

# Mogućnost instalacije solarnih panela za napajanje vlastite potrošnje u TS 110/x kV

---

**Josipović, Filip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:484496>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-23**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni preddiplomski studij elektrotehnike

**Mogućnost instalacije solarnih panela za napajanje vlastite  
potrošnje u TS 110/x kV**

**Diplomski rad**

**Filip Josipović**

**Osijek, 2019.**

## Sadržaj:

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak diplomskog rada .....	2
2. FOTONAPONSKI SUSTAV.....	3
2.1. Energija sunčevog zračenja .....	3
2.2. Fotonaponski modul.....	5
2.3. Fotonaponski sustav .....	8
3. ANALIZA STANJA TS 110/x V NAŠICE.....	10
3.1. Trošila spojena na istosmjerni razvod 220 V .....	10
3.2. Aku-baterija razvoda 220V.....	12
3.3. Analiza razvoda 48 V i odabir aku-baterije.....	14
4. INSTALACIJA SOLARNIH PANELA ZA NAPAJANJE VLASTITE POTROŠNJE.....	17
4.1. Procjena proizvodnje električne energije FN sustava pri optimalnim uvjetima .....	17
4.2. Krovnište uklopnice na koju se postavlja FN sustav .....	20
4.3. Procjena proizvodnje električne energije FN sustava pri realnom stanju .....	21
4.4. Proračun snage FN sustava potreban da zadovolji potrebe .....	23
5. ZAKLJUČAK .....	29
LITERATURA.....	30
Sažetak.....	31
Životopis .....	32
PRILOZI .....	33

## 1. UVOD

Sunce je jedan veliki neiskorišteni potencijal za podmirivanje energetske potrebe čovječanstva uz zanemariv utjecaj na globalno zagrijavanje te posljednjih godina sve više dobiva na važnosti. Energija sunčevog zračenja u svakom trenutku pristiže na Zemlju, no kako Zemlja rotira oko svoje osi i oko Sunca, količina Sunčevog zračenja koje dopre na zemlju i koju je moguće iskoristiti, značajno se mijenja. Osim rotacija, sunčevo zračenje koje dopire do površine značajno ovisi i o vremenskim uvjetima i prilikama u atmosferi. Uzevši sve to u obzir, moguće je grubo procijeniti iznos prosječne snage sunčeva zračenja koja dopre na zemlju na vrijednost od oko  $200 \text{ W/m}^2$ . Za neke određene lokacije potencijal Sunčeva zračenja moguće je odrediti putem mjerenja i analitičkom metodom.[1]

Dva su osnovna načina upotrebe Sunčeve energije, posredno preko toplinskog kružnog procesa te fotonaponskom pretvorbom. Prvi način upotrebe sličan je načinu rada termoelektrana što se tiče pretvorbe toplinske energije u električnu, gdje se toplinska energija prvo preko turbine pretvara u mehaničku, a zatim se ta mehanička energija pretvara u električnu energiju preko generatora. Tri su tipa solarnih termoelektrana: parabolični tanjur, solarni toranj i parabolična protočna solarna termoelektrana. [1]

Drugi način upotrebe Sunčeve energije je fotonaponska pretvorba uslijed koje se proizvodi električna energija na način da foton dovoljne energije pogađa elektron u neutralnom p-n poluvodičkom spoju nakon čega taj elektron preskače neutralno područje. Da bi elektron prešao preko neutralnog područja potreban je foton koji ima energiju veću od energije električnog polja neutralnog područja. Različiti poluvodiči imaju različite energije neutralnog područja što znači da učinkovitost pretvorbe ovisi o vrsti poluvodiča. Na tom principu rade fotonaponske ćelije.[2]

Ovisno o načinu rada fotonaponski sustavi mogu se podijeliti na mrežni fotonaponski sustav i autonomni fotonaponski sustav. Mrežni fotonaponski sustav je onaj sustav koji je spojen na elektroenergetsku mrežu i radi na principu da istosmjerna struja, dobivena fotonaponskom pretvorbom, se pretvara u izmjeničnu struju putem izmjenjivača koja zatim preko brojila odlazi u mrežu. Autonomni fotonaponski sustavi samostalno opskrbljuju potrošače bez spoja na mrežu te proizvodnja električne energije mora u tom slučaju pokriti cjelokupnu potrebu potrošača za električnom energijom. Takav način rada kompleksniji je od mrežnog rada iz razloga što je dotok sunčeva zračenja promjenjiv, odnosno ovisan je o prirodnim faktorima te u nekim trenucima ne može pratiti potrebe potrošača. Zbog toga su potrebne baterije ili drugi spremnici energije u kojima

bi se skladištilo višak energije preko dana, te bi se zatim ta energija koristila za napajanje trošila kada Sunce zađe. [4]

## **1.1. Zadatak diplomskog rada**

Zadatak diplomskog rada je provjeriti postoji li mogućnost instalacije fotonaponskih panela na krov uklopnice trafostanice tako da energija dobivena iz tih fotonaponskih panela pokriva vlastitu potrošnju TS 110/x kV u Našicama. Predloženim proračunom pokazati koliko se može udovoljiti zahtjevima potrošnje trošila i utvrditi mogućnost potpune, odnosno djelomične autonomije. Cilj je odvojiti prijenosnu trafostanicu od distributivne mreže preko koje se trenutno napaja vlastita potrošnja te rasklopnicu TS 110/x kV napraviti energetske neovisnom.

Potrebno je prvo izvršiti analizu stanja istosmjernih razvoda unutar trafostanice, analizirati broj i potrošnju trošila, broj baterija te njihov kapacitet, zatim procijeniti proizvodnju električne energije, pomoću PVGIS programa, na mjestu na kojemu je predviđeno postavljanje modula. Na temelju dnevne potrošnje trošila te kapaciteta baterija odrediti koliko energije je potrebno proizvesti pomoću fotonaponskog sustava pri meteorološkim uvjetima koji odgovaraju kutu nagiba i orijentaciji krovništa uklopnice. Odrediti broj potrebnih fotonaponskih modula da zadovolje proizvodnju te provjeriti postoji li mogućnost za postavljanjem tolikog broja modula.

## 2. FOTONAPONSKI SUSTAV

Prema zadatku diplomskog rada, energiju za napajanje vlastite potrošnje potrebno je nadomjestiti izravnom pretvorbom sunčeva zračenja u električnu energiju. Najjednostavnije rečeno, za to će biti potrebno instalirati fotonaponski sustav na krovne uklopnice, koji će za vrijeme sunčanog vremena napajati baterije, iz kojih će se na posljetku, u nedostatku sunčeva zračenja, pohranjena energija izvlačiti i napajati trošila. Fotonaponski modul postaje izvorom energije kada se solarne ćelije osvijetle sunčevim zračenjem te se fotonaponskim efektom na krajevima ćelija pojavi napon.

### 2.1. Energija sunčevog zračenja

Za proračun učinkovitosti rada solarnog sustava potrebna je informacija koliko energije Sunčevog zračenja upada na plohu kolektora. Zbog eliptičnosti Zemljine putanje tijekom godine, dolazi do promjene udaljenosti između Sunca i Zemlje za  $\pm 1.7\%$ , pošto je u zimi Zemlja bliže Suncu, u prosincu se dobiva oko 7% Sunčeve energije više nego što se dobije u ljeti. [1]

Potencijal sunčeva zračenja određene lokacije određuje se analitički ili mjerenjem, bilo lokalno ili satelitski. Za lokalna mjerenja koristi se piranometar, uređaj koji mjeri ukupno, direktno i izravno sunčevo zračenje koje pada na vodoravnu površinu uz pomoć senzora koji mogu biti fotoelektrični, piroelektrični ili bimetalni elementi. Direktno sunčevo zračenje je dio Sunčevog zračenja koje se uspije netaknuto probiti do površine Zemlje, dok se difuznim zračenjem smatra Sunčevo zračenje kojemu se, pri prolasku kroz atmosferu, promjeni smjer ili spektralni sastav.[1] Kod analitičkog određivanja potencijala sunčevog zračenja uzimaju se podaci institucija koje uz pomoć satelita i meteoroloških postaja obrađuju i bilježe podatke za višegodišnja razdoblja. Pomoću tih podataka procjenjuje se potencijal za proizvodnju električne energije. [2]

Ukupna srednja godišnja ozračenost na Zemljinoj površini kreće se između 800 i 2500 W/m<sup>2</sup>, ovisno o geografskoj širini. Tijekom vedrih dana jakost Sunčevog zračenja na ekvatoru iznosi oko 1000 W/m<sup>2</sup> na površini Zemlje, dok je u srednjoj Europi jakost zračenja 900 W/m<sup>2</sup>, pri čemu je zračenje otprilike 90% direktno, odnosno preostalih 10% je difuzno zračenje. Ukoliko je nebo prekriveno oblacima, tada jakost zračenja može biti i niža od 100 W/m<sup>2</sup>. [1]

Primjer izvora podataka koji su besplatno dostupni nalaze se na „Fotonaponskom geografskom informacijskom sustavu“(PVGIS). PVGIS je besplatan programski alat na internetu koji na temelju meteoroloških podataka procjenjuje proizvodnju električne energije fotonaponskog sustava, to jest, izračunava mjesečnu i godišnju potencijalnu proizvodnju električne energije u

kWh fotonaponskog sustava na temelju podataka o nagibu i orijentaciji modula. Osim toga, PVGIS daje podatke o intenzitetu sunčeva zračenja na 15 minutnoj razini u toku dana, mjeseca i godine, bilo na ravnoj površini ili pod određenim kutom nagiba. [2]

Pomoću PVGIS [3] alata i baze podataka, dobiva se tablica 2.1. koja prikazuje prosječnu dnevnu iradijaciju na području grada Našice za pojedine mjesece u godini.

**Tab 2.1.** *Prosječna dnevna iradijacija grada Našice po mjesecima*

Mjesec	$H_h$	$H_{opt}$	$H_{(19)}$	$I_{opt}$	$T_{24h}$
Siječanj	1130	1730	1510	61	1,5
Veljača	1900	2670	2400	55	0,9
Ožujak	3470	4370	4100	45	6,8
Travanj	4770	5330	5240	31	12,0
Svibanj	5710	5770	5920	18	16,0
Lipanj	6280	6060	6340	12	20,1
Srpanj	6430	6370	6600	16	23,0
Kolovoz	5630	6120	6110	27	22,4
Rujan	3920	4810	4560	41	17,4
Listopad	2710	3860	3460	54	11,5
Studeni	1440	2260	1960	62	7,2
Prosinac	972	1450	1260	63	1,8
Godišnji prosjek	3700	4240	4130	34	11,7

Gdje su:

$H_h$  – iradijacija na vodoravnu plohu (Wh/m<sup>2</sup>/dan)

$H_{opt}$  – iradijacija na plohu pod optimalnim kutom nagiba (Wh/m<sup>2</sup>/dan)

$H_{(19)}$  – iradijacija na plohu pod kutom nagiba od ° (Wh/m<sup>2</sup>/dan)

$I_{opt}$  - optimalni kut nagiba (°)

$T_{24h}$  – prosječna 24-satna temperatura (°C)

Pri optimalnom kutu od 34°, prosječna dnevna iradijacija za godinu dana, odnosno prosječno koliko sunčeve energije doprije na metar kvadratni površine, iznosi 4,24 kWh/m<sup>2</sup>/dan. Pomnoži li se to sa brojem dana u godini, godišnje na površinu od jednog metra kvadratnog pod optimalnim kutom nagiba doprije 1547,6 kWh, no to je teorijski potencijal koji se nikako ne može ostvariti.

Prema podacima PVGIS programskog alata, na području Republike Hrvatske, optimalan kut se kreće između  $33^\circ$ , optimalan kut sjevernog područja, do  $37^\circ$ , odnosno optimalnog kuta južnog dijela Hrvatske. Važno je napomenuti da se optimalan kut mijenja tijekom godine zbog prividnog kretanja Sunca. Optimalan kut je bitan kod fiksnih fotonaponskih sustava gdje se odabire kut da se dobije maksimalna godišnja sunčeva energija. Najbolje rješenje je ustvari fotonaponski sustav koji prati kretanje Sunca u dvije osi te se na taj način može povećati dobivena energija za 25-40%, no taj sustav je ujedno i skuplji od fiksnog. [2]

Zbog nepovoljnih karakteristika kod iskorištavanja sunčeve energije fotonaponskim sustavima, kao što su mala gustoća toka energije, oscilacije intenziteta zračenja tijekom dana, noći, mjeseci, sezona, oscilacije intenziteta zračenja zbog klimatskih uvjeta, nemogućnosti ekonomičnog skladištenja, nepoklapanje proizvodnje sa potrošnjom te još uvijek relativno visokih troškova za ugradnju, trenutno se više koristi prva navedena pretvorba sunčeve energije, a to je pretvorba u toplinsku energiju gdje je veći potencijal zbog veće učinkovitosti. [4]

