

**Elaborat optimalne snage fotonaponske elektrane za  
vlastite potrebe (samoopskrba) za zgrade u sustavu Grada  
Osijeka**

# **METODOLOGIJA**

# SADRŽAJ

## **1.1 Energetski model građevine – električna energija**

- 1.1.1 Linearizacijski algoritam
- 1.1.2 Određivanje valnog oblika insolacije sunčevog zračenja i proizvodnje FN elektrane
- 1.1.3 Modelirane prosječne satne temperature
- 1.1.4 Modeliranje intenziteta korištenja sustava
- 1.1.5 Određivanje valnog oblika intenziteta potrošnje električne energije

## **1.2 Analiza strukture troškova preuzete i predane električne energije**

## **1.3 Određivanje optimalne instalirane snage fotonaponske elektrane na temelju vremena povrata investicije**

- 1.3.1 Zakonska regulativa u republici hrvatskoj
- 1.3.2 Određivanje optimalne instalirane snage fotonaponske elektrane

### **Popis tablica**

- Tablica 2.1 1 Primjer mjesečnih vrijednosti srednje temperature za lokaciju
- Tablica 2.1 2 Karakteristični koeficijenta intenziteta korištenja sustava s obzirom na radno vrijeme
- Tablica 2.2 1 Podaci koje je potrebno preuzeti iz računa
- Tablica 2.2 2 Karakteristika cijena tarifnih modela opskrbljivača električnom energijom (HEP 07.2022)
- Tablica 2.2 3 Karakteristični ekonomski parametri preuzete električne energije

### **Popis slika**

- Slika 1.1-1 Primjer nelineariziranog i lineariziranog valnog oblika potrošnje električne energije
- Slika 2.1 3 Deklinacija Zemlje i upadni kut Sunčevih zraka s obzirom na dan u godini
- Slika 2.1 4 Modeliranje satnih vrijednosti srednje temperature zraka s obzirom na klimu
- Slika 2.1 5 Dijagram određivanja valnog oblika intenziteta i potrošnje
- Slika 2.1 6 Prikaz modeliranog i baznog dijela utrošene električne energije
- Slika 2.3 1 Vizualizacija funkcije – određivanje optimalne snage fotonaponske elektrane

## 1.1 Energetski model građevine – električna energija

Energetski model građevine predstavlja model intenziteta trošenja električne energije u vremenu. Karakteriziraju ga valni oblik intenziteta potrošnje (VOIP) i razlučivost.

VOIP energetskog modela definiraju međusobni odnosi u instaliranim snagama karakterističnih skupina trošila (grijanje, hlađenje, ventilacija, rasvjeta i ostali uređaji), klimatske karakteristike lokacije te namjena građevine, odnosno intenzitet rada.

Razlučivost energetskog modela je veća što je odabrana jedinica vremena kraća. U nastavku je odabrana razlučivost energetskog modela 1 sat, odnosno svaki karakteristični podatak je prikazan kroz 8.760 točaka u godini. Što je razlučivost veća, veća je i preciznost rezultata analize.

Za određivanje valnog oblika i intenziteta potrošnje potrebni su određeni parametri koji su vezani za lokaciju građevine:

- Prosječna dozračena energija Sunčevog zračenja
- Prosječna satna temperatura
- Karakteristično radno vrijeme, odnosno način korištenja ili obilježja tehnološkog procesa

Neke od gore navedenih parametara je moguće odrediti u dovoljno velikoj rezoluciji, dok je druge potrebno modelirati iz preuzetih podataka za svaki sat. Kako bi se izbjegle nagle promjene u vrijednostima modeliranih podataka koje se mogu pojaviti na granicama vremenskih intervala u kojima su podaci prikupljeni, iste je potrebno linearizirati tako da nema skokovitih promjena na granicama intervala.

Važno je naglasiti da se modeliranje odnosi samo na valni oblik, dok se vrijednosti preuzimaju iz empirijskih podataka (očitanja potrošnje energije, srednja temperatura Državnog hidrometeorološkog zavoda, PVgis ...), odnosno ako nisu dostupne, i one se modeliraju (npr. za nove objekte).

**Prema tome, (kada su podaci dostupni) sve vrijednosti energije su u potpunosti jednake podacima preuzetim izravno iz mjerenja, računa ili službenih statistika.**

U nastavku je prikazana metodologija određivanja **valnog oblika intenziteta potrošnje električne energije**.

### 1.1.1 Linearizacijski algoritam

Linearizacijski algoritam potrebno je primijeniti kako bi se dobile satne vrijednosti preuzete električne energije i temperature na lokaciji.

Ulazne vrijednosti poput iznosa preuzete električne energije i prosječne temperature u pravilu su dostupni na mjesečnoj bazi. Stoga je te parametre potrebno prilagoditi na satne vrijednosti, prilikom čega dolazi do problema naglih promjena u vrijednostima promatranog parametra na prijelazu između dva mjeseca. Kako bi se to izbjeglo, podatke, odnosno njihov valni oblik, potrebno je linearizirati tako da se vrijednosti za svaki sat raspodijele linearno između početka i kraja promatranog razdoblja (mjeseca), odnosno da prvi iznos teži zadnjem iz prethodnog mjeseca, a zadnji prvom iz sljedećeg mjeseca. Ukupan iznos energije unutar vremenskog razdoblja (mjesec) mora ostati konstantan.

U nastavku je prikazan algoritam kojim se mogu linearizirati translatirane funkcije.



Slika 1.1-1 Primjer nelineariziranog i lineariziranog valnog oblika potrošnje električne energije

Prvi korak je analiza nelineariziranog valnog oblika funkcije, odnosno određivanje tri karakteristična parametra za svaki osnovni vremenski period (mjesec):

- $A_{min}$  - amplituda valnog oblika promatranog parametra prvog dana u mjesecu u 12 sati,
- $A_{max}$  - amplituda valnog oblika promatranog parametra zadnjeg dana u mjesecu u 12 sati,
- $\Delta_m$  - razlika između  $A_{min}$  sljedećeg mjeseca i  $A_{max}$  promatranog,

$$\Delta_m = A_{min}(m) - A_{min}(m + 1) \quad \text{Izraz ( 1.1-1 )}$$

gdje je  $m$  broj mjeseca u godini za koji vrijedi  $m > 12 \rightarrow m = 1$ .

Sljedeći korak je prva modifikacija valnog oblika nelinearizirane funkcije:

$$A_{m.n} = \Delta_m \cdot \frac{n}{max_{m.n}} \quad \text{Izraz ( 1.1-2 )}$$

gdje je:

- $A_{m.n}$  - amplituda funkcije za mjesec  $m$  na dan  $n$ ,
- $n$  - dan u mjesecu (1, 2, 3, ...),
- $max_{m.n}$  - broj dana u mjesecu, odnosno najveći  $n$ .

Gore prikazana jednačba modifikira funkciju tako što njezinu dnevnu amplitudu progresivno mijenja (povećava ili smanjuje) za faktor  $\Delta_m$  pomnožen iznosom koji se približava 1 ( $\lim_{n \rightarrow max_{m.n}} (\frac{n}{max_{m.n}}) = 1$ ). Zato što je  $\Delta_m$  razlika između početne vrijednosti sljedećeg mjeseca i zadnje vrijednosti promatranog, rezultat modifikacije je izjednačavanje te dvije vrijednosti, odnosno linearno modifikiranje svih vrijednosti koje im prethode.

### 1.1.2 Određivanje valnog oblika insolacije sunčevog zračenja i proizvodnje FN elektrane

U nastavku je prikazan postupak proračuna razine sunčeve insolacije *clear sky* ( $W/m^2$ ) za sve sate u godini primjenom matematičkog modela te prilagođavanje proračunatih vrijednosti s pomoću faktora utjecaja klime (temperatura, oblačnost, brzina vjetrova, ...) te utjecaja položaja FN panela, odnosno nagiba i orijentacije. Primjenom prethodno navedenih koraka, moguće je odrediti proizvodnju FN elektrane za svaki sat u godini te tako kreirati matricu  $365 \times 24$  s jediničnim vrijednostima proizvodnje izraženim u kWh.

