

Tea Marić, mag. ing. el. techn. inf.
HEP – ODS
tea.maric@hep.hr

PROCJENA DOSTUPNE FLEKSIBILNOSTI AKTIVNIH KUPACA U HRVATSKOJ

SAŽETAK

Aktivni kupac (engl. prosumer) je prepoznat kao jedan od ključnih čimbenika razvoja elektroenergetskog sustava i tržišta električne energije, kao i postizanja klimatsko energetske strategije EU. U Direktivi europskog parlamenta i vijeća o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište električne energije, aktivni kupac je definiran kao "krajnji kupac ili skupina krajnjih kupaca koji djeluju zajedno i koji troše ili skladište električnu energiju [...] ili koji prodaju električnu energiju koju sami proizvode ili sudjeluju u programima fleksibilnosti ili energetske učinkovitosti, uz uvjet da te djelatnosti nisu njihova primarna trgovačka ili profesionalna djelatnost". Dakle, aktivni kupac više neće imati samo ulogu potrošača, nego i proizvođača, kao i spremnika energije.

U ovom radu se pojmovi "krajnji kupac" i "aktivni kupac" odnose na kućanstva u Republici Hrvatskoj. Upitnikom je procijenjena njihova dostupna fleksibilnost. Dobiveni podatci su korišteni za razvoj matematičkog modela kojim agregator raspoređuje aktivaciju fleksibilnosti po sudionicima. Uz to, rezultati upitnika daju uvid u stavove i motivaciju krajnjih kupaca za sudjelovanje u programima odziva potrošnje.

Ključne riječi: agregator, dostupna fleksibilnost, aktivni kupac

ASSESSMENT OF AVAILABLE FLEXIBILITY OF ACTIVE CUSTOMERS IN CROATIA

SUMMARY

Active customer (prosumer) is recognized as one of the key factors in the development of electric power systems and electricity markets, as well as the achievement of climate and energy strategic goals of the EU. According to the Directive of the European Parliament and the Council on common rules for the internal electricity market, an active customer is defined as "a final customer, or a group of jointly acting final customers, who consumes or stores electricity [...] or who sells self-generated electricity or participates in flexibility or energy efficiency schemes, provided that those activities do not constitute its primary commercial or professional activity". Therefore, the active customer will not only have the role of a consumer, but also a producer as well as an energy storage facility.

In this paper, the terms "final customer" and "active customer" refer to households in the Republic of Croatia. Their available flexibility was assessed by a questionnaire developed for this purpose. The data obtained was used to develop the mathematical model, which enables aggregators to schedule participants' flexibility activation. In addition, the results of the questionnaire give a useful insight into final customers attitudes and motivation towards demand response programs.

Key words: aggregator, available flexibility, active customer

1. UVOD

Elektroenergetski se sustav u današnje vrijeme suočava s brojnim izazovima unaprjeđenja i nadogradnje mreže. Sa strane proizvodnje, povećana integracija obnovljivih izvora energije, poput vjetroelektrana i solarnih elektrana, donijela je izazove vezane za pogon u stvarnom vremenu. Glavni uzrok je nepredvidljivost i varijabilnost proizvodnje, što je dodatno utjecalo na tokove snaga i naponske prilike u distribucijskim mrežama, gdje je priključena najveća količina ovakvih distribuiranih izvora. Neki pristupi rješavanja problema zagušenja mreže ili naponskih neprilika oslanjaju se na predviđanje proizvodnje obnovljivih izvora energije [2], a to može biti neekonomično ili ekološki neprihvatljivo.

Odziv potrošnje (engl. Demand Response) novo je rješenje kojim se održava stabilnost sustava sa strane potrošnje te se može definirati kao promjena u potrošnji električne energije u odnosu na normalan obrazac potrošnje koja je posljedica promjena cijene električne energije [3]. Odziv potrošnje također može biti posljedica isplate novčanih naknada koje su namijenjene kao poticaj smanjenju, odnosno povećanju potrošnje električne energije kada je cijena na tržištu visoka ili kada je pouzdanost opskrbe ugrožena. Kako bi se stvorili preduvjeti za uspostavu programa odziva potrošnje potrebno je istražiti potencijal koji bi se mogao ostvariti [4], tko je voljan sudjelovati te pod kojim uvjetima je to moguće sa strane potrošača, mreže i tržišta [5], [6].

Kako bi uravnoteženje elektroenergetskog sustava odzivom potrošnje uopće bilo moguće, mora postojati dovoljan broj kućanstava, odnosno kućanskih uređaja, s kojim bi se agregator plasirao na tržište uravnoteženja. U svrhu određivanja broja kućanskih uređaja i snage s kojom će agregator nastupati na tržištima rezerve snage i energije uravnoteženja, izrađen je upitnik koji će ispunjavati potencijalni pružatelj odziva potrošnje. Pitanja koja se nalaze u upitniku vezana su za stambeni objekt u kojem ispitanik boravi, broj članova kućanstva, navike u korištenju pojedinih kućanskih uređaja, voljnost sudjelovanja u programu odziva potrošnje. Na temelju dobivenih podataka iz upitnika, agregator će složiti plan, odnosno raspored aktivacije uređaja i rezerviranu snagu.

