



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne
instalacije

**OTOČNO OBRATOVANJE
NIZKONAPETOSTNEGA OMREŽJA
TRANSFORMATORSKE POSTAJE
LUČE URTELJ**

Mentor: Matjaž Bobnar, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Nataša Bele, prof. slov.

Kandidat: Robert Kolar

Ljubljana, april 2021

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Matjažu Bobnarju, univ. dipl. inž. el., za strokovno pomoč, potrpežljivost in spodbudo pri nastajanju diplomske naloge.

Hvala podjetju Elektro Celje, d. d., ki mi je omogočilo študij ter uporabo meritev in zapiskov iz arhiva.

Hvala tudi dr. Miranu Rošerju ml., ki mi je pomagal pri izdelavi in pridobivanju podatkov za diplomsko nalogo.

IZJAVA

Študent Robert Kolar izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom Matjaža Bobnarja, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Transformatorska postaja Luče Urtelj je podeželska postaja z zelo razvejanim in dolgim omrežjem. Ob vremenskih neprilikah je zaradi zahtevnega terena velikokrat brez električne energije. Zato se je v sklopu EU projektov Compile za to postajo izvedel projekt X-flex, v katerem sodelujeta tudi Elektro Celje in Petrol. Namen projekta je, da se na to postajo priklopi baterija, ki bo podpirala nizkonapetostne izvode, na katerih so male sončne elektrarne, in se bo na ta način povečala samooskrba.

KLJUČNE BESEDE

- Compile
- X-flex
- električna energija
- baterija
- transformatorska postaja Luče Urtelj

ABSTRACT

Transformer station Luče Urtelj is a rural station with a very branched out and long grid. In harsh weather conditions, it is often without electricity due to the difficult terrain. Therefore, as part of the EU Compile projects, the X-flex project was implemented for this station, in which Elektro Celje and Petrol also participate. The purpose of the project is to connect a battery energy storage system to this station, which will support low-voltage outlets on which there are small PV units, and increase self-sufficiency.

KEYWORDS

- Compile
- X-flex
- electrical energy
- battery
- transformer station Luče Urtelj

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge	1
1.3	Metode dela	1
2	TEORETIČNE OSNOVE	1
2.1	Opis obravnavanega nizkonapetostnega (NN) omrežja.....	1
2.2	Opis funkcij baterijskega sistema	3
2.3	Omejevanje (»rezanje«) konične obremenitve	4
2.4	Otočno obratovanje nizkonapetostnega omrežja.....	6
2.5	Sončne elektrarne	6
3	CILJ NALOGE	8
3.1	Napetostni profil, ko sončne elektrarne obratujejo z neznatno močjo	11
3.2	Napetostni profil, ko sončne elektrarne ne obratujejo, deluje pa baterijski hranilnik	17
3.3	Napetostni profil, ko sončne elektrarne obratujejo z znatno močjo	20
3.4	Napetostni profil ob otočnem obratovanju	32
4	SPREMEMBA NIZKONAPETOSTNEGA OMREŽJA PO PRIKLOPU BATERIJE	47
4.1	Opis sprememb nn.....	47
5	ZAKLJUČEK	48
6	LITERATURA IN VIRI	50

KAZALO SLIK

Slika 1:	Enočrtna shema priklučitve NN izvodov in priklučitve baterijskega hranilnika (BESS) v TP Luče Urtelj.....	3
Slika 2:	Omejevanje konične obremenitve z baterijskim sistemom	4
Slika 3:	Oblikovani diagram konične obremenitve z baterijskim sistemom.....	5
Slika 4:	Moč sončnega obsevanja za lokacijo Luče med šestnajstim in devetnajstim novembrom 2020	7
Slika 5:	Geografski potek NN izvodov i16 Krnica biomasa, i17 Metul in i19 Kotlovnica biomasa z označenimi točkami, kjer bomo opazovali napetostne razmere.....	9
Slika 6:	Časovni potek skupne trifazne moči P_{i16} na NN izvodu i16	10
Slika 7:	Časovni potek trifazne moči P_{bs} na izvodu za baterijski sistem	11
Slika 8:	Časovni potek moči P_{i16} ter moči sončnih elektrarn P_{m1} , P_{m2} , P_{m3} in P_{m4} v točkah m1, m2, m3 in m4 za izrez 2	12
Slika 9:	Časovni potek moči P_{lm} na ločilnem mestu l_m za izrez 2.....	12
Slika 10:	Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki ločilnega mesta v transformatorski postaji za izrez 2	13

Slika 11: Časovni potek napetosti U_{L1-m1} , U_{L2-m1} in U_{L3-m1} v merilni točki m1 ter potek napetosti U_{L1-m2} , U_{L2-m2} in U_{L3-m2} v merilni točki m2 za izrez 2.....	13
Slika 12: Časovni potek napetosti U_{L1-m3} , U_{L2-m3} in U_{L3-m3} v merilni točki m3 ter potek napetosti U_{L1-m4} , U_{L2-m4} in U_{L3-m4} v merilni točki m4 za izrez 2.....	14
Slika 13: Izmerjene moči P_{L1-i16} , P_{L2-i16} , P_{L3-i16} posameznih faz na izvodu i16 za izrez 2.....	15
Slika 14: Časovni potek napetosti faze L1 U_{L1-lm} , U_{L1-m1} in U_{L1-m4} vzdolž izvoda i16 v merilnih točkah lm, m1 in m4 za izrez 2.....	15
Slika 15: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti za Okno 1 na ločilnem mestu lm ter v točkah m1, m2, m3 in m4.....	16
Slika 16: Časovni potek moči P_{i17} in P_{lm} ter moči sončnih elektrarn P_{m5} , P_{m6} in P_{m7} v točkah m5, m6 in m7 za izrez 3.....	17
Slika 17: Časovni potek moči baterijskega sistema P_{bs} za področje izreza 3.....	18
Slika 18: Izmerjene moči P_{L1-i17} , P_{L2-i17} , P_{L3-i17} posameznih faz na izvodu i17 za področje izreza 3.....	18
Slika 19: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki lm ter potek napetosti U_{L1-m5} , U_{L2-m5} in U_{L3-m5} v merilni točki m5 za področje izreza 3.....	19
Slika 20: Časovni potek napetosti U_{L1-m6} , U_{L2-m6} in U_{L3-m6} v merilni točki m6 ter potek napetosti U_{L1-m7} , U_{L2-m7} in U_{L3-m7} v merilni točki m7 za področje izreza 3.....	19
Slika 21: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na ločilnem mestu ter v točkah m5, m6 in m7.....	20
Slika 22: Prikaz vozlišča B s pripadajočimi izvodi.....	21
Slika 23: Časovni potek moči P_{lm} na ločilnem mestu lm za območje izreza 4.....	22
Slika 24: Časovni potek moči baterijskega hranilnika P_{bs} v točki C za območje izreza 4.....	22
Slika 25: Časovni potek moči P_{i15} , P_{i16} , P_{i17} in P_{i19} na izvodih iz zbiranke B za območje izreza 4.....	23
Slika 26: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki ločilnega mesta v transformatorski postaji za območje izreza 4.....	23
Slika 27: Časovni potek napetosti U_{L1-m1} , U_{L2-m1} in U_{L3-m1} v merilni točki m1 ter potek napetosti U_{L1-m2} , U_{L2-m2} in U_{L3-m2} v merilni točki m2 za območje izreza 4.....	24
Slika 28: Časovni potek moči P_{m1} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m1 in moči P_{m2} v merilni točki m2 za območje izreza 4.....	25
Slika 29: Časovni potek napetosti U_{L1-m3} , U_{L2-m3} in U_{L3-m3} v merilni točki m3 ter potek napetosti U_{L1-m4} , U_{L2-m4} in U_{L3-m4} v merilni točki m4 za območje izreza 4.....	25
Slika 30: Časovni potek moči P_{m3} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m3 in moči P_{m4} v merilni točki m4 za območje izreza 4.....	26
Slika 31: Izmerjene moči P_{L1-i16} , P_{L2-i16} , P_{L3-i16} posameznih faz na izvodu i16 za področje izreza 4.....	26
Slika 32: Časovni potek napetosti faze L1 U_{L1-lm} , U_{L1-m1} in U_{L1-m4} vzdolž izvoda i16 v merilnih točkah lm, m1 in m4 za področje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri.....	27
Slika 33: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti za Okno 2 na ločilnem mestu lm ter v točkah m1, m2, m3 in m4.....	28

Slika 34: Izmerjene moči P_{L1-i17} , P_{L2-i17} , P_{L3-i17} posameznih faz na izvodu i17 za področje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri.....	29
Slika 35: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki lm ter potek napetosti U_{L1-m5} , U_{L2-m5} in U_{L3-m5} v merilni točki m5 za področje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri.....	29
Slika 36: Časovni potek moči P_{i17} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki lm in moči P_{m5} v merilni točki m5 za območje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri.....	30
Slika 37: Časovni potek napetosti U_{L1-m6} , U_{L2-m6} in U_{L3-m6} v merilni točki m6 ter potek napetosti U_{L1-m7} , U_{L2-m7} in U_{L3-m7} v merilni točki m7 za področje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri.....	30
Slika 38: Časovni potek moči P_{m6} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m6 in moči P_{m7} v merilni točki m7 za območje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri.....	31
Slika 39: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na ločilnem mestu ter v točkah m5, m6 in m7	32
Slika 40: Prikaz vozlišča B s pripadajočimi izvodi ob NN otočnem obratovanju	34
Slika 41: Časovni potek moči P_{lm} na ločilnem mestu lm za območje izreza 1	34
Slika 42: Časovni potek moči baterijskega hranilnika P_{bs} v točki C za območje izreza 1	35
Slika 43: Časovni potek moči P_{i15} , P_{i16} , P_{i17} in P_{i19} na izvodih iz zbiralke B za območje izreza 1	36
Slika 44: Časovni potek frekvence v časovnem območju, ko se je testiralo otočno obratovanje	37
Slika 45: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki ločilnega mesta v transformatorski postaji za izrez 1	37
Slika 46: Časovni potek napetosti U_{L1-bs} , U_{L2-bs} in U_{L3-bs} v merilni točki baterijskega sistema v transformatorski postaji	38
Slika 47: Časovni potek napetosti U_{L1-m1} , U_{L2-m1} in U_{L3-m1} v merilni točki m1 ter potek napetosti U_{L1-m2} , U_{L2-m2} in U_{L3-m2} v merilni točki m2.....	38
Slika 48: Časovni potek moči P_{m1} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m1 in moči P_{m2} v merilni točki m2 za območje izreza 4.....	39
Slika 49: Časovni potek napetosti U_{L1-m3} , U_{L2-m3} in U_{L3-m3} v merilni točki m3 ter potek napetosti U_{L1-m4} , U_{L2-m4} in U_{L3-m4} v merilni točki m4 za območje izreza 1.....	40
Slika 50: Časovni potek moči P_{m3} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m3 in moči P_{m4} v merilni točki m4 za območje izreza 1.....	40
Slika 51: Izmerjene moči P_{L1-i16} , P_{L2-i16} , P_{L3-i16} posameznih faz na izvodu i16 za področje izreza 4.....	41
Slika 52: Časovni potek napetosti faze L1 U_{L1-bs} , U_{L1-m1} in U_{L1-m4} vzdolž izvoda i16 v merilnih točkah bs, m1 in m4 za področje izreza 1 ter ob vzpostavljanju otočnega obratovanja	41
Slika 53: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na zbiralki B ter v točkah m1, m2, m3 in m4 za izrez 1	42

Slika 54: Izmerjene moči P_{L1-i17} , P_{L2-i17} , P_{L3-i17} posameznih faz na izvodu i17 za področje izreza 1, ko so obratovali razpršeni viri in se je vzpostavljalo otočno obratovanje	43
Slika 55: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki lm ter potek napetosti U_{L1-m5} , U_{L2-m5} in U_{L3-m5} v merilni točki m5 za področje izreza 1	43
Slika 56: Časovni potek moči P_{i17} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki lm in moči P_{m5} v merilni točki m5 za območje izreza 4, za področje izreza 1	44
Slika 57: Časovni potek napetosti U_{L1-m6} , U_{L2-m6} in U_{L3-m6} v merilni točki m6 ter potek napetosti U_{L1-m7} , U_{L2-m7} in U_{L3-m7} v merilni točki m7 za področje izreza 4, za področje izreza 1	44
Slika 58: Časovni potek moči P_{m6} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m6 in moči P_{m7} v merilni točki m7 za območje izreza 1, za področje izreza 1	45
Slika 59: Časovni potek napetosti faze L1 U_{L1-bs} , U_{L1-m1} in U_{L1-m4} vzdolž izvoda i16 v merilnih točkah bs, m1 in m4 za področje izreza 1 ter ob vzpostavljanju otočnega obratovanja	45
Slika 60: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na zbiralki B ter v točkah m5, m6 in m7 za izrez 1	46
Slika 61: Stara priključna plošča	47
Slika 62: Nova ureditev v TP	48

KAZALO TABEL

Tabela 1: Prikaz dolžin in presekov vodnikov po segmentih	9
Tabela 2: Povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 v točkah lm, m1, m2, m3, m4 za Okno 1	16
Tabela 3: Povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 v točkah lm, m4, m6, m7 za izrez 3	20
Tabela 4: Povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 v točkah lm, m1, m2, m3, m4 za Okno 2	28
Tabela 5: Povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 v točkah lm, m5, m6, m7 za izrez 4	32

KRATICE IN AKRONIMI

TP: transformatorska postaja

NN: nizka napetost

BESS: Battery Energy Storage System – baterijski sistem za shranjevanje električne energije

TR: transformator

Q1-R12: stikalo

i15: številka izvoda

P: moč

kW: kilovat

EE: električna energija

Im: ločilno mesto

U: napetost

RV: razpršeni viri

m: merilna točka

L1, L2, L3: faza

NP: ničelni pretok

N1: nivo

Hz: herc (frekvenca)

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Transformatorska postaja Luče Urtelj je podeželska postaja, ki je bila zgrajena leta 1957 in je bila za tiste čase kar velika pridobitev za prebivalce Luč. Zaradi same lokacije transformatorske postaje in odjemalcev, ki so zelo odmaknjeni od samega vira, stalnega povečevanja odjema električne energije in modernizacije kmetij je to postalo velika težava. Leta 2000 smo veliko dolgih izvodov obnovili, jih kablirali in jim povečali preseke, vendar tudi to ni bilo dovolj. Zato je bilo smiselno transformatorski postaji dograditi baterijo in na izvodih, ki so zelo dolgi, postaviti male sončne elektrarne. V sklopu tega projekta smo transformatorsko postajo še precej avtomatizirali.

1.2 CILJI NALOGE

Cilj moje diplomske naloge je predstavitev samega obratovanja baterije na dotični transformatorski postaji in predstavitev različnih pogojev obratovanja baterijskega sistema v povezavi z izvodi, ki so podprti.

1.3 METODE DELA

V diplomski nalogi bomo opisali baterijski sistem, ki je priklopljen na transformatorsko postajo Luče Urtelj. Za predstavitev različnih scenarijev na teh izvodih bomo uporabljali predvsem meritve, ki prikazujejo delovanje baterije v točno določenem času, kaj se dogaja z baterijo in omrežjem. Vse to je prikazano tudi s časovnimi poteki, slikami in tabelami.

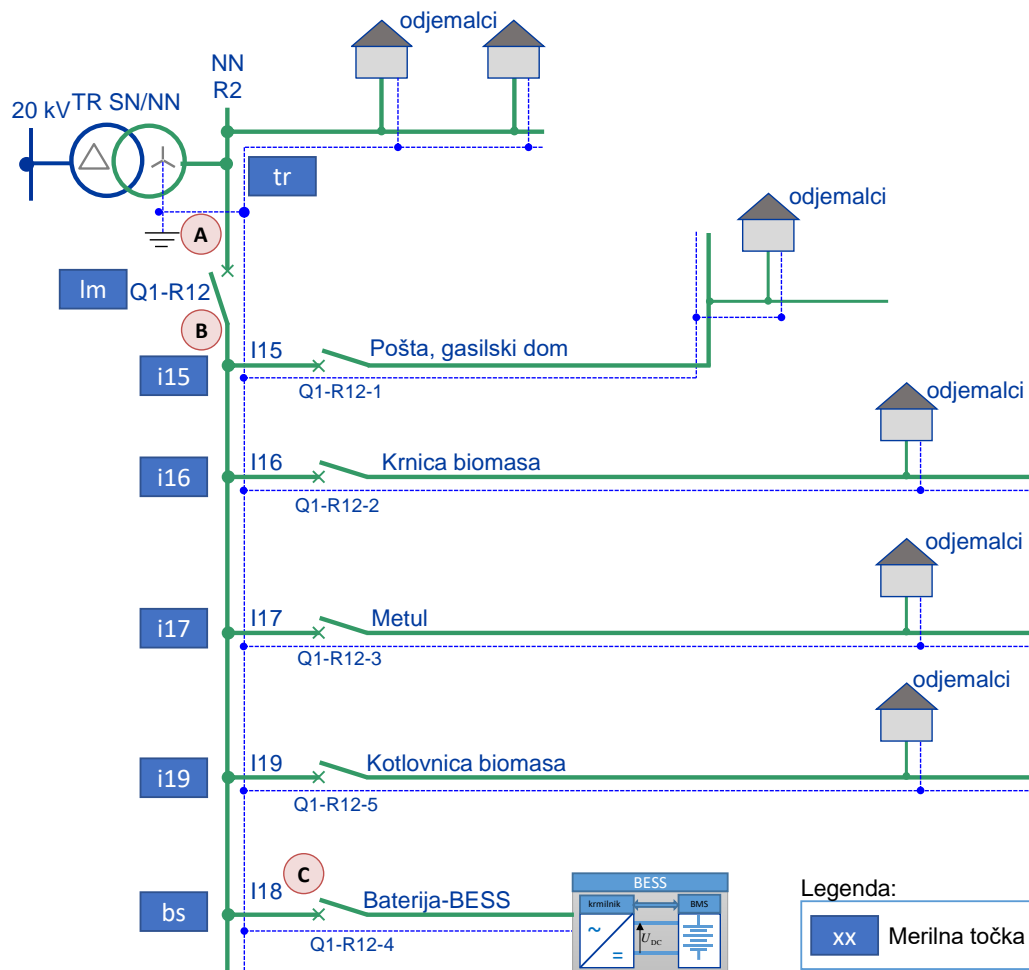
2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 OPIS OBRAVNAVANEGA NIZKONAPETOSTNEGA (NN) OMREŽJA

V diplomski nalogi bomo obravnavali gorsko vasico Luče. Osredotočili se bomo na del, ki ga napaja transformatorska postaja Luče Urtelj. Obravnavali bomo nizkonapetostne izvode, ki so del projektov, sofinanciranih s strani Evropske unije, to sta projekta Compile in X-flex. V sklopu teh dveh projektov se je v neposredni bližini transformatorske postaje namestil in priključil še baterijski hranilnik, ki poleg nekaterih drugih funkcionalnosti omogoča tudi otočno obratovanje manjšega dela NN omrežja. Slika 1 prikazuje enočrtno shemo priključitve NN izvodov in

baterijskega hranilnika (BESS) v TP Luče Urtelj. Iz enočrtne sheme je razvidno, da transformator (TR) napaja glavne NN zbiralke, na katere so priključeni odjemalci vasice Luče. Ta del je na enočrtni shemi označen z **A** in ni prikazan v celoti, ker ni predmet obravnave v tej diplomski nalogi. Drugi del zbiralk, ki je označen z **B**, pa je na zbiralke NN povezan preko stikala Q1-R12. V diplomski nalogi bomo za to stikalo uporabljali ime ločilno mesto (Im). Stikalo Im torej omogoča, da se izvodi, ki so označeni z i15 do i18, lahko odklopijo od glavnih zbiralk in na ta način ta del NN omrežja obratuje otočno. Iz teh zbiralk se dejansko napajajo štiri nizkonapetostni izvodi i15, i16, i17 in i19, ki napajajo okoliške odjemalce. Potrebno je izpostaviti, da se ti izvodi nekoliko razlikujejo od klasičnih izvodov, in sicer v tem, da je na izvodih i16 in i17 nameščen relativno velik delež malih sončnih elektrarn, poleg tega pa so pri nekaterih odjemalcih nameščeni še manjši baterijski sistemi. Navedena struktura bo omogočila vzpostavitev samooskrbne skupnosti, katere ključni cilj je, da bo glede proizvodnje in porabe električne energije čim več časa samozadostna. Seveda pa se bo ta cilj spremljal znotraj projekta X-flex.

S slike enočrtne sheme priključitve NN izvodov so razvidne tudi merilne točke, v katerih so nameščeni merilni sistemi za merjenje napetosti in moči ter ostalih parametrov. Ta mesta so na sliki 1 prikazana v modrem kvadratu, kjer so vpisane oznake, ki jih bomo uporabljali pri analizi in predstavitvi rezultatov. Tako tr predstavlja kratico za meritve na NN strani transformatorja, Im kratico za ločilno mesto, bs kratico za baterijski sistem, kratice i15, i16, i17 in i19 pa kratice za meritve na NN izvodih.



Slika 1: Enočrtna shema priključitve NN izvodov in priključitve baterijskega hranilnika (BESS) v TP Luče Urtelj
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

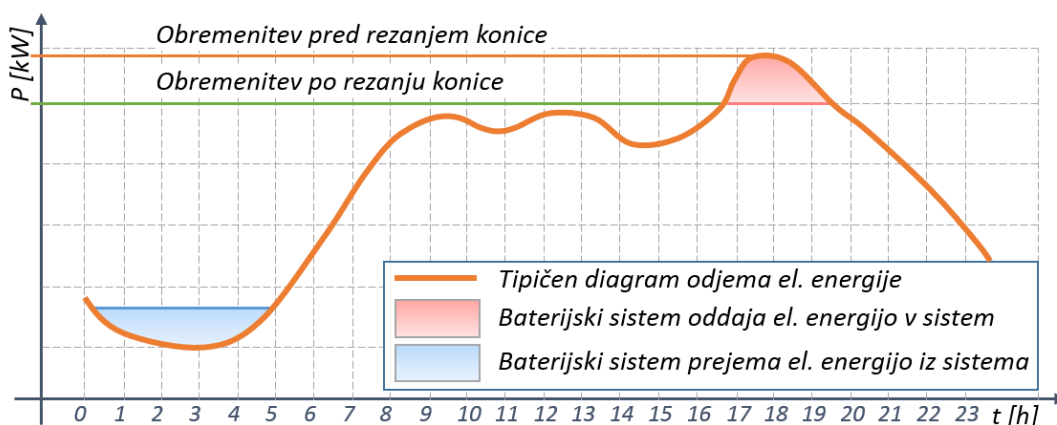
2.2 OPIS FUNKCIJ BATERIJSKEGA SISTEMA

Baterijski hranilnik je sposoben v obliki kemične energije shraniti električno energijo v baterijske celice. Sodoben baterijski hranilnik omogoča tudi neposredno priključitev v distribucijsko omrežje in dvosmerno delovanje, kjer lahko električno energijo bodisi shranjuje ali pa jo oddaja v distribucijsko omrežje. Baterijski hranilnik omogoča tudi zelo napredne funkcije, kot so na primer zagotavljanje potrebne jalove moči, vpliv na izboljšanje napetostnega profila, kompenzacija motenj in podobno, zato ga lahko imenujemo baterijski sistem. Baterijski sistem omogoča tako imenovano »kompenzacijo nihanja proizvodnje razpršenih virov« (angleški izraz: Renewable Firming), kar je ob množičnem porastu razpršene proizvodnje zelo uporabna funkcija. Omogoča tudi omejevanje konične obremenitve in pa relativno novo in izjemno pomembno možnost otočnega obratovanja manjših delov

niskonapetostnega omrežja. Za potrebe diplomske naloge se bomo omejili predvsem na možnost otočnega obratovanja, ker pa mora pri slednjem hranilnik zagotavljati potrebno moč priključenim bremenom, bomo za razumevanje delovanja baterijskega hranilnika na kratko opisali še funkcijo omejevanja konične obremenitve.