Potrebno je odrediti osnovnu geometriju prijenosa sunčeve energije. Zemlja se okreće oko Sunca u eliptičnoj putanji frekvencijom  $1/365,25$  okretaja na dan. Naravno, kalendarska godina ima 365 ili 366

dana te se svake četiri godine uzima korekcija od jednog dana (29. veljače). Međutim, dogovorno se može uzeti u računima da godina traje 365 dana. Udaljenost Zemlje od Sunca mijenja se tijekom godine približno prema izrazu:

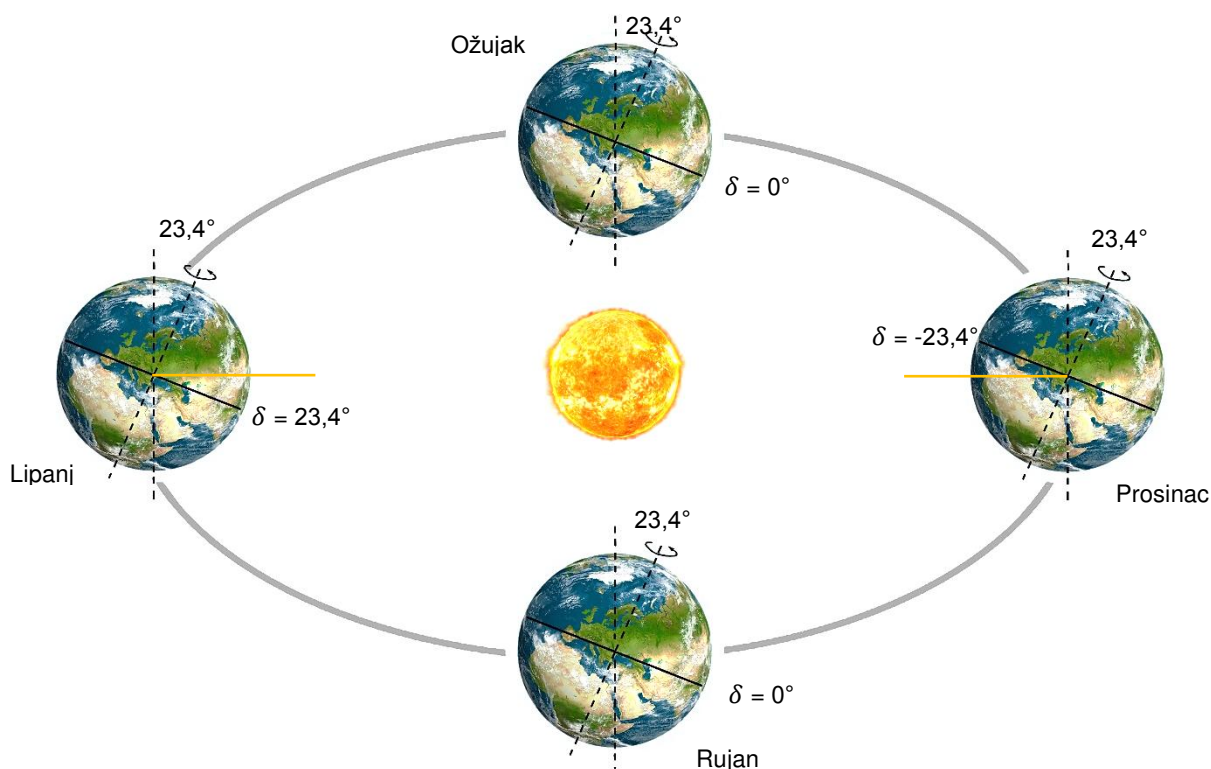
$$l = 1,5 \cdot 10^8 \left[ 1 + 0,017 \sin \left( \frac{365(n - 93)}{365} \right) \right] \quad \text{Izraz ( 1.1-3 )}$$

gdje je

- $n$  - redni broj dana u godini (za 1. siječnja  $n = 1$ ).

Pored rotacije oko Sunca, Zemlja se vrti i oko zamišljene osi koja se u kraćem vremenskom periodu uzima stalnom u odnosu na zvijezde stajačice. Os vrtnje Zemlje (polarna os) sječe ekliptičku ravninu u kojoj Zemlja kruži oko Sunca pod kutom od  $23,45^\circ$ . Ravnina koja okomito sječe polarnu os naziva se ekvatorijalna ravnina. Kao i polarna ravnina, ekvatorijalna ravnina je nepromjenljivog položaja prema nepomičnim zvijezdama. Kut između spojnice Zemlja-Sunce i ekvatorijalne ravnine naziva se *solarna deklinacija (nagib sunca)*. Zbog velike udaljenosti Zemlje od Sunca u odnosu na polumjer Sunca, može se uzeti da zrake sunca upadaju paralelno na sunčanu stranu zemaljske kugle. Deklinacija se približno može odrediti iz izraza:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left( \frac{360(n - 80)}{365} \right) \quad \text{Izraz ( 1.1-4 )}$$



Slika 1.1-2 Deklinacija Zemlje i upadni kut Sunčevih zraka s obzirom na dan u godini

S pomoću vrijednosti Zemljine deklinacije i podatka o geografskoj širini promatrane lokacije, moguće je odrediti upadni kut sunčevih zraka na vodoravnu površinu prema izrazu:

$$\alpha = \arcsin(\sin(\rho) \cdot \sin(\delta) + \cos(\rho) \cdot \cos(\delta)) \quad \text{Izraz ( 1.1-5 )}$$

gdje je :

- $\rho$  - geografska širina promatranog područja [°]

Duljina trajanja sunčevog zračenja, odnosno duljina dana može se odrediti prema izrazu:

$$t_{dan} = \frac{720 + \left( A = \pi r^2 \cdot 4 \cdot \arccos \left( \frac{-1 \cdot \sin(\rho) \cdot \sin(\delta) - 0,0145433}{\cos(\rho) \cdot \cos(\delta)} \right) \right)}{60} - \frac{720 - \left( 4 \cdot \arccos \left( \frac{-1 \cdot \sin(\rho) \cdot \sin(\delta) - 0,0145433}{\cos(\rho) \cdot \cos(\delta)} \right) \right)}{60} \quad \text{Izraz ( 1.1-6 )}$$

Prilikom prolaska sunčevog zračenja kroz atmosferu, dolazi do refleksije i apsorpcije određene količine sunčeve energije. Tijekom godine, debljina atmosfere kroz koju sunčeve zrake moraju proći se mijenja te se za svaki dan u godini može odrediti prema izrazu:

$$AM = \sqrt{[707,888 \cdot \cos(90 - \alpha)]^2 + 2 \cdot 707,888 + 1} - (707,888 \cdot \cos(90 - \alpha)) \quad \text{Izraz ( 1.1-7 )}$$

gdje je  $AM$  realni broj između 1 i  $\infty$ .

Snaga sunčeve insolacije u  $W/m^2$  za *clear sky* računa se prema izrazu:

$$P_{SOL} = \frac{t_{dan}}{12} \cdot 1,353 \cdot 0,7 AM^{0,678} \quad \text{Izraz ( 1.1-8 )}$$

Dozračena sunčeva energija po kvadratnom metru jednaka je sumarnoj količini energije dozračene pod svim stupnjevima od  $0^\circ$  do  $180^\circ$  na promatranu površinu. Može se odrediti s pomoću sljedećeg algoritma:

$$E_{insol(n)} = \sum_0^k IF(\arcsin(\sin(\rho) \sin(\delta) + \cos(\rho) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(k)) > 0$$

$$\frac{t_{dan}}{12} \cdot 2 \cdot 1,353 \cdot 0,7 \left( \frac{1}{(\arcsin(\sin(\rho) \sin(\delta) + \cos(\rho) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(k))} \right)^{0,678} \quad \text{Izraz ( 1.1-9 )}$$

gdje je

- $k \in [0,180]$
- $E_{insol(n)}$  - iznos dozračene sučeve energije na površini  $1 \text{ m}^2$  za sat "n" u danu

Kako bi se odredila proizvodnja električne energije fotonaponske elektrane (kWh/kWp), gore prikazani valni oblik dozračene sunčeve energije potrebno je translirati s podacima preuzetim s „*Photovoltaic Geographical Information System*“ (PVGis) za promatranu lokaciju koji su bazirani na projekcijama stvarnih mjerenja.

$$E_{FN-1(n)} = \frac{E_{(PVGis)}}{N_m} \cdot \frac{E_{insol(n)}}{E_{insol(max)}} \quad \text{Izraz ( 1.1-10 )}$$

gdje je

- $E_{FN-1(n)}$  iznos proizvodnje el. energije FN elektrane za 1 kWp instalirane snage,  $n \in (1 - 8.760)$  (kWp/kWh)
- $\frac{E_{(PVGis)}}{N_m}$  omjer mjesečne proizvodnje el. energije FN postrojenja instalirane snage 1 kWp i broja dana u promatranom mjesecu. Podaci preuzeti sa PVgis.
- $\frac{E_{insol(n)}}{E_{insol(max)}}$  postotak trenutne insolirane energije s obzirom na maksimalnu (%) – intenzitet proizvodnje.

Konačnu proizvodnju električne energije  $E_{FN(n)}$  (kWh) fotonaponske elektrane za svaki sat  $n$  može se odrediti s pomoću sljedećeg izraza:

$$E_{FN(n)} = E_{FN-1(n)} \cdot P_{FN} \quad \text{Izraz ( 1.1-11 )}$$

gdje je

- $P_{FN}$  - instalirana snaga fotonaponske elektrane DC (kWp)

### 1.1.3 Modelirane prosječne satne temperature

Osnovne mjesečne temperaturne karakteristike (srednja temperatura) za lokaciju su preuzete sa stranica Državnog hidrometeorološkog zavoda.

