Emulacija fotonaponskih sustava korištenjem skripta načina rada

Pal, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:240422

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

EMULACIJA FOTONAPONSKIH SUSTAVA KORIŠTENJEM SKRIPTA NAČINA RADA

Diplomski rad

Matej Pal

Osijek, 2017.

ETFOS
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 13.9.2017.

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Matej Pal
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-877, 3.10.2014.
OIB studenta:	50435809405
Mentor:	Izv.prof.dr.sc. Denis Pelin
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
Član Povjerenstva:	Matej Žnidarec
Naslov diplomskog rada:	Emulacija fotonaponskih sustava korištenjem skripta načina rada
Znanstvena grana rada:	**Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak diplomskog rada:	S pomoću fotonaponskog emulatora smještenog u Laboratoriju za energetsku elektroniku prikazati prednosti i nedostatke pri emulaciji jednog odabranog fotonaponskog sustava. opisati podsustave emulatora. Definirati ogranmičenja emulacije.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	13.9.2017.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis: Datum:

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 5.10.2017.

Ime i prezime studenta:	Matej Pal
Studij :	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-877, 3.10.2014.
Ephorus podudaranje [%]:	2

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Emulacija fotonaponskih sustava korištenjem skripta načina rada**

izrađen pod vodstvom mentora Izv.prof.dr.sc. Denis Pelin

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. OPIS EMULACIJSKOG SUSTAVA 2
2.1. Podsustavi fotonaponskog emulatora 3
2.2. Programabilni istosmjerni izvor napajanja kao glavni podsustav FN emulatora 9
2.2.1. Mogući načini rada programabilnog istosmjernog izvora 11
2.3. Skripta način rada programabilnih istosmjernih izvora 12
2.3.1. Opis naredbi, kreiranje i pokretanje skripte 13
2.3.2 Ograničenja pri izradi skripte 15
2.3.2. Postavljanje radne točke istosmjernog izvora 17
3. EMULACIJA FN ELEKTRANE ETFOS1 POMOĆU SKRIPTA NAČINA RADA 21
3.1. Tehničke karakteristike fotonaponske elektrane ETFOS1 22
3.2. Priprema baze podataka za izvođenje emulacije 24
3.2.1. Određivanje struje kratkog spoja i napona praznog hoda FN modula 30
3.3. Kreiranje skripte i pokretanje emulacije 33
3.4. Dodatni zahtjevi pri izvođenju emulacije 35
3.4.1. Kompenzacija vremena za samotestiranje izmjenjivača 35
3.4.2. Prag osjetljivosti prorade izmjenjivača 37
3.4.3. Usklađivanje skripte za željeni položaj radne točke 39
4. POSTUPCI IZVOĐENJA EMULACIJE S OBZIROM NA VREMENSKO UZORKOVANJE IZMJENJIVAČA EMULATORA 42
4.1. Emulacija FN elektrane ETFOS1 pri trajanju naredbi od 60 sekundi 42
4.1.1. Kronološki poredak podataka 42
4.1.2. MAKS-MIN poredak podataka 47
4.2. Emulacija FN elektrane ETFOS1 uz povećanje trajanja naredbi na 61 sekundu 50
4.2.1. Kronološki poredak podataka 50
4.2.2. MAKS-MIN poredak podataka 52
4.3. Emulacija FN elektrane ETFOS1 uz povećanje trajanja naredbi na 62 sekunde 53
4.3.1. Kronološki poredak podataka 54
4.3.2. MAKS-MIN poredak podataka 55
5. ZAKLJUČAK 57
LITERATURA 59
SAŽETAK 60

ABSTRACT 60
ŽIVOTOPIS 61
PRILOZI 62

1. UVOD

U posljednjih nekoliko godina došlo je do napretka fotonaponske tehnologije, i usto do povećanja potražnje za ugradnjom novih fotonaponskih sustava (FN sustava). Kako bi održali konkurentnost na tržištu, proizvođači traže kvalitetnije i brže načine za emuliranje fotonaponskih sustava [1]. Pod emulacijom FN sustava podrazumijeva se zamjena FN modula sa sustavom manjih dimenzija, koji daje iste strujno-naponske karakteristike, uz potpunu neovisnost o klimatskim uvjetima. Takav sustav naziva se FN emulator koji koristi programabilne istosmjerne izvore za „oponašanje" karakterističnih veličina FN modula. Jedan takav emulacijski sustav nalazi se u Laboratoriju za energetsku elektroniku na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku [2]. Sustav sadrži dva programabilna istosmjerna izvora koji mogu realizirati pet načina rada [3]. Najistaknutiji je skripta način rada, pri kojemu korisnik unaprijed definira naredbe postavljajući ih u jedan dokument (skriptu) koji sadrži karakteristične veličine FN modula određene tehnologije izrade. Takav tekstualni dokument se preko prijenosne memorije unosi u istosmjerne izvore i zatim realizira generiranjem zadanih naredbi. Skripta način rada omogućuje tzv. brzu emulaciju, pri kojoj se generiraju karakteristične vrijednosti određenog FN sustava uz znatno skraćenje trajanja emulacije.

U diplomskom radu su izvedena ispitivanja brze emulacije za dan bez izražene promjene sunčevog zračenja (sunčani dan). Baza podataka za emulaciju je preuzeta s izmjenjivača FN elektrane ETFOS1 smještene na krovu zgrade fakulteta. Podaci koji su preuzeti s izmjenjivača naknadno su obrađeni, te su prilagođeni ograničenjima FN emulatora uz povećano uzorkovanje. Nakon toga su izrađene skripte za dva niza fotonaponskih modula, koje se unose u programabilne istosmjerne izvore. Nadalje izvođenjem brze emulacije, te analizom proizvedene energije od strane FN emulatora računaju se odstupanja emuliranih vrijednosti od stvarnih preuzetih vrijednosti. Brza emulacija izvedena je za dva načina formiranja baze podataka. Otkrivajući dodatne zahtjeve i ograničenja pri izvođenju emulacije, skripta je modificirana kako bi se pronašao optimalan način emuliranja karakterističnih veličina uz mjerodavne konačne rezultate.

2. OPIS EMULACIJSKOG SUSTAVA

U posljednjih nekoliko godina, obnovljivi izvori energije imaju sve veću ulogu u proizvodnji električne energije. Energija Sunčeva zračenja jedan je od najistaknutijih oblika obnovljivih izvora energije, čiji se potencijal počinje sve više iskorištavati. Jedan od izraženijih načina direktne pretvorbe Sunčeva zračenja u električnu energiju je fotonaponska tehnologija. Njenim razvojem došlo je do izrazitog porasta instaliranih snaga sustava, a samim time je došlo do povećanja interesa za instaliranjem sve većeg broja fotonaponskih sustava. Danas se proizvođači fotonaponske opreme suočavaju sa raznim problemima glede tehničkih ispitivanja opreme. Za ispitivanje fotonaponskih sustava malih snaga koristili su postojeći fotonaponski sustav, za koji su, zahvaljujući maloj instaliranoj snazi imali mogućnost u realnim uvjetima ispitivati ostalu opremu. Takav način ispitivanja opreme za moderne fotonaponske sustave (instalirane snage veće od 100kW) nije ekonomski prihvatljiv, odnosno povećani su troškovi izgradnje sustava i povećano je vrijeme trajanja ispitivanja. Zbog toga dolazi do potrebe uvođenja novih postupaka ispitivanja koja neće ovisiti o vanjskim uvjetima (jakosti Sunčeva zračenja i temperaturi okoline).

Na temelju danih zahtjeva konstruiran je sustav koji kao zamjenu za fotonaponske module koristi programabilne istosmjerne izvore napajanja čija je uloga generirati vrijednosti napona i struje koje odgovaraju željenom fotonaponskom nizu/modulu. Unošenjem karakterističnih vrijednosti FN niza/modula u istosmjerni izvor napajanja, postiže se se emulacija u realnim uvjetima bez vanjskih utjecaja na izlazne karakteristike. Na tržištu se nalazi nekoliko izvedbi emulatora fotonaponskih sustava, čiji je raspon maksimalnih snaga od nekoliko kW do čak 2000kW.(refer.)

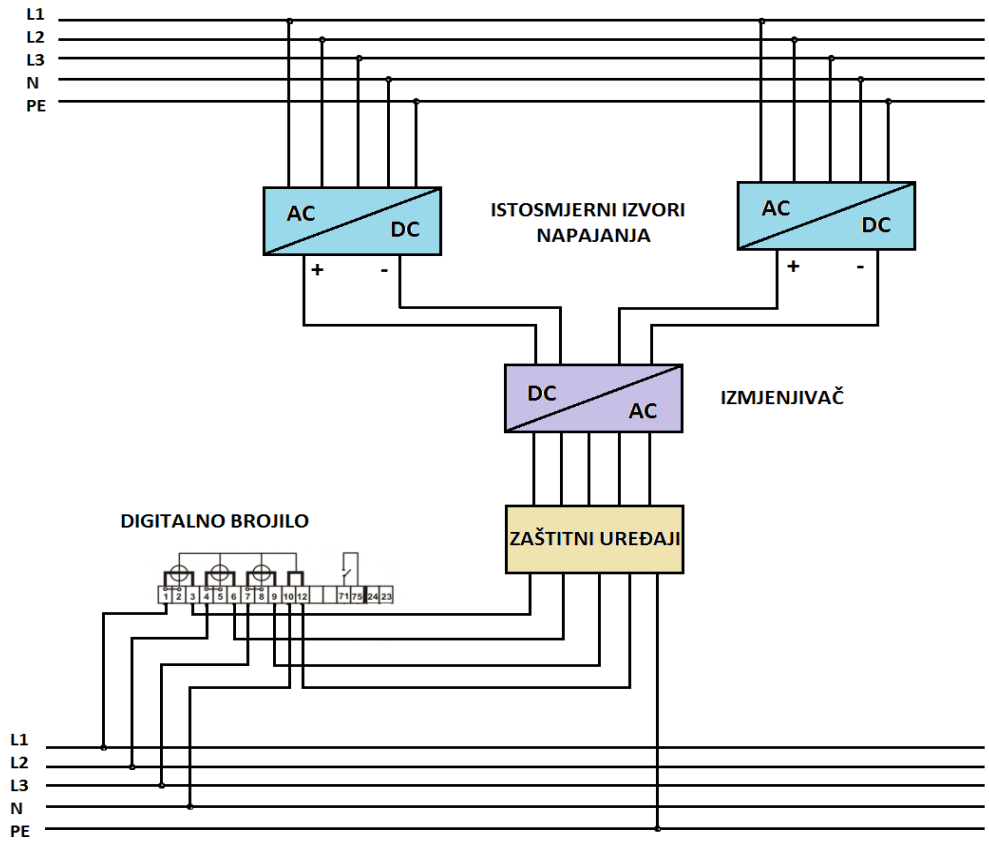
2.1. Podsustavi fotonaponskog emulatora

Emulacijski sustav ovakvog tipa izveden je i u Laboratoriju za energetsku elektroniku; Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija (FERIT) u Osijeku, koji će biti i glavni uređaj za daljnja istraživanja.

Slika 2.1. Emulator fotonaponskog sustava

Prikazani emulacijski sustav ima mogućnost emulirati karakteristične vrijednosti raznih tehnologija izrade fotonaponskih modula. Emulator se sastoji od nekoliko međusobno povezanih podsustava koji čine jedan cijelovit sustav. Na slici 2.2. je prikazana shema spajanja emulatora gdje su naznačeni sljedeći podsustavi:

- Dva programabilna istosmjerna izvora napajanja LAB/HP 101000 proizvođača ET System electronic [3]
- Izmjenjivač Powador 12.0 TL3 INT, proizvođača KACO [4]
- Digitalno brojilo EBT308 proizvođača RIZ [5]
- Priključni ormarić u kojem su smješteni zaštitni uređaji
- Metalno kućište na koje su pričvršćeni svi uređaji



Slika 2.2. Shematski prikaz emulacijskog sustava

Istosmjerni izvori napajaju se iz trofazne mreže napona 3x400 V, frekvencije 50 Hz. Izlazi programabilnih izvora povezani su s izmjenjivačem i to na način da je svaki izvor spojen na jedan neovisni MPPT ulaz izmjenjivača. Pri emuliranju karakterističnih veličina fotonaponskih sustava, jedan istosmjerni izvor predstavlja jedan niz fotonaponskih modula. U pojnom dijelu izmjenjivača postavljena je prenaponska zaštita te nadstrujna zaštita čija je uloga zaštititi uređaj u slučaju kvara, te ujedno zaštititi korisnika od opasnog napona dodira. Na izlazne stezaljke zaštitnih uređaja spojeno je digitalno brojilo čija je svrha mjeriti količinu predane električne energije. Energija koja je predana u mrežu jednaka je energiji proizvedenoj za vrijeme trajanja emulacije.

Izmjenjivač u emulacijskom sustavu također ima ulogu povezivanja istosmjernih izvora i trofazne mreže. Odabran je izmjenjivač proizvođača KACO Powador 12.0 TL3 čiji su tehnički podaci prikazani tablicom 2.1. Generirane istosmjerne vrijednosti napona i struje dvaju izvora pretvara u trofazni izmjenični oblik, te tako proizvedenu energiju od strane istosmjernih izvora šalje nazad u pojnu mrežu. Jedna od ključnih ugrađenih funkcija je MPPT (eng. Maximum Power Point Tracker) ulaz, čija je uloga postavljati radnu točku izvora u položaj maksimalne moguće proizvedene snage.

Tablica 2.1. Tehnički podaci izmjenjivača KACO Powador 12.0 TL3

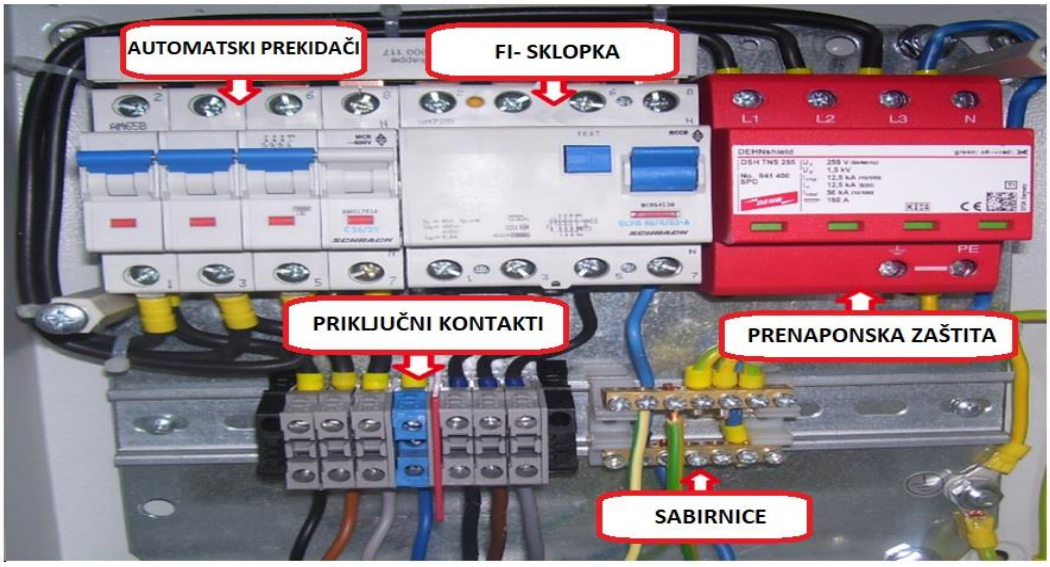
Istosmjerni ulazni podaci	
Nominalno naponsko područje	280 V - 800 V
Operativno naponsko područje	200 V - 950 V
Minimalni napon pokretanja	200 V / 250 V
Napon praznog hoda	1000 V
Maksimalna ulazna struja	2 x 18,6 A
Broj MPPT ulaza	2
Maksimalna snaga po ulazu	10,2 kW
Broj nizova	2
Izmjenični izlazni podaci	
Nazivna snaga	10000 VA
Nazivna struja	3 x 14,5 A
Nazivna frekvencija	50 Hz
Faktor snage (cosφ)	0,8 induktivno - 0,8 kapacitivno
Broj faza	3
Stupanj djelovanja	98,40%

Uređaj podržava spajanje maksimalno dva istosmjerna izvora na ulazu, što je i pogodno za navedeni emulator fotonaponskih sustava. Sadrži još jednu važnu funkciju, funkciju zapisivanja ulazno-izlaznih veličina u vremenskom intervalu od 1 min, 5 min, 15 min i 30 min. U podnožju uređaja smješteno je USB (eng. Universal Serial Bus)- sučelje preko kojega je moguće prebacivanje izmjerenih podataka na prijenosnu memoriju. Izvučeni podaci iz izmjenjivača imaju veliki značaj u daljnoj analizi proizvodnje električne energije koja će biti detaljnije pojašnjena u nastavku rada. Podaci proizvodnje mogu se pratiti i preko zaslona smještenog na prednjoj upravljačkoj ploči. Upravljačka ploča (Sl. 2.3.) sastoji se od tri funkcijska dijela:

1) LED indikatori stanja izmjenjivača,
2) LCD monokromatski grafički zaslon,
3) funkcijske tipke za kretanje po izborniku.

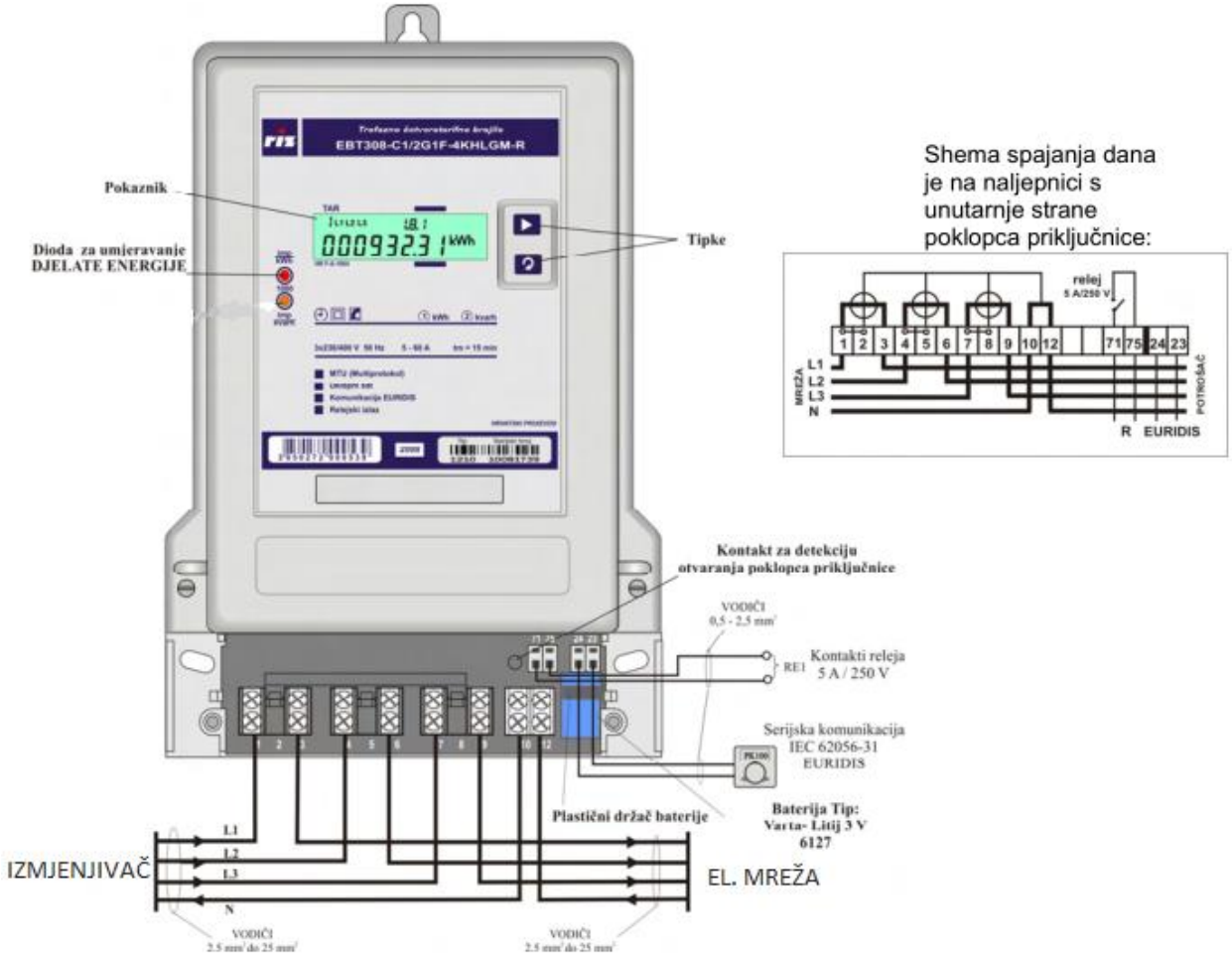
Slika 2.3. Prikaz upravljačke ploče izmjenjivača

Sljedeći podsustav je priključni ormarić u kojem su smješteni zaštitni uređaji i ožičenje sustava. Zaštitni uređaji su nužni za emulacijski sustav zbog toga što emulacijski sustav doseže generirane vrijednosti napona i struje koje su opasne za čovjeka. Također im je svrha zaštititi komponente i uređaje sustava. U priključnom ormariću prikazanom na slici 2.4. nalaze se automatski prekidači koji služe kao zaštita od kratkog spoja, odnosno zaštita uređaja od struja preopterećenja. Pored prekidača smještena je FI- zaštitna sklopka čija je svrha u slučaju proboja izolacije na spojnim vodovima ili ostalim uređajima zaštititi čovjeka od opasnog napona dodira. Posljednja je ugrađena prenaponska zaštita koja štiti uređaje u slučaju pojave prenapona u električnoj mreži. Ako dođe do takve pojave, zaštita reagira i automatski isključuje sustav iz mreže. U ormariću su smješteni priključni kontakti i sabirnica na kojoj su zaštitni vodiči povezani u jednu točku, odnosno točku istog potencijala. Ovim načinom je emulator uzemljen kao jedna cjelina, gdje je svaki podsustav na istom električnom potencijalu, odnosno smanjena je opasnost od električnog udara.



Slika 2.4. Priključni ormarić sa smještenim zaštitnim uređajima

U svrhu dodatne analize proizvodnje električne energije, na izmjeničnoj strani između izmjenjivača i mreže priključeno je digitalno brojilo proizvođača Riz EBT 308. Shematski prikaz postavljanja digitalnog brojila prikazan je na slici 2.5. Na danom shematskom prikazu označena su dva dijela, mrežni i potrošački dio, na koje treba obratiti pozornost.



Slika 2.5. Prikaz spajanja digitalnog brojila

Zbog zahtjeva praćenja električne energije koja je predana u elektroenergetsku mrežu, mrežni dio je spojen na izlaz izmjenjivača, dok je potrošački dio spojen na mrežne priključnice. Ovim spojem digitalno brojilo mjeri električnu energiju koju izmjenjivač predaje mreži. Priključnice za serijsku komunikaciju i kontakti releja nisu spojeni na emulacijski sustav iz razloga što nisu potrebne dodatne mogućnosti brojila, odnosno potrebna je samo glavna funkcija prikaza proizvedene električne energije. Tehnički podaci digitalnog brojila prikazani su tablicom 2.2. Razlučivost brojila je do 0,01 kWh odnosno 10 Wh, što omogućava dovoljno precizno očitanje električne energije.

Tablica 2.2. Tehničke karakteristike digitalnog brojila

Frekvencija rada	50 Hz
Osnovna struja	5 A
Maksimalna struja	60 A
Struja pokretanja	≤ 0,4 % osnovne struje
Razred točnosti za djelatnu energiju	1
Otpornost na udarni napon	10 kV za mjerne strujne krugove
Stupanj zaštite kućišta	IP51
Pomoćno napajanje	Baterija
Pokaznik	Sedam-segmentni sa tekućim kristalom (LCD)

Nakon ugradnje digitalnog brojila, postavlja se pitanje ispravnosti ožičenja, odnosno povezivanja sa ostalim elementima. Ispravnost ugradnje se može provjeriti tako da se uključi emulacijski sustav pri čemu će se brojilo automatski uključiti. Pritiskom na tipku „►“ otvara se izbornik prikazan slikom 2.6., koji prikazuje ispravnost spajanja brojila. U gornjem lijevom kutu zaslona prikazan je broj spojenih faza na brojilo, te redoslijed faza. Sve oznake faza moraju biti prisutne. Ako neka od oznaka faze nedostaje to znači da odgovarajuća faza nije spojena. Sve znamenke statusa moraju biti „0“, no ako bilo koja znamenka ima vrijednost „1“, detektirana je neispravnost koju je potrebno utvrditi i ukloniti. Na temelju opisanog postupka utvrđivanja ispravnosti spoja digitalnog brojila, nije detektirana nikakva pogreška ugradnje, i brojilo je spremno za rad.

Slika 2.**6.** Pokaznik za utvrđivanje ispravnosti spoja brojila

Posljednji podsustav se sastoji od dva programabilna istosmjerna izvora koji imaju najveću važnost pri emulaciji fotonaponskih sustava. Stoga će se u sljedećem poglavlju detaljnije pojasniti uloga istosmjernih izvora, tehničke karakteristike, načini rada, te rukovanje samim uređajem.

2.2. Programabilni istosmjerni izvor napajanja kao glavni podsustav FN emulatora

Emulacijski sustav koji će se koristiti za daljnju analizu, sastoji se od dva programabilna istosmjerna izvora napajanja LAB/HP 10 1000 čiji su tehnički podaci prikazani u tablici 2.3. Napajaju se iz trofazne mreže s mogućim naponskim razinama 3x208 V, 3x400 V, 3x440 V ili 3x480 V.

Tablica 2.3. Tehnički podaci istosmjernih izvora

Nazivna snaga	10 kW
Ulazne specifikacije	
Ulazni napon	230 V_{AC} / 3x208 V_{AC} / 3x400 V_{AC}/ 3x480 V_{AC} ± 10 %
Maksimalna dopuštena nesimetrija	< 3%
Ulazna struja	22.9 A
Ulazna frekvencija	47 - 63 Hz
Faktor snage (cosφ)	50 Hz= 72%
Stupanj djelovanja	94%
Maksimalna disipacija snage	600W
Izlazne specifikacije	
Izlazni napon	0 V - 1000 V
Izlazna struja	0 A - 10 A
Statička regulacija napona	± 0,05 % + 2 mV
Statička regulacija struje	± 0,1 % + 2 mA
Prenaponska zaštita	0 - 120 % Vmax
Stabilnost	± 0,05 %
Preciznost programiranja (Vout)	± 0,05 % +2 mV

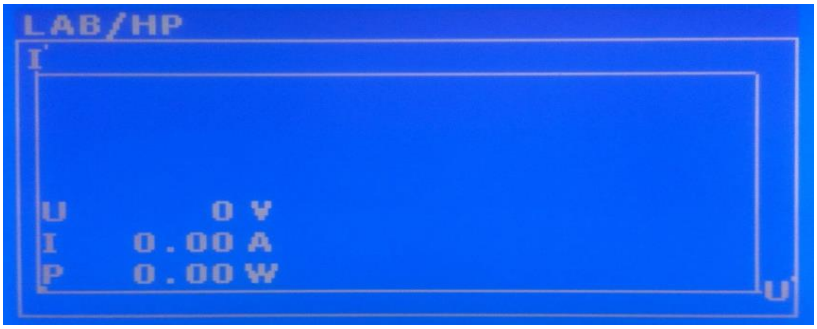
LAB/HP izvori napajanja sadrže u sebi zaštitu od kratkog spoja, te funkcije ograničenja napona i struje. Kako bi se zaštitio uređaj i trošila spojena na njegove izlazne stezaljke, funkcije ograničavaju izlazni napon i struju na dozvoljenu maksimalnu vrijednost. Isto tako korisnikovim postavljanjem vrijednosti napona i struje iznad dozvoljenih granica, uređaj onemogućuje generiranje veličina na njegovom izlazu. Uređaj je kompaktnog dizajna, te omogućava jednostavno rukovanje preko upravljačke ploče. Važno je napomenuti da se prije uključenja obave vizualne provjere uređaja, ispravnost spoja uređaja i da se korisnik drži sigurnosnih mjera kako ne bi doveo u opasnost sebe i ljude oko njega. Kako bi se što bolje rukovalo istosmjernim izvorom, potrebno je upoznati se sa svim njegovim glavnim funkcijama, prednjom upravljačkom pločom, te mogućim načinima rada.

Upravljačka ploča uređaja prikazana na slici 2.7. sastoji se od nekoliko funkcijskih dijelova:

1. Sklopke za uključenje i isključenje uređaja,
2. funkcijskih tipki za upravljanje uređajem i podešavanje ulaznih parametara,
3. zaslona sa prikazom trenutnih izmjerenih vrijednosti izlaznih veličina, te prikazom zadanih izlaznih parametara,
4. čitača memorijske kartice.

Slika 2.7. Prikaz prednje upravljačke ploče istosmjernog izvora

Na prednjoj upravljačkoj ploči nalaze se dvije funkcijske tipke i kotačić koji također ima mogućnost rada kao funkcijska tipka. „Standby“ tipka, smještena u gornjem dijelu upravljačke ploče, omogućuje izvođenje određenih naredbi, a isto tako postavlja uređaj u stanje pripravnosti. Ispod nje je smještena tipka „Display“ koja izmjenjuje dva različita zaslonska prikaza. Pritiskom na tipku dobiva se grafički prikaz podešene strujno-naponske karakteristike i radne točke uređaja (Slika 2.8.). Okretanje kotačića omogućuje namještanje željenih izlaznih vrijednosti napona i struje, omogućuje odabir načina rada uređaja, i odabir željenih datoteka za emulaciju. Glavni zaslon prikazuje trenutne vrijednosti izlaznog napona i struje, te kao rezultat snagu (izrazom $P(0)=U(0)\cdot I(0)$ i otpor (izrazom $R=U(0)/I(0)$), dok desni dio prikazuje unaprijed zadane vrijednosti.



Slika 2.8. Dodatni grafički prikaz zadane u-i karakteristike

2.2.1. Mogući načini rada programabilnog istosmjernog izvora

Na istosmjernom programabilnom izvoru LAB/HP 101000 moguće je ostvariti pet načina rada:

a) UI način rada (engl. UI mode)- naponsko i strujno ograničenje,
b) UIP način rada (engl. UIP mode)- naponsko, strujno ograničenje te ograničenje prema zadanoj snazi,
c) UIR način rada (engl. UIR mode)- naponsko i strujno ograničenje uz simulirani unutarnji otpor izvora,
d) Pvsim način rada (engl. Pvsim mode)- simulacija karakteristika fotonaponskih sustava,
e) Skripta način rada (engl. Script mode)- simulacija korisnički definirane UI karakteristike.

