

Prepoznavanje prisotnosti toplotnih črpalk pri odjemalcih na podlagi 15-minutnih meritev porabe energije

Valentin Ažbe, Jan Fortunat

*Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: valentin.azbe@fe.uni-lj.si*

Povzetek. Namen članka je predstaviti način prepoznavanja prisotnosti toplotnih črpalk pri odjemalcih. To poznavanje je pomemben podatek za upravljalca omrežja, ker toplotne črpalke kot veliki porabniki bistveno vplivajo na obremenitve omrežja, tako kratkotrajno – ob vklopih in kratkih stikih – kot tudi trajno, kar je pomembno zlasti ob konicah porabe. Metoda prepoznavanja temelji na 15-minutnih meritvah porabe energije, in sicer na razliki med dnevno porabo električne energije v mrzlih in zmerno toplih dneh. Ker smo imeli opravka z veliko količino podatkov, smo izračune izvedli s pomočjo vrtilnih tabel v Excelu. Pri analizi smo upoštevali različno število dni; najprej 4 hladne in 4 zmerno tople dni, med katerimi ni bilo praznikov in počitniških dni, potem pa še 12 hladnih in 12 zmerno toplih dni, med katerimi smo izločili dneve z največjo in najmanjšo porabo. Metodo prepoznavanja toplotnih črpalk smo umerili na enoletne meritve 12 znanih odjemalcev, 4 s toplotno črpalko in 8 brez toplotne črpalke. Rezultati kažejo, da je pri odjemalcih s toplotno črpalko razmerje med porabo mrzlih in zmerno toplih dni vedno večje od 2,62, pri odjemalcih brez toplotne črpalke pa vedno manjše od 1,78. Rezultati kažejo tudi, da je upoštevanje 12 dni bolj zanesljivo od upoštevanja 4 dni.

Ključne besede: prepoznavanje porabe, toplotne črpalke, merjenje električne energije, pametni števeci

A method to detect the presence of a heat pump at the consumer site based on a 15-minute energy consumption measurement

The paper presents a method to detect the presence of a heat pump operating at a consumer site. This knowledge is an important piece of information for the distribution-system operators because heat pumps significantly affect the network load, which is particularly the case at peak-load hours. The method is based on a fifteen-minute power consumption measurement to determine the difference between the daily consumption on a cold and on a moderately warm day. The consumption is first measured in four cold and four moderately warm days with no holidays, and then in twelve cold and twelve moderately warm days from which the days with the highest and the lowest consumption are eliminated. The heat-pump detection method is calibrated on one-year measurements of twelve known consumers of which four use a heat pump and eight do not. The results show that for the consumers using a heat pump, the consumption ratio between a cold and a moderately warm day is always above 2.62 and for the consumers with no heat pump it is always below 1.78. The results also show that defining the consumption ratio on a twelve-day basis is more reliable than the one defined on a four-day basis.

Keywords: load disaggregation, heat pump, measurement of electric energy consumption, smart meters

1 UVOD

Poraba električne energije (EE) je tako v svetu kot pri nas v porastu. Določeni dogodki, kot sta gospodarska kriza leta 2008 in trenutna situacija v povezavi s koronavirusom, lahko precej vplivajo na trenutno zmanjšanje porabe, a se je v preteklosti izkazalo, da je naraščanje porabe EE po končani krizi enako, kot če krize ne bi bilo. Rast porabe in koničnih obremenitev zahteva ojačitve omrežja, lahko pa se upravljalci omrežja odločijo tudi za ukrepe prilagajanja odjema in upravljanja s porabo. Pri tem je ključnega pomena poznavanje porabe. Z uvedbo pametnih števecv energije pri odjemalcih se operaterjem distribucijskih omrežij odpirajo nove možnosti vpogleda v dogajanje v omrežju. Ključno vprašanje pri tem pa je še vedno, kako si pomagati s pridobljenimi podatki – kje so tista področja, kjer bi lahko koristno uporabili zbrane podatke.