Osijek   mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Srednja [°C]	-0,6	1,3	6,3	11,6	16,6	19,9	21,7	21	16,7	11,3	5,8	1,4

Tablica 1.1-1 Primjer mjesečnih vrijednosti srednje temperature za lokaciju

Algoritam za modeliranje prosječnih satnih vrijednosti temperature translira te prilagođava empirijske mjesečne vrijednosti temperature za svaki sat u godini. Pri tome su uzete u obzir satne vrijednosti intenziteta insolacije sunčeve energije te klimatske karakteristike. Klimatski faktori su određeni za kontinent i primorje na način da su pri projekciji vrijednosti za kontinentalne lokacije omogućene veće fluktuacije u temperaturi s obzirom na primorske lokacije, što odgovara stvarnim klimatskim pokazateljima. Također, pri određivanju izmjene temperature zraka korišten je parametar srednjeg toplinskog kapaciteta zraka, odnosno mogućnosti utjecaja pohranjene topline na promjenu temperature unutar jednog sata.

Potrebno je odrediti postotnu vrijednost intenziteta insolacije unutar svakog dana prema sljedećem izrazu:

$$E_{insol}(n)\% = \frac{E_{insol}(n)}{\sum_n^{n_{max}} E_{insol}(n)} \quad \text{Izraz ( 1.1-12 )}$$

gdje je:

- $E_{insol}(n)\%$  - postotni iznos količine insolirane energije za sat  $n$  unutar dana,
- $E_{insol}(n)$  - iznos količine insolirane energije za sat  $n$  unutar dana (kWh),
- $\sum_n^{n_{max}} E_{insol}(n)$  - ukupna insolirana energija za sve sate u danu (kWh).

Prvi korak je određivanje valnog oblika srednje satne vrijednosti temperature na lokaciji. Za prvi sat prvog dana u mjesecu potrebno je odrediti iznos amplitude valnog oblika satne temperature (relativna vrijednost):

$$T_s(n) = (T_s(m) * 0,5) + (T_s(m + 1) - T_s(m)) \quad \text{Izraz ( 1.1-13 )}$$

gdje je:

- $T_s(n)$  - amplituda valnog oblika satne temperature za promatrani sat  $n$ ,
- $T_s(m)$  - iznos prosječne mjesečne temperature na lokaciji za promatrani mjesec  $m$ .

Ovaj podatak je osnova za proračun vrijednosti za sljedeći sat, odnosno temperatura u sljedećem satu određena je promjenom početne temperature koja će se dogoditi uslijed utjecaja sunčevog zračenja, modela klime na lokaciji te razlici između prosječne srednje temperature promatranog i sljedećeg mjeseca. Proračun amplitude valnog oblika za svaki sljedeći sat moguće je odrediti prema sljedećim izrazima ovisno o promjeni u intenzitetu sunčevog zračenja za taj sat.

Za sate kada je insolirana energija jednaka nuli, iznos amplitude valnog oblika može se odrediti prema izrazu:

$$T_s(n) = T_s(n - 1) - (|T_s(n - 1)| \cdot C_{TZ}) + (T_s(m + 1) - T_s(m)) \quad \text{Izraz ( 1.1-14 )}$$

gdje je:

- $C_{TZ}$  - koeficijent toplinskog kapaciteta zraka (%), opisuje postotak mogućnosti pohrane energije u zraku. Iznosi 0,05 %.

Za sate kada je  $E_{insol}(n-1)\% \leq E_{insol}(n)\%$ , odnosno kada se unutar promatranog sata ostvaruje povećanje temperature zbog povećane insolacije:

$$T_s(n) = T_s(n-1) + (|T_s(n-1)| \cdot E_{insol}(n)\%) + (T_s(m+1) - T_s(m)) \quad \text{Izraz ( 1.1-15 )}$$

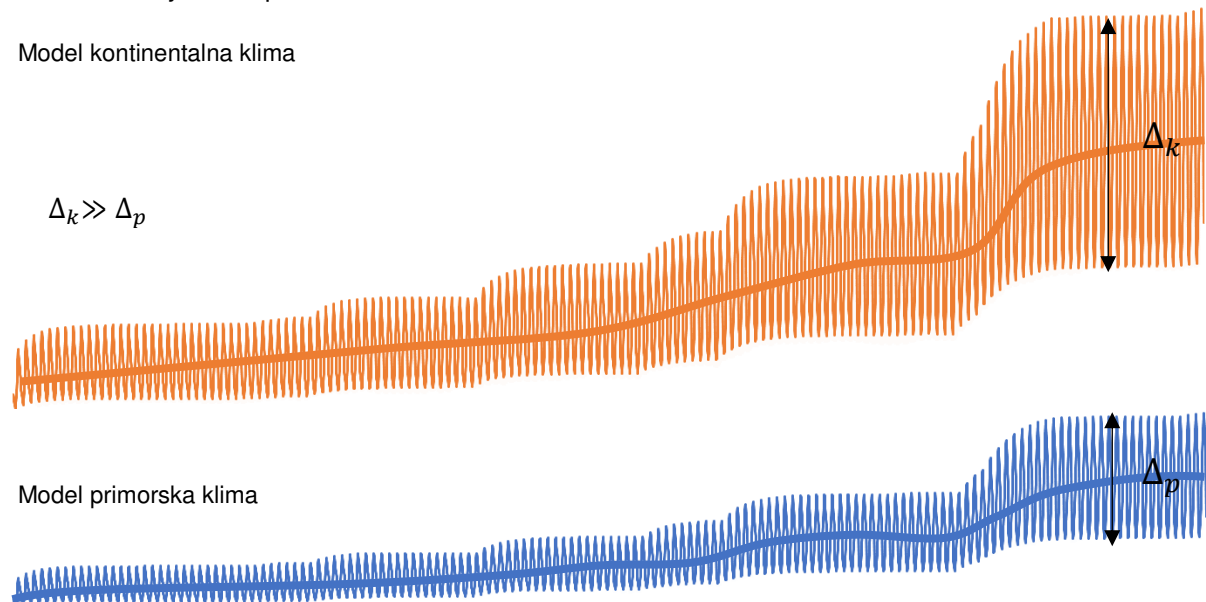
Za sate kada je  $E_{insol}(n-1)\% > E_{insol}(n)\%$ , odnosno kada nema sunčevog doprinosa i dolazi do rashlađivanja:

$$T_s(n) = T_s(n-1) - (|T_s(n-1)| \cdot C_{TZ}) + K_k \cdot E_{insol}(n)\% + (T_s(m+1) - T_s(m)) \quad \text{Izraz ( 1.1-16 )}$$

gdje je:

$K_k$  - klimatski koeficijent pohrane energije (inercije sustava). Za kontinentalnu klimu ovaj koeficijent iznosi 1,5, a za primorsku 1.

Koeficijent  $K_k$  prilagođava oscilacije valnog oblika klimatskim uvjetima. Primorska klima ima manje satne oscilacije u temperaturi od kontinentalne.



Slika 1.1-3 Modeliranje satnih vrijednosti srednje temperature zraka s obzirom na klimu

Nakon što je određen valni oblik srednje temperature zraka za svaki sat u godini, potrebno je na njega translirati stvarne vrijednosti temperature, odnosno prilagoditi njegovu amplitudu sukladno podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda o srednjoj mjesečnoj temperaturi zraka za promatranu lokaciju, s pomoću sljedećeg izraza:

$$T(n) = T_{(m)} \cdot \left| \frac{T_s(n)}{\sum_{n=1}^{24} T_s(n)} \right| \quad \text{Izraz ( 1.1-17 )}$$

gdje je

- $T(n)$  - iznos temperature zraka za sat  $n \in (1 - 8.760)$  (°C)

Kako bi se dobili konačni iznosi srednje satne temperature, potrebno je primijeniti prethodno opisan linearizacijski algoritam.



### 1.1.4 Modeliranje intenziteta korištenja sustava

Električni potrošači podijeljeni su u četiri skupine, odnosno potrebno je odrediti:

- $I_{g(n)}$  - intenzitet rada sustava grijanja (%),
- $I_{h(n)}$  - intenzitet rada sustava hlađenja (%),
- $I_{uv(n)}$  - intenzitet rada uređaja i ventilacije (%),
- $I_{r(n)}$  - intenzitet rada sustava rasvjete (%).

Gore navedene skupine određene su u postotnom iznosu za svaki sat.

