

Osnaživanje energetske tranzicije u sektoru domaćinstva u Srbiji: integrativni pristup

Boban Pavlović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Osnaživanje energetske tranzicije u sektoru domaćinstva u Srbiji: integrativni pristup | Boban Pavlović | Energija, ekonomija, ekologija | 2023 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0008397>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

Osnaživanje energetske tranzicije u sektoru domaćinstva u Srbiji: Integrativni pristup

Strengthening the Energy Transition in the Household Sector in Serbia: An Integrative Approach

Boban Pavlović

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Rezime – Glavni cilj istraživanja bio je da se razvije metodološki pristup koji bi podržao proces energetske tranzicije u grejanju domaćinstava, uzimajući u obzir specifičnosti ovog sektora. Kako bi se procenili mogući tokovi energetske tranzicije u grejanju domaćinstava i analizirali politički instrumenti za ubrzanje ovog procesa, razvijen je simulacioni model zasnovan na agentima (*Agent Based Model* - ABM). Simulacioni model je primenjen na slučaju energetske tranzicije u sektoru domaćinstva u Srbiji. Prethodno su kroz istraživanje prikupljeni podaci o grejanju domaćinstava potrebni za kreiranje ulaznih baza podataka za simulacioni model. Rezultati dobijeni primenom simulacionog modela prikazuju promenu strukture sistema grejanja u domaćinstvima do 2050. godine, u zavisnosti od odabranih političkih instrumenata za podršku procesu tranzicije. Integracijom istraživanja o grejanju domaćinstava, ABM simulacionog modela i standardnih alata za energetske modeliranje, razvijen je sveobuhvatni koncept za podršku energetske tranzicije. Ovom integracijom su obezbeđeni uslovi za analizu efekata tranzicije u domaćinstvima na nivou ukupnog energetske sistema države, regiona ili lokalne zajednice. Predloženi integrativni pristup dozvoljava da se projektuje buduća potrošnja energije za grejanje, koja proizilazi iz ponašanja domaćinstava, trendova demografskog razvoja, trendova energetske rehabilitacije objekata i dr. Rezultati dobijeni u slučaju sektora domaćinstva u Srbiji ukazuju na značajan potencijal za postizanje ušteda u potrošnji energije u grejanju domaćinstava ukoliko se postojeći zastareli grejni uređaji zamene održivijim tehnologijama, pre svega toplotnim pumpama, ali i ako se investira u energetske sanacije stambenih objekata. Predloženi pristup omogućava ranu procenu efekata neograničenog broja mera podrške i mehanizama za ubrzanje energetske tranzicije u sektoru domaćinstva.

Ključne reči - energetska tranzicija, energetske planiranje, energetske modeliranje, obnovljivi izvori energije, domaćinstva, ponašanje potrošača

Abstract - The main objective of the research was to develop a methodological approach that would support the process of energy planning for the transition in household heating, taking into account the specificities of this sector. To assess possible energy transition pathways in household heating and analyse

policy instruments to accelerate this process, an Agent-Based Model (ABM) for the simulation of energy transition was developed. The simulation model was applied to the case of energy transition in the household sector in Serbia. Data on household heating was collected through research to create input databases for the simulation model. The results obtained by applying the simulation model show a change in the heating system structure in households by 2050, depending on the selected policy instruments to support the transition process. By integrating research on household heating, the ABM simulation model, and standard tools for energy modelling, a comprehensive concept was developed to support energy planning. This integration provides conditions for analysing the effects of household transition on the overall energy system of the country, region, or local community. The proposed integrated approach allows making the projection of future energy demand for heating, arising from household behaviour, demographic trends, energy rehabilitation trends, etc. The results in the case of the household sector in Serbia indicate significant potential for achieving energy savings in household heating if existing outdated heating devices are replaced with more sustainable technologies, primarily heat pumps, but also if investments are made in energy rehabilitation of residential buildings. The proposed approach allows an early assessment of the effects of an unlimited number of support measures and mechanisms to accelerate energy transition in the household sector.

Index Terms - Energy transition, Energy planning, Energy modelling, Renewable energy sources, Households, Consumer behaviour

I UVOD

Energetske modeliranje u cilju projekcija buduće potražnje za energijom, strukture potražnje, transformacije, raspoložive energije i sl., najčešće se bazira na istorijskim trendovima, ekspertskim procenama ili na bazi statističkih metoda [1 – 3]. Ovakvi pristupi energetske modeliranju su pokazali zadovoljavajuće rezultate u centralno vođenim energetske sektorima i podsektorima, kao npr. u sektoru proizvodnje električne energije ili daljinskom grejanju. Međutim, kada je u pitanju tranzicija u grejanju u sektoru domaćinstva, u kome je potrošnja fragmentirana na pojedinačna domaćinstva, a struktura

potrošnje heterogena, ovakvi pristupi ostavljaju određeni stepen neizvesnosti kod izrade projekcija potražnje za energijom. U ovakvim okolnostima javlja se potreba za analizom energetske politike i instrumenata pomoću više različitih pristupa modeliranja [4] kako bi se neizvesnost u projekcijama smanjila.

Kako je grejanje aktivnost koja obuhvata najveću potrošnju energije u sektoru domaćinstva [5], i kako najveći broj domaćinstava koristi individualne sisteme grejanje [6], osnovni cilj ovog istraživanja jeste da se kreiraju simulacioni modeli koji bi predstavljali podršku u upravljanju energetsom tranzicijom. Zamene postojećih sistema grejanja za sisteme grejanja koji podrazumevaju veću zastupljenost obnovljivih izvora energije (OIE), efikasnije korišćenje energije i koji imaju manje negativnog uticaja na životnu sredinu, zahteva multidisciplinarni pristup [7], jer tranzicija ka modernijim tehnologijama u domaćinstvima nema samo tehničko-tehnološki aspekt. Ova tranzicija podrazumeva i promene političkih, ekonomskih, socioloških i organizacionih aspekata. Koristeći metodologiju modeliranja zasnovanu na agentima (engl. *agent based modelling* - ABM), razvijen je simulacioni model koji je pohranjen podacima iz ankete domaćinstava koja je rađena sa svrhom prikupljanja podataka o grejanju domaćinstava [6].

Osnovna hipoteza od koje se pošlo u istraživanju jeste da se pomoću ABM metodologije može modelirati i simulirati ponašanje domaćinstava, njihove socijalne interakcije i donošenje odluka na individualnom nivou na prihvatljivom nivou apstrakcije. Osnovni izlaz iz predloženog modela jesu projekcije strukture sistema grejanja u domaćinstvima do 2050. godine, koje su dobijene na ovakav način u velikoj meri nezavisne od individualnih ekspertskih pretpostavki. Umesto da se predviđa stopa rasta određenih tehnologija ili stopa pada u korišćenju zastarelih tehnologija, dinamika uvođenja novih tehnologija i promena načina grejanja u populaciji, kao i obim promena u posmatranom periodu, ispraćeni su uz pomoć rezultata simulacija koje se baziraju na simuliranom ponašanju individualnih domaćinstava iz reprezentativnog uzorka.

Integracijom polaznih pretpostavki iz prikazanog ABM simulacionog modela u energetske modeliranje može se izvesti hipoteza da buduća potražnja za energijom za grejanje u domaćinstvima zavisi od mnoštva individualnih odluka domaćinstava. S tim u vezi, izlazni podaci iz ABM simulacionog modela o energetske tranziciji grejanja u domaćinstvima do 2050. godine pružaju mogućnost za dalju primenu i obradu u alatima za energetske modeliranje. Na ovaj način, izlazni podaci iz jednog modela mogu poslužiti kao ulazni podaci za drugi model, odnosno moguće je izvršiti integraciju ABM-a sa alatima za energetske modeliranje u cilju sveobuhvatnije analize i uspostavljanja šireg metodološkog okvira za podršku planiranju energetske tranzicije u sektoru domaćinstva.