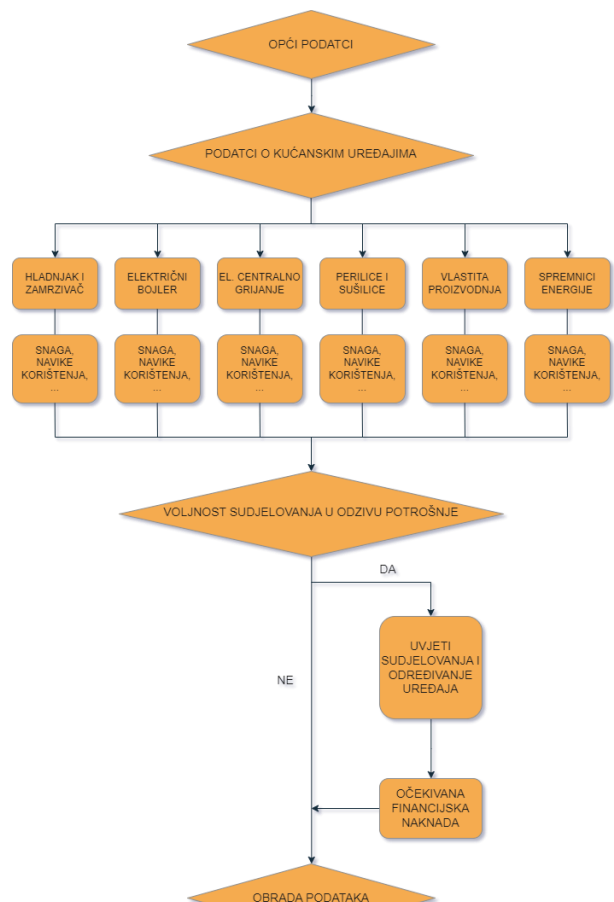
2. PROCJENA DOSTUPNE FLEKSIBILNOSTI POJEDINOG KUĆANSTVA

Kako bi agregator uspješno modelirao raspored aktivacije pojedinih kućanskih uređaja, treba imati ulazne podatke koji će mu to omogućiti. Matematički model zahtijeva minimalne tehničke podatke koji trebaju biti prikupljeni za uspješno modeliranje i analizu:

1. energetske proces koji se stavlja na raspolaganje,
2. snagu pojedinog sustava,
3. brzinu odziva,
4. trajanje fleksibilnosti,
5. maksimalnu učestalost,
6. dnevnu pojavu fleksibilnosti.

Na Slici 1 prikazan je općeniti hodogram upitnika. Detaljan upitnik, pregled i analiza rezultata su prikazani u nastavku.

Na hodogramu je vidljivo kako su u prvom setu pitanja sadržani opći podatci o stambenom objektu. To su pitanja o tipu stambenog objekta, grijanoj površini i lokaciji. U drugom dijelu su sadržana pitanja o kućanskim uređajima koje članovi pojedinog kućanstva koriste, a to su snaga uređaja, jesu li uređaji napredni, navike korištenja uređaja i sl.. Nakon toga slijedi pitanje, za svaki uređaj posebno, žele li ispitanici uključiti svoje kućanske uređaje u program odziva potrošnje. Ukoliko je odgovor potvrđan nastavljaju na novi set pitanja, a to je postavljanje uvjeta za odziv potrošnje. To su npr. vrijeme aktivacije, učestalost, trajanje fleksibilnosti, itd..



Slika 1 Hodogram upitnika za određivanje dostupne fleksibilnosti

2.1. Podatci o stambenom objektu

Pitanja koja se postavljaju su o tipu, grijanoj površini i lokaciji stambenog objekta. Podatak o tipu stambenog objekta važan je zbog procjene korištenja uređaja za grijanje prostora, npr. veća je vjerojatnost da će u stambenom objektu koji se nalazi u zgradi biti manja potrošnja električne energije za grijanje nego u stambenom objektu koji se ne nalazi u zgradi zbog prolaza topline kroz vanjske zidove. Stambeni objekt u zgradi općenito ima manje vanjskih zidova te je tako manji gubitak topline. Samim time, može se pretpostaviti kako će u samostojećem stambenom objektu sustav grijanja biti veće snage i više vremena biti uključen od sustava grijanja stambenog objekta koji se nalazi u zgradi [7], [8]. Analogno, podatak o grijanoj površini objekta je relevantan. Lokacija na kojoj se nalazi stambeni objekt igra važnu ulogu u procjeni dostupne fleksibilnosti. Dijelovi primorske Hrvatske pogodniji su za cjelogodišnje sudjelovanje u odzivu potrošnje. Kućanstva u tom dijelu Hrvatske uglavnom koriste električnu energiju za grijanje i hlađenje prostora. Kućanstva u ostalim dijelovima Hrvatske češće koriste ostale načine zagrijavanja prostora poput peći na drva, pelet ili plin [9].

2.2. Energetski procesi

Energetski procesi koji se stavljaju na raspolaganje su procesi koji za obavljanje troše električnu energiju. To su grijanje i hlađenje prostora, obrada rublja i posuđa, grijanje i hlađenje hrane i pića, grijanje potrošne tople vode te punjenje spremnika energije i električnih vozila. Za grijanje, odnosno hlađenje, prostora promatraju se:

1. Klima uređaji - potencijal smanjenja snage rashladnih uređaja je velik na području cijelog teritorija Republike Hrvatske, a najveći je u ljetnim mjesecima (tijekom trajanja turističke sezone) u primorju. Trajanje fleksibilnosti ovog procesa je 30 minuta, a može se ostvarivati do 6 puta dnevno [10]. Potencijal povećanja snage kod rashladnih uređaja gotovo je zanemariv, jer bi pothlađivanje prostora dovelo do smanjenja komfora. Analogno, identična je situacija kod režima grijanja kod klima uređaja.
2. Električne grijalice i električno centralno grijanje – maksimalno trajanje fleksibilnosti je 15 minuta, a maksimalna učestalost je 4 puta dnevno [10]. Potencijal povećanja snage znatno je manji jer pregrijavanje prostora dovodi do smanjenja komfora.

Perilice i sušilice rublja te perilice posuđa također su skupina električnih uređaja kojim kućanstvo može sudjelovati u programu odziva potrošnje. Fleksibilnost tih uređaja uvijek je dostupna i ne utječe na komfor. Zbog različitih navika u korištenju, trajanje i učestalost fleksibilnosti je teško odrediti. Trajanje fleksibilnosti kreće se od 30 minuta do 12 sati, a učestalost fleksibilnosti je jednom u 24 sata [10]. Satni potencijal povećanja snage za vrijeme dana isti je kao potencijal smanjenja, ali nije ostvariv preko noći (i u slučajevima kada postoji mogućnost automatskog upravljanja, pretpostavljeno je da mokro rublje ne smije ostati u uređaju više sati jer je moguć razvoj bakterija i neugodnih mirisa). Potencijal kod perilica za posuđe ostvariv je i preko noći jer ne vladaju jednaki uvjeti za posuđe kao za rublje.