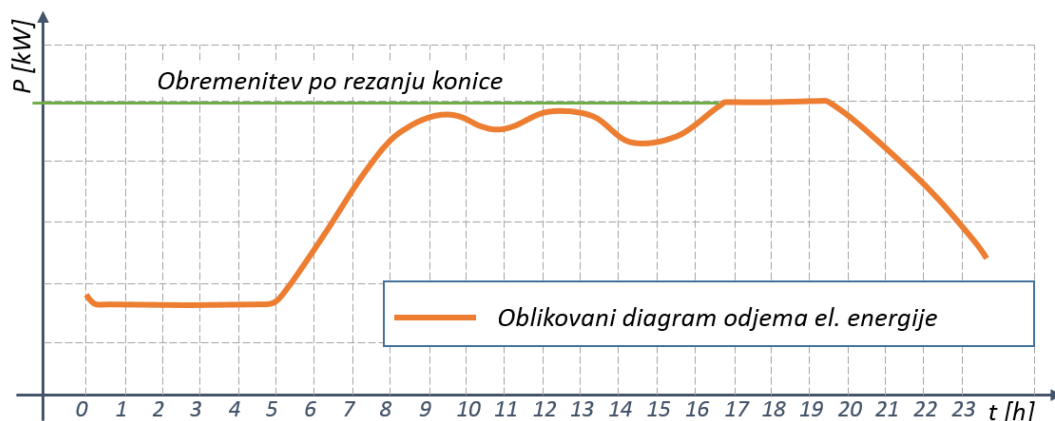
2.3 OMEJEVANJE (»REZANJE«) KONIČNE OBREMNITVE

Funkcionalnost imenovano »rezanje konične obremenitve« najlažje razumemo s pomočjo slike 2, ki prikazuje tipičen diagram odjema električne energije, ki je prikazan z oranžno črto. V primeru nizke obremenitve distribucijskega sistema se baterijski hranilnik polni, kar označuje svetlo modro področje. V času nastanka konice, nekje med sedemnajsto in dvajseto uro, pa baterijski sistem prične oddajati shranjeno električno energijo in na ta način zmanjša obremenitev distribucijskega sistema, kar na sliki označuje svetlo rdeče območje.



Slika 2: Omejevanje konične obremenitve z baterijskim sistemom
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Na opisani način z baterijskim sistemom preoblikujemo diagram obremenitve, kot prikazuje slika 3. Torej se konična obremenitev distribucijskega sistema zmanjša, kar predstavlja razbremenitev opreme in omejevanje težav, ki so povezane z napetostnim profilom in preobremenitvami v času največje obremenitve. S slik 2 in 3 je tudi lepo razvidno, zakaj to funkcionalnost imenujemo »rezanje konice«, saj z njo dejansko odrežemo del diagrama odjema v času največje porabe.



Slika 3: Oblikovani diagram konične obremenitve z baterijskim sistemom
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Potrebno je poudariti, da potrebuje baterijski sistem za omejevanje konične obremenitve sposobnost dinamičnega prilagajanja moči proizvodnje trenutni moči odjema. To je pravzaprav izjemno pomembna lastnost električnih sistemov, ki si jo najlažje predstavljamo kot tehtnico, kjer je na eni strani moč virov, na drugi moč bremen, jeziček tehtnice pa kaže frekvenco sistema. Vsak trenutek mora sistem vzdrževati ravnovesje proizvodnje in porabe, vsako odstopanje pa se odraža v spremembi frekvence.

Če moč proizvodnje presega moč porabe, se frekvenca zviša, in obratno, če delež moči bremen preseže proizvedeno moč, frekvenca upade. To je morda manj očitno, če opazujemo delovanje baterijskega sistema, saj slednji za svoje delovanje uporablja elemente močnostne elektronike, ki so procesorsko vodeni. Precej lažje pa odstopanje ravnovesja moči razumemo v klasičnem električnem omrežju, kjer se generatorji električne energije vrtijo in na ta način zagotavljajo potrebno moč proizvodnje s pomočjo rezerve rotirajočih mas. Če se sistem razbremeni, moč proizvodnje presega moč porabe in bodo generatorji dobili tendenco hitrejšega vrtenja, kar rezultira v porast frekvence, in obratno, če moč bremen presega moč proizvodnje, se njihovo vrtenje upočasni, kar predstavlja znižanje frekvence. Da lahko otočno obratovanje vzpostavimo z baterijskim sistemom, mora slednji zagotavljati ravnovesje proizvodnje in porabe, temu rečemo, da mora baterijski sistem regulirati frekvenco. Naslednja izredno pomembna veličina pa je vzdrževanje napetostnega nivoja, ki zaradi spreminjanja obremenitve neprestano niha. Temu pravimo regulacija napetostnega profila. Obe veličini sta izredno pomembni in ju bomo obravnavali pri analizi otočnega obratovanja.

2.4 OTOČNO OBRATOVANJE NIZKONAPETOSTNEGA OMREŽJA

Vključitev velikega deleža razpršenih virov, katerih najbolj znani predstavniki so sončne elektrarne, in čedalje večjega deleža bremen, kot so toplotne črpalke, močno vpliva na napetostni profil. Posledično je lahko napetostni profil neustrezen, kar predstavlja motnjo za delovanje električnih naprav, ki so na tak sistem priključene. Še večjo motnjo pa predstavlja izpad napajanja omrežja, ki dejansko prizadene vse priključene odjemalce. V pričujočem času se za rešitev ali blažitev omenjenih problemov čedalje več uporabljajo baterijski hranilniki ali sistemi. Slednje pogosto srečamo pod tujko BESS, ki izvira iz angleškega izraza Battery Energy Storage System ali prevedeno baterijski sistem za shranjevanje električne energije.

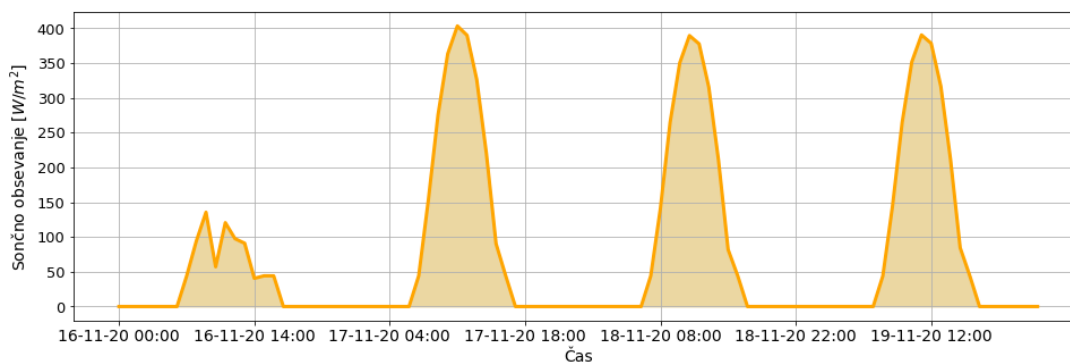
Baterijski hranilnik moči 150 kW in kapacitete 333 kWh se je v sklopu projekta Compile vgradil v neposredni bližini transformatorske postaje Luče Urtelj. Priključil se je neposredno na nizkonapetostni del transformatorja. Sistem je zastavljen na način, da lahko baterijski hranilnik otočno napaja štiri izvode nizkonapetostnega podeželskega omrežja. Na ta način je možna vzpostavitev manjšega otoka ali tako imenovanega mikro omrežja (mikro-grid) v nizkonapetostnem omrežju. Pri tem načinu odjemalci v primeru izpada napajanja na srednjenapetostni strani ne čutijo motenj oziroma izpada električne energije.

Vzpostavitev otočnega obratovanja s pomočjo baterijskega sistema predstavlja v Sloveniji relativno novo rešitev. Primer TP Luče Urtelj je prvi takšen praktični primer v Sloveniji. Ključni napredek pri uporabljeni rešitvi je, da je mogoče prehajati v otočno obratovanje in se sinhronizirati nazaj na nizkonapetostno omrežje brez motenj za odjemalce, kar bomo v diplomski nalogi z analizo rezultatov meritev tudi prikazali.

2.5 SONČNE ELEKTRARNE

Fotonapetostni moduli, ki so sestavljeni iz fotocelic, predstavljajo osnovni gradnik sončnih elektrarn. Za doseganje višjih napetosti, ki pomenijo manjši električni tok, se moduli dostikrat vežejo v serijo. Osnovni element je foto celica, ki je hkrati tudi element, ki pretvarja svetlobno energijo v električno. Pomembno je, da razumemo, da energija, ki pada na površino panelov, ni konstantna, pač pa se s časom neprestano spreminja. Količina energije, ki jo prejme kvadratni meter Zemlje od sonca, je odvisna od lokacije na Zemlji. V jasnem vremenu je najvišja ob ekvatorju in najnižja v bližini polov, če upoštevamo še oblačnost, pa je najvišja v puščavah. Ukivljenost Zemlje prav tako predstavlja pomemben parameter, ki pa ga s primernim nagibom fotonapetostnih modulov lahko zelo dobro kompenziramo. Slika 4 prikazuje moč sončnega obsevanja za lokacijo Luče med šestnajstim in devetnajstim novembrom 2020. Iz časovnega poteka moči sončnega obsevanja je razvidno, da je v prikazani periodi izmed štirih dni maksimalna moč dosegla okrog

403 W/m². Ker bomo v diplomski nalogi opazovali vpliv sončnih elektrarn na nizkonapetostno distribucijsko omrežje, opomnimo na dve lastnosti sončnih elektrarn. Prva je sprememba moči sončnega obsevanja, ki je posledica bodisi hipne oblačnosti, ki lahko povzroči, da se moč hitro spremeni. Obstajajo pa tudi dnevi, ko je sončno obsevanje zelo majhno, kar je razvidno iz obsevane moči na dan 16. november, ko je moč dosegla slabih 130 W/m² in potem hitro upadla na 60 W/m². Dejansko pa so v sončnih sistemih najhitrejše spremembe tiste, ki so posledica nenadne pooblačitve, še zlasti, če se fotonapetostni sistemi razprostirajo po relativno velikih površinah. Zaradi možnih hitrih sprememb, osončenja in s tem sončnega obsevanja predstavljajo sončne elektrarne večjih moči za napetostni profil v nizkonapetostnih omrežjih mnogokrat neugoden vpliv. Druga značilnost, ki jo lahko prav tako razberemo s slike 4, je razvidna iz obsevanja 16. novembra. Tu je razvidno, da sončno obsevanje ta dan v primerjavi s preostalimi tremi ni preseglo moči 140 W/m². V neugodnih razmerah pa je lahko sončno obsevanje minimalno in znaša le nekaj ali pa celo nič W/m², kar je razvidno med dnevnim prehajanjem, prikazanim na sliki 4.



Slika 4: Moč sončnega obsevanja za lokacijo Luče med šestnajstim in devetnajstim novembrom 2020

(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Potrebno je upoštevati tudi to, da lahko moč sončnega obsevanja v najbolj ugodnih letnih mesecih preseže vrednost 1000 W/m². V večini primerov, ko sončne elektrarne proizvajajo električno energijo, se velik, ponekod tudi celoten del proizvedene električne energije iz sončnih elektrarn, odda v distribucijsko omrežje. Tu mislimo predvsem na oddajanje električne energije v nizkonapetostno omrežje, v katerega je dejansko vključen večji del sončnih elektrarn. Kot je razvidno s slike 4, se oddane moči sončnih elektrarn čez dan dinamično spreminjajo. V diplomski nalogi nas bo zato zanimalo predvsem, kakšen je posledično vpliv takšne proizvodnje na napetostni profil v nizkonapetostnem omrežju. Potrebno je omeniti, da je vzdrževanje napetostnega profila znotraj mej, ki so določene s standardom EN50160, ključna naloga in zadolžitev distribucijskih podjetij. Še bolj bistveno pa je,

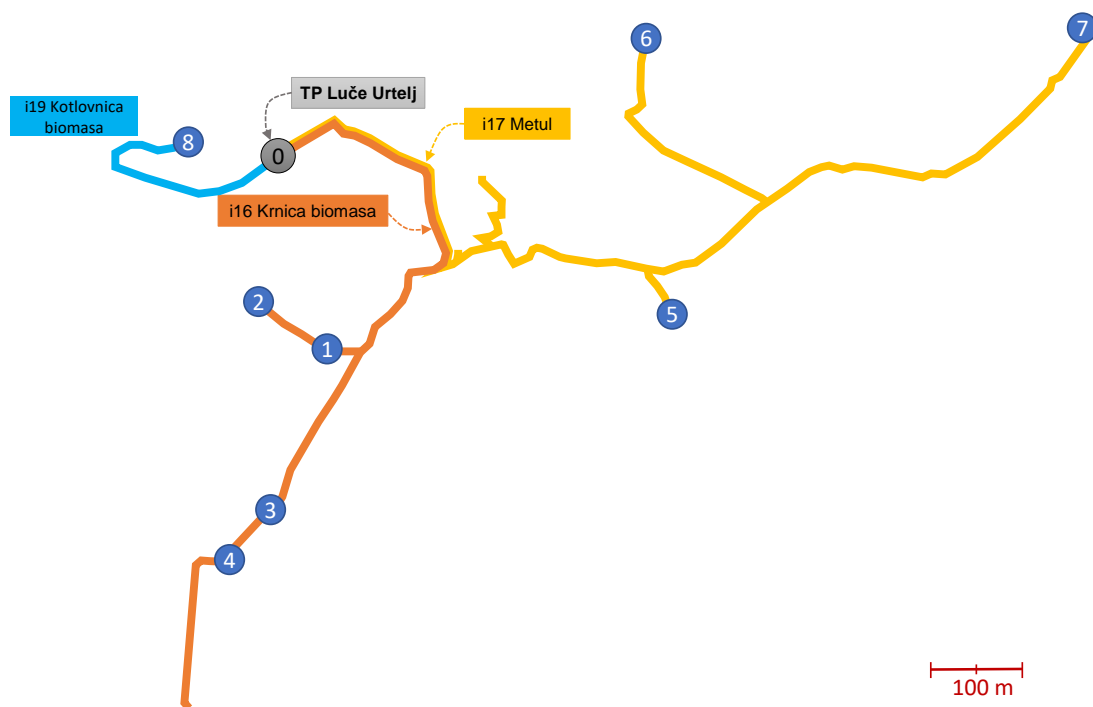
da ustrezen napetostni profil zagotavlja nemoteno in varno delovanje vseh naprav, ki so priključene na distribucijsko omrežje.

3 CILJ NALOGE

Predstavljena struktura transformatorske postaje in NN izvodov omogoča, da bomo v diplomski nalogi obravnavali štiri praktične scenarije, in sicer:

1. opazovali bomo delovanje NN omrežja, ko baterijski hranilnik oddaja električno energijo, sončne elektrarne pa oddajajo neznatno moč;
2. opazovali bomo delovanje NN omrežja, ko sončne elektrarne ne delujejo oziroma delujejo z zanemarljivo močjo;
3. opazovali bomo delovanje NN omrežja, ko sončne elektrarne oddajajo znatno moč, kar se na nekaterih izvodih kaže v obrnjenih pretokih energij (energija v tem primeru teče iz NN omrežja proti smeri transformatorja);
4. opazovali bomo še razmere, ko obravnavani del omrežja obratuje kot otok, kjer potrebno regulacijo napetosti in frekvence zagotavlja baterijski hranilnik, sončne elektrarne pa oddajajo znatno moč.

Pri opazovanju dogajanj v NN omrežju se bomo za analizo naštetih scenarijev omejili na dva NN izvoda. Opazovali bomo razmere na izvodih i16 Krnica biomasa in i17 Metul. Izvoda i16 in i17 sta najbolj razvejana in tudi najdaljša, zato na njiju pričakujemo tudi največji vpliv na razmere glede napetostnega profila. Izvod i19 Kotlovnica biomasa pa je zelo blizu transformatorske postaje in je zelo nizko obremenjen, zato rezultatov meritev v nalogi ne bomo obravnavali. Geografski potek obravnavanih NN izvodov prikazuje slika 5. Na njej so s številkami od nič do osem označene točke oziroma vozlišča, v katerih bomo opazovali napetostne razmere preko nameščenih merilnikov napetosti. V označenih točkah so merjene fazne in medfazne napetosti posameznih faz. V teh točkah so nameščene tudi sončne elektrarne, zato je merjena tudi proizvedena moč posamezne elektrarne. Preko opazovanja napetosti v transformatorski postaji, ki je označena kot izhodiščna točka 0, bomo opazovali vpliv na napetostni profil od točke izvora, ki jo predstavlja transformator, vzdolž NN omrežja v vseh opazovanih točkah, ki so označene s številkami od 1 do 8. Na ta način bomo analizirali spreminjanje napetostnega profila vzdolž voda in poizkusili ugotoviti, če pada ali narašča in kako na to vpliva obratovanje sončnih elektrarn.



Slika 5: Geografski potek NN izvodov i16 Krnica biomasa, i17 Metul in i19 Kotlovnica biomasa z označenimi točkami, kjer bomo opazovali napetostne razmere
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

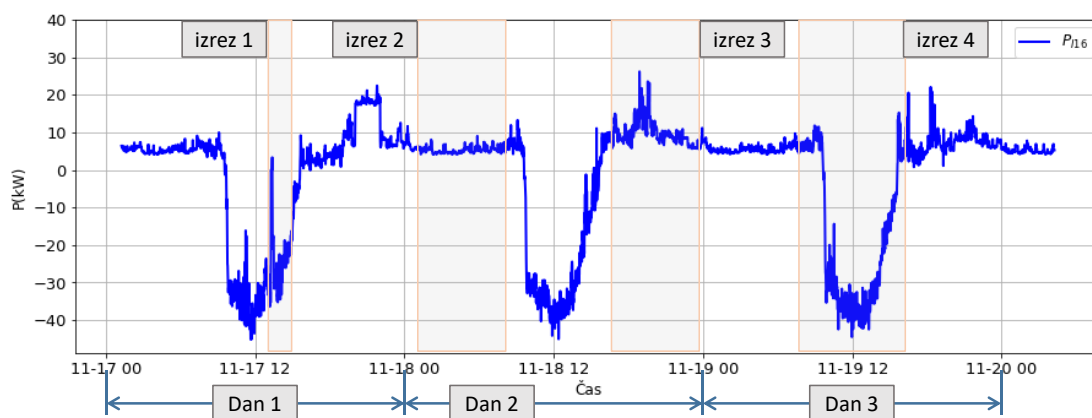
Za prikaz strukture omrežja, ki je prikazano na sliki 5, smo v tabeli 1 zbrali prereze in dolžine vodnikov.

Ime izvoda	Dolžina	Presek kabla
i16 med tč. 0 in 1	470 m	4 × 150 al
i16 med tč. 1 in 2	122 m	4 × 25 al
i16 med tč. 1 in 3	222 m	4 × 70 al
i16 med tč. 3 in 4	81 m	4 × 25 al
i17 med tč. 0 in 5	625 m	4 × 150 al
i17 med tč. 5 in 6	353 m	4 × 35 al
i17 med tč. 5 in 7	655 m	4 × 150 al
i19 med tč. 0 in 8	305 m	4 × 70 al

Tabela 1: Prikaz dolžin in presekov vodnikov po segmentih
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

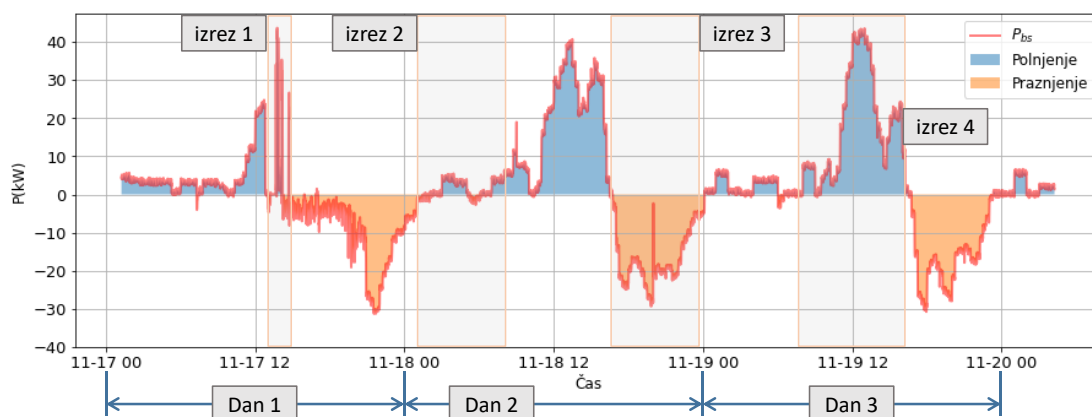
V nalogi želimo zasledovati štiri ključne karakteristične primere, in sicer razmere, ko sončne elektrarne ne obratujejo, ko sončne elektrarne obratujejo, ko baterijski

sistem oddaja energijo in otočno obratovanje baterijskega sistema, ki napaja izvode, ki so priključeni na del nizkonapetostnih zbiralk z oznako **B** na sliki 1. Naštete karakteristične primere bomo v nadaljevanju analizirali s pomočjo merilnih rezultatov iz merilnih sistemov, ki so nameščeni v transformatorski postaji, in po posameznih točkah. Na sliki 6 je prikazan časovni potek trifazne moči P_{i16} na izvodu i16 iz zbiralke **B** v transformatorski postaji. Na grafu moči P_{i16} in P_{bs} so prikazane merjene vrednosti za tri dni, frekvenca meritev znaša eno minuto. To pomeni, da se v vseh označenih točkah na sliki 5 in izvodih na sliki 1 vsako minuto časovno sinhronizirano zabeležijo vse veličine, ki jih bomo uporabljali za namene analiz. Bistveno je poudariti, da so merjeni podatki časovno sinhronizirani, kar pomeni, da lahko izvajamo neposredne primerjave vrednosti med seboj. Iz časovnih potekov moči na sliki 6 lahko razberemo, da je že na minutnem nivoju mogoče opaziti dinamiko sprememb prikazanih moči. Torej lahko pričakujemo tudi intenzivno spreminjanje napetosti in ostalih merjenih veličin. Za časovni potek moči na sliki 6 je potrebno izpostaviti še, da pozitiven predznak moči P_{i16} na izvodu i16 predstavlja pretok električne energije v izvod, torej k bremenom, negativen predznak moči P_{i16} pa pomeni pretok električne energije proti smeri transformatorja. Lahko pa na to pogledamo tudi na naslednji način: negativen predznak moči pomeni, da je na izvodu i16 moč proizvodnje sončnih elektrarn večja od moči priključenih bremen, zato se električna energija pretaka od sončnih elektrarn v NN omrežje k transformatorju.