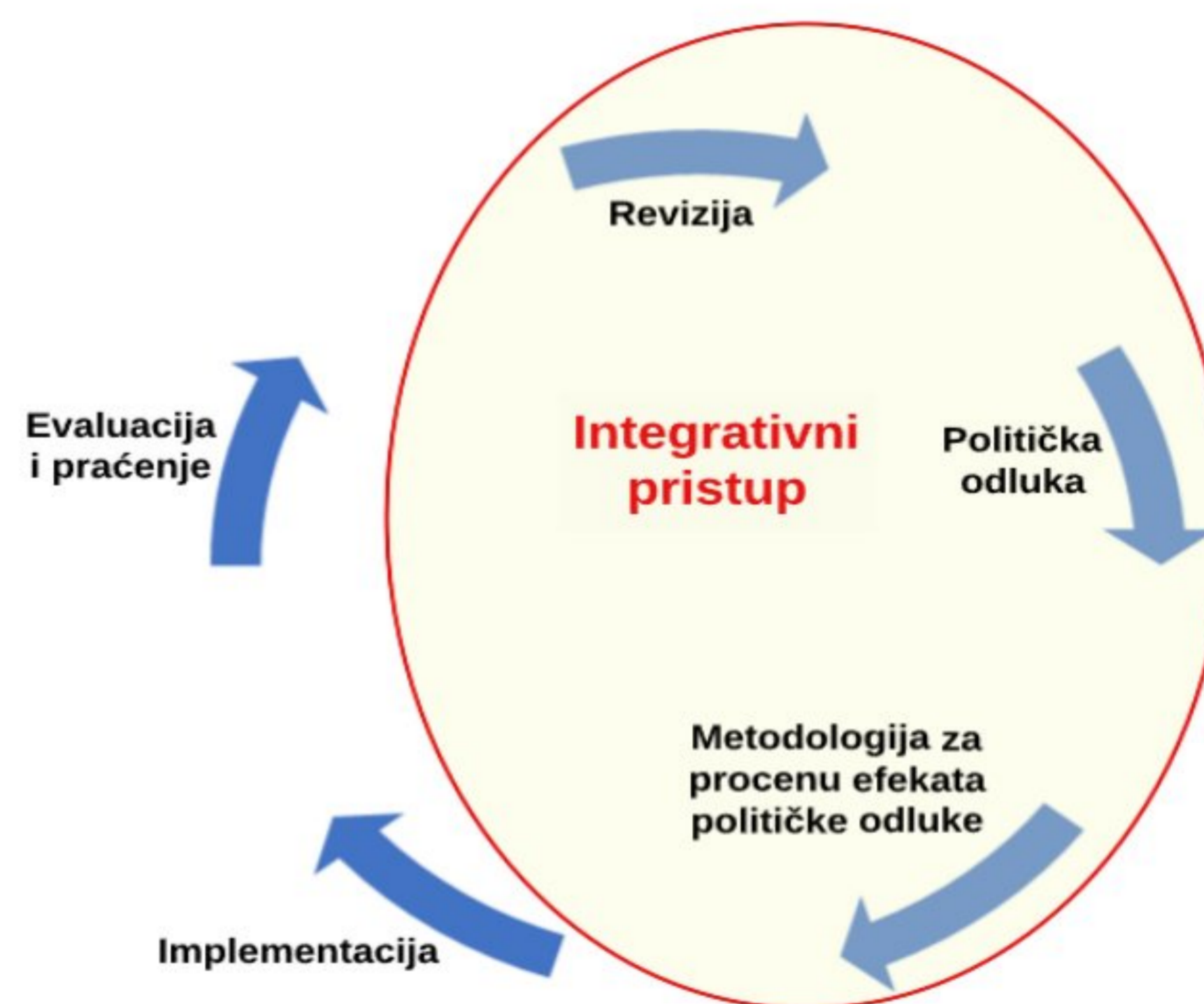
II METODOLOŠKI OKVIR

Integracija različitih metoda i alata za planiranje i modeliranje energetske tranzicije već neko vreme je prisutna u naučnoj i stručnoj literaturi [8 – 14]. Da bi se sprovedla analiza specifičnih aspekata energetske tranzicije, autori se opredeljuju za kombinaciju metodoloških pristupa, baza podataka, softverskih alata i dr. Ovo je posebno korisno kod razvoja dugoročnih

energetskih modela sektora domaćinstva za podršku planiranju i donošenju odluka [15], imajući u vidu heterogenost potrošača, razlike u ponašanju i navikama, a posebno decentralizovano donošenje odluka na nivou pojedinca (domaćinstva).

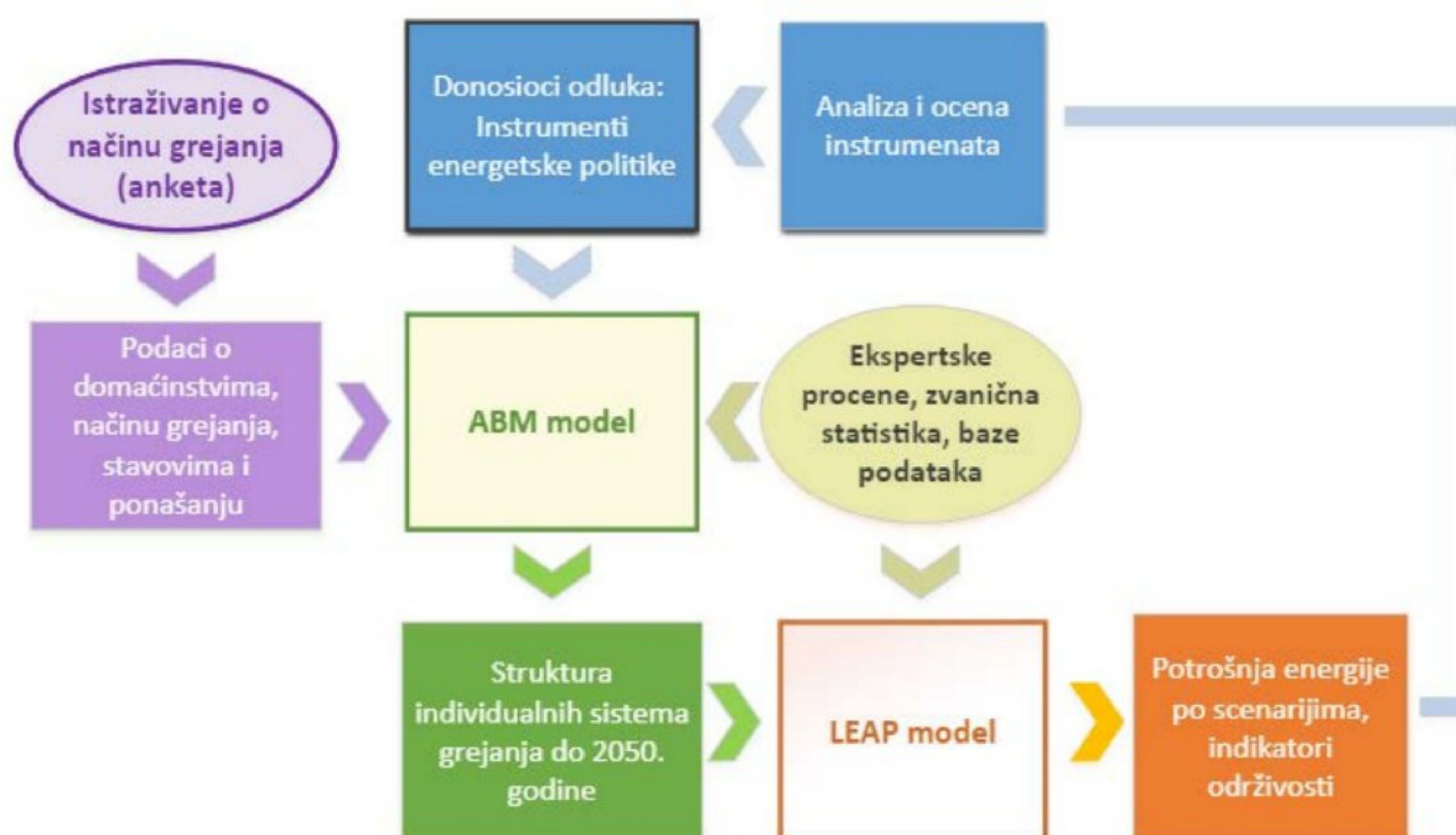
Dosadašnja praksa nekih od najuspešnijih tranzicija ka održivijem grejanju u Evropi pokazala je da su one trajale između 18 i 35 godina [16]. Da bi se smanjila inertnost dela domaćinstava po pitanju energetske tranzicije, donosioci odluka i kreatori politika na različitim upravljačkim nivoima teže da pronađu efikasne mere podsticaja i da preko njih stvore pogodniju sredinu za uključivanje domaćinstava u energetske tranzicije kroz zamenu zastarelih i niskoefikasnih sistema grejanja za održivije sisteme grejanja [16]. Pod održivijim grejanjem u ovom smislu podrazumeva se grejanje u kome je veća zastupljenost obnovljivih izvora energije, veća efikasnost, dugoročno veća isplativost grejanja i grejanje koje ima manje negativnog uticaja na životnu sredinu [17].

Integrativni pristup za podršku procesu planiranja energetske tranzicije koji se predlaže u ovom radu (Slika 1) treba da unapredi ceo proces planiranja na taj način što će se kroz metodologiju za procenu efekata konkretne politike obezbediti rezultati koji će ukazati da li je, i ako jeste, u kojoj meri potrebna revizija instrumenata za podršku energetske tranzicije [18]. Ova procena konkretnih instrumenata treba da se sprovede pre njihove implementacije u realnom sistemu. Na ovaj način, efekti i dometi političkih instrumenata za osnaživanje tranzicije mogu se testirati pre primene u realnim okolnostima.



Slika 1. Mesto i uloga integrativnog pristupa [19]

Okvir predloženog pristupa, u smislu korišćene metodologije i toka celog procesa, prikazan je na Slici 2. Kao što se uočava, prvi korak je prikupljanje potrebnih ulaznih podataka o domaćinstvima za modeliranje i simulacije, nakon čega sledi simulacija u ABM modelu. Dobijeni izlazni podaci o strukturi individualnih sistema grejanja iz ABM modela mogu se dalje koristiti za modeliranje finalne potrošnje energije pomoću alata za energetske modeliranje. U ovoj fazi u model je moguće uključiti i druge činioce koji utiču na proces tranzicije, kao što su npr. demografski trendovi, migracioni trendovi, makroekonomski trendovi, energetska rehabilitacija stambenih objekata i dr.



Slika 2. Okvir predloženog integrativnog pristupa [19]

Integrativni pristup je koncipiran tako da se dobijeni rezultati mogu koristiti kao povratne informacije za korigovanje ili definisanje novih instrumenata energetske politike. U celini gledano, ovakav pristup stvara uslove za komunikaciju i razmenjivanje znanja između eksperata različitih oblasti [20], zainteresovanih strana [14] i donosilaca odluka na lokalnom ili nacionalnom nivou, čime se obezbeđuje veća transparentnost i robusnost energetske planiranja [21].

A ABM simulacioni model

Kao softverska platforma za razvoj ABM simulacionog modela korišćen je softver NetLogo 6.1.1 [22]. Ovaj softver omogućava kodiranje pomoću programskog jezika „NetLogo“ i nudi alate za izvršavanje programskog koda i vizuelizaciju.

ABM model za simulaciju energetske tranzicije u grejanju fokusiran je na krajnjeg potrošača (agenta), tj. domaćinstva koja se greju pomoću individualnih sistema grejanja. Ovakav pristup u literaturi je poznat i kao „bottom-up“ pristup (odozdo na gore) [23]. Osnovna karakteristika ovog pristupa je da sva domaćinstva tretira kao posebne potrošače i usmeren je na ispitivanje njih i njihovih navika. U ovom konkretnom slučaju, ABM model simulira ponašanje domaćinstava u cilju ispitivanja posledica pojedinačnih odluka o grejanju na društvenu dinamiku [24], kao i efekata različitih političkih instrumenata na odluke domaćinstava u vezi sa grejanjem.

U metodološkom smislu, svaki simulacioni ABM model sastoji se od određenih delova i treba da odgovori na određeni broj pitanja koja se tiču sadržaja, obima i samog cilja modeliranja. Tabela 1 prikazuje osnovne delove predloženog ABM modela za simulaciju energetske tranzicije i njihov opis.