Električni uređaji koji se koriste za grijanje/hlađenje hrane i pića, a pogodni su za odziv potrošnje, su hladnjaci i zamrzivači. Oni su spremnici topline koji kontinuirano rade pa je njihov potencijal dostupan tijekom cijele godine. Brzina smanjenja potencijala iznosi jednu minutu, dok je maksimalno trajanje fleksibilnosti 15 minuta. Fleksibilnost se može ostvarivati svakih 60 minuta [10]. Povećanje snage se kod ovih uređaja ne može ostvariti, jer hrana koja se skladišti u njima zahtijeva određeni raspon temperature, a sami uređaji imaju interne termostate koji reguliraju temperaturu.

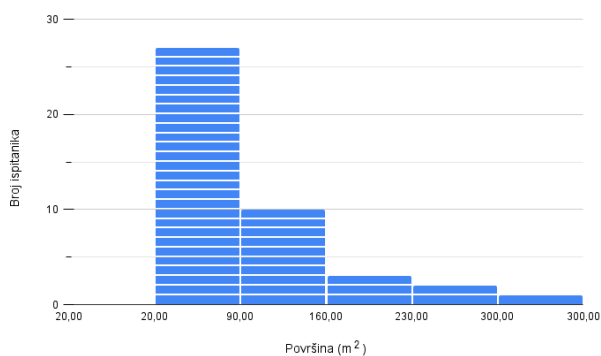
Jedan vid potpore elektroenergetskom sustavu je i uključivanje procesa grijanja tople vode u odziv potrošnje. Električni grijači vode najčešće su kondenzacijskog tipa, a prevladavaju u županijama s manje razvijenom plinskom mrežom. Ova kategorija uređaja predstavlja znatan potencijal. Maksimalno trajanje ove fleksibilnosti je 60 minuta, a maksimalna učestalost je 12 puta dnevno [10]. Potencijal povećanja snage jednak je potencijalu smanjenja snage.

U današnje vrijeme je sve češća integracija obnovljivih izvora energije u kućanstvima. S obzirom na to da je cilj stanovništva minimizirati svoje mjesečne račune za električnu energiju, sve se više ugrađuje vlastita proizvodnja električne energije sa spremnikom u koji se pohranjuje višak proizvedene energije. Također, spremnici energije mogu biti instalirani i samostalno, tj. bez sustava za proizvodnju energije te se onda oni pune za vrijeme trajanja niže tarife naplate - preko noći, a korisnik pohranjenu energiju iskorištava u vrijeme kada mu najviše odgovara. Još jedan oblik spremnika energije su i električna vozila kojih je svakim danom sve više. Fleksibilnost za spremnike energije dostupna je samo ako stanje napunjenosti spremnika to dopušta, dok je za električna vozila fleksibilnost dostupna samo dok je vozilo priključeno na mrežu (puni se). Komfor za korištenje električnih vozila ne narušava se jer će vozilo imati zahtijevanu razinu napunjenosti na kraju trajanja odziva [11]. Trenutno je odziv potrošnje ovih uređaja moguć samo automatski (agregator upravlja daljinski).

3. REZULTATI UPITNIKA

3.1. Podatci o kućanstvima

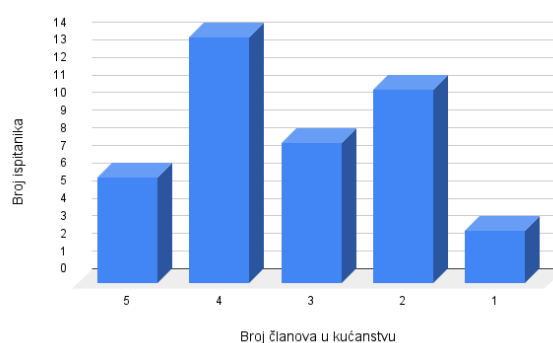
Istraživanje je provedeno na 42 ispitanika iz raznih dijelova Republike Hrvatske, a koji su razvrstani u dva područja – primorsku i kontinentalnu Hrvatsku. Prema rezultatima 36% ispitanika stanuje na području primorske, dok 64,3% stanuje na području kontinentalne Hrvatske. 24% ispitanika su podstanari bilo u stanu ili kući, a ostatak ispitanika, njih 76%, su vlasnici svojih stambenih objekata. Slika 2 prikazuje histogram vrijednosti grijanih površina stambenih objekata, a prosječna vrijednost je 95,74 m².



Slika 2 Neto grijane površine stambenih objekata

Izazovno je uvesti program odziva potrošnje na tržište jer se javlja zahtjev za naprednom tehnologijom. Prva stavka koja je potrebna za komunikaciju između agregatora i krajnjeg kupca je napredno brojilo električne energije. Prema rezultatima istraživanja, samo jedno od ispitanih kućanstava ima napredno brojilo. Naravno, tu se postavlja pitanje jesu li građani dovoljno upoznati s pojmom naprednog brojlara te kako ono izgleda.

Također su bitni podatci koliko je članova u pojedinom kućanstvu zbog procjene potrošnje električne energije i navika korištenja pojedinih kućanskih uređaja. Prosječan broj članova po kućanstvu je 3,2, te se detaljan prikaz nalazi na slici 3.



Slika 3 Broj članova kućanstava

3.2. Podatci o kućanskim uređajima

Za procjenu dostupne fleksibilnosti kućanskih uređaja potrebno je ispitati navike korištenja pojedinih kućanskih uređaja određenih kućanstava. Ispitanici su popunjavali upitnik odgovarajući na pitanja o svojim kućanskim uređajima (posjeduju li određene kućanske uređaje i na koji način ih koriste te kada).