Od navedenih mogućnosti, četiri je načina rada koji se mogu direktno realizirati postavljanjem željenih vrijednosti pomoću kotačića. Okretanjem rotacijskog kotačića pri označenom parametru „Mode“ na zaslonu uređaja, odabire se željeni način rada. Pri odabiru načina rada uređaj mora biti u stanju pripravnosti („Standby“) jer u suprotnom onemogućuje promjene parametara i kretanje po izborniku. U UI- načinu rada zadane vrijednosti napona i struje se direktno prenose do regulatora (switch mode regulator) gdje ne postoji nikakva dodatna regulacija. Kod UI- načina rada s prilagodljivim ograničenjima (UIP-mode) zadane vrijednosti napona i struje se također prenose izravno do regulatora. U slučaju prekoračenja iznosa struje od zadane granične vrijednosti, aktivira se regulacija koja smanjuje izlaznu vrijednost i održava je u graničnim intervalima. U UIR- načinu rada, zadana vrijednost napona je regulirana simuliranjem napajanja s promjenjivim unutarnjim otporom. Tako je zadana granična vrijednost struje izravno prenešena do regulatora. Pvsim- način rada služi za simulaciju strujno-naponske karakteristike fotonaponskih modula. Dane su mogućnosti unosa napona praznog hoda U_0, struje kratkog spoja I_{KS}, te unosa napona i struje modula u točki maksimalne snage (U_{MPP}, I_{MPP}).

2.3. Skripta način rada programabilnih istosmjernih izvora

Ponekad se postavljaju zahtjevi izvršenja naredbi koje se ne mogu ručno podesiti preko korisničkog sučelja. Istosmjerni izvor napajanja sadrži poseban način rada gdje korisnik programira niz operacija u jednu skriptu koju uređaj učitava preko memorijske SD kartice. Takva funkcija se naziva skripta način rada. Skripta je tekstualni dokument izrađen u nekom računalnom alatu za obradu teksta, npr. „.txt“ dokument koji se sastoji od niza naredbi napisanih od strane korisnika. Korisnički definirane naredbe se dalje koriste za upravljanje programabilnim istosmjernim izvorom. Prednost ovog načina rada uređaja je mogućnost uzastopnog izvršenja većeg broja naredbi u određenom vremenskom intervalu. Skripta način rada daje niz mogućnosti upravljanja istosmjernim izvorom pri kojem su prijelazi između naredbi trenutni, odnosno omogućen je simultani rad oba izvora. Ručno postavljanje parametara preko upravljačke ploče oduzima dosta vremena, te je potrebno postaviti uređaj u stanje pripravnosti („Standby“) kako bi se ponovo namjestili parametri i način rada. Kreiranjem skripte moguće je postavljanje parametara za bilo koji osnovni način rada gdje su unaprijed zadane vrijednosti karakterističnih veličina. Za vrijeme izvršenja skripte, prijelazi iz jednog u drugi režim rada ne zahtijevaju postavljanje u stanje pripravnosti, te se uređaj u kratkom vremenskom intervalu prilagođava slijedećem postavljenom režimu rada.

Slika 2.9. Prikaz memorijske SD kartice

Ovaj način emuliranja izlaznih parametara zbog svojih pogodnosti će se koristiti dalje u radu, u svrhu analize fotonaponskog sustava. Time će se za dane podatke fotonaponskog sustava kreirati skripta, te u skraćenom vremenu u odnosu na standardnu emulaciju, analizirati proizvodnja električne energije na dnevnoj bazi. Nadalje, skripta će biti izrađena u programu „Notepad“ zbog podržavanja tekstualnog formata „ .txt “, te jednostavnosti uređivanja tekstualnog dokumenta.

2.3.1. Opis naredbi, kreiranje i pokretanje skripte

Prije samog kreiranja skripte potrebno je vidjeti koje su sve moguće naredbe, na koje parametre se odnose i koje funkcije obavljaju. Sve naredbe koje se uzimaju u obzir prikazane su tablicom 2.4.

Tablica 2.4. Struktura naredbi za izradu skripte

Naredba	Parametar	Funkcija
U	U [V]	Zadavanje izlaznog napona
Umpp	U [V]	Zadavanje napona maksimalne snage (za PV simulaciju)
I	I [A]	Zadavanje izlazne struje
Impp	I [A]	Zadavanje struje maksimalne snage (za PV simulaciju)
Pmax	P [W]	Zadavanje granične snage (UIP način rada)
Ri	R [Ω]	Zadavanje unutarnjeg otpora (UIR način rada)
DELAY	kašnjenje [ms]	Odgoda naredbe
STANDBY	-	Stanje pripravnosti
RUN	-	Isključuje standby funkciju i pokreće skriptu
LOOP	-	Definira petlju
UI	-	UI način rada
UIP	-	UIP način rada
UIR	-	UIR način rada
PV	-	PV sim način rada
USER	-	Valno definirana UI karakteristika
WAVE	-	Početak programiranja UI karakteristike
-WAVE	-	Kraj programiranja UI karakteristike
# ili ;	-	Komentar

Kod pisanja naredbi mala i velika slova nisu relevantna. Stoga slijedeće naredbe daju iste rezultate: UMPP 50, uMPP 50, Umpp 50. Potrebno je držati se pravila pisanja skripte, gdje mora postojati razmak između dvije naredbe, odnosno razmak između naredbe i parametra. Brojčane vrijednosti moraju biti zadane u osnovnim jedinicama, odnosno bez mjerne jedinice. Stoga slijedeće naredbe istosmjerni izvor jednako prepoznaje: U 10.00 U 10,00 U 10. Pošto uređaj izvršava naredbe redom, potrebno je držati se redoslijeda pisanja naredbi kako bi skripta bila valjana. Zbog bolje preglednosti skripte, svaka naredba započinje u novom redu, kako bi se lakše pronašao pogrešan zapis naredbi ili parametara.

Kako bi se proučio proces pokretanja skripte, kreirati će se jednostavna skripta kojom će biti definiran UI- način rada. Kreirana skripta prikazana je slikom 2.10. Za vrijeme ispitivanja skripte, izlazne stezaljke istosmjernog izvora su otvorene, zbog toga što za ovaj pokus nije potrebno slanje električne energije u mrežu. U početku pisanja skripte nužno je definirati način rada uređaja. Nakon toga slijedi unos parametara napona i struje, čijim unosom se ograničavaju izlazne vrijednosti istosmjernog izvora. Kada su definirane vrijednosti napona i struje slijedi naredba „RUN“ koja će pokrenuti postojeću skriptu. Funkcijom „DELAY“ se definira vrijeme trajanja jedne naredbe koja je iskazana u milisekundama. Stoga zapis „DELAY 10000“ označava vrijeme trajanja naredbe u iznosu od deset sekundi. Posljednja funkcija „STANDBY“ definira završetak emulacije, pri kojem uređaj postavlja u stanje pripravnosti (čekanja slijedeće naredbe).

```
UI              ;Definiranje UI-načina rada
U 10            ;Izlazni napon 10 V
I 2             ;Izlazna struja 2 A
RUN             ;Pokretanje skripte
DELAY 10000     ;Trajanje naredbi 10 sekundi
STANDBY         ;Zaustavljanje skripte
```

Slika 2.10. Skripta za UI- način rada

Nakon što je skripta napisana potrebno je tekstualni dokument pohraniti na memorijsku karticu, te ju umetnuti u programabilni istosmjerni izvor. Kada je memorijska kartica umetnuta, uređaj ju automatski prepoznaje. Nakon toga je potrebno pomoću kotačića odabrati željeni način rada uređaja. Pritiskom na kotačić otvara se direktorij memorijske kartice s prethodno kreiranim skriptama na računalu u obliku .txt formata. Okretanjem kotačića odabire se željena skripta. Pritiskom kotačića na odabranu datoteku, uređaj ispituje valjanost skripte, odnosno da li su naredbe ispravno napisane. Ako je sve ispravno na zaslonu se dobiva ispis „Reading OK“, dok u suprotnom „Error command in line X“ (Sl. 2.11.), gdje x označava redak u skripti u kojem je došlo do pogreške pisanja. Uređaj ispituje svaku naredbu redom i u slučaju više pogrešaka, detektira samo prvu pogrešku na koju je naišao pri provjeri zapisa.

Slika 2.11. Ispis u slučajevima ispravne skripte i pogrešno napisane skripte

Tek nakon ispravljanja pogrešnog zapisa uređaj detektira pogrešku u slijedećem redku. Nakon ispravka pogreške potrebno je ponovo testirati skriptu kako bi se provjerilo da je skripta u potpunosti ispravna. Skripta ne može biti pokrenuta sve dok postoji pogreška u zapisu naredbi. Pritiskom na tipku „Display“ ostvaruje se povratak na glavni zaslon gdje su prikazani ulazni parametri skripte, vrijeme izvođenja naredbi i željeni način rada. Pritiskom na tipku „Standby“ uređaj se dovodi u stanje izvođenja, pri kojem su generirane vrijednosti ograničene zadanim vrijednostima u skripti. Time je pokrenuta prethodno zapisana skripta čije je vrijeme trajanja deset sekundi. U ovom slučaju izlazna struja nije jednaka zadanoj vrijednosti (jednaka je nuli) zbog toga što je uređaj u stanju praznog hoda.

2.3.2 Ograničenja pri izradi skripte

Kod pisanja skripte postavlja se upit zapisa maksimalnog broja naredbi i maksimalnog dopuštenog vremena trajanja pojedine naredbe. Istosmjerni izvor LAB/HP 10 1000 sadrži programsko sučelje koje u trenutku rada može izvršiti ograničeni broj naredbi u ograničenom vremenskom periodu. Navedena ograničenja zadana su od strane proizvođača i nikako ih nije moguće izmijeniti. Uređaj također svojim tehničkim karakteristikama ograničava i izlazne veličine, čije vrijednosti mogu biti samo u zadanom maksimalnom intervalu. Iz tehničkih podataka danih od strane proizvođača programabilnog istosmjernog izvora[3], maksimalno trajanje jedne naredbe je 65 535 milisekundi. Kako bi se utvrdila točnost ovog podatka, potrebno je napisati skriptu koja sadrži dvije naredbe i dva različita vremenska intervala. Trajanje prve naredbe je postavljeno na 65 535 ms, a trajanje druge naredbe je duže za jednu milisekundu. Ovim pokusom će se utvrditi ponašanje uređaja kada se postavi trajanje naredbe veće od dozvoljenog. Za navedeni pokus kreirana je skripta koja će emulirati karakteristike fotonaponskih modula (PV način rada).

```
PV              ;Definiranje PV-načina rada          PV
U 50            ;Napon praznog hoda FN-modula        U 50
I 1,5           ;Struja kratkog spoja FN-modula      I 1,5
Umpp 30         ;Napon u točki maksimalne snage      Umpp 30
Impp 1          ;Struja u točki maksimalne snage     Impp 1
RUN             ;Pokretanje naredbe                  RUN
DELAY 65535     ;Vrijeme trajanja naredbe            DELAY 65536
                ;Završetak skripte                   STANDBY
```

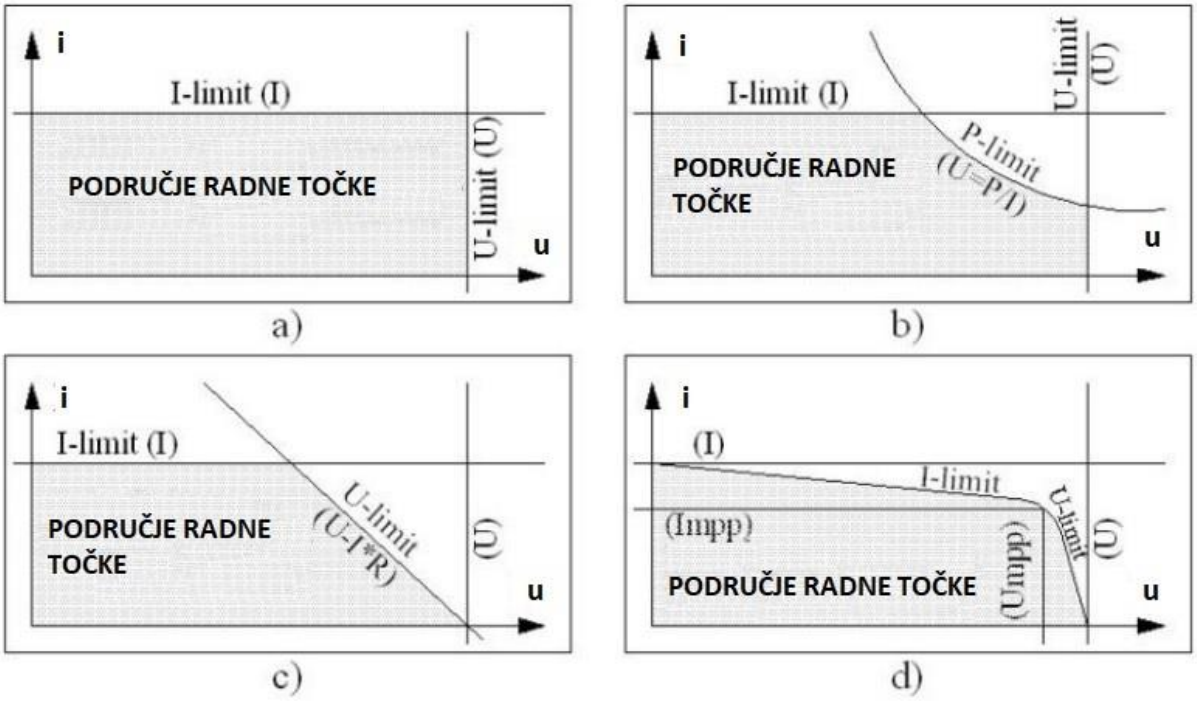
Slika 2.12. Skripta za ispitivanje maksimalnog trajanja naredbe

Nakon pokretanja skripte uređaj izvršava emulaciju parametara prve naredbe u trajanju od 65535 milisekundi. Nakon isteka navedenog vremena uređaj automatski mijenja parametre i prelazi u drugu naredbu. Kao posljedica prekoračenja dopuštenog trajanja naredbe, dobiven je prikaz kao na slici 2.13. Može se uočiti da prikazani vremenski period ne odgovara onome koji je zadan u skripti. Uređaj zbog postavljenog prekoračenog vremena nije prepoznao naredbu, te je postavio sve parametre na vrijednost jednakoj nuli. Kao što je vidljivo iz primjera, ako se postavi vremenski interval veći od dopuštenog, uređaj pri testiranju skripte neće detektirati pogrešku. Iako nije detektirana pogreška, uređaj neće obaviti emulaciju parametara dane naredbe.

Slika 2.13. Prikaz glavnog zaslona pri maksimalnom i prekoračenom vremenu trajanja naredbe

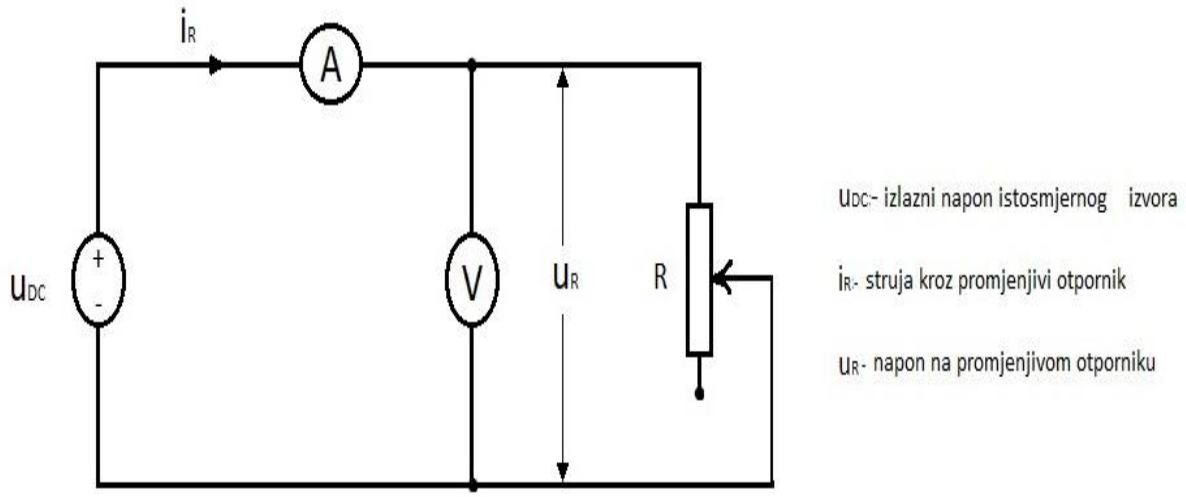
2.3.2. Postavljanje radne točke istosmjernog izvora

LAB/HP 10 1000 istosmjerni izvor napajanja sadrži algoritam pomoću kojeg pri određenom teretu postavlja radnu točku tako da se na izlazu ostvari maksimalna moguća snaga. Radna točka istosmjernog izvora mora se nalaziti unutar zadane strujno-naponske karakteristike i određena je otporom trošila. Na slici 2.14. su prikazana moguća područja radne točke za sve načine rada uređaja.



Slika 2.14. Mogućnost područja radne točke za sve načine rada uređaja

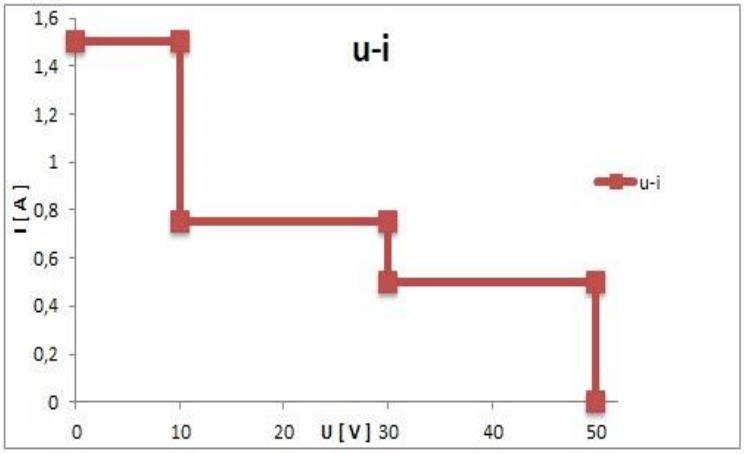
Postavlja se pitanje na koji način istosmjerni izvor postavlja izlazne vrijednosti napona i struje promjenom otpora trošila, odnosno kako pozicionira radnu točku na mjesto maksimalne snage. Kako bi se ispitao način pozicioniranja radne točke izveden je pokus u kojem je na izlazne stezaljke istosmjernog izvora spojen promjenjivi otpornik zajedno sa mjernim uređajima (ampermetar i voltmetar). Shema spajanja promjenjivog otpora prikazana je na slici 2.15. Odabran je klizni žični otpornik otpora 100 Ω i maksimalne efektivne vrijednosti struje od 1,8 A, koji je dostupan u laboratoriju. U strujni krug su spojeni ampermetar i voltmetar koji mjere struju i napon na otporniku.



Slika 2.15. Shematski prikaz spajanja potenciometra na izlazne stezaljke izvora

Za provedbu pokusa također je potrebno napisati odgovarajuću skriptu, pri čemu izlazna vrijednost struje ne smije biti veća od nazivne struje otpornika zbog uništenja samog otpornika. Stoga su svi parametri prilagođeni nazivnim podacima žičnog otpornika.

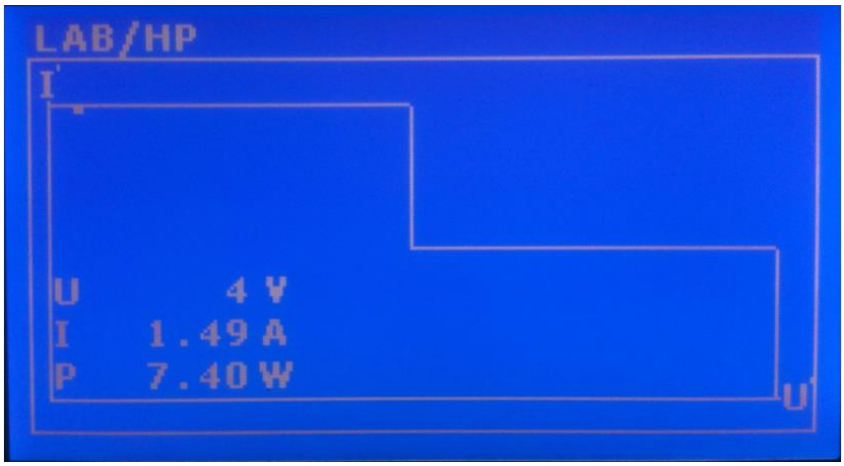
```
UI       ;Definiranje načina rada
WAVE     ;Početak tablice
10 1,5   ;1. točka 10 V 1,5 A
30 0,75  ;2. točka 30 V 0,75 A
50 0,5   ;3. točka 50 V 0,5 A
-WAVE    ;Kraj tablice
USER     ;Crtanje grafa
RUN      ;Aktiviranje izlaza
```



Slika 2.16. Skripta za pokus određivanja smještaja radne točke i *u-i* karakteristika izvora

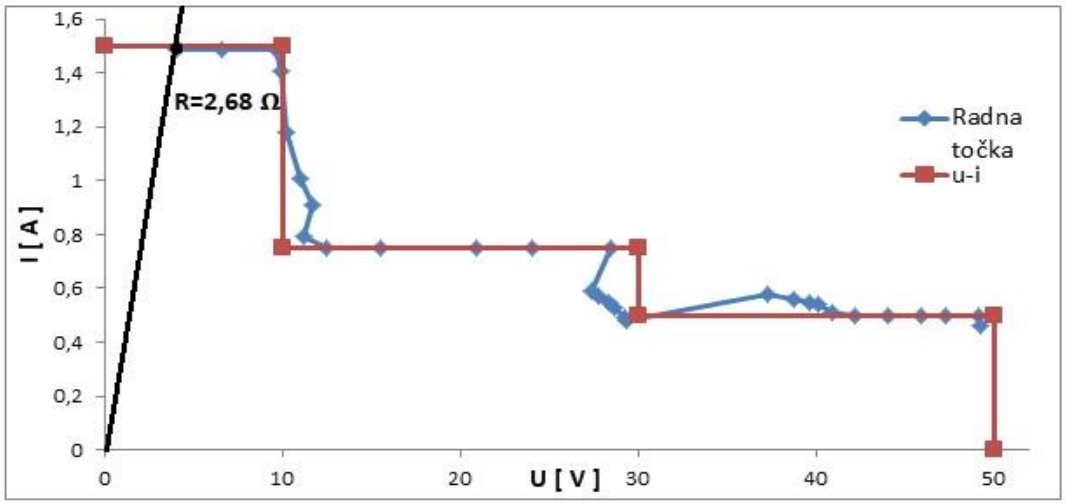
Izlazni podaci napona i struje unešeni su pomoću naredbi „wave“ i „-wave“ kojima je definirana tablica parametara. Prije svega važno je napomenuti kako je dobivena karakteristika koja je prikazana na zaslonu, različita od očekivane (Sl. 2.17.). Iz neodređenog razloga programabilni izvor ne prikazuje točku koja bi odgovarala vrijednostima 10 V i 1,5 A. Povećavajući otpor, radna točka samo jednim dijelom „putuje“ po karakteristici, iako je očekivano da bi trebala biti većim dijelom na karakteristici. U početku je pretpostavljeno da bi

izvor trebao postavljati radnu točku točno na karakteristiku, gdje je jedino moguće proizvesti maksimalnu snagu. Na slici 2.17. je prikazana je i radna točka pri jednoj vrijednosti žičnog otpornika.



Slika 2.17. Grafički prikaz izlazne *u-i* karakteristike

Pokus je izveden tako da su se u određenim koracima povećavale vrijednosti otpora, te uz zadanu *u-i* karakteristiku pratili položaji radne točke. Istosmjerni izvor na grafičkom zaslonu ne prikazuje karakteristiku kao što je zadana. Povećanjem otpora radna točka nije pratila prikazanu karakteristiku (slika 2.17.) ali promatrajući položaj radne točke primjećuje se da ona većinskim dijelom prati zadanu karakteristiku (slika 2.18.). Prikazom stvarne karakteristike (slika 2.18.), i prateći radnu točku izvora, dolazi se do zaključka da je radna točka većim dijelom smještena na karakteristici iako je na zaslonu izvora napajanja prikazana izmijenjena karakteristika.



Slika 2.18. Stvarna *u-i* karakteristika i položaji radne točke izvora

Najosjetljiviji dijelovi na karakteristici su prijelazi(stepenice) iz jednog u drugo naponsko područje. U tim dijelovima radna točka odstupa od karakteristike, ali u prihvatljivim granicama. Razlog odstupanjima je tromost u reagiranju uređaja na izbor vrijednosti. Programabilni izvor napajanja sadrži u sebi algoritam za postavljanje radne točke koji se može definirati kao niz računalnih procesa u cijelom vremenskom periodu simulacije. Zbog brze promjene napona postoji zadrška u procesiranju podataka u kratkom vremenskom intervalu, što dovodi do odstupanja pozicije radne točke od očekivane. Radnu točku je moguće odrediti pri bilo kojoj vrijednosti otpora i to tako da se odredi točka u kojoj je omjer izlaznih vrijednosti napona i struje jednak definiranom otporu. Pružanjem pravca iz ishodišta kroz dobivenu točku, presjecište toga pravca i strujno-naponske karakteristike predstavlja radnu točku istosmjernog izvora, kako je prikazano na slici 2.18. za iznos otpornosti od 2,68 Ω.

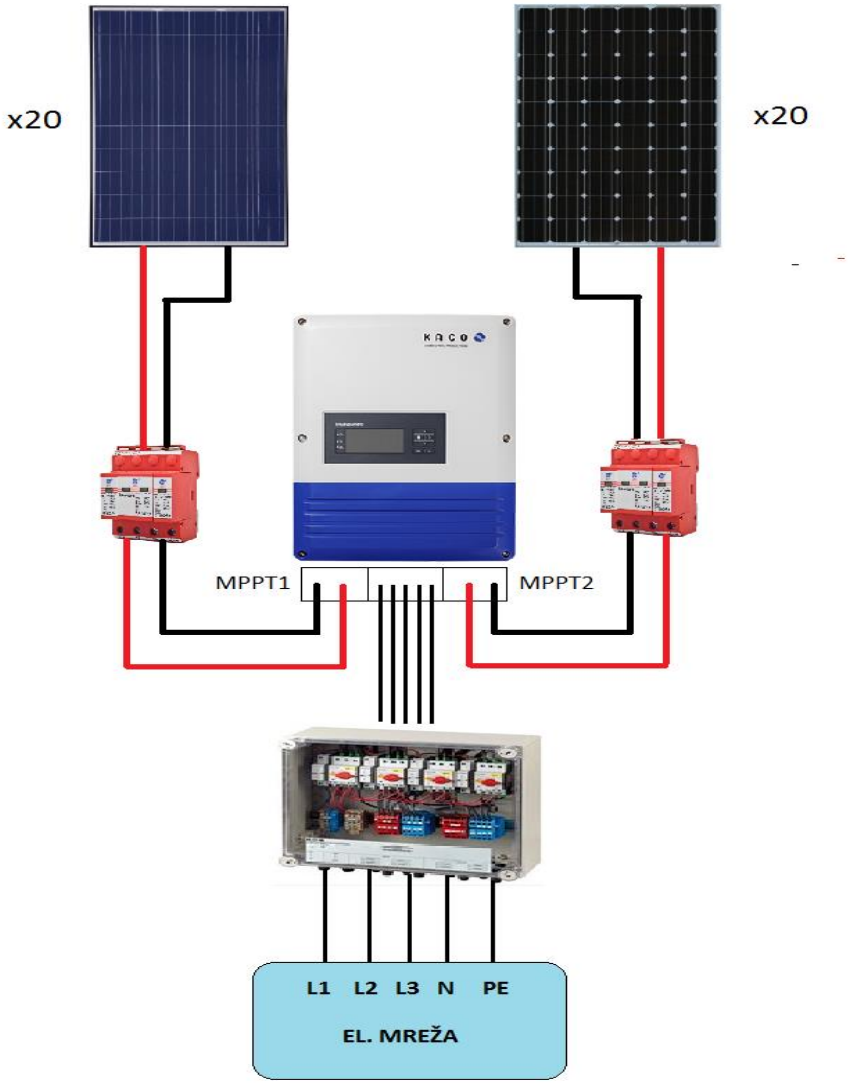
3. EMULACIJA FN ELEKTRANE ETFOS1 POMOĆU SKRIPTA NAČINA RADA

U prethodnim poglavljima detaljno su proučene mogućnosti korištenja emulatora kao i uloge svih njegovih podsustava. U ovom poglavlju, korištenjem skripta načina rada, izvršiti će se emulacija jednog odabranog fotonaponskog sustava. Odabrani sustav je FN elektrana ETFOS1 smještena na krovu zgrade FERIT-a u Osijeku. Programabilni istosmjerni izvor u koji su unešeni karakteristični podaci fotonaponskih nizova, zamjenjuje fotonaponski sustav tako da oponaša njegove strujno-naponske karakteristike. Svrha brze emulacije fotonaponskog sustava je na temelju preuzetih podataka odabranog FN sustava, izvršiti potpunu analizu proizvodnje električne energije FN nizova dviju različitih tehnologija izrade. Korištenjem skripta načina rada vrijeme emulacije se značajno skraćuje u odnosu na standardnu emulaciju koja traje koliko i dnevni dijagram sunčevog zračenja. Unošenjem podataka u stvarnim vremenskim razmacima emulacija bi trajala i do 13 sati, što je zahtjevno i dovodi do pogrešaka zbog kašnjenja unosa podataka. Reduciranjem vremenskih intervala na puno manje intervale također se može kvalitetno odraditi emulacija elektrane, odnosno izvršiti analiza proizvedene energije. Emuliranjem karakterističnih vrijednosti FN sustava u razdoblju sunčanog dana, te detaljno provedenom analizom proizvedene električne energije ispituje se mogućnost optimizacije fotonaponskih sustava s obzirom na klimatsko područje. Skripta će biti isprogramirana tako da su na jednom istosmjernom izvoru postavljene karakteristike prvog niza, a na drugom izvoru karakteristike drugog niza.

U nastavku će biti opisan slijed radnji vezanih uz pripremu podataka, proučavanje tijeka emulacije, i nakon toga će biti izvršena emulacija fotonaponskog sustava za jedan sunčani dan. Emulirani podaci se preuzimaju sa izmjenjivača emulacijskog sustava, te se dalje analitičkim metodama obrađuju i na kraju uspoređuju s danim podacima fotonaponske elektrane.

3.1. Tehničke karakteristike fotonaponske elektrane ETFOS1

Fotonaponski sustav smješten na krovu zgrade FERIT-a sastoji se od 40 fotonaponskih modula povezanih u dva niza. Svaki niz sadrži po 20 u seriju spojenih fotonaponskih modula različitih tehnologija izrade. U prvom nizu smješteni su monokristalni FN moduli proizvođača BISOL BMO-250, dok su u drugom nizu smješteni polikristalni FN moduli proizvođača BISOL BMU-250. Oba niza spojena su na dva neovisna MPPT ulaza izmjenjivača KACO TL23, koji istosmjerni napon pretvara u trofazni izmjenični, nazivne frekvencije 50 Hz, te na taj način predaje električnu energiju u mrežu. Ukupna vršna instalirana snaga fotonaponske elektrane je 12 kW. Principijelna shema danog fotonaponskog sustava prikazana je na slici 3.1.