Tabela 1. Opis ABM modela [19]

Osnovni delovi modela	Opis
Definisanje problema	Model treba da pruži odgovor na sledeća pitanja:

	<ul style="list-style-type: none"> – Kakva će biti struktura sistema grejanja do 2050. godine? – Koji instrumenti energetske politike najviše doprinose masovnijoj zastupljenosti održivijeg grejanja?
Tip agenta	Domaćinstvo sa individualnim sistemom grejanja
Karakteristike agenta (Ulazni parametri)	<ul style="list-style-type: none"> – Tip naselja (urbano/ruralno) – Grejna površina (m²) – Glavni energent – Tip sistema grejanja – Efikasnost sistema grejanja – Starost sistema grejanja – Potrošnja energenta (kWh/god.) – Korisna toplota (kWh/god.) – Emisija CO₂, NO_x, i CO (kg/god.) – Finansijsko stanje – Nezainteresovanost za zamenom trenutnog načina grejanja – Spremnost za prihvatanje subvencije – Uticaj okruženja
Aktivnosti agenta	Domaćinstvo odlučuje o načinu grejanja u cilju zadovoljenja dugoročne potrebe za termalnim komforom tokom grejne sezone (oktobar-april).
Spoljna sredina (Ulazni parametri)	<ul style="list-style-type: none"> – Cene sistema grejanja – Cene energenata – Instrumenti energetske politike – Socijalna mreža/okruženje
Izlazni parametri	<ul style="list-style-type: none"> – Udeo održivih i modernih sistema grejanja u ukupnoj populaciji – Struktura domaćinstava prema načinu grejanja – Emisija CO₂, NO_x i CO
Vremenski okvir	Vremenski okvir simulacije je 30 godina (tj. do 2050. godine) i podeljen je na vremenske intervale po jednu godinu (jedna grejna sezona).

Proces donošenja odluke o načinu grejanja domaćinstva prikazan je u izrazu (1). Odluka domaćinstva o izboru novog sistema grejanja (D) predstavlja funkciju finansijskih (cena sistema i energenta), tehničkih (potrošnja goriva tokom grejne sezone), socijalnih i ekoloških parametara (spremnost da se investira u održivije grejanje).

$$D = ((P_F \cdot C) + P_{HS}) \cdot WTP \quad (1)$$

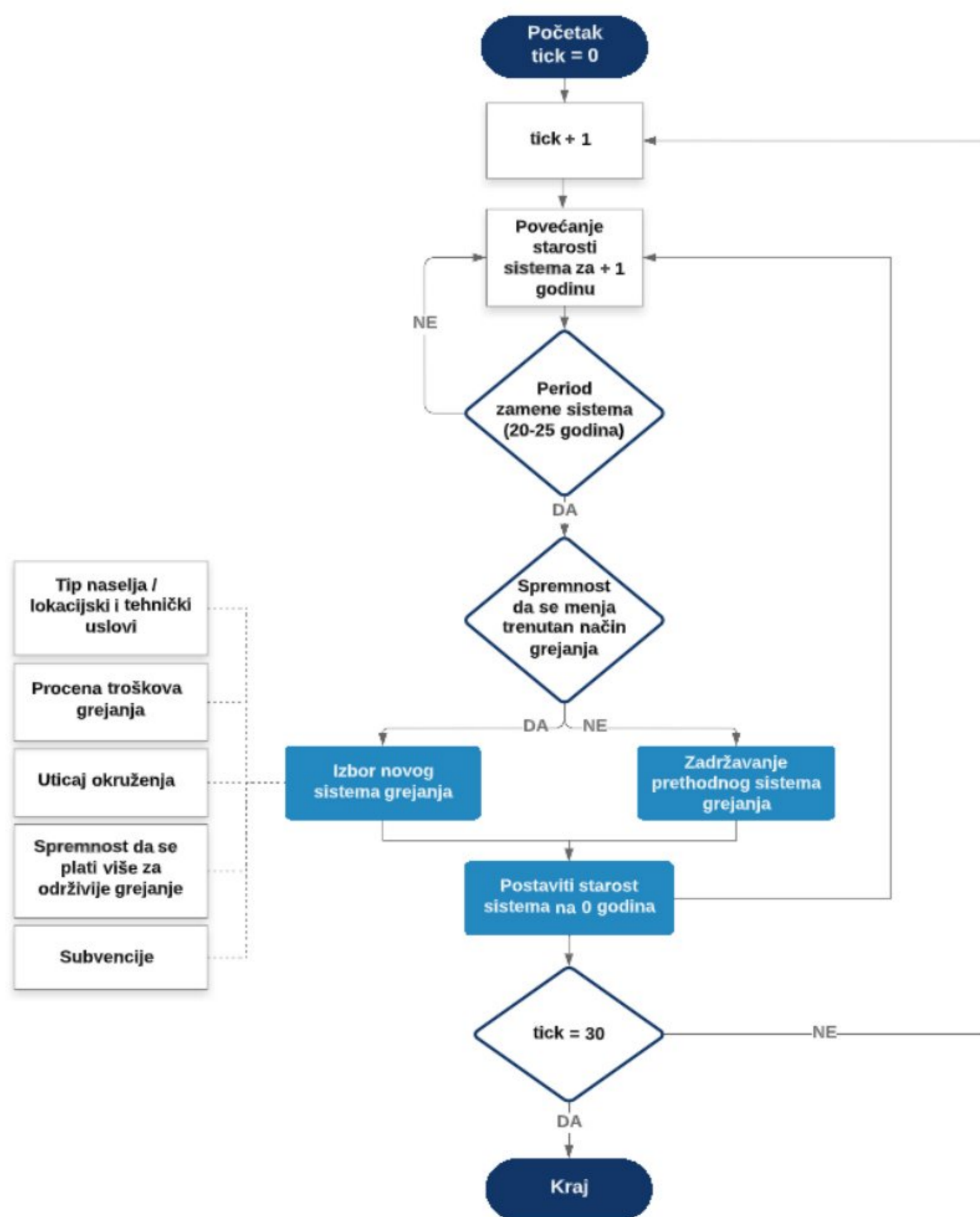
gde su:

- D - parametar donošenja odluke (€);
- P_F - cena energenta (EUR/kWh);
- C - potrošnja energije tokom grejne sezone (kWh);
- P_{HS} - cena sistema grejanja (€);
- WTP - spremnost da se plati više održivije grejanje.

S obzirom da ABM model simulira ponašanje krajnjih korisnika (domaćinstava) u domenu donošenja odluka o načinu grejanja narednih 30 godina, uvođenje tzv. socijalne dinamike u simulaciju dozvoljava opisivanje mehanizama koji utiču na promene stavova i ponašanja kroz vreme usled interakcija domaćinstava sa okruženjem [25]. Uvođenjem tzv. socijalnog umrežavanja (engl. *social networking*) [26], predloženi ABM model dobija dodatnu dimenziju i samu simulaciju čini bližu realnom svetu. Kako podaci o umreženosti agenata (u ovom slučaju domaćinstava) ne postoje, a i sama teorija i praksa

modeliranja društvenih fenomena na nivou velikih populacija ne pruža dovoljno informacija i metodološki okvir, umrežavanja se najčešće prave kao nasumična (slučajna). Metoda umrežavanja poznata i kao tzv. „kreiranje malih svetova“ [27 – 28] definisana je u ovom modelu na taj način da se domaćinstva nasumično povezuju sa 4 do 8 domaćinstava iz uzorka. U ABM modelu je predviđeno da će domaćinstva, ako se odluče za zamenu postojećeg sistema, u periodu pred njegovu zamenu, korigovati svoj WTP kroz interakciju sa drugim domaćinstvima [19]. Predloženi modeli ažuriranja spremnosti da se plati više za održivije grejanje, odnosno parametra WTP, imaju za cilj da oslikaju trendove iz realnog života koji ukazuju da se globalno povećava ekološka svest i svest o potrebi efikasnijeg korišćenja energije u društvima tokom vremena [28].

Kada su u pitanju ulazni podaci za sisteme grejanja (cena sistema, efikasnost sistema, cena energenata, emisijski faktori), njihove vrednosti su formirane na osnovu istraživanja tržišta koje je sprovedeno za potrebe prikupljanja podataka [19]. Sam ABM simulacioni model uključuje sisteme grejanja koji su najzastupljeniji na tržištu i koji su trenutno zastupljeni u više od 0,5% domaćinstava sa individualnim grejanjem u uzorku ankete. Pretpostavka je da su ovi sistemi grejanja, ili sistemi koji su njima sličnih karakteristika, najverovatnija opcija prilikom kupovine novog sistema grejanja.



Slika 3. Dijagram toka u ABM modelu [19]

Dijagram toka simulacije po kome ABM model izvršava zadati programski kod prikazan je na Slici 3. Inicijalni pokretač za kupovinu novog sistema grejanja u domaćinstvu je dotrajnost sistema (kraj životnog veka proizvoda). U modelu je predviđeno da će domaćinstva menjati sistem grejanja nasumično nakon 20 - 25 godina starosti sistema. Na početku svake grejne sezone („tick“ – interval vremena), domaćinstvo kome je istekao životni vek trenutnog sistema grejanja posmatra svoje okruženje i tržište, i na osnovu vlastitih potreba, lokacijskih uslova, stavova i finansijskih mogućnosti kupuje novi sistem grejanja. U konkretnom slučaju, rezultati modela energetske tranzicije grejanja domaćinstava u Srbiji formirani su na osnovu 30 simulacija u NetLogo-u za svaki od razmatranih slučajeva i scenarija. Svaka simulacija je ograničena na 30 vremenskih intervala, odnosno grejnih sezona, što predstavlja period od 2020. do 2050. godine.

B LEAP softverski alat

Obezbeđujući strukturu domaćinstava prema načinu grejanja, odnosno zastupljenim sistemima grejanja u tim domaćinstvima pomoću predloženog ABM-a, stiču se uslovi za koncipiranje modela energetske potrošnje u LEAP softverskom alatu. Suština primene LEAP-a je u integraciji ulaznih parametara za sektor domaćinstva u Srbiji koji se tiču zvanične potrošnje energije, demografskih trendova, kao i efekata primene dodatnih političkih instrumenata koji nisu obuhvaćeni simulacijama u ABM-u, a utiču na projekcije potrošnje energije u domaćinstvima.