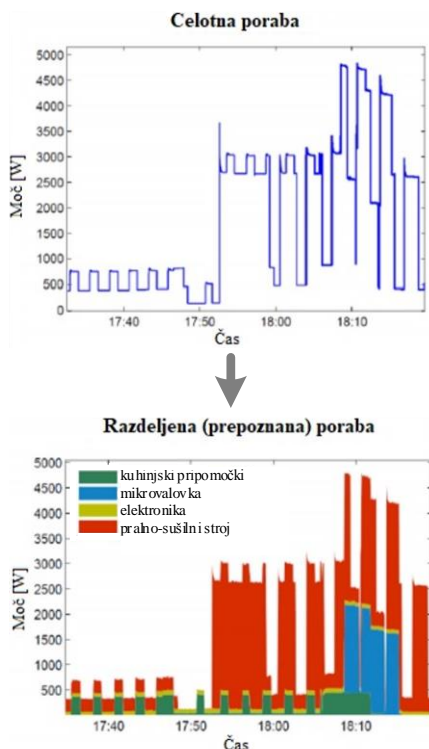
Eden od večjih porabnikov EE so toplotne črpalke (TČ). Njihova priljubljenost in uporaba naraščata. Kjer je prisotna TČ za ogrevanje prostorov, ta porabi največ EE v gospodinjstvu. S svojo množičnostjo bi lahko torej precej vplivale na obremenitve omrežja, tako s porabo kot tudi z zagonskimi tokovi in prispevkom h kratkostičnemu toku. Posledično bi bilo na primer treba faktor istočasnosti, ki se ga upošteva pri načrtovanju distribucijskih omrežij, prilagoditi, saj bi v mrzlih dneh obratovale vse TČ hkrati, prispevek TČ h kratkostičnemu toku je glede na trenutno veljavne

standarde treba upoštevati, ko je vsota vseh nazivnih tokov TČ večja od 1 % začetnega kratkostičnega toka omrežja brez TČ, itd. Prepoznavanje prisotnosti TČ na posameznih odjemnih mestih je pri tem ključnega pomena – in temu je posvečen ta članek.

V članku najprej sledita kratek opis in pregled literature na temo prepoznavanja porabe, v poglavju 3 prikazujemo trende v vgrajevanju TČ v Sloveniji in po svetu, poglavje 4 vsebuje opis pametnih omrežij in pametnih števecov, v poglavju 5 je prikazan princip prepoznavanja TČ, v poglavju 6 pa je zapisan zaključek.

2 PREPOZNAVANJE PORABE

Prepoznavanje porabe električnih naprav v skupni porabi gospodinjstev je ena izmed zanimivejših stvari, ki bi jih lahko omogočili pametni števci. V Sloveniji s tem še nimamo veliko izkušenj. V tujini je ta možnost znana pod različnimi imeni, kot so »energy disaggregation«, »load disaggregation«, »power disaggregation« in »Nonintrusive load monitoring«. Na to temo je bilo zunaj naših meja napisanih precej člankov in raziskav [1]–[7]. V najosnovnejši razlagi gre za ločevanje celotne skupne porabe nekega odjema (npr. gospodinjstva) na porabe posameznih naprav v gospodinjstvu. Osnovni prikaz rezultata prepoznavanja porabe vidimo na sliki 1, kjer iz skupne porabe (levo) prepoznamo posamezna bremena, ki ustvarjajo to porabo. Poleg analiziranja časovnega poteka delovne moči je lahko v pomoč pri prepoznavanju bremen tudi razmerje med delovno in jalovo močjo [8]–[10].



Slika 1: Vizualni prikaz prepoznavanja oziroma ločevanja porabe na posamezna bremena v objektu.

Pri 15-minutnem odčitavanju porabljene energije smo pri prepoznavanju porabe bistveno bolj omejeni in prepoznavanja bremen na podlagi izklopov in vklopov posameznih naprav ne moremo izvesti.

3 TOPLOTNE ČRPALKE

Princip delovanja toplotnih črpalk (TČ) je znan že od prve polovice 19. stoletja, besedna zveza toplotna črpalka (angl. heat pump) pa se je skovala v 20. letih prejšnjega stoletja, ko so v ZDA in Veliki Britaniji izvedli prve sisteme takega ogrevanja. Pospesena raba TČ sega v 70. leta prejšnjega stoletja, v čas prve velike naftne krize, vendar je ta zaradi (slabih) izvedb in tehničnih rešitev po koncu krize upadla. Zanimanje za TČ je ponovno vzniknilo v začetku 90. let z vse večjo ekološko zavestjo med prebivalstvom (posebno v razvitih državah) ter razvojem novih tehnologij in tehničnih rešitev na področju TČ, ki so prinesle večjo učinkovitost, zmanjšanje dimenzij, mase in hrupa [11].