3.2.1. Hladnjaci i zamrzivači

Prema podacima iz upitnika, sva kućanstva koriste barem jedan hladnjak te je prosjek hladnjaka po kućanstvu 1,3 dok zamrzivače posjeduju 15 kućanstava te je prosjek zamrzivača po kućanstvu 1,4. Prosječna snaga svih hladnjaka je 460,4 W dok je prosječna snaga svih zamrzivača 157,84 W. Maksimalna energija u jednom satu koja bi se mogla iskoristiti za odziv potrošnje i uravnoteženje elektroenergetskog sustava za hladnjake je 115 Wh (2,76 kWh dnevno) [10]. Analogno, za zamrzivač je ta energija 39 Wh (0,94 kWh dnevno).

Izazovi u implementiranju odziva potrošnje se javljaju i zbog zastupljenosti naprednih kućanskih uređaja. Napredni kućanski uređaji podrazumijevaju uređaje koji mogu komunicirati putem određenog komunikacijskog protokola. Protokoli koji se najčešće spominju u literaturi su Internet of Things [12], Bluetooth [13], ZigBee [14]. 2,6% ispitanika, tj. jedno kućanstvo posjeduju napredni hladnjak, a nijedno kućanstvo ne posjeduju napredni zamrzivač.

3.2.2. Električno centralno grijanje

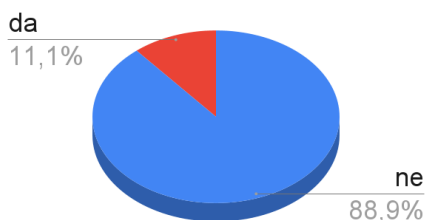
Prema podacima iz upitnika, veći potencijal za angažman električnog centralnog grijanja je na području primorske Hrvatske, gdje ga koristi 20% ispitanih kućanstava. Potencijal je manji na području kontinentalne Hrvatske gdje se kućanstva obično griju preko nekog drugog medija. U radu „Grijanje u kućanstvu“ [9], autor navodi kako je prema provedenom istraživanju postotak osoba iz kontinentalne

Hrvatske koje se griju na kruto gorivo 86% s naglaskom na drvo, dok se 3,6% ispitanika izjasnilo kako se griju korištenjem električne energije. Ukupan broj ispitanih kućanstava koja koriste električno centralno grijanje je 6 i svim kućanstvima je to glavni oblik grijanja. Postotak instaliranih sustava za grijanje s naprednim termostatom je nizak, tj. jedno kućanstvo posjeduje termostat kojim može upravljati na daljinu. S obzirom na to da je svim ispitanicima koji koriste električno centralno grijanje to glavni oblik grijanja, oni odgovaraju i na pitanja vezano za navike korištenja sustava grijanja. Određen broj ispitanika, njih 50%, grijanje ima uključeno tijekom cijelog tjedna i to 24 sata na dan. 17% ispitanika grijanje pali radnim danima prijedodne, njih 33% grijanje pali radnim danima poslijepodne dok većina ispitanika (83,3%) ima grijanje upaljeno navečer tijekom cijelog tjedna.

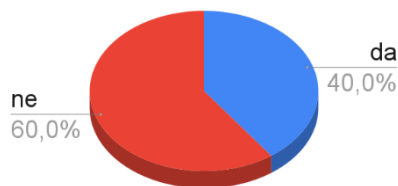
Ispitanici električne grijalice ne koriste često niti dugo. Uglavnom se električne grijalice koriste samo za dogrijavanje prostorija. Prosječna snaga instaliranih električnih grijalica je 1,65 kW, a dostupna energija u danu je 1,65 kWh [10]. Niti jedna električna grijalica nije napredni uređaj.

Korisnici električne grijalice najviše koriste u popodnevnim satima i navečer te najčešće podjednako tijekom cijelog tjedna s naglaskom na vikend.

Potencijal za aktiviranje električnih grijalica je veći u primorskom dijelu Hrvatske zbog toga što se kućanstva u primorju češće griju iskorištavanjem električne energije [9]. Sljedeće slike prikazuju usporedbu korištenja električnih grijalica u primorskoj (slika 5) i kontinentalnoj (slika 4) Hrvatskoj.



Slika 2 Korištenje grijalica u kontinentalnoj Hrvatskoj

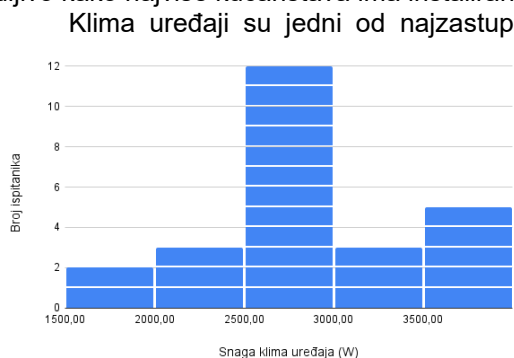


Slika 3 Korištenje grijalica u primorskoj Hrvatskoj

3.2.3. Klima uređaji

Klima uređaji predstavljaju velik potencijal za angažman u aktivaciji potrošnje s obzirom na klimu u Republici Hrvatskoj. Također zbog toga što klima uređaji predstavljaju značajan udio u potrošnji električne energije u kućanstvu [15]. U području primorske Hrvatske postoji cjelogodišnji potencijal za aktivacijom odziva potrošnje klima uređajima jer ispitanici koji koriste klima uređaje ih uglavnom koriste i za grijanje i za hlađenje kućanstva. U kontinentalnoj Hrvatskoj to nije slučaj. Na tom području ispitanici uglavnom koriste klima uređaje za hlađenje prostora te je najveći potencijal za odziv potrošnje ostvariv tijekom ljetnih mjeseci.

Prosječna snaga instaliranih klima uređaja u kućanstvima ispitanika je 2,734 kW, a maksimalna dostupna energija je 8,2 kWh dnevno [10]. Slikom 6 su prikazani podatci za snage klima uređaja te je vidljivo kako najviše kućanstava ima instaliran klima uređaj snage u rasponu 2,5-3 kW.



Slika 4 Snage klima uređaja

Klima uređaji su jedni od najzastupljenijih naprednih kućanskih uređaja kod ispitanika. 9,5% ispitanika se izjasnilo kako posjeduju klima uređaj kojim mogu upravljati iz daljine.