## **2.2. Fotonaponski modul**

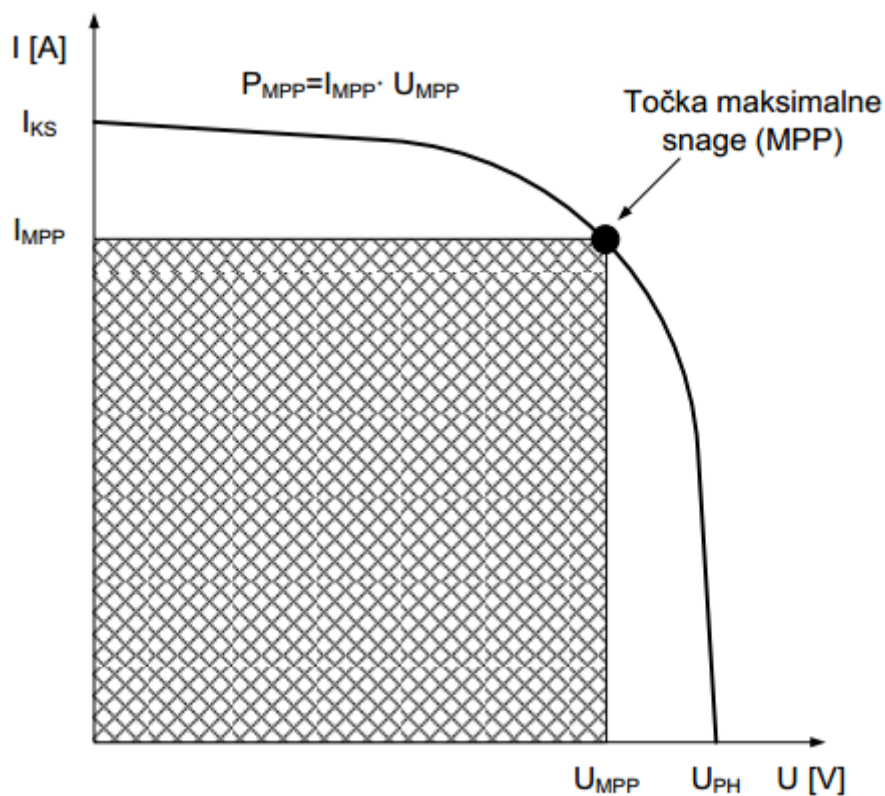
Proces pretvorbe sunčeve energije u električnu energiju, odnosno princip rada fotonaponskih elektrana, počiva na fotonaponskom efektu i odvija se u solarnoj ćeliji. Nakon pretvorbe u električnu energiju ta se energija pretvara u druge raznorazne oblike energije, kao na primjer, mehanička, svjetlosna, toplinska itd. Fotonaponski efekt nastaje kada foton dovoljne energije pogodi elektron u neutralnom polju u p-n poluvodičkom spoju te na taj način foton energiju preda elektronu koji zatim izlazi iz neutralnog polja. Ukoliko foton nema potrebnu energiju, elektron će se i dalje nalaziti u tom neutralnom području. Ovisno o vrsti materijala izrade ćelija, to jest o vrsti poluvodičkog spoja, ovisi iznos energije potrebne da se izađe iz neutralnog područja. [2]

Fotonaponska ćelija gradivni je blok fotonaponskog modula te proizvodi snagu od 1 do 2 W, uz napon od oko 0,6 V Osnovni materijal za izradu solarnih ćelija je silicij, pretežno kristalni silicij te je njihov ukupan udjel u proizvodnji visokih 98%. Tehnologija proizvodnje koja uglavnom prevladava je proizvodnja monokristalnog silicija, čija je proizvodnja skuplja, no učinkovitost ćelije je veća. Najveći tehnološki nedostatak ćelija od kristalnog silicija je svojstvo da su potrebne veće debljine aktivnog sloja kako bi se u najvećoj mjeri iskoristila energija sunčeva zračenja iz razloga što poluvodič ima neizravni zabranjeni pojas. U novim tehnologijama koriste se poluvodiči sa izravnim zabranjenim pojasom i njihove debljine su znatno manje, kao i utrošak materijala za izradu, što obećava nižu cijenu. [1]



Solarne ćelije tankog filma pripadaju trećoj generaciji solarnih ćelija koje su uglavnom izrađene od tankog filma silicija, a izvode se tako da se postavljaju tanki filmovi poluvodičkih materijala na podlogu. Izvedba takvih solarnih ćelija omogućava fleksibilnost u odnosu na klasične, krute, solarne ćelije. [1] [3]

Iako postoji zabrinutost oko negativnog utjecaja proizvodnje solarnih ćelija na okoliš iz razloga što proces proizvodnje nekih vrsta ćelija zahtijeva otrovne metale poput žive, olova i kadmija, a uz proces proizvodnje dolazi do stvaranja ugljikova dioksida, studija pod naslovom „Emisije iz fotonaponskog životnog ciklusa“ pokazuje da postupak proizvodnje i životni ciklus fotonaponskih ćelija proizvode mnogo manje onečišćenja zraka od tradicionalnih tehnologija s fosilnim gorivima. [2]



**Slika 2.1.** Strujno-naponska karakteristika fotonaponske ćelije

Slika 2.1. [4] prikazuje strujno-naponsku karakteristiku fotonaponske ćelije koju karakteriziraju tri glavne točke, a to su točka kratkog spoja, točka maksimalne snage te točka praznoga hoda pri otvorenim stezaljkama.

U točki kratkog spoja, stezaljke ćelije su kratko spojene te njome teče najveća struja koja je jednaka fotostruji. dok je napon  $U=0$ . Napon ćelije najveći kada su joj stezaljke otvorene te je

iznos napona jednak naponu praznog hoda. U točki maksimalne snage, opterećenje je spojeno na stezaljke ćelije te je snaga maksimalnog iznosa. [4]

Da bi se povećala snaga i napon, jer napon i snaga jedne ćelije ne zadovoljavaju potrebe, ćelije se spajaju u serije te se na taj način povećava napon do tipičnih 30V, spajanjem ćelija nastaje fotonaponski modul, odnosno više fotonaponskih modula moguće je povezati u serijsko-paralelan spoj ovisno o potrebnoj izlaznoj karakteristici fotonaponskog sustava.. Kao i kod ćelija, serijskim spajanjem modula povećava se napon, dok se paralelnim spojem povećava struja.[4]

Osnovne tehničke karakteristike fotonaponskih modula ovise o tehničkim karakteristikama samih ćelija. Za svaki fotonaponski modul daju se sljedeće tehničke karakteristike:

- nazivna vršna snaga PMPP (kWp)
- učinkovitost  $\eta$  (%)
- napon praznog hoda UPH (V)
- struja kratkog spoja IKS (A)
- napon vršne snage UMPP (V)
- struja vršne snage IMPP (A)
- smanjenje snage zbog povećanja temperature  $\beta$  (V/°C) ili nekada u (%/°C).
- smanjenje napona zbog povećanja temperature  $\alpha$  (%/°C)
- duljina x širina x visina (mm x mm x mm)
- masa m (kg)

Te tehničke karakteristike fotonaponskog modula definiraju se pri standardnim testnim uvjetima, sunčevo zračenje do 1 kW/m<sup>2</sup> i temperatura modula 25°C. [4]

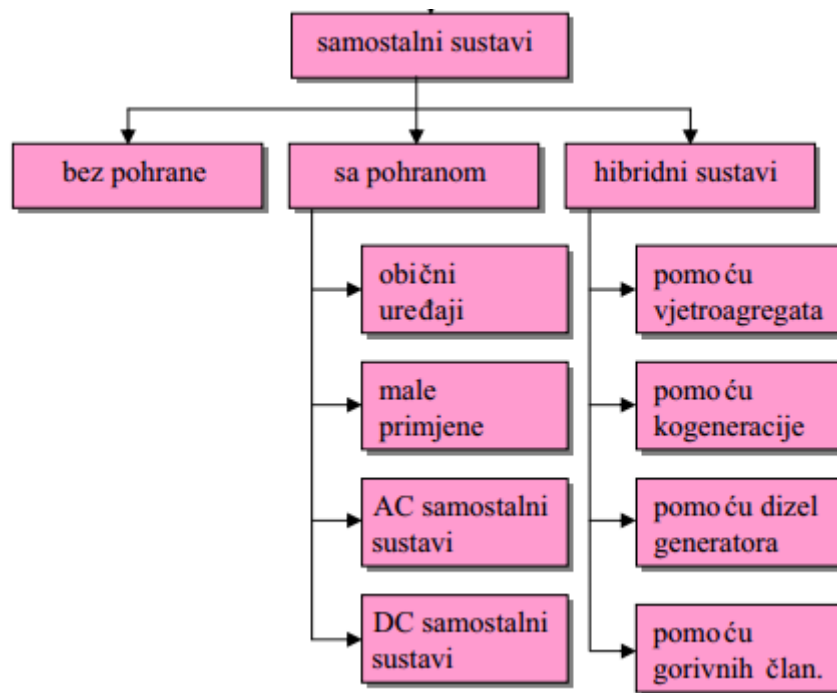
Izlazna snaga FN modula ovisi i o zasjenjenju, odnosno zasjenjenje samo jedne ćelije može uzrokovati smanjenje izlazne snage i za više od 50%. Pad snage pri zasjenjenju može se izbjeći ugradnjom diode paralelno sa ćelijom. Pri izlaganju ćelije svjetlosnom zračenju, struja ne teče kroz diodu te nema pada napona na njoj, no ukoliko dođe do zasjenjenja, struja zaobilazi ćeliju te teče kroz diodu na kojoj se stvara pad napona od 0,6V što je višestruko manje nego u slučaju bez diode. No iz razloga što je nepraktično dodavati diodu svakoj ćeliji, proizvođači ugrađuju jednu premosnu diodu po modulu ili nekoliko dioda unutar modula za više grupa ćelija po modulu. Osim premosne diode postoji i blokirajuća dioda koja sprječava povratnu struju u paralelnom spoju niza modula, ukoliko jedan od nizova ne funkcionira kako treba. [4]

### 2.3. Fotonaponski sustav

Fotonaponski sustavi mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine, fotonaponski sustavi koji su priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (on grid) te fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu. Fotonaponski sustav koji je priključen na elektroenergetsku mrežu mogu biti izravno priključeni na javnu mrežu ili neizravno putem kućne instalacije. [1] Kod mrežnih fotonaponskih elektrana nisu potrebni punjači i baterije, jer se proizvedena električna energija troši na mjestu proizvodnje, a višak se predaje u javnu elektroenergetsku mrežu ili se odmah cijela proizvedena električna energija predaje u mrežu. [4]

Fotonaponski sustav koji nije priključen na mrežu, naziva se autonomnim, samostalnim ili off-grid sustavom. Takav sustav treba pokriti cjelokupnu potrebu potrošača za energijom, no problem je što je dotok energije sunčeva zračenja promjenjiv i ovisan o prirodnim faktorima te zbog toga proizvodnja električne energije ne može pratiti potrebe potrošača. Zbog toga samostalni fotonaponski sustav treba bateriju kako bi se u slučajevima kad je proizvodnja veća od potrošnje višak energije mogao pohraniti te iskoristiti u vremenu kada je potrošnja veća od proizvodnje. Samostalne fotonaponske elektrane mogu biti i bez baterije, ali tada potrošači koriste električnu energiju samo onda kada je ona dostupna. [4]

Podjela takvih sustava prikazana je na slici 2.2. [1]

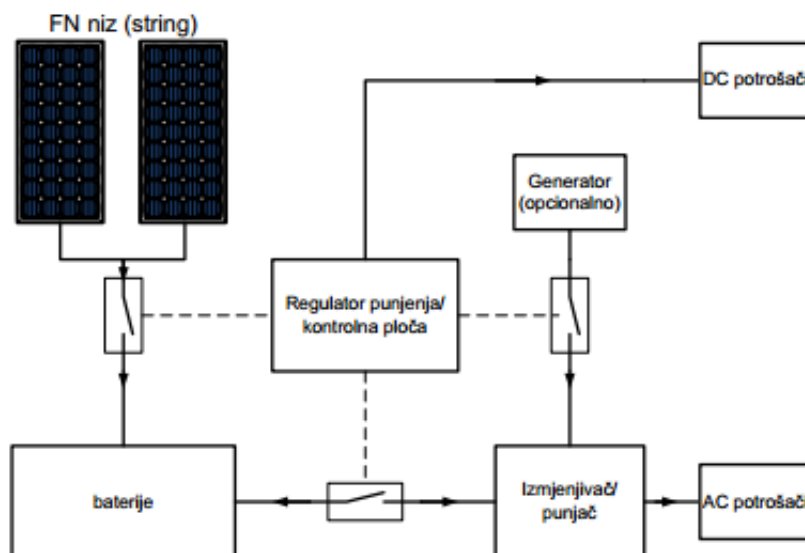


Slika 2.2. Podjela autonomnih fotonaponskih sustava

Temeljne komponente samostalnog fotonaponskog sustava su (slika 2.3.)[4];

- Fotonaponski moduli
- Tragač maksimalne snage
- Regulator punjenja
- Baterija
- Trošila
- Izmjenjivač (ukoliko je potrebna izmjenična struja)

Tragač maksimalne snage prati trenutačne izlazne naponske i struje vrijednosti uređaja te stalno prilagođava točku rada da bi se osigurala maksimalna snaga. Regulator punjenja je uglavnom istosmjerni pretvarač koji osigurava stabilnost i sigurnost sustava, osigurava normalan rad baterije te omogućuje bateriji dulji životni vijek. [4]



Slika 2.3. Samostalna fotonaponski sustav[4]

Ukoliko se želi osigurati opskrba električnom energijom u danima kada se smanji dotok sunčeva zračenja te pretvorena sunčeva energija ne bude dostatna za pokriti cijelodnevnu potrošnju, solarnom fotonaponskom sustavu može se dodati generator na dizel ili biodizel gorivo, ili vjetroagregat koji se uključuje ukoliko se iskoristiva uskladištena energija u baterijama potroši. Fotonaponske elektrane koje osim fotonaponskih modula sadrže i pomoćni izvor energije nazivaju se hibridnim fotonaponskim sustavima. Kod izvedbe s dizel agregatom potrebno je voditi računa da se agregat opterećuje iznad 70% nazivnog opterećenja zbog veće učinkovitosti agregata. Zbog toga se agregat uključuje u slučajevima kad je vršno opterećenje. [4]

### 3. ANALIZA STANJA TS 110/x V NAŠICE

Elaboratima [5] i [6] iz 1997. i 2000. godine analiziralo se stanje istosmjernih razvoda 220V i 48 V u TS 110/x kV Našice te su na temelju stanja i preporuka Elektroenergetske inspekcije i Komisije za podsustav istosmjernog razvoda predložene izmjene uočenih nedostataka razvoda. Na temelju analize stanja, nedostaci su se ispravili u prijedlogu novog rješenja na temelju provedenih analiza i proračuna, gdje je uzeto u obzir i proširenje postrojenja.