V Sloveniji je ogrevanje s TČ v porastu in je prva izbira tistih, ki se odločajo za gradnjo nepremičnin. Glede na podatke s spleta [11]–[13] se v Sloveniji na leto vgradi od 3.000 do 4.000 TČ – največ tipa zrak/voda, več kot 80 % – kar je glede na evropske države malo, po drugi strani pa je potencial za nove vgradnje toliko večji, saj je v svetovnem merilu prisoten močan trend naraščanja vgradnje TČ [14]–[17]. Tako lahko pričakujemo, da bodo imele toplotne črpalke vedno večji delež v porabi električne energije in vpliv na obremenitev distribucijskih omrežij.

4 PAMETNA OMREŽJA IN PAMETNI ŠTEVCJI

Obstoječi elektroenergetski sistem (EES) že dolgo uspešno služi uporabnikom. V osnovi obsega proizvodnjo električne energije (EE) v elektrarnah, prenosno in distribucijsko omrežje ter odjemalce EE. Ta sicer dobro delujoča in zanesljiva »tvorba« (kot so današnjem času sooča s številnimi novimi izzivi (se s naraščanjem porabe, višje konične obremenitve, starajoča se infrastruktura, prostorske omejitve in s tem povezane težave z umeščanjem objektov v prostor, okoljska problematika), med katere spada tudi učinkovito vključevanje novih elementov, kot so razpršeni viri električne energije, električna vozila in tudi toplotne črpalke, katerih porast se pričakuje v prihodnosti. Njihova umestitev je z mnogo vidikov dobrodošla, vendar lahko po drugi strani vsi ti elementi s svojo množičnostjo in razpršenostjo povzročijo veliko težav v EES oziroma v distribucijskem in tudi prenosnem omrežju (težave pri regulaciji napetosti in vzdrževanju njene kakovosti, zaradi virov, odvisnih od vremena, nastanejo težave pri izenačevanju porabe in proizvodnje, kar manjša stabilnost omrežja, vnašanje motenj, tok energije je bolj nenapovedljiv in se veliko bolj spreminja po velikosti in smeri, dvosmerni pretoki moči, spremenjeni faktorji istočasnosti, težave pri zagotavljanju selektivnosti zaščite, s povečevanjem

deleža razpršenih virov se povečuje kratkostična moč itd.).

Pametno omrežje je termin, ki je neposreden prevod angleškega termina SmartGrids in ga za slovenski prostor definiramo kot elektroenergetsko omrežje (EEO), ki lahko stroškovno učinkovito vključuje vse proizvodne vire, odjemalce in tiste, ki so oboje, s ciljem ekonomsko učinkovitega trajnostnega sistema z nizkimi izgubami in visokim nivojem zanesljivosti, kakovosti in varnosti dobave EE. Koncept pametnih omrežij v učinkovito celoto vključuje posamezne elemente sistema, tako klasične (velike proizvodne enote, prenosno in distribucijsko omrežje) kot tudi nove elemente, kot so razpršeni proizvodni viri EE, napredni sistemi merjenja, odjemalci z možnostjo prilagajanja porabe, električni avtomobili in hranilniki EE. Med drugim je cilj uporabnikom omogočiti aktivno vlogo v distribucijskem oziroma celotnem sistemu [18]–[20].

Eden od osnovnih elementov pametnih omrežij je sistem naprednega merjenja oziroma napredni merilni sistem (NMS) (angl. Advanced Metering System (AMS) ali Advanced Metering Infrastructure (AMI)), katerega osnovni element (gradnik) je sodobni tako imenovani pametni (elektronski) števec. NMS v najširši mogoči obliki zajema sistemske (pametne) števece, pripadajočo informacijsko infrastrukturo in informacijskotehnološke sisteme, ki omogočajo merjenje, daljinsko odčitavanje in upravljanje podatkov o rabi EE, drugih energentov in pitne vode za namene obračunavanja, spremljanja kakovosti oskrbe ter obratovanja in načrtovanja distribucijskih omrežij [21]. Prepoznavanje porabe električnih naprav v končnih porabah gospodinjstev je ena izmed zanimivejših stvari, ki jih omogočajo pametni števeci s svojo 15-minutno ločljivostjo merjenja porabe EE, in je predstavljena v nadaljevanju.