Slika 3.1. Principijelna shema fotonaponske elektrane ETFOS1

Obje tehnologije izrade fotonaponskih modula imaju istu nazivnu snagu, dok su im ostale tehničke karakteristike različite. Tehničke specifikacije fotonaponskih modula prikazane su u tablici 3.1. Učinkovitost pretvorbe FN modula iznosi 15,3%.

Tablica 3.1. Tehničke karakteristike fotonaponskih modula pri standardnim testnim uvjetima

Električna svojstva kod STC (AM 1,5, 1,000 W/m², 25 °C):

Tip modula		BMU-250	BMO-250
Vršna snaga	P_{MPP} [W]	250	250
Struja kratkog spoja	I_{SC} [A]	8,75	8.80
Napon strujnog kruga	U_{OC} [V]	38,4	37.9
Struja vršne snage	I_{MPP} [A]	8,25	8.20
Napon vršne snage	U_{MPP} [V]	30,3	30.5
Učinkovitost pretvorbe ćelija	η_C [%]	17,1	17.4
Učinkovitost pretvorbe modula	η_M [%]	15,3	15.3
Odstupanje izlazne snage		0/+5 W	
Najviša izmjenična struja		13 A	
Maksimalni napon sustava		1.000 V (razred A)	

Strujno-naponske karakteristike fotonaponskih modula određene su s četiri glavna parametra: naponom otvorenog kruga (*U*oc), naponom maksimalne snage (U_{MPP}), strujom kratkog spoja (I_{SC}), i strujom maksimalne snage (I_{MPP}). Za dani fotonaponski sustav, temeljem podataka pojedinog fotonaponskog modula, mogu se izračunati naponi i struje oba niza, vršna snaga pojedinog niza, te ukupna vršna snaga elektrane. Za izračun vršne snage fotonaponske elektrane koriste se slijedeći izrazi:

$$U_{MPPn1} = n \cdot U_{MPP1} \;;\; U_{MPPn2} = n \cdot U_{MPP2} \tag{3-1}$$

$$P_{uk,DC} = P_{MPP1} + P_{MPP2} = U_{MPPn1} \cdot I_{MPP1} + U_{MPPn2} \cdot I_{MPP2} \tag{3-2}$$

$$P_{uk,AC} = \eta \cdot P_{uk,DC} \tag{3-3}$$

gdje je:

U_{MPP1}, I_{MPP1}- napon i struja monokristalnog FN modula pri točki maksimalne snage

U_{MPP2}, I_{MPP2}- napon i struja polikristalnog FN modula pri točki maksimalne snage

U_{MPPn1}- napon maksimalne snage prvog stringa

U_{MPPn2}- napon maksimalne snage drugog stringa

P_{MPP1}, P_{MPP2}- maksimalna snaga prvog i drugog stringa

$P_{uk,DC}$- ukupna snaga na istosmjernoj strani FN elektrane

$P_{uk,DC}$- ukupna snaga na izmjeničnoj strani FN elektrane

η- stupanj djelovanja izmjenjivača, $\eta = 0{,}984$

n- ukupan broj modula u nizu

Uvrštavajući vrijednosti svakog modula dane u tablici 3.1., konačno se dobiva ukupna moguća vršna snaga elektrane pri jakosti osvjetljenja 1000 W/m^2:

$$U_{MPPn1} = 20 \cdot 30{,}5 = 610\ V \quad ; \quad U_{MPPn2} = 20 \cdot 30{,}3 = 606\ V$$

$$I_{MPP1} = 8{,}2\ A; \qquad I_{MPP2} = 8{,}25\ A$$

$$P_{uk,DC} = 610 \cdot 8{,}2 + 606 \cdot 8{,}25 = 10001{,}5\ W = 10\ kW$$

$$P_{uk,AC} = 0{,}984 \cdot 10001{,}5 = 9841{,}48\ W = 9{,}84\ kW$$

Na koncu se dobiva ukupna instalirana snaga od 10 kW. Uz stupanj djelovanja izmjenjivača od 98,4% [4], uvrštavajući u izraz (3-3) dobiva se maksimalna snaga izmjeničnog dijela (korisna snaga) od 9,84 kW. Važno je naglasiti da su vrijednosti maksimalne snage izračunate pri standardnim testnim uvjetima, u kojima su temperatura okoline i jakost osvijetljenosti (1000 W/m^2) nepromijenjene.

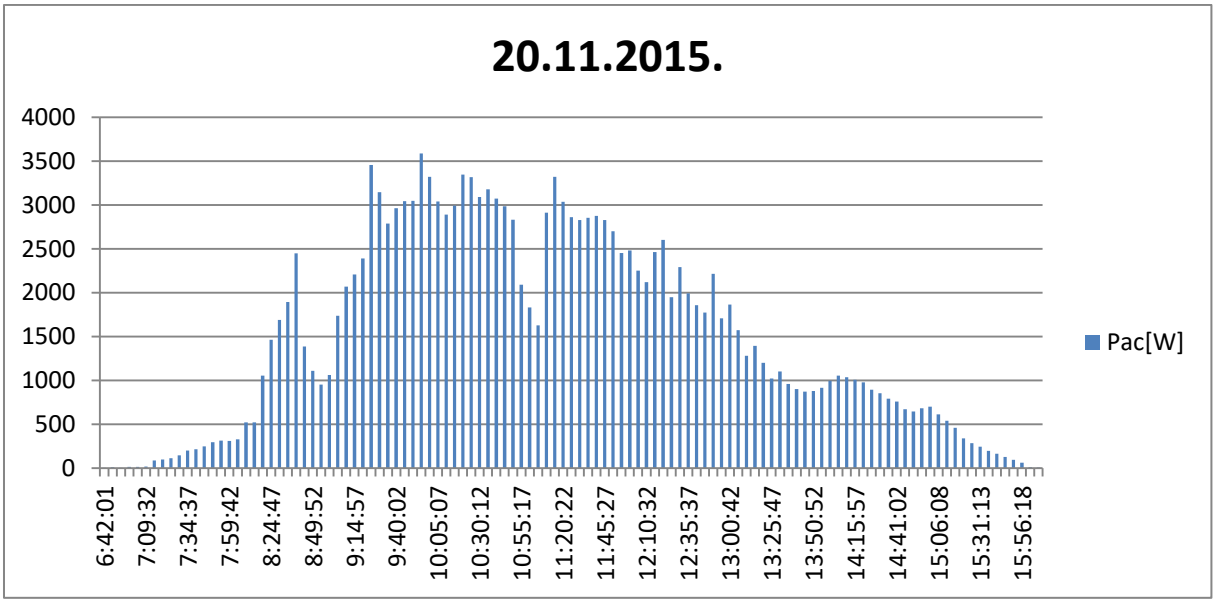
3.2. Priprema baze podataka za izvođenje emulacije

Fotonaponska elektrana ETFOS1 sadrži identičan izmjenjivač kao i emulator. Kao što je rečeno, takav izmjenjivač ima funkciju mjerenja i zapisa karakterističnih veličina u određenom vremenskom intervalu. Izmjenjivač pohranjuje podatke u jedan dokument „.CSV“ (engl. Comma Separated Values) formata, u kojemu se nalaze izmjerene vrijednosti tokom cijelog proizvodnog procesa (jednog dana). Dodatna mogućnost izmjenjivača je pohrana

željenog dokumenta na prijenosnu memoriju, gdje se nadalje obrađuju podaci i prilagođavaju zahtjevima emulacije.

Prije odabira dana koji će biti emuliran potrebno je zadovoljiti sve kriterije postavljene za dostupni fotonapoonski emulator. Prvo ograničenje je da izlazna izmjenična snaga fotonaponske elektrane odabranog dana bude maksimalno 6 kW. Razlog tome je prorada zaštitnih uređaja izmjenjivača FN emulatora kada snaga dosegne vrijednost veću od 6 kW pri spajanju na laboratorijske instalacije. Nakon djelovanja zaštite izmjenjivač prestaje sa predajom električne enrgije distributivnoj mreži, i tek nakon određenog vremena (oko 30 sekundi) ponovno kreće s radom. Time je narušen konačni rezultat i dolazi do pogreške pri emulaciji.

Za naredna ispitivanja odabran je sunčani dan 20.11.2015. za koji su preuzeti podaci s izmjenjivača elektrane. Tablica za odabrani proizvodni dan nalazi se u prilogu P.3.1. Vremenski interval mjerenja ulazno-izlaznih veličina je 301 sekundu, odnosno 5 minuta i jednu sekundu, te je sadržano ukupno 113 mjerenja. Za bolji uvid u odabrani dan kreiran je dijagram izlazne snage P_{AC} koji je prikazan slikom 3.2.



Slika 3.2. Dnevni dijagram snage P_{AC} elektrane ETFOS1

Prema slici 3.2 može se reći da je dan 20.11.2015. bio pretežno sunčan. Za idealan sunčani dan nema naglih promjena izlazne snage u kratkim vremenskim periodima. Na prikazanoj karakteristici se mogu primjetiti nagle promjene oko 8:50 i 10:50, što se očituje prolaskom oblaka (zasjenjenje FN modula). Vršna proizvedena snaga u ljetnim sunčanim danima doseže vrijednosti koje premašuju 6 kWp, te bi tada pri emulaciji došlo do aktivacije zaštitnih

uređaja. Stoga je odabran ovaj dan jer njegova karakteristika zadovoljava navedene pretpostavke o maksimalnoj snazi i načinu promjene osvjetljenja.

Električna energija proizvedena tokom dana računa se prema:

$$W_{ETFOS1,an,i} = (U_{mpp1} \cdot I_{mpp1} + U_{mpp2} \cdot I_{mpp2}) \cdot \Delta t_i \cdot \eta \quad (3\text{-}4)$$

$$W_{ETFOS1,an,i} = P_{ACi} \cdot \Delta t_i \cdot \eta \quad (3\text{-}5)$$

$$W_{ETFOS1,an,uk} = \sum_{i=1}^{n} W_{ETFOS1,an,i} \quad (3\text{-}6)$$

gdje je:

$W_{ETFOS1,an,i}$- analitički izračunata električna energija pojedinog trenutka

$W_{ETFOS1,an,uk}$- ukupna analitički izračunata električna energija elektrane

U_{mpp1}, I_{mpp1}- napon i struja prvog stringa pri maksimalnoj snazi u određenom trenutku

U_{mpp2}, I_{mpp2}- napon i struja drugog stringa pri maksimalnoj snazi u određenom trenutku

P_{ACi}- ukupna izmjenična snaga u određenom trenutku

Δt_i- trajanje jednog vremenskog intervala

η- stupanj djelovanja izmjenjivača, η= 0,984

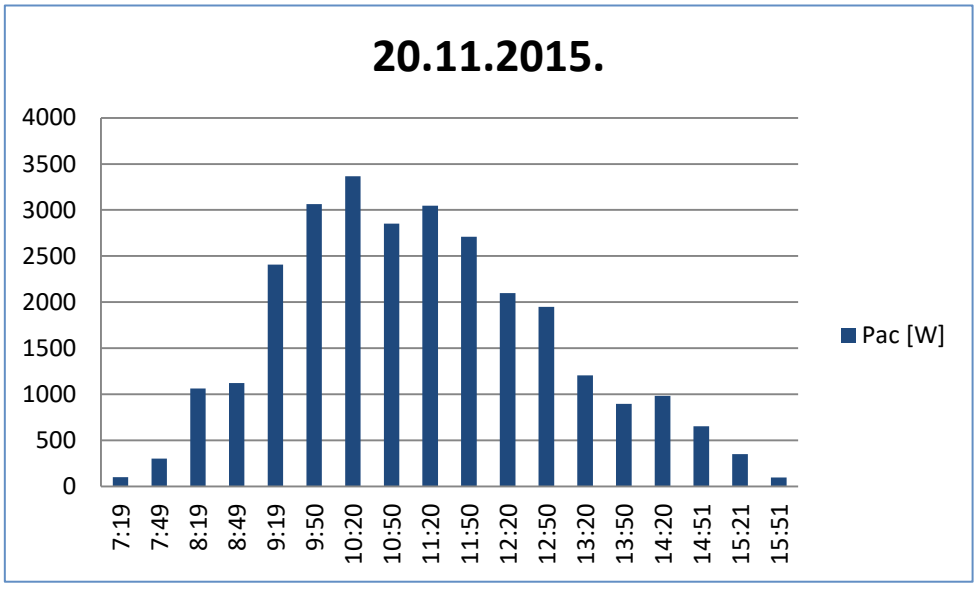
Koristeći se podacima iz tablice u prilogu, te prema relacijama (3-5) i (3-6) dobiva se ukupna proizvedena električna energija u iznosu od 14,09 kWh.

Drugo ograničenje FN emulatora je maksimalni broj naredbi koje istosmjerni izvori mogu izvoditi. Istosmjerni izvor emulatora može procesirati maksimalno 35 naredbi[3], stoga je potrebno prilagoditi izvučene podatke s izmjenjivača elektrane na određeni broj izmjerenih parametara (maksimalno 35 mjerenja). To znači da je potrebno 113 mjerenja svesti na maksimalno 35 kako bi se mogla izvršiti emulacija. Redukcija broja mjerenja se izvodi na način da se uzimaju podaci za veći vremenski interval. Odabran je vremenski interval od 30 minuta i 6 sekundi, gdje je ukupan broj od 113 mjerenja sveden na svega 18 mjerenja (tablica 3.2.). Na taj način je omogućen unos parametara u istosmjerne izvore, gdje je ukupan broj naredbi unutar zadanih granica. Ovim načinom je ostvarena tzv. „Pametna brza emulacija“, gdje je proces emuliranja parametara u trajanju od 9 sati (7:19-15:51) sveden na svega 18 minuta (18 naredbi).

Tablica 3.2. Podaci za emulaciju svedeni na vremenski interval od 30 minuta i 6 sekundi

Time	Udc1[V]	Idc1[A]	Pmpp1	Udc2[V]	Idc2[A]	Pmpp2	Puk	Pac	W12
7:19:34	470,6	0,08	41	472,9	0,13	63	105	100	0,0502
7:49:40	474,6	0,29	141	477	0,34	163	305	302	0,1515
8:19:46	553,8	1,38	769	623,4	0,49	306	1077	1063	0,5333
8:49:52	611,2	0,93	572	627,3	0,89	562	1139	1123	0,5634
9:19:58	632,3	1,92	1211	648,7	1,88	1225	2438	2406	1,2070
9:50:04	617,9	2,48	1535	635,1	2,46	1564	3101	3064	1,5371
10:20:10	612,5	2,75	1688	624,1	2,75	1721	3412	3367	1,6891
10:50:16	595,6	2,40	1432	610,5	2,37	1449	2883	2851	1,4303
11:20:22	599,6	2,60	1559	620,3	2,46	1527	3087	3047	1,5286
11:50:28	591,8	2,56	1517	632,6	1,94	1227	2747	2711	1,3600
12:20:34	598,5	2,35	1408	650,9	1,10	713	2121	2099	1,0530
12:50:40	604,9	2,16	1308	629,2	1,05	662	1973	1950	0,9783
13:20:46	641,7	0,98	634	615,3	0,96	595	1230	1206	0,6050
13:50:52	613,4	0,72	447	601,7	0,75	457	906	894	0,4485
14:20:58	590,8	0,83	490	604,7	0,83	505	998	981	0,4921
14:51:05	591,7	0,53	314	589,8	0,58	345	661	653	0,3276
15:21:11	475,9	0,34	165	536,2	0,34	186	353	349	0,1751
15:51:17	474,6	0,03	14	477	0,17	84	98	97	0,0487
								Wuk	14,1786

Uzevši vrijednosti prema tablici 3.2 dobiven je dnevni dijagram snage prikazan slikom 3.3.



Slika 3.3. Svedeni dnevni dijagram snage P_{AC} elektrane ETFOS1

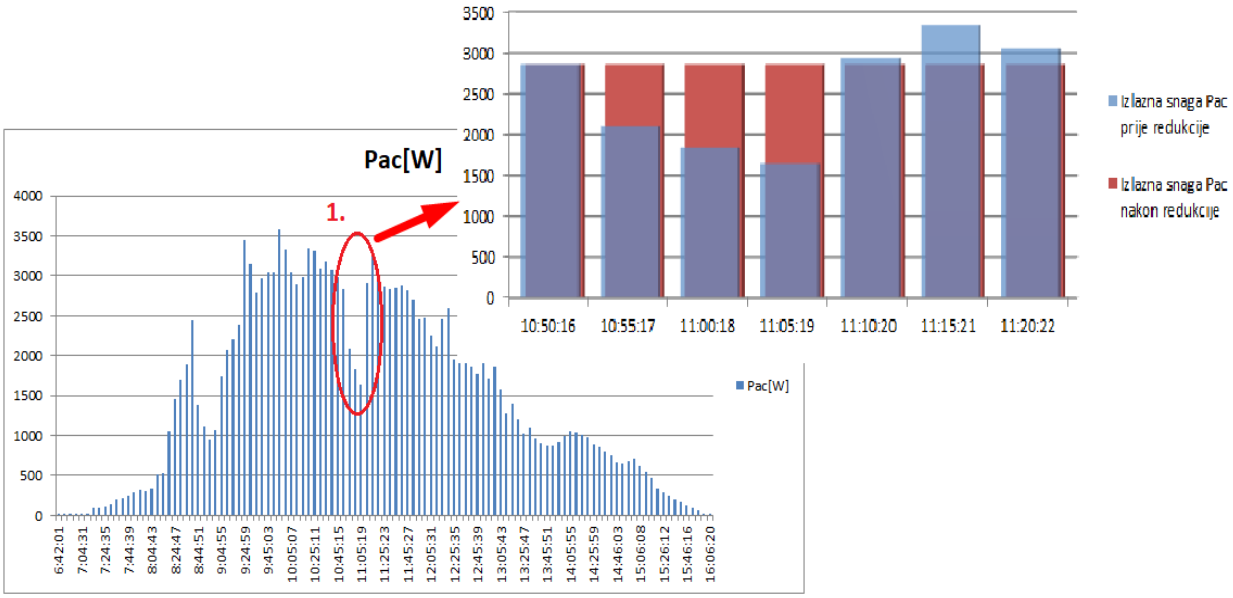
Na temelju podataka iz „pročišćene“ tablice, koristeći se izrazima (3-5) i (3-6) izračunata je ukupna proizvedena električna energija $W_{ETFOS1,an,uk}$= 14,18 kWh. Primjećuje se da je električna energija nakon smanjenja broja karakteristika (naredbi) veća za 0,09 kWh od energije dobivene na osnovu preuzetih podataka (prilog P.3.1.). Uzimanjem većeg vremenskog intervala između mjerenja, izostavljeno je pet mjerenja u kojima je dolazilo do

promjena vrijednosti izlazne snage. Na originalnom dnevnom dijagramu snage (slika 3.2.) primjećena su dva vremenska intervala pri kojima je došlo do izrazitih promjena izlazne snage. U prvom označenom intervalu (tablica 3.3.) od 10:50:16 do 11:20:22 postavljena je konstantna snaga od 2851 W za svedenu tablicu 3.2.

Tablica 3.3. Karakteristični podaci prvog naznačenog intervala

Time	Udc1[V]	Idc1[A]	Pdc1[W]	Udc2[V]	Idc2[A]	Pdc2[W]	Pdc[W]	Pac[W]
10:50:16	595,6	2,4	1432	610,5	2,37	1449	2883	2851
10:55:17	588,1	1,79	1055	602,5	1,78	1073	2131	2093
11:00:18	587,8	1,56	922	601	1,57	944	1868	1832
11:05:19	590,5	1,39	823	6004,7	1,38	839	1665	1641
11:10:20	605	2,44	1477	617,5	2,4	1483	2962	2926
11:15:21	606,7	2,78	1692	622,6	2,71	1689	3382	3335
11:20:22	599,6	2,6	1559	620,3	2,46	1527	3087	3047

Unutar tog vremenskog intervala uočavaju se smanjenja izlazne snage za čak 1218 W. U ovom slučaju snaga većine izostavljenih mjerenja je manja od postavljene konstantne snage (slika 3.4.). Uočeno odstupanje je glavni razlog povećane proizvedene električne energije nakon redukcije broja mjerenja za odabrani dan.



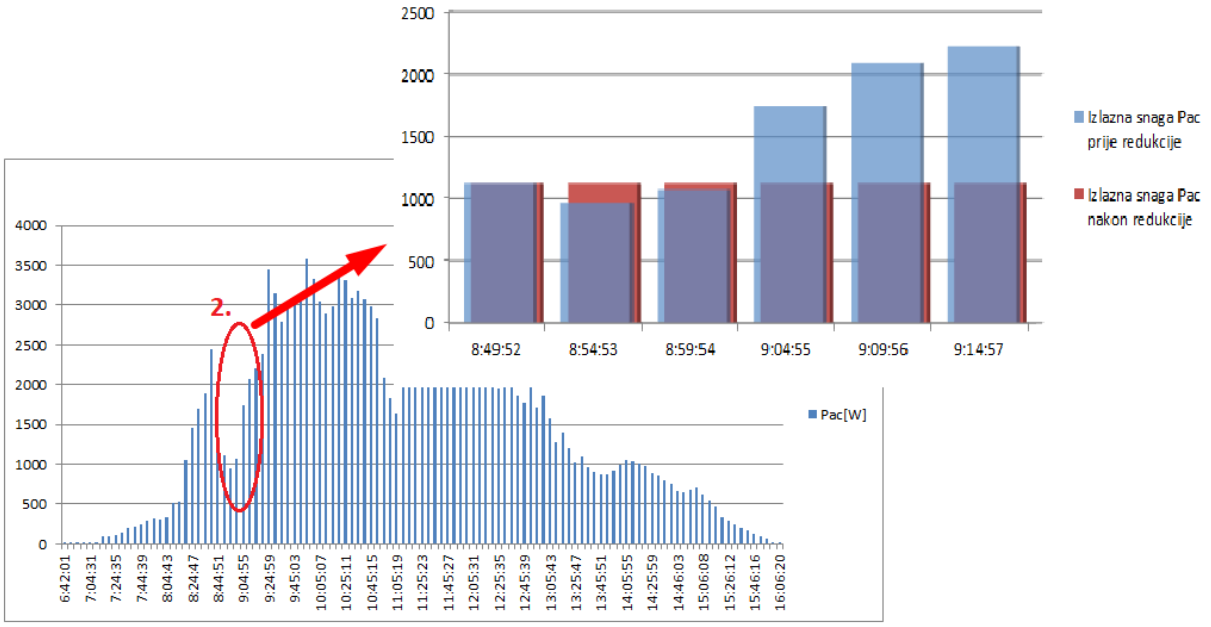
Slika 3.4. Prvi naznačeni interval izrazite promjene izlazne snage

U drugom naznačenom intervalu (tablica 3.4.) od 8:49:52 do 9:19:58 također su primjećene izražene promjene izlazne snage koje dovode do odstupanja. U tom periodu sadržana su mjerenja pri kojima snage većinom premašuju zadanu konstantnu vrijednost od 1123 W (slika 3.5.).

Tablica 3.4. Karakteristični podaci drugog naznačenog intervala

Time	Udc1[V]	Idc1[A]	Pdc1[W]	Udc2[V]	Idc2[A]	Pdc2[W]	Pdc[W]	Pac[W]
8:49:52	611,2	0,93	572	627,3	0,89	562	1139	1123
8:54:53	609,3	0,78	479	624,2	0,79	499	982	964
8:59:54	618,6	0,88	549	628,1	0,85	538	1090	1071
9:04:55	627,8	1,5	946	647,8	1,27	826	1775	1739
9:09:56	631,3	1,7	1075	635,5	1,62	1035	2112	2087
9:14:57	632	1,77	1122	631,1	1,78	1128	2253	2220
9:19:58	632,3	1,91	1211	648,7	1,88	1225	2438	2406

Takva povećanja snage prema zadanoj konstantnoj vrijednosti uzrokuju manju analitički izračunatu energiju pri redukciji parametara.



Slika 3.5. Drugi naznačeni interval izrazite promjene snage

Uzimajući u obzir naznačene vremenske intervale, odstupanja vrijednosti se ujednačavaju i konačno odstupanje je malih razmjera. Električna energija pri reduciranom broju mjerenja odstupa od stvarne proizvedene energije za 0,63%, što će se smatrati prihvatljivim odstupanjem. Stoga se izračunata električna energija nakon redukcije parametara (14,179 kWh) može uzeti u obzir kao referentna energija za daljnju analizu rezultata.

3.2.1. Određivanje struje kratkog spoja i napona praznog hoda FN modula

Za PV emulaciju pomoću „Skripta“ načina rada potrebne su sljedeće karakteristične veličine FN modula:

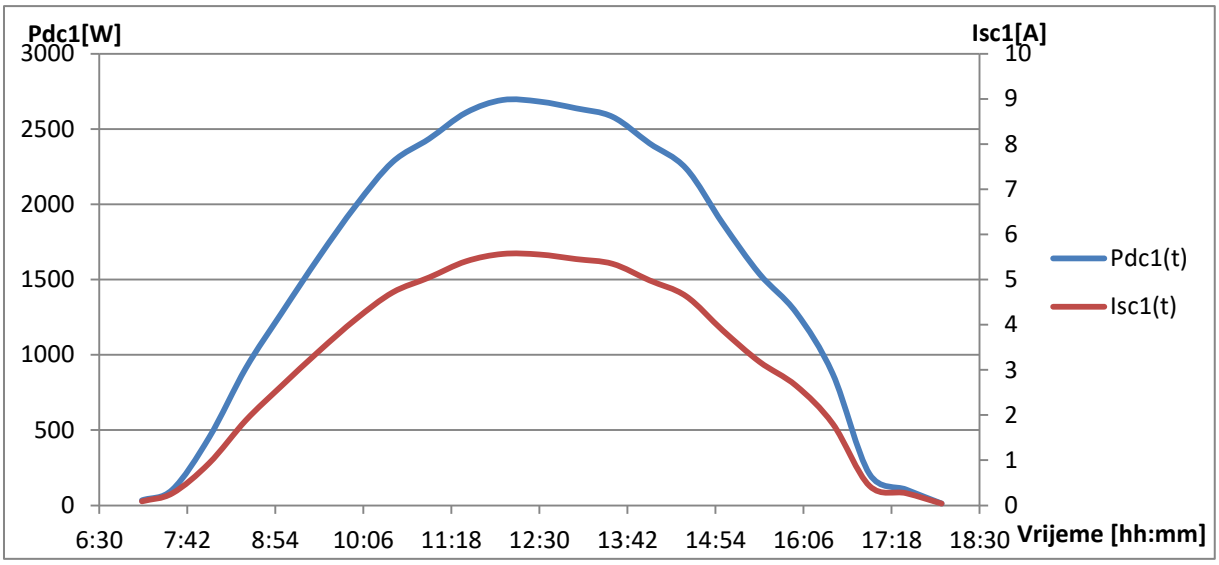
- Struja pri maksimalnoj snazi, I_{MPP}
- Napon pri maksimalnoj snazi, U_{MPP}
- Struja kratkog spoja, I_{SC}
- Napon praznog hoda, U_{OC}

U tablici preuzetoj s izmjenjivača elektrane (P.3.1.) nalaze se samo dvije od navedenih karakterističnih veličina: napon i struja pri maksimalnoj snazi oba niza FN modula. Napon praznog hoda i struju kratkog spoja izmjenjivač ne mjeri. Navedene veličine je jedino moguće odrediti pokusima kratkog spoja i praznog hoda u svakom trenutku mjerenja. Zbog nedovoljnog broja podataka za određivanje tih veličina, potrebno je pronaći drugi način da skripta bude potpuna i valjana. Na dan 10.10.2014. su obavljeni pokusi kratkog spoja i praznog hoda FN elektrane ETFOS1 u Laboratoriju za obnovljive izvore energije. Pokusi su izvođeni svakih 30 minuta u toku cijelog proizvodnog dana. rezultati pokusa za jedan niz FN modula elektrane prikazani su tablicom 3.3.

Tablica 3.3. Izmjerene karakteristične veličine jednog niza FN modula za dan 10.10.2014.

Vrijeme [h]	Uoc1 [V]	Isc1 [A]	Umpp1 [V]	Impp1 [A]
7:05	658	0,09	421	0,08
7:30	659,33	0,27	421	0,25
8:00	658,85	0,935	578,7	0,78
8:30	660,3	1,884	616,1	1,48
8:59	658,57	2,641	610,1	2,09
9:30	659,04	3,42	605,2	2,73
10:00	658,97	4,124	585,9	3,4
10:30	659,94	4,715	573,1	3,98
11:00	658,28	5,048	563,8	4,32
11:30	658,56	5,404	552,7	4,72
12:00	659,8	5,568	558,7	4,82
12:30	658,77	5,555	543	4,94
13:00	659,88	5,454	538,3	4,9
13:30	658,42	5,348	542,2	4,76
14:00	658,49	4,984	546,7	4,4
14:30	659,14	4,633	551,3	4,06
15:00	659,47	3,874	532	3,52
15:30	659,61	3,181	526,7	2,92
16:00	659,75	2,65	564,5	2,27
16:30	659,68	1,806	563,5	1,55
17:00	658,85	0,432	564,1	0,37
17:30	658,09	0,27	420,9	0,25
17:59	657,04	0,04	420,9	0,03

Pomoću podataka iz tablice rekonstruirane su *u-i* karakteristike istosmjerne strane, te dijagram struje kratkog spoja prvog niza FN modula (monokristalna tehnologija). Dnevni dijagrami (Sl. 3.6.) prikazuju ovisnost promjene vrijednosti snage i struje o promjeni jakosti sunčevog zračenja tokom cijelog proizvodnog dana. Karakteristika $P_{DC1}(t)$ nema izraženih promjena vrijednosti, i zaključuje se da je dan 10.10.2014. bio sunčani dan.



Slika 3.6. Odnos promjene istosmjerne snage i struje kratkog spoja jednog FN niza u periodu jednog dana

Prema prikazanim dijagramima može se primjetiti da se struja kratkog spoja mijenja linearno s promjenom istosmjerne snage. Prikazana karakteristika ustvari predstavlja ovisnost promjene struje kratkog spoja pri promjeni jakosti sunčevog zračenja. Struja kratkog spoja i struja pri maksimalnoj snazi također imaju linearnu ovisnost, što omogućuje pronalaženje vrijednosti struje kratkog spoja u bilo kojoj točki struje pri maksimalnoj snazi. Na temelju tehničkih podataka FN modula danih od strane proizvođača (tablica 3.4.), određuje se omjer vrijednosti struje kratkog spoja i struje vršne snage definiran oznakom „k“.