Slika 6: Časovni potek skupne trifazne moči P_{i16} na NN izvodu i16
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Časovni potek moči baterijskega sistema P_{bs} prikazuje slika 7. Na njej je s svetlo modro barvo označena pozitivna moč, ki pomeni, da baterijski sistem prejema električno energijo iz NN omrežja, torej se baterijski sistem polni, negativna moč P_{bs} pa predstavlja praznjenje baterijskega sistema.



Slika 7: Časovni potek trifazne moči P_{bs} na izvodu za baterijski sistem
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

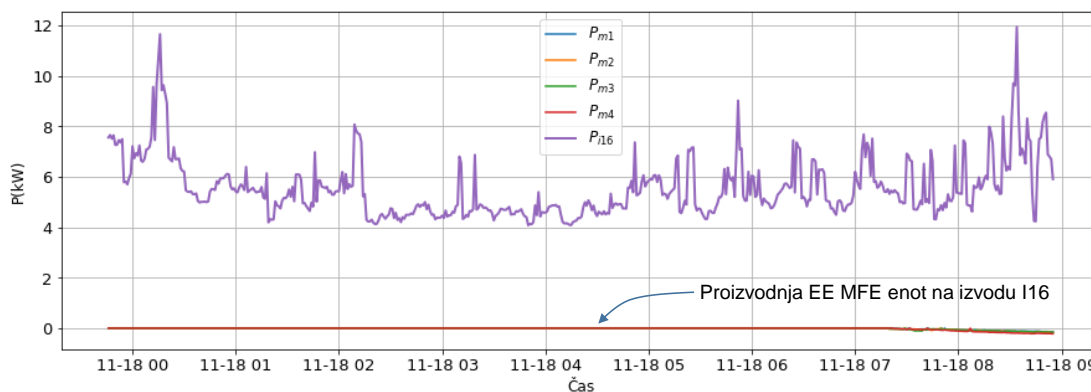
Na slikah 6 in 7 so prikazana štiri področja označena z napisi **izrez** od 1 do 4. S pomočjo teh izrezov signalov bomo v diplomski nalogi, predvsem zaradi preglednejšega prikaza karakterističnih primerov, izvajali primerjavo na omejenem obsegu meritev.

V področju, ki ga označuje izrez 1, so se dejansko izvajali testi otočnega obratovanja baterijskega sistema, zato bomo ta del uporabili za analizo razmer ob otočnem obratovanju. V področju označenem z oznako izrez 2 je razvidno, da ni prisotne proizvodnje sončnih elektrarn. Torej bomo področje izreza 2 uporabili za analizo razmer, ko sončne elektrarne ne obratujejo oziroma obratujejo z zanemarljivo močjo. Analizirali bomo tudi primer za področje označeno z izrez 3, ki je v bistvu področje brez delovanja sončnih elektrarn, zato pa se z močjo skoraj 30 kW prazni baterijski sistem. Preostane še področje označeno kot izrez 4, ki predstavlja del, v katerem delujejo sončne elektrarne. Seveda je potrebno izpostaviti, da na podlagi merilnih rezultatov izreza 4 ne bo mogoče določiti absolutnega ali največjega vpliva na napetostni profil, saj kot je razvidno s slike 4, ta dan sončno obsevanje ni preseglo moči 400 W/m^2 . Vemo pa, da lahko v najboljših razmerah, kot smo že poudarili, sončno obsevanje preseže vrednost 1000 W/m^2 . Vsekakor je cilj ugotoviti, ali razpršeni viri, kot so sončne elektrarne, vplivajo na povišanje napetostnega profila v točki priključitve.

3.1 NAPETOSTNI PROFIL, KO SONČNE ELEKTRARNE OBRATUJEJO Z NEZNATNO MOČJO

V nadaljevanju bomo obravnavali vpliv na napetostni profil vzdolž izvodov i16, i17 in i19 na podlagi izmerjenih vrednosti za obdobje, ki smo ga na slikah 6 in 7 označili z območjem izrez 2, ter napetostni profil na izvodu i16 za primer, ko sončne elektrarne obratujejo z neznatno močjo.

Za področje izreza 2 velja, da ni prisotne proizvodnje sončnih elektrarn. Potrdimo to najprej s prikazom meritve moči na izvodu i16 ter v točkah m1, m2, m3 in m4. Kot je razvidno iz grafa moči P_{i16} na sliki 8, je moč ves čas pozitivna v pasu med 4 kW in 12 kW, kar pomeni, da se električna energija (EE) pretaka od transformatorja k porabnikom. Na istem grafu so prikazane tudi moči proizvodnje sončnih elektrarn P_{m1} , P_{m2} , P_{m3} in P_{m4} v točkah m1, m2, m3 in m4, ki jasno pokažejo, da se gibljejo okrog zanemarljivih vrednosti glede na moč P_{i16} .



Slika 8: Časovni potek moči P_{i16} ter moči sončnih elektrarn P_{m1} , P_{m2} , P_{m3} in P_{m4} v točkah m1, m2, m3 in m4 za izrez 2
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

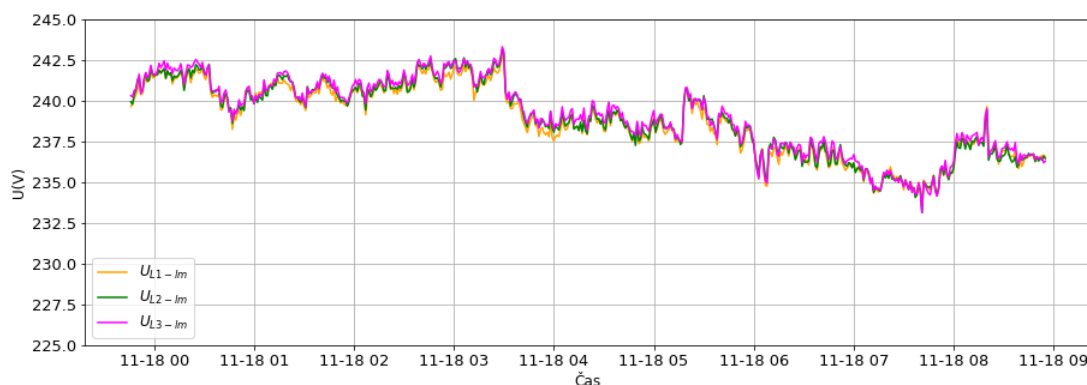
Ker na izvodu i16 niso neposredno merjene oziroma zajete vse obstoječe sončne elektrarne, preverimo za opazovani izrez 2 še časovni potek moči P_m na ločilnem mestu, ki ga prikazuje slika 9. Razvidno je, da poteka pretok električne energije na ločilnem mestu (točka **B** na enočrtni shemi, slika 1) le v smeri bremen oziroma porabnikov. Torej lahko zaključimo, da bodo meritve predstavljene v tem delu ustrezale razmeram, ko sončne elektrarne ne obratujejo.



Slika 9: Časovni potek moči P_m na ločilnem mestu l_m za izrez 2
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

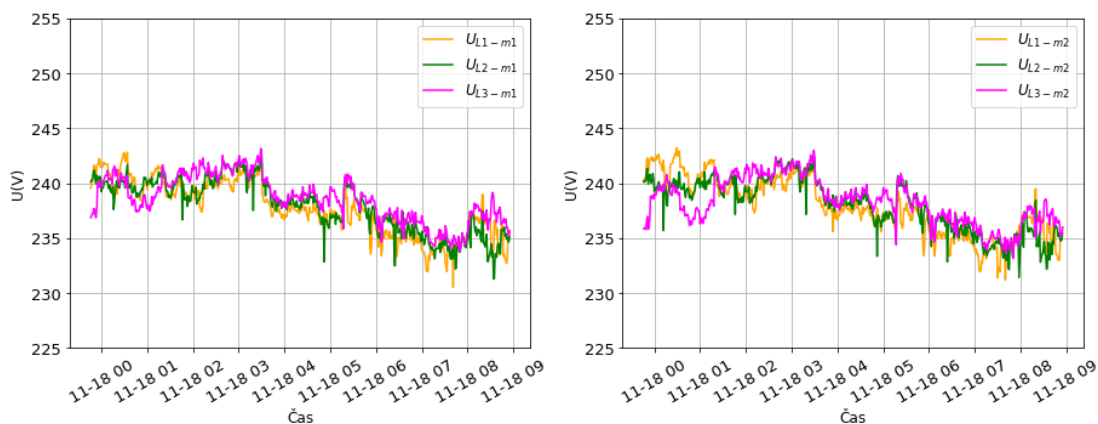
Pokazali smo, da za področje izreza 2 velja, da ni prisotne proizvodnje sončnih elektrarn, torej lahko analiziramo vpliv takšnega obratovanja na napetostni profil vzdolž izvoda i16.

Slika 10 kaže časovni potek napetosti v posameznih fazah U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} , ki so bile izmerjene v merilni točki lm (ločilno mesto) v transformatorski postaji. Z ozirom na diagram moči P_{lm} s slike 9, kjer moč proti koncu opazovanega intervala narašča, je pričakovan trend upadanja napetosti prikazan na sliki 10. Takšne razmere so povsem običajne v klasičnih omrežjih, ko ni prisotnega velikega deleža razpršenih virov (RV).



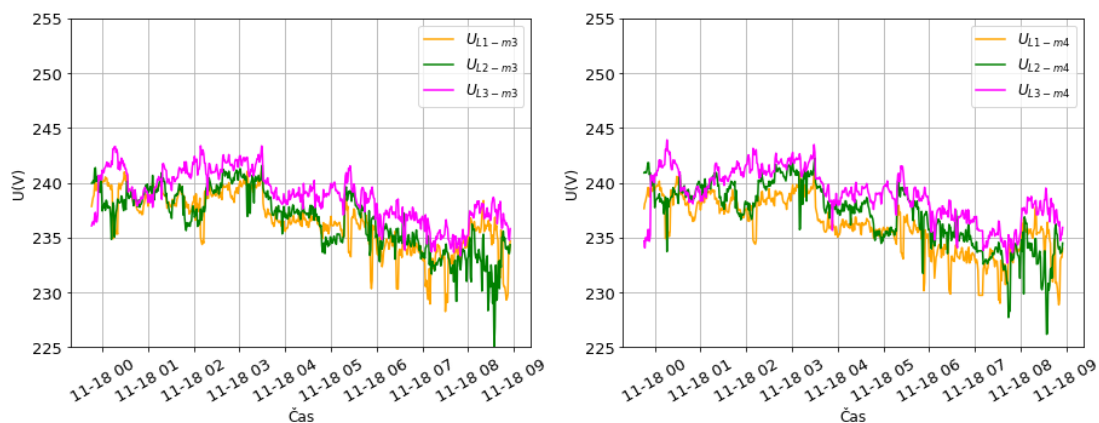
Slika 10: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki ločilnega mesta v transformatorski postaji za izrez 2
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izmerjene napetosti U_{L1-m1} , U_{L2-m1} in U_{L3-m1} v merilni točki m1 so prikazane v levem delu slike 11, medtem ko desni del slike kaže izmerjene napetosti U_{L1-m2} , U_{L2-m2} in U_{L3-m2} v merilni točki m2.



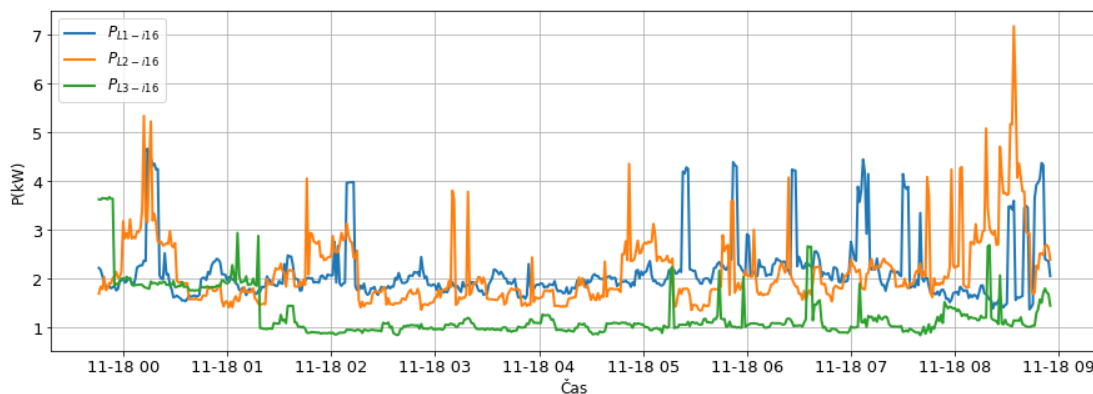
Slika 11: Časovni potek napetosti U_{L1-m1} , U_{L2-m1} in U_{L3-m1} v merilni točki m1 ter potek napetosti U_{L1-m2} , U_{L2-m2} in U_{L3-m2} v merilni točki m2 za izrez 2
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izmerjene napetosti U_{L1-m3} , U_{L2-m3} in U_{L3-m3} v merilni točki m3 prikazuje levi del slike 12, desni del slike pa prikazuje izmerjene vrednosti napetosti U_{L1-m4} , U_{L2-m4} in U_{L3-m4} v merilni točki m4.



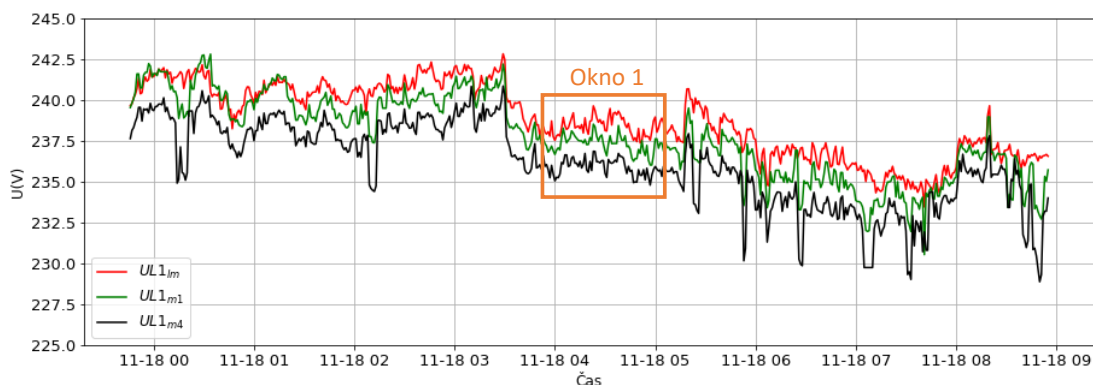
Slika 12: Časovni potek napetosti U_{L1-m3} , U_{L2-m3} in U_{L3-m3} v merilni točki m3 ter potek napetosti U_{L1-m4} , U_{L2-m4} in U_{L3-m4} v merilni točki m4 za izrez 2
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Trendi izmerjenih napetosti v točkah m1, m2, m3 in m4 se praktično ujemajo s trendom napetosti s slike 10, ki podaja napetosti posameznih faz v transformatorski postaji oziroma v točki lm. Razlika, ki je opazna, so nekoliko večje nesimetrije faznih napetosti vzdolž izvoda i16, kar je najverjetneje posledica nesimetrične obremenitve posameznih faz. To trditev lahko poizkusimo potrditi s pomočjo izmerjenih moči P_{L1-i16} , P_{L2-i16} , P_{L3-i16} v posameznih fazah na izvodu i16, ki jih prikazuje slika 13. Kot je razvidno iz časovnega poteka moči, so posamezne faze dejansko nesimetrično obremenjene. Torej grafi napetosti v točkah m1, m2, m3 in m4 odražajo ravno te nesimetrične obremenitve posameznih faz. Velja pa opomniti na pomembno dejstvo, in sicer, da so bile napetosti izmerjene v točkah m1, m2, m3 in m4 dejansko merjene za priključnimi omaricami, torej na mestu, kjer so priključene male sončne elektrarne in lokalni hranilniki električne energije. Na sliki 13 lahko opazimo še, da je najbolj obremenjena faza L1 in najmanj faza L3, kar odražajo praktično vsi štirje časovni poteki napetosti v točkah m1, m2, m3 in m4. Na teh je razvidno, da je napetost v vseh štirih točkah najnižja ravno v fazi L1 in najvišja, kot posledica najmanjšega padca napetosti zaradi najnižje obremenitve, v fazi L3, vzdolž omrežja oziroma opazovanih točk.



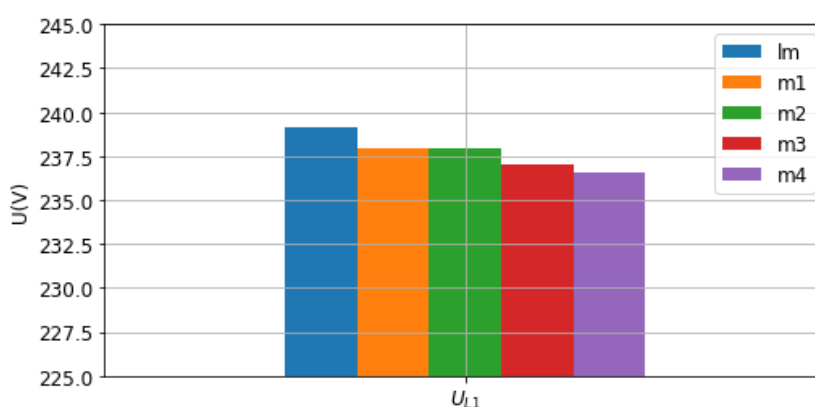
Slika 13: Izmerjene moči P_{L1-i16} , P_{L2-i16} , P_{L3-i16} posameznih faz na izvodu i16 za izrez 2
 2
 (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Za preglednejši prikaz in lažje razumevanje razmer vzdolž voda si izrišimo samo izmerjene napetosti v fazi L1. Naredimo to le za točke l_m , m_1 in m_4 , ki glede na geometrijo voda s slike 5 podajajo napetostni profil na začetku voda (točka l_m), približno na slabi polovici voda (točka m_1) in v bližini zaključka izvoda i16, v točki m_4 . Razmere prikazuje slika 14, s katere je zelo lepo razvidno, da je napetost najvišja na začetku voda, potem pa vzdolž voda pada, kar je posledica obremenitve voda s tokom, ki je potreben za dobavo električne energije porabnikom. Zaradi fizikalne lastnosti voda, ki jo predstavljata ohmska upornost in reaktanca oziroma induktivna upornost voda, se vzdolž voda pojavi padec napetosti. Ta padec je enak produktu toka in impedance vodnika. Napetosti v končnih točkah pa so nižje ravno za razliko padca napetosti.



Slika 14: Časovni potek napetosti faze L1 U_{L1-lm} , U_{L1-m1} in U_{L1-m4} vzdolž izvoda i16 v merilnih točkah l_m , m_1 in m_4 za izrez 2
 (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Za nazornejšo primerjavo si izrišimo še stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na delu grafa, ki je na sliki 14 označen z Okno 1. Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na ločilnem mestu (torej napetosti v transformatorski postaji) ter v točkah m1, m2, m3 in m4 prikazuje slika 15. S slednje je zelo jasno razviden napetostni profil vzdolž izvoda i16, kjer je napetost najvišja na izvoru, torej v transformatorski postaji, ki jo predstavlja točka ločilno mesto lm. Točki m1 in m2 sta relativno blizu skupaj, zato napetost v teh točkah zelo malo odstopa. V točkah m3 in m4, ki sta zelo blizu konca izvoda i16, pa je napetost še nižja. Prikazani profil napetosti je praktično klasični profil obremenjenega distribucijskega omrežja, kot ga poznamo tudi iz teorije vodov.



Slika 15: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti za Okno 1 na ločilnem mestu lm ter v točkah m1, m2, m3 in m4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

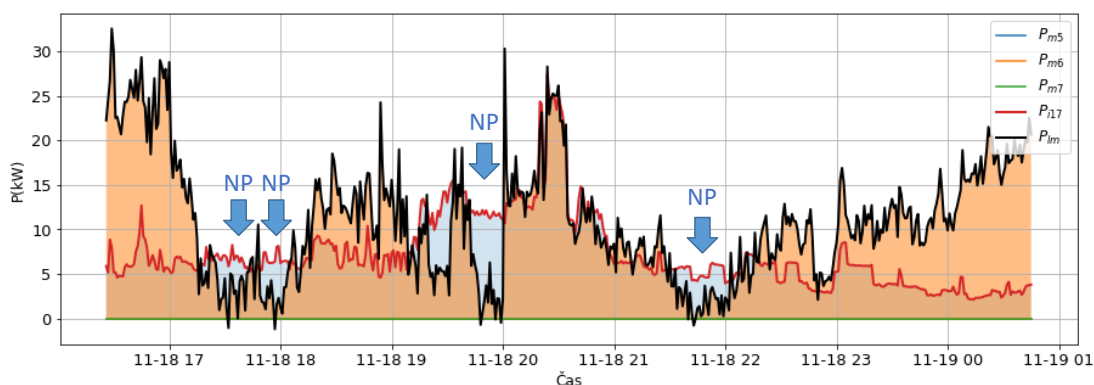
Tabela 2 podaja še povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 za Okno 1 s slike 14 vzdolž omrežja oziroma opazovanih točk.