Uz to što je najveći potencijal za iskoristivost klima uređaja u dijelovima primorske Hrvatske, daljnjom obradom podataka je ustanovljeno kako je najveći iskoristivi potencijal za klima uređaje tijekom poslijepodnevni sati. Naime, 77,3% ispitanika je odgovorilo kako klima uređaje najčešće koriste tijekom cijelog tjedna u poslijepodnevni satima te je usporedbom obrađenih podataka zaključak je kako je najveći potencijal za klima uređaje ostvariv u primorskoj Hrvatskoj u poslijepodnevni satima.

3.2.4. Električni grijači vode (bojleri)

Električni bojleri više su zastupljeni u području primorske Hrvatske zbog toga što je plinska mreža Republike Hrvatske razvijenija u kopnenim krajevima. 99,3% ispitanika u primorskoj Hrvatskoj koristi električne bojlere dok ih iz kontinentalne Hrvatske koristi 22,2% ispitanika.

15% ispitanika se izjasnilo kako električni bojler koriste manje od 365 dana u godini dok ostalih 85% ispitanika ima električni bojler uključen 365 dana po 24 sata što znači da je potencijal za iskoristivost električnih bojlera za odziv potrošnje velik. Prosječna snaga instaliranih bojlera je 1,952 kW dok je maksimalna dostupna energija 23,4 kWh dnevno za uravnoteženje elektroenergetskog sustava.

3.2.5. Perilice i sušilice rublja, perilice posuđa

Za razliku od dosad obrađenih kućanskih uređaja, perilice i sušilice rublja te perilice posuđa predstavljaju potencijal za angažman za odziv potrošnje u vidu pomicanja potrošnje [16]. Dakle, pružatelji usluge odziva potrošnje će, umjesto u npr. 16 sati, svoje uređaje upaliti u 19 sati (ili koje drugo vrijeme ukoliko je potrebno agregatoru i elektroenergetskom sustavu). Svi ispitanici su odgovorili kako u svom kućanstvu posjeduju barem jednu perilicu rublja, 24,4% ispitanika posjeduje sušilicu rublja te se 64,3% ispitanika izjasnilo kako posjeduju perilicu posuđa.

Prosječna snaga korištenih perilica za rublje je 2,038 kW, dok su navike korištenja ispitanika slične. 25,3% ciklusa pranja koji se pale u ispitanim kućanstvima u jednom tjednu uključuju se preko noći kada je niža tarifa naplate električne energije i mrežarine. Zbog ograničenja u odzivu potrošnje, perilice rublja neće biti moguće aktivirati preko noći. Sljedeće razdoblje koje je najzastupljenije kod korisnika su poslijepodnevni i večernji sati.

Ciklusi koji se najčešće uključuju na perilicama rublja su ciklusi u trajanju približno 2 sata. To znači da je prosječno za svaki ciklus paljenja perilice rublja dostupno približno 4 kWh energije za uravnoteženje elektroenergetskog sustava. Ukupna učestalost uključivanja takvih ciklusa je 215/tjedan. Ukoliko se taj broj podijeli s brojem kućanstava koja su sudjelovala u istraživanju, dobije se prosjek od 5 uključivanja/tjedan/kućanstvo što je približno 20 kWh energije iz pojedinog kućanstva dobiveno angažmanom perilica za rublje. Prosječna snaga korištenih sušilica za rublje je 2,360 kW te ispitanici u prosjeku 4 puta tjedno uključuju program sušenja rublja. Prosjek trajanja ciklusa je 3 sata. Analogno kao za perilicu rublja se dođe do približno 28 kWh energije/tjedan/kućanstvo za uravnoteženje elektroenergetskog sustava. Doba dana u kojem se najčešće koriste sušilice rublja su večernji sati te je tada najveći potencijal za angažman sušilica rublja bez narušavanja komfora kupaca. Kao i kod perilica rublja, postoje uvjeti da se sušilice rublja ne smiju angažirati preko noći zbog narušavanja ugone kupaca.

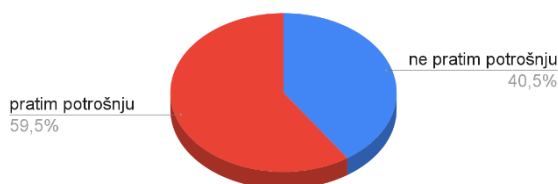
Prosječna instalirana snaga perilica posuđa je 2,133 kWh. Prosječno trajanje ciklusa je 1 sat i 45 minuta dok je prosječan broj uključivanja perilice posuđa 5 uključivanja/tjedan/kućanstvo. Kao i za perilice i sušilice rublja, može se napraviti procjena dostupne energije prema uvjetima kućanskih uređaja. Procijenjena dostupna energija dobivena angažmanom perilica posuđa je 18,63 kWh/tjedan. Doba dana kada se najčešće uključuju ciklusi pranja perilice posuđa je preko noći i nema nikakvih ograničenja da se perilice posuđa ne smiju angažirati preko noći jer ne postoji opasnost za posuđe koje ostaje u perilici preko noći.

3.2.6. Spremnici energije i električna vozila

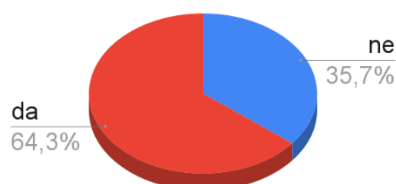
Nijedno kućanstvo čiji su članovi sudjelovali u istraživanju nema instaliran stacionarni spremnik energije (primjerice bateriju) niti posjeduje električno vozilo. Stoga su ti podatci izostavljeni iz daljnjeg modeliranja i analiza jer se analiza provela za podatke koji su prikupljeni tijekom ovog istraživanja.

3.3. Voljnost sudjelovanja u odzivu potrošnje

Uz već navedene podatke, agregatoru je od iznimne važnosti saznati voljnost ispitanika za sudjelovanje u programu odziva potrošnje. Slike 7 i 8 predstavljaju usporedbu kućanstava koja prate potrošnju električne energije i onih koji su zainteresirani za sudjelovanje u programu odziva potrošnje. Vidljivo je kako je približno jednak postotak kućanstava koji su zainteresirani za sudjelovanje u odzivu potrošnje i onih koji prate potrošnju električne energije.