Intenzitet rada sustava grijanja moguće je modelirati prema sljedećem algoritmu:

$$\begin{aligned} &IF( \max(T_{(d)}) \geq T_g \\ &I_{g(n)}' = 0 \\ &ELSE \\ &I_{g(n)}' = \frac{T_g - T_{(n)}}{T_g} \end{aligned} \quad \text{Izraz ( 1.1-18 )}$$

gdje je:

- $I_{g(n)}'$  - koeficijent intenziteta rada sustava grijanja u satu  $n$  (%) – parcijalni
- $T_g$  - temperatura ispod koje počinje funkcionirati sustav grijanja (15 °C)
- $\max(T_{(d)})$  - najviša temperatura u promatranom danu (°C)

Kako bi koeficijent  $I_{g(n)}'$  bio usporediv s ostalim koeficijentima (hlađenje, rasvjeta, uređaji i ventilacija), potrebno je njegove vrijednosti transformirati tako da maksimalna vrijednost bude 1 (100 %), odnosno sve druge vrijednosti u odnosu prema njoj prema sljedećem izrazu:

$$I_{g(n)} = \frac{I_{g(n)}'}{\max(I_g')} \quad \text{Izraz ( 1.1-19 )}$$

gdje je:

- $I_{g(n)}$  - koeficijent intenziteta rada sustava grijanja u satu  $n$  (%) – konačni,
- $\max(I_g')$  - najveći iznos  $I_{g(n)}'$  za sve dane u godini (%).

Intenzitet rada sustava hlađenja moguće je modelirati prema sljedećem algoritmu:

$$\begin{aligned} &IF( \max(T_{(d)}) \leq T_h \\ &I_{h(n)}' = 0 \\ &ELSE \\ &I_{h(n)}' = \frac{T_{(n)} - T_h}{T_h} \end{aligned} \quad \text{Izraz ( 1.1-20 )}$$

gdje je:

- $I_{h(n)}'$  - koeficijent intenziteta rada sustava hlađenja u satu  $n$  (%) – parcijalni,
- $T_h$  - temperatura iznad koje počinje funkcionirati sustav hlađenja (25 °C),
- $\max(T_{(d)})$  - najviša temperatura u promatranom danu (°C).

Kako bi koeficijent  $I_{h(n)}'$  bio usporediv s ostalim koeficijentima (grijanje, rasvjeta, uređaji i ventilacija), potrebno je njegove vrijednosti transformirati tako da maksimalna vrijednost bude 1 (100 %), odnosno sve druge vrijednosti u odnosu prema njoj prema sljedećem izrazu:

$$I_{h(n)} = \frac{I_{h(n)'}}{\max(I_h')} \quad \text{Izraz ( 1.1-21 )}$$

gdje je:

- $I_{h(n)}$  - koeficijent intenziteta rada sustava hlađenja u satu  $n$  (%) – konačni,
- $\max(I_h')$  - najveći iznos  $I_{h(n)'}$  za sve dane u godini (%).

Koeficijent intenziteta rada uređaja i ventilacije određen je empirijskim parametrima prikazanim u nastavku. S obzirom na radno vrijeme, određene su četiri osnovne karakteristike sustava. Rad 8 sati (jedna smjena), 16 sati (dvije smjene), 24 sata (tri smjene), te stanovanje. Karakteristične vrijednosti intenziteta prikazane su za svaki sat za radne i neradne dane u nastavku.

Sat	radni stanovanje	radni rad 8h	radni rad 16h	radni rad 24h	neradni stanovanje	neradni rad 8h	neradni rad 16h	neradni rad 24h
1	0,6	0,4	0,4	1	0,6	0,4	0,4	0,4
2	0,5	0,4	0,4	1	0,5	0,4	0,4	0,4
3	0,5	0,4	0,4	0,8	0,5	0,4	0,4	0,4
4	0,5	0,4	0,4	1	0,5	0,4	0,4	0,4
5	0,6	0,4	0,4	1	0,6	0,4	0,4	0,4
6	0,7	0,4	0,4	1	0,6	0,4	0,4	0,4
7	0,8	0,4	1	1	0,6	0,4	0,4	0,4
8	0,9	1	1	1	0,7	0,4	0,4	0,4
9	0,8	1	1	1	0,8	0,4	0,4	0,4
10	0,7	1	1	1	0,8	0,4	0,4	0,4
11	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,4	0,4	0,4
12	0,8	1	1	1	0,8	0,4	0,4	0,4
13	0,9	1	1	1	0,9	0,4	0,4	0,4
14	0,8	1	1	1	1	0,4	0,4	0,4
15	0,8	1	0,9	1	1	0,4	0,4	0,4
16	0,8	0,8	1	1	0,9	0,4	0,4	0,4
17	0,9	0,4	1	1	0,9	0,4	0,4	0,4
18	1	0,4	1	1	1	0,4	0,4	0,4
19	1	0,4	0,8	0,8	1	0,4	0,4	0,4
20	1	0,4	1	1	1	0,4	0,4	0,4
21	0,9	0,4	1	1	1	0,4	0,4	0,4
22	0,9	0,4	1	1	1	0,4	0,4	0,4
23	0,8	0,4	1	1	0,9	0,4	0,4	0,4
24	0,7	0,4	0,4	1	0,8	0,4	0,4	0,4

Tablica 1.1-2 Karakteristični koeficijenta intenziteta korištenja sustava s obzirom na radno vrijeme

Potrebno je formirati ( $I_{uv(n)}$ ) intenzitet rada uređaja i ventilacije za svaki sat prema gore prikazanim vrijednostima s obzirom na tip sustava i vrijeme.

Intenzitet rada sustava rasvjete  $I_{r(n)}$  ovisi o inverznoj razini intenziteta danjeg svjetla i načinu korištenja objekta te se može odrediti prema sljedećem izrazu:

$$I_{r(n)} = \left( 1 - \left( \frac{E(\text{insol}(n))}{\max(E(\text{insol}))} \right) \right) \cdot I_{uv(n)} \quad \text{Izraz ( 1.1-22 )}$$

gdje je:

- $I_{r(n)}$  - intenzitet rada sustava rasvjete (%),
- $1 - \left( \frac{E(\text{insol}(n))}{\max(E(\text{insol}))} \right)$  - inverzna razina intenziteta danjeg svjetla (%),
- $I_{uv(n)}$  - koeficijent intenziteta rada uređaja i ventilacije (%).

Intenzitet rada cjelokupnog sustava jednak je prosjeku gore navedenih intenziteta te ga je moguće odrediti izrazom:

$$I_{S(n)} = \frac{I_{g(n)} + I_{h(n)} + I_{uv(n)} + I_{r(n)}}{4}$$

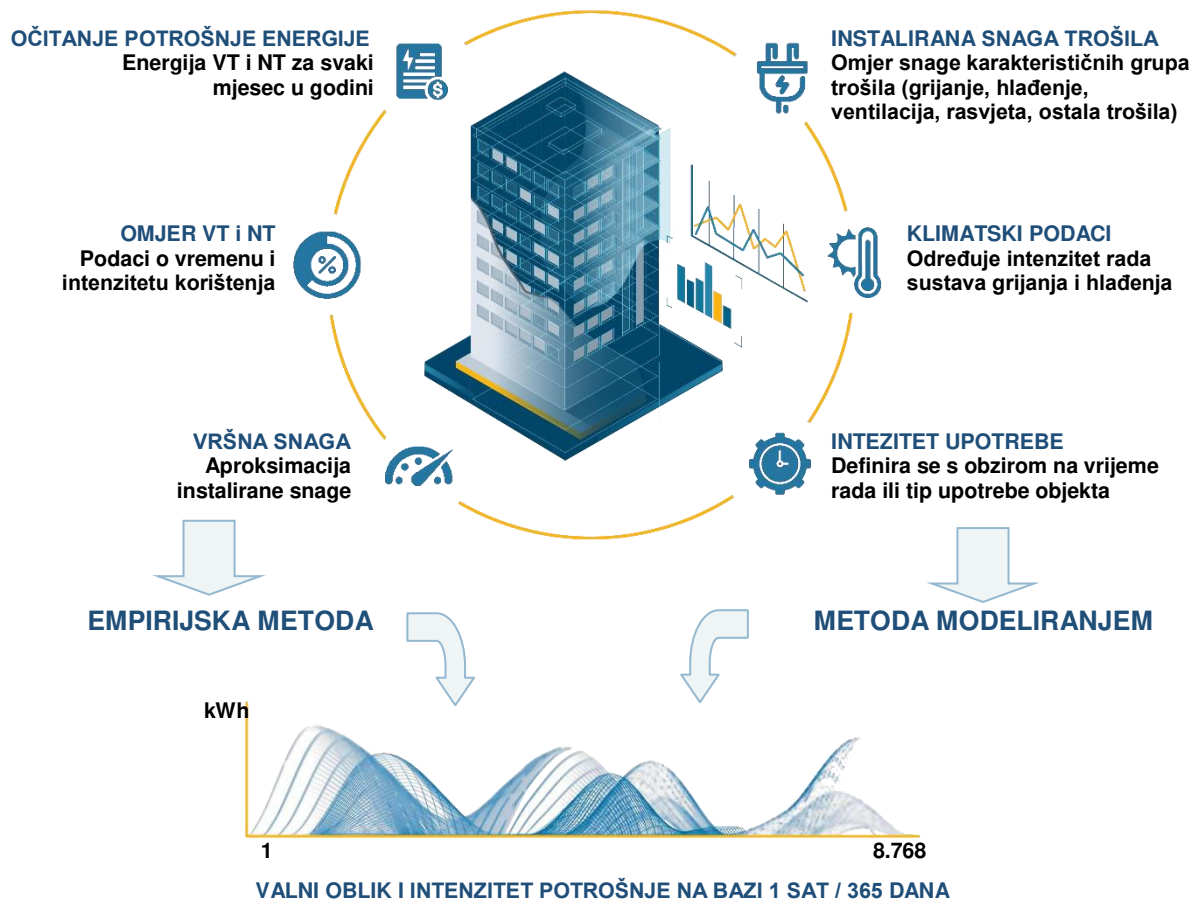
Izraz ( 1.1-23 )

gdje je

- $I_{S(n)}$  - intenzitet rada cjelokupnog sustava za sat  $n$  (%).