Da bi se potrebna energija za grejanje u modelu kalibrisala prema potrošnji iz energetskog bilansa za 2020. godinu [29], finalna potrošnja energije za grejanje u domaćinstvima sa individualnim sistemima u Srbiji za 2020. godinu je dobijena na sledeći način:

$$E_{IH} = E_T \cdot S_H - E_{DH} \quad (2)$$

gde je:

E_{IH} - godišnja potrošnja energije za grejanje u domaćinstvima sa individualnim sistemima grejanja (kten);

E_T - finalna potrošnja energije u sektoru domaćinstva za 2020. godinu (3.488,1 kten) [30];

S_H - udeo grejanja u finalnoj potrošnji energije u domaćinstvima (66,3%) [29];

E_{DH} - toplotna energija za grejanje domaćinstava u sistemima daljinskog grejanja (436 kten) [31].

Iz izraza (2) sledi da je potrošnja energije za grejanje u domaćinstvima sa individualnim sistemima grejanja u Srbiji za baznu 2020. godinu:

$$E_{IH} = 1.876,6 \text{ kten}$$

Ulazni podaci za tip naselja i grejnu površinu prikazani su u Tabeli 2. Prosečna grejna površina za baznu godinu preuzeta je iz zvanične statistike [32]. Kao ulazni podaci uzete su prosečne površine stanova u gradskim i ruralnim naseljima. Struktura domaćinstava prema tipu naselja je preuzeta iz uzorka za anketiranje domaćinstava [19]. Kada je u pitanju stopa rasta grejne površine, na osnovu trenda rasta broja stanova od 1971. do 2011. godine [28], projektovan je godišnji rast grejne površine od 0,5% do 2050. godine.

Tabela 2. Ulazni podaci za tip naselja i grejnu površinu [19, 32]

Tip naselja	Domaćinstva prema tipu naselja (%)	Domaćinstva prema grejnoj površini (m ²)
Urbana	58%	68,6 m ²
Ruralna	42%	74,9 m ²

C Instrumenti energetske politike i analiza osetljivosti

Instrumenti za ubrzanje energetske tranzicije, kao i slučaj bez aktivne politike države (engl. *business as usual* – BAU), razmatrani su u okviru Referentnog scenarija (tj. Scenarija 1). Osnovne karakteristike Referentnog scenarija su:

- Karakteristike domaćinstava, karakteristike sistema za grejanja i stavovi domaćinstava preuzeti su iz istraživanja o načinu grejanja koje je sprovedeno 2020. godine kroz anketiranje domaćinstava [19].
- Prema trendu iz prethodnih godina, predviđeno je da će u urbanim sredinama 0,4% domaćinstava svake godine prelaziti sa individualnih sistema grejanja na daljinsko grejanja u okviru postojećih sistema grejanja (SDG) u Srbiji [33]. Usled depopulacionih trendova na nivou države, migracija u gradove [34 – 35], kao i činjenice da su postojeće mreže daljinskog grejanja u gusto naseljenim gradskim sredinama solidno razvijene, model ne uzima u razmatranje razvoj novih SDG u sredinama u kojima do sada nisu izgrađeni.
- Pretpostavljena stopa po kojoj će rasti cene energenata i sistema grejanja je 3% godišnje.

U predloženom Referentnom scenariju (Scenario 1) sprovedena je simulacija slučaja bez aktivnih instrumenata (BAU), kao i simulacija efekata instrumenata energetske politike usmerenih na ubrzanje energetske tranzicije. Takođe, kroz LEAP je analiziran dodatan instrument energetske politike – energetska rehabilitacija stambenih objekata. U Tabeli 3 dat je opis analiziranih instrumenata.

Tabela 3. Opis instrumenata energetske politike

Instrumenti	Opis
BAU	BAU simulira energetske tranzicije do 2050. godine prema trenutnim trendovima, bez spoljnog uticaja instrumenata.
Zabrana sagorevanja ogrevnog drveta i uglja	Ovaj instrument podrazumeva uvođenje zabrane kupovine sistema koji se baziraju na ogrevnom drvetu i uglju u svim urbanim sredinama od 2030. godine.
Subvencije za efikasnije sisteme grejanja	Ovaj instrument podrazumeva aktivaciju subvencije države od 50% za zamenu sistema baziranih na ogrevnom drvetu, uglju, kao i konvencionalnih sistema na el. energiju, za efikasnije sisteme
Povećanje energetske efikasnosti stambenih objekata	Ovaj instrument predviđa manju potrošnju energije za individualno grejanje u domaćinstvima kao posledicu ulaganja u energetske sanacije objekata od 1% stambenih objekata godišnje.
Kombinacija svih instrumenata	U ovom slučaju se razmatraju združeni efekti svih instrumenata.

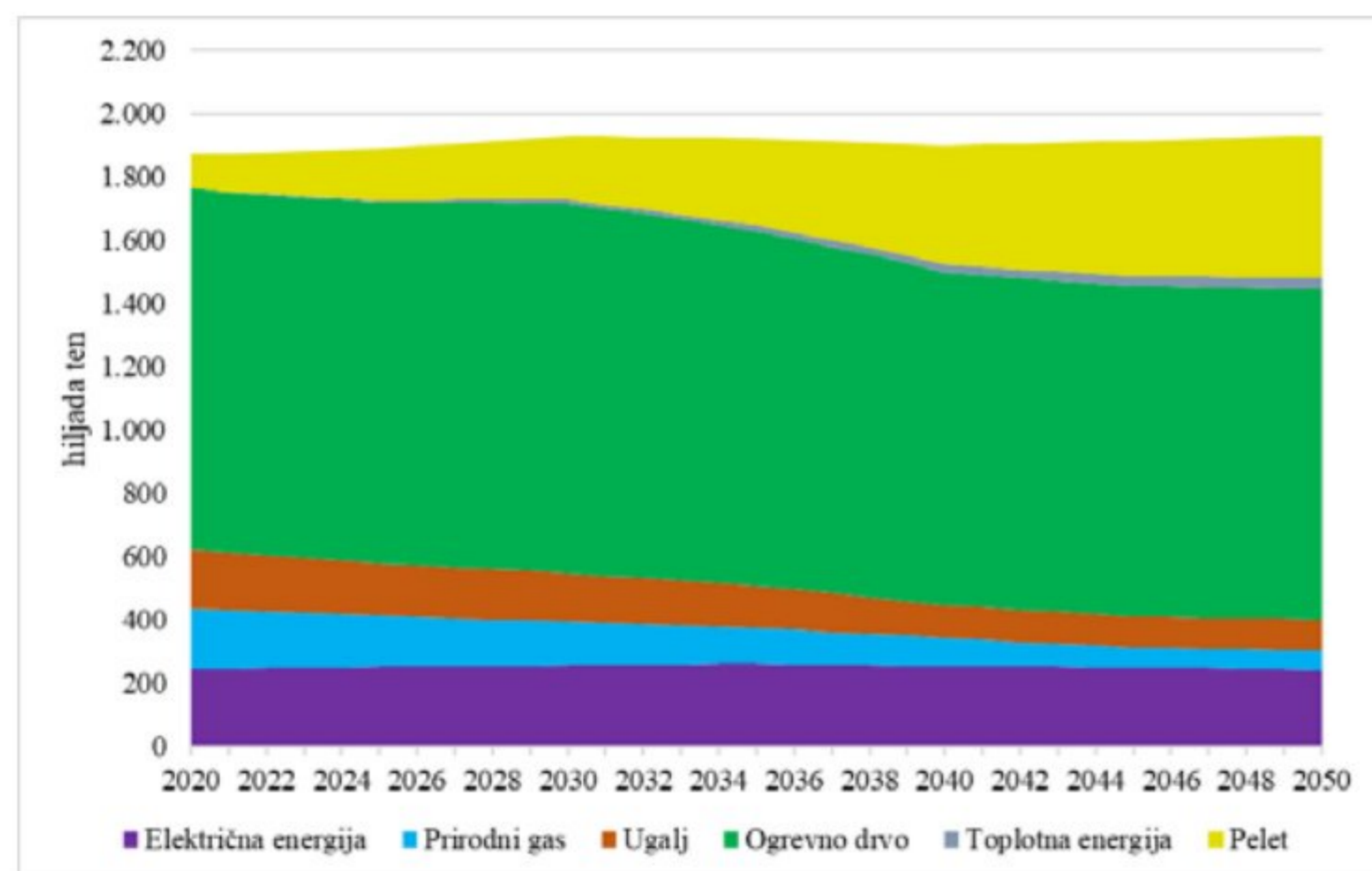
Da bi se ispitala osetljivost rezultata Referentnog scenarija i predloženih instrumenata na spoljne uticaje i tzv. „potrese“, sprovedena je analiza osetljivosti. Praktično, u samom modelu su menjani određeni ulazni parametri i pretpostavke za koje se smatra da bi mogli uticati na konačne projekcije strukture grejanja do 2050. godine. U Tabeli 4 dat je opis predloženih scenarija za analizu osetljivosti i reference iz literature kojima se potkrepljuju predložene promene ulaznih parametara.

Tabela 4. Analiza osetljivosti - scenariji

Scenario #	Opis
Scenario „CO ₂ takse” (Scenario 2)	Scenario 2 predviđa povećanje cene električne energije za 6% svake godine usled uvođenja takse na proizvodnju električne energije iz fosilnih goriva [36].
Scenario „Pad cena toplotnih pumpi” (Scenario 3)	Scenario 3 predviđa da će toplotne pumpe postati konkurentnije na tržištu usled pada cena. Predviđa se godišnji pad cene od 2% što treba da dovede do veće priuštivosti ovih modernih sistema grejanja [37 – 38].