Tablica 3.4. Karakteristične veličine FN modula Bisol BMO-250 pri različitim jakostima sunčevog zračenja

Zračenje	$I_{SC,j}$ [A]	$U_{oc,j}$ [V]	$I_{MPP,j}$ (A)	$U_{MPP,j}$ (V)
1000 W/m^2	8,75	38,4	8,25	30,3
800 W/m^2	6,76	36,8	6,04	30,0
600 W/m^2	5,00	36,3	4,48	30,5
400 W/m^2	3,32	35,73	2,98	30,3
200 W/m^2	1,66	34,2	1,3	30,34

Za sve jakosti sunčevog zračenja određen je omjer:

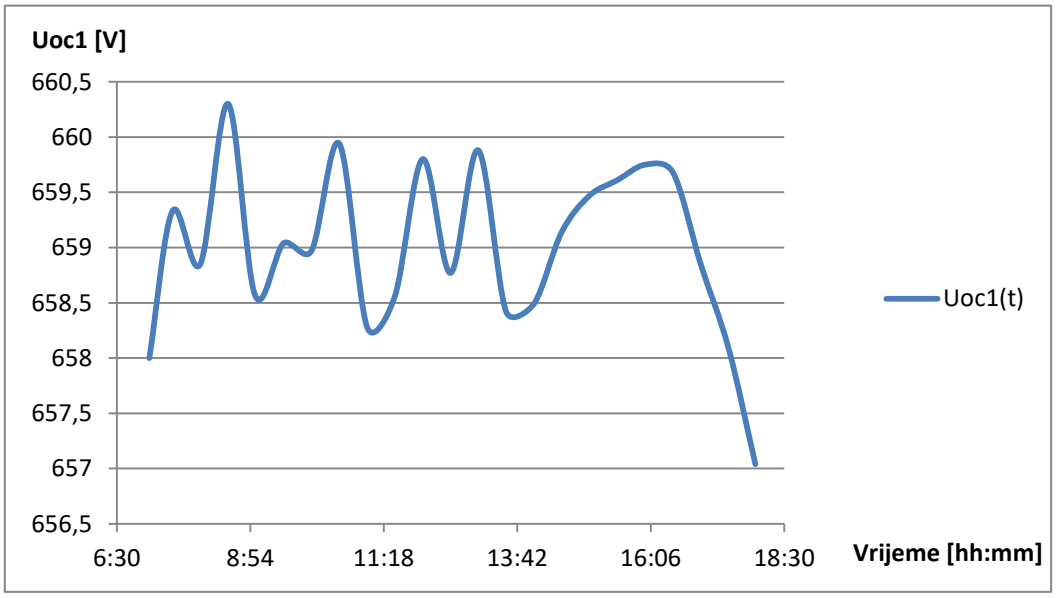
$$k = \frac{I_{SC,j}}{I_{MPP,j}} \tag{3-7}$$

Odabirom bilo koje vrijednosti struje vršne snage, prema tablici 3.4. može se utvrditi kolika je bila jakost sunčevog zračenja u tom trenutku. Uz utvrđenu jakost sunčevog zračenja FN modula odabire se pripadni omjer vrijednosti, koji se množi zadanom vrijednošću struje maksimalne snage. Konačna struja kratkog spoja se određuje:

$$I_{SC,i} = k \cdot I_{MPP,i} \ \text{[A]} \tag{3-8}$$

Na taj način je izračunata struja kratkog spoja pri zadanoj struji vršne snage. Analogno tome su određene vrijednosti struje u ostalim vremenskim periodima.

Koristeći se i dalje podacima iz tablice 3.3., prikazana je promjena napona praznog hoda jednog niza FN modula u cijelom periodu proizvodnje (Sl. 3.7.).



Slika 3.7. Promjena napona praznog hoda u vremenskom periodu od jednog dana

Prikazanom promjenom vrijednosti napona praznog hoda primjećuje se nelinearna ovisnost o izlaznoj snazi. Promjena napona praznog hoda ovisi direktno o promjeni temperature FN modula. Stoga analitički nije moguće predvidjeti kolika će biti vrijednost napona praznog hoda za određeni iznos napona vršne snage. Može se primijetiti da iznos napona varira u rasponu od 657 V do 660 V, što ukazuje na njegovu malu promjenu tokom cijelog proizvodnog perioda. Jedno od rješenja za određivanje tog napona je usporediti njegovu

promjenu vrijednosti u određenom vremenskom intervalu i prilagoditi je naponima pri maksimalnoj snazi istog vremenskog perioda. Ovim postupkom približno je utvrđen napon praznog hoda za neki drugi vremenski period.

Važno je napomenuti da je zbog nedovoljnog broja veličina (temperatura FN modula u svakom trenutku mjerenja) utvrđivanje točne vrijednosti struje kratkog spoja i napona praznog hoda empirijski određeno. Opisani postupci daju približne vrijednosti struje kratkog spoja i napona praznog hoda koje odgovaraju zahtjevima emulacije i znatno ne utječu na emuliranu energiju, budući da se položaj radne točke odabire u točki maksimalne snage. Koristeći se svim opisanim postupcima dobivena je konačna tablica u kojoj su sadržane sve karakteristične veličine FN elektrane ETFOS1 za dan 20.11.2015. (tablica 3.5.).

Tablica 3.5. Konačna tablica sa svim potrebnim karakterističnim veličinama FN elektrane

Vrijeme[h]	Umpp1[V]	Imp1[A]	Uoc1[V]	Isc1[A]	Umpp2[V]	Impp2[A]	Uoc2[V]	Isc2[A]
7:19:34	612,5	2,75	658,5	3,064	624,1	2,75	660,1	3,138
7:49:40	617,9	2,48	658,7	2,763	635,1	2,46	668,5	2,807
8:19:46	599,6	2,6	658,8	2,897	620,3	2,46	659,5	2,807
8:49:52	632,3	2,91	659,5	3,242	648,7	1,88	670,7	2,145
9:19:58	595,6	2,4	659,1	2,674	610,5	2,37	659	2,704
9:50:04	591,8	2,56	658,6	2,852	632,6	1,94	660,5	2,213
10:20:10	598,5	2,35	658,75	2,618	650,9	1,9	672	2,168
10:50:16	604,9	2,16	659,05	2,406	629,2	1,5	659,2	1,711
11:20:22	641,7	0,98	668,7	1,251	615,3	0,96	658,6	1,226
11:50:28	611,2	0,93	658,9	1,188	627,3	0,89	643,7	1,136
12:20:34	553,8	1,38	643	1,537	623,4	0,49	643	0,626
12:50:40	590,8	0,83	658,65	1,06	604,7	0,83	653	1,06
13:20:46	613,4	0,72	659,8	0,919	601,7	0,75	650	0,958
13:50:52	591,7	0,53	658,6	0,677	589,8	0,58	652,8	0,741
14:20:58	475,9	0,34	658,9	0,434	536,2	0,34	652,5	0,434
14:51:05	474,6	0,29	659,6	0,37	477	0,34	602	0,434
15:21:11	470,6	0,08	659	0,102	472,9	0,13	600	0,166
15:51:17	474,6	0,03	658,5	0,038	477	0,17	602	0,217

U daljnjem radu će se prikazani podaci iz baze za dan 20.11.2015. koristiti za sve postupke emuliranja FN elektrane, te za konačnu analizu rezultata.

3.3. Kreiranje skripte i pokretanje emulacije

Za emulaciju FN elektrane potrebno je izraditi skriptu koja će se dalje unositi u emulacijski sustav. Pošto FN elektrana sadrži dva niza FN modula različitih tehnologija izrade, izrađena su dva tekstualna dokumenta koji sadrže karakteristične veličine za svaki definirani trenutak.

Pri tome svaki dokument predstavlja jedan niz FN elektrane. Svaka skripta sadrži ukupno 18 naredbi u kojima su sadržane četiri karakteristične veličine: napon praznog hoda (U_{oc}), struja kratkog spoja (I_{sc}), napon pri maksimalnoj snazi (U_{mpp}), i struja pri maksimalnoj snazi (I_{mpp}) .

Na samom početku pisanja naredbi potrebno je definirati način rada u kojem će istosmjerni izvori LAB/HP 101000 generirati veličine. Za fotonaponski sustav odabire se PV-sim način rada istosmjernih izvora. Bitno je naglasiti da pri svakoj naredbi mora biti definiran način rada, jer nasuprot tome istosmjerni izvori neće prepoznati kreiranu naredbu, te će prestati s generiranjem *u-i* karakteristika. Skripte za svaki string napisane su u programskom alatu za obradu teksta „Notepad“. Na slici 3.8. je prikazana kreirana skripta za prvi niz FN modula, gdje su unešene karakteristične vrijednosti iz tablice 3.5. Analogno tome je kreirana skripta i za drugi niz FN modula.

20.11.2015.- String 1

```
PV
U 659
I 0,102
Umpp 470,6
Impp 0,08
RUN
DELAY 60000

PV
U 659,6
I 0,37
Umpp 474,6
Impp 0,29
RUN
DELAY 60000

PV
U 659,8
I 1,537
Umpp 553,8
Impp 1,38
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,9
I 1,188
Umpp 611,2
Impp 0,93
RUN
DELAY 60000

PV
U 659,5
I 3,242
Umpp 632,3
Impp 1,92
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,7
I 2,763
Umpp 617,9
Impp 2,48
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,5
I 3,064
Umpp 612,5
Impp 2,75
RUN
DELAY 60000

PV
U 659,1
I 2,674
Umpp 595,6
Impp 2,4
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,8
I 2,897
Umpp 599,6
Impp 2,6
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,6
I 2,852
Umpp 591,8
Impp 2,56
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,75
I 2,618
Umpp 598,5
Impp 2,35
RUN
DELAY 60000

PV
U 659,05
I 2,406
Umpp 604,9
Impp 2,16
RUN
DELAY 60000

PV
U 668,7
I 1,251
Umpp 641,7
Impp 0,98
RUN
DELAY 60000

PV
U 659,8
I 0,919
Umpp 613,4
Impp 0,72
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,65
I 1,06
Umpp 590,8
Impp 0,83
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,6
I 0,677
Umpp 591,7
Impp 0,53
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,9
I 0,434
Umpp 475,9
Impp 0,34
RUN
DELAY 60000

PV
U 658,5
I 0,038
Umpp 474,6
Impp 0,03
RUN
DELAY 60000
STANDBY
```

Slika 3.8. Prikaz kreirane skripte za prvi niz FN modula

Za FN modul definiran je PV-način rada sa zadanim strujnim i naponskim ograničenjima. Naredba „RUN“ pokreće postojeću skriptu ako su sve naredbe pravilno napisane. Nakon naredbe „RUN“ definira se vrijeme trajanja generiranja zadanih vrijednosti u milisekundama (ms) koje se iskazuje naredbom „DELAY“. Zbog ograničenog vremena izvršenja naredbi u iznosu od 65535 ms (Poglavlje 2.3.2.), postavljeno je ograničenje trajanja svake naredbe od 60 sekundi. Nakon zapisa svih 18 naredbi upisuje se naredba „STANDBY“ koja postavlja istosmjerne izvore u stanje pripravnosti, i označava završetak emulacije.

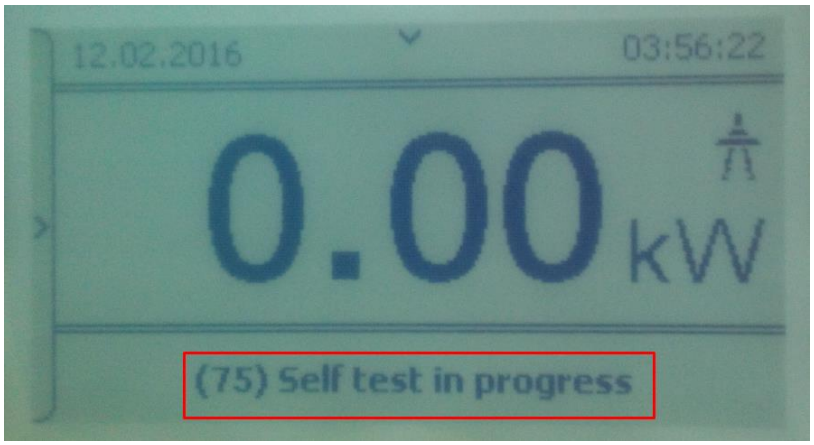
Nakon što je skripta napisana, potrebno je tekstualni dokument pohraniti na prijenosnu memoriju (SD memorijsku karticu), te ju umetnuti u programabilni istosmjerni izvor. Programabilni istosmjerni izvori automatski prepoznaju memorijsku karticu, te ispisuju sve tekstualne datoteke koje se na memoriji nalaze. Odabirom na željenu datoteku uređaji vrše ispitivanja skripti i naznačuju njihovu ispravnost. Istovremenim pritiskom na funkcijske tipke „Standby“ pokreće se emulacija i istosmjerni izvori generiraju zadane *u-i* karakteristike.

3.4. Dodatni zahtjevi pri izvođenju emulacije

Prilikom pokretanja emulacije uočavaju se nepravilnosti generiranja zadanih vrijednosti. Uz sva opisana ograničenja emulacijskog sustava nailazi se na dodatna ograničenja glede same emulacije, stoga je potrebno pronaći odgovarajuće rješenje kako bi se konačni rezultati mogli smatrati vjerodostojnima.

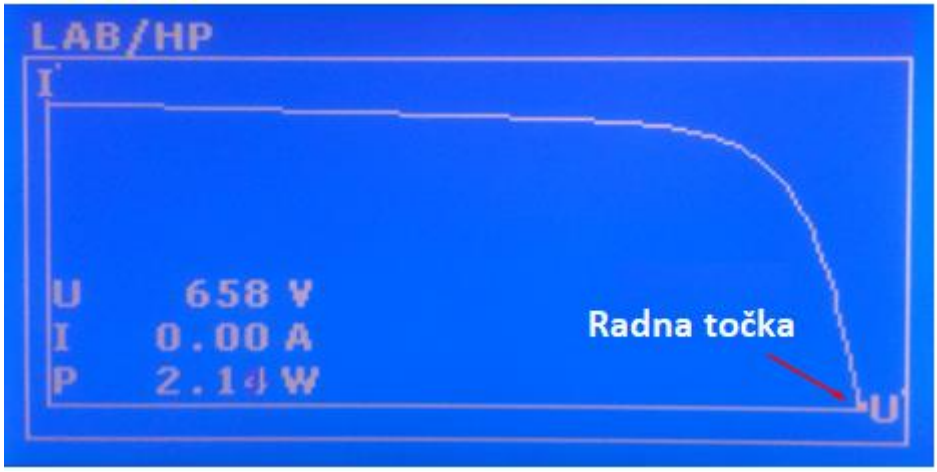
3.4.1. Kompenzacija vremena za samotestiranje izmjenjivača

Na početku izvođenja emulacije, izmjenjivač ne predaje električnu energiju u mrežu iako je skripta pokrenuta. Razlog takve pojave je samotestiranje izmjenjivačkih podsustava zaštite, koje se izvršava čim se detektira napajanje istosmjernih izvora (Sl. 3.9.).



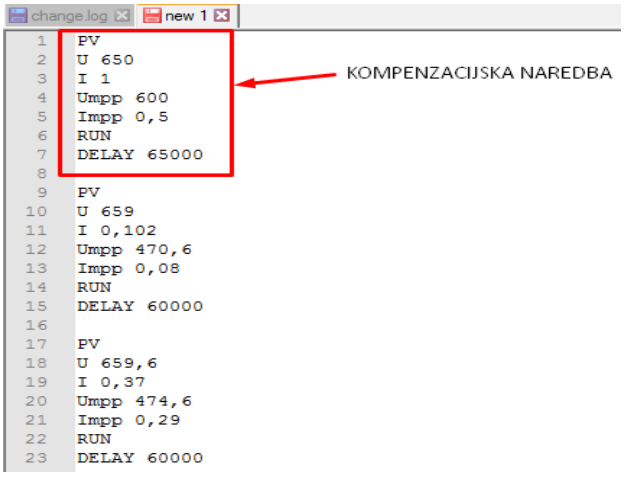
Slika 3.9. Indikacija samotestiranja izmjenjivača

U tom trenutku naponi istosmjernih izvora su određeni prvom naredbom skripte, dok su struje jednake nuli. Na slici 3.10. prikazan je početni trenutak uključenja pri čemu se radna točka nalazi na samoj osi napona (*u*-os).



Slika 3.10. Prikaz *u-i* karakteristike prvog istosmjernog izvora pri pokretanju

Izmjenjivaču je potrebno 65 sekundi kako bi izvršio samotestiranje. Nakon toga izmjenjivač prilagođava karakteristike s pojnom mrežom i započinje slanje električne energije u pojnu mrežu. Za vrijeme trajanja prve naredbe nije bilo predaje energije, što će predstavljati pogrešku emulacije. Za rješavanje navedenog problema dodaje se naredba na početku skripte za oba niza, čije je trajanje 65 sekundi (Sl. 3.11.), točno koliko traje i samotestiranje izmjenjivača (tzv. kompenzacijska naredba).



Slika 3.11. Dodavanje naredbe za kompenzaciju samotestiranja

Dodana naredba ne utječe na konačne rezultate, već samo kompenzira vrijeme utrošeno za samotestiranje izmjenjivača. Na taj način je postignut istovremeni početak emulacije i slanja električne energije u pojnu mrežu, što treba još uskladiti s vremenom očitavanja brojila.

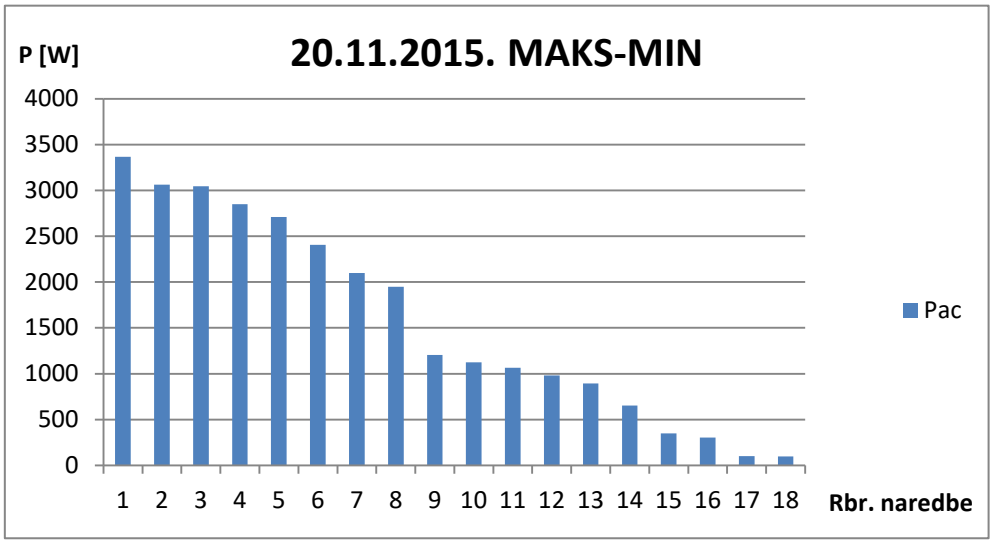
3.4.2. Prag osjetljivosti prorade izmjenjivača

Nakon izmjene skripte ponovno se pokreće emulacija i istosmjerni izvori generiraju zadane *u-i* karakteristike. Pritiskom na funkcijsku tipku istosmjernih izvora „Display“ dobiva se dodatni grafički prikaz trenutne *u-i* karakteristike. Na zaslonu se mogu pratiti izlazne vrijednosti napona, struje i snage, uz položaj radne točke. Željena pozicija radne točke je takva da istosmjerni izvor daje maksimalnu snagu uz zadani napon i struju: U_{MPP}, I_{MPP}. Na samom početku emulacije uočava se odstupanje, tj. radna točka nije u položaju maksimalne snage. Razlog ove pojave je prag prorade izmjenjivača gdje uređaj postavlja radnu točku u položaj MPPT nakon određenog iznosa izlazne snage. Izvođenjem emulacije utvrđen je prag prorade pri izlaznoj snazi od oko 250 W. Baza podataka, svedena na ukupno 18 naredbi (tablica) sadrži redoslijed upisanih karakterističnih veličina identičan originalnoj bazi podataka s izmjenjivača FN elektrane. Takav slijed zapisa podataka se naziva kronološki slijed. Kod takvog slijeda početne naredbe daju malu izlaznu snagu, koja ne prelazi definirani prag prorade izmjenjivača. Stoga se preporučuje novi postupak formiranja karakterističnih veličina pri kojemu će izmjenjivač postavljati radnu točku u položaj MPPT od samog početka emulacije. U novom postupku su formirane karakteristične veličine od maksimalne izmjenične snage prema najmanjoj izlaznoj snazi (MAKS-MIN poredak karakterističnih veličina), kao što je prikazano tablicom 3.6.

Tablica 3.6. Baza podataka za emulaciju s MAKS-MIN sortiranjem karakterističnih veličina

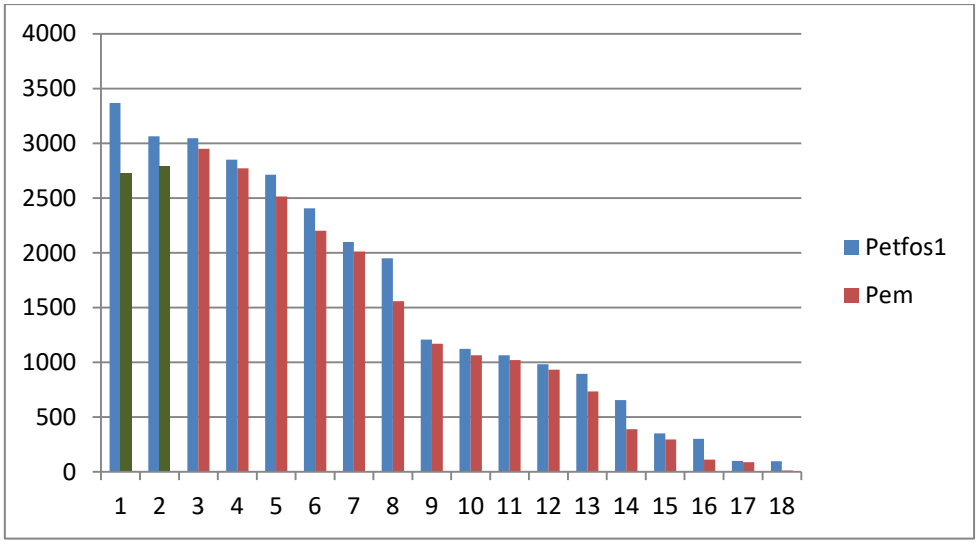
Rbr. naredbe	Udc1[V]	Idc1[A]	Udc2[V]	Idc2[A]	Puk	Pac	W12
1	612,5	2,75	624,1	2,75	3412	3367	1,689
2	617,9	2,48	635,1	2,46	3101	3064	1,537
3	599,6	2,6	620,3	2,46	3087	3047	1,529
4	632,3	2,91	648,7	1,88	2883	2851	1,430
5	595,6	2,4	610,5	2,37	2747	2711	1,360
6	591,8	2,56	632,6	1,94	2438	2406	1,207
7	598,5	2,35	650,9	1,9	2121	2099	1,053
8	604,9	2,16	629,2	1,5	1973	1950	0,978
9	641,7	0,98	615,3	0,96	1230	1206	0,605
10	611,2	0,93	627,3	0,89	1139	1123	0,563
11	553,8	1,38	623,4	0,49	1077	1063	0,533
12	590,8	0,83	604,7	0,83	998	981	0,492
13	613,4	0,72	601,7	0,75	906	894	0,448
14	591,7	0,53	589,8	0,58	661	653	0,328
15	475,9	0,34	536,2	0,34	353	349	0,175
16	474,6	0,29	477	0,34	305	302	0,152
17	470,6	0,08	472,9	0,13	105	100	0,050
18	474,6	0,03	477	0,17	98	97	0,049
							14,179

Ovim postupkom formiranja baze podataka su postavljene naredbe pri kojima će FN emulator generirati karakteristike počevši od maksimalne vrijednosti izlazne snage. Na slici 3.12. prikazan je novonastali dijagram snage za MAKS-MIN poredak karakterističnih veličina.



Slika 3.12. Dnevni dijagram snage uz MAKS-MIN poredak parametara

Za izvođenje emulacije potrebno je rekonstruirati skriptu sa novonastalim poretkom karakterističnih veličina. Za usporedbu originalnih podaka (tablica 3.6.) i podataka dobivenih emulacijom promatrati će se izlazna izmjenična snaga P_{AC}. Izvođenjem emulacije i obradom podataka emulatora dobiva se dijagram snage prikazan slikom 3.13.



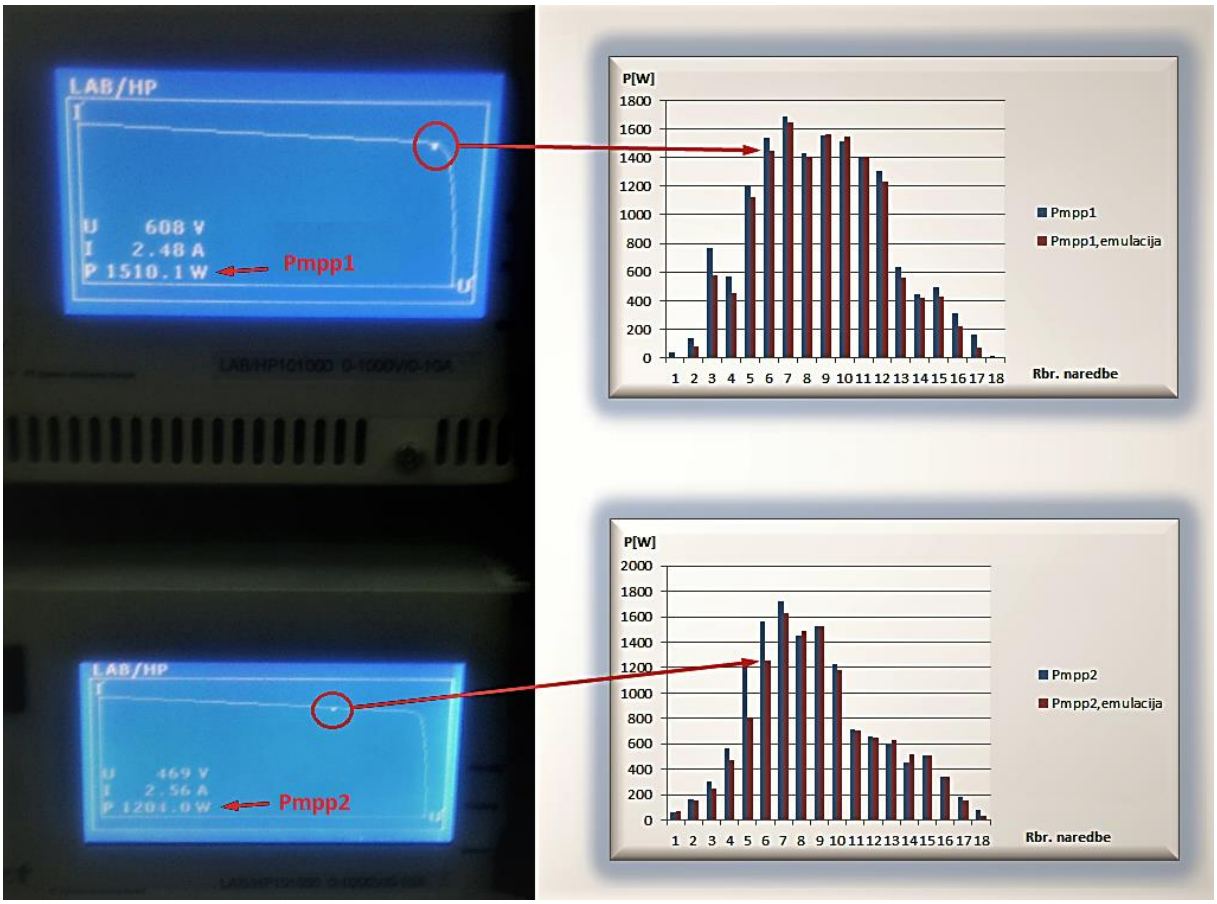
Slika 3.13. Odnos stvarnog i emuliranog dijagrama snage za MAKS-MIN sortiranje parametara

Na prikazanim dijagramima uočava se odstupanje izlazne snage na samom početku emulacije (označeno zelenom bojom). Uz prijedlog MAKS-MIN formiranja parametara, početne naredbe prelaze prag prorade izmjenjivača, no i dalje se ne postiže željeno vladanje.

Pretpostavka ovakvog vladanja je tromost elektroničkih sklopova MPPT uređaja, pri čemu se radna točka ne nalazi u položaju maksimalne snage. Dalje je potrebno utvrditi maksimalno vrijeme nakon kojeg će radna točka biti u željenom položaju, te uvesti nove prijedloge usklađivanja emulacije.

3.4.3. Usklađivanje skripte za željeni položaj radne točke

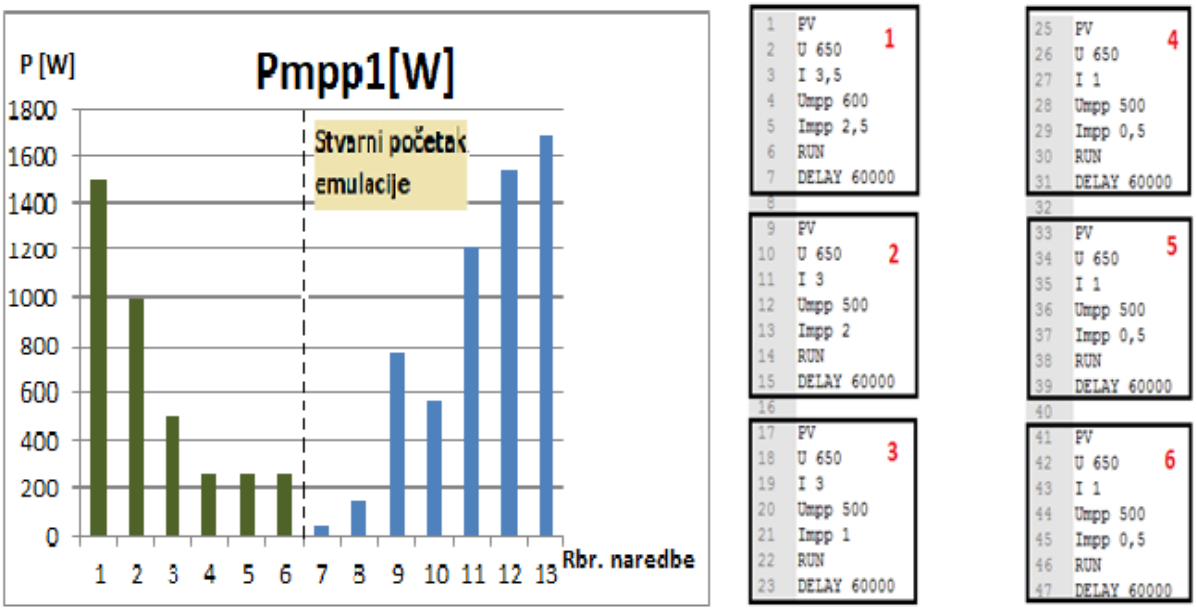
Uzastopnim izvođenjem emulacija utvrđeno je maksimalno vrijeme od 6 minuta nakon kojeg radna točka doseže položaj maksimalne snage. Izvršenjem emulacija, preuzimanjem podataka s izmjenjivača emulatora, te obradom rezultata dobivaju se karakteristike istosmjerne snage oba niza. Na slici 3.14. prikazani su rezultati gdje je naznačena šesta naredba i odstupanje koje je posljedica tromosti elektroničkog sustava MPPT uređaja.