### 1.1.5 Određivanje valnog oblika intenziteta potrošnje električne energije

S obzirom na dostupne podatke, valni oblik intenziteta potrošnje (VOIP) moguće je odrediti na dva načina. U slučaju određivanja VOIP-a za već postojeću građevinu za koju postoje podaci o potrošnji (potrošnja energije za vrijeme više i niže tarife na razini mjeseca), moguće je primijeniti empirijsku metodu. U slučaju kada ti podaci nisu dostupni, VOIP je potrebno modelirati prema vršnim snagama karakterističnih skupina trošila.



Slika 1.1-4 Dijagram određivanja valnog oblika intenziteta i potrošnje

#### Empirijska metoda

Cilj ove metode je povećati razlučivost očitavanja potrošnje električne energije snimljenih na mjesečnoj razini, odnosno translacija istih na svaki sat u godini.

Za određivanje VOIP-a empirijskom metodom, potrebni su podaci o utrošenoj električnoj energiji za vrijeme više (VT) i niže (NT) tarife za svaki mjesec u godini. Iz tih podataka, moguće je odrediti promjenu intenziteta potrošnje kroz mjesec u godini koji korespondiraju promjenama klimatskih faktora, odnosno intenzitetu rada sustava grijanja i hlađenja te intenzitetu potrošnje tijekom godine s obzirom na samu funkciju objekta.

Također, iz omjera utrošene električne energije više i niže tarife, moguće je procijeniti baznu snagu uređaja koja je manje-više konstantna te dinamički dio snage koji ovisi o namjeni objekta i navikama korisnika.

Nakon povećanja razlučivosti na satnu razinu, potrebna je linalizacija VOIP-a kako ne bi postojale značajne razlike u vrijednostima utrošene energije između posljednjeg dana prethodnog i prvog dana promatranog mjeseca, odnosno bilo koja dva uzastopna dana modela VOIP-a.

Potrebno je odrediti prosječni satni iznos utrošene električne energije u višoj i nižoj tarifi te njihovu razliku. Proračun je potrebno obaviti za svaki mjesec u godini:

$$E_{VT\ avr(m)} = \frac{E_{VT}}{D_m \cdot 24} \quad \text{Izraz ( 1.1-24 )}$$

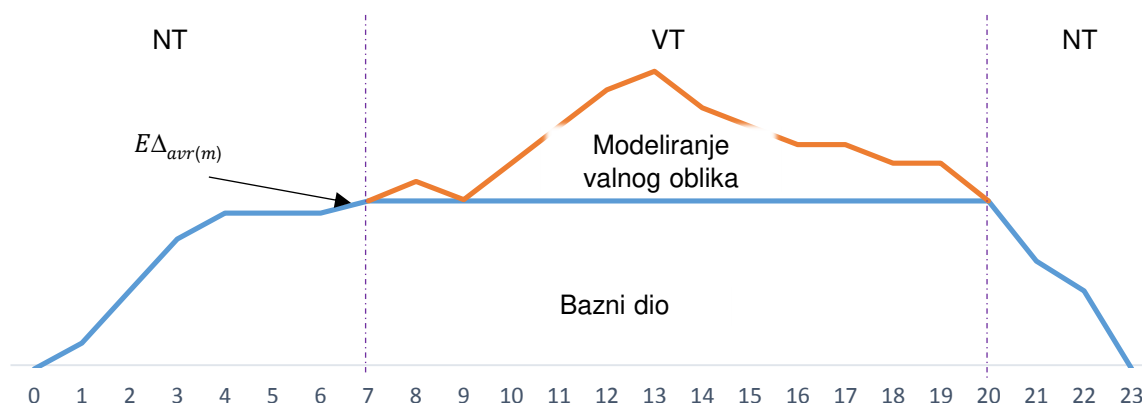
$$E_{NT\ avr(m)} = \frac{E_{NT}}{D_m \cdot 24} \quad \text{Izraz ( 1.1-25 )}$$

$$E\Delta_{avr(m)} = E_{VT\ avr} - E_{NT\ avr} \quad \text{Izraz ( 1.1-26 )}$$

gdje je

- $E_{VT\ avr(m)}$  - prosječni satni iznos utrošene električne energije u višoj tarifi (kWh),
- $E_{NT\ avr(m)}$  - prosječni satni iznos utrošene električne energije u nižoj tarifi (kWh),
- $E\Delta_{avr(m)}$  - razlika utrošene energije više i niže tarife (kWh).

Gore prikazane podatke potrebno je odrediti za svaki mjesec.



Slika 1.1-5 Prikaz modeliranog i baznog dijela utrošene električne energije

Nadalje, potrebno je odrediti ukupno utrošenu električnu energiju u godini  $E_{p(g)}$  prema sljedećem izrazu:

$$E_{p(g)} = \sum_1^{12} E_{VT(m)} + E_{NT(m)} \quad \text{Izraz ( 1.1-27 )}$$

Zatim je moguće odrediti valni oblik preuzete električne energije za svaki sat:

$$E_{p(n)}' = (E_{NT\ avr(m)} + I_{S(n)} \cdot E\Delta_{avr(m)}) \cdot \frac{E_{p(g)}}{\sum_{n=1}^{8760} (E_{NT\ avr(m)} + I_{S(n)} \cdot E\Delta_{avr(m)})} \quad \text{Izraz ( 1.1-28 )}$$

gdje je

- $E_{p(n)}'$  - valni oblik preuzete električne energije u satu  $n \in (1 - 8.760)$  (kWh).

$E_{p(n)}'$  je izražen u kWh te ukupna suma svih vrijednosti je jednaka empirijskoj, ali ne ocrta stvarne vrijednosti utrošene električne energije u vremenu.

Gore prikazana jednadžba preuzima linearizirani valni oblik intenziteta rada cjelokupnog sustava  $I_{S(n)}$ , odnosno na iznos bazne potrošnje  $E_{NT\ avr(m)}$  dodaje valni oblik  $I_{S(n)}$  čija amplituda je modificirana omjerom između potrošnje više i niže tarife  $E\Delta_{avr(m)}$ . Zatim, amplitudu novonastale funkcije modificira tako da godišnji zbroj svih satnih vrijednosti odgovara godišnjoj količini utrošene energije

$$\frac{E_{p(g)}}{\sum_{n=1}^{8760} (E_{NT\ avr(m)} + I_{S(n)} \cdot E\Delta_{avr(m)})}$$

Tako nastali valni oblik može se smatrati jednom od dvije komponente konačnog valnog oblika intenziteta potrošnje električne energije. Drugi valni oblik predstavlja mjesečne promjene u intenzitetu potrošnje za vrijeme više, odnosno niže tarife. Njega je moguće odrediti sljedećim algoritmom:

$$E'_{VT(m)} = \sum_{n=1}^{8760} E_{p(n)}' \quad \text{za sve } (n = nVT) \quad \text{Izraz ( 1.1-29 )}$$

$$E'_{NT(m)} = \sum_{n=1}^{8760} E_{p(n)}' \quad \text{za sve } (n = nNT) \quad \text{Izraz ( 1.1-30 )}$$

gdje je

- $E'_{VT(m)}$  - valni oblik potrošnje električne energije za vrijeme više tarife na mjesečnoj razini (kWh),
- $E'_{NT(m)}$  - valni oblik potrošnje električne energije za vrijeme niže tarife na mjesečnoj razini (kWh).

Interpolacijom gore prikazanih komponenti može se odrediti konačni valni oblik intenziteta potrošnje električne energije za svaki sat u godini  $E_{p(n)}$  (kWh) prema sljedećem izrazu:

$$E_{p(n)} = E_{p(n)}' \cdot \frac{E_{VT(m)}}{E'_{VT(m)}} \quad \text{za sve } (n = nVT)$$

$$E_{p(n)} = E_{p(n)}' \cdot \frac{E_{NT(m)}}{E'_{NT(m)}} \quad \text{za sve } (n = nNT) \quad \text{Izraz ( 1.1-31 )}$$

gdje je

- $E_{VT(m)}$  - empirijska vrijednost utrošene električne energije u mjesecu  $m$  za vrijeme više tarife (podaci preuzeti iz računa o preuzetoj el. energiji) (kWh),
- $E_{NT(m)}$  - empirijska vrijednost utrošene električne energije u mjesecu  $m$  za vrijeme niže tarife (podaci preuzeti iz računa o preuzetoj el. energiji) (kWh).