U(V)	LM	M1	M2	M3	M4
UL1	239,1	237,9	238	237,1	236,5
UL2	239,4	238,6	238,6	237,4	237,9
UL3	239,6	239,4	239,2	239,1	239,2

Tabela 2: Povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 v točkah lm, m1, m2, m3, m4 za Okno 1
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

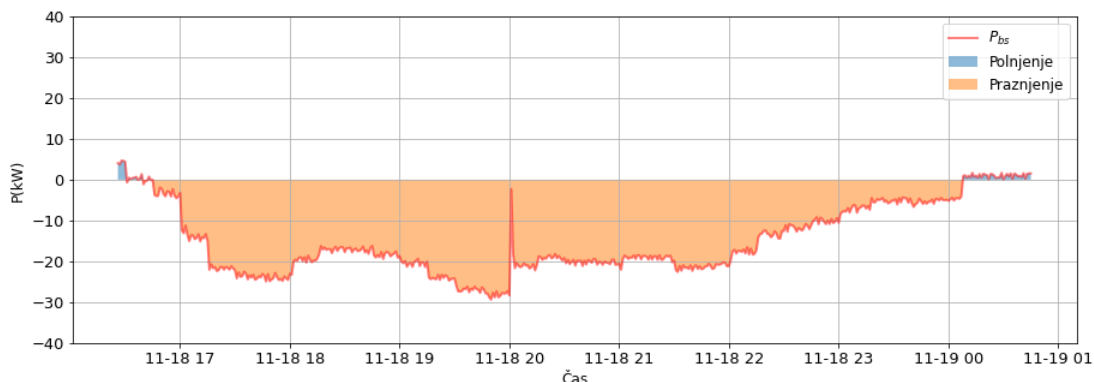
3.2 NAPETOSTNI PROFIL, KO SONČNE ELEKTRARNE NE OBRATUJEJO, DELUJE PA BATERIJSKI HRANILNIK

Področje izreza 3 smo izbrali tako, da ni prisotne proizvodnje sončnih elektrarn, medtem ko baterijski hranilnik oddaja električno energijo v omrežje. Poglejmo, kaj se dogaja s časovnim potekom moči na izvodu i17 ter v točkah m5, m6 in m7. Kot je razvidno iz grafa moči P_{i16} na izvodu i17, ki ga prikazuje slika 16, je moč ves čas pozitivna v pasu med 2 kW in 27 kW, kar pomeni, da se električna energija (EE) pretaka v smeri od zbiralk k porabnikom. Slika 16 prikazuje tudi moči proizvodnje sončnih elektrarn P_{m5} , P_{m6} in P_{m7} v točkah m5, m6 in m7 in pokaže, da se te gibljejo okrog vrednosti nič. Grafu moči za izvod i17 na sliki 16 je dodan tudi časovni potek moči P_{lm} za opazovani izrez 3 na ločilnem mestu lm. Iz časovnega poteka moči P_{lm} na ločilnem mestu lahko razberemo, da v določenih trenutkih, ki so na sliki 16 označeni s puščico NP (Ničelni Pretok), vso potrebno električno energijo zbiralkam **B** zagotavlja baterijski sistem. Moč na izvodu je namreč v vseh točkah označenih z NP pozitivna. Vidne so sicer tudi izredno majhne konice v teh točkah na poteku moči P_{lm} , ki so negativne, takrat se električna energija pretaka v smeri transformatorja.



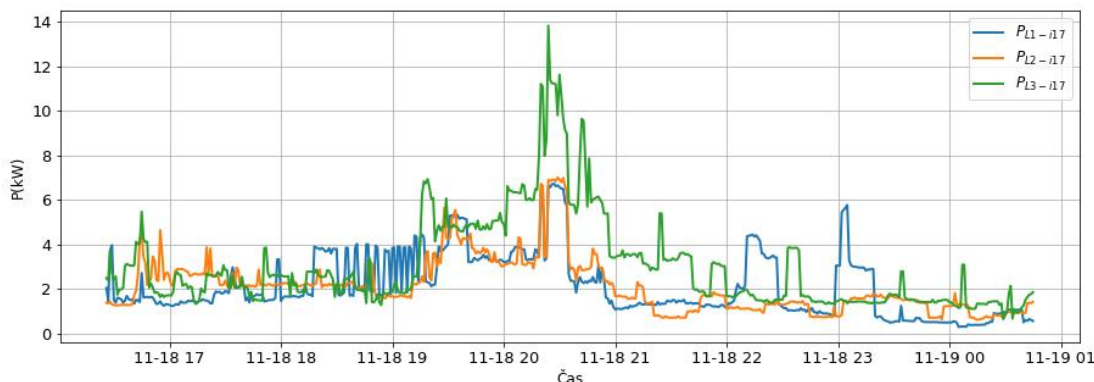
Slika 16: Časovni potek moči P_{i17} in P_{lm} ter moči sončnih elektrarn P_{m5} , P_{m6} in P_{m7} v točkah m5, m6 in m7 za izrez 3
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Časovni potek moči baterijskega sistema P_{bs} za področje izreza 3 prikazuje slika 17. Razvidno je, da baterijski sistem v opazovanem področju izreza 3 ves čas oddaja električno energijo v omrežje, kar pomeni, da se baterija prazni.



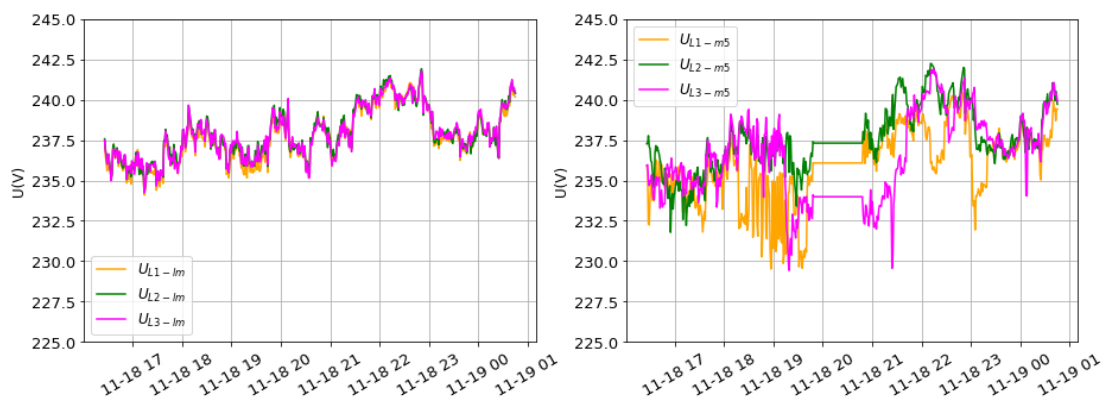
Slika 17: Časovni potek moči baterijskega sistema P_{BS} za področje izreza 3
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Poglejmo še, kaj se dogaja z izmerjenimi močmi posameznih faz P_{L1-i17} , P_{L2-i17} , P_{L3-i17} na izvodu i17, ki jih prikazuje slika 18. Kot je razvidno iz časovnega poteka moči, so posamezne faze tudi v primeru območja izreza 3 nesimetrično obremenjene. Torej lahko zopet pričakujemo, da bodo grafi napetosti v točkah m5, m6 in m7 odražali te nesimetrične obremenitve posameznih faz.



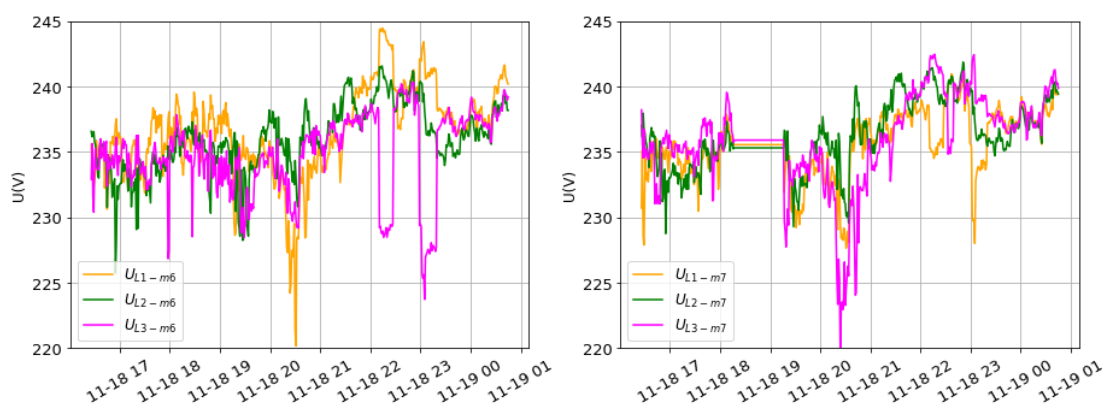
Slika 18: Izmerjene moči P_{L1-i17} , P_{L2-i17} , P_{L3-i17} posameznih faz na izvodu i17 za področje izreza 3
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izmerjene napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} na ločilnem mestu v točki lm so prikazane v levem delu slike 19, desni del slike pa prikazuje izmerjene napetosti U_{L1-m5} , U_{L2-m5} in U_{L3-m5} v merilni točki m5. Za napetosti v točki m5 na sliki 19 velja opozoriti, da ravne črte za napetosti v sredini desnega diagrama niso fizikalne, v tem delu namreč merilni sistem zaradi težav s komunikacijo ni zabeležil meritev.



Slika 19: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki lm ter potek napetosti U_{L1-m5} , U_{L2-m5} in U_{L3-m5} v merilni točki $m5$ za področje izreza 3
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izmerjene napetosti U_{L1-m6} , U_{L2-m6} in U_{L3-m6} v merilni točki $m6$ prikazuje levi del slike 20, desni del slike pa prikazuje izmerjene vrednosti napetosti U_{L1-m7} , U_{L2-m7} in U_{L3-m7} v merilni točki $m7$. Tudi v tem delu velja, da ravne črte za napetosti v sredini desnega diagrama niso fizikalne, ampak so posledica težav s komunikacijo za prenos meritev.

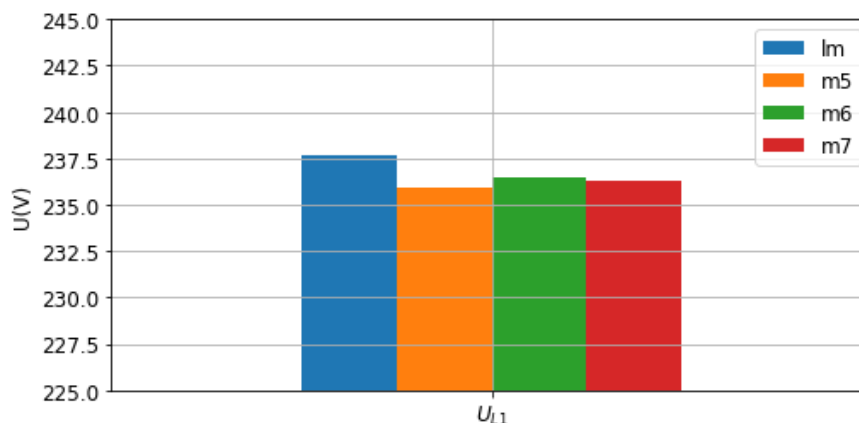


Slika 20: Časovni potek napetosti U_{L1-m6} , U_{L2-m6} in U_{L3-m6} v merilni točki $m6$ ter potek napetosti U_{L1-m7} , U_{L2-m7} in U_{L3-m7} v merilni točki $m7$ za področje izreza 3
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Iz časovnih potekov napetosti posameznih faz na slikah 19 in 20 je razvidno, da grafi napetosti v točkah $m5$, $m6$ in $m7$ odražajo nesimetrične obremenitve faz.

Tudi za ta primer in nazornejšo primerjavo lahko izrišemo stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti za izrez 3. Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na ločilnem mestu lm ter v točkah $m5$, $m6$ in $m7$ prikazuje slika 21. Stolpčni diagram pokaže, da napetostni profil vzdolž izvoda $i17$ pada. Najvišja

napetost je na izvoru v transformatorski postaji, ki jo predstavlja točka ločilno mesto lm. Najnižja napetost je v tem primeru na odcepu v točki m5.



Slika 21: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na ločilnem mestu ter v točkah m5, m6 in m7
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Tabela 3 podaja povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 za izrez 3 vzdolž omrežja oziroma opazovanih točk m5, m6 in m7.

U(V)	LM	M5	M6	M7
UL1	237,7	235,9	236,5	236,3
UL2	237,9	237,5	234,8	235,6
UL3	237,9	236,4	236,0	236,0

Tabela 3: Povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 v točkah lm, m4, m6, m7 za izrez 3
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

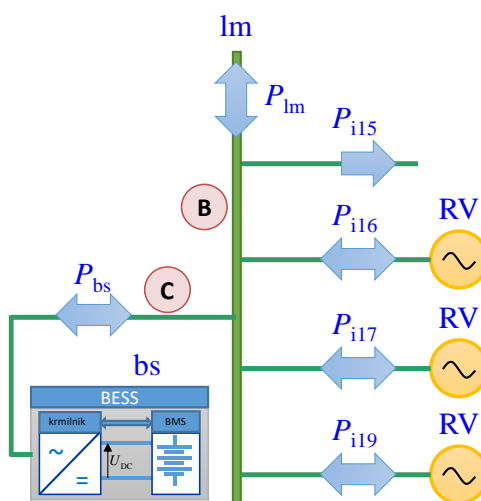
3.3 NAPETOSTNI PROFIL, KO SONČNE ELEKTRARNE OBRATUJEJO Z ZNATNO MOČJO

V tem poglavju diplomske naloge bomo obravnavali primer, ko v nizkonapetostnem omrežju priključene sončne elektrarne oddajajo električno energijo v omrežje. Sončne elektrarne so običajno priključene vzdolž nizkonapetostnih vodov in kot takšne predstavljajo razpršene vire (RV) električne energije. Izpostaviti je potrebno, da imajo distribucijska podjetja zaradi razpršenih virov zelo velik izziv, kako obvladovati napetostni profil v NN omrežjih. Problem, ki ga bomo zelo nazorno prikazali v tem poglavju, je v tem, da razpršeni viri v NN omrežju povzročajo dvig napetosti v priključni točki, še zlasti tisti, ki so priključeni na relativno dolgih vodih, ki

imajo visoke impedance (majhni prerezi vodnikov). To lahko opazujemo tudi preko kratkostične moči. Če je impedanca priključnega NN voda nizka, je kratkostična moč v točki priključitve razpršenega vira visoka (nizka impedanca ob kratkem stiku omogoča velik kratkostični tok). To pa pomeni, da je točka priključitve v tem primeru veliko bolj toga in manj dovzetna za nihanje napetosti. Obratno pa visoka impedanca povzroča nizko kratkostično moč v točki priključitve, s tem pa tudi večjo občutljivost za napetostne spremembe v primeru, ko razpršeni vir oddaja delovno moč v NN omrežje. Zelo pomembno je, da razumemo, da večja impedanca pomeni tudi večji padec napetosti, ker pa je moč sončne elektrarne oziroma razpršenega vira za sistem negativna (RV oddaja električno energijo v NN omrežje), je padec na ohmski upornosti takšen, da se k napetosti omrežja prišteva in zato RV povzroči dvig napetosti v priključni točki.

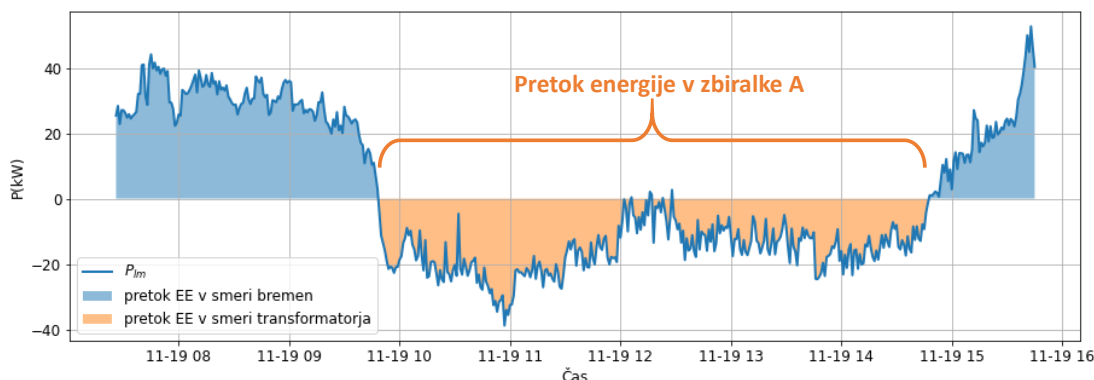
Za analizo razmer smo v tem poglavju uporabili izrez 4 s slik 6 in 7. Izrez 4 zajema celoten del proizvodnje sončnih elektrarn na obravnavani dan, zajet pa je še manjši del, preden so začele delovati sončne elektrarne. Na ta način bo vpliv proizvodnje sončnih elektrarn na profil napetosti še bistveno lažje opazen.

Preden bomo prikazali vpliv delovanja sončnih elektrarn na napetostni profil, si pogledajmo razmere glede pretakanja energij za opazovani izrez 4. Izrišimo najprej vozlišče, ki ga dejansko predstavljajo zbiralke **B**, ki omogočajo vzpostavitev otočnega obratovanja, kar prikazuje slika 22. Za vozlišče **B** mora v vsakem trenutku veljati: kadar je del zbiralk **B** priključen na vir oziroma transformator preko ločilnega mesta l_m , mora biti moč zbiralk **B**, ki je vsota moči $P_{i15} + P_{i16} + P_{i17} + P_{i19} + P_{bs}$, enaka moči na ločilnem mestu P_{l_m} . Puščice, ki označujejo smeri pretoka električnih energij na sliki 22, jasno nakazujejo, da je razen na izvodu $i15$, ki nima priključenih razpršenih virov, pretok električne energije dvosmeren.



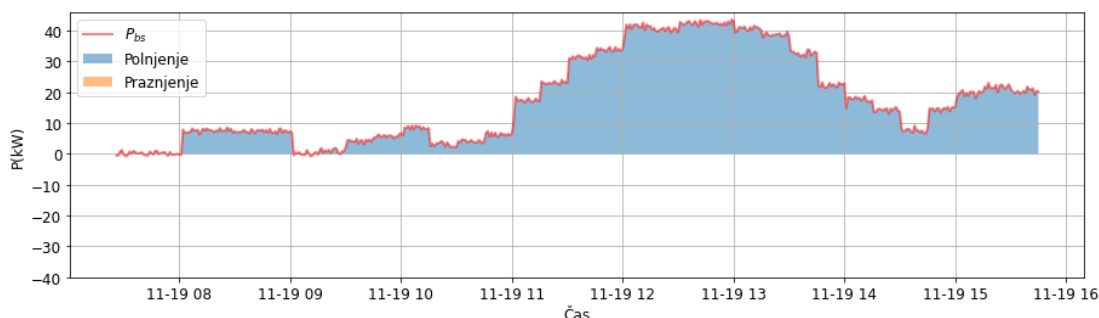
Slika 22: Prikaz vozlišča B s pripadajočimi izvodi
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Časovni potek moči P_{lm} na ločilnem mestu lm za izrez 4 prikazuje slika 23. Zbiralke **B** pa omogočajo vzpostavitev otočnega obratovanja, kar prikazuje slika 22. Upoštevanje strukture NN zbiralk **B**, ki so preko ločilnega mesta lm povezane na zbiralke **A** in na katere je priključen transformator, nam v povezavi z grafom moči P_{lm} s slike 23 pokaže, da je v področju, kjer delujejo sončne elektrarne, praktično ves čas prisoten pretok električne energije v zbiralko **A**.



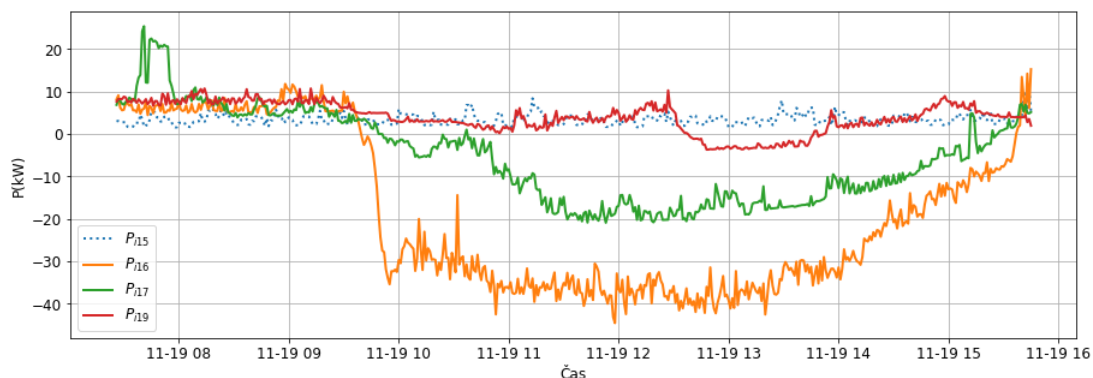
Slika 23: Časovni potek moči P_{lm} na ločilnem mestu lm za območje izreza 4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Poglejmo si, kaj se v področju izreza 4 dogaja z ostalimi izvodi in baterijskim hranilnikom. Časovni potek moči baterijskega hranilnika P_{bs} v točki **C** za izrez 4 prikazuje slika 24, s katere je razvidno, da se baterijski sistem ves čas polni. Če pogledamo moč P_{lm} in moč P_{bs} baterijskega sistema, ki se polni, ugotovimo, da je na zbiralki **B** ob pretoku električne energije v zbiralko **A** takšna količina proizvedene električne energije, da se polni baterijski hranilnik in hkrati pokrivajo še vsa bremena ter da se višek električne energije oddaja v zbiralko **A**.



Slika 24: Časovni potek moči baterijskega hranilnika P_{bs} v točki **C** za območje izreza 4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

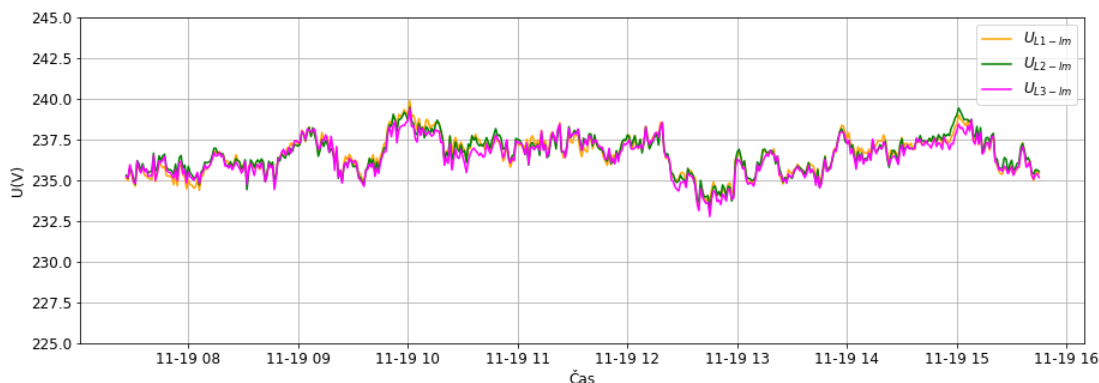
Časovni potek moči P_{i15} , P_{i16} , P_{i17} in P_{i19} na izvodih i15, i16, i17 in i19 na zbiralki B za izrez 4 prikazuje slika 25. Slednja pokaže, da izvod i15 nima oddaje električne energije iz razpršenih virov, saj je moč ves čas opazovane periode pozitivna. Izvod i19 vsebuje razpršene vire, ki pa po moči v primerjavi z izvodom i16 in i17 niso znatni. Bistvena prispevka generirane moči iz razpršenih virov sta opazna na izvodih i16 in i17, ki praktično ves čas, ko razpršeni viri delujejo, oddajata višek električne energije.