#### 3.1. Trošila spojena na istosmjerni razvod 220 V

Analizom stanja došlo se do podataka o trošilima unutar uklopnice koji su podijeljeni u dvije zasebne tablice, gdje Tab.3.1. sadržava stalna i povremena trošila dok Tab.3.2. sadržava kratkotrajna trošila. U obje tablice prikazani su tipovi trošila prema jednopolnoj shemi, broj trošila navedenog tipa koji su instalirani u razvodu, ukupna njihova instalirana snaga, prosječno vrijeme trajanja rada promatranog trošila i prosječna učestalost koja prikazuje s kolikim udjelom snage promatrano trošilo doprinosi ukupnom opterećenju.

Tab. 3.1. Stalna i povremena trošila

Jednoznačan naziv trošila	Broj trošila	Ukupna snaga [W]	Trajanje rada	Prosječna učestalost	Primjedbe
<b>110 kV</b>					
Komandno potvrdna preklopka	70	350	5h	100%	
Pomoćni releji	363	1590	5h	5%	
<b>35 kV</b>					
Pomoćni relej za logiku	67	167,5	5h	50%	
Komandno potvrdna preklopka	39	195	5h	100%	
Pokazivači položaja	29	94,25	5h	100%	
Pomoćni relej	4	10	5h	50%	
Releji MS i TS	2	20	2h		1 prorada
<b>10kV</b>					
Komandno potvrdna preklopka	26	130	5h	100%	
Pokazivači položaja	13	42,25	5h	100%	
<b>Ostalo</b>					
Voltmetar	1	0,05	5h	100%	
Nužna rasvjeta	46	1840	5h	100%	
Signalna tabla	192	1344	20min	30%	
Pomoćni relej	6	15	1h		1 prorada
Pomoćni relej	2	5	5h	30%	
Pomoćni relej i otpor	1	10	5h	30%	
UKUPNO [W]		2580,2	5h		

**Tab. 3.2. Kratkotrajna trošila**

Jednoznačan naziv trošila	Broj trošila	Ukupna snaga [W]	Trajanje rada	Primjedbe
<b>110kV</b>				
El. ventil prekidača	11	18150	100ms	1 prorada
Releј zaštite	8	800	100ms	1 prorada
El. ventil rastavljača	53	5300	10s	1 prorada
El. ventil SF <sub>6</sub> prekidača	1	900	100ms	1 prorada
Sklopnici rastavljača	3	45	10s	1 prorada
El. motor SF <sub>6</sub> prekidača	1	3300/1000	0.02/20s	1 prorada
Kotaktori el. motora	1	15	20s	1 prorada
Kontaktor reg. Sklopke trafoa	8	120	10s	5 prorada
<b>35kV</b>				
El. ventil prekidača	9	1800	100ms	1 prorada
Releј zaštite	12	84	100ms	1 prorada
El. motor prekidača	9	6120	5s	1 prorada
Kontaktori rastavljača	29	435	10s	1 prorada
<b>10 kV</b>				
El. ventil prekidača	13	2600	100ms	1 prorada
Releј zaštite	13	91	100ms	1 prorada
El. motor prekidača	13	8840	5s	1 prorada
Kontaktori rastavljača	13	195	10s	1 prorada
<b>ostalo</b>				
Zvučna signalizacija	1	80	30s	2 prorade
UKUPNO [W] Preračunato na 5 h		9,2	5h	

Stupac „Jednoznačan naziv trošila“ daje opis trošila prema jednopolnoj shemi i tablici trošila. Sljedeća tri stupca prikazuju koliki je broj trošila navedenog tipa instalirano u razvodu, njihovu ukupnu instaliranu snagu te prosječno vrijeme rada promatranih trošila u satima ili sekundama. Stupac „Prosječna učestalost“ prikazuje s kolikim udjelom snage promatrano trošilo doprinosi ukupnom opterećenju.

Udio kratkotrajnih trošila u ukupnoj energiji koju baterija mora osigurati je relativno mali te se sva kratkotrajna trošila uzimaju u obzir na takav način da se pretpostavlja da će svako kratkotrajno trošilo proraditi jednom u 5-osatnom režimu rada.

Prema Tab 3.1. vidljivo je da trajna i povremena trošila, preračunata na 5-satni režim rada, sudjeluju sa 2580,2W, dok je udio kratkotrajnih trošila u ukupnoj energiji relativno malen u odnosu

na ukupnu energiju koju baterija mora osigurati. Gledajući od strane energije, ukupna energija stalnih i povremenih trošila iznosi 12901 Wh, a energija kratkotrajnih trošila je 46 Wh te u konačnici dolazimo do ukupne energije od 12947 Wh. Ukoliko se ukupna energija podjeli sa vremenom trajanja 5-satnog režima, dobiva se ekvivalentno, prosječno opterećenje razvoda u iznosu od 2589,4 W, odnosno zaokruženo na 2600 W, što na kraju daje struju 11,8A. Vrlo bitno je naglasiti da očitana trajna struja ispravljača iznosi 5A, a kad se od proračunate struje oduzme udio nužne rasvjete od oko 4 A dobije se trajna struja od približno 7,8 A, dakle više nego što je izmjereno u pogonu, što znači da su trošila malo predimenzionira, odnosno stvarno opterećenje razvoda je manje od 2600 W.

Pošto je u Tab 3.1. uzeto u obzir 50% nužne rasvjete, treba izbjegavati istovremeni rad više od 50% rasvjete unutar uklopnice inače će doći do prevelike potrošnje i preranog ispada aku-baterije.

### 3.2. Aku-baterija razvoda 220V

Kod odabira aku-baterija uzeta je u obzir trajna struja iznosa 11,8A i 5-osatni režim rada. Prema dopuštenim odstupanjima napona za trošila predvidjela se promjena napona od -15% do +10%. Prema tome minimalni napon izvora iznosi:

$$U_{min} = 0.85U_n = 187 V$$

$$U_{max} = 1.1U_n = 242 V$$

Uz pretpostavku da će doći do padova napona na unutarnjem otporu baterije i vodovima, minimalni iznos napona povećava se za 5%, prema tome minimalni napon iznosi:

$$U_{min} = 1,05U_{min} = 198 V$$

Nakon što je definiran minimalan napon, potrebno je definirati struju koju baterija mora osigurati. Zbog utjecaja temperature, starenja i udarnog opterećenja potrebno je povećati kapacitet baterije. Zbog utjecaja temperature, povećanje kapaciteta ovisi o faktoru povećanja koji je definiran od strane proizvođača. Zbog starenja potrebno je dodatnih 20% kapaciteta, dok je zbog udarnog opterećenja potrebno povećati kapacitet do 10%.

Broj članaka aku-baterije odabire se tako da maksimalan napon pri normalnom pogonu ne prelazi  $1.1U_n$ , dok minimalan napon pri cijeloj ispražnjenosti baterije ne smije biti niži od  $0,9U_n$ . Iako je za proračun baterije zadan uvjet da radni napon bude u granicama od -15% do +10%, tolerira se granica od -10%, gdje ostalih 5% predstavlja rezervu radi pada napona na vodovima istosmjernog razvoda.

Vodeći se svim tim zahtjevima, odabire se optimalno rješenje, aku-baterija od 107 članaka, uz potreban napon nadopunjavanja od 2,25 V po članku.

$$U_{np} = n \cdot U_{np\check{c}l}$$

$$U_{np} = 107 \cdot 2.25 = 240.75 [V]$$

Pri čemu je  $U_{np}$  napon nadopunjavanja aku-baterije,  $n$  je broj članaka aku-baterije,  $U_{np\check{c}l}$  je napon punjenja pojedinog članka aku-baterije te  $U_n$  je nazivan napon.

Minimalan napon članka izračunava se izrazom:

$$U_{\check{c}lmin} = \frac{U_{min}}{n} = \frac{198}{107} = 1.85 V/\check{c}l$$

Aku-baterija od 107 članaka je optimalno rješenje jer napon nadopunjavanja, a ujedno i radni napon razvoda je ispod zadane gornje granice od  $+10\%U_n$ , minimalan napon članka nije veći od 1,85V, odabirom većeg broja članaka radni napon prelazi gornju granicu, a odabirom manjeg broja članaka minimalni napon po članku se povećava, a samim time se povećava i kapacitet aku-baterije.

Na kraju se dobivaju uvjeti dimenzioniranja aku-baterije koji su prikazani u Tab. 3.3.

**Tab. 3.3.** Parametri dimenzioniranja aku-baterije

Vrijeme rada	5 sati
$I_{t0}$	11,8 A
Broj članaka (n)	107
$U_{max}$	242 V
$U_{min}$	198 V
$U_{np}$	240.75 V
$U_{\check{c}lmin}$	1,85 V/čl
$I_{udanro(5h)}$	26.8 A <sub>(max)</sub> , 100ms

No za  $I_{t0}$  nisu uzeti u obzir razni utjecaji koji su navedeni iznad, te je zbog toga potrebno izračunati struju povećanu za spomenute faktore.

Korekcijski temperaturni faktor pri 20°C iznosi 1. Zbog pretpostavke da najniža temperatura u prostoriji aku-baterije neće biti ispod 5°C, uzima se korekcijski faktor  $f_t = 0,90$ . Radi starenja povećava se kapacitet aku-baterija za 20%, odnosno  $f_s = 0,8$ .

Prema tome trajna struja za proračun baterija korigirana s traženim faktorima iznosi:



$$I_t = \frac{I_{t0}}{f_t \cdot f_s} = \frac{11.8}{0.9 \cdot 0.8} = 16.4 \text{ A}$$

Točan tip baterije definira se prema osnovnim kriterijima. Struja pražnjenja aku-baterije, za 5-satni režim, mora biti veća od proračunate minimalne struje  $I_t$ , što manja potrebna struja ispravljača za punjenje aku-baterije te što manji unutarnji otpor. Prema [5] odabrana se baterija VB 13 čija 5-satna struja pražnjenja iznosi 19,3 A što je više od 16,4 A i predstavlja korisnu rezervu, koja bi pokrila i moguće udarno opterećenje od 104 A pri proradi sabirničke zaštite. Izabrana baterija ima kapacitet 113 Ah i zadovoljava sve zahtjeve, dok je prijašnja aku-baterija kapaciteta 250 Ah bila predimenzionirana u odnosu na potrebe razvoda.

### 3.3. Analiza razvoda 48 V i odabir aku-baterije

Na isti način kao i za razvod 220 V izvest će se proračun za izbor aku-baterije za razvod 48 V.

Sustav pomoćnog napajanja 48 V sastoji se od dva razvoda, razvod za potrebe daljinskog upravljanja i razvod za potrebe informacijskog sustava te svaki taj razvod ima svoj izvor napajanja. Ta dva razvoda su također povezana putem preklopke 4G100 na nivou glavnih sabirnica za slučaj međusobnog ispomaganja.

Postojeće aku-baterije u trenutku rekonstrukcije starije su od 10 godina te ih je potrebno zamijeniti. Novi izvori dimenzionirani su prema potrošnji razvoda koji ima veću snagu tako da može podnijeti puno opterećenje pripadnoga dijela razvoda. U slučaju ispada jednog od izvora.

Kod razvoda 48 V sva trošila su u trajnom pogonu, stoga će aku baterija biti praktično trajno opterećena s konstantnom strujom što olakšava proračun. Sva trošila razvoda 48 V prikazana su u Tab 3.4.

**Tab 3.4.** Pregled stalnih trošila razvoda 48 V

Jednoznačan naziv trošila	Broj trošila	Ukupna snaga [W]	Trajanje rada	Prosječna učestalost
SDV				
DAS	1	528	5h	100%
DAS komanda	1	50	5h	100%
Mjerni pretvarači	14	63	5h	100%
Voltmetar	1	0,05	5h	100%
Pomoćni relej	1	2,5	5h	100%
IS				
Pomoćni relej	1	2,5	5h	100%
Voltmetar	1	0.05	5h	100%
VF uređaj	3	576	5h	100%

Jednoznačan naziv trošila	Broj trošila	Ukupna snaga [W]	Trajanje rada	Prosječna učestalost
Eatc	1	480	5h	100%
UKUPNO SDV [W]		643,55	5h	
UKUPNO IS [W]		1058,55	5h	

Prema tablici Tab 3.4. zaključuje se da potrošnja razvoda za daljinsko upravljanje (SDV) iznosi 643,55 W, dok potrošnja razvoda informacijskog sustava (IS) iznosi 1058,55 W. Prema dogovoru s djelatnicima PrP-a Osijek izvori se dimenzioniraju prema većoj potrošnji razvoda te se prema tome izvor dimenzionira prema potrošnji IS dijela. Na taj se način smanjuje potreban kapacitet aku-baterije odnosno smanjuje se sama investicija, no na taj način se smanjuje autonomija u režimu ispomaganja, koji iznosi između 3 i 3,5 sati. Prema tome, uzimajući i u obzir dodatnu rezervu u snazi, može se procijeniti da snaga izvora koju je potrebno osigurati iznosi 1100 W, odnosno trajna struja koja opterećuje izvore je 22.9 A.

Kao i u prethodnom proračunu za razvod 220 V, po istom postupku dobiva se slijedeća tablica Tab. 3.5. koja sadrži sve relevantne podatke. Također i kod ovog razvoda se radi s baterijskim člancima od 2V.

**Tab 3.5.** Osnovni podaci koji ulaze u proračun aku-baterija

Režim rada	5h
$U_n$ [V]	48
$U_{max}$ [V]	52,8
$U_{min}$ [V]	43,2
Broj članaka	23
$U_{np}$ [V]	51,75
$U_{clmin}$ [V]	1,878
$f_t$	0.9
$f_s$	0.8
$I_{t0}$ [A]	22,9
$I_t$ [A]	31,8

Prema osnovnim podacima odabire se aku-baterija od 23 članka što predstavlja optimalno rješenje iz razloga što u tom slučaju napon nadopunjavanja, a ujedno i radni napon razvoda ispod granice od +10%  $U_n$ , dok se odabirom većeg broja članaka prelazi gornja granica napona, a odabirom manjeg broja članaka minimalni napon po članku se povećava kao i zahtijevani kapacitet aku baterije.