5 PREPOZNAVANJE PORABE

5.1 Delo s podatki

Meritve posameznih pametnih števcov smo dobili v tekstovni obliki in jih obdelali v programu Excel s pomočjo vrtilnih tabel in grafikonov. Tudi sicer je Excel pogosta izbira zaposlenih v elektrodistribucijskih podjetjih, ko imajo opravka z veliko količino podatkov. Polja vrtilne tabele smo uredili tako, da smo s filtri preprosto izbirali zelene datume, merilna mesta in tip merilnega podatka. Tako smo za želeni dan izpisali porabo v 15-minutnih intervalih, hkrati pa smo še preverjali, ali so vsi podatki na izbrani datum veljavni, ter izračunali skupno dnevno porabo. Z vrtilnimi grafiki smo še grafično izrisovali dnevno porabo.

5.2 Princip prepoznavanja porabe toplotne črpalke

Princip prepoznavanja toplotne črpalke v podatkih o porabi EE temelji na razliki med izmerjeno dnevno porabo EE v mrzlih dneh (W_M), ko TČ zelo verjetno

deluje, in izmerjeno dnevno porabo EE v zmerno toplih dneh (W_T), ko TČ zelo verjetno ne deluje ne za ogrevanje ne za hlajenje. Poleg podatka o porabi energije smo torej potrebovali tudi podatek o dnevni zunanji temperaturi.

Pri določanju principa prepoznavanja smo se najprej osredotočili na razmerje med W_M in W_T , ki bi nedvoumno razmejilo porabo s TČ in brez nje, potem pa še na število upoštevanih mrzlih in zmerno toplih dni, ki bi prej omenjeno razmerje med W_M in W_T definiralo čim bolj zanesljivo.

Da bi bili rezultati čim bolj zanesljivi, upoštevamo naslednje:

- upoštevamo le dneve, v katerih so vse meritve veljavne;
- med seboj primerjamo iste dneve za vse odjemalce;
- iz primerjave izločimo šolske počitnice (nekateri so lahko doma, drugi gredo na počitnice);
- zaradi faktorja naključnosti je dobro, da so izbrani dnevi čim bolj razpršeni v zimskem času (za W_M) oziroma jeseni in pomladi (za W_T).

Princip prepoznavanja porabe TČ smo analizirali na podlagi porabe 12 merilnih mest, od katerih so na 4 mestih TČ, na preostalih 8 pa jih ni. Prepoznavanje TČ iz porabe energije smo izvedli za različno število opazovanih dni: a) za 4 mrzle in 4 zmerno tople dni ter b) za 12 mrzlih in 12 zmerno toplih dni.

5.3 Analiza porabe za 4 mrzle in zmerno tople dni

V tabelah 1 in 2 so prikazane temperature za izbrane mrzle in zmerno tople dneve.

Tabela 1: Temperatura na 4 izbrane mrzle dni.

	Povprečna temp. [°C]	Temp. ob 7.00 [°C]	Temp. ob 14.00 [°C]	Temp. ob 21.00 [°C]
19. 12. 2017 (torek)	-0,8	-5,9	7,4	-2,3
28. 2. 2018 (sreda)	-3,5	-7,8	0,1	-3,1
18. 1. 2018 (četrtek)	1,7	-3,9	9,8	0,4
4. 3. 2018 (nedelja)	4	-1,3	11,1	3,1

Tabela 2: Temperatura na 4 izbrane zmerno tople dni.

	Povprečna temp. [°C]	Temp. ob 7.00 [°C]	Temp. ob 14.00 [°C]	Temp. ob 21.00 [°C]
8. 5. 2018 (torek)	21,4	19,9	26	19,8
18. 4. 2018 (sreda)	20,2	17,3	25,4	19
14. 9. 2017 (četrtek)	19,5	14,7	20,2	21,6
15. 4. 2018 (nedelja)	18,9	19,7	23,3	16,2

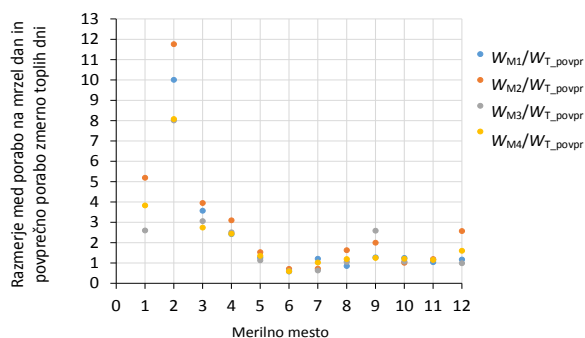
Za zgoraj omenjene dni prikazujemo porabljeno dnevno energijo v tabeli 3. Dnevna energija 4 mrzlih dni je za vseh 12 merilnih mest zapisana v stolpcih W_{M1} do

W_{M4} , dnevna energija 4 zmerno toplih dni je v stolpcih W_{T1} do W_{T4} , zadnji stolpec W_{T_povpr} pa prikazuje povprečno porabo zmerno toplih dni.