Slika 3.14. Utjecaj položaja radne točke oba stringa na konačne rezultate

U označenom trenutku se može vidjeti značajan utjecaj položaja radne točke na krajnje rezultate. Konačnom analizom dobivaju se značajna odstupanja emuliranih vrijednosti od stvarnih vrijednosti. Ovakvo vladanje sustava se pojavljuje u oba predložena postupka formiranja parametara.

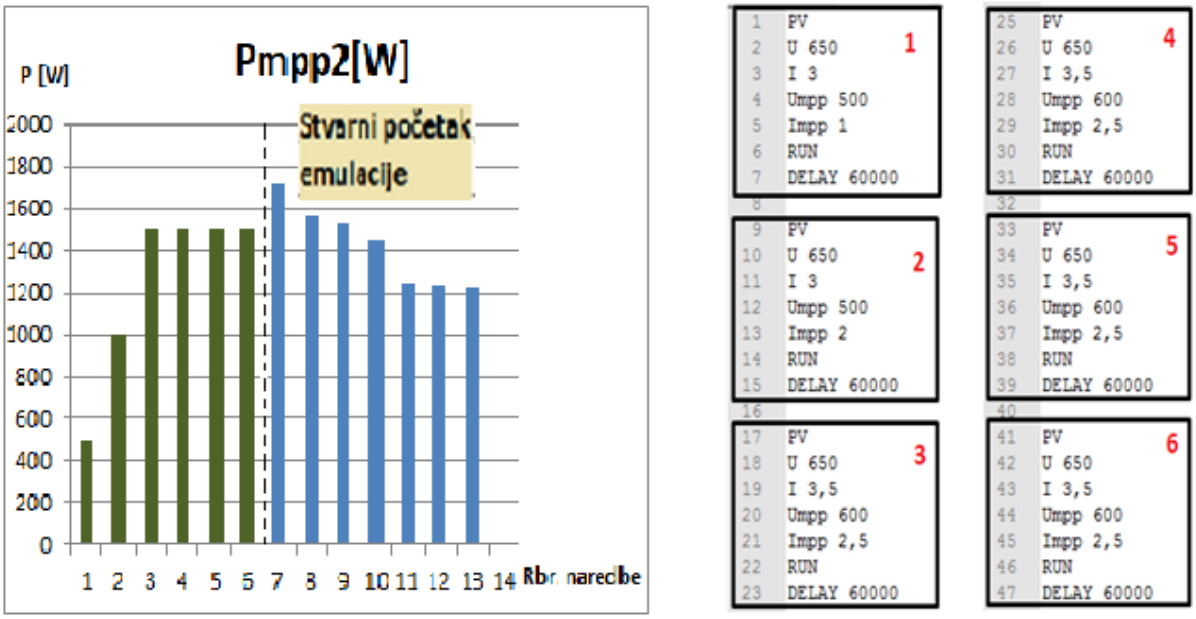
Potrebno je pronaći odabir parametara emulacije kako bi radna točka sustava bila što bliže položaju maksimalne snage u cijelom periodu emulacije. Predlaže se dodavanje u obje skripte određeni broj naredbi, koje će kompenzirati maksimalno izmjereno vrijeme (6 minuta) za konačno postavljanje radne točke u željeni položaj. Za prvi način formiranja podataka (kronološki slijed) dodane su naredbe u obje skripte u rasponu od 1,5 kW do 0,25 kW po nizu, čije je ukupno vrijeme za izvršenje 6 minuta, uz trajanje svake naredbe od 60 sekundi. Uz postupno smanjivanje izlazne snage usklađuje se položaj radne točke u točki maksimalne snage za prvu naredbu emulacije (Sl. 3.15.).



Slika 3.15. Kompenzacijske naredbe i pripadajući dijagram za kronološki slijed

Na slici je prikazan slijed naredbi za prvi niz gdje su dodane naredbe u vremenu izvršavanja od 6 minuta. U to vrijeme je radna točka postigla položaj maksimalne snage, te je nakon toga omogućeno emuliranje stvarnih vrijednosti uz prihvatljiva odstupanja.

Kod MAKS-MIN načina formiranja parametara također je potrebno izvršiti usklađivanje skripte za oba niza. U ovom slučaju se dodaju naredbe koje daju na izlazu snagu u rasponu od 0,5 kW do 1,5 kW po nizu. Za razliku od kronološkog slijeda, kod ovog postupka se upisuju naredbe s kojima se snaga postepeno povećava do 1,5 kW po nizu (Sl. 3.16.).



Slika 3.16. Kompenzacijske naredbe i pripadajući dijagram za MAKS-MIN sortiranje

Pri emulaciji FN sustava sa veličinama poredanim od maksimalne prema minimalnnoj vrijednosti izlazne snage („Maks-Min“ sortiranje) veoma je bitno dodavanje početnih naredbi za usklađivanje. Bez dodanih naredbi došlo bi do odstupanja snage na samom početku emulacije zbog maksimalnih vrijednosti snaga definiranih početnim naredbama. To bi znatno utjecalo na konačni rezultat i emulacija bi bila neučinkovita. Također je i u ovom primjeru osigurano emuliranje željenih *u-i* karakteristika uz položaj radne točke u točki maksimalne snage.

Nakon dodavanja naredbi za postizanje željenog vladanja, emulacija je produžena sa 18 minuta na maksimalno 24 minute. U skladu sa svim opisanim zahtjevima i ograničenjima emulacijskog sustava potrebno je izraditi skripte i obaviti analizu rezultata, gdje će se utvrditi vjerodostojnost emulacije.

4. POSTUPCI IZVOĐENJA EMULACIJE S OBZIROM NA VREMENSKO UZORKOVANJE IZMJENJIVAČA EMULATORA

U ovom dijelu rada obaviti će se brza emulacija prateći korake opisane u prethodnom poglavlju. Uz prethodno kreirane baze podataka FN elektrane ETFOS1 za dan 20.11.2015. (tablica 3.2. i 3.6) zadatak je obaviti niz emulacija kako bi se utvrdila vjerodostojnost uvedenih postupaka brze emulacije. Brze emulacije će se izvesti primjenjujući dva postupka: kronološki poredak i sortiranjem podataka od najvećeg prema najmanjem prema izlaznoj snazi. Da bi se napravila detaljna analiza rezultata pratiti će se predana električna energija emulatora u mrežu. Za praćenje postupaka brze emulacije promatra se snaga na izmjeničnoj strani sustava (sučelje izmjenjivača), te istosmjerna snaga pojedinog niza (sučelje istosmjernih izvora). Kao dodatno mjerilo energije dobivene emulacijom korišteno je digitalno brojilo, koje daje uvid u stvarnu predanu električnu energiju u pojnu mrežu. Početno stanje brojila se očitava nakon što emulacijski sustav izvrši kompenzacijske naredbe i započne s emuliranjem karakteristika FN nizova. Kada emulacijski sustav završi s radom očitava se krajnje stanje brojila, te se računa ukupna proizvedena energija. Pri završetku svake emulacije potrebno je izmjerene podatke preuzeti s izmjenjivača emulacijskog sustava i pritom obaviti analitički izračun proizvedene energije s pomoću brze emulacije. Za usporedbu dobivenih rezultata obaviti će se po tri brze emulacije za svaki način izvođenja.

4.1. Emulacija FN elektrane ETFOS1 pri trajanju naredbi od 60 sekundi

Za izvođenje emulacija izrađene su po dvije skripte za svaki način grupiranja baze podataka. Pri tome je svaka naredba ograničena na 60 sekundi trajanja. Nakon toga su tekstualni dokumenti pohranjeni na prijenosne SD kartice koje su umetnute u programabilne istosmjerne izvore.

4.1.1. Kronološki poredak podataka

Nakon izvršenja prve emulacije preuzeti su podaci s izmjenjivača emulacijskog sustava. U tablici 4.1. su prikazane karakteristične vrijednosti, te izračunata emulirana energija u pojedinom trenutku emulacije. Može se primijetiti da uređaj vrši uzorkovanje veličina nakon svake minute i dvije sekunde (za primjer označeno crvenom bojom u tablici 4.1.).

Tablica 4.1. Konačna tablica sa svim potrebnim karakterističnim veličinama FN elektrane

Vrijeme	Udc1,$_j$[V]	Idc1,$_j$[A]	Udc2,$_j$[V]	Idc2,$_j$[A]	Pdc,$_j$[W]	Pac,$_j$[W]	Wem,an,$_j$[kWh]
5:16:26	482,6	0,07	479,9	0,18	121	117	0,058695
5:17:28	483	0,6	482,8	0,41	490	482	0,241803
5:18:30	533,5	1,32	536,4	0,65	1059	1039	0,521232
5:19:32	605	1,3	625,2	1,24	1573	1553	0,779088
5:20:33	623,7	2,09	642,2	2,12	2671	2644	1,326407
5:21:35	612,6	2,64	634,5	2,53	3235	3170	1,590283
5:22:37	607,8	2,59	617,4	2,63	3205	3154	1,582257
5:23:39	595,2	2,47	611,3	2,46	2984	2948	1,478913
5:24:41	594	2,63	621,1	2,22	2952	2908	1,458847
5:25:43	592	2,55	637,1	1,51	2478	2429	1,218548
5:26:45	599	2,27	638,7	1,08	2050	2027	1,016878
5:27:47	613,7	1,48	620,5	1,03	1554	1538	0,771563
5:28:49	624,1	0,79	606,4	0,91	1051	1034	0,518723
5:29:51	600,4	0,76	598,8	0,86	985	965	0,484108
5:30:53	586,2	0,62	593,2	0,71	792	778	0,390297
5:31:55	582,8	0,23	577,7	0,45	400	393	0,197155
5:32:56	245,9	0,12	514,9	0,2	138	135	0,067725
5:33:58	0	0	154,9	0,11	18	18	0,00903
						∑Wem,an,$_j$	13,71155

Pošto su karakteristike FN elektrane u polaznoj tablici (tablica 3.2.) na bazi 30 minutnog uzorkovanja, izvršeno je skaliranje po vremenu tako da se svaka naredba izvodi 60 sekundi. Da bi se mogla usporediti emulirana energija sa stvarnom proizvedenom energijom, potrebno ju je nakon emulacije preračunati na vremenski period od 30 minuta i 6 sekundi (pojašnjeno tablicama 3.3 i 3.4.). Stoga se uvodi relacija kojom se emulirana energija $W_{em,an,j}$ preračunava na interval od 30 minuta preko multiplikatora *x*:

$$x = \frac{T}{\Delta t_i}, \tag{4-1}$$

Gdje je:

-*T*- vremenski period između dvije naredbe (izmjenjivač elektrane) u trajanju od 30 minuta i 6 sekundi, odnosno 1806 sekundi

-Δt_i- trajanje jedne naredbe pri emulaciji

Uvrštavajući koeficijent multiplikacije konačno se dobiva relacija za preračunavanje emulirane energije pojedinog trenutka:

$$W_{em,an,j} = P_{ac,i} \cdot \Delta t_i \cdot x = P_{ac,i} \cdot \Delta t_i \cdot \frac{T}{\Delta t_i} = P_{ac,i} \cdot T \quad [kWh] \tag{4-2}$$

U izrazu (4-1) može se vidjeti da vrijednost multiplikatora x ovisi o trajanju pojedine naredbe Δt_i.

Ukupna preračunata emulirana energija $W_{em,an,uk}$ jednaka je zbroju svih trenutnih emuliranih energija:

$$W_{em,an,uk} = \sum_{j=1}^{n} W_{em,an,j} \quad [kWh] \tag{4-3}$$

Koristeći se prethodnim relacijama (4-2) i (4-3) dobiva se ukupna emulirana električna energija $W_{em,an,uk}$=13,711 kWh.

Emulirana energija očitana brojilom $W_{em,br}$ dobiva se kao razlika krajneg stanja i početnog stanja. Takav rezultat također se odnosi na skaliranje vremena trajanja naredbi na 60 sekundi, te ga je također potrebno preračunati na 30-minutni period.

$$W_{em,br} = (W_{ZAV} - W_{POČ}) \cdot x \quad [kWh] \tag{4-4}$$

Gdje je:

-W_{ZAV}- očitanje brojila nakon emulacije (završno stanje), [kWh]

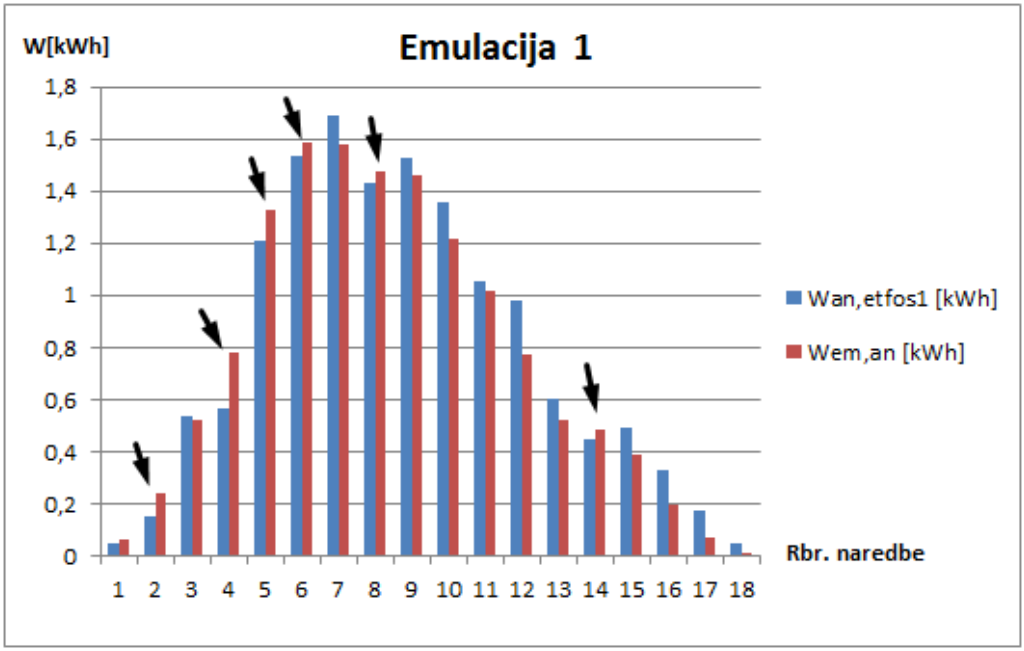
-$W_{POČ}$- očitanje brojila na početku emulacije (početno stanje), [kWh]

Koristeći se izrazom (4-4) dobiva se preračunata emulirana energija brojila:

$$W_{em,br} = (70{,}52 - 70{,}06) \cdot \frac{1806\ s}{60\ s} = 13{,}846\ kWh \quad [kWh]$$

Izrazi za proračun emulirane energije će se koristiti u daljnjoj analizi emulacije FN sustava.

Da bi se vizualno usporedila stvarna dnevna proizvodnja električne energije sa proizvedenom električnom energijom od strane emulacijskog sustava, prikazan je odnos tih dviju energija u svakom proizvodnom periodu. Na slici 4.1. je prikazan dijagram stvarne i emulirane energije prve izvršene emulacije, gdje se dodatno mogu vidjeti odstupanja vrijednosti u pojedinim intervalima.



Slika 4.1. Odnos stvarnog i emuliranog dnevnog dijagrama proizvodnje

Usporedbom vrijednosti primjećuje se da je emulirana energija bila veća od *u-i* karakteristikama definirane proizvedene energije u pojedinim trenucima (označeni strelicama). Takva pojava rezultat je povećane snage u određenom trenutku. Teoretski gledajući to nije moguće, zbog toga što su kreiranom skriptom ograničene maksimalne vrijednosti izlazne snage. To se događa kad je radna točka izvan zadane karakteristike (slika 4.2.).

Slika 4.2. Trenutak položaja RT van karakteristike

Automatskim prebacivanjem iz jedne u drugu naredbu dolazi do kašnjenja promjene položaja radne točke. Istosmjerni izvori nastavljaju s emulacijom iduće naredbe mijenjajući karakteristike, dok radna točka ostaje u istom položaju. Ako u tom trenutku izmjenjivač zabilježi karakteristične vrijednosti, one će biti veće od zadanih i doći će do veće emulirane

snage od predviđene. Automatsko pozicioniranje radne točke na željeni položaj (MPPT) nije moguće zbog tromosti elektroničkih sklopova MPPT uređaja. Ovakva pojava se događa pri prebacivanju karakteristika, te se najbolje može vidjeti promatrajući *u-i* karakteristike za vrijeme emulacije. Jedan od mogućih razloga ovakvog vladanja je trenutak mjerenja karakterističnih vrijednosti na izmjenjivaču.

Za usporedbu ukupne analitički izračunate energije elektrane W_{ETFOS1}, te analitički zračunate energije dobivene emulacijom $W_{em,an,uk}$, računa se relativna postotna pogreška δ.

$$\delta = \frac{W_{ETFOS1} - W_{em,an,uk}}{W_{ETFOS1}} \cdot 100 \quad [\%] \tag{4-5}$$

Relativna postotna pogreška predstavlja mjeru odstupanja emulirane električne energije od stvarne proizvedene električne energije. Uvrštavanjem izračunatih vrijednosti prema (4-5) dobiva se relativna postotna pogreška emulacije δ=3,29 %.

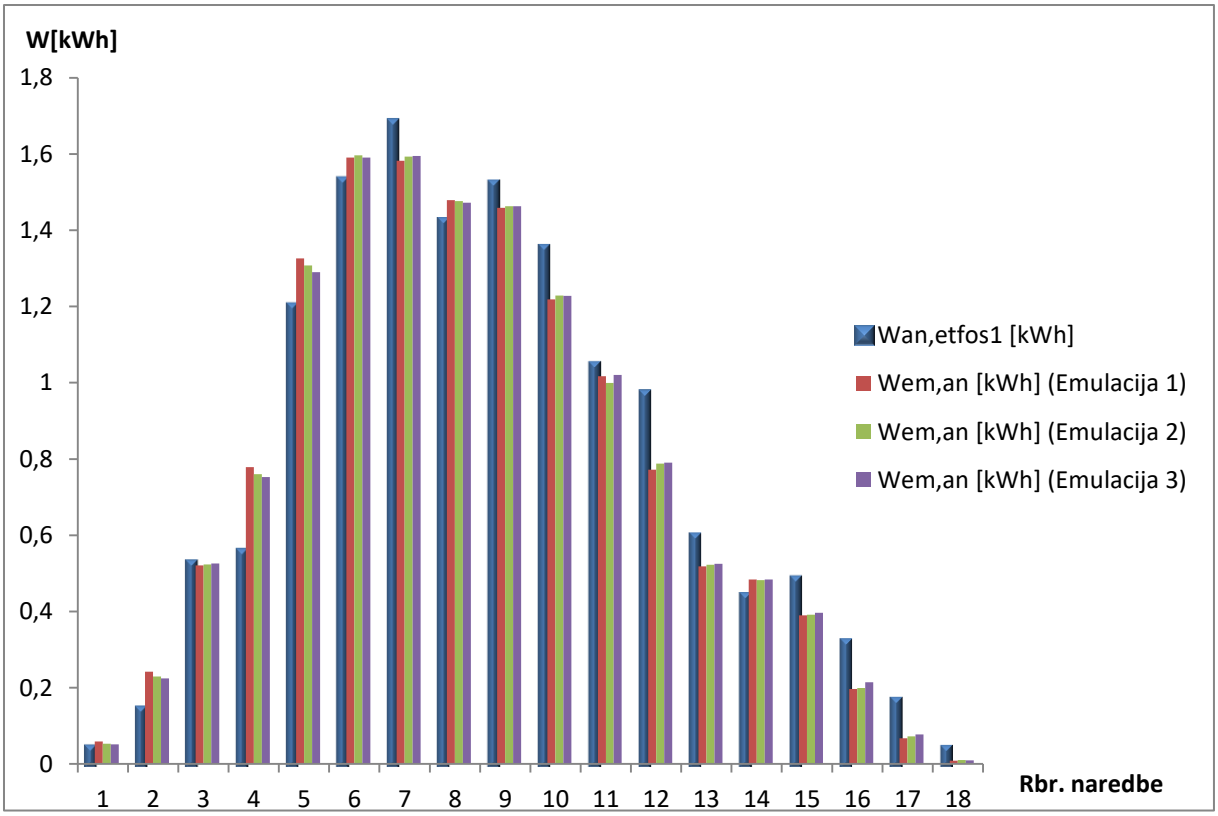
Isti proces emulacije ponovljen je još dva puta. Nakon izvršenja emulacije preuzeti su podaci s izmjenjivača FN emulatora (P.4.1. i P.4.2.). Koristeći se izrazima za računanje električne energije dobiveni su rezultati prikazani tablicom.

$$\delta_{br} = \frac{W_{ETFOS1} - W_{em,br}}{W_{ETFOS1}} \cdot 100 =$$

Tablica 4.2. Konačna tablica sa svim potrebnim karakterističnim veličinama FN elektrane

Kronološki slijed	W_{ETFOS1}[kWh]	$W_{em,br}$[kWh]	$W_{em,an,uk}$[kWh]	δ [%]	$\delta(0)$ [%]
Emulacija 1	14,179	13,846	13,711	3,29	3,33
Emulacija 2		13,545	13,698	3,39	
Emulacija 3		13,545	13,709	3,31	

Prema rezultatima srednje odstupanje emulacija iznosi 3,33%, što se može smatrati prihvatljivim. Također se može primijetiti da se ponavljanjem procesa emulacije dobivaju približni rezultati, pri čemu maksimalno apsolutno odstupanje emulirane energije iznosi 0,491 kWh. Uzimanjem podataka iz tablica od preostalih emulacija (P.4.1.), dobiva se sumirani dijagram u kojem se mogu vizualno vidjeti odstupanja električne energije svih emulacija (Sl. 4.3.).



Slika 4.3. Sumirani dijagram proizvodnje električne energije

Kao što je rečeno, digitalno brojilo ima razlučivost od 0,01 kWh. Pogreška očitanja za 0,01 kWh na 1-minutnoj razini, preračunavanjem na 30-minutnu razinu iznosi 0,301 kWh. To znači da minimalna postotna pogreška očitanja brojila iznosi 2,17 %. Stoga se može reći da digitalno brojilo daje kvalitetan uvid u proizvedenu električnu energiju pri preračunavanju i s obzirom na emuliranu energiju bez preračunavanja uz maksimalnu pogrešku očitanja od ±0,301 kWh.

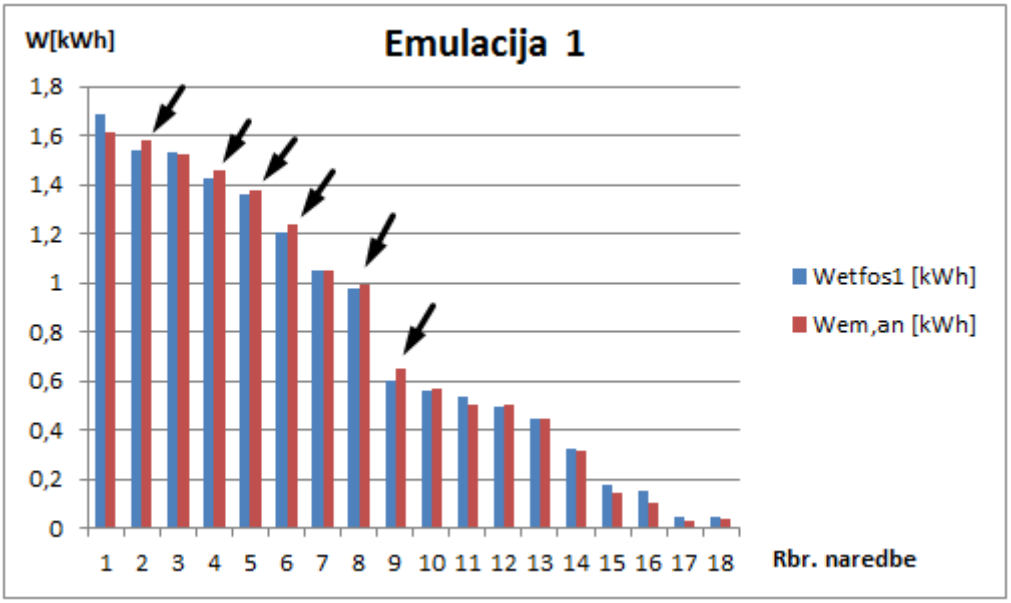
4.1.2. MAKS-MIN poredak podataka

Nakon odrađenih emulacija uz podatke poredane kronološkim redom obaviti će se emulacija za drugi postupak formiranja podataka (od najveće prema najmanjoj vrijednosti snage P_{Acj}). Prema tablici 3.6. iz poglavlja 3.4.2. kreirane su dvije nove skripte koje su preko prijenosne SD kartice umetnute u programabilne istosmjerne izvore. Pri završetku procesa emuliranja podataka preuzete su izmjerene vrijednosti prve emulacije prema kojima će se obaviti daljnja analiza (tablica 4.3.).

Tablica 4.3. Prikaz emuliranih vrijednosti preuzetih s izmjenjivača emulacijskog sustava

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
1:02:42	603,3	2,6	612,5	2,78	3275	3224	1,617373
1:03:44	610,7	2,49	628,5	2,66	3201	3160	1,585267
1:04:45	604,1	2,52	624,6	2,5	3092	3045	1,527575
1:05:47	593,3	2,42	611,1	2,47	2954	2903	1,456338
1:06:49	588,9	2,46	622,7	2,13	2780	2751	1,380085
1:07:51	614	2,03	639,2	1,95	2505	2475	1,241625
1:08:53	610,8	2,08	644,7	1,3	2113	2088	1,04748
1:09:55	599,6	2,21	630,8	1,08	2017	1977	0,991795
1:10:57	619,7	1,03	615,4	1,09	1314	1289	0,646648
1:11:59	613,3	0,85	623,2	0,99	1148	1132	0,567887
1:13:01	569,7	1,26	621,3	0,47	1013	999	0,501165
1:14:03	577,8	0,78	602,8	0,92	1011	997	0,500162
1:15:05	599,8	0,63	599,7	0,86	904	886	0,444477
1:16:07	584,4	0,41	587,1	0,66	631	624	0,31304
1:17:08	540,8	0,16	582,8	0,34	290	286	0,143477
1:18:10	491,7	0,15	540,5	0,25	216	213	0,106855
1:19:12	488,6	0	472	0,13	64	64	0,032107
1:20:14	418	0	345	0,21	72	71	0,035618
						$\sum Wem,an_{,j}$	14,13897

Ukupna izračunata emulirana energija prve emulacije iznosi $W_{em,an,uk}$=14,134 kWh. Sa digitalnog brojila očitana je električna energija u iznosu od 0,45 kWh, koja na 30-minutnoj razini iznosi $W_{em,br}$=13,545 kWh. Za bolji uvid u proizvedenu električnu energiju izrađen je dijagram proizvodnje u kojem je prikazan odnos stvarnih i emuliranih vrijednosti (Sl. 4.4.).



Slika 4.4. Odnos stvarnog i emuliranog dijagrama proizvodnje

U dobivenom prikazu na slici 4.4. uočava se slična nepravilnost kao i kod kronološkog poretka podataka. U dijelovima dijagrama koji su označeni strelicom, emulirana energija je

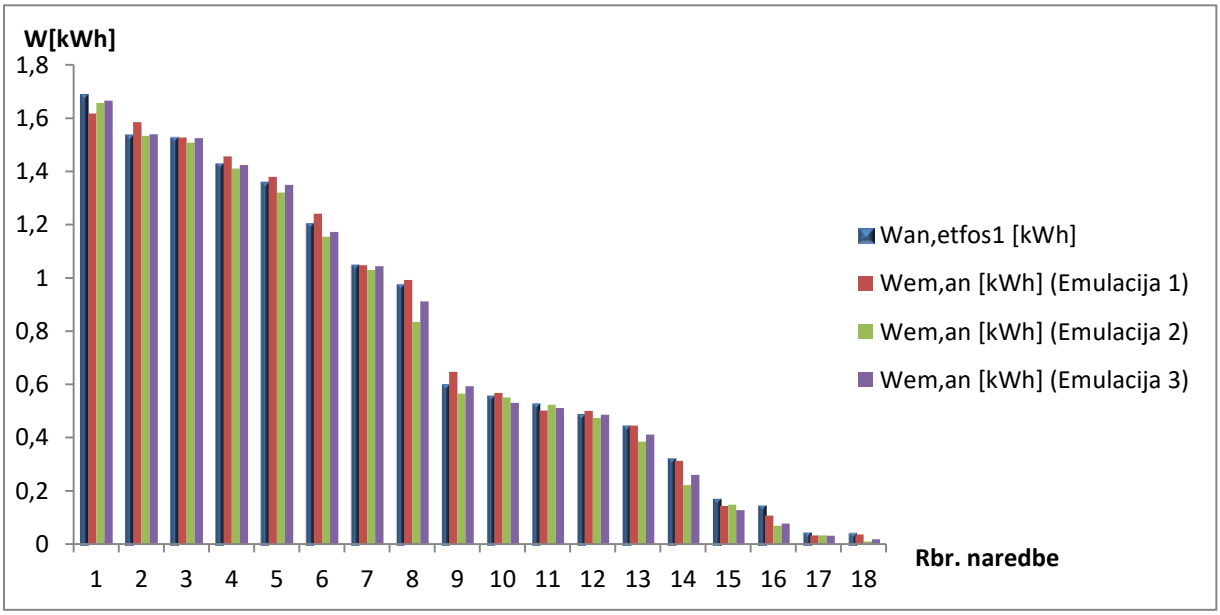
veća od zadane maksimalne proizvedene energije. Prvi navedeni mogući razlog kasnijeg očitanja vrijednosti u ovom slučaju ne potkrepljuje dobiveno vladanje, zbog toga što se izlazne vrijednosti smanjuju prelaskom iz naredbe u naredbu. Tada bi bilo očekivano drastično smanjenje emulirane energije u odnosu na stvarnu proizvedenu električnu energiju. U tablici 4.3. se može uočiti da izmjenjivač vrši mjerenje nakon svake 62 sekunde što je za dvije sekunde duže od zadanog trajanja naredbi. To znači da je izmjenjivač izmjerio vrijednosti pri prelascima na druge karakteristike, gdje je dolazilo do povećanja/smanjenja vrijednosti. U daljem radu će se predložiti rješenje kako bi se izbjeglo ovo odstupanje.