Prema istim kriterijima za odabir baterija kao i kod razvoda 220 V, prema ponuđenim tipovima baterija odabrana se baterija Chloride VB26 od 225 Ah [5]. Njena 5-satna struja je 38,6 A, što je više od traženih 22,9 A, što ne predstavlja problem iz razloga što je visok minimalan napon članka baterije. Bez obzira na odabranog proizvođača, proračun je pokazano da su za izvor napajanja razvoda 48 V potrebne dvije baterije kapaciteta između 200 i 250 Ah.

## **4. INSTALACIJA SOLARNIH PANELA ZA NAPAЈANJE VLASTITE POTROŠNJE**

Veličina fotonaponskog sustava ne ovisi o kvadraturi površine bilo građevine ili zemljišta, već isključivo ovisi o broju trošila i prosječnoj dnevnoj potrošnji električne energije. Osnovni parametri za dimenzioniranje samostalnog sustava su:[2]

- Meteorološki podaci za lokaciju instalacije sustava, kao što su sunčeva ozračenost i energija sunčevog zračenja koje upada na plohu modula
- Učestalost korištenja sustava
- Napon napajanja trošila
- Broj trošila, prosječno vrijeme korištenja pojedinih trošila i njihova potrošnja
- Samostalnost sustava

Kada svi parametri budu poznati, pristupa se dimenzioniranju sustava. Prvo se izračunaju prosječne dnevne potrebe na temelju potrošnje te je taj podatak osnovica za određivanje potrebnog broja modula, ovisno o željenoj autonomiji sustava. Unošenjem podataka u programski alat PVGIS, dobivaju se grafovi i tablice koje prikazuju procijenjenu proizvodnju električne energije koju je moguće generirati pomoću tog fotonaponskog sustava. Osim toga, prikazuje i prosječnu dnevnu proizvodnju te daje statistiku kao što je stanje napunjenosti baterija.

### **4.1. Procjena proizvodnje električne energije FN sustava pri optimalnim uvjetima**

Za početak se u programski alat PVGIS unosi potrebna lokacija za koju se zatim izvlače meteorološki podaci koji su prikazani u tablici 4.1. U ovom slučaju to je grad Našice.

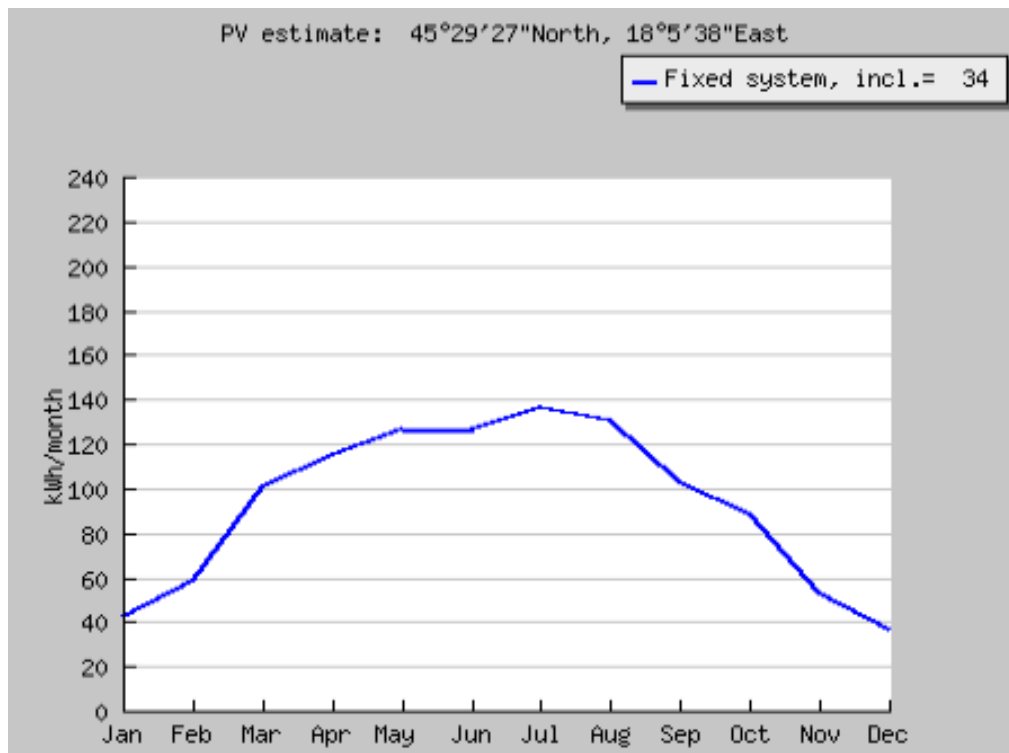
U rezultate tablice Tab. 4.1. unaprijed su procijenjeni i uračunati gubici snage uzrokovanih visokom temperaturom i malim sunčevim zračenjem koji iznose 13,5%, gubici nastali uslijed refleksije 2,8% te ostali gubici kao što su gubici u kablovima, gubici elektronike, koji zajedno čine gubitke od 14%. Ukupni procijenjeni gubici sustava iznose 27,7%.

**Tab 4.1.** Procijenjena proizvodnja električne energije pri optimalnom kutu u Našicama po 1 kW sunčeve energije

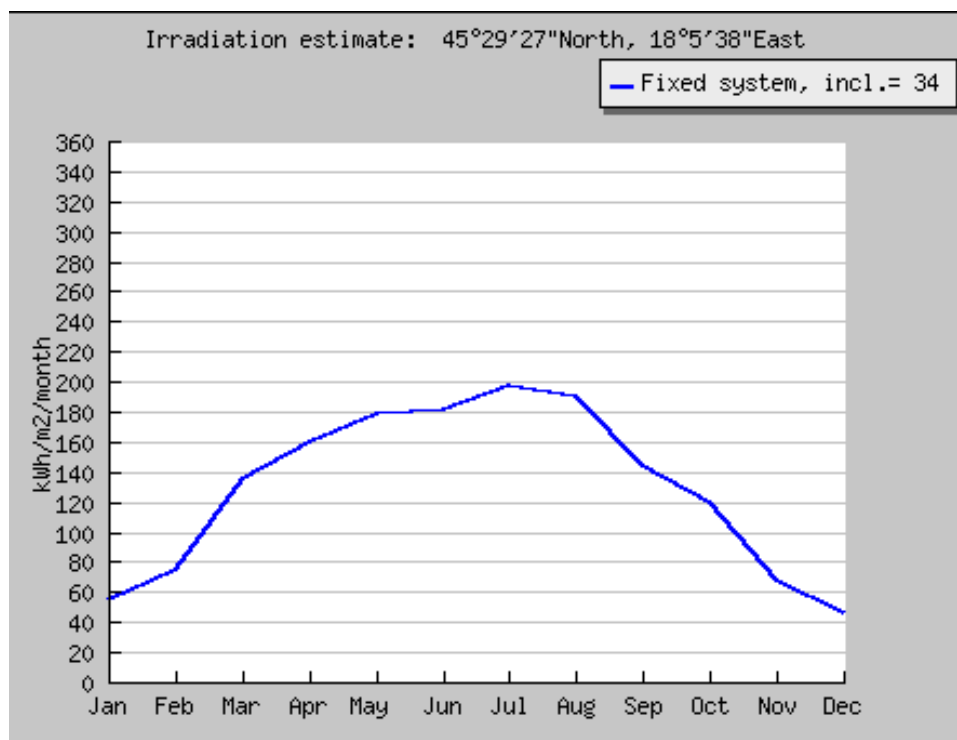
FN sustav postavljen pod kutem od 34°, orijentiran prema jugu				
Mjesec	$E_d$ [kWh]	$E_m$ [kWh]	$H_d$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
Siječanj	1.37	42.6	1.75	54.2
Veljača	2.09	58.4	2.67	74.9
Ožujak	3.25	101	4.37	136
Travanj	3.84	115	5.33	160
Svibanj	4.09	127	5.77	179
Lipanj	4.22	127	6.07	182
Srpanj	4.38	136	6.37	198
Kolovoz	4.20	130	6.13	190
Rujan	3.42	103	4.82	145
Listopad	2.86	88.8	3.87	120
Studeni	1.76	52.9	2.27	68.2
Prosinac	1.17	36.2	1.47	45.5
<b>Godišnji prosjek</b>	<b>3.06</b>	<b>93.1</b>	<b>4.25</b>	<b>129</b>
<b>Ukupno</b>		<b>1120</b>		<b>1550</b>

gdje  $E_d$  označava prosječnu dnevnu proizvodnju energije u kWh,  $E_m$  prosječnu mjesečnu proizvodnju energije u kWh,  $H_d$  označava prosječnu dnevnu količinu sunčeva zračenja po četvornom metru koju prima modul u kWh/m<sup>2</sup>,  $H_m$  prosječnu mjesečnu količinu sunčeva zračenja po četvornom metru koju prima modul u kWh/m<sup>2</sup>.

PVGIS programski alat ima mogućnost i grafičkog prikaza podataka iz Tab 4.1. prikazanih na slikama 4.1 i 4.2.



Slika 4.1. Grafički prikaz prosječne mjesečne proizvodnje električne energije fotonaponskog sustava



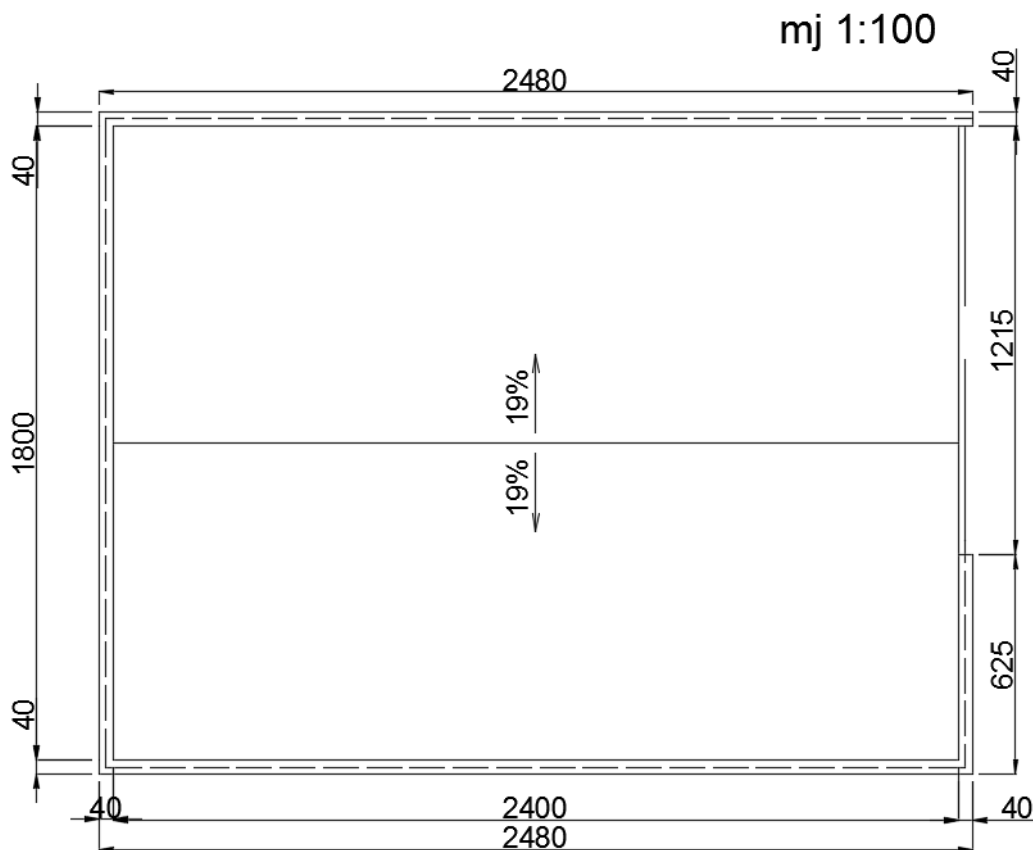
Slika 4.2. Grafički prikaz prosječne mjesečne količine sunčeva zračenja po m<sup>2</sup> modula

Prema PVGIS procjeni proizvodnje električne energije FN sustava snage 1 kWp prikazanim u Tab.4.1. i slikama 4.1. i 4.2. može se zaključiti da u mjesecu prosincu fotonaponski sustav

proizvodi najmanje električne energije te nam je taj podatak najbitniji za dimenzioniranje pošto FN sustav mora zadovoljiti električne potrebe objekta pri najgorim uvjetima.

#### 4.2. Krovište uklopnice na koju se postavlja FN sustav

Solarne panele potrebno je postaviti na krovište uklopnice trafostanice Našice čije se podloge i izvadci iz katastarskog plana nalaze u priložima. Krovište uklopnice je izgrađeno na temelju projekta rekonstrukcije ravnog krova uklopnice te je izveden kao kosi krov tako da se na rešetkaste nosače polažu nosači pokrova, dok je sam pokrov krova aluminijski lim. Objekat koji je pokriven aluminijskim limom ima površinu dimenzije 14,80 x 24,80 m, te je nagib krovišta 19 % od sredine krovišta, što je prikazano na slici 4.3.



Slika 4.3. Tlocrt krovišta uklopnice TS Našice

Na krovište je potrebno instalirati fotonaponski sustav koji će pratiti nagib krovišta od 19° te čija će ukupna snaga u potpunosti pokriti zahtjeve objekta za električnom energijom koju povlači iz distributivne mreže. Na taj će način TS Našice biti energetski neovisan objekat. Vlastita potrošnja će se pokrivati pomoću Sunčeve energije te će se na taj način umanjiti troškovi.

Za izgradnju sunčeve elektrane predviđa se upotreba fotonaponskog modula nazivne snage 260Wp, modul tipa Luxor EcoLine P60/260 njemačkog proizvođača Luxor Solar GmbH. Koji se sastoji od 60 serijski spojenih multikristaličnih silicijskih ćelija dimenzija 156x156mm. Ćelije su međusobno zalemljene bakrenim vodičima te s prednje strane obložene staklom, dok se stražnja strana pokriva polimernim zaštitnim slojem filma. Dimenzije modula su 1640x992x40 mm, a težina modula iznosi 18,3 kg.