Tabela 3: Dnevne porabe merilnih mest na izbrane dni.

Merilno mesto	W_{M1}	W_{M2}	W_{M3}	W_{M4}	W_{T1}	W_{T2}	W_{T3}	W_{T4}	W_{T_povpr}
1	38,37	60,14	30,10	44,34	7,98	12,40	18,06	7,88	11,58
2	56,14	65,95	44,96	45,32	5,11	5,37	5,57	6,38	5,61
3	76,05	84,11	65,17	58,39	18,42	20,12	29,64	17,10	21,32
4	51,88	66,49	53,84	52,36	23,10	18,97	17,31	26,38	21,44
5	33,56	40,79	29,97	36,02	16,96	29,18	19,26	41,07	26,62
6	5,10	6,22	5,35	5,12	7,55	9,80	10,06	7,45	8,72
7	14,30	8,58	7,72	12,04	8,86	8,71	13,30	16,57	11,86
8	12,24	23,34	15,08	17,07	13,85	14,75	14,59	14,11	14,33
9	7,36	11,48	14,86	7,17	5,05	5,48	8,51	3,92	5,74
10	11,40	9,24	9,71	11,04	8,36	7,21	9,75	11,13	9,11
11	19,94	22,89	22,09	21,98	22,68	14,62	21,29	18,12	19,18
12	15,58	34,11	13,19	21,19	12,47	12,69	11,55	16,31	13,26

V nadaljevanju za vsako merilno mesto primerjamo porabo posameznega mrzlega dne s povprečno porabo zmerno toplih dni. Rezultate grafično prikazuje diagram na sliki 2. Na vodoravni osi so posamezna merilna mesta od 1 do 12, na navpični osi je razmerje med porabo mrzlega dne in povprečno porabo zmerno toplih dni.

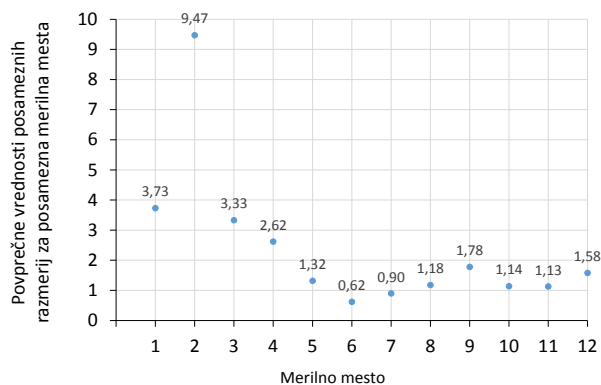


Slika 2: Razmerje med dnevno porabo mrzlih in povprečjem porabe zmerno toplih dni za posamezna merilna mesta.

Iz rezultatov je razvidno, da je pri odjemalcih s TČ (merilna mesta 1 do 4) razmerje W_M/W_{T_povpr} večinoma večje od razmerij pri odjemalcih brez TČ (merilna mesta 5 do 12), a ne vedno. Za posamezen dan je lahko razmerje W_M/W_{T_povpr} pri odjemalcu s TČ manjše od razmerja pri odjemalcu brez TČ, na primer na merilnem mestu 4, ki vključuje TČ, je razmerje na tretji mrzli dan (W_{M3}/W_{T_povpr}) manjše od razmerja na ta dan na merilnem mestu 9 (W_{M9}/W_{T_povpr}), ki nima TČ.

Rezultat pa postane bolj jasen, če primerjamo povprečno porabo vseh mrzlih dni s povprečno porabo vseh zmerno toplih dni. Tako dobimo za vsako merilno mesto en sam rezultat, kot prikazuje slika 3. V tem primeru znaša najmanjše razmerje pri odjemalcih s TČ 2,62, pri odjemalcih brez TČ pa največje razmerje znaša 1,78.