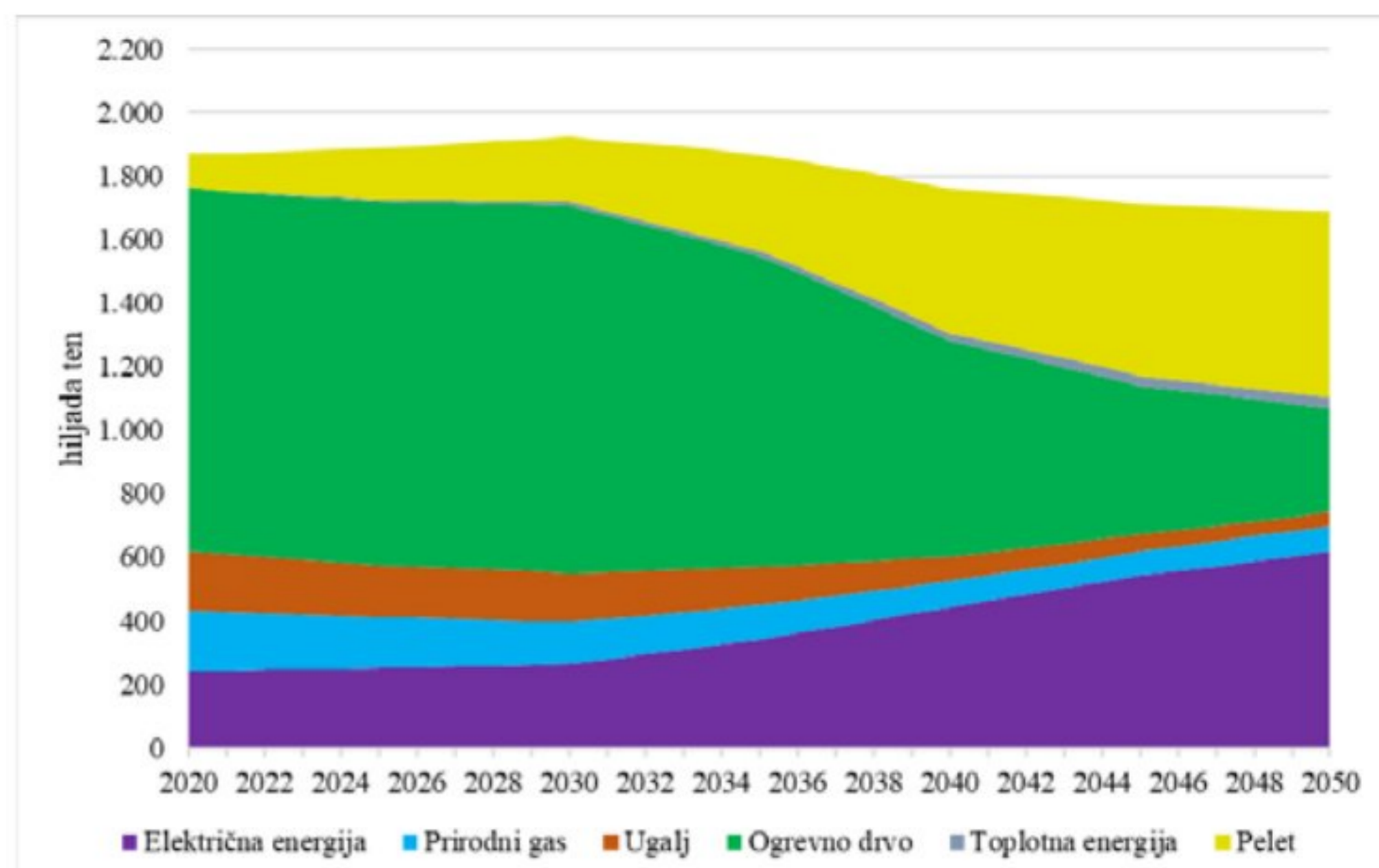
III REZULTATI

Predloženi pristup integracije obezbeđuje informacije korisnicima pre svega o finalnoj potrošnji energije za individualno grejanje domaćinstava do 2050. godine i potencijalnim energetske uštedama u slučaju primene konkretnih instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije.



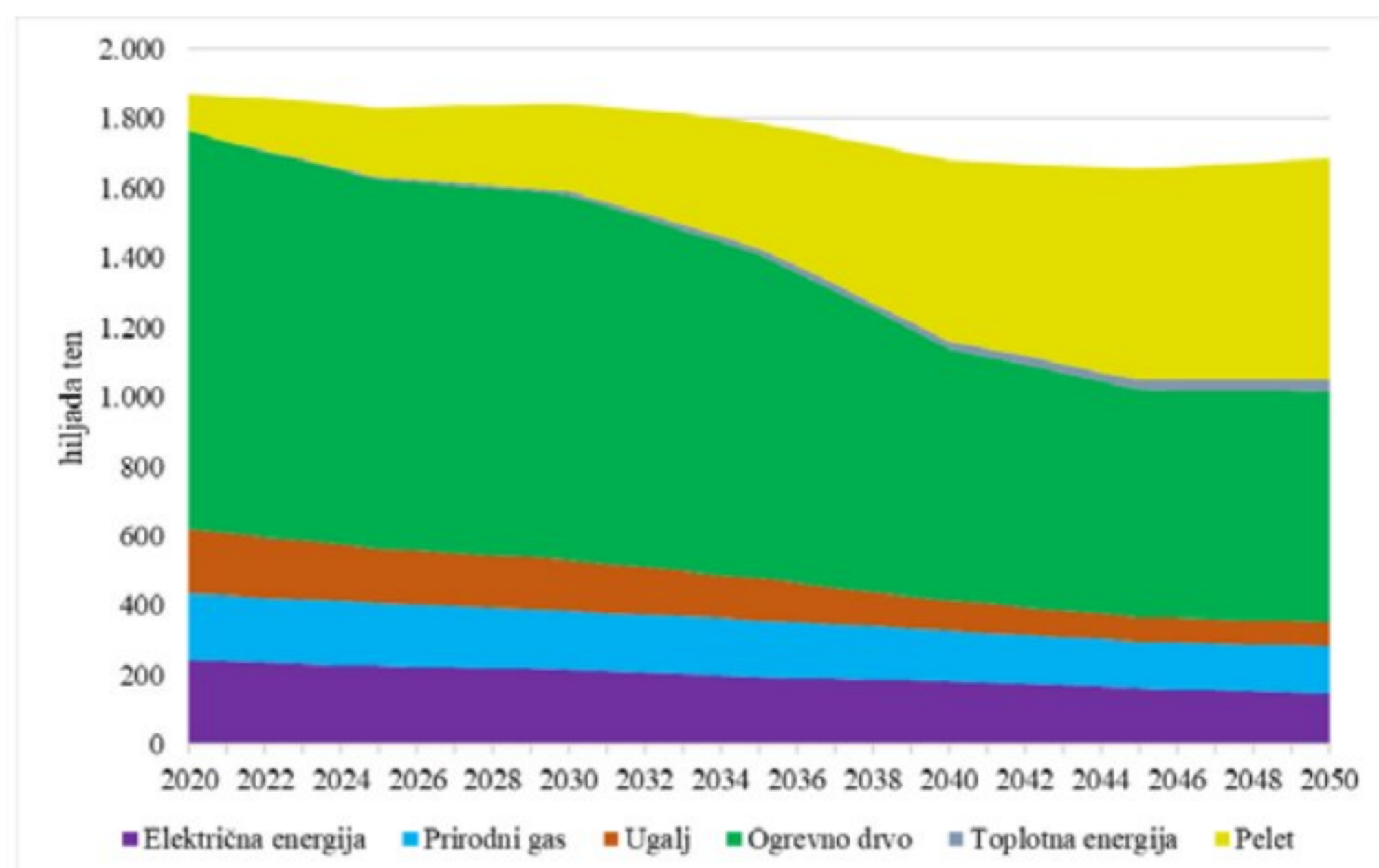
Slika 4. Finalna potrošnja za Referentni scenario – slučaj BAU [19]

Slika 4 prikazuje projekciju potrošnje energije za Referentni scenario (Scenario 1), slučaj bez primene instrumenata (BAU). Čak i pored činjenice da u ovom slučaju nema primene instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije, može se uočiti da dolazi do smanjenja potrošnje ogrevnog drveta, koje karakteriše primena u sistemima grejanja manje energetske efikasnosti. Sistemi grejanja koji koriste pelet beleže istovremeno najveći porast u potrošnji. Što se tiče ukupne potrošnje energije za individualno, grejanje u ovom slučaju dolazi do porasta potrošnje do 2050. godine, sa 1.876,6 kten na 1.931,9 kten, tj. porasta od oko 3%.



Slika 5. Finalna potrošnja za Referentni scenario – instrument zabrane sagorevanja u urbanim sredinama [19]

Na Slici 5 prikazana je projekcija potrošnje energije za Referentni scenario sa primenom instrumenta zabrane sistema na ogrevno drvo i ugalj u urbanim sredinama od 2030. godine. U ovom slučaju dolazi do pada u potrošnji energije za individualno grejanje do 2050. godine od blizu 10% u odnosu na 2020. godinu, pre svega zbog smanjenja udela neefikasnih sistema na čvrsta goriva. Ne računajući slučaj BAU (Slika 4), ovo je instrument koji bi rezultirao najmanjim padom potrošnje u odnosu na sve druge razmatrane instrumente. To se može tumačiti činjenicom da je zabrana dovela do napuštanja grejanja na ogrevno drvo i ugalj u urbanim sredinama, ali zbog odsustva subvencija za efikasnije sisteme grejanja, domaćinstva su najčešće prelazila na grejanje pomoću električne energije – električni kotlovi, grejalice i peći i nisu se u većem broju odazvala zameni sistema grejanja za efikasnije i modernije tehnologije.