**Tab. 4.1.** Specifikacije fotonaponskog modula Luxor EcoLine P60/260

Struja kratkog spoja	$I_{sc}=8,66 \text{ A}$
Napon otvorenog kruga	$U_{oc}=37,94 \text{ V}$
Vršna struja	$I_{mpp}=8,66 \text{ A}$
Vršni napon	$U_{mpp}=37,94 \text{ V}$

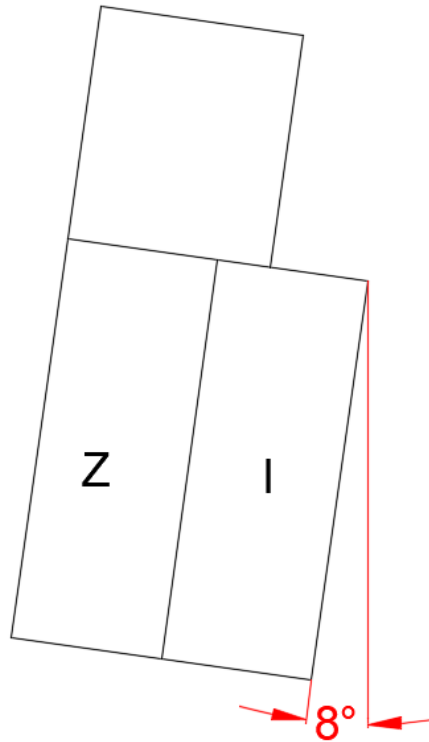
Ucrtavanjem modula dimenzija 165x99,2cm unutar AutoCAD programa moguće je odrediti maksimalan broj modula koje je moguće postaviti na krovnište uklopnice. U obzir se uzima i potreban razmak između modula od 2 cm te sam razmak od ruba krova od 50 cm. S obzirom da je krovnište nagiba 19°, površina krovništa je veća od površine tlocrta, no pošto razlika nije dovoljna da se postavi još jedan red modula, nije potrebno preračunavati dimenzije modula. Rezultat toga je da je na površinu krova moguće postaviti 230 modula. Ukoliko su koristi modul snage 260 Wp, teorijska vršna snaga FN sustava koji je moguće postaviti na krovnište iznosi 58,8 kWp.

### **4.3. Procjena proizvodnje električne energije FN sustava pri realnom stanju**

Kako orijentacija i nagib krova na koji je potrebno postaviti fotonaponski sustav ne odgovara optimalnim uvjetima potrebno je te podatke uvrstiti u PVGIS program te ponovno napraviti procjenu proizvodnje električne energije, što je prikazano tablicom 4.2.

Prema tlocrtima krovništa i kopije katastarskog plana koji se nalaze u Prilozima uzimaju se potrebni podaci da je krovnište uklopnice pod nagibom od 19°, gdje je jedna strana krova orijentirana, prema istoku, a druga strana prema zapadu (Slika 4.4.). Točnije, istočna strana krova je pod kutem azimuta od -82°, dok je zapadna pod kutem azimuta od 98°.





Slika 4.4. Orijentacija objekta

Tab 4.2. Procijenjena proizvodnja električne energije pri realnom stanju u Našicama po 1 kW sunčeve energije, istočna strana krova

FN sustav postavljen pod kutem od 19°, orijentiran pod kutem od -82° (istočna strana)				
Mjesec	$E_d$ [kWh]	$E_m$ [kWh]	$H_d$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
Siječanj	0.91	28.1	1.18	36.6
Veljača	1.53	42.8	1.95	54.5
Ožujak	2.66	82.6	3.51	109
Travanj	3.49	105	4.75	142
Svibanj	4.04	125	5.62	174
Lipanj	4.32	130	6.14	184
Srpanj	4.39	136	6.30	195
Kolovoz	3.91	121	5.59	173
Rujan	2.86	85.7	3.94	118
Listopad	2.08	64.5	2.78	86.1
Studeni	1.13	34.0	1.49	44.8
Prosinac	0.74	22.8	0.96	29.9
<b>Godišnji prosjek</b>	<b>2.68</b>	<b>81.5</b>	<b>3,69</b>	<b>112</b>
<b>Ukupno</b>		<b>978</b>		<b>1350</b>

**Tab 4.2.** Procijenjena proizvodnja električne energije pri realnom stanju u Našicama po 1 kW sunčeve energije, zapadna strana krova

<b>FN sustav postavljen pod kutem od 19°, orijentiran pod kutem od +98° (zapadna strana)</b>				
<b>Mjesec</b>	<b><math>E_d[kWh]</math></b>	<b><math>E_m[kWh]</math></b>	<b><math>H_d[kWh/m^2]</math></b>	<b><math>H_m[kWh/m^2]</math></b>
Siječanj	0.80	24.7	1.07	33.3
Veljača	1.40	39.2	1.80	50.5
Ožujak	2.51	77.8	3.32	103
Travanj	3.36	101	4.57	137
Svibanj	3.95	123	5.50	170
Lipanj	4.26	128	6.05	181
Srpanj	4.30	133	6.17	191
Kolovoz	3.76	117	5.38	167
Rujan	2.70	81.0	3.73	112
Listopad	1.90	58.9	2.56	79.3
Studen	1.00	30.0	1.35	40.5
Prosinac	0.64	19.9	0.87	27.0
<b>Godišnji prosjek</b>	<b>2.56</b>	<b>77,1</b>	<b>3,54</b>	<b>108</b>
<b>Ukupno</b>		<b>933</b>		<b>1290</b>

Usporedbom procijenjene proizvodnje električne energije pri optimalnom kutu i orijentaciji fotonaponskog sustava prikazanih u Tab 4.1. sa procijenjenom proizvodnjom električne energije pri realnom stanju, odnosno pri nagibu i orijentaciji krova uklopnice prikazanih u Tab 4.2. i Tab 4.3., može se zaključiti da zbog same orijentacije krova, ukoliko se fotonaponski sustav postavlja na krov, u sustavu javljaju novi gubici u proizvodnji. Ukoliko se sustav postavi na istočnu stranu krova, neće se iskoristiti 13% energije koja bi se proizvela ukoliko se FN sustav postavi pod optimalnim kutem i orijentacijom. Kod zapadne strane, odnosno nepovoljnije strane krova, taj postotak je nešto veći i iznosi 17%.

#### **4.4. Proračun snage FN sustava potreban da zadovolji potrebe**

U prethodnom potpoglavlju odrađeni su meteorološki podaci za lokaciju instalacije sustava te je procijenjena proizvodnja električne energije pri realnom stanju. Prema osnovnim parametrima za dimenzioniranje samostalnog fotonaponskog sustava ostalo je još za obraditi prametre kao što su učestalost korištenja sustava, napon napajanja trošila te broj trošila i prosječno vrijeme trajanja. Ti svi podaci detaljno su analizirani u poglavlju 3. Ukratko, u TS 110/x kV Našice postoje 2 razvoda, jedan je 220 V na kojeg su priključena stalna i povremena i kratkotrajna trošila te dva razvoda 48 V.

Stalna trošila koja su spojena na razvod 220 V su komandno potvrdna preklopka, pomoćni releji, pokazivači položaja, voltmetri, nužna rasvjeta, signalna tabla te pomoćni relej s otporom. Ukupan broj stalnih trošila spojenih na razvod 220 V je 821 trošilo. U Tab. 3.1. navedeno je trajanje rada i prosječna učestalost trošila čije su snage sve preračunate na 5-osatni režim rada te ukupna snaga svih trošila iznosi 2580,2 W, zaokruženo 2600 W.

Kratkotrajna trošila razvoda 220 V imaju relativno mali udio u ukupnoj energiji koju baterija mora osigurati zbog pretpostavke da će svako kratkotrajno trošilo proraditi jednom u 5-osatnom radnom režimu rada. Kratkotrajnih trošila ima 198 te su to razni električni ventili prekidača, releji zaštite, sklopnici rastavljača, električni motori prekidača, kontaktori električnih modora i sklopki trafoa te zvučna signalizacija. Trajanje rada i snaga svakog kratkotrajnog trošila zasebno prikazano je u tablici Tab 3.2., a ukupna snaga kratkotrajnih trošila preračunata na 5-osatni radni režim iznosi 9,2 W.

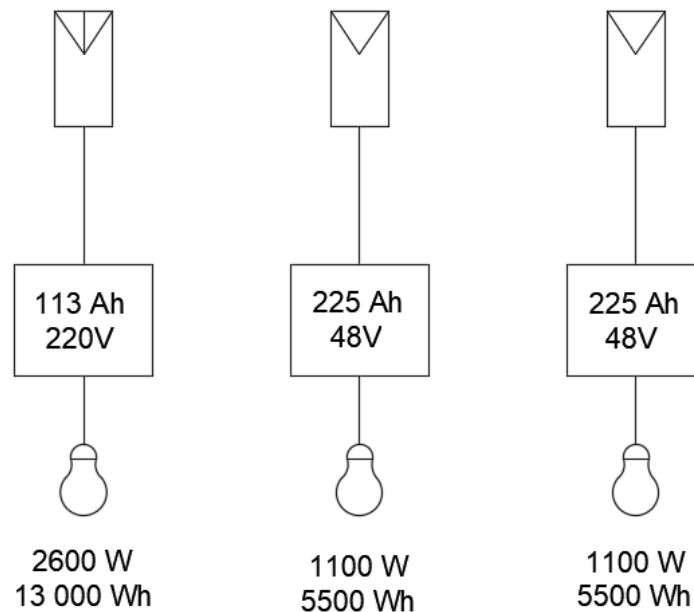
Sustav pomoćnog napajanja 48 V sastoji se od dva razvoda, razvod za potrebe daljinskog upravljanja i razvod za potrebe informacijskog sustava te svaki razvod ima svoje vlastito napajanje. Kod razvoda 48 V sva trošila su u trajnom pogonu. Razvod 48 V sadrži 24 trošila čija je ukupna snaga preračunata na 5-osatni radni režim rada iznosi 1700 W, razvod informacijskog sustava 1100W i 600 W razvod za daljinsko upravljanje, no prema dogovoru s djelatnicima PrP-a Osijek izvori se dimenzioniraju prema većoj potrošnji, odnosno prema potrošnji razvoda za potrebe informacijskog sustava sustava čija je snaga 1100 W.

Prema kriterijima za odabir aku-baterija u 3. poglavlju, za razvod 220 V odabrana je baterija baterija VB 13 od 113 Ah, dok se za razvode 48V odabralo dvije baterije Chloride VB26 od 225 Ah. Svi potrebni podaci prikazani su na slici 4.3.

Nakon svih potrebnih podataka i parametara sada je moguće dimenzionirati fotonaponski sustav. Za svaki razvod dimenzionirati će se posebno fotonaponski sustav. Potrebni podaci su kapacitet i voltaža baterija, snaga trošila 5-satnog radnog režima rada te procijenjena proizvodnja električne energije po kWp fotonaponskog sustava u najgorem slučaju.

Za baterije je važno da u se jednom ciklusu pražnjenja ne smije potrošiti više od pola kapaciteta baterije, odnosno pola skladištene energije te prema tome fotonaponski sustav mora proizvesti dovoljno energije za planirane potrebe i potrošnju tako da u jednom ciklusu kapacitet baterije ne

padne ispod 50%. Pošto postoje gubici unutar samog sustava, potrebno je osigurati malo više energije od planirane potrošnje.



**Slika 4.3.** Podjednostavljeni prikaz FN sustava

Za sustav za napajanje razvoda 220 V potrebno je osigurati proizvodnju energije toliku da pokrije 50% skladištene energije i ostali manjak energije zajedno sa gubicima. Umnoškom kapaciteta i napona baterije izračunava se ukupna skladištena energija baterije,  $113 \text{ Ah} \cdot 220 \text{ V} = 24860 \text{ Wh}$ , što znači da se ne smije potrošiti više od 12430 Wh. Pošto je potrošnja 13000 Wh, Važno je napomenuti da se mjerenjima struje pri analizi stanja razvoda 220 V ustanovilo da je trajna struja za otprilike 2 A manja od struje koja se dobije analizom snaga trošila, tako da ukupan kapacitet baterije neće padati ispod 50%, odnosno potrošnja od 13 000 Wh dnevno nije stvarno stanje te će proizvedena energija od 13 000 Wh biti sasvim dostatna.

Uz pretpostavku da se fotonaponski sustav postavlja na povoljniju, odnosno istočnu stranu krova, iz tablice 4.2. uzima se najgori slučaj procijenjene proizvodnje električne energije koji iznosi 0,74 kWh/Whp, što znači da se u prosincu može proizvesti 740 Wh po Wp instalirane snage fotonaponskog sustava. Prema tome ukoliko se podijeli potrebna proizvodnja sa procijenjenom proizvodnjom električne energije dobiva se potrebna snaga fotonaponskog sustava koja je potrebna da bi se mogla pokriti potrošnja razvoda.

$$P = \frac{13000 \text{ Wh}}{740 \frac{\text{Wh}}{\text{kWp}}} = 17,57 \text{ kWp} \quad (4-1)$$

U potpoglavlju 4.2. navedeno je da se za izgradnju sunčeve elektrane predviđa upotreba fotonaponskog modula tipa Luxor EcoLine P60/260 njemačkog proizvođača Luxor Solar GmbH nazivne snage 260W. Ukoliko se podjeli ukupna potrebna snaga fotonaponskog sustava sa nazivnom snagom jednog modula, dobiva se potreban broj modula koje je potrebno postaviti.

$$n = \frac{P}{P1} = \frac{17,57 \text{ kWp}}{260 \text{ Wp}} = 67,58 \approx 68 \text{ modula} \quad (4-2)$$

Istim postupkom može se doći i do ostala dva fotonaponska sustava za razvod 48V koji će biti iste snage.

Ukupna skladištena energija baterije iznosi  $225 \text{ Ah} \cdot 48 \text{ V} = 10800 \text{ Wh}$ , odnosno 50% energije se može potrošiti u jednom ciklusu što znači da je moguće potrošiti 5400 Wh. Sustav mora proizvesti energije 6000 Wh, gdje bi postojala rezerva od 600 Wh.