Na podlagi teh rezultatov lahko določimo vrednost razmerja, ki bi jo lahko uporabili za razločevanje med odjemalci s TČ in brez TČ. Glede na zgornje rezultate je sredina med najmanjšim razmerjem med odjemalci s TČ (2,62) in največjim razmerjem med odjemalci brez TČ (1,78) vrednost 2,2. Z drugimi besedami, v nadaljevanju bi prisotnost TČ pri neznanih odjemalcih lahko določili tako, da bi primerjali povprečno porabo v mrzlih dneh s povprečno porabo v zmerno toplih dneh; če je razmerje večje od 2,2, lahko sklepamo, da odjemalec ima TČ, če je razmerje manjše od 2,2, pa odjemalec nima TČ.



Slika 3: Razmerje med povprečno dnevno porabo mrzlih in povprečno porabo zmerno toplih dni za posamezna merilna mesta.

5.4 Analiza porabe za 12 mrzlih in zmerno toplih dni

V nadaljevanju želimo ugotoviti, ali lahko z upoštevanjem več mrzlih in zmerno toplih dni bolje razlikujemo med odjemalci s TČ in brez nje. Po eni strani večje število dni bolje zajame dejansko porabo, po drugi strani pa zelo mrzlih dni v letu ni tako veliko in se povprečna poraba v mrzlih dneh z večanjem števila upoštevanih dni zmanjšuje.

Temperaturni podatki za dodatnih 8 dni, ki smo jih dodali 4 dnevom iz prejšnjega podpoglavja za mrzle in zmerno tople dni so zbrani v tabelah 3 in 4. Pri izbiri dni se nismo omejili samo na delovne dni, ampak smo upoštevali vse dni v tednu.

Tabela 3: Temperatura na 8 dodatnih izbranih mrzlih dni.

	Povprečna temp. [°C]	Temp. ob 7.00 [°C]	Temp. ob 14.00 [°C]	Temp. ob 21.00 [°C]
18. 12. 2017 (ponedeljek)	-1,2	-4,9	7,7	-3,8
6. 2. 2018 (torek)	3,2	-3,1	8,6	3,7
20. 12. 2017 (sreda)	-0,5	-2,8	7,6	-3,4
21. 12. 2017 (četrtek)	0,8	-6,4	8,4	0,5
1. 3. 2018 (četrtek)	-1,6	-3,5	-1,5	-0,7
22. 12. 2017 (petek)	1,5	-3	9,7	-0,3
20. 1. 2018	3,8	-2,4	9,4	4

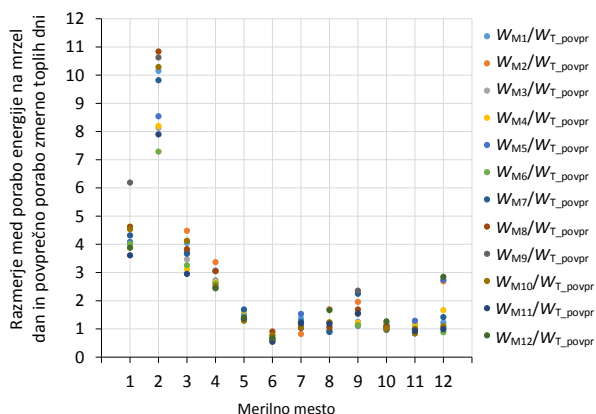
(sobota)				
11. 2. 2018 (nedelja)	1	-1	7,9	-1,5

Tabela 4: Temperatura na 4 izbrane zmerno tople dni.

	Povprečna temp. [°C]	Temp. ob 7.00 [°C]	Temp. ob 14.00 [°C]	Temp. ob 21.00 [°C]
11. 9. 2017 (ponedeljek)	19,1	18,1	21,7	18,3
17. 4. 2018 (torek)	16,9	16,2	22,8	14,2
9. 5. 2018 (sreda)	16,2	17,9	17,8	14,5
10. 5. 2018 (četrtek)	17,7	15,4	25,2	15
7. 9. 2017 (četrtek)	18,4	17,6	20,2	17,8
20. 4. 2018 (petek)	19,1	13,9	28	17,2
5. 5. 2018 (sobota)	19,2	17,8	23,8	17,6
6. 5. 2018 (nedelja)	22,3	18,1	26,9	22

Nadaljnja analiza za 12 dni poteka podobno, kot je predstavljeno v prejšnjem podpoglavju za 4 dni, le da smo pri vsakem merilnem mestu izločili minimalno in maksimalno izmerjeno vrednost porabe EE tako pri mrzlih kot tudi pri zmerno toplih dneh. S tem smo želeli izločiti izjemne dogodke posameznega odjemalca, ki ne kažejo tipične porabe, na primer ko uporabnika ni bilo doma ali pa je na dan, ko je navadno v službi, ostal doma in tako povečal porabo, praznovanja, druženja pozno v noč, uporaba strojev in naprav, ki jih navadno ne uporablja, itd.

