the opinions of key stakeholders from relevant fields, including local authorities, experts, representatives of civil society, the private sector, and citizens. The research findings contribute to a better understanding of the impact of national documents on shaping local policies, identifying key factors for the successful implementation of energy transitions. The presented conclusions provide guidelines for decision-making that align with local needs and priorities.

Index terms - Energy planning, Energy policy, Cities, Energy transition, MCDM