Uz istu pretpostavku da se fotonaponski sustav postavlja na povoljniju stranu krova, opet se uzima najgori slučaj procjenjene proizvodnje električne energije u mjesecu prosincu te se izračunava potrebna snaga fotonaponskog sustava da bi se mogla pokriti potrošnja razvoda.

$$P = \frac{6000 \text{ Wh}}{740 \frac{\text{Wh}}{\text{kWp}}} = 8,11 \text{ kWp} \quad (4-3)$$

Odnosno broj modula potrebnih za fotonaponski sustav razvoda 48 V iznosi:

$$n = \frac{P}{P1} = \frac{8,11 \text{ kWp}}{260 \text{ Wp}} = 31,19 \approx 32 \text{ modula} \quad (4-4)$$

Pošto su za razvod 48 V potrebna dva identična fotonaponska sustava, to znači da je ukupno potrebno 64 modula, odnosno za pokrivanje cijele vlastite potrošnje potrebno je 132 modula.

Tu se javlja prvi problem. U podpoglavlju 4.2. pomoću površine krova i površine modula izračunato je da se na krov može postaviti maksimalno 230 modula, 115 na istočnu, 115 na zapadnu stranu što znači da nije moguće sva tri fotonaponska sustava postaviti na istočnu, odnosno povoljniju stranu krova. Prema tome jedan fotonaponski sustav razvoda 48 V potrebno je prebaciti na zapadnu stranu i ponoviti proračun. Najnepovoljnija procijena proizvodnje električne energije na zapadnoj strani krova iznosi 0,64 kWh/Whp. Potrebna snaga trećeg fotonaponskog sustava iznosi :

$$P = \frac{6000 \text{ Wh}}{640 \frac{\text{Wh}}{\text{kWp}}} = 9,38 \text{ kWp} \quad (4-5)$$

Odnosno, broj modula potreban za taj fotonaponski sustav iznosi :

$$n = \frac{P}{P1} = \frac{9,38 \text{ kWp}}{260 \text{ Wp}} = 36 \text{ modula} \quad (4-6)$$

Prema proračunu, na istočnu stranu krova uklopnice postavlja se 100 modula, koji čine 2 odvojena fotonaponska sustava. Jedan koji napaja razvod 220V ukupne snage 17,57 kWp i sastoji se od 68 modula nazivne snage 260 W, dok drugi fotonaponski sustav napaja jedan razvod 48V, čine ga 32 modula ukupne snage 8,11 kWp. Druga strana krova sadržava treći fotonaponski sustav koji napada drugi razvod 48 V, zbog nepovoljnije orijentacije krova, potreban je veći broj modula, odnosno, taj fotonaponski sustav sadržava 36 modula i ukupna snaga sustava iznosi 9,38 kWp. Usporedbe radi, da se fotonaponski sustavi postavljaju pri optimalnom kutu i orijentaciji, bilo bi potreban 81 modul, što znači da je zbog pozicije i nagiba krova uklopnice potrebno dodatnih 55 modula.

Važno je za napomenuti da je u opterećenju razvoda 220 V udio nužne rasvjete od oko 70%, odnosno 1840 W. Ukoliko bi se stara nužna rasvjeta zamjenila novom LED rasvjetom, došlo bi do uštede od oko 80%, što znači da ukupno opterećenje razvoda 220 V više ne bi bio 2600 W već oko 1130 W, odnosno opterećenje razvoda 220 V bi se prepolovilo. Stoga bi se prepolovio i broj potrebnih modula, a samim time postigla bi se velika ušteda što se tiče ulaganja u fotonaponske sustave. Ulaganje u novu rasvjetu i novu bateriju manjeg kapaciteta, zamjenilo bi 30ak modula fotonaponskog sustava koje napaja razvod 220 V, no kako bi se oslobodio veliki prostor na

istočnoj, povoljnijoj strani krova, stvorilo bi se dovoljno prostora da se oba fotonaponska sustava koje napajaju razvod 48 V postave na istočnu stranu krov, te bi se broj potrebnih modula smanjio za još 4. Ukratko, ulaganje u novu rasvjetu i novu manju bateriju razvoda 220 V, smanjila bi potrebna ulaganja fotonaponske module, što znači da bi od prvotno planiranih 136 modula bilo potrebno 98 modula, odnosno 28% manje. Mogućnost odvajanja vlastite potrošnje sa distributivne mreže i stvaranje autonomnog sustava postoji, no radi nemogućnosti kontrole vremenskih uvijeta to nije najsigurnije rješenje. Trenutno ovakva investicija nije isplativa, jer takvo rješenje ne bi samo sebe isplatilo, samo bi se stvorio dodatni trošak. Osim toga i ugradnja agregata u svaku trafostanicu radi sigurnosti opskrbe energije bi bila prevelika investicija.

## 5. ZAKLJUČAK

Zadatak diplomskog rada bio je provjeriti postoji li mogućnost instalacije fotonaponskih panela na krov uklopnice trafostanice tako da energija dobivena iz tih fotonaponskih panela pokriva vlastitu potrošnju TS 110/x kV u Našicama. Pomoću elaborata [5] i [6] analiziralo se stanje istosmjernih razvoda 220V i 48 V gdje se došlo do podataka o trošilima unutar uklopnice, kao što su broj trošila, snaga trošila, trajanje rada, prosječna učestalost te količina i vrsta baterija. Koristeći postojeće baterije bilo je potrebno vlastitu potrošnju pokriti pomoću fotonaponskih sustava tako da se vlastita potrošnja može odspojiti sa distributivne mreže.

Predloženim proračunima pokazalo se da se može udovoljiti zahtjevima potrošnje trošila te da postoji mogućnost potpune autonomije, no radi nemogućnosti utjecaja na vremenske uvijete uvijek postoji opasnost da uslijed lošeg vremena u prosincu, kad je najmanja proizvodnja električne energije i prema kojemu je i dimenzioniran fotonaponski sustav, ne proizvede dovoljna količina električne energije. U takvim slučajevima je potreban dodatan izvor napajanja kojim bi se ostvarila dodatna sigurnost u pokrivanju vlastite potrošnje.

Potpuna autonomija trafostanica je izrazito loša investicija, jer trenutni troškovi koji nastaju napajanjem vlastite potrošnje iz distribucijske mreže su mali u odnosu na investiciju postavljanja fotonaponskog sustava te se takva investicija, za trajanje životnog vijeka fotonaponskog sustava, nikad ne bi isplatila. Ugradnjom dodatnog izvora napajanja, koji bi služio kao rezerva uslijed neplaniranih situacija, troškovi investicije bi se još dodatno povećali. Trenutno, postavljanje fotonaponskog sustava je neisplativo no to ne znači da se daljnim razvojem tehnologija za desetak godina takav sustav neće isplatiti.



## LITERATURA

- [1] „Fotonaponski sustavi“, prof. dr. sc. Ljubomir Majdandžić, dipl. ing. , priručnik
- [2] „Obnovljivi izvori energije s osvrtom na gospodarenje“, prof.dr.sc. Damir Šljivac, doc.dr.sc. Zdenko Šimić, Osijek, ožujak 2008.
- [3] Fotonaponski geografski informacijski sustav:  
[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html) Datum pristupa: 3.7.2019.
- [4] „Obnovljivi izvori električne energije“, doc.dr.sc. Danijel Topić, prof.dr.sc. Damir Šljivac, udžbenik i skripta, Osijek 2018.
- [5] Elaborat „Analiza postojećeg stanja s prijedlogom mjera za rekonstrukciju podsustava istosmjernog napajanja i razvoda 220 V i 48 V u TS 400-110/x kV Hrvatske Elektroprivrede“, HEP – PrP Osijek , Rijeka 1996/97.
- [6] Elaborat „Analiza stanja sigurnosti i selektivnosti zaštite istosmjernih razvoda 220 V i 110 V s prijedlozima rješenja u TS 400/220/110/x kV, HEP d.d. prijenosno područje Osijek“, Rijeka, srpanj 2000.

## **Sažetak**

Diplomski rad analizira trenutno stanje potrošača unutar TS koji su spojeni na distributivnu mrežu te prema dnevnoj potrošnji energije analizira postoji li mogućnost instalacije fotonaponskih panela na krov uklopnice trafostanice tako da energija dobivena iz tih fotonaponskih panela pokriva vlastitu potrošnju TS 110/x kV u Našicama. Predloženim proračunom prikazalo se na koji način se može udovoljiti zahtjevima potpune autonomije tako da se prijenosnu trafostanicu energetski neovisnom.

**Ključne riječi:** fotonaponska elektrana, fotonaponski sustav, autonomni fotonaponski sustav, distributivna mreža, vlastito napajanje, trafostanica, vlastita potrošnja

## **Abstract**

Current state analysis of consumers within the substations connected to the distribution network and, according to daily energy consumption, analyzes whether there is a possibility of installing photovoltaic panels on the roof of the substation so that the energy obtained from these photovoltaic panels covers their own consumption of TS 110 / x kV in Našice. The proposed calculation shows how full autonomy requirements could be met by making the transmission substation energy-independent.

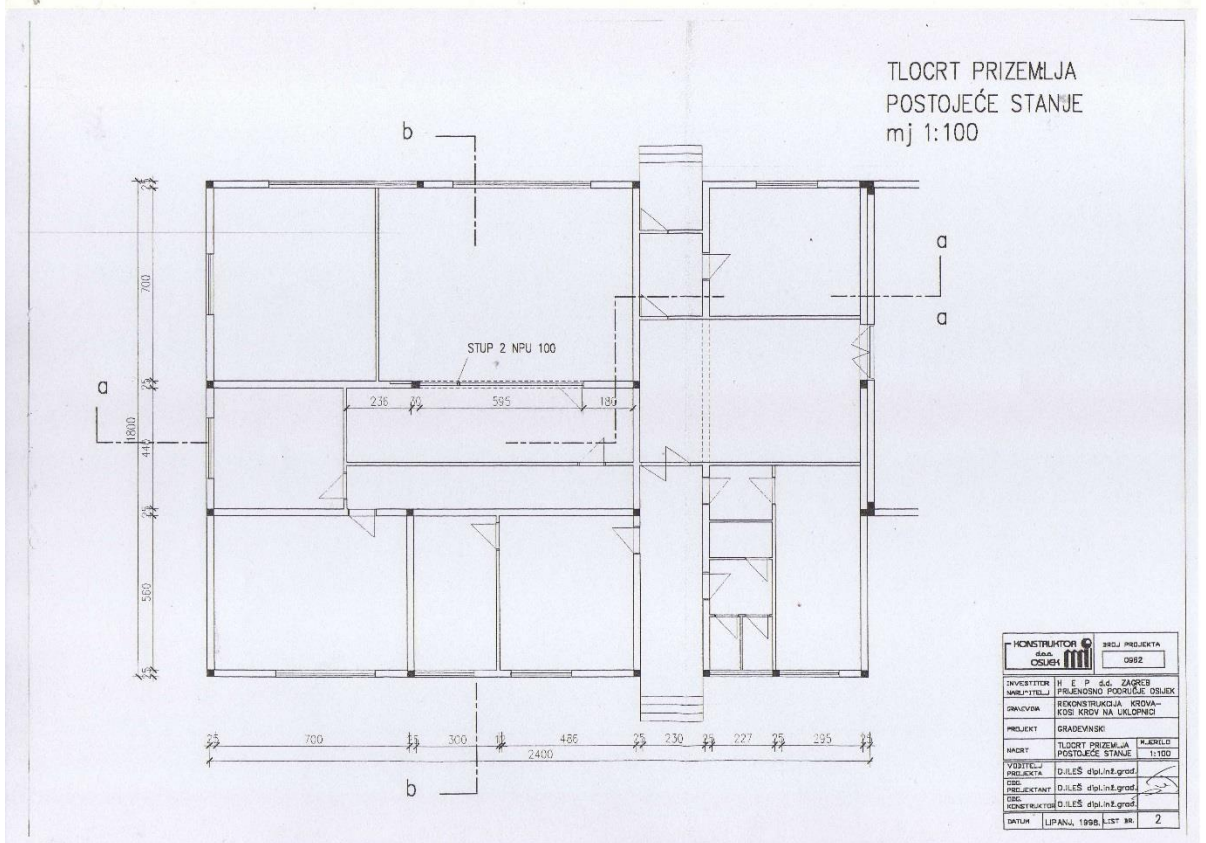
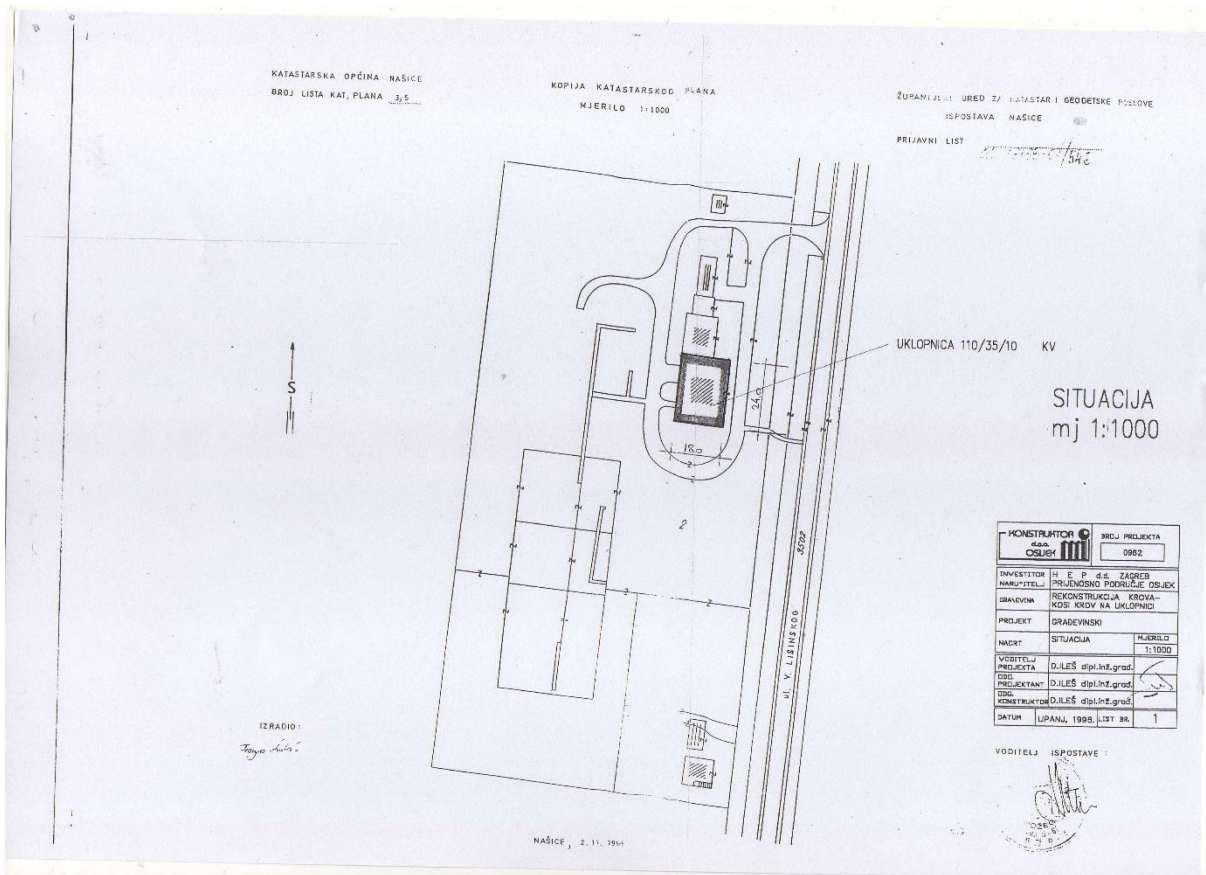
**Keywords:** photovoltaic power plant, photovoltaic system, autonomous photovoltaic system, distribution network, own power supply, substation, own consumption