Slika 25: Časovni potek moči P_{i15} , P_{i16} , P_{i17} in P_{i19} na izvodih iz zbiralke B za območje izreza 4

(Vir: Arhiv Elektra Celje)

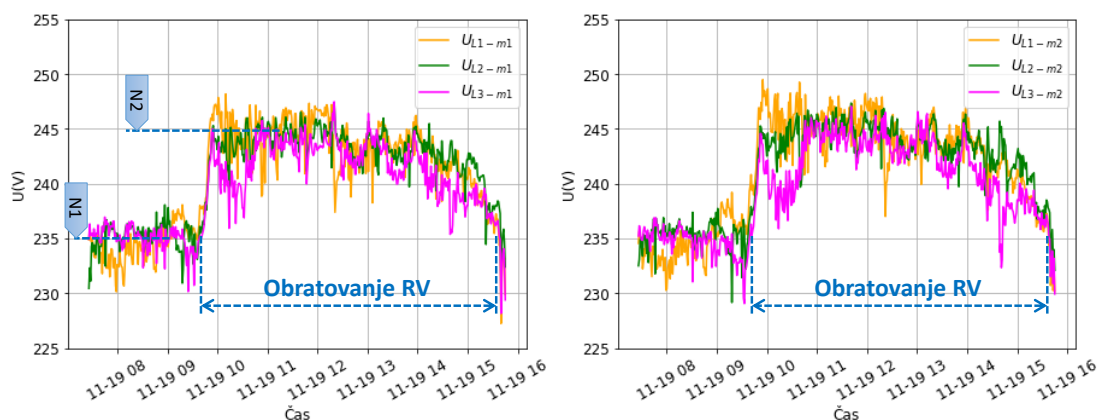
Slika 26 prikazuje časovni potek napetosti v posameznih fazah U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} , ki so bile izmerjene v merilni točki lm v transformatorski postaji za območje izreza 4. Opaziti je, da časovni potek napetosti na ločilnem mestu za opazovani izrez 4 ne kaže nobenih posebnosti, saj je razvidno, da je napetost v tej točki dokaj stabilna, navkljub intenzivnemu obratovanju razpršenih virov.



Slika 26: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki ločilnega mesta v transformatorski postaji za območje izreza 4

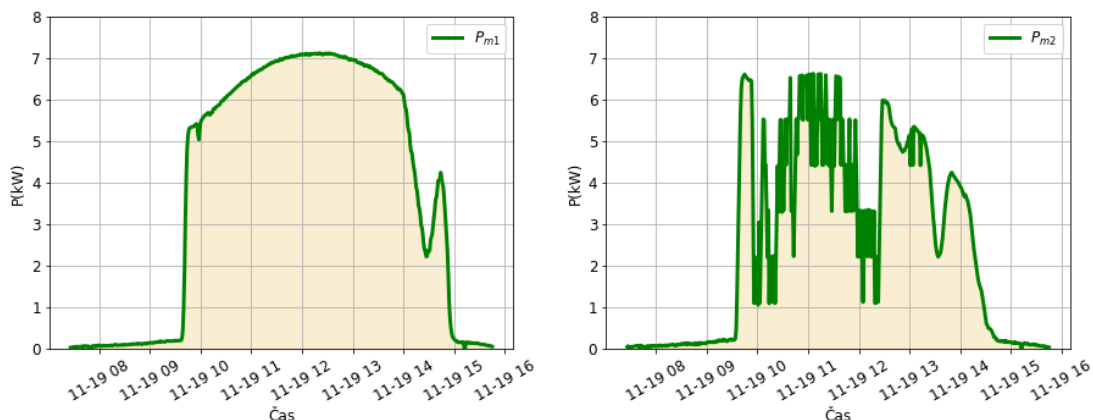
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Poglejmo časovni potek napetosti vzdolž izvoda i16, torej v točkah m1, m2, m3 in m4. Izmerjene napetosti U_{L1-m1} , U_{L2-m1} in U_{L3-m1} v merilni točki m1 so prikazane v levem delu slike 27, medtem ko desni del slike kaže izmerjene napetosti U_{L1-m2} , U_{L2-m2} in U_{L3-m2} v merilni točki m2 za primer obratovanja razpršene proizvodnje. Takoj lahko opazimo porast napetosti, ko so začeli, kot je označeno na sliki, obratovati razpršeni viri. Opazimo lahko, da je napetost, preden so začeli obratovati razpršeni viri, nihala okrog vrednosti 235 V (nivo N1), po pričetku obratovanja razpršenih virov pa je pričela nihati okrog vrednosti 245 V (nivo N2), kar predstavlja okrog 4 % povišanje napetosti v merjeni točki m1 glede na prvotno vrednost (nivo N1).



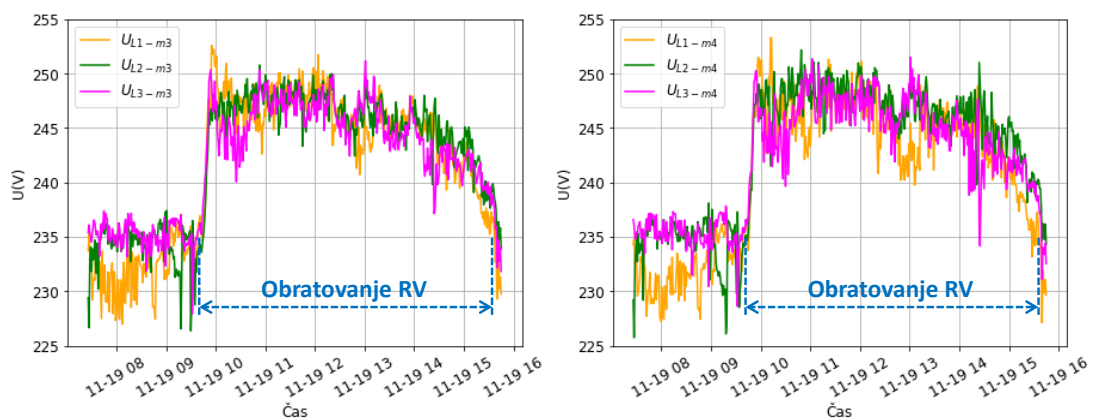
Slika 27: Časovni potek napetosti U_{L1-m1} , U_{L2-m1} in U_{L3-m1} v merilni točki m1 ter potek napetosti U_{L1-m2} , U_{L2-m2} in U_{L3-m2} v merilni točki m2 za območje izreza 4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izmerjeno oddano moč P_{m1} razpršenega vira v točki m1 prikazuje levi del slike 28, desni del slike pa prikazuje izmerjeno moč razpršenega vira P_{m2} v merilni točki m2. Če primerjamo graf proizvodnje delovne moči v točkah m1 in m2, ki ga prikazuje slika 28, s sliko 27, kjer so prikazane napetosti v točkah m1 in m2, je razvidno sovpadanje dviga napetosti ob obratovanju razpršenih virov. Povedano preprosto, ob porastu moči proizvodnje razpršenih virov se zviša napetost v točki priključitve razpršenih virov. Kot je razvidno, torej obstaja neposredna korelacija.



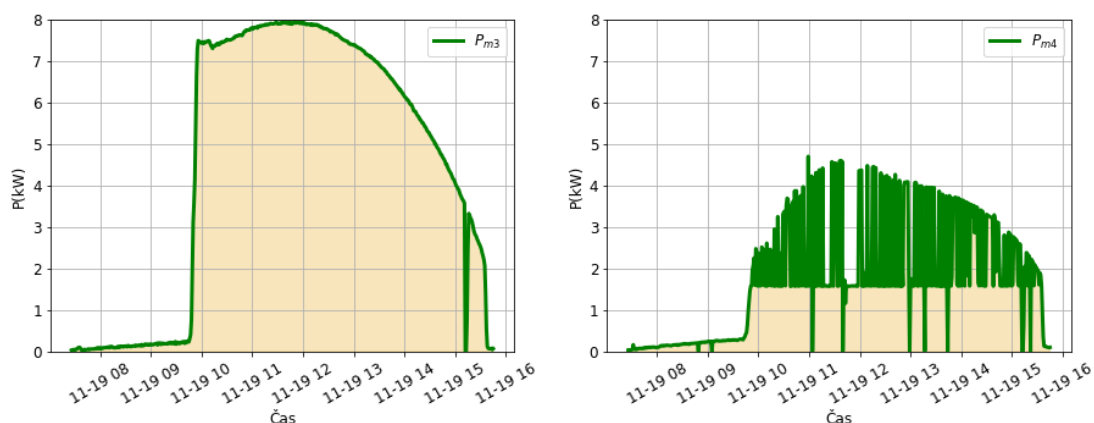
Slika 28: Časovni potek moči P_{m1} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m1 in moči P_{m2} v merilni točki m2 za območje izreza 4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

V nadaljevanju pogledimo še, kaj se dogaja vzdolž izvoda i16, kjer so izmerjene napetosti U_{L1-m3} , U_{L2-m3} in U_{L3-m3} v merilni točki m3. Te so prikazane v levem delu slike 29, desni del slike pa kaže izmerjene napetosti U_{L1-m4} , U_{L2-m4} in U_{L3-m4} v merilni točki m4 za primer obratovanja razpršene proizvodnje.



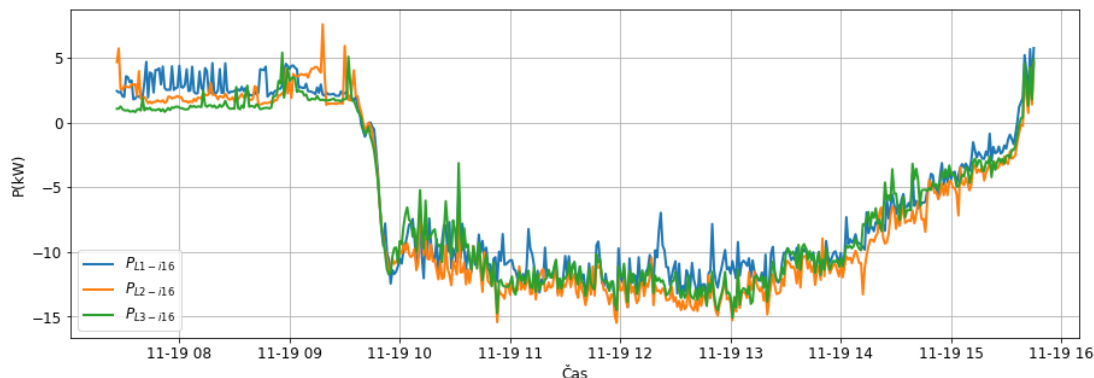
Slika 29: Časovni potek napetosti U_{L1-m3} , U_{L2-m3} in U_{L3-m3} v merilni točki m3 ter potek napetosti U_{L1-m4} , U_{L2-m4} in U_{L3-m4} v merilni točki m4 za območje izreza 4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izmerjeno oddano moč P_{m3} razpršenega vira v točki m3 prikazuje levi del slike 30, desni del pa prikazuje izmerjeno moč razpršenega vira P_{m4} v merilni točki m4. Če primerjamo graf proizvodnje delovne moči v točkah m3 in m4, ki ga prikazuje slika 30, s sliko 29, je tudi v teh dveh točkah opazno sovpadanje dviga napetosti ob obratovanju razpršenih virov.



Slika 30: Časovni potek moči P_{m3} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m3 in moči P_{m4} v merilni točki m4 za območje izreza 4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

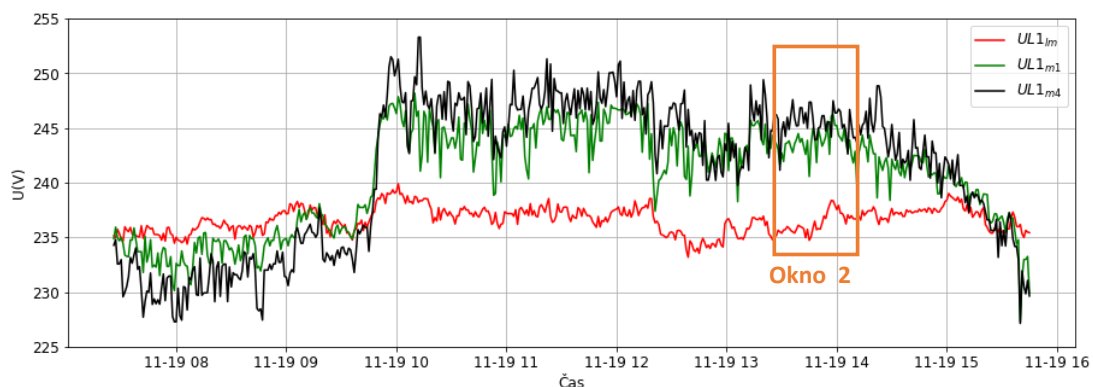
Izrišimo še časovne potoke izmerjenih moči posameznih faz P_{L1-i16} , P_{L2-i16} , P_{L3-i16} na izvodu i16, ki jih prikazuje slika 31. Iz časovnega poteka moči je razvidno, da so posamezne faze tudi v primeru obratovanja razpršenih virov na izrezu 4 nesimetrično obremenjene, kar odražajo tudi grafi napetosti v točkah m1, m2, m3 in m4.



Slika 31: Izmerjene moči P_{L1-i16} , P_{L2-i16} , P_{L3-i16} posameznih faz na izvodu i16 za področje izreza 4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

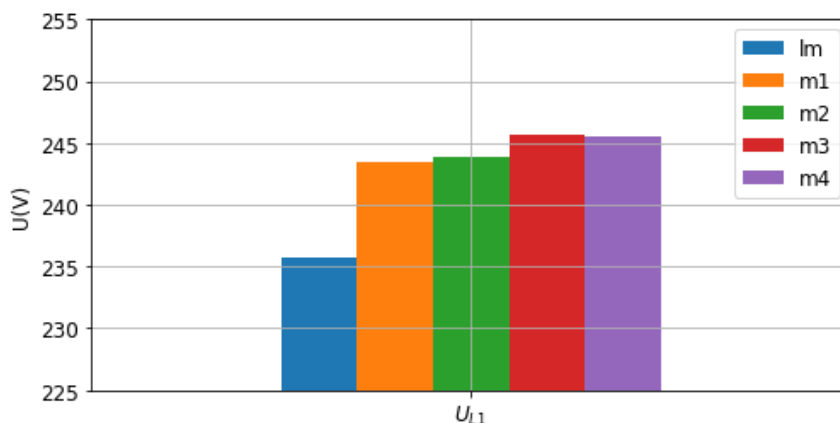
Tudi za primer izreza 4, kjer želimo primerjati, kaj se dogaja z napetostmi vzdolž izvoda i16, si izrišimo samo izmerjene napetosti v fazi L1. Izrišimo napetosti za točke lm, m1 in m4, ki, kot smo že ugotovili glede na sliko **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**, podajajo napetostni profil na začetku voda (točka lm), približno na slabi polovici voda (točka m1) in v bližini zaključka izvoda i16, v točki m4. Napetosti prikazuje slika 32, s katere je zelo lepo razvidno, da je napetost

najnižja na začetku voda, potem pa vzdolž voda narašča, kar je posledica generacije delovne moči razpršenih virov, ki oddajajo električno energijo v NN omrežje.



Slika 32: Časovni potek napetosti faze L1 U_{L1-lm} , U_{L1-m1} in U_{L1-m4} vzdolž izvoda i16 v merilnih točkah lm , $m1$ in $m4$ za področje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Za lažjo primerjavo si izrišimo še stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na delu grafa, ki je na sliki 32 označen z Okno 2. Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na ločilnem mestu (torej napetosti v transformatorski postaji) ter v točkah $m1$, $m2$, $m3$ in $m4$ prikazuje slika 33. S slednje je zelo lepo razviden porast napetostnega profila vzdolž izvoda i16 zaradi obratovanja razpršenih virov. Če primerjamo razmere s sliko 15, ko razpršeni viri niso obratovali, je sedaj napetost najnižja na izvoru, torej v transformatorski postaji, ki jo predstavlja točka ločilno mesto lm . Točki $m1$ in $m2$ sta relativno blizu skupaj, zato je povprečna napetost v teh točkah podobna, vendar višja za okrog 8 V. V točkah $m3$ in $m4$, ki sta zelo blizu konca izvoda i16, pa je napetost še nekoliko višja. Poudarimo lahko, da je prikazani profil napetosti zelo značilen za NN distribucijsko omrežje z inštaliranim večjim deležem razpršenih virov.



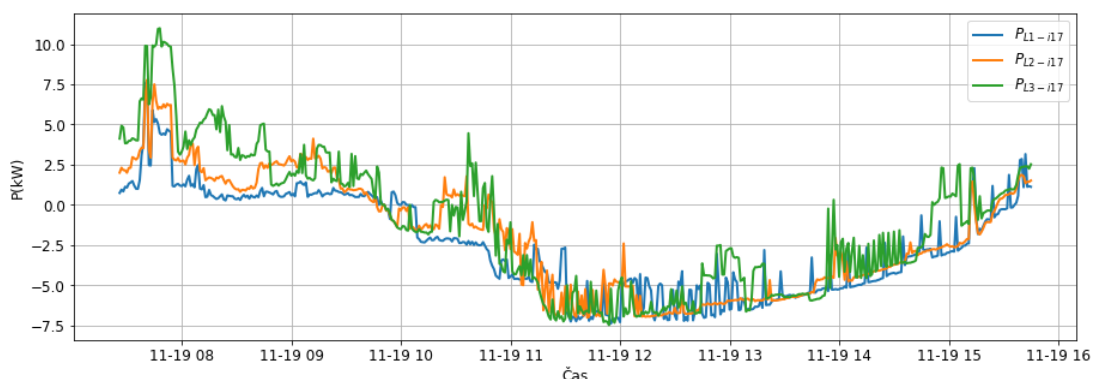
Slika 33: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti za Okno 2 na ločilnem mestu lm ter v točkah $m1$, $m2$, $m3$ in $m4$
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Tabela 4 podaja še povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 za Okno 2 s slike 32 vzdolž omrežja izvoda i16 oziroma opazovanih točk.

U(V)	LM	M1	M2	M3	M4
UL1	235,8	243,5	243,9	245,7	245,5
UL2	235,7	242,8	243,1	245,1	246,0
UL3	235,6	241,4	241,6	244,3	244,7

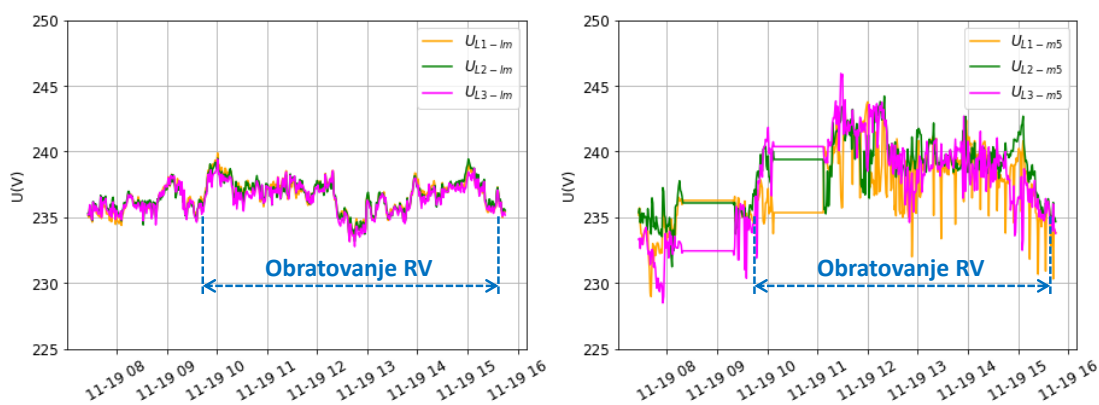
Tabela 4: Povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 v točkah lm , $m1$, $m2$, $m3$, $m4$ za Okno 2
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Za izvod i16 smo ugotovili, da razpršeni viri višajo napetosti v točkah, kjer so priključeni. Ponovimo analizo razmer še za izvod i17, za katerega smo že iz časovnega poteka trifazne moči P_{i17} na sliki 25 ugotovili, da v času obratovanja razpršenih virov oddaja električno energijo v omrežje. Poglejmo si izmerjene moči posameznih faz P_{L1-i17} , P_{L2-i17} , P_{L3-i17} na izvodu i17, ki jih prikazuje slika 34. Kot je razvidno iz časovnega poteka moči, so posamezne faze tudi v primeru območja izreza 4 za izvod i17 nesimetrično obremenjene. Torej lahko zopet pričakujemo, da bodo grafi napetosti v točkah $m5$, $m6$ in $m7$ odražali te nesimetrične obremenitve posameznih faz.



Slika 34: Izmerjene moči P_{L1-i17} , P_{L2-i17} , P_{L3-i17} posameznih faz na izvodu i17 za področje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

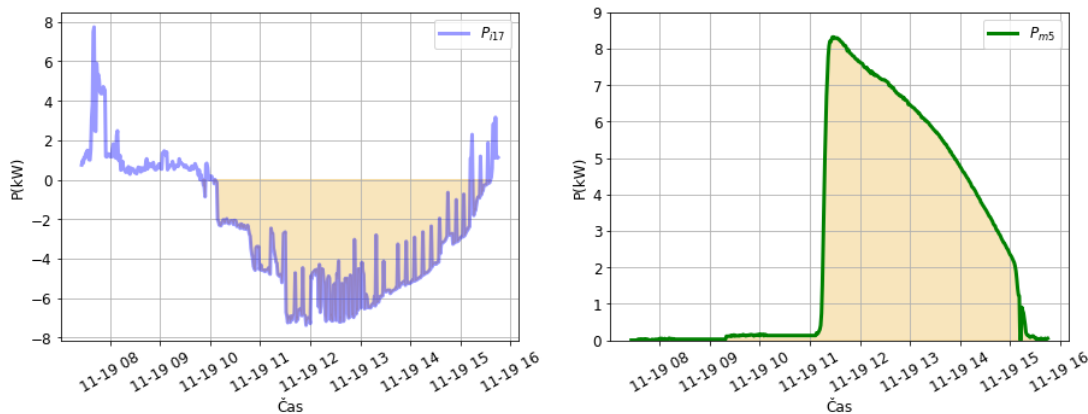
Izmerjene napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} na ločilnem mestu v točki lm za področje izreza 4 so prikazane v levem delu slike 35, v desnem delu slike pa so prikazane izmerjene napetosti U_{L1-m5} , U_{L2-m5} in U_{L3-m5} v merilni točki m5. Tudi v merilni točki m5 je razviden porast napetosti v vseh treh fazah, takoj po pričetku obratovanja razpršenih virov. Vpliv obratovanja razpršenih virov na napetosti na ločilnem mestu se sicer opazi, vendar ni znoten. Kot smo zapisali že v predhodnem poglavju, velja opomniti, da ravne črte za napetosti v sredini desnega diagrama niso fizikalne, v tem delu namreč merilni sistem zaradi težav s komunikacijo ni zabeležil meritev, pri izrisu pa smo uporabili zadnjo izmerjeno vrednost, od tod tudi ravna črta.