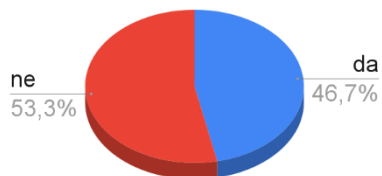


Slika 6 Praćenje potrošnje električne energije

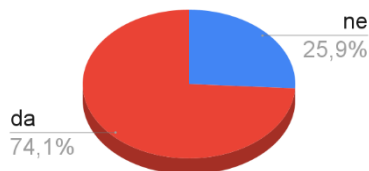


Slika 5 Voljnost sudjelovanja u odzivu potrošnje

Također, bitno je razlikovati ispitanike iz različitih krajeva Hrvatske kako bi se uspjelo procijeniti gdje se nalazi najveći potencijal za implementaciju odziva potrošnje i djelovanje agregatora. Slika 9 prikazuje postotak ispitanika iz primorske Hrvatske koji su zainteresirani za sudjelovanje u odzivu potrošnje a slika 10 prikazuje ispitanike iz kontinentalne Hrvatske.

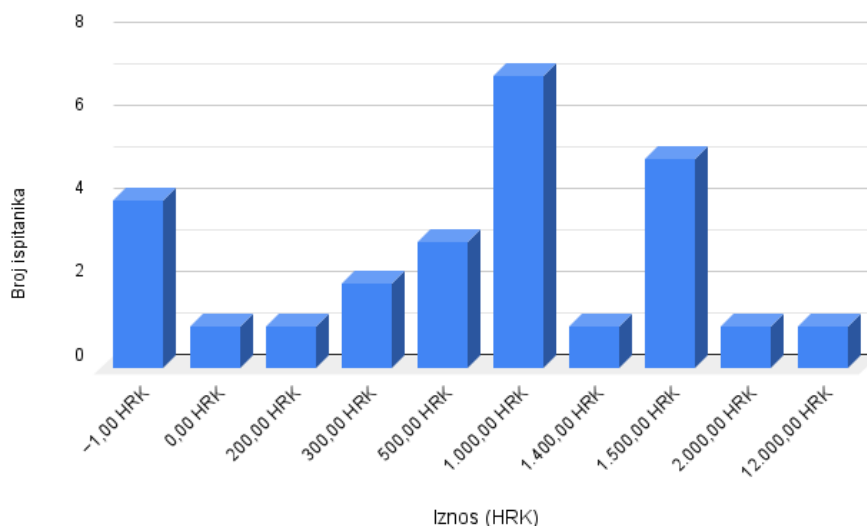


Slika 7 Zainteresiranost ispitanika iz primorske Hrvatske za odziv potrošnje



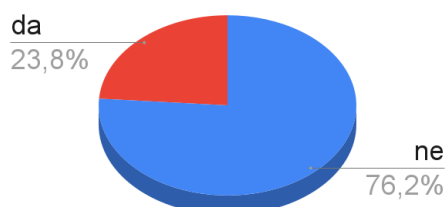
Slika 8 Zainteresiranost ispitanika iz kontinentalne Hrvatske za odziv potrošnje

Kako je motivacija krajnjih kupaca za sudjelovanje u odzivu potrošnje financijska, postavljaju se pitanja i o želji za ulaganje u kućanstvo kako bi ga bilo što jednostavnije integrirati u program. Slika 11 prikazuje koliko su ispitanici spremni uložiti u svoje kućanstvo. -1,00 HRK na grafu predstavlja odgovor *ne znam*. Raspon odgovora je širok, od 200,00 HRK do 12000,00 HRK, a prosjek ulaganja je 1757,8 HRK.

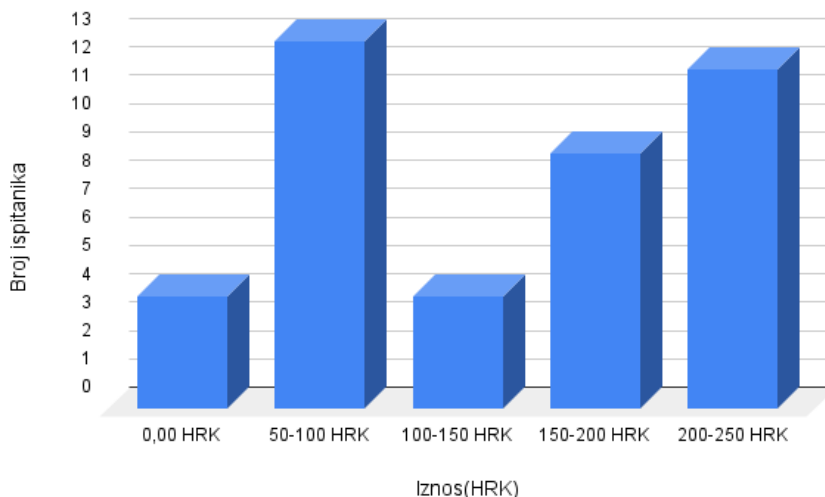


Slika 9 Ulaganje u kućanstvo

Prethodno pitanje se odnosilo na sveukupna ulaganja u kućanstvo, a u to ulaze instalacija napredne mjerne opreme i kupnja naprednih utičnica ukoliko ispitanici ne posjeduju napredne kućanske uređaje. Na slici 12 je prikazan postotak ispitanika koji posjeduju barem jedan napredni kućanski uređaj, dok slika 13 prikazuje koliko su ispitanici spremni uložiti u napredne utičnice kako bi mogli sudjelovati u programu odziva potrošnje. Iz grafa je vidljivo kako najviše ispitanika želi u napredne utičnice uložiti između 50 i 100 HRK po utičnici, što je i prosjek troška jedne utičnice [17].