## **Životopis**

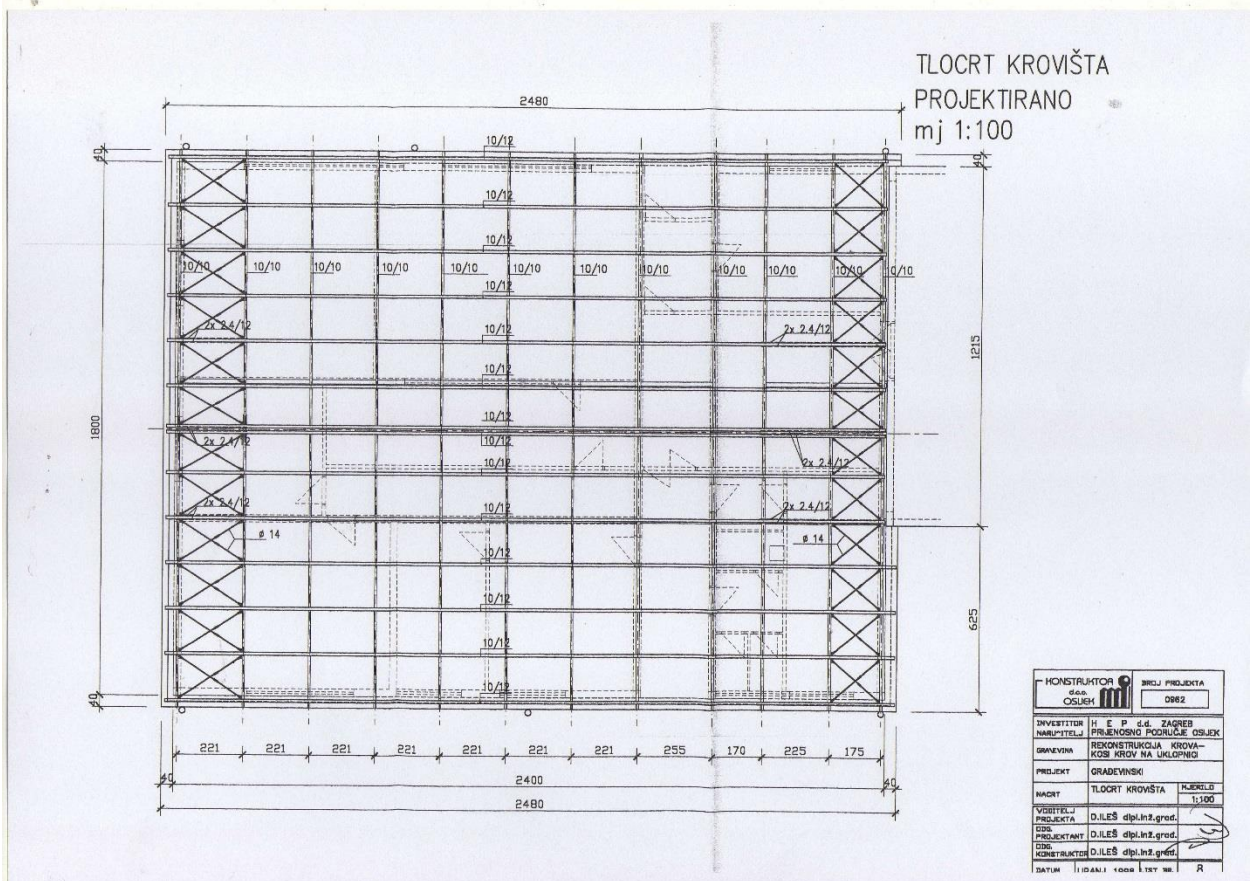
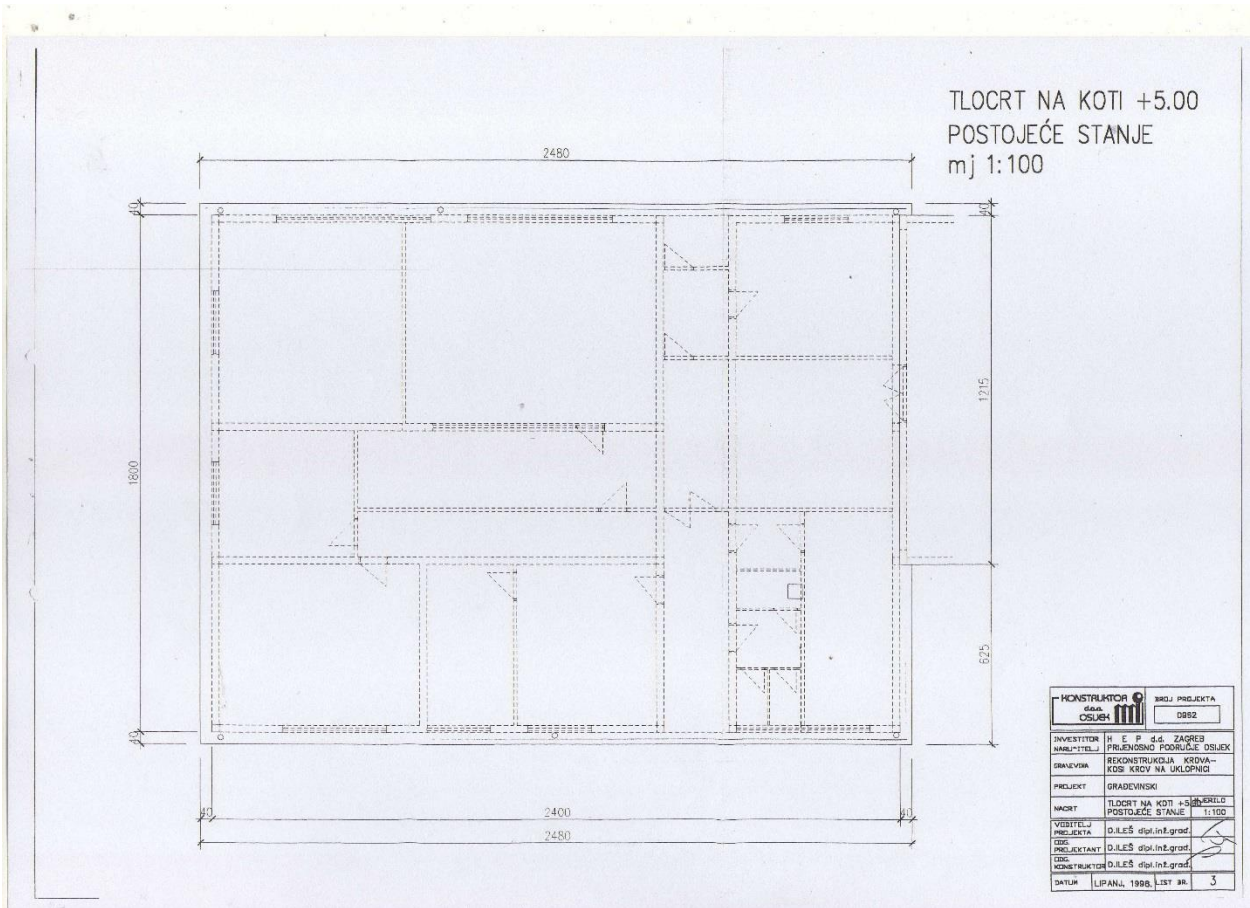
Filip Josipović rođen je u Osijeku 18. siječnja 1995. Nakon završene osnovne škole "Mladost" u Osijeku, 2009. upisuje Elektrotehničku i prometnu školu Osijek, smjer elektrotehničar.

Nakon završetka srednje škole 2013. godine, piše državnu maturu koja mu omogućuje upis na preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. 2016. godine završava preddiplomski studij te upisuje diplomski studij elektroenergetike, smjer održiva elektroenergetika. 2018. godine uručeno mu je priznanje za postignut uspjeh u studiranju.

# PRILOZI

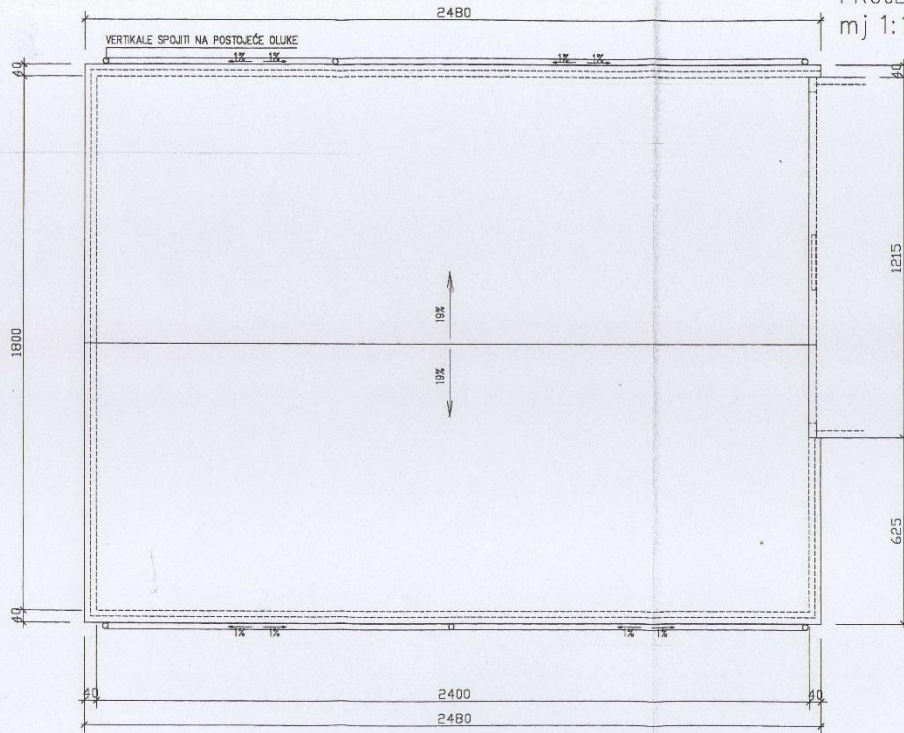






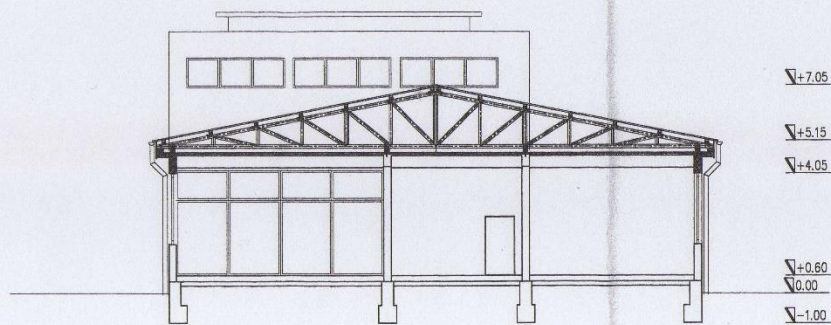


TLOCRT KROVNIH VODA  
 PROJEKTIRANO  
 mj 1:100



KONSTRUKTOR d.d. OSJEK		BROJ PROJEKTA 0982
INVESTITOR	H E P d.d. ZAGREB	
NARUČITELJ	PREJENOSNO PODRUČJE OSJEK	
GRAĐEVNA	REKONSTRUKCIJA KROVA- KOSI KROV NA UKLOPNICI	
PROJEKT	GRAĐEVINSKI	
NACRT	KROVNE VODE	ŠKEMLO 1:100
VODITELJ PROJEKTA	D.ILEŠ dipl.inž.grad.	
ODR. PROJEKTANT	D.ILEŠ dipl.inž.grad.	
ODR. KONSTRUKTOR	D.ILEŠ dipl.inž.grad.	
DATUM	LIPANJ, 1998.	LIST BR. 9