Postupak emulacije je ponovljen još dva puta (P.4.3. i P.4.4.), te su na temelju izvučenih podataka izračunate emulirane energije i njihova odstupanja od stvarnih vrijednosti. Relativne postotne pogreške emulacija iznose od δ=0,28 % do δ=5,32 %.

Tablica 4.4. Konačna tablica sa svim potrebnim karakterističnim veličinama FN elektrane

Maks-Min	W_{ETFOS1}[kWh]	$W_{em,br}$[kWh]	$W_{em,an,uk}$[kWh]	δ [%]	$\delta(0)$ [%]
Emulacija 1	14,179	13,846	14,139	0,28	3,05
Emulacija 2		13,545	13,425	5,32	
Emulacija 3		13,545	13,677	3,54	

Pri MAKS-MIN sortiranju karakterističnih veličina dolazi do puno većeg rasipanja rezultata nego što je bio slučaj kod kronološkog sortiranja. To je i logično jer su na početku emulacije veće snage u odnosu na kronološko sortiranje. Srednje odstupanje emulacija iznosi 3,05%, što se unatoč rasipanju rezultata može smatrati prihvatljivim rezultatom.



Slika 4.5. Sumirani dijagram proizvodnje električne energije

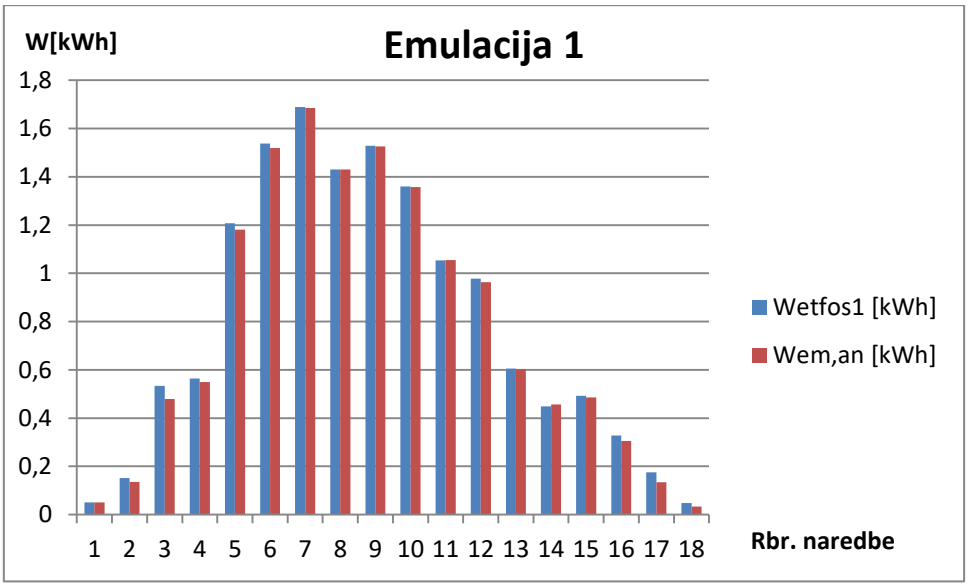
Na slici 4.5. se može vidjeti odnos emuliranih energija za sve tri emulacije uz poredak podataka od maksimalne prema minimalnoj vrijednosti. Nadalje će se obaviti emulacije uz druge mogućnosti modifikacije skripte. S obzirom na uzorkovanje baze podataka izmjenjivača emulatora od 62 sekunde, predlaže se rekonstrukcija skripte uz povećanje trajanja naredbi. Postepenim povećanjem trajanja naredbi cilj je napraviti analizu emulacija i prepoznati postupak koji daje vjerodostojne rezultate.

4.2. Emulacija FN elektrane ETFOS1 uz povećanje trajanja naredbi na 61 sekundu

Pokazano je da je očitanje izmjenjivača nakon 62 sekunde jedan od uzroka povećane izlazne snage pri emulaciji. Da bi se dokazala teza izraditi će se skripte za isti dan uz postavljanje trajanja svake naredbe od 61 sekundu. Kao i u prethodnim dijelovima, obaviti će se po tri emulacije za svaki način formiranja baze podataka.

4.2.1. Kronološki poredak podataka

Nakon izvršenja prve emulacije uz preuzete izmjerene vrijednosti s izmjenjivača (P.4.5.) kreiran je dijagram proizvodnje tokom cijelog emulacijskog processa (Sl. 4.6).



Slika 4.6. Odnos stvarnog i emuliranog dijagrama proizvodnje

Danim prikazom stvarne proizvedene energije i emulirane energije može se vidjeti utjecaj promjene vremenskog perioda na konačne rezultate. Za razliku od prošlih izvršenih emulacija (trajanje naredbi od 60 sekundi), pri povećanju trajanja naredbi na 61 sekundu, emulirana

energija je u svakom trenutku manja od stvarne električne energije. Pritom su odstupanja vrijednosti u malim razmjerima, što je i poželjno za emulaciju.

Pri povećanju trajanja naredbi (Δt_i= 61 s) mijenja se vrijednost koeficijenta multiplikacije „x“, kojim se preračunavaju energije na 30-minutnu razinu:

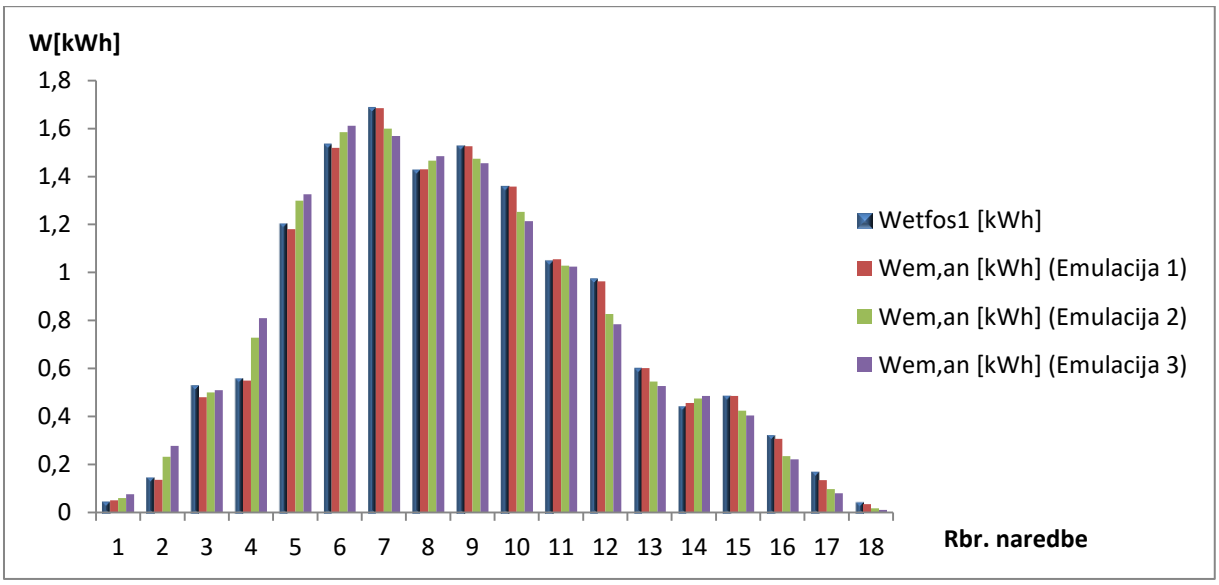
$$x = \frac{T}{\Delta t_i} = \frac{1806}{61} = 29{,}607$$

Uvrštavanjem nove vrijednosti koeficijenta multiplikacije u relaciju izračunata je ukupna proizvedena električna energija emulatora $W_{em,an,uk}$=13,947 kWh. odstupanje energije emulacije od energije FN elektrane iznosi δ=1,64 %. Energija emulacije očitana s digitalnog brojila iznosi $W_{em,br}$=13,619 kWh. Proces emulacije je obavljen još dva puta, te su nakon toga pomoću preuzetih podataka s izmjenjivača (P.4.6. i P.4.7.) izračunate proizvedene energije.

Tablica 4.5. Konačna tablica sa svim potrebnim karakterističnim veličinama FN elektrane

Kronološki slijed	W_{ETFOS1}[kWh]	$W_{em,br}$[kWh]	$W_{em,an,uk}$[kWh]	δ [%]	δ(0) [%]
Emulacija 1	14,179	13,619	13,947	1,64	2,06
Emulacija 2		13,323	13,844	2,36	
Emulacija 3		13,619	13,869	2,19	

Srednja postotna pogreška emulacija iznosi 2,06 %. U odnosu na emulacije pri trajanju naredbi od 60 sekundi (tablica 4.2.), postignuto je smanjenje odstupanja emulacija za 0,99 %. Povećanje vremena izvršenja naredbi daje bolje konačne rezultate za kronološki slijed, u odnosu na prvo postavljeno trajanje naredbi (60 s).

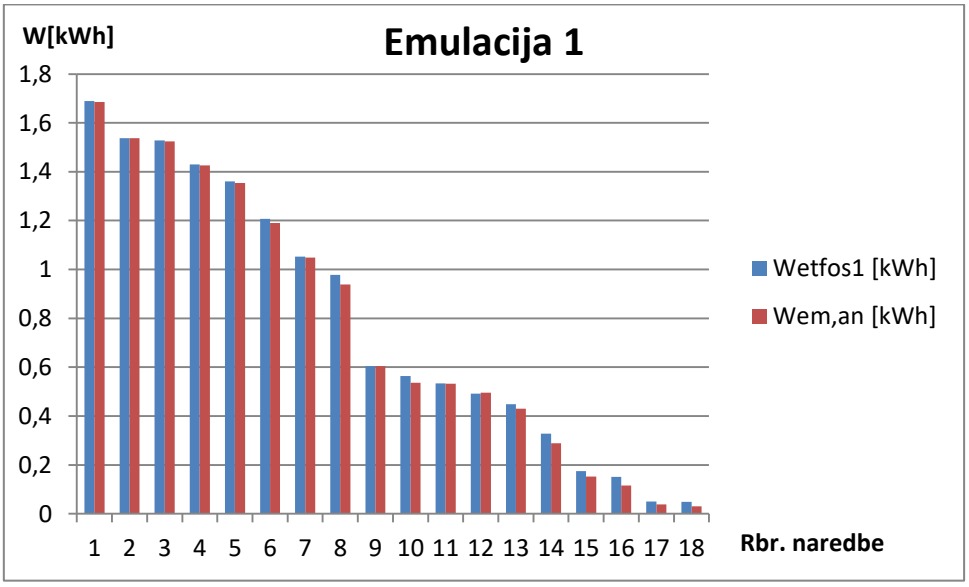


Slika 4.7. Sumirani dijagram proizvodnje električne energije

Na slici 4.7 su prikazani dijagrami proizvodnje električne energije za sve tri izvršene emulacije. Može se vidjeti da je emulirana energija pri drugoj i trećoj emulaciji u pojedinim trenucima veća od stvarne proizvedene (za primjer, naredbe 4,5,6 na slici 4.7.) , ali u manjim razmjerima u odnosu na prethodni postupak emulacije (Δt_i= 60 s)

4.2.2. MAKS-MIN poredak podataka

Preuzimanjem podataka prve emulacije s izmjenjivača emulacijskog sustava (P.4.8.) dobiva se odnos stvarnih i emuliranih vrijednosti električne energije (Sl. 4.8.). Vidljivo je da emulirana energija ne prelazi vrijednosti stvarne proizvedene energije, što je bio slučaj u prethodnom dijelu (Δt_i= 60 s)



Slika 4.8. Odnos stvarnog i emuliranog dijagrama proizvodnje

Analizom rezultata mjerenja izračunata je ukupna emulirana električna energija $W_{em,an,uk}$=13,928 kWh. Odstupanje te vrijednosti u odnosu na stvarnu proizvedenu električnu energiju iznosi 1,77 %. Emulirana električna energija očitana digitalnim brojilom iznosi $W_{em,br}$=13,619 kWh. Nakon izvođenja preostalih emulacija, prema izmjerenim podacima iz priloga P.4.9. i P.4.10. izračunate su ukupne emulirane energije te njihova odstupanja od stvarnih vrijednosti (tablica 4.6.)).

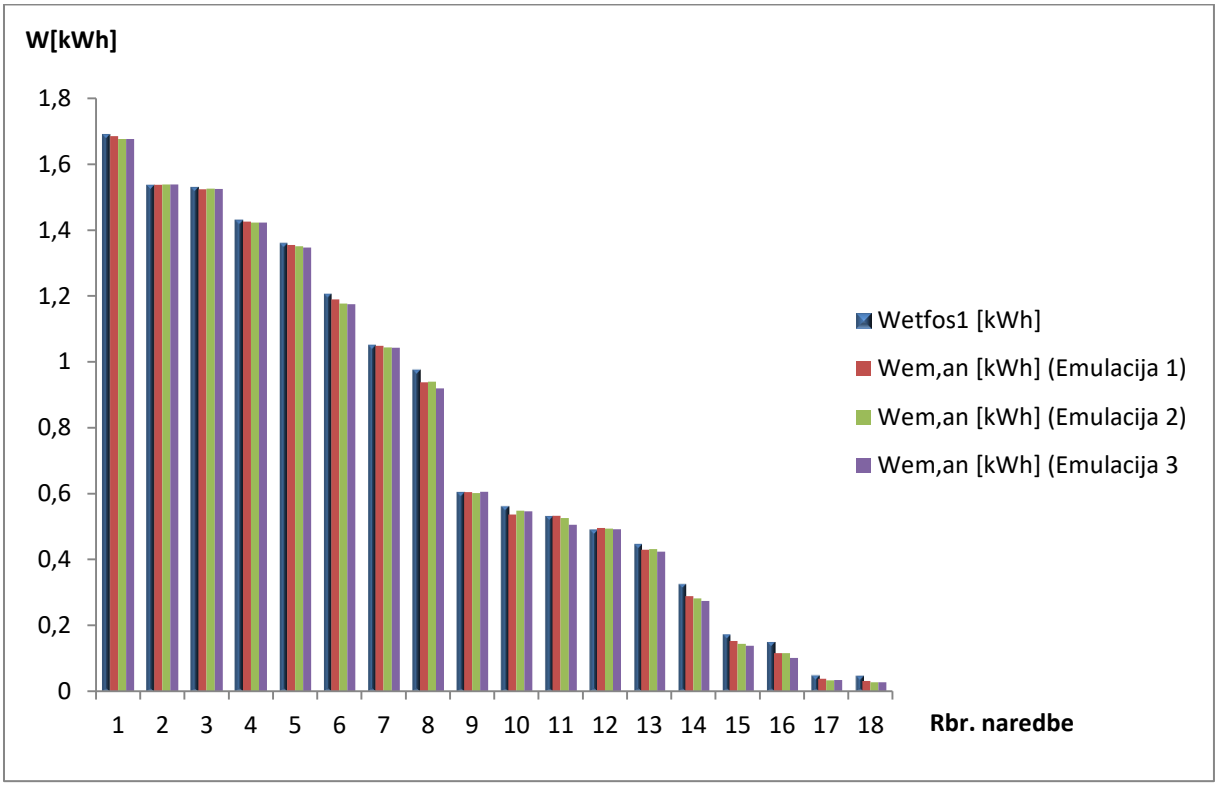
Tablica 4.6. Konačna tablica sa svim potrebnim karakterističnim veličinama FN elektrane

Max-Min	W_{ETFOS1}[kWh]	$W_{em,br}$[kWh]	$W_{em,an,uk}$[kWh]	δ [%]	δ(0) [%]
Emulacija 1	14,179	13,619	13,928	1,77	2,203
Emulacija 2		13,619	13,878	2,12	
Emulacija 3		13,619	13,794	2,72	

Srednje relativno odstupanje emulacija pri ovom postupku iznosi 2,2 % i u odnosu na MAX-MIN sortiranje pri Δt_i= 60 s (tablica 4.4.) je manje za 0,85 %. Zaključuje se kako povećanje vremena izvršenja naredbi i u ovom postupku sortiranja znatno smanjuje odstupanja emulacije.

Na slici 4.9. prikazani su dijagrami emuliranih energija za svaku emulaciju. Također i u preostalim emulacijama emulirane energije ne premašuju stvarne vrijednosti i:

PREPORUČUJE SE EMULACIJU PROVODITI PRI TRAJANJU NAREDBI OD 61 SEKUNDU.



Slika 4.9. Sumirani dijagram proizvodnje električne energije

4.3. Emulacija FN elektrane ETFOS1 uz povećanje trajanja naredbi na 62 sekunde

Dolazi se do posljednje mogućnosti izvođenja emulacije, gdje je postavljeno trajanje svake naredbe na 62 sekunde. U ovom slučaju je trajanje naredbi usklađeno sa vremenskim intervalom mjerenja karakterističnih vrijednosti od strane izmjenjivača (62 sekunde). Pritom je potrebno obaviti proces emulacije za oba načina formiranja baze podataka kao i u prethodnim slučajevima, te izraditi analizu na temelju dobivenih rezultata.

4.3.1. Kronološki poredak podataka

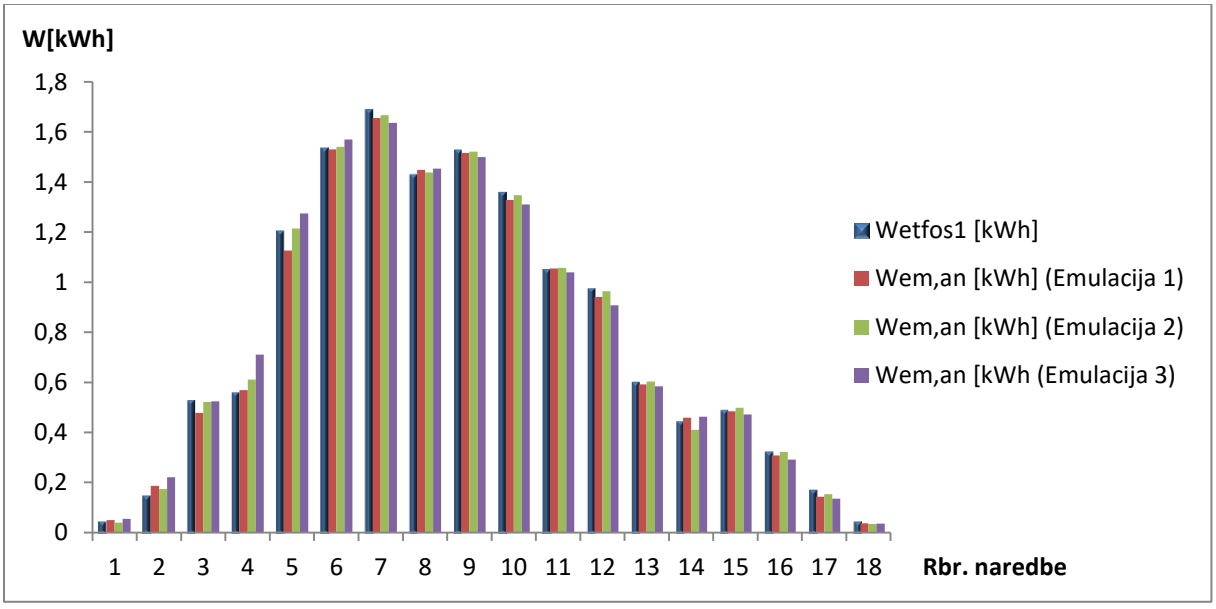
U uzoru na prethodne postupke emulacije, koristeći se podacima preuzetim sa izmjenjivača emulacijskog sustava (P.4.11.; P.4.12. i P.4.13), izračunate su ukupne emulirane energije svih emulacija. Dodatno je, kao kontrola izračunatih emuliranih energija $W_{em,an,uk}$ očitana emulirana energija brojila $W_{em,br}$ pri svakoj emulaciji.

Izračunati podaci $W_{em,an,uk}$ za sve tri emulacije prikazani su u tablici 4.7. zajedno sa stvarnom proizvedenom električnom energijom, W_{ETFOS1} i postotnom relativnom pogreškom, δ.

Tablica 4.7. Konačna tablica sa svim potrebnim karakterističnim veličinama FN elektrane

Kronološki slijed	W_{ETFOS1}[kWh]	$W_{em,br}$[kWh]	$W_{em,an,uk}$[kWh]	δ [%]	$\delta(0)$ [%]
Emulacija 1	14,179	13,399	13,905	1,93	0,774
Emulacija 2		13,399	14,119	0,42	
Emulacija 3		13,691	14,183	-0,028	

Srednja relativna pogreška emulacije iznosi 0,77 %, što je i najmanje u odnosu na prijašnje emulacije (tablica 4.2. i 4.5.). Iako je dobiveno najmanje srednje odstupanje, ne može se zaključiti da je za kronološki slijed najbolje rješenje produljenje trajanja naredbi na 62 sekunde. Razlog tome su rezultati treće emulacije, pri kojoj se dobilo negativno odstupanje vrijednosti. To se očitovalo većom emuliranom energijom od stvarne proizvedene energije. Za detaljniji uvid u proizvodnju električne energije, dan je sumirani dijagram u kojemu se nalaze rezultati svih emulacija (slika 4.10.).



Slika 4.10. Sumirani dijagram proizvodnje električne energije

Na prikazanom dijagramu pri trećoj emulaciji vidljiv je razlog veće emulirane energije (naredbe 2,4,5,6...). Došlo je ponovno do pojave veće emulirane energije, što je razlog kasnijeg očitavanja vrijednosti izmjenjivača. Pri preostalim emulacijama nije došlo do takvog vladanja i emulirane vrijednosti su unutar zadanih granica.

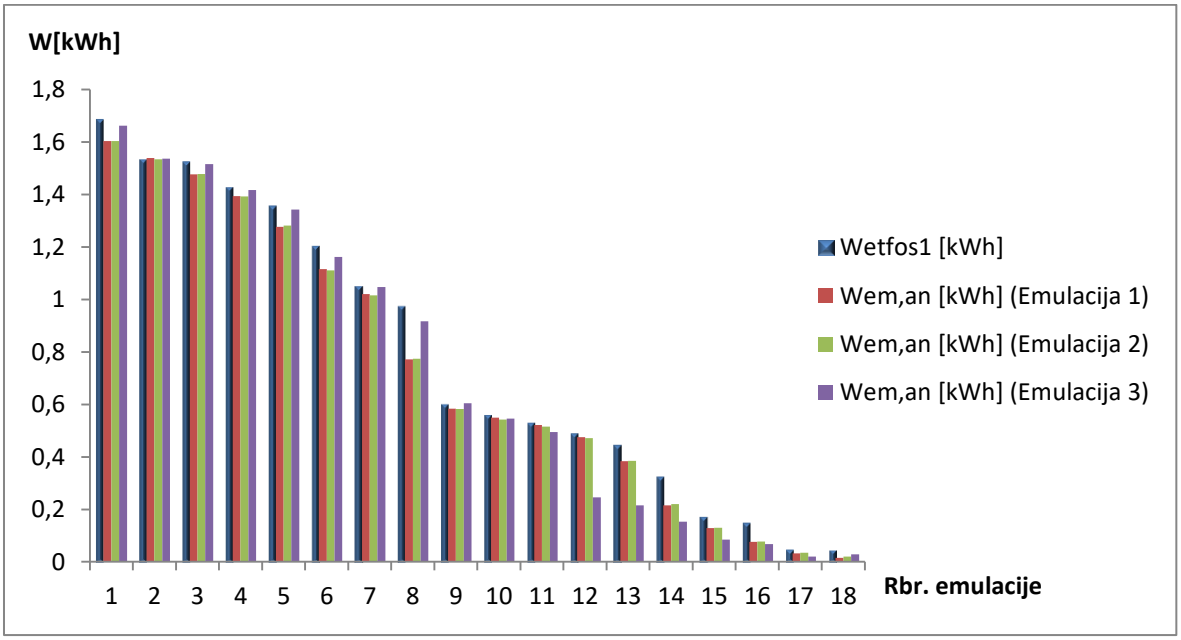
4.3.2. MAKS-MIN poredak podataka

Nakon obavljenog procesa emulacije, te preuzetih izmjerenih podataka (P.4.8.), ponovljen je postupak analize i za posljednji postupak formiranja baze podataka. Dobiveni rezultati sadržani su u tablici 4.8.

Tablica 4.8. Konačna tablica sa svim potrebnim karakterističnim veličinama FN elektrane

Max-Min	W_{ETFOS1}[kWh]	$W_{em,br}$[kWh]	$W_{em,an,uk}$[kWh]	δ [%]	δ(0) [%]
Emulacija 1	14,179	13,846	13,177	7,07	7,35
Emulacija 2		13,545	13,169	7,12	
Emulacija 3		13,545	13,065	7,86	

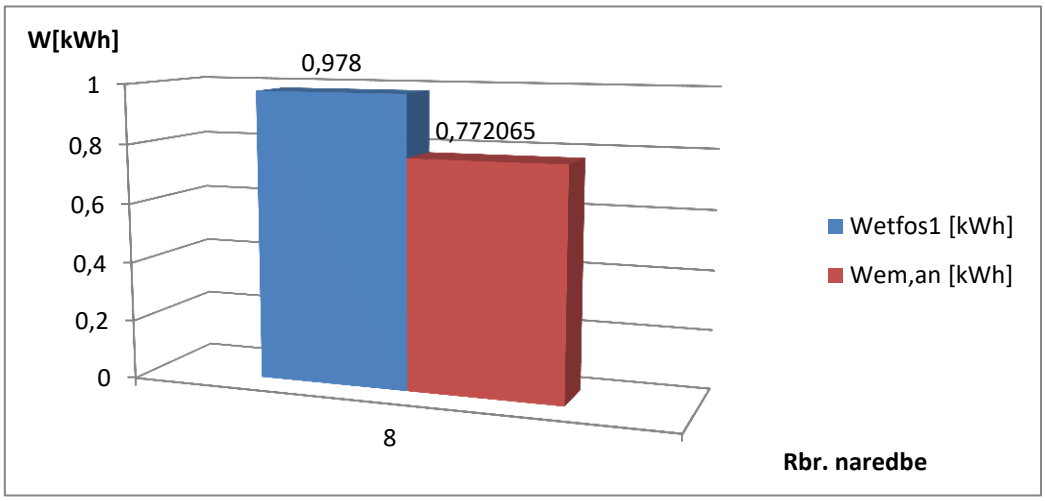
Konačnom analizom podataka dobiveno je srednje odstupanje vrijednosti od 7,35 %. Takvo odstupanje je razmjerno veće u odnosu na rezultate iz tablica 4.4. i 4.6. (vrijeme izvršenja 60 s i 61 s). Razlog odstupanja tolikog razmjera se može vidjeti na dijagramu proizvodnje električne energije (slika 4.11.).



Slika 4.11. Sumirani dijagram proizvodnje električne energije

Emulirana električna energija u pojedinom trenutku je drastično manja od stvarne proizvedene energije, što nije pogodno. Uzrok odstupanja vrijednosti je položaj radne točke istosmjernih izvora u točki gdje nije postignuta maksimalna snaga.

Za primjer je slikom 4.12. prikazan određeni trenutak dijagrama proizvodnje (naredba 8) u kojem se vidi opisano odstupanje.



Slika 4.12. Prikaz naredbe u kojoj je došlo do odstupanja vrijednosti

Na slici se može vidjeti odstupanje emulirane energije za 0,2 kWh pri samo jednoj naredbi. Do takvih odstupanja došlo je i pri ostalim dijelovima emulacije, što je utjecalo na konačni rezultat.

Naposljetku je potrebno zaključiti koji od predloženih postupaka daje vjerodostojne rezultate. Prema srednjim odstupanjima svih postupaka emulacije (prikazanim tablicom 4.9.) zadatak je utvrditi koje vrijeme izvršenja naredbi je optimalno za daljnja izvođenja emulacija.

Tablica 4.9. Konačna tablica sa svim potrebnim karakterističnim veličinama FN elektrane

	δ(0) [%]		
Vrijeme izvršenja naredbi [s]	60	61	62
Kronološki slijed	3,33	2,06	0,774
MAKS-MIN sortiranje	3,05	2,203	7,35

Prema tablici 4.9. zaključuje se kako je vrijeme izvršenja naredbi od 61 s najoptimalnije za oba postupka sortiranja parametara.

5. ZAKLJUČAK

Programabilni istosmjerni izvori napajanja, kao glavni podsustavi FN emulatora daju mogućnost generiranja izlaznih karakteristika uz prethodno zadana ograničenja od strane korisnika. Ograničenja se mogu postaviti uz pet načina rada istosmjernih izvora. Korišten je skripta način rada pomoću kojeg je omogućen neprekinuti slijed generiranja izlaznih karakteristika. Kreiranjem tekstualnog dokumenta (skripte) definiran je PV način rada u kojem je sadržan niz naredbi gdje se ograničavaju izlazne karakteristične vrijednosti FN elektrane (modula, niza FN modula).

U ovom radu korištena je tzv. brza emulacija, čijim je izvođenjem smanjeno vrijeme trajanja s maksimalno 13 sati na 24 minute. Vrijeme izvođenja je smanjeno na način da je originalna baza podataka FN elektrane ETFOS1 vremenskim uzorkovanjem reducirana na broj mjerenja koji je unutar ograničenja FN emulatora (maks. 35 mjerenja).

Prilikom pokretanja emulacije izmjenjivač vrši samotestiranje podsustava, koje unosi pogrešku pri emulaciji. Utvrđeno je vrijeme izvršenja samotestiranja od 65 sekundi. U to vrijeme istosmjerni izvori postavljaju zadane karakteristike koje se ne izvršavaju na izmjenjivaču. Za rješavanje navedenog problema na početak skripte su dodane kompenzacijske naredbe, čije je vrijeme izvršenja jednako vremenu samotestiranja izmjenjivača.

Nakon kompenzacije samotestiranja izmjenjivača, u početku emulacije radna točka se ne nalazi u točki maksimalne snage. Razlog takve pojave je prag prorade izmjenjivača od 250 W po izvoru. Početne naredbe daju manju izlaznu snagu od definiranog praga, što se očituje neželjenim položajem radne točke. Stoga je predložen novi postupak sortiranja karakterističnih veličina, počevši od maksimalne izlazne snage prema minimalnoj. Ovim postupkom je na početak emulacije postavljena maksimalna vrijednost snage (iz baze podataka) koja premašuje vrijednost od 250 W.

Predloženim postupkom je izvedena emulacija i pokazano je odstupanje položaja radne točke koje unosi pogrešku. Na grafičkom zaslonu istosmjernih izvora primjećuje se kako radna točka i dalje nije u položaju maksimalne snage. Radna točka dostiže željeni položaj nakon maksimalno 6 minuta, što rezultira velikim odstupanjima emulacije od stvarnih vrijednosti. Razlog takve pojave je tromost elektroničkih sklopova MPPT-uređaja. Za oba postupka sortiranja veličina uvedena je kompenzacija izmjerenog vremena na način da je na početku skripte dodano 6 naredbi ukupnog trajanja 6 minuta.