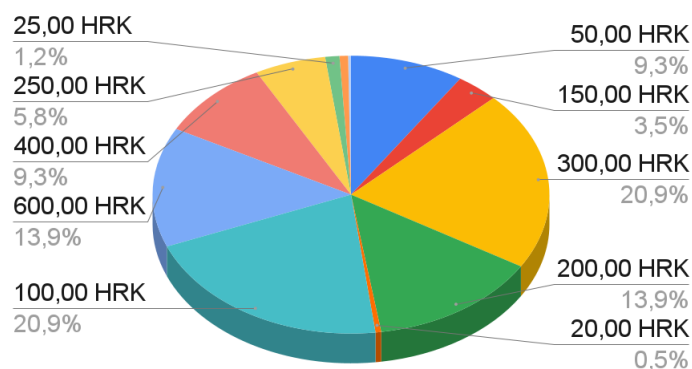


Slika 10 Zastupljenost pametnih uređaja u kućanstvima



Slika 11 Ulaganje u napredne utičnice

Posljednji podatak koji bi agregatoru bio od velike važnosti je očekivani profit krajnjih kupaca. Slika 14 prikazuje odgovore ispitanika koliku bi novčanu naknadu očekivali od agregatora za pružanje usluge odziva potrošnje.



Slika 12 Očekivana novčana naknada za sudjelovanje u odzivu potrošnje

Najčešći odgovor je očekivanje naknade u iznosu 300 HRK mjesečno. Kada se usporede podatci mjesečnih troškova pojedinog kućanstva ~~na za~~ električnu energiju i očekivana mjesečna naknada od agregatora za pružanje odziva potrošnje, zaključak je kako većina kućanstava želi barem 20% mjesečnih troškova pokriti novim prihodom, a neki i do 100% (tablica i graf u prilogu).

4. ZAKLJUČAK

Agregatori su posrednici između krajnjih kupaca i tržišta električne energije ili pomoćnih usluga. Odziv potrošnje u rezidencijalnom sektoru na ovim je područjima još uvijek neiskorišten oblik pomoćne usluge za uravnoteženje elektroenergetskog sustava te je cilj ovog rada bio predložiti način na koji će agregator procjenjivati dostupnu fleksibilnost rezidencijalnog sektora. U tu svrhu je izrađen upitnik te su njegovi rezultati izloženi u radu.

Upitnik je proveden među 42 kućanstva koji su objasnili navike korištenja kućanskih uređaja i voljnost sudjelovanja u odzivu potrošnje. Također je dana analiza prikupljenih podataka relevantnih za agregatora pri procjeni dostupne fleksibilnosti potencijalnih sudionika programa odziva potrošnje. Zaključak je kako je 64,3% ispitanika zainteresirano za pružanje usluge i voljno uložiti u svoje kućanstvo kako bi bili u mogućnosti pravodobno i sigurno sudjelovati u odzivu potrošnje. Stanovništvo u Republici Hrvatskoj još

uvijek nije dovoljno informirano o programu odziva potrošnje, niti ima prihvatljivu opremu i infrastrukturu što se može zaključiti iz predloženih rezultata.

5. LITERATURA

- [1] Direktiva (EU) 2019/944 Europskog parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019. o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište električne energije i izmjeni Direktive 2012/27/EU, URL [*pdf \(europa.eu\)](#), 23.12.2022.
- [2] Zhewen Niu, Zeyuan Yu, Wenhua Tang, Qinghua Wu, i Marek Reformat. Wind power forecasting using attention-based gated recurrent unit network, *Energy*, 196:117081, 2020.
- [3] Xiaoxing Lu, Kangping Li, Hanchen Xu, Fei Wang, Zhenyu Zhou, i Yagang Zhang, Fundamentals and business model for resource aggregator of demand response in electricity markets, *Energy*, 204:117885, 2020.
- [4] Hans Christian Gils, Assessment of the theoretical demand response potential in Europe, *Energy*, 67:1–18, 2014.
- [5] ENTSO-E, Manually activated reserves initiative, 2022b, URL [Manually Activated Reserves Initiative \(entsoe.eu\)](#), 16.1.2022.
- [6] ENTSO-E, Picasso, 2022c, URL [PICASSO \(entsoe.eu\)](#), 16.1.2022.
- [7] Ines Weber, Michael Schönemann, Alexander Farny, Franz Schröder, Anna Wolff, i Bernhard Gill, Explaining flat-specific heating energy consumption by building physics and behavior- an interdisciplinary approach, *LoPa Working Paper*, 1, 2017.
- [8] Mihael Lešnjak, Utjecaj položaja stana na potrošnju toplinske energije za grijanje u višestambenim zgradama u kontinentalnoj Hrvatskoj, *Doktorska disertacija*, Polytechnic of Međimurje in Čakovec, 2019.
- [9] Nikolina Kazalicki, GRIJANJE U KUĆANSTVU, *Doktorska disertacija*, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Civil Engineering, 2019.
- [10] Energetski institut Hrvoje Požar, Analiza potencijala odziva potrošnje u hrvatskom EES-u, 2019. podaci dostupni na upit,
- [11] Sekyung Han, Soohee Han, i Kaoru Sezaki, Development of an optimal vehicle-to-grid aggregator for frequency regulation, *IEEE Transactions on smart grid*, 1(1):65–72, 2010.
- [12] Ashish Kumar Sultania, Farouk Mahfoudhi, i Jeroen Famaey. Real-time demand response using nb-IoT, *IEEE Internet of Things Journal*, 7(12):11863–11872, 2020. doi: 10.1109/JIOT.2020.3004390.
- [13] H. Kanma, N. Wakabayashi, R. Kanazawa, i H. Ito, Home appliance control system over bluetooth with a cellular phone, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 49(4):1049–1053, 2003. doi: 10.1109/TCE.2003.1261194.
- [14] Velin Kounev i David Tipper, Advanced metering and demand response communication performance in ZigBee based hns, 2013 *Proceedings IEEE INFOCOM*, stranice 3405–3410, 2013. doi: 10.1109/INFOCOM.2013.6567172.
- [15] Junji Kondoh, Ning Lu, i Donald J Hammerstrom, An evaluation of the water heater load potential for providing regulation service, 2011 *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, stranice 1–8. IEEE, 2011.
- [16] Marnix C Vlot, Joris D Knigge, i Johannes G Slootweg, Economical regulation power through load shifting with smart energy appliances, *IEEE transactions on smart grid*, 4(3):1705–1712, 2013.
- [17] Lost informatička oprema, Woon wifi smart plug, 2022., URL <https://www.lost.hr/ponuda/item/51713-woon-wifi-smart-plug-eu-16a-3680w-woonhome-app-voice-control>, 17.6.2022.