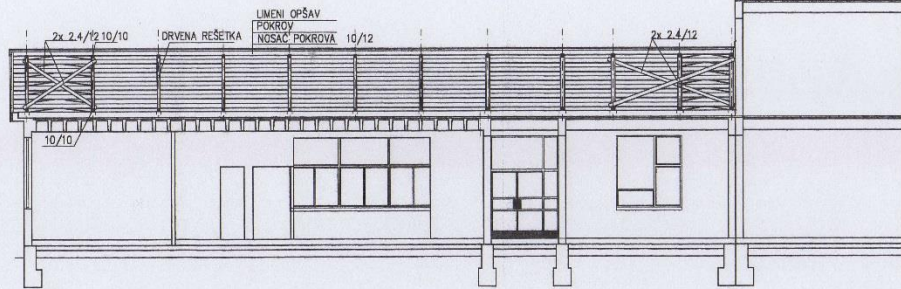
PRESJEK a-a  
 PROJEKTIRANO  
 mj 1:100



KONSTRUKTOR d.d. OSJEK		BROJ PROJEKTA 0982
INVESTITOR	H E P d.d. ZAGREB	
NARUČITELJ	PREJENOSNO PODRUČJE OSJEK	
GRAĐEVNA	REKONSTRUKCIJA KROVA- KOSI KROV NA UKLOPNICI	
PROJEKT	GRAĐEVINSKI	
NACRT	PRESJEK a-a PROJEKTIRANO	ŠKEMLO 1:100
VODITELJ PROJEKTA	D.ILEŠ dipl.inž.grad.	
ODR. PROJEKTANT	D.ILEŠ dipl.inž.grad.	
ODR. KONSTRUKTOR	D.ILEŠ dipl.inž.grad.	
DATUM	LIPANJ, 1998.	LIST BR. 10



PRESJEK b-b  
mj 1:100

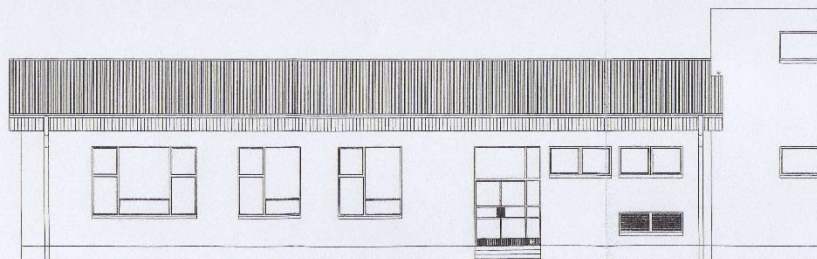


KONSTRUKTOR d.o.o. OSUJEK		BRIGI PROJEKTA 0982	
INVESTITOR	H. E. P. d.d. ZAGREB	IMPLANTIRANJE	PRILIKOVNO PODRUČJE OSUJEK
GRANJEVA	REKONSTRUKCIJA KROVA- KOSI KROV NA UKLOPNICI	PROJEKT	GRADEVINSKI
NACRT	PRESJEK B-B	SKRIBIC	1:100
VOĐEDEL PROJEKTA	D. ILEŠ dpl.inž.grad.	PROJEKTANT	D. ILEŠ dpl.inž.grad.
ODR. PROJEKTANT	D. ILEŠ dpl.inž.grad.	ODR. KONSTRUKTOR	D. ILEŠ dpl.inž.grad.
DATUM	LIPANJ, 1998. LIST BR.		11

ZAPADNA FASADA  
PROJEKTIRANO  
mj 1:100

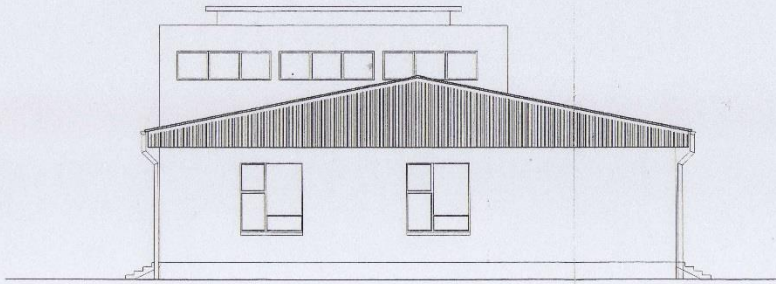


ISTOCNA FASADA  
PROJEKTIRANO  
mj 1:100



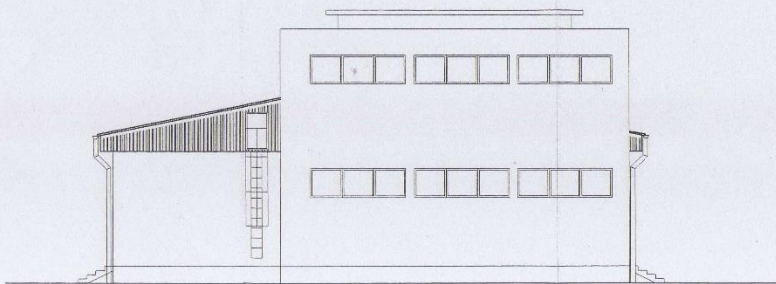
KONSTRUKTOR d.o.o. OSUJEK		BRIGI PROJEKTA 0982	
INVESTITOR	H. E. P. d.d. ZAGREB	IMPLANTIRANJE	PRILIKOVNO PODRUČJE OSUJEK
GRANJEVA	REKONSTRUKCIJA KROVA- KOSI KROV NA UKLOPNICI	PROJEKT	PROJEKCIJA PROJEKTIRANO
NACRT	PROJEKCIJA PROJEKTIRANO	SKRIBIC	1:100
VOĐEDEL PROJEKTA	D. ILEŠ dpl.inž.grad.	PROJEKTANT	D. ILEŠ dpl.inž.grad.
ODR. PROJEKTANT	D. ILEŠ dpl.inž.grad.	ODR. KONSTRUKTOR	D. ILEŠ dpl.inž.grad.
DATUM	LIPANJ, 1998. LIST BR.		12

JUZNA FASADA  
 PROJEKTIRANO  
 mj 1:100



KONSTRUKTOR d.d.a. OSUJE		BR. PROJEKTA 0982	
INVESTITOR NAMJENIK	H E P d.d. ZAGREB PRIENOSNO PODRUČJE OSJEK		
GRAJEVINA	REKONSTRUKCIJA KROVA- KOSI KROV NA UKLOPNICI		
PROJEKT	GRADEVINSKI		
VRST	PROJEKTA PROJEKTIRANO	SKALA 1:100	
VRIJEME PROJEKTA	D. ILEŠ dipl. inž. građ.		
OSI PROJEKTANT	D. ILEŠ dipl. inž. građ.		
OSI KONSTRUKTOR	D. ILEŠ dipl. inž. građ.		
DATUM	LIPANJ, 1998. LIST BR.	13	

SJEVERNA FASADA  
 PROJEKTIRANO  
 mj 1:100



KONSTRUKTOR d.d.a. OSUJE		BR. PROJEKTA 0982	
INVESTITOR NAMJENIK	H E P d.d. ZAGREB PRIENOSNO PODRUČJE OSJEK		
GRAJEVINA	REKONSTRUKCIJA KROVA- KOSI KROV NA UKLOPNICI		
PROJEKT	GRADEVINSKI		
VRST	PROJEKTA PROJEKTIRANO	SKALA 1:100	
VRIJEME PROJEKTA	D. ILEŠ dipl. inž. građ.		
OSI PROJEKTANT	D. ILEŠ dipl. inž. građ.		
OSI KONSTRUKTOR	D. ILEŠ dipl. inž. građ.		
DATUM	LIPANJ, 1998. LIST BR.	14	

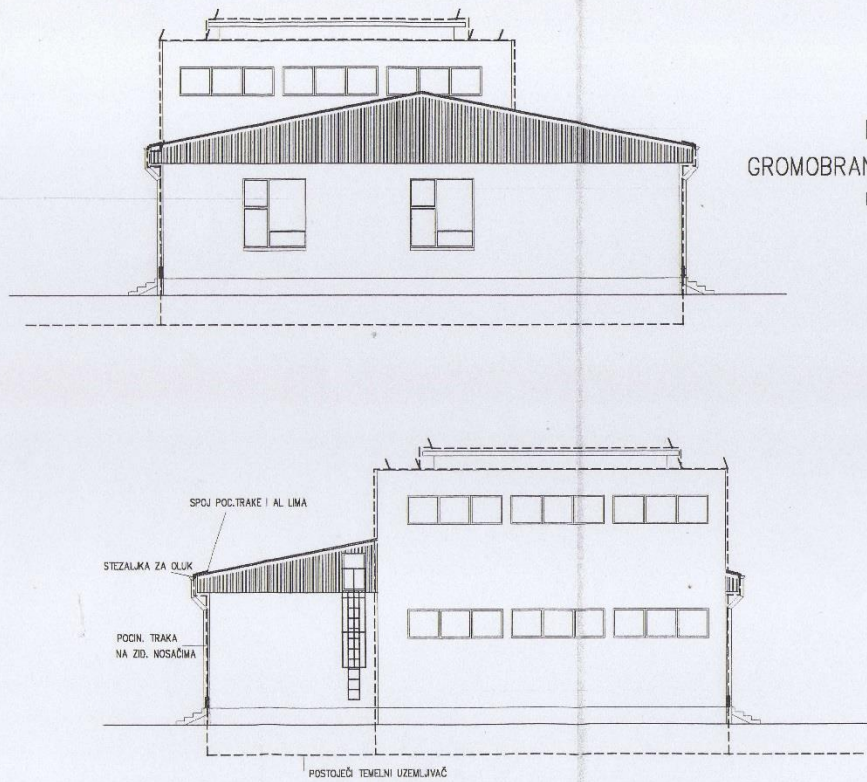


PROČELJA  
GROMOBRANSKA INSTALACIJA  
mj 1:100

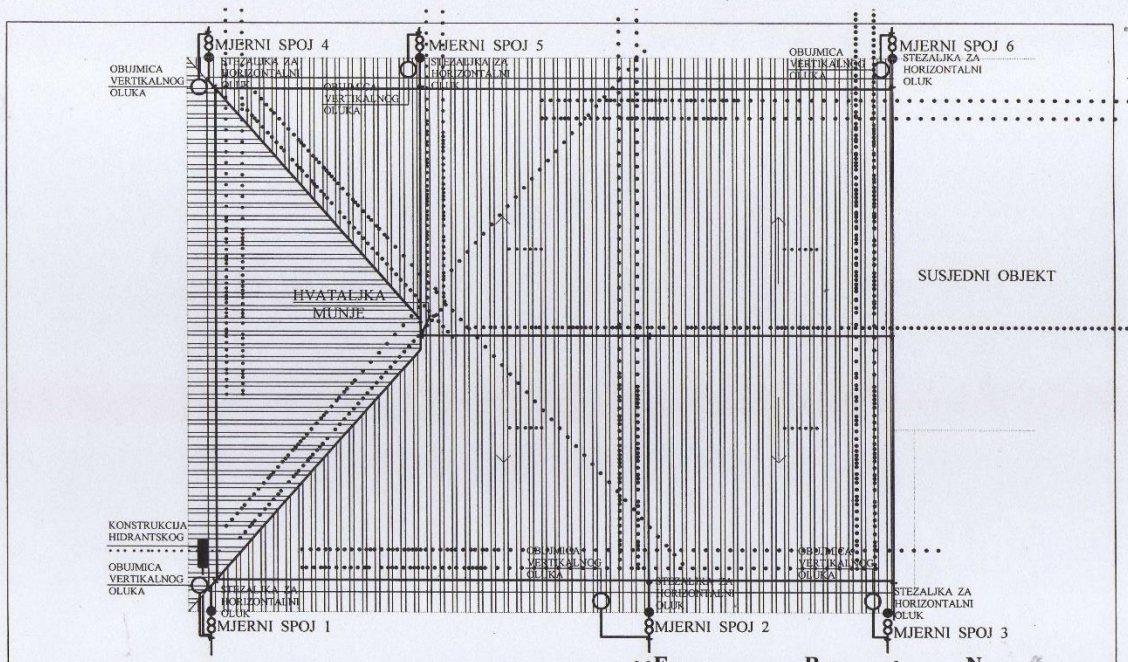


KONSTRUKTOR d.d.a. OSUŠI	BR. PROJEKTA 0892
INVESTITOR NABAVITELJ GRADIONA	H. E. P. d.d. ZAGREB PRELIMINARNO PODRUČJE OSJEK REKONSTRUKCIJA KROVA- KOB KROV NA UKLOPNIC
PROJEKT	GRADEVINSKI
VARIJETA	PROČELJA GROMOBRANSKA INSTALACIJA
VIDJETELJ PROJEKTA	D.I.E.S. dipl. inž. grad.
ODR. PROJEKTANT	D.I.E.S. dipl. inž. grad.
ODR. KONSTRUKTOR	D.I.E.S. dipl. inž. grad.
DATUM	LIPANJ, 1998. LIST BR. 15

PROČELJA  
GROMOBRANSKA INSTALACIJA  
mj 1:100



KONSTRUKTOR d.d.a. OSUŠI	BR. PROJEKTA 0892
INVESTITOR NABAVITELJ GRADIONA	H. E. P. d.d. ZAGREB PRELIMINARNO PODRUČJE OSJEK REKONSTRUKCIJA KROVA- KOB KROV NA UKLOPNIC
PROJEKT	GRADEVINSKI
VARIJETA	PROČELJA GROMOBRANSKA INSTALACIJA
VIDJETELJ PROJEKTA	D.I.E.S. dipl. inž. grad.
ODR. PROJEKTANT	D.I.E.S. dipl. inž. grad.
ODR. KONSTRUKTOR	D.I.E.S. dipl. inž. grad.
DATUM	LIPANJ, 1998. LIST BR. 16



••Elektro-Biro d.o.o. N

Projekt	IZVEDBENI ELEKTROTEHNIČKI PROJEKT		
Naziv lista			
Investitor	HRVATSKI OPERATOR PRIENOSNOG SUSTAVA ZAGREB		
Lokacija			
Projektant	PAVAO HABUDA	ing. el.	<i>Habuda</i>
Broj projekta	GTSN - IZ / 15	Z o. p.	
Datum	Kolovoz / 2015	Mj : 1 : 100	List br : GTSN - IZ / 15