Omjer  $\frac{E_{NT(m)}}{E'_{NT(m)}}$  modificira amplitudu  $E_{p(n)}'$  na mjesečnoj razini, odnosno prilagođava je stvarnom iznosu.

**Konačni rezultat je linearizirani (na bazi mjeseca) valni oblik intenziteta potrošnje električne energije za svaki sat u godini koji ocrta promjene intenziteta rada trošila s obzirom na temperaturne i klimatske karakteristike lokacije, vrijeme rada organizacijske cjeline, intenzitet rada trošila rasvjete s obzirom na promjene u intenzitetu sunčevog svjetla tijekom dana, odnosno godine te stvarne (mjerene) odnose između energija utrošenih za vrijeme više i niže tarife, također čije mjesečne sume u potpunosti odgovaraju stvarnim vrijednostima mjesečne potrošnje više i niže tarife preuzete iz računa o utrošenoj električnoj energiji.**

**Metoda modeliranjem**

Određivanje valnog oblika intenziteta potrošnje modeliranjem koristi se kada nisu dostupni podaci o potrošnji električne energije. Električni potrošači su podijeljeni u četiri skupine, odnosno potrebno je odrediti:

- $P_g$  - instalirana snaga sustava grijanja (kW),
- $P_h$  - instalirana snaga sustava hlađenja (kW),
- $P_{uv}$  - instalirana snaga uređaja i ventilacije (kW),
- $P_r$  - instalirana snaga sustava rasvjete (kW).

Također, potrebno je procijeniti godišnju potrošnju električne energije za cijeli sustav  $E_{p(g)}$  (kWh).

Valni oblik intenziteta potrošnje prema modeliranoj metodi može se odrediti sljedećim izrazom:

$$E_{p(n)} = \frac{E_{p(g)}}{\sum_{n=1}^{8760} (P_g \cdot I_{g(n)} + P_h \cdot I_{h(n)} + P_{uv} \cdot I_{uv(n)} + P_r \cdot I_{r(n)})} \quad \text{Izraz ( 1.1-32 )}$$

gdje je

- $E_{p(n)}$  - preuzeta električna energija u satu  $n \in (1 - 8.760)$  (kWh).

## 1.2 Analiza strukture troškova preuzete i predane električne energije

Cilj je kreiranje modela troška za preuzetu energiju baziranog na podacima o potrošnji električne energije iz prošlog razdoblja (12 mjeseci) i trenutačnim cijenama na tržištu električne energije kako bi se izradila što točnija projekcija u budućem razdoblju.

Analiza i određivanje ekonomskih karakteristika utrošene energije za dvanaest mjeseci u godini je prikazana u nastavku. Analiza se bazira na podacima preuzetim iz računa za kupljenu električnu energiju.

Potrebno je prikupiti sljedeće podatke:

Tarifni model	Jedan od HEP-ovih modela (CRNI, BIJELI, PLAVI, CRVENI, ŽUTI)
Kategorija kupca	Kućanstvo ili poduzetništvo
Naponska razina priključka	NN, SN ili VN
Energija $C_{JT}$ (kn)	Trošak za energiju utrošenu u jedinstvenoj tarifi
Energija $C_{VT}$ (kn)	Trošak za energiju utrošenu u višoj tarifi
Energija $C_{NT}$ (kn)	Trošak za energiju utrošenu u nižoj tarifi

Tablica 1.2-1 Podaci koje je potrebno preuzeti iz računa

Cijenu električne energije je potrebno sinkronizirati s trenutačnim vrijednostima na tržištu, odnosno cijenama HEP grupe. U nastavku je prikazana tablica s jediničnim cijenama s kojima je izvršen proračun.

Sukladno pravilima HEP-a, viša tarifa se obračunava 14 sati dnevno, odnosno cca 420 sati mjesečno, a niža tarifa 10 sati dnevno, odnosno cca 300 sati mjesečno.

- zimsko računanje vremena: VT od 7 do 21 sat, NT od 21 do 7 sati,
- ljetno računanje vremena: VT od 8 do 22 sata, NT od 22 do 8 sati.

Potrebno je odrediti sljedeće parametre:

$$C_{VT(n)} = E_{p(n)} \cdot JC_{VT} \quad \text{Izraz ( 1.2-1 )} \quad C_{NT(n)} = E_{p(n)} \cdot JC_{NT} \quad \text{Izraz ( 1.2-2 )}$$

$$C_{TPUEE(n)} = E_{p(n)} \cdot JC_{TPUEE} \quad \text{Izraz ( 1.2-3 )} \quad C_{OIEiK(n)} = E_{p(n)} \cdot JC_{OIEiK} \quad \text{Izraz ( 1.2-4 )}$$

$$C_{NOMM}(n) = \frac{C_{NOMM}}{\sum_n^{n,m} n} \quad \text{Izraz ( 1.2-5)}$$

gdje je:

- $C_{VT}(n)$  - ukupni trošak za preuzetu električnu energiju unutar sata za vrijeme više tarife (kn),
- $C_{NT}(n)$  - ukupni trošak za preuzetu električnu energiju unutar sata za vrijeme niže tarife (kn),
- $C_{NVS}(n)$  - ukupni trošak za angažiranu vršnu snagu (crveni tarifni model) unutar sata (kn),
- $C_{OIEIK}(n)$  - ukupni trošak naknade za obnovljive izvore unutar sata (kn),
- $C_{TPUEE}(n)$  - ukupni trošak naknade za poslovnu uporabu unutar sata (kn),
- $C_{NOMM}(n)$  - ukupni trošak naknade za obračunsko mjesto tokom sata (kn).

tip	Naponska razina	Kategorija kupca	TARIFNI MODEL	energija	energija	energija	W5	jalovina	OIE	Trošarina	Mjerna usluga	Opskrba
				JC <sub>JT</sub> (kn/kWh)	JC <sub>VT</sub> (kn/kWh)	JC <sub>NT</sub> (kn/kWh)	JC <sub>NVS</sub> P <sub>max</sub> (kn/kW)	JC <sub>PJE</sub> (kn/kvarh)	JC <sub>OIEIK</sub> (kn/kWh)	JC <sub>TPUEE</sub> (kn/kWh)	JC <sub>NOMM</sub> (kn /OMM)	JC <sub>ON</sub> (kn /OMM)
energija	Niski napon	kućanstvo	Plavi	0,5295					0,105		11,6	7,4
energija	Niski napon	kućanstvo	Bijeli		0,5635	0,2765			0,105		11,6	7,4
energija	Niski napon	kućanstvo	Crveni		0,5635	0,2765			0,105		41,3	7,4
energija	Niski napon	kućanstvo	Crni	0,2185					0,105		6,1	0,4
energija	Niski napon	poduzetništvo	Plavi	2,824				0,15	0,105	0,00375	41,3	35
energija	Niski napon	poduzetništvo	Bijeli		3,2512	1,9125		0,15	0,105	0,00375	41,3	35
energija	Niski napon	poduzetništvo	Crveni		2,8324	1,6661	38,5	0,15	0,105	0,00375	41,3	35
energija	Niski napon	poduzetništvo	Žuti	2,2101					0,105	0,00375	15,45	0
energija	Srednji napon	poduzetništvo	Bijeli		2,8993	1,7055	26	0,16	0,105	0,00375	66	35
energija	Visoki napon	poduzetništvo	Bijeli		3,0665	1,7538	14	0,16	0,105	0,00375	68	35
prijenos	Niski napon	kućanstvo	Plavi	0,22								
prijenos	Niski napon	kućanstvo	Bijeli		0,26	0,12						
prijenos	Niski napon	kućanstvo	Crveni		0,17	0,08	24,5					
prijenos	Niski napon	kućanstvo	Crni	0,14								
distribucija	Niski napon	kućanstvo	Plavi	0,09								
distribucija	Niski napon	kućanstvo	Bijeli		0,13	0,05						
distribucija	Niski napon	kućanstvo	Crveni		0,05	0,02	14,5					
distribucija	Niski napon	kućanstvo	Crni	0,05								
prijenos	Niski napon	poduzetništvo	Plavi	0,22				0,16				
prijenos	Niski napon	poduzetništvo	Bijeli		0,26	0,12		0,16				
prijenos	Niski napon	poduzetništvo	Crveni		0,17	0,08	24,5	0,16				
prijenos	Niski napon	poduzetništvo	Žuti	0,18				0,16				
prijenos	Srednji napon	poduzetništvo	Bijeli		0,1	0,05	12	0,16				
prijenos	Visoki napon	poduzetništvo	Bijeli									
distribucija	Niski napon	poduzetništvo	Plavi	0,09								
distribucija	Niski napon	poduzetništvo	Bijeli		0,13	0,05						
distribucija	Niski napon	poduzetništvo	Crveni		0,05	0,02	14,5					
distribucija	Niski napon	poduzetništvo	Žuti	0,06								
distribucija	Srednji napon	poduzetništvo	Bijeli		0,04	0,02	14					
distribucija	Visoki napon	poduzetništvo	Bijeli		0,04	0,02	14	0,16				