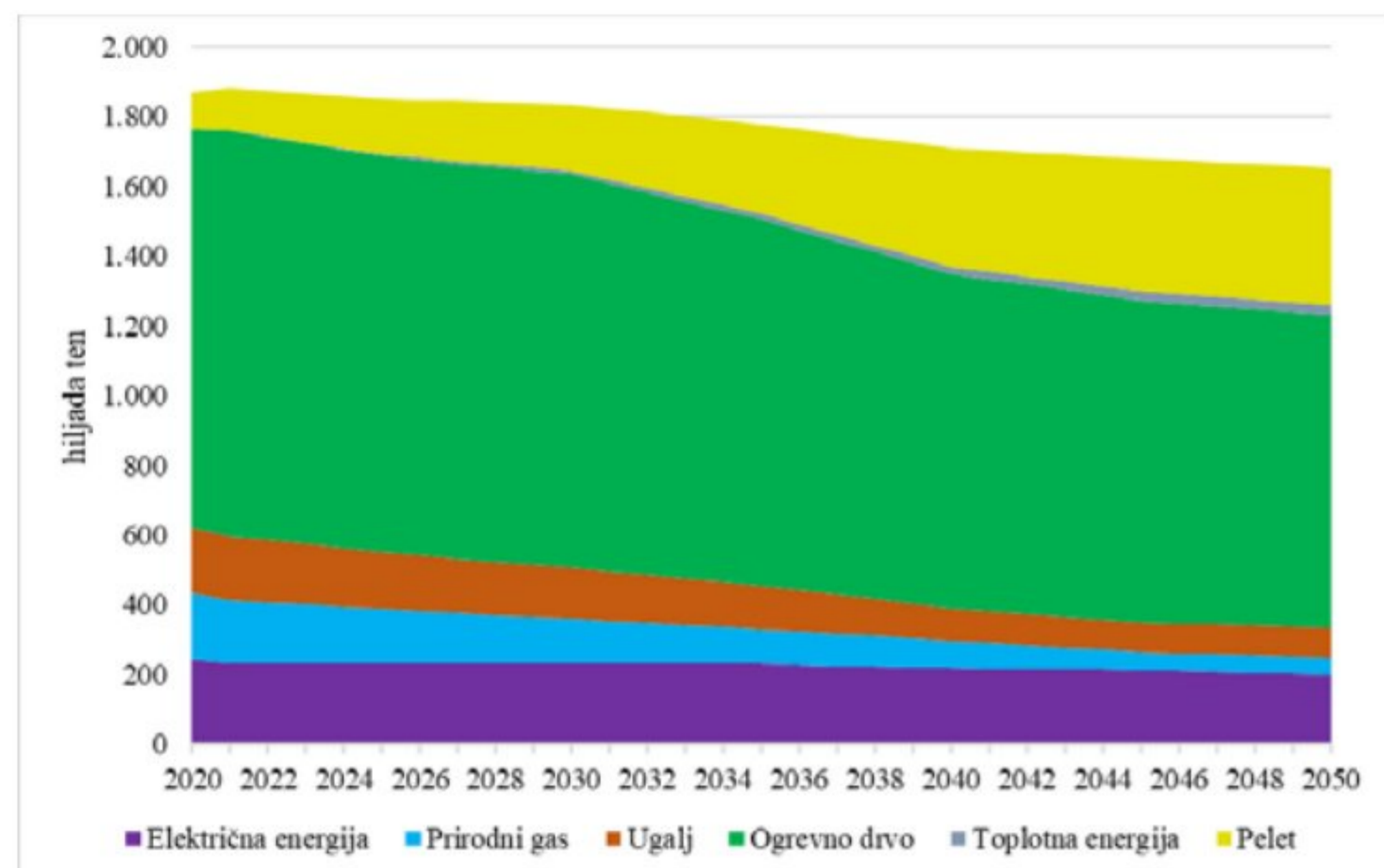


Slika 6. Finalna potrošnja za Referentni scenario – instrument subvencije za efikasnije sisteme grejanja [19]

Slika 6 prikazuje projekciju finalne potrošnje za Referentni scenario i slučaj primene instrumenta subvencije za efikasnije sisteme grejanja. U ovom slučaju, smanjenje potrošnje je nešto veće do 2050. godine – oko 10,2%. U odnosu na projekciju sa uvođenjem zabrane sistema grejanja na ogrevno drvo i ugalj u urbanim sredinama, u ovom slučaju je više porastao broj efikasnijih sistema na pelet i toplotnih pumpi, ali je ostao veći

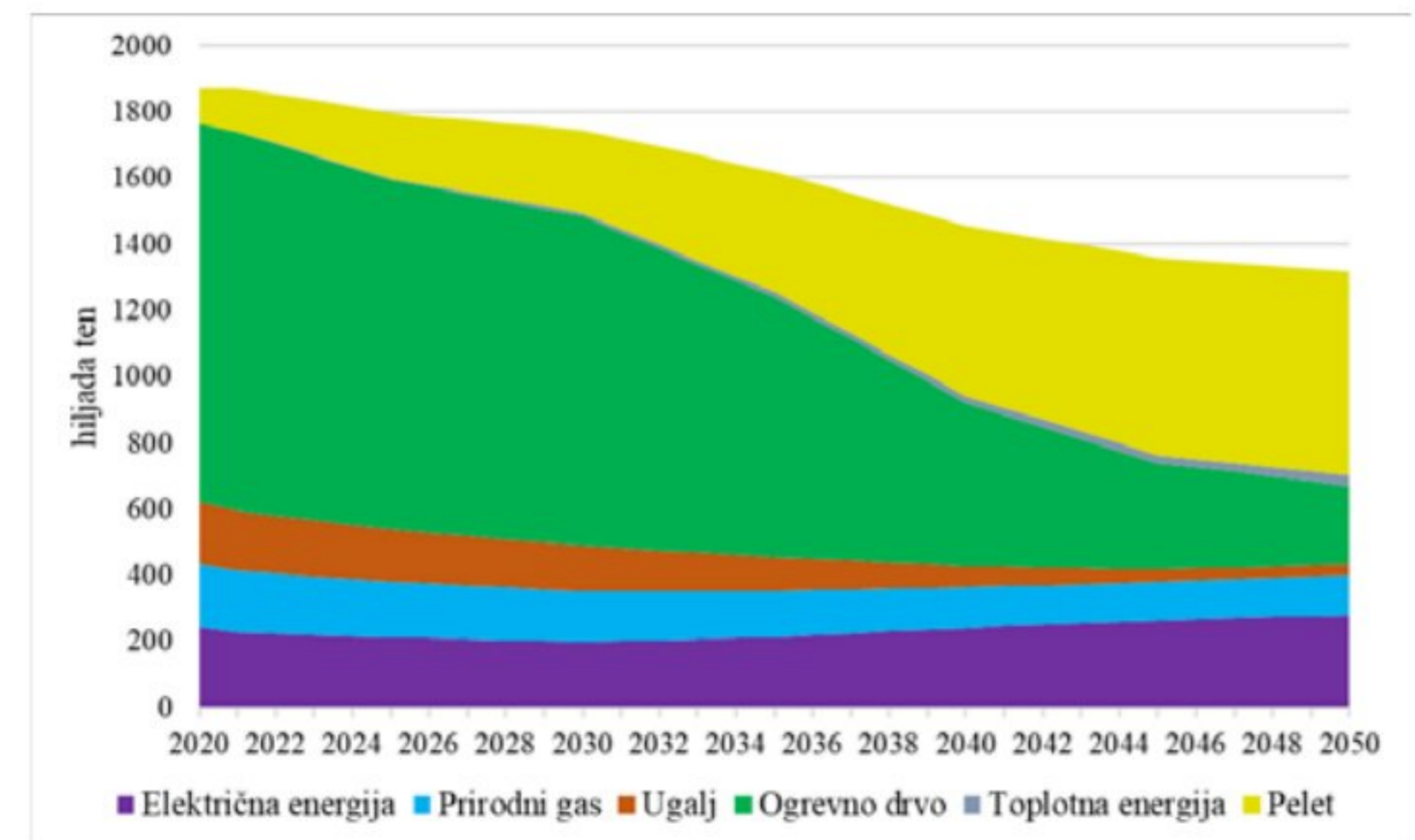
broj neefikasnih sistema na ogrevno drvo, jer deo domaćinstava u urbanim sredinama nije bio primoran da menja takve sisteme grejanja, kao u prethodnom slučaju.

Projekcije finalne potrošnje sa primenom instrumenta energetske rehabilitacije objekata prikazana je na Slici 7. Kao što se uočava, u ovom slučaju je moguće ostvariti uštede u potrošnji od blizu 12% u odnosu na 2020. godinu. Važno je istaći da je ovde ušteda u potrošnji ostvarena isključivo kao posledica manje potrošnje energije u domaćinstvima usled energetske rehabilitacije objekata, a da je struktura sistema grejanja u domaćinstvima ista kao u slučaju BAU prikazanom na Slici 4.



Slika 7. Finalna potrošnja za Referentni scenario – instrument energetske rehabilitacije [19]

Slika 8 prikazuje finalnu potrošnju energije za individualno grejanje u domaćinstvima za Referentni scenariju i slučaj kombinacije svih instrumenata (zabrana sagorevanja ogrevnog drveta i uglja u urbanim sredinama + subvencije za efikasnije sisteme grejanja + povećanje energetske efikasnosti stambenih objekata). Ovde se uočava da združeni efekat svih instrumenata dovodi do najvećeg smanjenje potrošnje energije. U 2050. godini može se očekivati ušteda u potrošnji od oko 30% u odnosu na 2020. godinu.