Daljnjim izvođenjem emulacija, te obradom rezultata prepoznato je vrijeme uzorkovanja karakterističnih veličina koje nije jednako vremenu izvršenja naredbi. Pretpostavljeno je da takva pojava uzrokuje veću vrijednost emulirane energije pojedinih trenutaka emulacije u odnosu na stvarnu proizvedenu energiju. Stoga se predlažu novi postupci emulacije kojima će se postupno povećavati vrijeme izvršenja naredbi.

Emulacije su provedene s vremenom izvršenja naredbi od 60 s, 61 s i 62 s za oba postupka sortiranja parametara. Uvedeno je srednje odstupanje kojim se definira rasipanje rezultata u odnosu na stvarne podatke FN elektrane. Uz trajanje naredbi od 60 sekundi dobivena su odstupanja od 3 % za oba postupka sortiranja parametara. Takvo odstupanje se može smatrati prihvatljivim. Povećanjem vrremena izvršenja naredbi na 61 s, srednja odstupanja emulacija za oba sortiranja su smanjena na 2 %. Uvidom u dijagrame proizvodnje električne energije zaključuje se kako emulator „prati“ definirane vrijednosti FN elektrane. Konačnim povećanjem vremena izvršenja naredbi na 62 s, za kronološki slijed parametara dobiva se srednje odstupanje od 0,77 %. Takvo odstupanje vrijednosti je najmanje u odnosu na druge postupke emulacije kronološkim sortiranjem. Uz minimalno odstupanje kronološkog postupka, MAKS-MIN sortiranjem parametara srednja relativna pogreška premašuje 7 %. Pri ovom postupku emulacije radna točka nije bila u željenom položaju, što je i glavni razlog neprihvatljivog odstupanja. Stoga se za daljnja izvođenja emulacija preporučuje emuliranje podataka uz vrijeme izvršenja naredbi od 61 s. Razlog tome su minimalna odstupanja vrijednosti za oba postupka sortiranja parametara.

Bitno je naglasiti da nisu izvedeni svi mogući postupci, već samo oni koji su smatrani neophodnima za kvalitetniju emulaciju. Otvorena je mogućnost za daljnja poboljšanja kvalitete emulacije uvodeći nove postupke pripreme i izvođenja. Također se može izvršiti više ispitivanja za kvalitetniju analizu vjerodostojnosti rezultata.

Uz sve opisane postupke, emulacije se mogu izvesti kako za sunčane dane, tako i za oblačne ili kišne dane, te se na koncu analizira vladanje FN emulatora.

LITERATURA

[1] D.Pelin, J.Jukić Antolović, V.Rapčan, "PV Emulator", International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems. Volume 5 (2014) , Number 1; 21-26.

[2] D.Pelin, M.Opačak: „Smart- fast emulation of the photovoltaic system", International Conference on Smart Systems and Technologies 2016 (SST 2016) 12th-14th October, Osijek, Croatia.

[3] ET-System DC Sources, http://www.et-system.de/en/produkte/applications-special-units/dc-sources.html

[4] KACO new energy; Powador 12.0 TL3 INT; Technical data:

http://kaco-newenergy.com/fileadmin/data/downloads/products/Powador_12.0-20.0_TL3/Data%20Sheets/DTS_ PW_12-20_TL3_en.pdf

[5] RIZ; EB308, Technical specification; http://www.riz.hr/images/brojila_household/ebt308djelatno.pdf

[6] ET-System „LAB – HP", Technical Handbook, http:// www.et-system.de/en/produkte/manuals-software.html

SAŽETAK

U ovom radu opisani su svi podsustavi dostupnog fotonaponskog emulatora. Posebno je fokusirano na skripta način rada programabilnih istosmjernih izvora, pomoću kojeg je omogućena emulacija FN sustava u cijelom proizvodnom periodu. Na temelju baze podataka preuzete s izmjenjivača FN elektrane ETFOS1 za odabran djelomično sunčan dan obavljen je proces emulacije za dva načina formiranja ulaznih podataka. Na samom početku izvođenja emulacije nailazi se na dodatne zahtjeve FN emulatora, koji se modifikacijom koda skripte uspješno rješavaju. Za isti dan ponovljen je proces emulacije FN sustava, gdje je promjenom trajanja generiranja karakteristika istražen optimalan način emuliranja podataka. Na samom kraju proračunate su električne energije dobivene emulacijom te su vrijednosti uspoređene sa vrijednošću stvarne proizvedene električne energije elektrane ETFOS1.

Ključne riječi: FN emulator, emulacija, brza emulacija, emulirana energija

ABSTRACT

In this paper are described all subsystems of available photovoltaic emulator. „Script“ operation mode of programmable DC power supplies is particularly focused, by which is enabled emulation of photovoltaic system in the whole production period. Based on the database given from the inverter of PV power plant ETFOS1, the process of emulation is performed for chosen partly sunny day in two database formation. At the beginning of PV emulation process are encountered additional requirements of PV emulator which are successfuly solved by script code modification. For the same day the process of emulation is repeated, where is investigated an optimal way for performing emulation by changing command duration. At the very end are calculated electrical energies obtained by emulation, and their values are compared with values of actual produced energy of PV power plant.

Keywords: PV emulator, emulation, fast emulation, emulated energy

ŽIVOTOPIS

Matej Pal rođen je 15.9.1992. u Požegi. Pohađao je Osnovnu školu Ivana Gorana Kovačića u Velikoj od 1999. do 2007. godine. Godine 2007. upisuje srednju Tehničku školu u Požegi, smjer elektrotehničar. Srednju školu završava 2011. godine te iste godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Godine 2014. završava preddiplomski studij elektrotehnike i upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika.

PRILOZI

P.3.1. Originalna baza podataka preuzeta s izmjenjivača FN elektrane ETFOS1

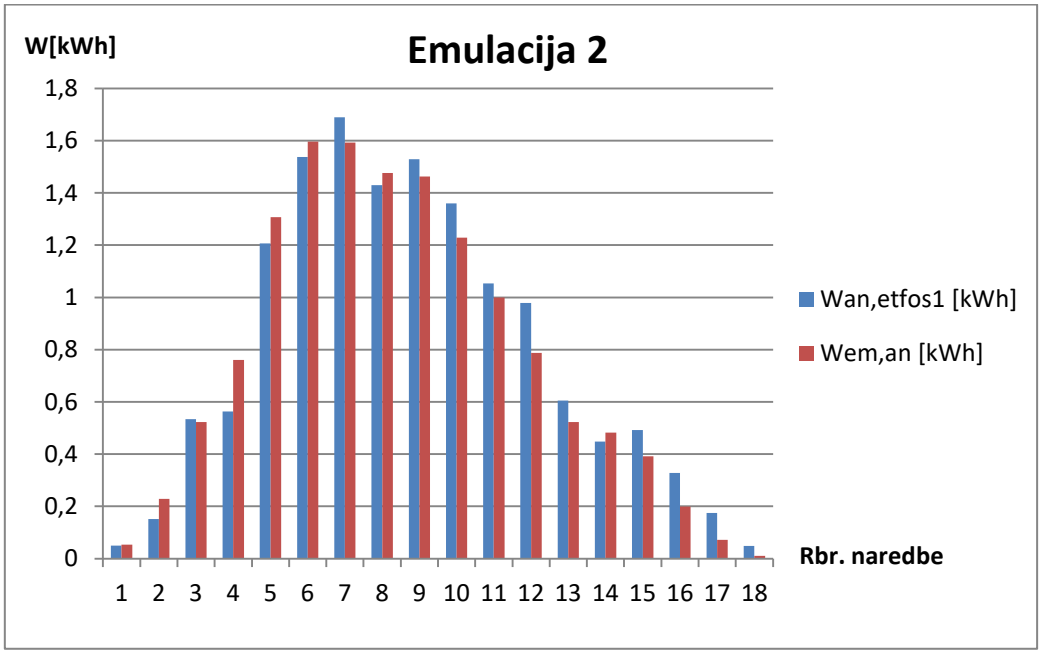
Time	Udc1[V]	Idc1[A]	Pdc1[W]	Udc2[V]	Idc2[A]	Pdc2[W]	Pdc[W]	Pac[W]	Tsys[°C]
6:42:01	475,3	0	1	475,3	0,01	7	8	0	27,6
6:49:28	229,3	0,02	4	228	0,03	7	12	0	28,2
6:54:29	455,4	0	4	455,5	0,01	5	9	0	30,3
6:59:30	228,4	0,02	4	235,6	0,04	10	14	0	30,9
7:04:31	405,6	0,01	7	397,6	0,03	14	21	18	31,5
7:09:32	584,9	0,01	8	591,8	0,02	16	25	12	32,1
7:14:33	468,4	0,07	34	470	0,12	60	94	86	32,6
7:19:34	470,6	0,08	41	472,9	0,13	63	105	100	33,4
7:24:35	473,8	0,1	49	476,7	0,14	68	117	115	33,9
7:29:36	474,7	0,13	65	477	0,18	90	157	154	34,4
7:34:37	474,6	0,2	95	477	0,23	110	207	204	34,9
7:39:38	474,6	0,22	105	477	0,24	116	224	221	35,3
7:44:39	474,6	0,25	118	477	0,28	136	256	253	35,6
7:49:40	474,6	0,29	141	477	0,34	163	305	302	36
7:54:41	474,6	0,32	155	477	0,35	168	323	318	36,3
7:59:42	474,6	0,32	155	477	0,34	165	322	318	36,6
8:04:43	474,6	0,35	166	477	0,35	168	336	332	36,9
8:09:44	482	0,7	338	477	0,4	193	532	523	37,2
8:14:45	493	0,67	334	483,9	0,41	202	538	532	37,4
8:19:46	553,8	1,38	769	623,4	0,49	306	1077	1063	37,6
8:24:47	637,2	1,63	1044	648,3	0,69	449	1494	1466	37,9
8:29:48	640,5	1,74	1120	655,5	0,92	604	1727	1698	38,2
8:34:49	642,8	1,86	1198	662,3	1,1	731	1930	1910	38,5
8:39:50	633,9	1,94	1232	661,6	1,9	726	1960	1927	38,8
8:44:51	618,2	1,26	781	649	0,97	633	1417	1397	39,1
8:49:52	611,2	0,93	572	627,3	0,89	562	1139	1123	39,4
8:54:53	609,3	0,78	479	624,2	0,79	499	982	964	39,5
8:59:54	618,6	0,88	549	628,1	0,85	538	1090	1071	39,7
9:04:55	627,8	1,5	946	647,8	1,27	826	1775	1739	39,8
9:09:56	631,3	1,7	1075	635,5	1,62	1035	2112	2087	39,9
9:14:57	632	1,77	1122	631,1	1,78	1128	2253	2220	40,1
9:19:58	632,3	1,91	1211	648,7	1,88	1225	2438	2406	40,4
9:24:59	629,7	2,9	1316	648	2,6	1338	2656	2616	40,7
9:30:00	627,5	2,9	1313	646,2	2,13	1378	2692	2662	41
9:35:01	625,1	2,24	1400	642	2,23	1434	2837	2806	41,2
9:40:02	623,3	2,35	1468	638,4	2,42	1545	3013	2983	41,5
9:45:03	620,5	2,47	1533	637,1	2,45	1567	3102	3062	41,9
9:50:04	617,9	2,48	1535	635,1	2,46	1564	3101	3064	42,2
9:55:05	617,6	2,91	1802	632,3	2,92	1848	3652	3590	42,5
10:00:06	612,4	2,72	1670	626,3	2,73	1710	3384	3334	42,8
10:05:07	610,4	2,51	1535	625,5	2,49	1563	3101	3064	43
10:10:08	608,3	2,39	1459	623,2	2,38	1483	2945	2912	43,3
10:15:09	602,9	2,5	1236	612,6	2,5	1262	2499	2467	43,4

Time	Udc1[V]	Idc1[A]	Pdc1[W]	Udc2[V]	Idc2[A]	Pdc2[W]	Pdc[W]	Pac[W]	Tsys[°C]
10:20:10	612,5	2,75	1688	624,1	2,75	1721	3412	3367	43,5
10:25:11	610	2,74	1671	624,9	2,72	1701	3375	3314	43,7
10:30:12	605,5	2,58	1567	621,2	2,54	1583	3152	3105	43,9
10:35:13	605,6	2,64	1604	617	2,64	1634	3241	3199	44
10:40:14	600,4	2,55	1535	616,7	2,58	1592	3127	3093	44,2
10:45:15	598,8	2,52	1511	614	2,48	1527	3040	3001	44,3
10:50:16	595,6	2,4	1432	610,5	2,37	1449	2883	2851	44,4
10:55:17	588,1	1,79	1055	602,5	1,78	1073	2131	2093	44,5
11:00:18	587,8	1,56	922	601	1,57	944	1868	1832	44,4
11:05:19	590,5	1,39	823	6004,7	1,38	839	1665	1641	44,3
11:10:20	605	2,44	1477	617,5	2,4	1483	2962	2926	44,2
11:15:21	606,7	2,78	1692	622,6	2,71	1689	3382	3335	44,2
11:20:22	599,6	2,6	1559	620,3	2,46	1527	3087	3047	44,4
11:25:23	597,5	2,46	1475	617	2,33	1440	2917	2879	44,5
11:30:24	593,7	2,41	1431	618,9	2,33	1443	2874	2844	44,6
11:35:25	596,5	2,47	1478	618	2,31	1427	2907	2858	44,7
11:40:26	591,3	2,9	1241	619,7	1,95	1212	2453	2427	44,8
11:45:27	598,9	2,49	1493	633,3	2,18	1381	2875	2842	44,8
11:50:28	591,8	2,56	1517	632,6	1,94	1227	2747	2711	44,8
11:55:29	593,9	2,41	1433	643,2	1,65	1066	2501	2464	44,9
12:00:30	593,6	2,59	1541	651	1,51	987	2530	2497	44,9
12:05:31	593,5	2,38	1416	648,8	1,35	877	2297	2272	44,9
12:10:32	592,2	2,32	1379	649,5	1,2	783	2162	2124	44,8
12:15:33	595,8	2,24	1336	648,3	1,8	700	2037	2005	44,8
12:20:34	598,5	2,35	1408	650,9	1,9	713	2121	2099	44,7
12:25:35	594,5	2,14	1277	643,9	1,1	650	1929	1895	44,6
12:30:36	596,7	2,18	1305	641,8	1,6	681	1990	1962	44,5
12:35:37	598,1	2,19	1314	639,2	1,12	719	2035	2012	44,5
12:40:38	595,3	1,9	1135	629,6	1,2	759	1894	1875	44,4
12:45:39	595,2	1,81	1079	625,7	1,16	727	1806	1788	44,4
12:50:40	604,9	2,16	1308	629,2	1,5	662	1973	1950	44,3
12:55:41	602,7	1,87	1127	622,2	0,98	613	1743	1715	44,3
13:00:42	609,9	1,88	1150	623,6	1,2	637	1789	1762	44,2
13:05:43	615,2	1,39	856	619,2	1,2	636	1494	1474	44,2
13:10:44	634,5	1,1	699	616,7	0,98	607	1309	1295	44,1
13:15:45	643,6	1,3	667	617,8	0,94	586	1254	1240	44
13:20:46	641,7	0,98	634	615,3	0,96	595	1230	1206	43,9
13:25:47	632,1	0,84	536	609,1	0,83	509	1046	1031	43,8
13:30:48	633	0,9	571	609,4	0,9	550	1123	1107	43,7
13:35:49	626	0,79	496	607,7	0,79	482	982	964	43,7
13:40:50	625	0,74	463	605,8	0,75	458	924	914	43,6
13:45:51	617,9	0,71	441	602,5	0,74	446	890	875	43,5
13:50:52	613,4	0,72	447	601,7	0,75	457	906	894	43,4
13:55:53	605,2	0,76	463	605,3	0,78	472	937	923	43,3
14:00:54	596,4	0,84	502	607,5	0,84	511	1016	1005	43,2
14:05:55	595,7	0,88	527	606,6	0,9	547	1075	1063	43,2
14:10:56	596,2	0,87	520	608	0,88	540	1061	1045	43,2
14:15:57	593,8	0,85	505	604	0,86	523	1030	1014	43,1
14:20:58	590,8	0,83	490	604,7	0,83	505	998	981	43,1

Time	Udc1[V]	Idc1[A]	Pdc1[W]	Udc2[V]	Idc2[A]	Pdc2[W]	Pdc[W]	Pac[W]	Tsys[°C]
14:25:59	588,1	0,75	446	598	0,78	470	919	901	43,1
14:31:00	560,5	0,77	432	599,1	0,73	440	874	860	43
14:36:01	571	0,69	395	593,5	0,69	413	810	794	43
14:41:02	576,1	0,66	385	599	0,65	394	780	767	43
14:46:03	590,4	0,55	329	592,8	0,6	356	688	677	42,9
14:51:05	591,7	0,53	314	589,8	0,58	345	661	653	42,8
14:56:06	587,8	0,57	337	588,1	0,61	364	704	692	42,8
15:01:07	587,4	0,59	347	598,2	0,61	370	719	708	42,7
15:06:08	599,8	0,48	291	587,8	0,57	335	628	619	42,6
15:11:09	579,5	0,46	267	587,5	0,48	283	552	546	42,6
15:16:10	577,4	0,38	220	577,5	0,43	250	471	463	42,5
15:21:11	475,9	0,34	165	536,2	0,34	186	353	349	42,5
15:26:12	474,6	0,27	130	477	0,34	165	297	291	42,5
15:31:13	474,6	0,23	111	477	0,29	139	251	247	42,4
15:36:14	474,6	0,18	89	477	0,24	115	206	202	42,4
15:41:15	474,6	0,12	59	477	0,23	113	174	170	42,4
15:46:16	474,6	0,08	42	477	0,19	93	137	135	42,3
15:51:17	474,6	0,03	14	477	0,17	84	98	97	42,3
15:56:18	474,6	0,02	10	477	0,11	53	66	65	42,2
16:01:19	524	0,01	9	526,1	0,01	9	19	15	41,8
16:06:20	203,9	0,02	4	203,2	0,02	4	9	0	40,9

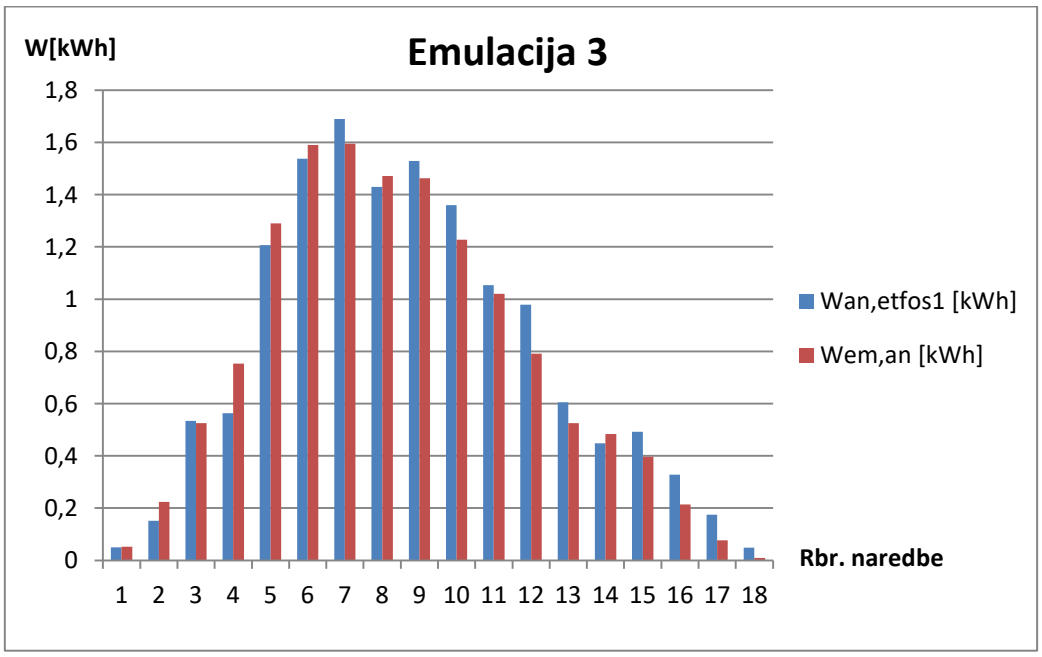
P.4.1. Rezultati 2. Emulacije pri kronološkom sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 60 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
4:50:38	489,1	0,05	487,2	0,16	108	106	0,053177
4:51:40	488,3	0,55	487,3	0,39	464	457	0,229262
4:52:42	536,1	1,32	536,7	0,63	1055	1043	0,523238
4:53:44	609,1	1,26	621,2	1,23	1544	1516	0,760527
4:54:46	627,4	2,05	641,1	2,09	2634	2606	1,307343
4:55:47	610,5	2,62	631,2	2,56	3224	3183	1,596805
4:56:49	605,5	2,59	619,4	2,64	3207	3175	1,592792
4:57:51	596	2,46	612,2	2,45	2975	2943	1,476405
4:58:53	594,6	2,57	621,5	2,28	2954	2917	1,463362
4:59:55	593,1	2,46	637,4	1,59	2478	2449	1,228582
5:00:57	599,9	2,32	640,7	0,96	2019	1992	0,99932
5:01:59	616,2	1,52	620,4	1,04	1589	1571	0,788118
5:03:01	624,1	0,81	609,3	0,9	1061	1042	0,522737
5:04:03	595,5	0,78	603,2	0,84	974	962	0,482603
5:05:05	585,1	0,62	596	0,71	789	781	0,391802
5:06:07	577,9	0,28	585,4	0,41	406	398	0,199663
5:07:09	266,4	0,15	526,4	0,19	147	144	0,07224
5:08:10	58,9	0	213	0,1	21	21	0,010535
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,69851



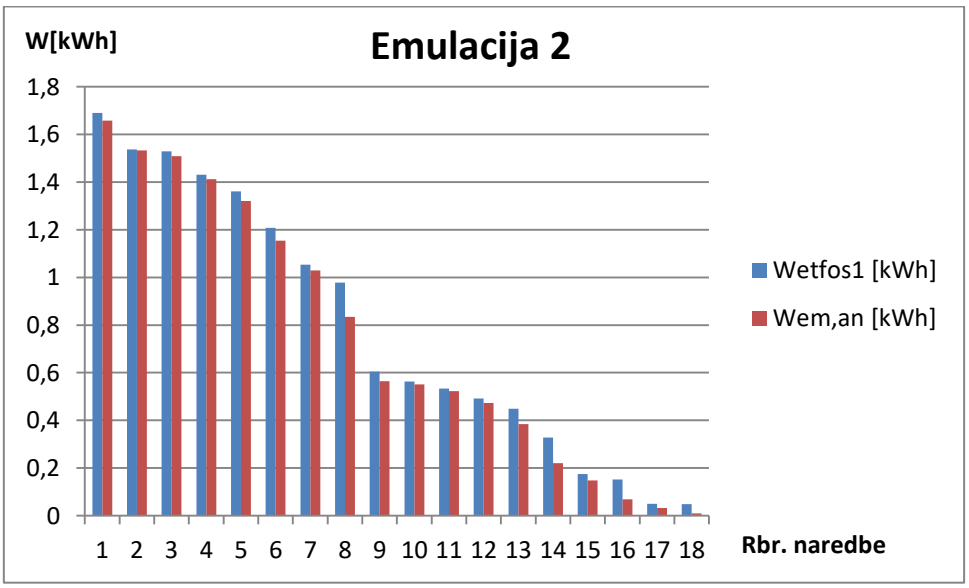
P.4.2. Rezultati 3. Emulacije pri kronološkom sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 60 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
4:24:50	488,2	0,05	486,7	0,15	105	103	0,051672
4:25:52	488,3	0,53	489	0,39	456	447	0,224245
4:26:54	534	1,33	553,7	0,61	1059	1048	0,525747
4:27:56	603,3	1,26	627,3	1,22	1532	1501	0,753002
4:28:58	628,5	2,05	643,2	2,04	2604	2571	1,289785
4:30:00	613,5	2,56	633,3	2,58	3206	3170	1,590283
4:31:01	605,2	2,59	617,7	2,65	3212	3179	1,594798
4:32:03	595,5	2,49	606,5	2,44	2969	2934	1,47189
4:33:05	595,4	2,57	622,4	2,28	2952	2917	1,463362
4:34:07	590,7	2,56	635,4	1,52	2492	2447	1,227578
4:35:09	598,7	2,33	637,6	1,04	2064	2035	1,020892
4:36:11	615,1	1,54	620	1,04	1598	1576	0,790627
4:37:13	626,4	0,8	604,6	0,91	1058	1046	0,524743
4:38:15	601,5	0,77	600,5	0,85	979	964	0,483607
4:39:17	586,2	0,63	593	0,72	805	790	0,396317
4:40:19	572,7	0,3	569,1	0,45	435	427	0,214212
4:41:21	263,6	0,15	506,5	0,22	156	154	0,077257
4:42:23	37,1	0	199,3	0,1	20	19	0,009532
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,70955



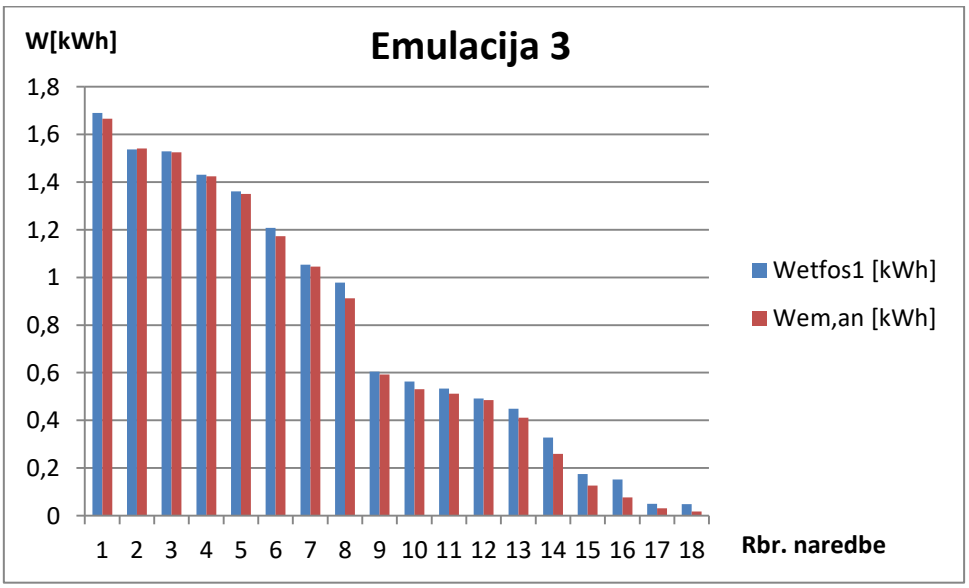
P.4.3. Rezultati 2. Emulacije pri MAX-MIN sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 60 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
0:35:52	611	2,64	618,5	2,79	3347	3303	1,657005
0:36:54	612,4	2,43	632,6	2,53	3097	3056	1,533093
0:37:56	596,1	2,54	615,6	2,51	3065	3007	1,508512
0:38:58	591,3	2,44	610,1	2,33	2871	2813	1,411188
0:39:59	593,9	2,33	633,5	2,01	2660	2633	1,320888
0:41:01	619,5	1,99	642,2	1,7	2330	2301	1,154335
0:42:03	598,6	2,31	639,3	1,1	2094	2052	1,02942
0:43:05	610,2	1,64	625,3	1,09	1690	1663	0,834272
0:44:07	634,7	0,78	617,3	1,04	1138	1126	0,564877
0:45:09	593,4	1,06	621,2	0,76	1111	1097	0,550328
0:46:11	561,3	1,07	610,4	0,75	1061	1043	0,523238
0:47:13	589,6	0,72	604,3	0,87	956	944	0,473573
0:48:15	599,7	0,54	595,5	0,75	776	766	0,384277
0:49:17	574	0,27	582,1	0,49	448	440	0,220733
0:50:19	516,8	0,18	531,9	0,38	302	296	0,148493
0:51:20	487,3	0,06	488,4	0,21	139	137	0,068728
0:52:22	231,3	0	486,9	0,13	65	64	0,032107
0:53:24	0	0	170,6	0,11	20	19	0,009532
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,4246



P.4.4. Rezultati 3. Emulacije pri MAX-MIN sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 60 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
1:55:20	606,6	2,67	612,4	2,84	3367	3320	1,665533
1:56:22	613,1	2,41	631,6	2,58	3110	3070	1,540117
1:57:24	599,6	2,56	620,7	2,5	3095	3039	1,524565
1:58:26	593	2,37	607,7	2,42	2881	2838	1,42373
1:59:28	586,8	2,56	628,3	1,96	2746	2691	1,349985
2:00:30	616,2	1,91	640,3	1,85	2368	2337	1,172395
2:01:32	597,2	2,35	642,8	1,09	2116	2082	1,04447
2:02:34	602,5	1,9	625,9	1,11	1841	1818	0,91203
2:03:36	636	0,84	616,6	1,08	1203	1181	0,592468
2:04:38	607,2	0,92	626	0,81	1071	1058	0,530763
2:05:40	554,6	1,2	613,8	0,59	1034	1020	0,5117
2:06:42	575,4	0,75	601,9	0,9	982	968	0,485613
2:07:43	601,2	0,56	592,8	0,82	828	819	0,410865
2:08:45	569,4	0,33	586	0,57	527	517	0,259362
2:09:47	518,9	0,19	584,2	0,27	260	253	0,126922
2:10:49	487,7	0,11	537,1	0,18	156	154	0,077257
2:11:51	338,6	0	488,9	0,13	67	62	0,031103
2:12:53	0	0	275,4	0,13	37	36	0,01806
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,67694