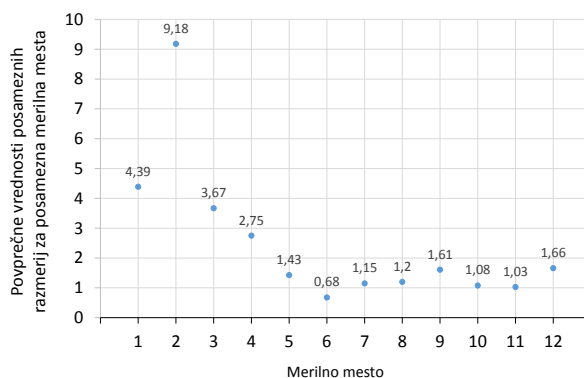
Za vsako merilno mesto primerjamo porabo posameznega mrzlega dne s povprečno porabo zmerno toplih dni. Rezultate grafično prikazuje diagram na sliki 4. Na vodoravni osi so posamezna merilna mesta od 1 do 12, na navpični osi pa razmerje med porabo mrzlega dne in povprečno porabo zmerno toplih dni.



Slika 4: Razmerje med dnevno porabo mrzlih in povprečno porabo zmerno toplih dni za posamezna merilna mesta.

Če primerjamo povprečno porabo vseh mrzlih dni s povprečno porabo vseh zmerno toplih dni, dobimo za

vsako merilno mesto en sam rezultat, kot prikazuje slika 5. Iz rezultatov lahko ugotovimo, da so se razmerja porabe pri večjem številu primerjalnih dni pri 3 odjemalcih s TČ še povečala, razen pri merilnem mestu 3, ki pa ima že tako ali tako visoko razmerje porabe. Pri odjemalcih brez TČ se v nekaterih primerih trend razvija v obratni smeri, tako se je nekaterim odjemalcem brez TČ to razmerje pri povečevanju dni za analizo še zmanjšalo. Na merilnem mestu 9, ki je imelo v prvem delu največjo razliko porabe med mrzlimi in zmerno toplimi dnevi (1,78), se je to razmerje z upoštevanjem več dni zmanjšalo na 1,61. Razlika med minimalno vrednostjo razmerij pri odjemalcih s TČ (merilno mesto 4: 2,75) in maksimalno pri odjemalcih brez TČ (merilno mesto 12: 1,61) se je v primerjavi z upoštevanjem 4 dni povečala in pri 12 obravnavanih dneh znaša 1,09. To pomeni, da je za ugotavljanje prisotnosti TČ pri odjemalcih bolj zanesljivo, če upoštevamo večje število dni. Aritmetična sredina obeh vrednosti (2,75 in 1,61), ki predstavlja vrednost za ločevanje odjemalcev s TČ in brez nje, pa se v primerjavi z upoštevanjem samo 4 dni ni spremenila, še vedno znaša 2,2.



Slika 5: Razmerje med povprečno dnevno porabo 12 mrzlih in povprečno porabo 12 zmerno toplih dni za posamezna merilna mesta.

6 ZAKLJUČEK

Glavna ugotovitev analize, ki jo obravnava članek, je, da lahko na podlagi obstoječih 15-minutnih meritev porabe električne energije določimo, ali ima odjemalec toplotno črpalko za ogrevanje prostorov.

Prepoznavanje prisotnosti toplotne črpalke temelji na razliki v dnevni porabi EE na mrzle in zmerno tople dni. Članek ugotavlja tudi, koliko mrzlih in zmerno toplih dni upoštevati pri analizi. Najprej smo upoštevali podatke o porabi za 4 mrzle in 4 zmerno tople dni, potem pa še za 12 mrzlih in 12 zmerno toplih dni. Rezultati kažejo, da upoštevanje 12 dni daje bolj zanesljive rezultate. Vrednost razmerja med porabo zimskih in zmerno toplih dni, ki ga določimo kot mejo med odjemalci s toplotno črpalko in brez nje, znaša 2,2, tako pri analizi 4 kot tudi pri analizi 12 dni.