Slika 35: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki lm ter potek napetosti U_{L1-m5} , U_{L2-m5} in U_{L3-m5} v merilni točki m5 za področje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

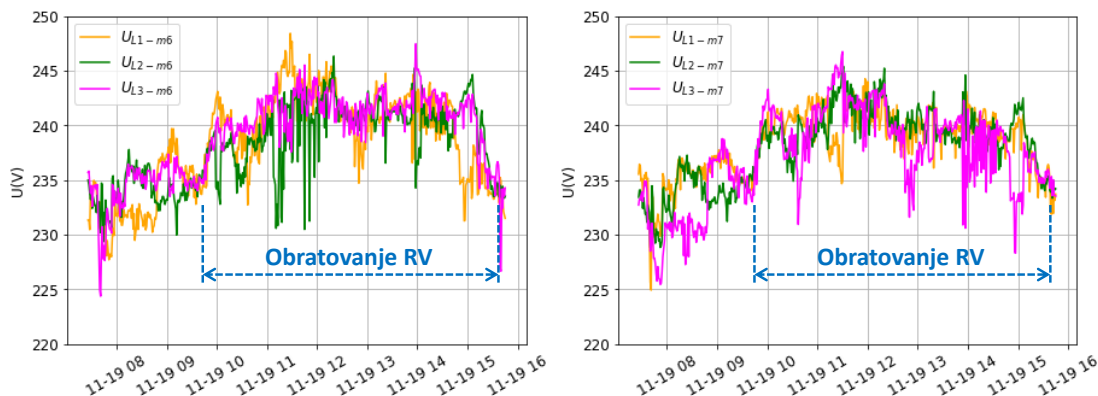
Izmerjeno moč P_{i17} na izvodu i17 prikazuje levi del slike 36, desni del slike pa prikazuje izmerjeno moč razpršenega vira P_{m5} v merilni točki m5. Če primerjamo

graf proizvodnje delovne moči v točkah i17 in m5, ki ga prikazuje slika 36, s sliko 35, kjer so napetosti v točkah i17 in m5, je razvidno sovpadanje dviga napetosti ob obratovanju razpršenih virov. Vendar je potrebno opomniti, da graf moči P_{m5} v začetnem delu ni korekten, saj so v tem delu izpadale meritve, kot je opazno že iz ravnih črt na grafu napetosti v merilni točki m5.



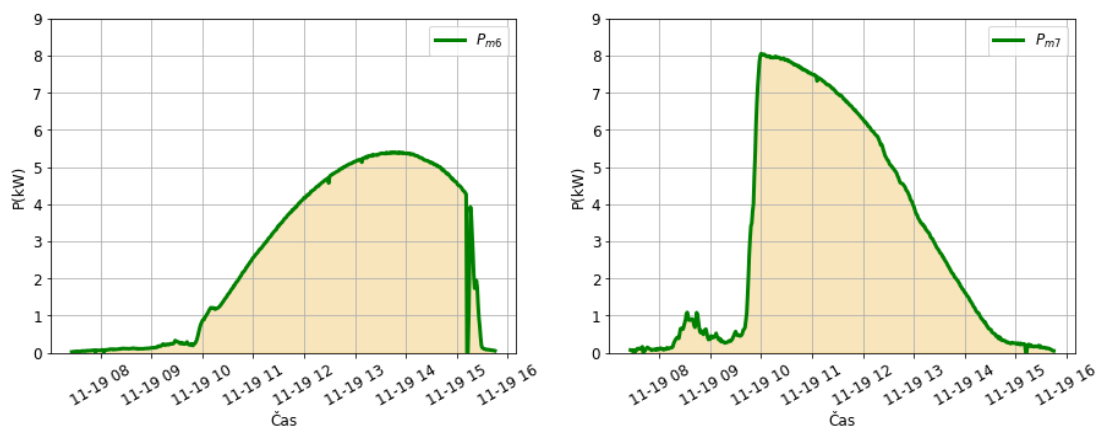
Slika 36: Časovni potek moči P_{i17} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki i17 in moči P_{m5} v merilni točki m5 za območje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Merilni rezultati vzdolž izvoda i17, kjer so izmerjene napetosti U_{L1-m6} , U_{L2-m6} U_{L3-m6} v merilni točki m6, so prikazani v levem delu slike 37, desni del slike pa prikazuje izmerjene napetosti U_{L1-m7} , U_{L2-m7} in U_{L3-m7} v merilni točki m7 za primer izreza 4 ob obratovanju razpršene proizvodnje.



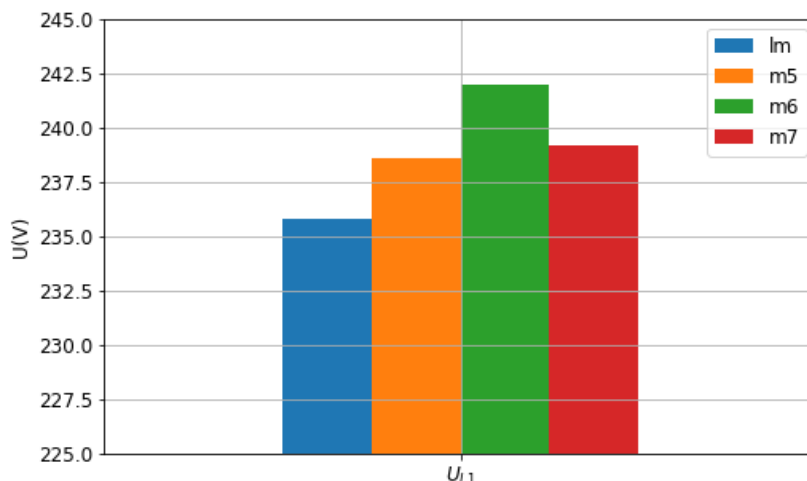
Slika 37: Časovni potek napetosti U_{L1-m6} , U_{L2-m6} in U_{L3-m6} v merilni točki m6 ter potek napetosti U_{L1-m7} , U_{L2-m7} in U_{L3-m7} v merilni točki m7 za področje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Iz časovnih potekov napetosti posameznih faz na slikah 35 in 37 je razvidno, da grafi napetosti v točkah m5, m6 in m7 odražajo nesimetrične obremenitve faz. Poglejmo si obratovanje razpršenih virov v točkah m6 in m7. Izmerjeno oddano moč P_{m6} razpršenega vira v točki m6 prikazuje levi del slike 38, desni del pa prikazuje izmerjeno moč razpršenega vira P_{m7} v merilni točki m7. Če primerjamo graf proizvodnje delovne moči v točkah m6 in m7, ki ga prikazuje slika 38, s sliko napetosti na sliki 37, je tudi v teh dveh točkah opazno sovpadanje dviga napetosti ob obratovanju razpršenih virov. Zanimivo je opaziti še, kako se grafa moči P_{m6} in P_{m7} razlikujeta, kljub temu, da sta lokaciji geografsko oddaljeni le dobrih 300 metrov. Odrezani del grafa je najverjetneje posledica osenčenosti, kajti za oba sistema so merilni sistemi korektno zabeležili podatke, v nasprotju z merilnikom v merilni točki m5, kjer je razviden izpad meritev iz napetostnih signalov.



Slika 38: Časovni potek moči P_{m6} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m6 in moči P_{m7} v merilni točki m7 za območje izreza 4, ko obratujejo razpršeni viri
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Za primerjavo izrišimo za izvod i17 stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti za izrez 4, ko obratujejo razpršeni viri. Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na ločilnem mestu lm ter v točkah m5, m6 in m7 prikazuje slika 39. Stolpčni diagram nazorno pokaže, da napetostni profil vzdolž izvoda i17 narašča. Najnižja napetost je na izvoru v transformatorski postaji, ki jo predstavlja točka ločilno mesto lm, najvišja napetost pa na NN odcepu v točki m6.



Slika 39: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na ločilnem mestu ter v točkah m5, m6 in m7

(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Tabela 5 podaja povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 za izrez 4 vzdolž omrežja oziroma opazovanih točk lm, m5, m6 in m7.

U(V)	LM	M5	M6	M7
UL1	235,8	238,6	241,9	239,1
UL2	235,7	239,3	241,6	239,4
UL3	235,6	239,6	241,0	239,8

Tabela 5: Povprečne vrednosti napetosti faz L1, L2 in L3 v točkah lm, m5, m6, m7 za izrez 4

(Vir: Arhiv Elektra Celje)

3.4 NAPETOSTNI PROFIL OB OTOČNEM OBRATOVANJU

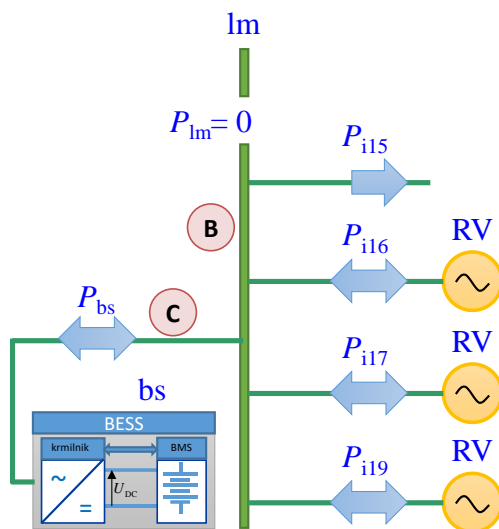
V zadnjem poglavju bomo prikazali obratovanje baterijskega hranilnika, ki napaja vse štiri izvode i15, i16, i17 in i19 samostojno. To pomeni, da je omrežni vir, torej transformator, od sistema zbiralk **B** fizično ločen s stikalom ločilnega mesta lm. Ločilno mesto je torej odprto in takšen primer imenujemo otočno obratovanje, del omrežja pa bomo v nadaljevanju imenovali NN otok. Seveda pa v obravnavanem primeru otočnega obratovanja baterijski sistem ni edini vir električne energije, kajti vire električne energije predstavljajo tudi vse priključene in delujoče sončne elektrarne.

Zagotovo pa je v primeru NN otočnega obratovanja ključni element ravno baterijski sistem. Zakaj? Ker v nizkonapetostnem omrežju, ki je del otoka, potrebujemo

element, ki bo vzdrževal frekvenco 50 Hz. Prav tako potrebujemo tudi napetostni profil znotraj mej $\pm 10\%$ od nazivne vrednosti napetosti 230 V. To sta za omrežje in predvsem za pravilno in varno obratovanje priključenih razpršenih virov in bremen ključna parametra. V normalnih razmerah ta parametra vzdržujeta transformator in pripadajoč elektroenergetski sistem, ki ga tvorijo srednjenapetostni vodi, ki so povezani preko razdelilnih transformatorskih postaj na visokonapetostne prenosne vode, ti pa na velike proizvodne enote.

Za obravnavo razmer ob otočnem obratovanju bomo s slike 7 časovnega poteka moči baterijskega sistema P_{bs} uporabili izrez 1. Potrebno je omeniti še, da so to le rezultati preizkušanja otočnega obratovanja, zato so časi, ko je bil vzpostavljen NN otok relativno kratki, saj se gibljejo na minutnih nivojih. Temu primerno bomo iz signalov na sliki 7 izrezali manjši del signala.

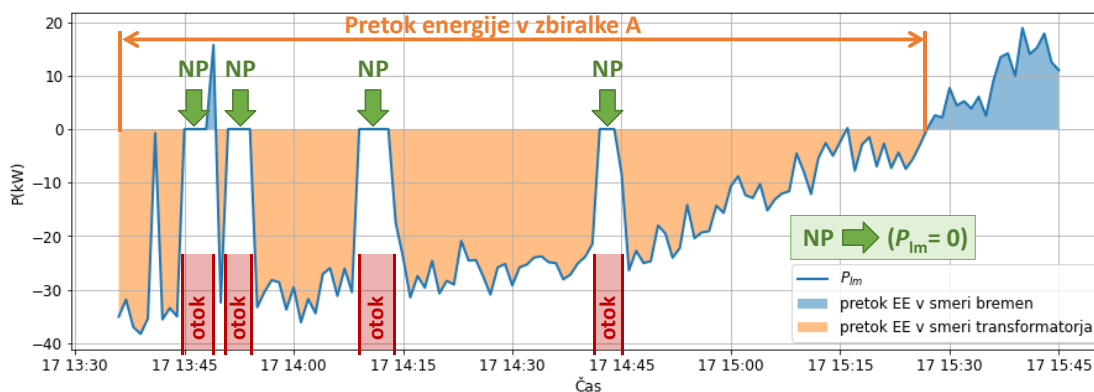
Za proučitev razmer, kako vpliva otočno obratovanje na napetostni profil, je potrebno razumeti razmere glede pretakanja energije na sistemu zbiralk **B**. Izrišimo zbiralke **B**, kjer je ločilno mesto l_m izklopljeno in je vzpostavljeno otočno obratovanje, kot kaže slika 40. V primeru otočnega obratovanja mora za vozlišče **B** v vsakem trenutku veljati, da kadar je del zbiralk **B** ločen od vira oziroma transformatorja preko ločilnega mesta l_m , je moč ločilnega mesta enaka nič, torej $P_{l_m} = 0$. Moč na zbiralki **B** pa mora biti enaka vsoti moči $P_{i15} + P_{i16} + P_{i17} + P_{i19} + P_{bs}$, ki pa je sedaj, ko je ločilno mesto izklopljeno, enaka nič. Puščice smeri pretoka električnih energij na sliki 40 kažejo, da je razen na izvodu i_{15} , ki nima priključenih razpršenih virov, pretok električne energije dvosmeren. Predhodno smo v poglavju o obratovanju razpršenih virov na sliki 23, ki kaže moč P_{l_m} , ugotovili, da je višek električne energije iz zbiralke **B** povzročil pretok električne energije v zbiralko **A**. Sedaj ko sistem obratuje otočno, pa se višek ne more več pretakati v zbiralko **B**. Kam se torej pretaka višek proizvedene električne energije ob otočnem obratovanju? Odgovor je, v baterijski hranilnik. Baterijski hranilnik sedaj izvaja funkcijo zagotavljanja ravnotežja med proizvedeno in porabljeno električno energijo na zbiralki **B**, kot smo opisali v poglavju o opisu funkcij baterijskega sistema.



Slika 40: Prikaz vozišča B s pripadajočimi izvodi ob NN otočnem obratovanju (Vir: Arhiv Elektra Celje)

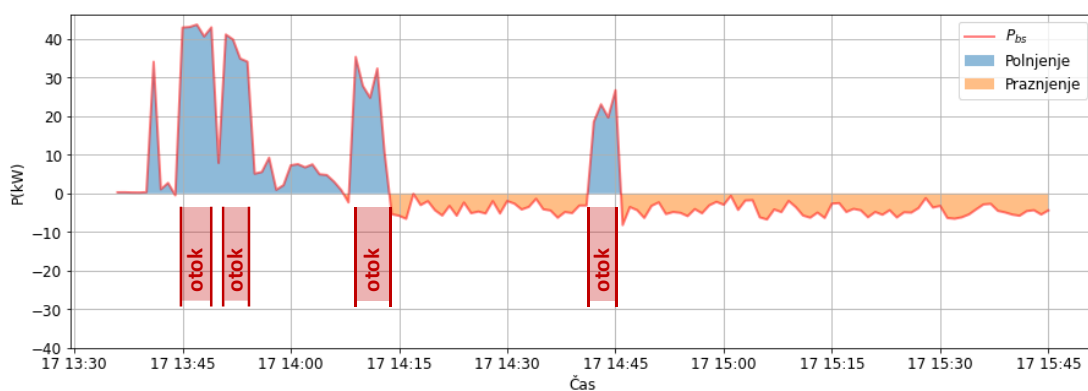
Časovni potek moči P_{lm} na ločilnem mestu lm za izrez 1 prikazuje slika 41. S stikalom na ločilnem mestu lm torej vzpostavljamo otočno obratovanje, kot smo prikazali na sliki 40, z ločitvijo zbiralke B od zbiralke A.

Testiranje otočnega obratovanja se je praktično izvajalo na naslednji način. Ob začetnem obratovalnem stanju je bilo stikalo ločilnega mesta vklopljeno, torej je bila v tem primeru zbiralka B povezana z zbiralko A. Na sliki 41, ki kaže potek moči P_{lm} na ločilnem mestu, to obratovanje predstavlja pretok energije v smeri zbiralke A oziroma v smeri transformatorja. Kot je razvidno, je v tem delu grafa, ki ga predstavlja oranžno šrafirani del na sliki 41, moč P_{lm} negativna.



Slika 41: Časovni potek moči P_{lm} na ločilnem mestu lm za območje izreza 1 (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Ob vzpostavitvi otočnega obratovanja se je izklopilo stikalo ločilnega mesta Im , sistem zbiralk **B** pa je nemoteno in brez prekinitve obratoval dalje. Na sliki 41 so trenutki, ko je bil otok vzpostavljen, označeni s šrafiranim področjem z napisom otok. Puščice NP pa predstavljajo ničelni pretok v zbiralko A, kar pomeni, da je v teh trenutkih veljalo $P_{im} = 0$ in je obratovanje otoka vzdrževal baterijski sistem. Razvidno je tudi, da smo otok testno vzpostavili štirikrat. Poglejmo še, kaj se v področju izreza 1 dogaja z ostalimi izvodi in baterijskim hranilnikom. Časovni potek moči baterijskega hranilnika P_{bs} v točki **C** za izrez 1 prikazuje slika 42, s katere je razvidno, da se baterijski sistem polni v trenutkih, ko je bilo vzpostavljeno otočno obratovanje. V preostalem področju pa se je baterijski sistem praznil z močjo nekaj kW.

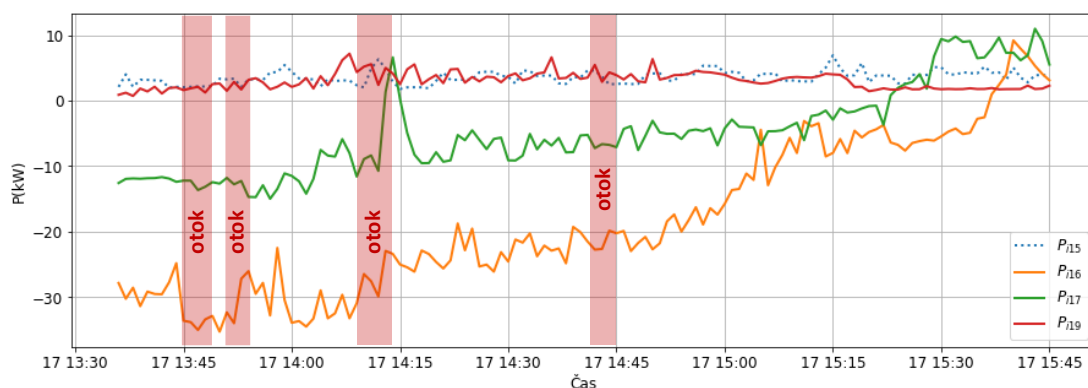


Slika 42: Časovni potek moči baterijskega hranilnika P_{bs} v točki **C** za območje izreza

1

(Vir: Arhiv Elektra Celje)

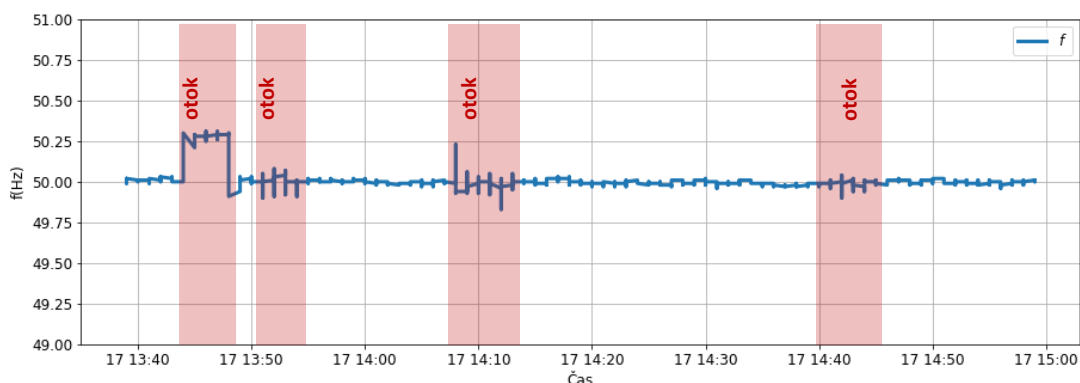
Za globlje razumevanje, kaj se dogaja, si pogledajmo časovni potek moči P_{i15} , P_{i16} , P_{i17} in P_{i19} na izvodih $i15$, $i16$, $i17$ in $i19$ na zbiralki **B** za izrez 1, ki ga prikazuje slika 43. S slednje je razvidno, da izvoda $i15$ in $i19$ nimata oddaje električne energije iz razpršenih virov, saj je moč ves čas opazovane periode pozitivna. Bistvena prispevka generirane moči iz razpršenih virov pa sta opazna na izvodih $i16$ in $i17$, ki praktično ves čas, ko razpršeni viri delujejo, oddajata višek električne energije.



Slika 43: Časovni potek moči P_{i15} , P_{i16} , P_{i17} in P_{i19} na izvodih iz zbiralke B za območje izreza 1
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Na sliki 43 so označeni tudi intervali, v katerih je sistem oziroma zbiralka **B** obratovala v otočnem načinu. Sedaj si lahko razložimo dogajanje. Ob otočnem obratovanju se, kot je razvidno s slike 43, razmere glede moči na izvodih in posledično tudi pretokov električnih energij sploh niso bistveno spremenile. Izvoda i15 in i19 še vedno in brez motnje prejemata električno energijo iz zbiralke **B**, izvoda i16 in i17 pa še vedno proizvajata višek električne energije. Ta višek pa se ob otočnem obratovanju ne more več oddati v zbiralko **A**, ker je slednja izklopljena, mora višek električne energije prevzeti baterijski hranilnik. To pa je tudi zelo jasno razvidno s slike časovnega poteka moči baterijskega hranilnika P_{bs} za izrez 1 na sliki 42. Če povzamemo, je baterijski sistem vzdrževal razmere glede napetosti in bilance moči na zbiralki **B** ob otočnem obratovanju. Morda omenimo še to, da se je zaradi viška proizvodnje električne energije baterijski sistem polnil. Razumljivo pa je, da bi v primeru, če bi bila proizvodnja vseh virov manjša od potrebe bremen, to razliko spet moral pokriti baterijski sistem, ki bi se v tem primeru praznil.