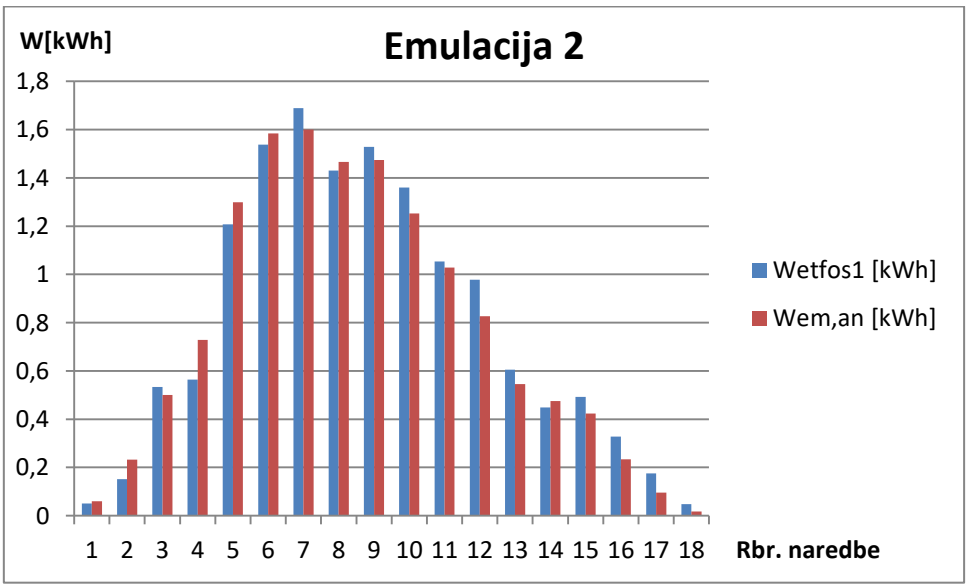


P.4.5. Rezultati 1. Emulacije pri kronološkom sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 61 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
4:06:47	475,8	0,05	489,1	0,15	102	100	0,050167
4:07:49	488	0,21	487,2	0,34	273	270	0,13545
4:08:51	508,5	1,39	520,7	0,49	971	956	0,479593
4:09:53	579,3	0,96	584,4	0,93	1106	1094	0,548823
4:10:55	628,2	1,85	641	1,9	2386	2354	1,180923
4:11:57	616,7	2,39	632,9	2,5	3063	3028	1,519047
4:12:59	610,8	2,75	623,6	2,78	3420	3358	1,684597
4:14:01	592,5	2,37	608,9	2,42	2882	2851	1,430252
4:15:03	592	2,65	613,3	2,48	3098	3042	1,52607
4:16:04	589,5	2,55	628,7	1,96	2737	2706	1,35751
4:17:06	596,7	2,42	641,8	1,06	2134	2102	1,054503
4:18:08	602,5	2,11	626,9	1,06	1940	1919	0,962698
4:19:10	628,2	0,94	614	1,02	1221	1200	0,602
4:20:12	609,8	0,7	598,6	0,82	925	910	0,456517
4:21:14	590,8	0,78	604,7	0,85	985	968	0,485613
4:22:16	579,7	0,46	591,8	0,58	620	610	0,306017
4:23:18	549,3	0,14	563,7	0,33	270	267	0,133945
4:24:20	453,8	0	458,6	0,14	68	67	0,033612
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,94734

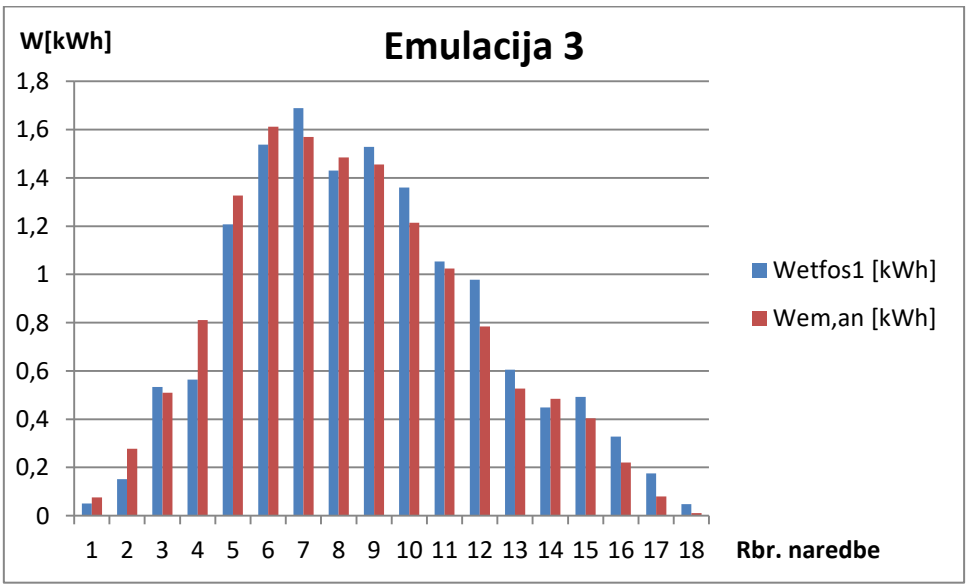
P.4.6. Rezultati 2. Emulacije pri kronološkom sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 61 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
0:17:12	487,9	0,08	464,9	0,19	131	120	0,0602
0:18:14	490,9	0,59	407,9	0,44	473	463	0,232272
0:19:16	544,6	1,27	447,4	0,71	1012	997	0,500162
0:20:18	610,4	1,17	542,5	1,38	1471	1452	0,72842
0:21:20	627,5	2,04	634,2	2,12	2630	2590	1,299317
0:22:22	615,5	2,53	633,6	2,59	3204	3158	1,584263
0:23:24	606,3	2,6	619	2,66	3227	3189	1,599815
0:24:26	594,4	2,45	606,2	2,48	2962	2922	1,46587
0:25:28	595,2	2,56	621,9	2,32	2974	2938	1,473897
0:26:29	591	2,47	633,9	1,68	2530	2497	1,252662
0:27:31	598,3	2,27	637,6	1,13	2084	2050	1,028417
0:28:33	609,1	1,67	625,6	1,04	1672	1649	0,827248
0:29:35	629,1	0,84	610,4	0,93	1100	1087	0,545312
0:30:37	604	0,74	602,3	0,84	960	947	0,475078
0:31:39	588,1	0,67	599,5	0,77	863	845	0,423908
0:32:41	579,3	0,34	586,5	0,46	471	466	0,233777
0:33:43	383,5	0,17	534,3	0,23	194	192	0,09632
0:34:45	0	0	267,7	0,13	35	35	0,017558
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,8445



P.4.7. Rezultati 3. Emulacije pri kronološkom sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 61 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
0:46:34	488,1	0,07	454,4	0,28	166	151	0,075752
0:47:36	492,8	0,63	408,5	0,6	560	552	0,27692
0:48:38	549,8	1,11	468,5	0,9	1036	1016	0,509693
0:49:40	612,3	1,3	565,1	1,48	1636	1615	0,810192
0:50:42	624,4	2,08	636,9	2,16	2681	2644	1,326407
0:51:44	612,6	2,56	630,3	2,68	3265	3213	1,611855
0:52:46	602,8	2,54	617	2,67	3188	3128	1,569213
0:53:48	595,3	2,42	609,7	2,55	3000	2960	1,484933
0:54:50	592,9	2,51	623,5	2,31	2935	2900	1,454833
0:55:52	590,6	2,49	635,9	1,55	2469	2420	1,214033
0:56:54	598,6	2,2	636,3	1,16	2062	2041	1,023902
0:57:55	612,8	1,46	623,8	1,1	1585	1564	0,784607
0:58:57	621,1	0,74	607,3	0,99	1072	1051	0,527252
0:59:59	600,3	0,69	601,9	0,93	977	967	0,485112
1:01:01	576,1	0,58	599,2	0,79	817	804	0,40334
1:02:03	568,2	0,25	584,5	0,51	447	440	0,220733
1:03:05	298,5	0,12	543,9	0,22	162	160	0,080267
1:04:07	0	0	221,5	0,09	21	21	0,010535
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,86958

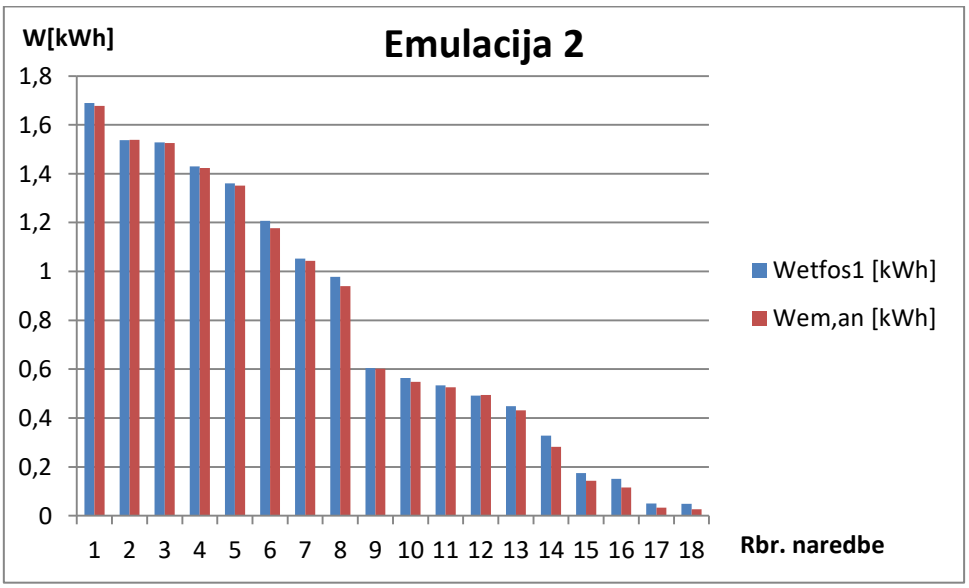


P.4.8. Rezultati 1. Emulacije pri MAX-MIN sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 61 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
2:41:06	610,8	2,75	618,5	2,79	3411	3360	1,6856
2:42:08	614,7	2,52	633,9	2,48	3124	3065	1,537608
2:43:10	600,7	2,54	619,7	2,48	3070	3038	1,524063
2:44:12	592,3	2,4	607,2	2,38	2873	2842	1,425737
2:45:14	591,2	2,51	629,4	1,97	2733	2700	1,3545
2:46:16	626,8	1,95	642,2	1,84	2413	2372	1,189953
2:47:18	598,6	2,35	641,8	1,09	2115	2090	1,048483
2:48:20	603,4	2,07	625,6	1,03	1899	1870	0,938117
2:49:21	635,8	0,94	613,5	1	1221	1205	0,604508
2:50:23	607,1	0,97	623,1	0,78	1082	1069	0,536282
2:51:25	556,6	1,31	615,8	0,55	1076	1062	0,53277
2:52:27	583,5	0,81	602	0,86	999	987	0,495145
2:53:29	601,2	0,67	597,5	0,77	869	857	0,429928
2:54:31	578,1	0,45	590,7	0,54	585	575	0,288458
2:55:33	531,4	0,23	554,5	0,33	309	303	0,152005
2:56:35	488,7	0,18	489,5	0,28	234	231	0,115885
2:57:37	487,3	0	420,7	0,18	77	76	0,038127
2:58:39	388,6	0	280,2	0,21	62	61	0,030602
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,92777

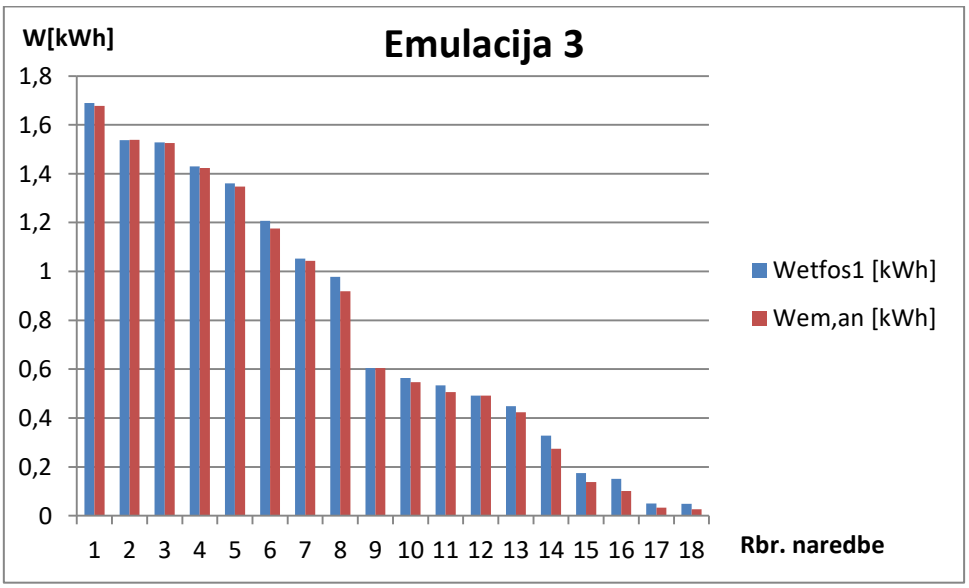
P.4.9. Rezultati 2. Emulacije pri MAX-MIN sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 61 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
3:06:54	609,1	2,72	611,8	2,8	3378	3343	1,677072
3:07:56	613,5	2,46	633,1	2,5	3101	3068	1,539113
3:08:58	595,4	2,59	618,4	2,49	3084	3042	1,52607
3:10:00	593	2,39	609,2	2,37	2867	2836	1,422727
3:11:02	588,7	2,6	628,7	1,9	2734	2693	1,350988
3:12:04	620,5	1,91	643,9	1,84	2378	2346	1,17691
3:13:06	601,2	2,37	643,3	1,04	2104	2081	1,043968
3:14:07	602,8	2,07	625,8	1,03	1898	1873	0,939622
3:15:09	636,5	0,92	612,6	1,02	1217	1200	0,602
3:16:11	607,8	0,96	624,3	0,83	1112	1092	0,54782
3:17:13	558,2	1,35	615,7	0,49	1062	1048	0,525747
3:18:15	579,9	0,83	598,7	0,86	1000	985	0,494142
3:19:17	608,5	0,66	599	0,78	875	860	0,431433
3:20:19	584,2	0,41	588	0,55	572	561	0,281435
3:21:21	554,1	0,18	559,4	0,34	292	286	0,143477
3:22:23	497,6	0,18	500,4	0,29	237	231	0,115885
3:23:25	488,1	0	487,7	0,13	66	65	0,032608
3:24:27	174,5	0	384,8	0,14	55	54	0,02709
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,87811



P.4.10. Rezultati 3. Emulacije pri MAX-MIN sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 61 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
3:50:52	608,8	2,68	616,4	2,82	3379	3343	1,677072
3:51:54	613,4	2,43	633,6	2,53	3098	3067	1,538612
3:52:56	596,7	2,53	617,7	2,52	3074	3041	1,525568
3:53:57	595,2	2,39	609,2	2,37	2874	2836	1,422727
3:54:59	590,9	2,53	630,3	1,93	2720	2685	1,346975
3:56:01	624,8	1,93	643,6	1,8	2372	2343	1,175405
3:57:03	599,1	2,4	644	1,05	2122	2079	1,042965
3:58:05	601,8	1,98	627,6	1,04	1852	1832	0,919053
3:59:07	629	0,92	615,1	1,04	1225	1206	0,60501
4:00:09	603,3	0,97	625,9	0,82	1106	1089	0,546315
4:01:11	554,8	1,29	621,8	0,5	1030	1008	0,50568
4:02:13	585,8	0,78	600,7	0,9	1001	981	0,492135
4:03:15	604	0,62	598,1	0,81	862	845	0,423908
4:04:17	583	0,36	588,6	0,58	554	546	0,27391
4:05:19	539,3	0,18	579,9	0,3	279	274	0,137457
4:06:20	490,9	0,14	523,3	0,25	204	201	0,100835
4:07:22	411	0	455,2	0,14	67	67	0,033612
4:08:24	0	0	288,7	0,19	55	54	0,02709
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,79433

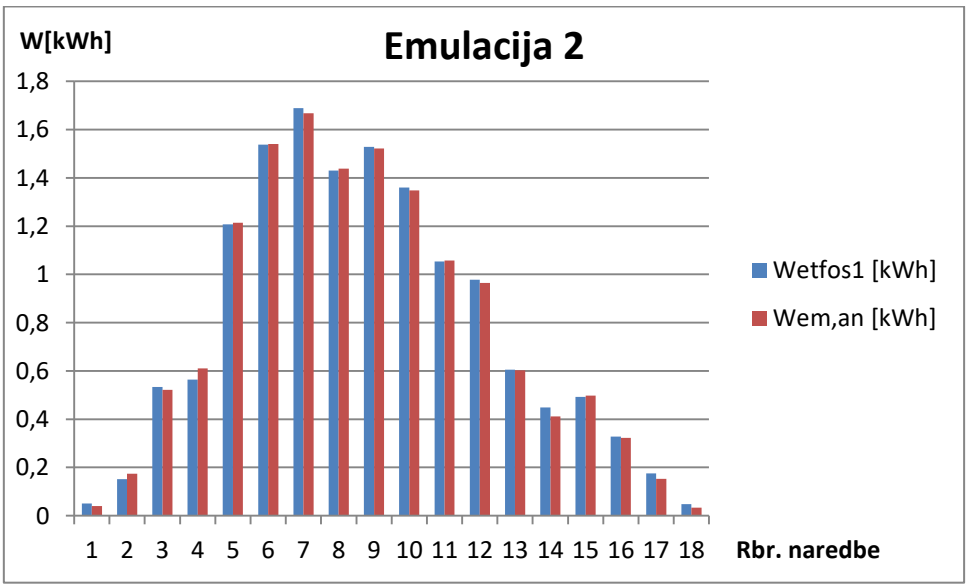


P.4.11. Rezultati 1. Emulacije pri kronološkom sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 62 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
1:14:27	488,2	0,04	444	0,19	107	100	0,050167
1:15:29	487,7	0,45	384,7	0,41	381	372	0,18662
1:16:31	531,8	1,39	370,3	0,61	970	953	0,478088
1:17:33	598,8	1,11	414,5	1,17	1152	1135	0,569392
1:18:35	630,2	1,75	496,2	2,37	2285	2244	1,12574
1:19:37	613,5	2,49	598	2,61	3098	3051	1,530585
1:20:39	609,6	2,73	621,7	2,71	3356	3299	1,654998
1:21:41	595,4	2,46	607,5	2,42	2939	2887	1,448312
1:22:42	598	2,64	617,4	2,39	3064	3021	1,515535
1:23:44	588,6	2,65	630,6	1,79	2697	2648	1,328413
1:24:46	595,5	2,37	642,7	1,11	2130	2101	1,054002
1:25:48	601,8	2,05	627,2	1,05	1898	1875	0,940625
1:26:50	635,8	0,92	614,9	0,98	1199	1179	0,591465
1:27:52	614,1	0,71	600,6	0,81	927	915	0,459025
1:28:54	590,6	0,8	603,4	0,83	978	965	0,484108
1:29:56	582,9	0,49	586	0,57	625	614	0,308023
1:30:58	548,4	0,2	545,2	0,33	293	285	0,142975
1:32:00	463,7	0	449,5	0,16	74	73	0,036622
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,9047

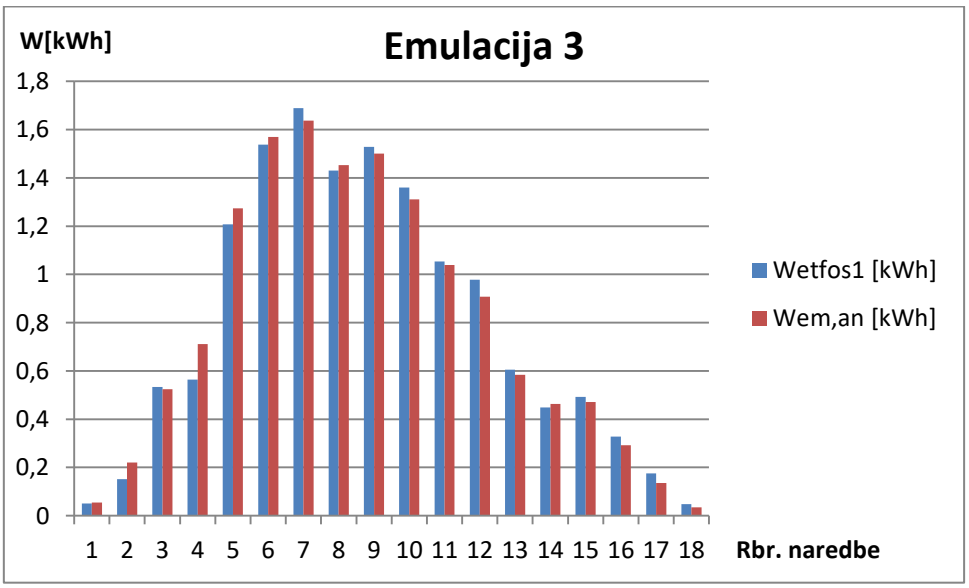
P.4.12. Rezultati 2. Emulacije pri kronološkom sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 62 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
1:41:17	488,4	0,02	486	0,14	80	79	0,039632
1:42:19	487,3	0,36	486,2	0,35	351	347	0,174078
1:43:21	527,6	1,44	535,7	0,53	1051	1039	0,521232
1:44:23	584,5	1,07	613,9	0,99	1241	1217	0,610528
1:45:25	627	1,93	643,9	1,91	2445	2420	1,214033
1:46:27	616,3	2,48	635,7	2,49	3116	3071	1,540618
1:47:29	612,9	2,69	624,2	2,73	3358	3324	1,66754
1:48:30	593,8	2,43	607,4	2,39	2906	2868	1,43878
1:49:32	601,2	2,61	617,9	2,43	3076	3033	1,521555
1:50:34	590,8	2,55	629,7	1,92	2723	2687	1,347978
1:51:36	595,6	2,45	641,8	1,06	2150	2107	1,057012
1:52:38	602,9	2,16	629,5	1,02	1955	1922	0,964203
1:53:40	635,4	0,95	614,2	0,99	1218	1202	0,603003
1:54:42	625,7	0,56	599,4	0,81	838	819	0,410865
1:55:44	581,9	0,84	601	0,84	1005	993	0,498155
1:56:46	584,3	0,51	593	0,58	650	642	0,32207
1:57:48	544,9	0,23	556,9	0,32	311	306	0,15351
1:58:50	51,2	0	488,8	0,14	70	68	0,034113
						$\sum Wem,an_{,j}$	14,11891



P.4.13. Rezultati 3. Emulacije pri kronološkom sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 62 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
2:08:07	488	0,05	487,3	0,17	111	109	0,054682
2:09:09	487,7	0,54	489,8	0,37	450	440	0,220733
2:10:11	527,6	1,4	558,7	0,57	1066	1045	0,524242
2:11:13	602,9	1,17	627,5	1,15	1434	1417	0,710862
2:12:15	626,2	2,02	642,1	2,03	2574	2540	1,274233
2:13:16	614,3	2,53	635,9	2,53	3169	3128	1,569213
2:14:18	607,1	2,68	622,4	2,7	3313	3263	1,636938
2:15:20	591,1	2,49	611,2	2,38	2929	2897	1,453328
2:16:22	598,1	2,63	619,1	2,35	3036	2990	1,499983
2:17:24	587,7	2,62	632,4	1,73	2645	2613	1,310855
2:18:26	597,2	2,42	643,2	1,02	2112	2072	1,039453
2:19:28	602,5	2	627,4	1,01	1844	1809	0,907515
2:20:30	631,8	0,93	612,5	0,96	1176	1164	0,58394
2:21:32	604,8	0,75	599,9	0,8	939	923	0,463038
2:22:34	587,7	0,78	601,8	0,8	950	939	0,471065
2:23:36	584,5	0,45	585,4	0,55	594	582	0,29197
2:24:38	543,9	0,18	541,6	0,32	275	270	0,13545
2:25:39	428,3	0	426,6	0,15	71	70	0,035117
						$\sum Wem,an_{,j}$	14,18262

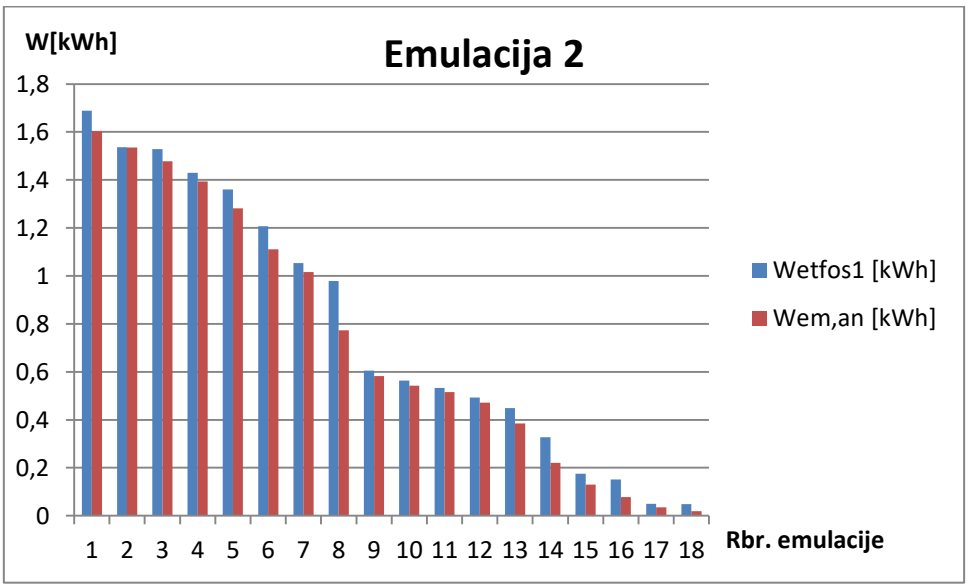


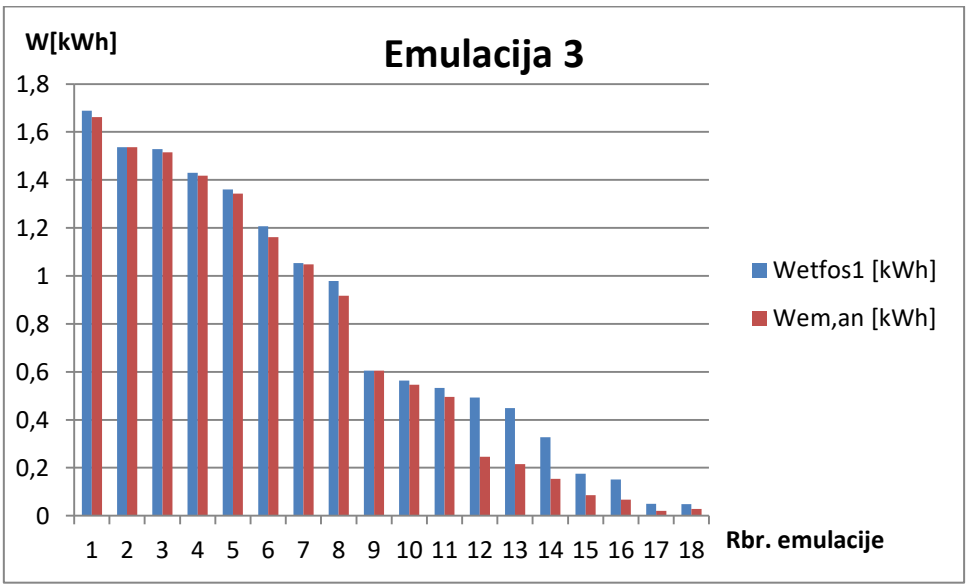
P.4.14. Rezultati 1. Emulacije pri MAX-MIN sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 62 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
5:11:21	612	2,54	628,3	2,67	3235	3198	1,60433
5:12:23	604,5	2,56	625,3	2,5	3123	3067	1,538612
5:13:25	593,6	2,49	610,4	2,48	2998	2944	1,476907
5:14:27	591	2,46	617,5	2,19	2812	2778	1,39363
5:15:29	599,6	2,26	638	1,92	2589	2545	1,276742
5:16:31	613,6	2,16	643,2	1,45	2266	2223	1,115205
5:17:33	598,4	2,31	633,2	1,07	2067	2034	1,02039
5:18:35	616,2	1,46	622,5	1,05	1564	1539	0,772065
5:19:37	627,1	0,87	618,9	1,01	1182	1164	0,58394
5:20:38	582,5	1,16	621,6	0,69	1111	1095	0,549325
5:21:40	557,3	1,07	607,4	0,74	1051	1039	0,521232
5:22:42	585,2	0,73	601,1	0,87	960	947	0,475078
5:23:44	594,3	0,55	596,1	0,74	778	764	0,383273
5:24:46	575	0,25	589,3	0,48	435	428	0,214713
5:25:48	519,7	0,2	568,3	0,26	260	256	0,128427
5:26:50	487,2	0,08	506,7	0,22	153	151	0,075752
5:27:52	286,8	0	487,6	0,13	66	65	0,032608
5:28:54	0	0	241,5	0,12	30	30	0,01505
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,17728

P.4.15. Rezultati 2. Emulacije pri MAX-MIN sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 62 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
4:44:31	611,8	2,55	625,3	2,68	3243	3196	1,603327
4:45:33	605,4	2,5	626,9	2,51	3093	3059	1,534598
4:46:35	596,5	2,46	612	2,46	2979	2946	1,47791
4:47:37	593,3	2,49	618,4	2,14	2810	2777	1,393128
4:48:39	604,9	2,25	639,2	1,92	2597	2555	1,281758
4:49:41	615,4	2,13	643,6	1,45	2252	2214	1,11069
4:50:43	598,6	2,27	637,8	1,08	2057	2024	1,015373
4:51:45	613	1,47	621,1	1,06	1563	1542	0,77357
4:52:47	627,6	0,86	616,2	1,03	1183	1161	0,582435
4:53:49	589,4	1,12	622,5	0,7	1099	1080	0,5418
4:54:51	543,2	1,08	610,7	0,73	1039	1028	0,515713
4:55:52	588,1	0,73	601	0,86	958	939	0,471065
4:56:54	597,7	0,54	591,7	0,75	776	766	0,384277
4:57:56	575,2	0,26	588,9	0,5	448	440	0,220733
4:58:58	520,2	0,21	571,2	0,27	266	259	0,129932
5:00:00	487,1	0,09	509,4	0,21	157	155	0,077758
5:01:02	486,9	0	487,3	0,14	71	70	0,035117
5:02:04	252,9	0	248,5	0,16	40	39	0,019565
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,16875



P.4.16. Rezultati 3. Emulacije pri MAX-MIN sortiranju parametara (uz vrijeme izvršenja naredbi od 62 s)

Vrijeme	$Udc1_{,j}$[V]	$Idc1_{,j}$[A]	$Udc2_{,j}$[V]	$Idc2_{,j}$[A]	$Pdc_{,j}$[W]	$Pac_{,j}$[W]	$Wem,an_{,j}$[kWh]
4:17:42	610,4	2,68	623,4	2,75	3354	3314	1,662523
4:18:43	614,7	2,49	631,4	2,52	3123	3064	1,537107
4:19:45	596,4	2,52	616,2	2,52	3060	3021	1,515535
4:20:47	590,8	2,45	605,8	2,35	2877	2825	1,417208
4:21:49	590,7	2,53	631,7	1,94	2728	2676	1,34246
4:22:51	625,8	1,92	643,9	1,78	2353	2316	1,16186
4:23:53	597,7	2,39	643	1,07	2122	2088	1,04748
4:24:55	602	1,98	625,7	1,05	1859	1828	0,917047
4:25:57	634,1	0,91	614,3	1,04	1225	1206	0,60501
4:26:59	607,1	0,89	623,6	0,89	1104	1089	0,546315
4:28:01	531	1,31	620,5	0,48	1002	987	0,495145
4:29:03	0	0	601	0,82	497	491	0,246318
4:30:05	0	0	596,9	0,73	437	430	0,215717
4:31:06	0	0	590,6	0,52	310	306	0,15351
4:32:08	0	0	551,1	0,31	173	170	0,085283
4:33:10	0	0	495,6	0,27	136	134	0,067223
4:34:12	0	0	486,8	0,08	41	41	0,020568
4:35:14	0	0	430,4	0,13	59	57	0,028595
						$\sum Wem,an_{,j}$	13,06491