Pri principu prepoznavanja prisotnosti toplotne črpalke bi lahko v nadaljevanju poiskali še optimalno število dni za analizo, kar pa bi seveda veljalo samo za izbran nabor podatkov.

LITERATURA

- [1] G. W. Hart, "Nonintrusive appliance load monitoring", *Proceedings of the IEEE*, 80(12), str. 1870–1891, 1992.
- [2] E. J. Aladedanmi in K. A. Folly, "Overview of non-intrusive load monitoring and identification techniques", *IFAC – PapersOnLine* 48(30), str. 415–420, 2015.
- [3] O. Hamid et al., "Automatic recognition of electric loads analyzing the characteristics parameters of the consumed electric power through a Non-intrusive monitoring methodology", *Energy Procedia*, 119, str. 742–751, 2017.
- [4] S. Welikala et al., "Implementation of a robust real-time non-intrusive load monitoring solution", *Applied Energy*, 238, str. 1519–1529, 2019.
- [5] Q. Yuan et al., "A Fusion Load Disaggregation Method Based on Clustering Algorithm and Support Vector Regression Optimization for Low Sampling Data", *Future Internet*, 11(2), str. 1–13, 2019.
- [6] H. Wang et al., "An Optimal Load Disaggregation Method Based on Power Consumption Pattern for Low Sampling Data", *Sustainability*, 11(1), str. 251–167, 2019.
- [7] M. Mejari et al., "Energy Disaggregation using Piecewise Regression and Binary Programming", *2018 IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, 2018.
- [8] Yung Fei Wong et al., "Recent approaches to non-intrusive load monitoring techniques in residential setting", *2013, IEEE, Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG)* str. 73–79, 2013.
- [9] I. Abubakar et al., "An overview of Non-intrusive load monitoring methodologies", *2015, IEEE, Conference on Energy Conversion (CENCON)*, 2015.
- [10] M. Zhuang, M. Shahidehpour in Z. Li, "An overview of Non-intrusive Load Monitoring: Approaches, Business Applications, and Challenges", *2018, International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 2018.
- [11] T. Čater in M. Kostanjevec, "Tržni potencial in trendi v panogi toplotnih črpalk za stanovanjsko gradnjo v Sloveniji", *AR. Arhitektura, raziskave*, 18(3), str. 6–17, 2017.
- [12] Spletno mesto: <https://www.termoshop.si/energetski-koncept-slovenije-in-trg-toplotnih-crpalk#>.
- [13] Y. Jodeh, "Kakšna toplotna črpalka je primerna za radiatorsko ogrevanje" *Varčujem z energijo*, 2019.
- [14] Spletno mesto: <https://www.ehpa.org/market-data/>.
- [15] Spletno mesto: <https://www.ehpa.org/about/news/article/german-market-continues-its-growth-path/>.
- [16] Spletno mesto: <https://www.ehpa.org/about/news/article/heat-pump-sales-2018-in-finland-shot-up-by-22-investments-exceed-half-a-billion/>.
- [17] Spletno mesto: <https://www.iea.org/tcep/buildings/heating/heatpumps/>
- [18] Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani in Elektroinštitut Milan Vidmar, "Program razvoja pametnih omrežij", *SODO*, 2012.
- [19] Elektroinštitut Milan Vidmar, "Reguliranje na področju pametnih omrežij: analiza stanja in priprava izhodišč za uvajanje reguliranja", *Agencija za energijo*, 2016.
- [20] Sistemski operater distribucijskega omrežja z električno energijo, "Razvojni načrt distribucijskega sistema električne energije v Republiki Sloveniji od leta 2019 do 2028", *SODO*, 2018.
- [21] Elektroinštitut Milan Vidmar in Univerza v Mariboru, "Načrt uvedbe naprednega merilnega sistema v elektrodistribucijski sistem Slovenije", *SODO*, 2016.

Valentin Ažbe je leta 1996 diplomiral, leta 2003 magistriral in leta 2005 doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Leta 2000 se je zaposlil na Fakulteti za elektrotehniko kot mladi raziskovalec. Raziskovalno delo opravlja v Laboratoriju za preskrbo z električno energijo. Od leta 2005 je zaposlen kot asistent na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani in od leta 2015 tudi kot predavatelj. Ukvarja se z analizo elektroenergetskih sistemov in naprav FACTS.

Jan Fortunat je leta 2019 diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani in se vpisal na magistrski študij na isti fakulteti, smer elektroenergetika.