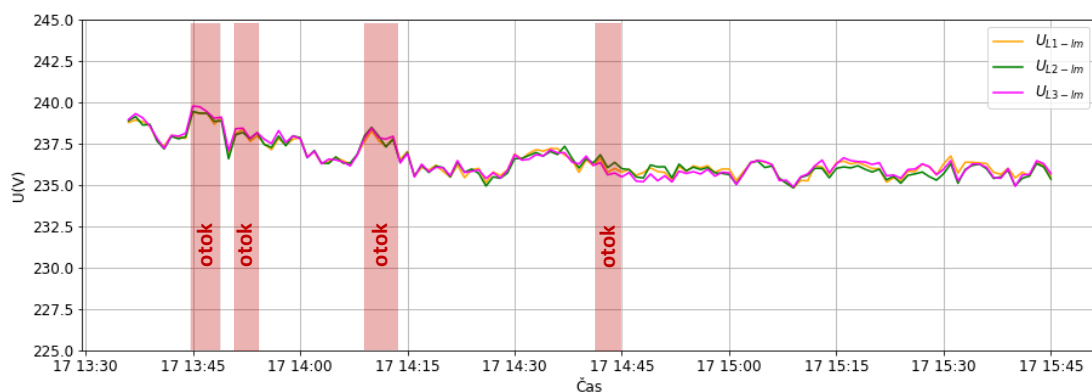
Kot smo že dejali, sta frekvenca in napetostni profil najpomembnejša parametra otočnega obratovanja. Poglejmo si torej, kaj se je dogajalo s frekvenco ob otočnem obratovanju, za katero vemo, da jo je med otočnim obratovanjem moral vzdrževati baterijski sistem. Pri tem moramo omeniti, da iz merilnih podatkov, ki jih beležijo merilni sistemi, meritev frekvence ni na voljo, zato si bomo pomagali z merilnikom, ki je meril vrednost frekvence na baterijskem sistemu med testiranjem otočnega obratovanja. Frekvenca je bila izmerjena vsako sekundo, njen časovni potek pa kaže slika 44. Razvidno je, da ob otočnem obratovanju frekvenca malo zaniha, vendar so nihanja majhna, znotraj pasu $50+0,27$ Hz in $50-0,2$ Hz. Ugotovimo lahko, da baterijski sistem ob otočnem obratovanju korektno vzdržuje frekvenco.



Slika 44: Časovni potek frekvence v časovnem območju, ko se je testiralo otočno obratovanje

(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Drugi pomemben parameter pa je napetostni nivo, ki mora biti zagotovljen v vseh točkah omrežja. Zato bomo v nadaljevanju preverili še napetosti v posameznih točkah NN omrežja in vpliv otočnega obratovanja na napetostni profil vzdolž izvodov i16 in i17. Slika 45 kaže časovni potek napetosti v posameznih fazah U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} , ki so bile izmerjene v merilni točki lm (ločilno mesto) v transformatorski postaji. Potrebno je omeniti, da je merilnik na ločilnem mestu fizično dejansko nameščen v sklopu stikala ločilnega mesta in tipa fazne napetosti na strani transformatorja. Zato ob prehodu v otok oziroma pri izklopu stikala lm še vedno beleži napetosti na zbiralkah **A**. Napetosti na zbiralkah **A** so namreč nujno potrebne za sinhronizacijo otoka nazaj na omrežje, brez povzročanja prekinitve ali motenj.

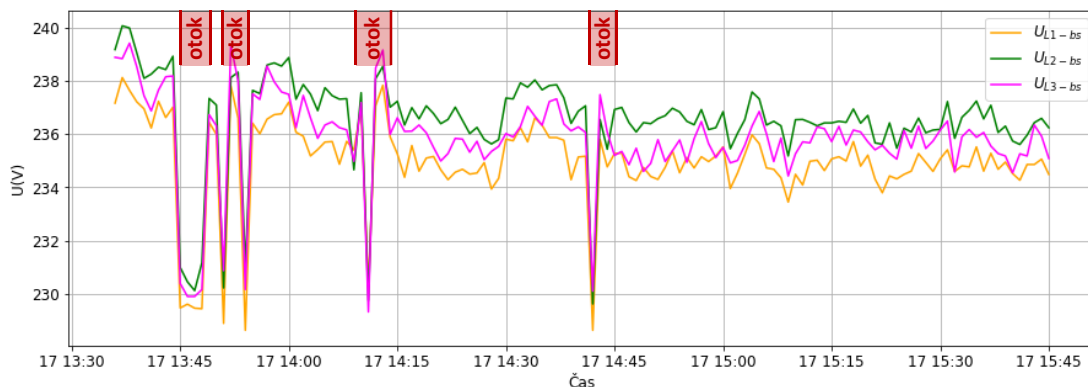


Slika 45: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki ločilnega mesta v transformatorski postaji za izrez 1

(Vir: Arhiv Elektra Celje)

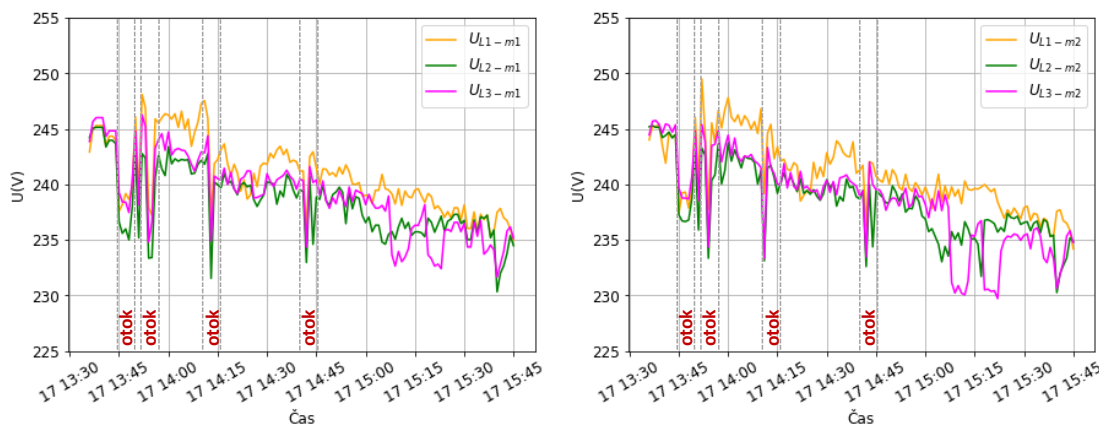
Slika **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** prikazuje časovni potek napetosti v posameznih fazah U_{L1-bs} , U_{L2-bs} in U_{L3-bs} , ki so bile izmerjene v merilni

točki bs (baterijski sistem) v transformatorski postaji. To je v primeru otočnega obratovanja dejansko napetost zbiralke **B**, ki napaja vse štiri izvode i15, i16, i17 in i19. Ob otočnem obratovanju je opaziti, da napetosti upadejo na nivo okrog 230 V, povprečno se torej znižajo za okrog šest do osem voltov. Sedaj si pogledimo, kaj se pri otočnem obratovanju dogaja po globini NN omrežja.



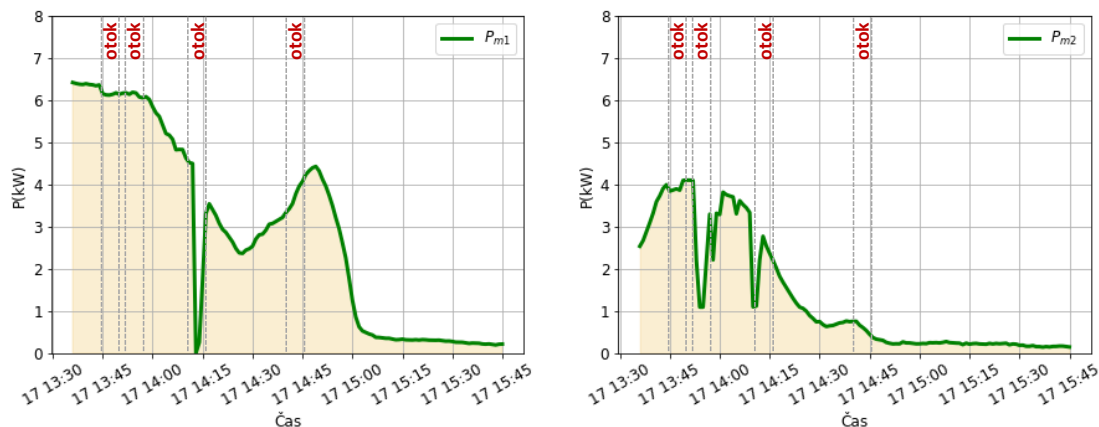
Slika 46: Časovni potek napetosti U_{L1-bs} , U_{L2-bs} in U_{L3-bs} v merilni točki baterijskega sistema v transformatorski postaji
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Opazujemo razmere vzdolž izvoda i16 v merjenih točkah m1, m2, m3 in m4. Izmerjene napetosti U_{L1-m1} , U_{L2-m1} in U_{L3-m1} v merilni točki m1 za izrez 1 so prikazane v levem delu slike 47, medtem ko desni del slike kaže izmerjene napetosti U_{L1-m2} , U_{L2-m2} in U_{L3-m2} v merilni točki m2. Na sliki so označeni segmenti, v katerih je sistem obratoval otočno.



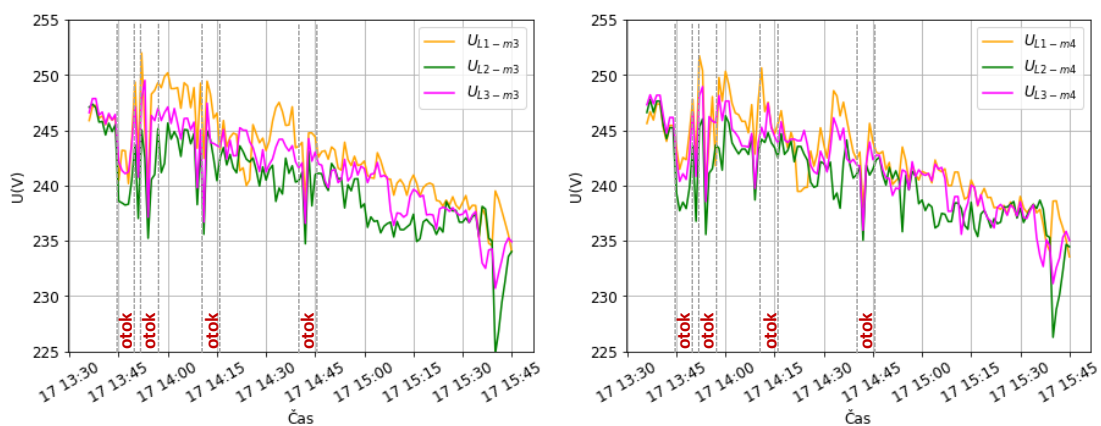
Slika 47: Časovni potek napetosti U_{L1-m1} , U_{L2-m1} in U_{L3-m1} v merilni točki m1 ter potek napetosti U_{L1-m2} , U_{L2-m2} in U_{L3-m2} v merilni točki m2
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Poglejmo še vpliv otočnega obratovanja na izmerjeno oddano moč P_{m1} razpršenega vira v točki m1, ki ga prikazuje levi del slike 48, desni del slike pa prikazuje izmerjeno moč razpršenega vira P_{m2} v merilni točki m2. Če primerjamo graf proizvodnje delovne moči v točkah m1 in m2, ki ga prikazuje slika 48, s sliko **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**, kjer so prikazane napetosti v točkah m1 in m2, ni mogoče potrditi neposredne korelacije. Glede na dejstvo s slike 48 levo, za moč P_{m1} , da v treh primerih otočnega obratovanja ni bistvenega upada ali da ni opaziti nihanja na poteku moči, je mogoče sklepati, da otočno obratovanje ne vpliva bistveno na delovanje razpršenih virov. Nenazadnje se je ves čas otočnega obratovanja, kot smo pokazali na začetku tega poglavja, otok (zbiralke **B**) napajal iz razpršenih virov, pri čemer se je tudi baterijski sistem ves čas otočnega obratovanja polnil. Globoki upadi proizvodnje moči P_{m1} in P_{m4} , ki jih je opaziti v nekaterih trenutkih, najverjetneje niso povezani z otočnim obratovanjem, ampak so po vsej verjetnosti posledica senčenja ali razmer sončnega obsevanja.



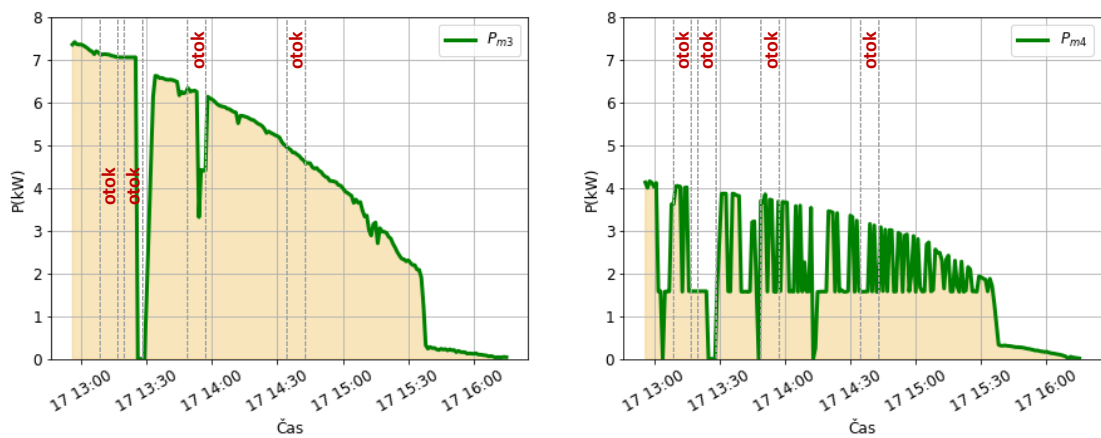
Slika 48: Časovni potek moči P_{m1} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m1 in moči P_{m2} v merilni točki m2 za območje izreza 4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

V nadaljevanju pogledimo še, kaj se dogaja vzdolž preostalih merilnih točk izvoda i16, kjer so izmerjene napetosti U_{L1-m3} , U_{L2-m3} in U_{L3-m3} v merilni točki m3 prikazane v levem delu slike 49. Desni del slike pa prikazuje izmerjene napetosti U_{L1-m4} , U_{L2-m4} in U_{L3-m4} v merilni točki m4 za primer obratovanja razpršene proizvodnje in v nekaterih trenutkih otočnega obratovanja.



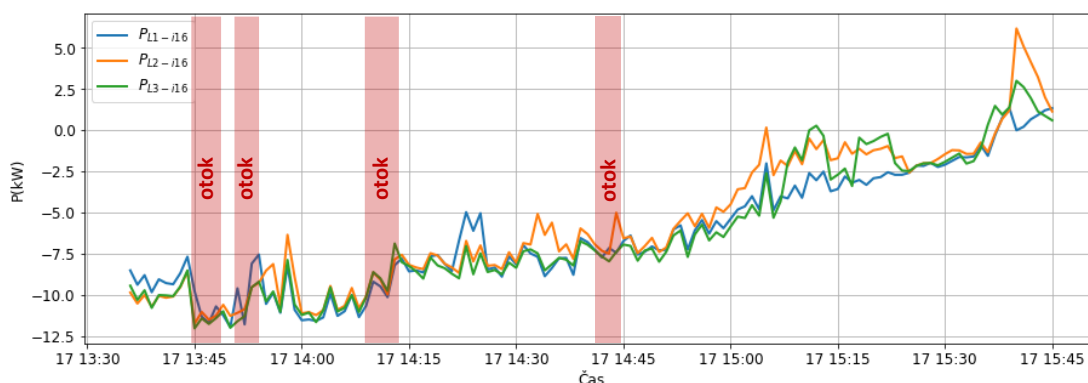
Slika 49: Časovni potek napetosti U_{L1-m3} , U_{L2-m3} in U_{L3-m3} v merilni točki m3 ter potek napetosti U_{L1-m4} , U_{L2-m4} in U_{L3-m4} v merilni točki m4 za območje izreza 1 (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izmerjeno oddano moč P_{m3} razpršenega vira v točki m3 prikazuje levi del slike 50, desni del pa prikazuje izmerjeno moč razpršenega vira P_{m4} v merilni točki m4 za primer izreza 1.



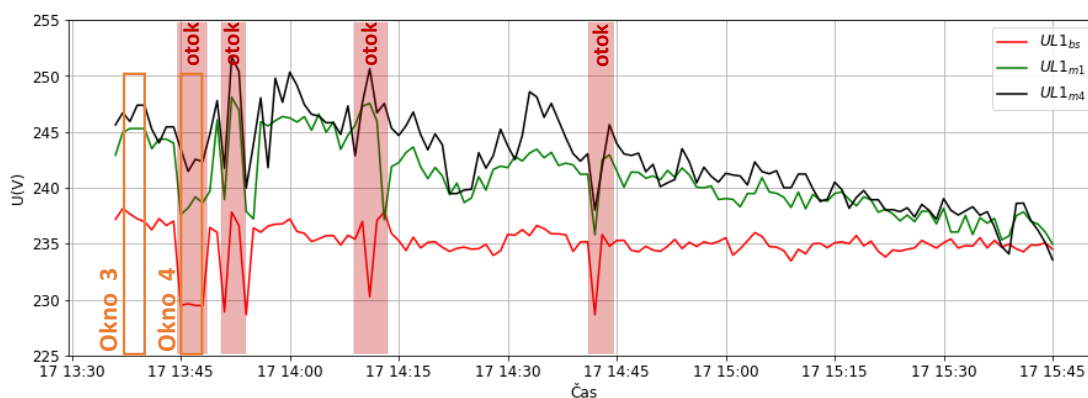
Slika 50: Časovni potek moči P_{m3} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m3 in moči P_{m4} v merilni točki m4 za območje izreza 1 (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izrišimo še časovne poteke izmerjenih moči posameznih faz P_{L1-i16} , P_{L2-i16} , P_{L3-i16} na izvodu i16, ki jih prikazuje slika 51. Iz časovnega poteka moči je razvidno, da so posamezne faze tudi v obravnavanem primeru izreza 1 nesimetrično obremenjene, kar odražajo tudi grafi napetosti v točkah m1, m2, m3 in m4. Omenimo lahko še, da ni opaziti znatnih vplivov na moči posameznih faz ob otočnem obratovanju izvoda i16.



Slika 51: Izmerjene moči P_{L1-i16} , P_{L2-i16} , P_{L3-i16} posameznih faz na izvodu i16 za področje izreza 4
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

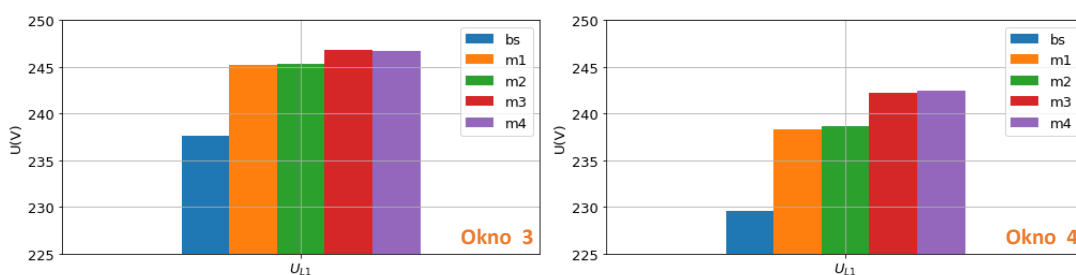
Tudi za primer izreza 1, kjer želimo primerjati, kaj se dogaja z napetostmi vzdolž izvoda i16, ko je vzpostavljeno otočno obratovanje, si izrišimo samo izmerjene napetosti v fazi L1. Izrišimo napetosti za točke bs, m1 in m4, ki jih prikazuje slika 52, s katere je razvidno, da je tudi v primeru izreza 1 in v označenih delih otočnega obratovanja napetost najnižja na začetku voda $UL1_{bs}$, potem pa vzdolž voda narašča, kar je posledica generacije delovne moči razpršenih virov, ki oddajajo električno energijo v NN omrežje. V delih, kjer sistem otočno obratuje, je na splošno opaziti znižanje napetosti vzdolž vseh točk sistema, vendar so napetosti še vedno znotraj zelo ozkih in dopustnih mej.



Slika 52: Časovni potek napetosti faze L1 U_{L1-bs} , U_{L1-m1} in U_{L1-m4} vzdolž izvoda i16 v merilnih točkah bs, m1 in m4 za področje izreza 1 ter ob vzpostavljanju otočnega obratovanja
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

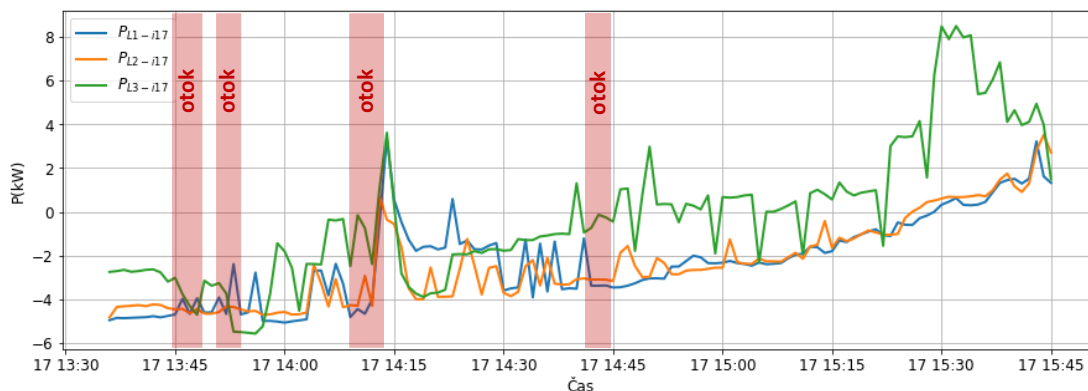
Za primerjavo med normalnim in otočnim obratovanjem izrišimo stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na grafu napetosti s slike 52. Stolpčni diagram

povprečnih vrednosti napetosti na baterijskem sistemu (torej napetosti na zbiralki **B**) ter v točkah m1, m2, m3 in m4 prikazuje slika 53. Levi del slike 53 kaže povprečne vrednosti napetosti za del, ki je na sliki 52 označen z Okno 3 in predstavlja normalno obratovanje. V tem primeru je napetost na zbiralki U_{bs} v bistvu napetost transformatorja. Desni del slike 53 pa kaže povprečne vrednosti napetosti za del, ki je na sliki 52 označen z Okno 4 in predstavlja otočno obratovanje. V tem primeru pa je napetost na zbiralki U_{bs} v bistvu napetost baterijskega sistema. Iz obeh stolpčnih diagramov je zelo lepo razviden porast napetostnega profila vzdolž izvoda i16 zaradi obratovanja razpršenih virov. Med otočnim obratovanjem (Okno 4) je še razvidno, da se je celoten profil napetosti od vira (zbiralke B) vzdolž izvoda i16 znižal.