Tablica 1.2-2 Karakteristika cijena tarifnih modela opskrbljivača električnom energijom (HEP 07.2022)



Prilikom analize, potrebno je numerički odrediti sljedeće parametre:

Radna snaga $C_{NVS} P_{max}$ (kn)	Trošak za angažiranu snagu – vršno opterećenje
Jalovina $C_{PJE}$ (kn)	Trošak za jalovu snagu
OIE $C_{OIEIK}$ (kn)	Trošak za obnovljive izvore energije
Trošarina $C_{TPUEE}$ (kn)	Trošarina za preuzetu električnu energiju
Mjerna usluga $C_{NOMM}$ (kn)	Trošak - naknada za mjernu uslugu
Opskrba $C_{ON}$ (kn)	Trošak – naknada za opskrbu el. energijom

Tablica 1.2-3 Karakteristični ekonomski parametri preuzete električne energije

U nastavku je prikazan postupak određivanja troška za angažiranu snagu (za crveni tarifni model):

$$C_{NVS(m)} = \left( \left( \frac{E_{VT(m)} \cdot 2}{h_{(m)} \cdot P_{ANG}} + \frac{P_{Tmax}}{P_{ANG}} \right) \cdot P_{ANG} \right) \cdot JC_{NVS Pmax} \quad \text{Izraz ( 1.2-6 )}$$

gdje je:

- $C_{NVS(m)}$  - trošak za angažiranu snagu (kn),
- $E_{VT(m)}$  - energija utrošena za vrijeme više tarife (kWh),
- $h_{(m)}$  - broj sati u promatranom mjesecu (sat),
- $P_{Tmax}$  - snaga najvećeg pojedinačnog trošila ili sustava (skupine) (kW),
- $P_{ANG}$  - angažirana snaga objekta (kW),
- $JC_{NVS Pmax}$  - mjesečna cijena kn/kW za najveću 15-minutnu snagu (kn/kW).

Konačno, potrebno je odrediti trošak za preuzetu električnu energiju  $C_{E(n)}$  (bez fotonaponske elektrane) za svaki sat u godini prema sljedećem izrazu:

$$C_{E(n)} = C_{VT(n)} + C_{NT(n)} + C_{TPUEE(n)} + C_{OIEiK(n)} + C_{NOMM(n)} + C_{NVS(n)} \quad \text{Izraz ( 1.2-7 )}$$

## 1.3 Određivanje optimalne instalirane snage fotonaponske elektrane na temelju vremena povrata investicije

### 1.3.1 Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj

Nakon niza izmjena zakona i podzakonskih akata u vezi obnovljivih izvora energije u posljednjih petnaestak godina u Republici Hrvatskoj, aktualni i relevantni zakoni i podzakonski akti koji se tiču obnovljivih izvora energije, odnosno potencijalnih povlaštenih proizvođača su sljedeći:

Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/15, 123/16, 131/17, 111/18), u daljnjem tekstu Zakon,

Uredba o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (NN 116/18), u daljnjem tekstu Uredba, te

Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 88/12), u daljnjem tekstu Pravilnik.

Dakle, temeljem Zakona, elektroenergetski subjekt ili druga pravna ili fizička osoba koja koristi obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije na gospodarski primjeren način sukladno propisima iz upravnog područja zaštite okoliša i prirode, neovisno o snazi proizvodnog postrojenja, može steći status povlaštenog proizvođača električne energije. Nadalje, operator distribucijskog sustava dužan je, u slučajevima u kojima je potrebno ograničavati isporuku električne energije iz proizvodnih postrojenja u elektroenergetsku mrežu, povlaštenim proizvođačima električne energije osigurati prioritetnu isporuku električne energije u mrežu za proizvodna postrojenja za koja su stekli status povlaštenog proizvođača u odnosu na druga proizvodna postrojenja priključena na elektroenergetsku mrežu, osim ako takva prioritetna isporuka znatno narušava pouzdanost i sigurnost pogona elektroenergetskog sustava.

Postoje tri načina otkupa proizvedene električne energije iz obnovljivih izvora, od kojih su dva poticajna – poticanje tržišnom premijom i poticanje zajamčenom otkupnom cijenom, za koje se objavljuju i provode natječaji sukladno Zakonu i Uredbi. Status povlaštenog proizvođača uvjet je za ostvarivanje prava na poticaje tržišnom premijom i poticaje zajamčenom otkupnom cijenom, za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije, sukladno odredbama Zakona. Dodatno, važno je napomenuti da povlašteni proizvođač ostvaruje pravo na poticaje i druga prava prema Zakonu za neto isporučenu električnu energiju koju utvrđuje operator distribucijskog sustava, pri čemu je neto isporučena električna energija razlika ukupno isporučene električne energije proizvodnog postrojenja i ukupno preuzete električne energije proizvodnog postrojenja, utvrđena u svakom obračunskom mjernom intervalu, za sva obračunska mjerna mjesta zajedno. Sredstva za isplatu poticaja prikupljaju se iz namjenske naknade za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije, prodajom električne energije proizvedene u proizvodnim postrojenjima povlaštenih proizvođača, prodajom količine izdanih jamstava podrijetla za električnu energiju proizvedenu u proizvodnim postrojenjima povlaštenih proizvođača, mjesečne naknade koju plaćaju članovi EKO bilančne grupe (iz članka 46. stavka 7. podstavka 2. Zakona) čija priključna snaga proizvodnog postrojenja prelazi 50 kW, te prihoda povezanih s obračunom odstupanja EKO bilančnoj grupi. S obzirom da su sredstva prikupljena na prethodno navedeni način ograničena, propisane su kvote za najveću ukupnu ugovorenu snagu proizvodnih postrojenja koja mogu biti poticana na prethodno navedena dva načina ili na neki od načina temeljem podzakonskih akata koji više nisu na snazi (Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/07), Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 63/12, 121/12 i 144/12) i Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 133/13, 151/13, 20/14 i 107/14)), a koji su ranije ugovoreni. Kvote su već dulje vrijeme popunjene, a za povećanje kvota bilo bi potrebno povećati naknadu za sve krajnje kupce električne energije izmjenom Odluke o naknadi za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju (NN 87/17), što nije realno za očekivati u narednom razdoblju od dvije godine.

Stoga, bit će razmatran samo treći način otkupa proizvedene električne energije iz obnovljivih izvora koji nije poticajni, a propisan je Zakonom. Naime, radi se o preuzimanju električne energije od krajnjih **kupaca s vlastitom proizvodnjom ili korisnika postrojenja za samoopskrbu**, pri čemu su krajnji kupci s vlastitom proizvodnjom u Zakonu definirani kao krajnji kupci električne energije na čiju je instalaciju priključeno proizvodno postrojenje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije ili visokoučinkovite kogeneracije kojom se podmiruju potrebe krajnjeg kupca i s mogućnošću isporuke viška proizvedene električne energije u prienosnu ili distribucijsku mrežu. Korisnici postrojenja za samoopskrbu u Zakonu su definirani kao krajnji kupci električne energije kategorije kućanstvo koji unutar svojih instalacija imaju priključeno postrojenje za samoopskrbu električnom energijom iz obnovljivih izvora energije ili visokoučinkovite kogeneracije, čije viškove unutar obračunskog razdoblja može preuzeti opskrbljivač ili tržišni sudionik s kojim postoji sklopljen odgovarajući ugovor, pod uvjetom da je unutar kalendarske godine količina električne energije koju je predao u mrežu manja ili jednaka preuzetoj električnoj energiji.

Nadalje, u članku 44. Zakona stoji da su opskrbljivači električne energije dužni preuzimati viškove električne energije od krajnjih kupaca s vlastitom proizvodnjom električne energije ili korisnika postrojenja za samoopskrbu koji kumulativno zadovoljavaju sljedeće uvjete:

- imaju status povlaštenog proizvođača električne energije iz članka 21. Zakona;
- da su ostvarili pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu, za proizvodna postrojenja koja se smatraju jednostavnim građevinama;
- ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ne prelazi 500 kW;
- priključna snaga krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom ili korisnika postrojenja za samoopskrbu u smjeru isporuke električne energije u mrežu ne prelazi priključnu snagu krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom ili korisnika postrojenja za samoopskrbu u smjeru preuzimanja električne energije iz mreže;
- krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu isporučuje električnu energiju preko istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg kupuje električnu energiju od opskrbljivača;
- krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu vodi podatke o proizvedenoj električnoj energiji i isporučenoj električnoj energiji.