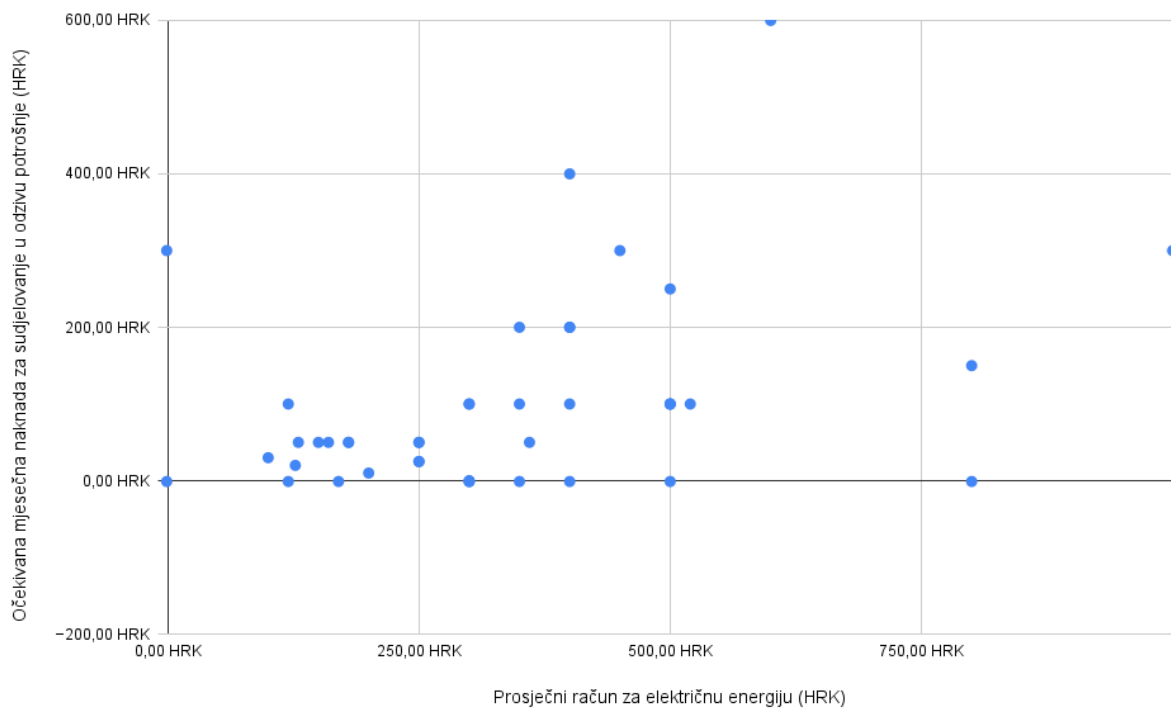
PRILOG 1

Tablica 1 Usporedba mjesečnih prihoda i rashoda kućanstva za električnu energiju

Kućanstvo	Mjesečni račun	Očekivana naknada	Omjer troška i očekivane naknade
1	500,00 HRK	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>
2	160,00 HRK	50,00 HRK	31,25%
3	800,00 HRK	150,00 HRK	18,75%
4	1000,00 HRK	300,00 HRK	30%
5	400,00 HRK	200,00 HRK	50%
6	180,00 HRK	50,00 HRK	27,8%
7	360,00 HRK	50,00 HRK	13,9%
8	127,00 HRK	20,00 HRK	15,8%
9	400,00 HRK	200,00 HRK	50%
10	500,00 HRK	100,00 HRK	20%
11	130,00 HRK	50,00 HRK	38,5%
12	600,00 HRK	600,00 HRK	100%
13	<i>ne znam</i>	300,00 HRK	<i>nepoznato</i>
14	400,00 HRK	400,00 HRK	100%
15	170,00 HRK	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>
16	<i>ne znam</i>	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>
17	300,00 HRK	100,00 HRK	30%
18	500,00 HRK	250,00 HRK	50%
19	450,00 HRK	300,00 HRK	66,7%
20	350,00 HRK	100,00 HRK	28,6%
21	350,00 HRK	200,00 HRK	57,1%
22	300,00 HRK	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>
23	500,00 HRK	100,00 HRK	20%
24	250,00 HRK	25,00 HRK	10%
25	520,00 HRK	100,00 HRK	19,2%
26	100,00 HRK	30,00 HRK	30%
27	180,00 HRK	50,00 HRK	27,8%
28	300,00 HRK	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>
29	250,00 HRK	25,00 HRK	10%
30	200,00 HRK	10,00 HRK	5%
31	350,00 HRK	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>
32	500,00 HRK	100,00 HRK	20%
33	250,00 HRK	50,00 HRK	20%
34	300,00 HRK	100,00 HRK	30%
35	400,00 HRK	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>
36	400,00 HRK	100,00 HRK	25%
37	150,00 HRK	50,00 HRK	30%
38	250,00 HRK	50,00 HRK	20%
39	120,00 HRK	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>
40	800,00 HRK	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>
41	120,00 HRK	100,00 HRK	83,3%
42	300,00 HRK	<i>ne znam</i>	<i>nepoznato</i>

Tablica 1 prikazuje podatke mjesečnih računa ispitanika za električnu energiju, iznos novčane naknade koju očekuju za sudjelovanje u odzivu potrošnje te njihov omjer. Iznosi su prikazani u HRK jer je to bila službena valuta u RH za vrijeme provođenja ispitivanja.

PRILOG 2



Slika 13 Očekivana naknada za sudjelovanje u odzivu potrošnje

Na slici 15 su grafički prikazani rezultati iz tablice 1 (prilog 1). Vrijednosti na osima označavaju odgovor *ne znam*.