Slika 53: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na zbiralki B ter v točkah m1, m2, m3 in m4 za izrez 1
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

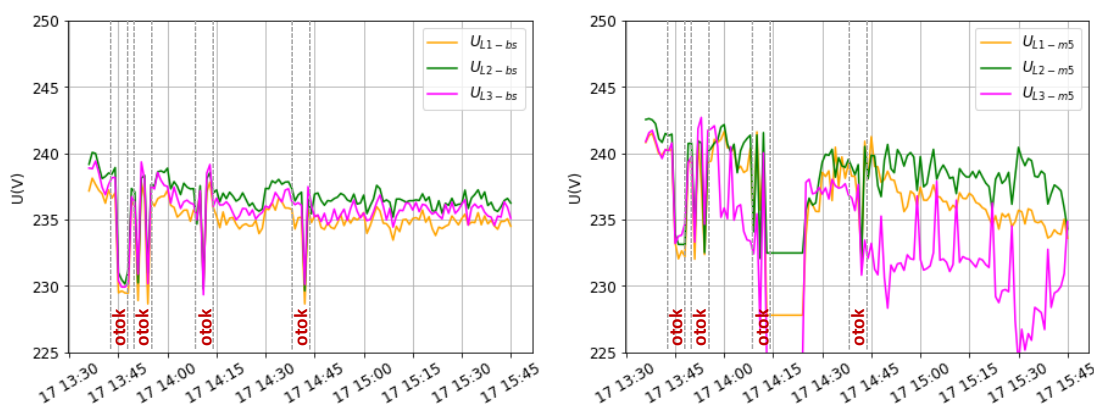
Ob analizi razmer, ko se je vzpostavljalo otočno obratovanje, smo za izvod i16 ugotovili, da se je vzdolž njega napetost v primeru otočnega obratovanja nekoliko znižala, še vedno pa je močno prisoten vpliv razpršenih virov, ki višajo napetosti v točkah, kjer so priključeni. V nadaljevanju prikazimo še analizo razmer za izvod i17. Poglejmo si izmerjene moči posameznih faz P_{L1-i17} , P_{L2-i17} , P_{L3-i17} za izrez 1 na izvodu i17, ki jih prikazuje slika 54. Časovni potek pokaže, da so posamezne faze tudi v primeru območja izreza 1 za izvod i17 nesimetrično obremenjene. Torej lahko pričakujemo, da bodo grafi napetosti v točkah m5, m6 in m7 odražali te nesimetrične obremenitve posameznih faz. Na sliki 54 so označena območja otočnega obratovanja, kjer ni opaziti izraženih vplivov otočnega obratovanja na prikazane moči na izvodu i17.



Slika 54: Izmerjene moči P_{L1-i17} , P_{L2-i17} , P_{L3-i17} posameznih faz na izvodu i17 za področje izreza 1, ko so obratovali razpršeni viri in se je vzpostavljalo otočno obratovanje

(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izmerjene napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} na ločilnem mestu v točki lm za področje izreza 1 so prikazane v levem delu slike 55, v desnem delu slike pa so prikazane izmerjene napetosti U_{L1-m5} , U_{L2-m5} in U_{L3-m5} v merilni točki m5. Kot smo zapisali že v predhodnem poglavju, velja opomniti, da ravne črte za napetosti v sredini desnega diagrama niso fizikalne, v tem delu namreč merilni sistem zaradi težav s komunikacijo ni zabeležil meritev, pri izrisu pa smo uporabili zadnjo izmerjeno vrednost, od tod tudi ravna črta. Podobno kot na izvodu i16 opazimo, da se tudi na izvodu i17 napetosti ob otočnem obratovanju znižajo vzdolž celotnega NN izvoda.

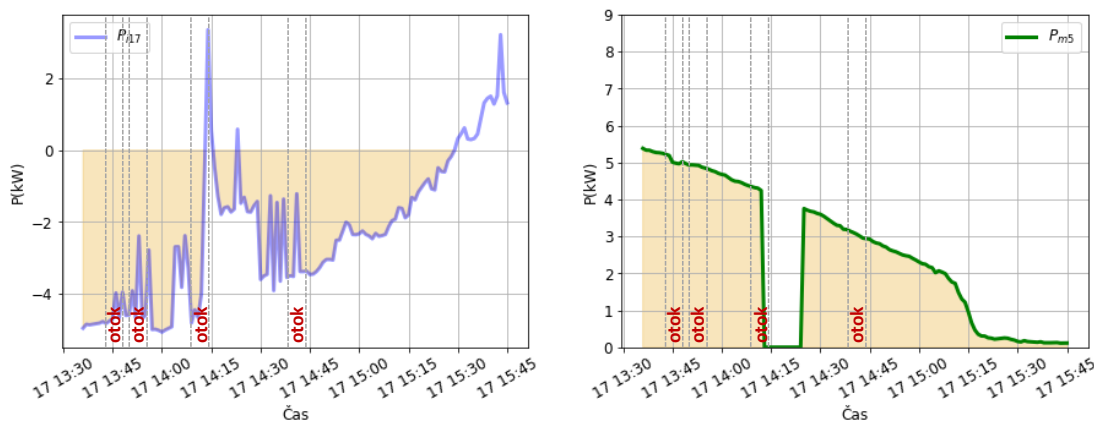


Slika 55: Časovni potek napetosti U_{L1-lm} , U_{L2-lm} in U_{L3-lm} v merilni točki lm ter potek napetosti U_{L1-m5} , U_{L2-m5} in U_{L3-m5} v merilni točki m5 za področje izreza 1

(Vir: Arhiv Elektra Celje)

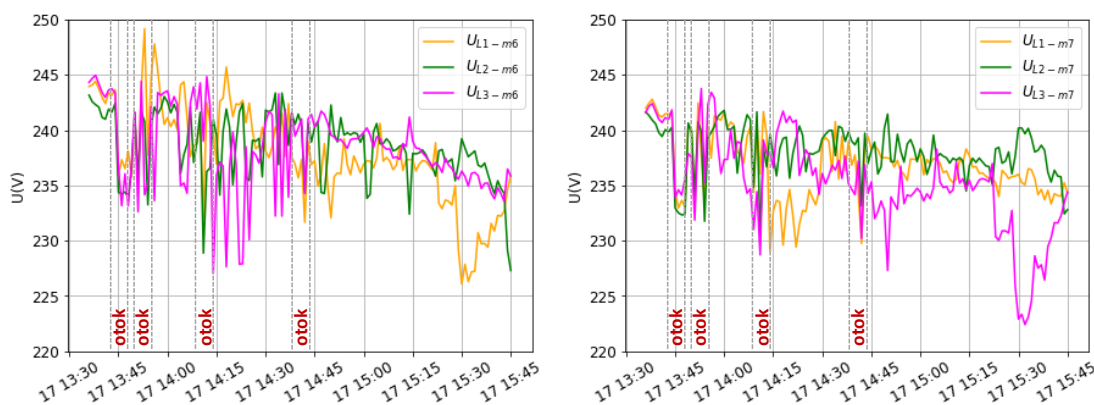
Izmerjeno moč P_{i17} na izvodu i17 prikazuje levi del slike 56, desni del slike pa prikazuje izmerjeno moč razpršenega vira P_{m5} v merilni točki m5. Opomniti je potrebno, da graf moči P_{m5} v delu, kjer ni proizvodnje električne energije, ni

korekten, saj so v tem delu izpadale meritve, kar je opazno že iz ravnih črt na grafu napetosti v merilni točki m5. Iz desnega grafa na sliki 56 je razvidno, da ni opaziti koincidence med otočnim obratovanjem in proizvodnjo razpršenega vira.



Slika 56: Časovni potek moči P_{i17} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m_5 in moči P_{m5} v merilni točki m_5 za območje izreza 4, za področje izreza 1 (Vir: Arhiv Elektra Celje)

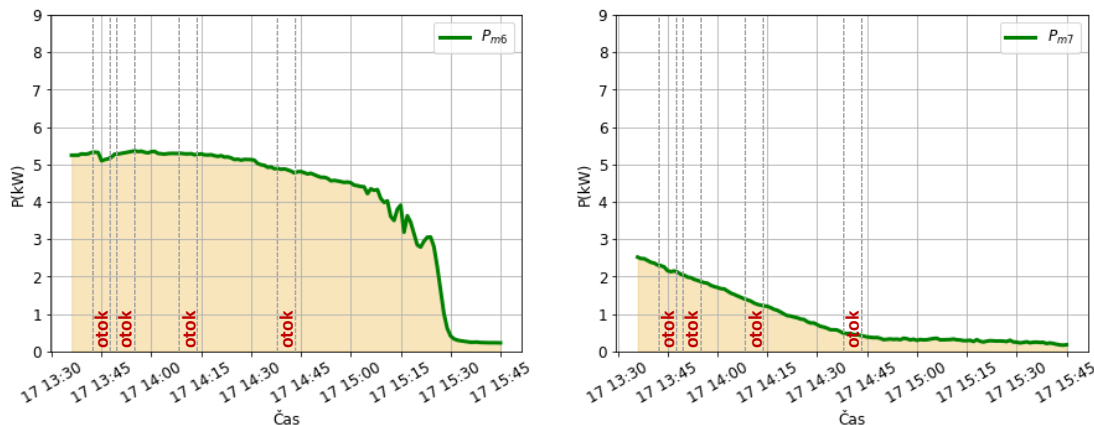
Vzdolž izvoda i_{17} izmerjene napetosti U_{L1-m6} , U_{L2-m6} , U_{L3-m6} v merilni točki m_6 so prikazane v levem delu slike 57, izmerjene napetosti U_{L1-m7} , U_{L2-m7} in U_{L3-m7} v merilni točki m_7 za primer izreza 1 ob obratovanju razpršene proizvodnje pa v desnem delu slike.



Slika 57: Časovni potek napetosti U_{L1-m6} , U_{L2-m6} in U_{L3-m6} v merilni točki m_6 ter potek napetosti U_{L1-m7} , U_{L2-m7} in U_{L3-m7} v merilni točki m_7 za področje izreza 4, za področje izreza 1 (Vir: Arhiv Elektra Celje)

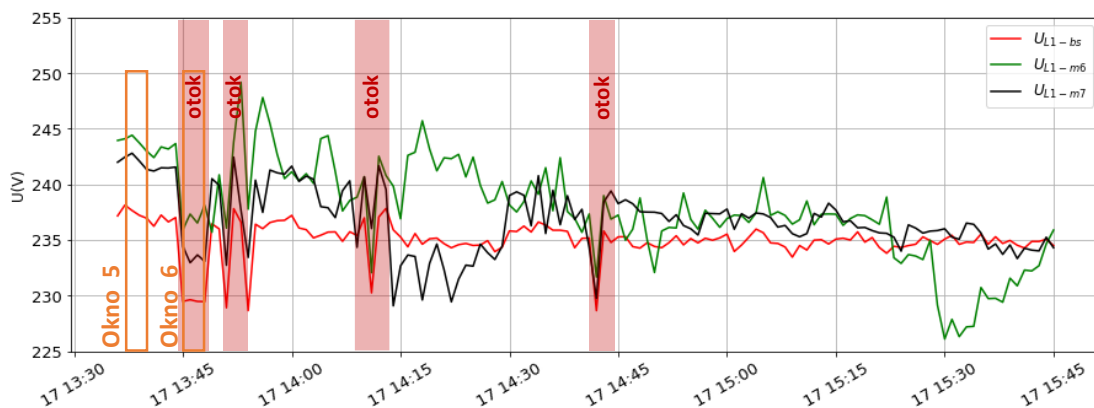
Poglejmo si obratovanje razpršenih virov v točkah m_6 in m_7 in razmere ob otočnem obratovanju. Izmerjeno oddano moč P_{m6} razpršenega vira v točki m_6 prikazuje levi

del slike 58, desni del pa prikazuje izmerjeno moč razpršenega vira P_{m7} v merilni točki m7.



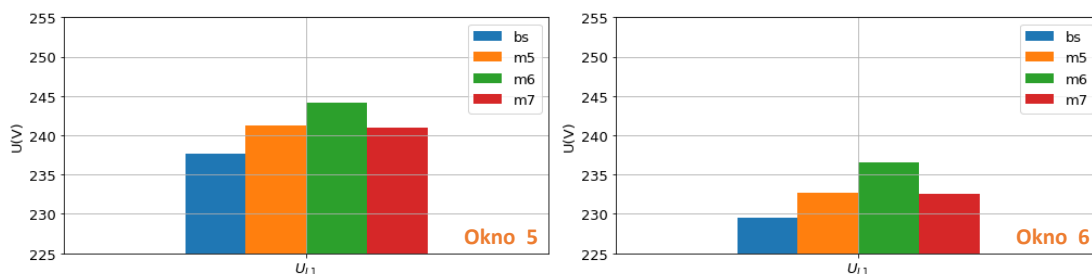
Slika 58: Časovni potek moči P_{m6} proizvodnje razpršenih virov v merilni točki m6 in moči P_{m7} v merilni točki m7 za območje izreza 1, za področje izreza 1 (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Izvedimo še analizo, kaj se dogaja z napetostmi vzdolž izvoda i17, ko je vzpostavljeno otočno obratovanje, in si izrišimo samo izmerjene napetosti v fazi L1. Izrišimo napetosti za točke bs, m6 in m7, ki jih prikazuje slika 59. S slike je razvidno, da je tudi v primeru izreza 1 in v označenih delih otočnega obratovanja napetost najnižja na začetku voda UL_{1bs} , potem pa vzdolž voda narašča, kar je posledica generacije delovne moči razpršenih virov, ki oddajajo električno energijo v NN omrežje.



Slika 59: Časovni potek napetosti faze L1 U_{L1-bs} , U_{L1-m1} in U_{L1-m4} vzdolž izvoda i16 v merilnih točkah bs, m1 in m4 za področje izreza 1 ter ob vzpostavljanju otočnega obratovanja (Vir: Arhiv Elektra Celje)

Prikažimo še primerjavo med normalnim in otočnim obratovanjem vzdolž izvoda i17. Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na baterijskem sistemu, ki dejansko predstavlja napetost na zbiralki **B**, ter napetosti v točkah m5, m6 in m7 prikazuje slika 60. Levi del slike kaže povprečne vrednosti napetosti za del, ki je na sliki 59 označen z Okno 5 in predstavlja normalno obratovanje. V tem primeru je napetost na zbiralki U_{bs} v bistvu napetost transformatorja. Desni del slike 60 pa kaže povprečne vrednosti napetosti za del, ki je na sliki 59 označen z Okno 6 in predstavlja otočno obratovanje. V tem primeru je napetost na zbiralki U_{bs} v bistvu napetost baterijskega sistema. Tudi vzdolž izvoda i17 je iz obeh stolpčnih diagramov razviden porast napetostnega profila, ki je posledica obratovanja razpršenih virov. Med otočnim obratovanjem (Okno 6) je razvidno, da se je celoten profil napetosti od vira (zbiralke **B**) vzdolž izvoda i17 znižal.



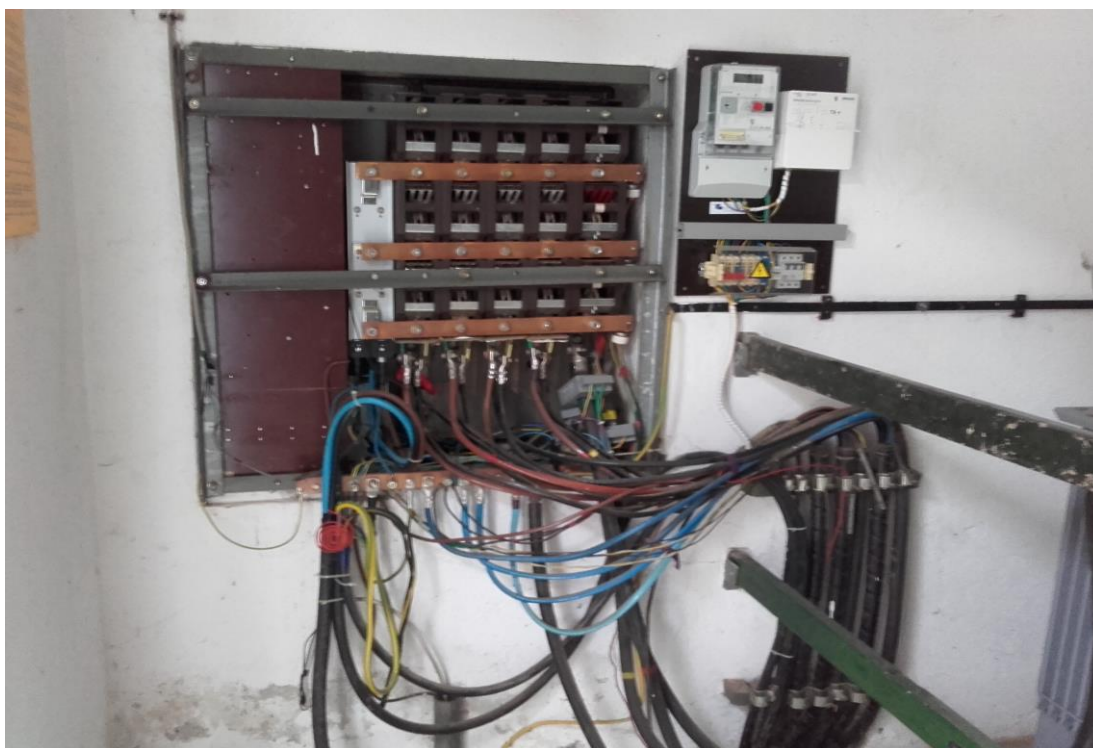
Slika 60: Stolpčni diagram povprečnih vrednosti napetosti na zbiralki **B** ter v točkah m5, m6 in m7 za izrez 1
(Vir: Arhiv Elektra Celje)

Primerjava napetosti vzdolž izvodov i16 in i17 pokaže podobne rezultate, kot smo jih prikazali ob analizi obratovanja razpršenih virov. Za oba izvoda je najnižja napetost na izvoru v transformatorski postaji, ki jo predstavlja točka ločilno mesto lm oziroma bs, ko je vzpostavljeno otočno obratovanje. Vzdolž merilnih točk obeh izvodov i16 in i17 pa napetost narašča zaradi obratovanja razpršenih virov na izvodih. Ravno tako smo ugotovili, da otočno obratovanje povzroči znižanje celotnega profila napetosti, od vira (zbiralke **B**) pa vzdolž izvodov i16 in i17. Za zaključek naj izpostavimo še izredno pomembno ugotovitev, da je sistem brez težav obratoval otočno. Prav tako se je prehajanje iz otočnega v normalno obratovanje in obratno izvajalo popolnoma brez motenj za odjemalce. To predstavlja zelo velik napredek in potencial, ki odpira široke možnosti uporabe, še zlasti ob čedalje večjem deležu razpršenih virov v nizkonapetostnih distribucijskih omrežjih.

4 SPREMEMBA NIZKONAPETOSTNEGA OMREŽJA PO PRIKLOPU BATERIJE

4.1 OPIS SPREMEMB NN

Z začetkom tega projekta smo tudi s strani Elektra Celje pristopili k temeljiti obnovi transformatorske postaje. Obnovila se je tako zunanost kot tudi notranost. Zamenjal se je transformator. V zgornjih prostorih so se namestile nove SN celice, ki omogočajo različne prevezave. Za niskonapetostne izvode so se vgradile nove zbiralne ločilke, za izvode, ki jih opisujemo, smo vgradili avtomatske odklopnike, ki omogočajo avtomatske priklope in odklope v primerih, ko je to potrebno. Vgradili smo vzdolžne ločitve, kar nam omogoča še večjo fleksibilnost.



*Slika 61: Stara priključna plošča
(Vir: Arhiv Elektra Celje)*



*Slika 62: Nova ureditev v TP
(Vir: Arhiv Elektra Celje)*

5 ZAKLJUČEK

Dandanes zelo pogosto slišimo frazo: »Živimo v času velikih sprememb.« To na različne načine tudi vsi občutimo. Če danes komaj nekajletni otrok drsa po ekranu sodobnega mobilnika ali tablice ni to nič nenavadnega. Vendar če to postavimo v kontekst časa, potem niti ni tako dolgo, ko ta »tablica« sploh še ni obstajala.

Kaj pa otočno obratovanje niskonapetostnih omrežij? Sama ideja je dobro poznana že več desetletij. V izogib napačnemu razumevanju, ni bila samo poznana, ampak je bila tudi praktično izvedljiva in praktično preizkušena. Kaj pravzaprav želimo povedati? Za izvedbo ideje otočnega obratovanja je bilo potrebno v omrežju uporabiti majhne generatorje, ki so omogočali vzdrževanje frekvence in napetostnega profila v potencialnem niskonapetostnem otoku. Kaj pa vir energije? Generator je konec koncev le element, ki pretvarja mehansko energijo v električno. Vir pa je najpogosteje predstavljala energija vodnega potenciala manjših potokov ali rek. Takšen sistem se je več kot tri desetletja nazaj uporabljal predvsem kot koncept takratne jugoslovanske vojske, za napajanje v obdobju »nič nas ne sme presenetiti«. Kot takšen seveda ni bil namenjen posameznemu gospodinjstvu ali skupini odjemalcev.

Če govorimo o spremembah, so slednje izredno močno zaznamovale tudi obratovanje sodobnih nizkonapetostnih omrežij, še zlasti v zadnjem desetletju. Vključitev velikega deleža razpršenih virov, katerih najbolj znani predstavniki so sončne elektrarne, in čedalje večjega deleža bremen, kot so toplotne črpalke in podobno, močno vpliva predvsem na napetostni profil. Posledice so lahko tudi tako imenovane lokalne zamašitve nizkonapetostnega omrežja. Neustrezen napetostni profil in ostale motnje dejansko predstavljajo tudi motnjo za dobavo kvalitetne električne energije odjemalcem.

Pa smo pri elementih, kot je baterijski hranilnik, ki ga pogosto srečamo pod tujko BESS, ki izvira iz angleškega izraza Battery Energy Storage System ali prevedeno baterijski sistem za shranjevanje električne energije.

Ravno takšen baterijski hranilnik moči 150 kW in kapacitete 333 kWh se je v sklopu projekta Compile vgradil v neposredni bližini transformatorske postaje Luče Urtelj. Priklučil se je neposredno na nizkonapetostni del transformatorja. Sistem je zastavljen na način, da lahko baterijski hranilnik otočno napaja tudi štiri izvode nizkonapetostnega podeželskega omrežja. V preteklih nekaj mesecih smo v sklopu EU projekta Compile, ki je povezan s projektom X-flex, v katerem smo eden izmed dvanajstih partnerjev, izvajali ključne testne preizkuse. Preizkusilo se je več funkcionalnosti baterijskega sistema, med drugim tudi funkcionalnost imenovana »rezanje konične obremenitve«.

6 LITERATURA IN VIRI

Balamurugan K., Srinivasana D., reidlb T. (2012) "Impact of distributed generation on power distribution system," PV Asia Pacific Conference, Energy Procedia, vol. 25

Deeba S. R., Sharma R., Saha T.K. (2014) Coordinated Control of Multi-Functional Battery Energy Storage System in Unbalanced Network. AUPEC, Australia

Dinh K. L., Hayashi Y. (oktober 2013) Online Optimal Power Based on HSPO-TVAC Coordinates with Centralized BESS and LET Control to Stabilize Voltage in PV-Supplied Microgrid. IEEE PES ISGT Europe Copenhagen

Interno gradivo podjetja Elektro Celje: Kontrola in meritve transformatorske postaje Luče Urtelj

Mateo C., Rodrigez A., Frias P., Reneses J., Snachez A., Banales S., Del Rio L., Zaldunbide M., Gomez J. (junij 2015) Analysis of the Impact of Battery Storage on Power Distribution System. 23. International Conference of Electricity Distribution

NEPLAN AG, <http://www.neplan.ch/>

Qingyuan Y., Aoki M. (junij 2017) Suppression of Voltage Violation in VP Conneted Distribution System via Cooperation of Battery Energy Storage System and SVR. International Conference on Power System Transients

Viral R., Khatod D. (2012) "Optimal planning of distributed generation system in distribution system: A review," Renewable and Sunstable Enegy Reviews, vol. 16 pp. 5146-5165