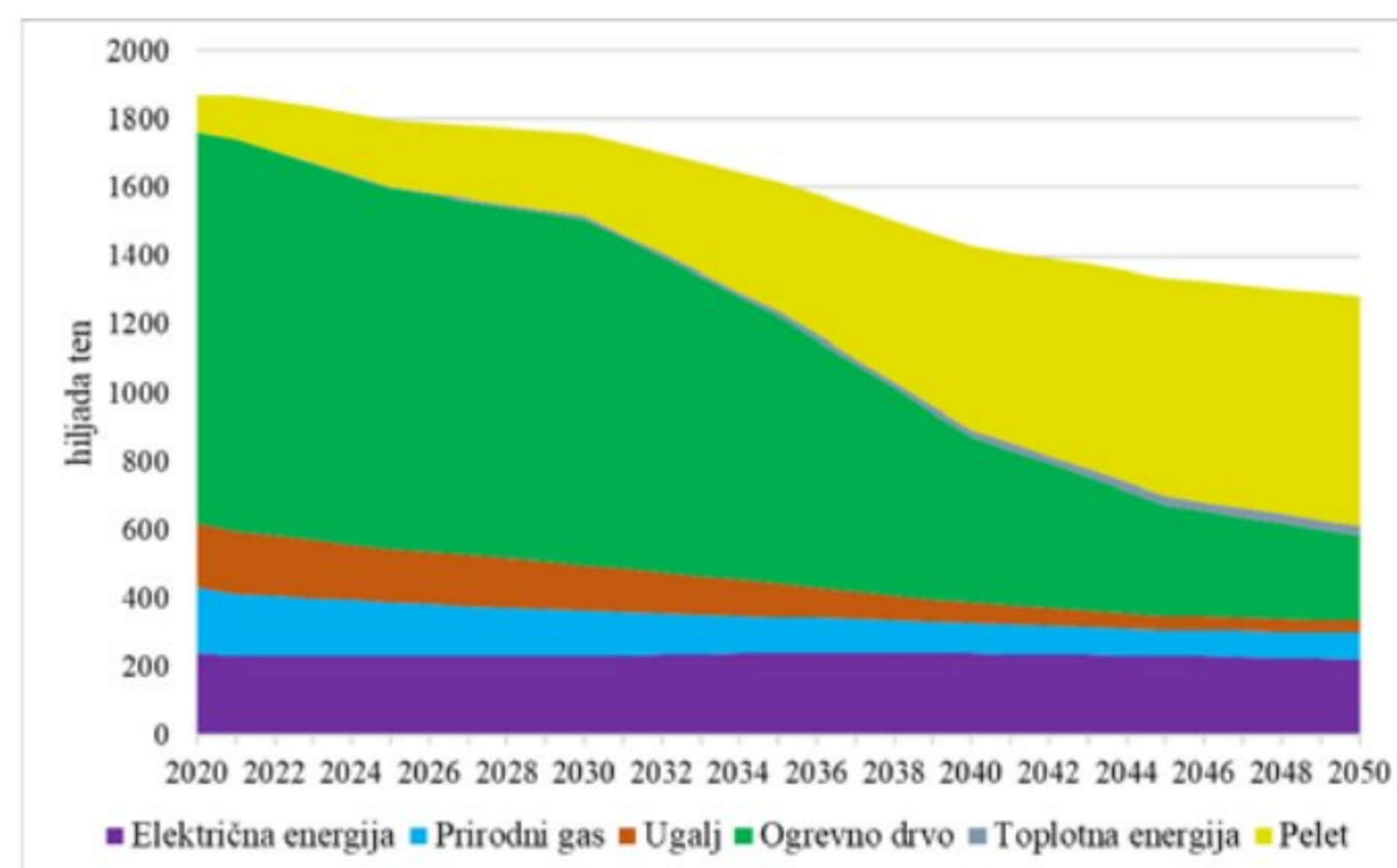


Slika 8. Finalna potrošnja za Referentni scenario – kombinacija svih instrumenata

Efekti instrumenata za ubrzanje tranzicije u grejanju domaćinstava su podvrgnuti analizi osetljivosti na promene u

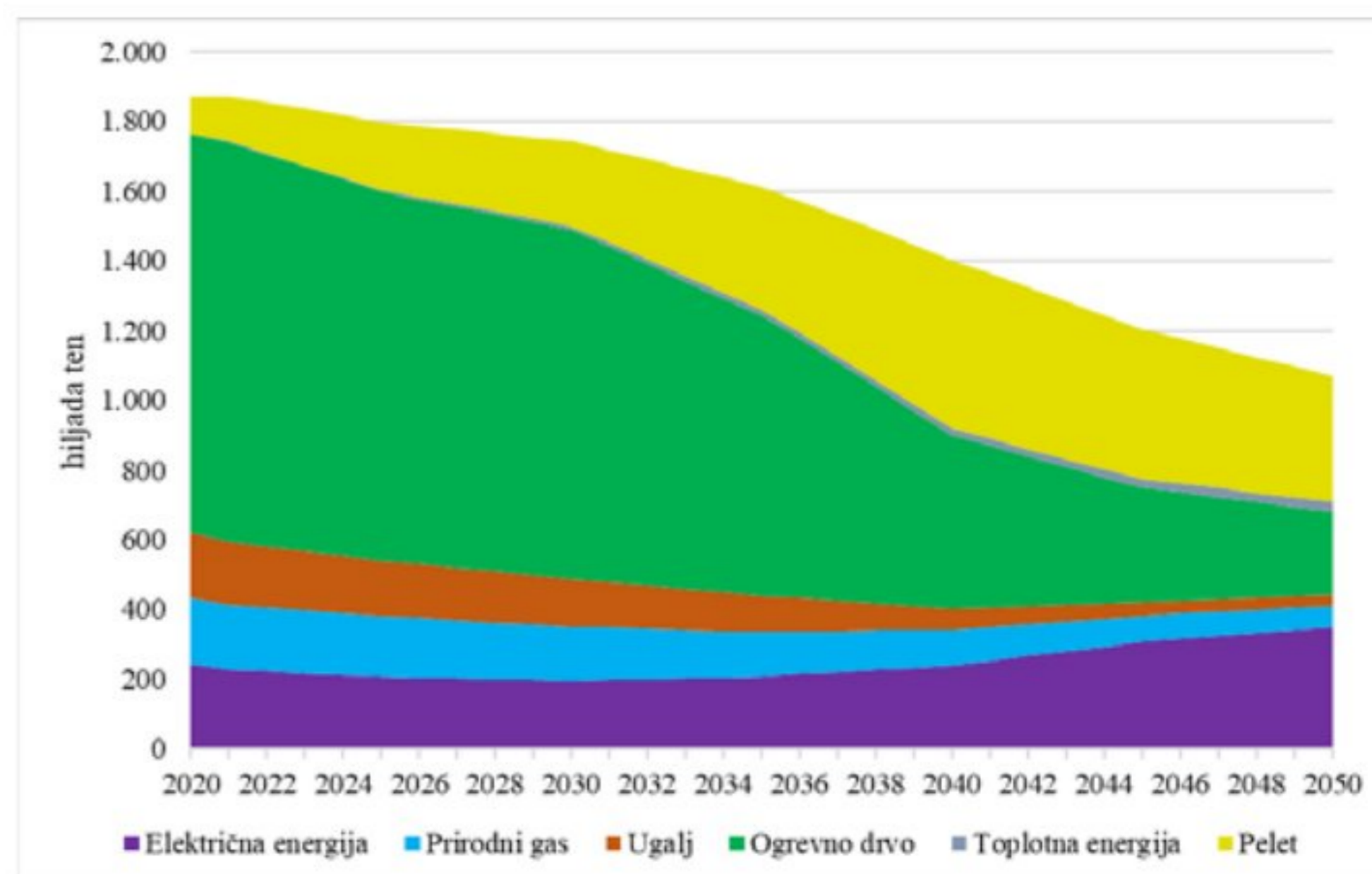
okruženju kroz dva predložena scenarija (Scenario 2 i 3). U nastavku rada prikazani su rezultati za te scenarije u slučaju kombinovane primene svih instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije.

Slika 9 prikazuje projekciju finalne potrošnje energije za individualno grejanje u domaćinstvima za scenario koji predviđa veće cene električne energije (Scenario 2). U odnosu na Referentni scenario (Slika 8), u ovom slučaju bi došlo do manje potrošnje električne energije za oko 25%, ali bi bila nešto veća potrošnja peleta i ogrevnog drveta. Finalna potrošnja energije za grejanje pomoću individualnih sistema grejanja u ovom slučaju bila bi oko 2% manja u 2050. godini nego u Referentnom scenariju u istom periodu, dakle bez značajnih promena.



Slika 9. Finalna potrošnja za Scenario 2 – kombinacija svih instrumenata

Slika 9 prikazuje projekciju finalne potrošnje energije za individualno grejanje prema za scenario koji predviđa konkurentniju cenu toplotnih pumpi za domaćinstva (Scenario 3). U ovom slučaju moglo bi se očekivati najveće smanjenje potrošnje energije što je prvenstveno posledica veće primene toplotnih pumpi, koja bi usledila sa pretpostavljenim padom cene ove tehnologije. Prema ovom scenariju, potrošnja energije za grejanje u domaćinstvima sa individualnim sistema grejanja u 2050. godini bila bi manja za oko 20% u odnosu na isti period u Referentnom scenariju (kombinacija svih instrumenata – Slika 8).



Slika 10. Finalna potrošnja za Scenario 3 – kombinacija svih instrumenata [19]

Sumirajući efekte analiziranih instrumenata uočava da kombinovana primena instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije svakako više doprinosi uštedama u potrošnji, nego analizirani instrumenti pojedinačno. Ako se govori o najoptimalnijem slučaju sa aspekta ušteda energije, onda je to svakako scenario koji predviđa smanjenje cena toplotnih pumpi na tržištu. Konkurentnija cena bi ovu tehnologiju grejanja učinila priuštivom za veći broj domaćinstava, posebno u slučaju primene instrumenta subvencije za podršku kupovine efikasnijih tehnologija.

IV ZAKLJUČAK

Energetski modeli za projekciju finalne potrošnje koji se baziraju na ekspertskim procenama, istorijskim i/ili uporednim trendovima kroz izabrani set scenarija teže da odgovore na pitanje „šta ako?“. Primena ovakvih pristupa može da ima određena ograničenja kod projekcija za sektore koji su heterogeni i gde promene zavise od mnoštva pojedinačnih odluka, što dovodi do većeg stepena neizvesnosti. U takvim situacijama, oslanjanje isključivo na ekspertsko procene, istorijske ili uporedne trendove tranzicije može zapostaviti efekte prepreka koje ometaju tranziciju i pokretača za ubrzanje tranzicije, odnosno kvantitativna ocena njihovog uticaja može biti uveličana ili umanjena.

Predloženim pristupom koji se bazira na integraciji istraživanja o grejanju, ABM simulacionog modela i energetske modeliranja u LEAP-u obezbeđeni su realni podaci, stavovi, iskustva i percepcije potrošača koji su uključeni u modeliranje i simulaciju tranzicije do 2050. godine. Time je predloženi pristup oslobođen pretpostavki u delu gde su energetski modeli ovog tipa posebno osetljivi, a to je upravo kvantifikacija efekata političkih instrumenata na odluke krajnjih potrošača i procena buduće strukture individualnih sistema grejanja u domaćinstvima.

Kroz predloženi pristup obezbeđena je sredina za ocenu efikasnosti predloženih instrumenata za ubrzanje energetske tranzicije kroz proces simulacije ponašanja potrošača pre implementacije u praksi. Modeliranje pomoću ABM metodologije pružilo je fleksibilnost u kombinovanju širokog spektra varijabli i njihovu ocenu kroz različite uslove i scenarije. Takođe, simulacija interakcija domaćinstava međusobno tokom analiziranog perioda osigurala je efekat evolucije u ponašanju koji na kraju treba da rezultira većom spremnošću domaćinstava da ulože u održivije grejanje. Na kraju, projekcije finalne potrošnje u LEAP-u pružile su precizniju ocenu koliko razlika u strukturi održivijih sistema grejanja koja nastaje kao posledica primene različitih instrumenata ili promena na tržištu (porast cene električne energije, pad cene inovativnih tehnologija za grejanje) donosi uštede energije na nivou celog sektora domaćinstva.

Predloženi pristup omogućio kombinaciju „*bottom up*“ pristupa iz ABM simulacionog modela, i „*top down*“ (odozgo na dole) pristupa kroz LEAP što je obezbedilo uključivanje ekonomskih, ekoloških, društveno-političkih, tehničkih i socioloških činilaca koji su od uticaja na tok energetske tranzicije u individualnom grejanju. Kada su u pitanju ograničenja ovog pristupa treba konstatovati da ona pre svega proizilaze iz samog predmeta istraživanja. Naime, kompleksnost promena koje su predmet

istraživanja, kao i reakcija na promene, tj. donošenje odluke o načinu grejanja na nivou pojedinačnog domaćinstva, ne mogu se simulirati u svojoj svojoj kompleksnosti. U tom smislu, rezultate primene modeliranja i simulacije treba pre svega posmatrati kao moguće trendove u grejanju domaćinstava i moguće kolektivne obrasce ponašanja u okolnostima koje su simulirane.

Integrativni pristup je u radu primenjen za izradu projekcija finalne potrošnje energije u individualnim sistemima grejanja u Srbiji za različite scenarije energetske tranzicije i instrumente energetske politike. Sumirajući rezultate koji su proizašli iz primene integrativnog pristupa za podršku tranziciji u grejanju u Srbiji, može se uočiti da postoji značajan potencijal za postizanje uštede energije u grejanju ukoliko se zamene postojeći zastareli sistemi grejanja za održivije sisteme, pre svega toplotne pumpe, ali i ukoliko se investira u energetske rehabilitacije stambenih objekata. Iz izvršene analize instrumenata energetske politike može se izvući zaključak da svaki od uočenih problema i svaka od identifikovanih prepreka pružaju široku paletu mogućih odgovora. Grejanje u domaćinstvima je trenutno u takvom stanju da pruža veliki potencijal za unapređenje na različitim poljima, od zamene zastarelih tehnologija, preko primene mera energetske efikasnosti, do edukacije i podizanja svesti o održivom grejanju. Može se zaključiti da korišćenje predloženog pristupa u celini doprinosi istraživanju polja koje je ostajalo maglovito, neadekvatno istraženo ili potpuno zapostavljeno u procesu planiranja energetske tranzicije.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] IEA, International Energy Agency, World energy outlook, 2014. <http://www.iea.org/weo> [pristupljeno 01.03.2023]
- [2] IRENA, International Renewable Energy Agency, A Roadmap to 2050, 2018. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf [pristupljeno 01.03.2023]
- [3] Tang, L., Wang, X., Wang, Xi., Shao, C., Liu, S., Tian, S. Long-term electricity consumption forecasting based on expert prediction and fuzzy Bayesian theory, Energy, Vol. 167, pp. 1144-1154, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.073>
- [4] Cajot, S., Peter, M., Bahu, J.M., Guignet, F., Koch, A., Maréchal, F. Obstacles in energy planning at the urban scale, Sustainable Cities and Society, Vol. 30, pp. 223-236, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.003>
- [5] Latinović, A., Đorđević, M., Surudžić, D., Šiljkut, V. Povećanje učešća obnovljivih izvora energije u sistemima za daljinsko grejanje, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 2, pp. 61-67, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.61L>
- [6] 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>
- [7] Jelavić, V., Delija-Ružić, V. Multisektorski pristup u tranziciji prema niskougljičnom razvoju i ciljevima Zelenog akcionog plana EU – iskustva Republike Hrvatske, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 23, No. 3, pp. 26-35, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.26J>
- [8] Dioha, M.O., Kumar, A. Exploring sustainable energy transitions in sub-Saharan Africa residential sector: The case of Nigeria, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 117, pp. 109510, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109510>
- [9] Tian, S., Lu, Y., Ge, X., Zheng, Y. An agent-based modeling approach combined with deep learning method in simulating household energy consumption, Journal of Building Engineering, Vol. 43, pp. 103210, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103210>
- [10] Kadian, R., Dahiya, R.P., Garg, H.P. Energy-related emissions and mitigation opportunities from the household sector in Delhi, Energy Policy, Vol. 35, No. 12, pp. 6195-6211, 2007.

- <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.014>
- [11] Wang, Z., Zhao, Z., Lin, B., Zhu, Y., Ouyang, Q. Residential heating energy consumption modeling through a bottom-up approach for China's Hot Summer–Cold Winter climatic region, *Energy and Buildings*, Vol. 109, pp. 65-74, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.057>
- [12] Csutora, M., Zsoka, A., Harangozo, G. The Grounded Survey – An integrative mixed method for scrutinizing household energy behavior, *Ecological Economics*, Vol. 182, pp. 106907, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106907>
- [13] Rue du Can, S., Khandekar, A., Abhyankar, N., Phadke, A., Zheng Khanna, N., Fridley, D., Zhou, N. Modeling India's energy future using a bottom-up approach, *Applied Energy*, Vol. 238, pp. 1108-1125, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.065>
- [14] Živković, M., Pereverza, K., Pasichnyi, O., Madžarević, A., Ivezić, D., Kordas, O. Exploring scenarios for more sustainable heating: The case of Niš, Serbia, *Energy*, Vol. 115, pp. 1758-1770, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.034>
- [15] Mirakyan, A., De Guio, R. Integrated energy planning in cities and territories: A review of methods and tools, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 22, pp. 289-297, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.033>
- [16] Sovacool, B.K., Martiskainen, M. Hot transformations: Governing rapid and deep household heating transitions in China, Denmark, Finland and the United Kingdom, *Energy Policy*, Vol. 139, pp. 111330, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111330>
- [17] Liu, W., Best, F., Crijns-Graus, W. Exploring the pathways towards a sustainable heating system – A case study of Utrecht in the Netherlands, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 280, No. 2, pp. 125036, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125036>
- [18] Rikalović, G., Vračarević, B., Molnar, D. Energetska politika kao faktor održivog razvoja, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 23, No. 3, pp. 66-72, 2021. <https://doi.org/10.46793/EEE21-3.66R>
- [19] Pavlović, B. *Modeliranje i simulacija energetske tranzicije u sektoru domaćinstva, doktorska disertacija*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2023.
- [20] Böhringer, C., Cantner, U., Costard, J., Kramkowski, L.V., Gatzert, C., Pietsch, S. Innovation for the German energy transition - Insights from an expert survey, *Energy Policy*, Vol. 144, pp. 111611, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111611>
- [21] Kachirayil, F., Weinand, J.M., Scheller, F., McKenna, R. Reviewing local and integrated energy system models: insights into flexibility and robustness challenges, *Applied Energy*, Vol. 324, pp. 119666, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119666>
- [22] Wilensky, U. *NetLogo, Center for connected learning and computer-based modeling*, Northwestern University, Evanston, 1999. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> [pristupljeno 01.03.2023]
- [23] Parović, M. Razvoj energetske zajednice kao aktivna mera za podsticaj pravedne energetske tranzicije u Republici Srbiji, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 2, pp. 33-39, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-2.33P>
- [24] Rieder, W.G. Simulation and Modeling, in: Meyers R.A. (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, Academic Press, pp. 815-835, 2003. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00692-X>
- [25] Jackson, J.C., Rand, D., Lewis, K., Irwin, N.M., Kurt. G. Agent-based modeling: a guide for social psychologists, *Social Psychological & Personality Science*, Vol. 8, No. 4, pp. 381-395, 2017. <https://doi.org/10.1177/1948550617691100>
- [26] Alvarez-Galvez, J. Network models of minority opinion spreading: using agent-based modeling to study possible scenarios of social contagion, *Social Science Computer Review*, Vol. 34, No. 5, pp. 567-581, 2015. <https://doi.org/10.1177/0894439315605607>
- [27] Sopha, B.M., Klöckner, C.A., Hertwich, E.G. Adoption and diffusion of heating systems in Norway: Coupling agent-based modeling with empirical research, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol. 8, pp. 42-61, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2013.06.001>
- [28] Malik, C., Singhal, N. Consumer environmental attitude and willingness to purchase environmentally friendly products: an SEM approach, *Vision: The Journal of Business Perspective*, Vol. 21, No. 2, pp. 152-161, 2017. <https://doi.org/10.1177/0972262917700991>
- [29] Eurostat, Energy consumption in households, 2022. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households [pristupljeno 01.03.2023]
- [30] Eurostat, Energy statistics - quantities, annual data, Energy balances, 2022. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances> [pristupljeno 01.03.2023]
- [31] Republički zavod za statistiku, Energetski bilans 2020, 2022. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2022/Pdf/G20225681.pdf> [pristupljeno 01.03.2023]
- [32] Republički zavod za statistiku, Uporedni pregled broja stanova, 2022. <https://www.stat.gov.rs/sr-Latn/oblasti/popis/popis-2011/popisni-podaci-eksel-tabele> [pristupljeno 01.03.2023]
- [33] TOPS, Poslovno udruženje Toplana Srbije, Izveštaj o radu sistema daljinskog grejanja u Republici Srbiji za 2020, 2021. https://www.toplanesrbije.org.rs/uploads/ck_editor/files/Godisnji%20izvestaj%20pdf%202020%20final.pdf [pristupljeno 01.03.2023]
- [34] Republički zavod za statistiku, Regioni u Republici Srbiji, 2021. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2021/Pdf/G202126001.pdf> [pristupljeno 01.03.2023]
- [35] Jovanović, M., Bakić, V., Vučićević, B.S., Turanjanin, V.M. Analysis of different scenarios and sustainability measurement in the district heating sector in Serbia, *Thermal Science*, Vol. 23, No. 3B, pp. 2085-2096, 2019. <https://doi.org/10.2298/TSCI181009298J>
- [36] Wong, J.B., Zhang, Q. Impact of carbon tax on electricity prices and behaviour, *Finance Research Letters*, Vol. 44, pp. 102098, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102098>
- [37] Elia, A., Kamidelivand, M., Rogan, F., Gallachóir, B.Ó. Impacts of innovation on renewable energy technology cost reductions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 138, pp. 110488, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110488>
- [38] Mercure, J.F., Salas, P., Vercoulen, P., Semieniuk, G., Lam, A., Pollitt, H., Holden, P. B., Vakilifard, N., Chewpreecha, U., Edwards, N.R., Vinuales, J. E. Reframing incentives for climate policy action, *Nature energy*, Vol. 6, pp. 1133-1143, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00934-2>

AUTOR/AUTHOR

Boban Pavlović – master inženjer zaštite životne sredine, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko – geološki fakultet, boban.pavlovic@rgf.bg.ac.rs
ORCID [0000-0002-4765-957X](https://orcid.org/0000-0002-4765-957X)