Dodatno, člankom 44. Zakona utvrđuje se minimalna otkupna cijena električne energije od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom na sljedeći način:

$$JC_{FN(m)} = 0,9 \cdot PKC_i \quad \text{kada je } E_{P-FN(m)} \geq E_{I-FN(m)} \quad \text{Izraz ( 1.3-1 )}$$

$$JC_{FN(m)} = 0,9 \cdot PKC_i \cdot \frac{E_{P-FN(m)}}{E_{I-FN(m)}} \quad \text{kada je } E_{P-FN(m)} < E_{I-FN(m)} \quad \text{Izraz ( 1.3-2 )}$$

pri čemu je  $E_{P-FN(m)}$  ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh,  $E_{I-FN(m)}$  ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh, a  $PKC$  prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kn/kWh. Opskrbljivač električne energije u svakom obračunskom razdoblju umanjuje račun za isporučenu električnu energiju krajnjem kupcu s vlastitom proizvodnjom za iznos izračunat na prethodno navedeni način.

U slučaju korisnika postrojenja za samoopskrbu, kod obračuna potrošnje električne energije, kao i naknade za korištenje mreže te naknade za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju, uzima se u obzir količina električne energije koja predstavlja razliku između preuzete i isporučene električne energije u pojedinoj tarifi. Ako je na kraju obračunskog razdoblja količina radne energije isporučena u mrežu u pojedinoj tarifi veća od preuzete, taj višak proizvedene električne energije opskrbljivač je dužan preuzeti po cijeni:

$$JC_{VT} = 0,8 \cdot C_{pVT} \quad \text{Izraz ( 1.3-3 )}$$

$$JC_{NT} = 0,8 \cdot C_{pNT} \quad \text{Izraz ( 1.3-4 )}$$

pri čemu je  $JC_{VT}$  cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u kn/kWh,  $C_{pNT}$  cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u kn/kWh,  $JC_{VT}$  cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u kn/kWh, te  $JC_{NT}$  cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u kn/kWh. U ovom slučaju, opskrbljivač električne energije u svakom obračunskom razdoblju izdaje račun krajnjem kupcu kategorije kućanstva za razliku između preuzete i isporučene električne energije (kWh) u višoj dnevnoj tarifi te razliku između preuzete i isporučene električne energije (kWh) u nižoj dnevnoj tarifi. Iste količine su osnova za obračun naknade za korištenje mreže i naknade za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju, pri čemu je obračunsko razdoblje u oba prethodna slučaja jedan mjesec.

Na kraju, važno je napomenuti da je temeljem Zakona opskrbljivač ili tržišni sudionik s kojim korisnik postrojenja za samoopskrbu ima sklopljen ugovor dužan najkasnije do 31. siječnja tekuće godine izvršiti provjeru ispunjenja uvjeta o ograničenju isporučene električne energije. Ako opskrbljivač ili tržišni sudionik utvrdi da je korisnik postrojenja za samoopskrbu u prethodnoj kalendarskoj godini u mrežu isporučio više električne energije nego što je preuzeo iz mreže, isti se smatra krajnjim kupcem s vlastitom proizvodnjom u tekućoj kalendarskoj godini.

### 1.3.2 Određivanje optimalne instalirane snage fotonaponske elektrane

Nakon što su prikupljeni svi potrebni, odnosno dostupni podaci o potencijalnoj proizvodnji na određenoj lokaciji te potrošnji krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom, i nakon što je u skladu s tim podacima modelirana proizvodnja i potrošnja na satnoj osnovi, može se pristupiti određivanju optimalne snage fotonaponske elektrane. Prvi korak je određivanje isporučene energije u mrežu

$E_{I-FN(n)}$ , odnosno proizvedene i utrošene električne energije  $E_{U-FN(n)}$  na satnoj osnovi prema sljedećim izrazima:

$$E_{I-FN(n)} = E_{FN(n)} - E_{p(n)} \text{ za } (E_{p(n)} < E_{FN(n)}) \quad \text{Izraz ( 1.3-5)}$$

$$E_{U-FN(n)} = E_{FN(n)} - E_{I-FN(n)} \quad \text{Izraz ( 1.3-6)}$$

Sljedeći korak je određivanje financijskih iznosa za gore prikazane iznose energije:

$$C_{I-FN(n)} = E_{I-FN(n)} \cdot JC_{FN(m)} \quad \text{Izraz ( 1.3-7)}$$

$$C_{U-FN(n)} = E_{U-FN(n)} \cdot JC_{\frac{VT}{NT(n)}} + E_{U-FN(n)} \cdot JC_{TPUEE} + E_{U-FN(n)} \cdot C_{OIEiK(n)} \quad \text{Izraz ( 1.3-8)}$$

gdje je

- $C_{I-FN(n)}$  - satni iznos prihoda od prodaje električne energije (kn),
- $C_{U-FN(n)}$  - satni iznos uštede ostvarene za utrošenu električnu energiju koja bi u protivnom bila preuzeta iz mreže (kn).

Konačno, potrebno je odrediti iznos neto dobiti, odnosno troška za svaki sat prema izrazu.

$$C_{(n)} = C_{U-FN(n)} + C_{I-FN(n)} - C_E(n) \quad \text{Izraz ( 1.3-9)}$$

$$C_{(g)} = \sum_n^{n \max} C_{(n)} \quad \text{Izraz ( 1.3-10)}$$

gdje je

- $C_{(n)}$  - iznos prihoda, odnosno troška za cjelokupni sustav u satu (kn),
- $C_{(g)}$  - iznos prihoda, odnosno troška za cjelokupni sustav u godini (kn).

Također, potrebno je odrediti iznos godišnje uštede  $CU_{(g)}$  (kn) prema izrazu:

$$CU_{(g)} = C_{U-FN(n)} + C_{I-FN(n)} \quad \text{Izraz ( 1.3-11)}$$

Metoda za određivanje optimalne instalirane snage na temelju vremena povrata investicije omogućuje određivanje snage fotonaponske elektrane pri kojoj je zabilježen brži porast vremena povrata investicije. Drugim riječima, optimalna instalirana snaga fotonaponske elektrane bit će ona instalirana snaga pri kojoj derivacija vremena povrata investicije po instaliranoj snazi počinje značajnije rasti.

Prvi korak je pronalazak funkcije koja sadrži dvije varijable – instaliranu snagu fotonaponske elektrane  $P_{FN(i)}$  (kWp) i vrijeme povrata investicije za tu snagu  $T_{PI(i)}$  (god). Za minimalnu potencijalnu instaliranu snagu potrebno je uzeti 0 kWp ( $P_{FN(i=1)} = 0$ ), a maksimalna se može odrediti prema sljedećem izrazu:

$$P_{FN(max)} = \left( \left( \frac{E_{VT(m)} \cdot 2}{h_{(m)} \cdot P_{ANG}} + \frac{P_{T \max}}{P_{ANG}} \right) \cdot P_{ANG} \right) \quad \text{Izraz ( 1.3-12)}$$

Rezolucija funkcije ovisit će o broju iteracija ( $i$ ), odnosno o koraku između potencijalnih snaga kroz iteracije. Kada je  $P_{FN(max)} \leq 100$ , korak između iteracija je jedan, odnosno prva iteracija će biti izvršena za potencijalnu snagu 0 kWp, druga za 1 kWp, treća za 2 kWp, itd. Ako pak vrijedi  $P_{FN(max)} > 100$ , onda se iterativni korak povećava na pet.

Iznos investicije  $C_{invest}$  (kn) za instaliranu snagu fotonaponske elektrane može se računati prema sljedećem izrazu:

$$C_{invest} = P_{FN(i)} \cdot JC_{invest} \quad \text{Izraz ( 1.3-13 )}$$

gdje je

- $JC_{invest}$  - jedinična cijena investicije u fotonaponsku elektranu kn/kWp. Potrebno je uzeti trenutačnu tržišnu cijenu.

Vrijeme povrata investicije može se odrediti sljedećim izrazom:

$$T_{PI(i)} = \frac{C_{invest}}{CU_{(g)}} \quad \text{Izraz ( 1.3-14 )}$$

gdje je

- $CU_{(g)}$  - ušteda ostvarena prodajom i potrošnom proizvedene energije za instaliranu snagu fotonaponske elektrane  $P_{FN(i)}$ .

Konačno, može se odrediti funkcija koju definiraju varijable  $T_{PI(i)}$  i  $P_{FN(i)}$  u rezoluciji (broju točaka)  $i$   $f_{(PT)(i)}$ . Prva derivacija te funkcije u točki  $i$  jednaka je koeficijentu smjera tangente na tu funkciju u točki  $i$ , odnosno opisuje nagib funkcije u toj točki (intenzitet rasta ili pada). Devijacija  $\Delta_{f_{(PT)}}$  između derivacije funkcije promatrane i prethodne točke opisuje intenzitet rasta funkcije. U točki za koju je intenzitet rasta funkcije maksimalan, nalazi se vrijednost optimalne instalirane snage fotonaponske elektrane, odnosno to je maskimalna snaga pri kojoj će se ostvariti najveća proizvodnja električne energije pod najpovoljnijim ekonomskim uvjetima.

Prvu derivaciju funkcije  $f_{(PT)(i)}$  u točki  $i$ , odnosno koeficijent smjera te funkcije u toj točki može se odrediti sljedećim izrazom:

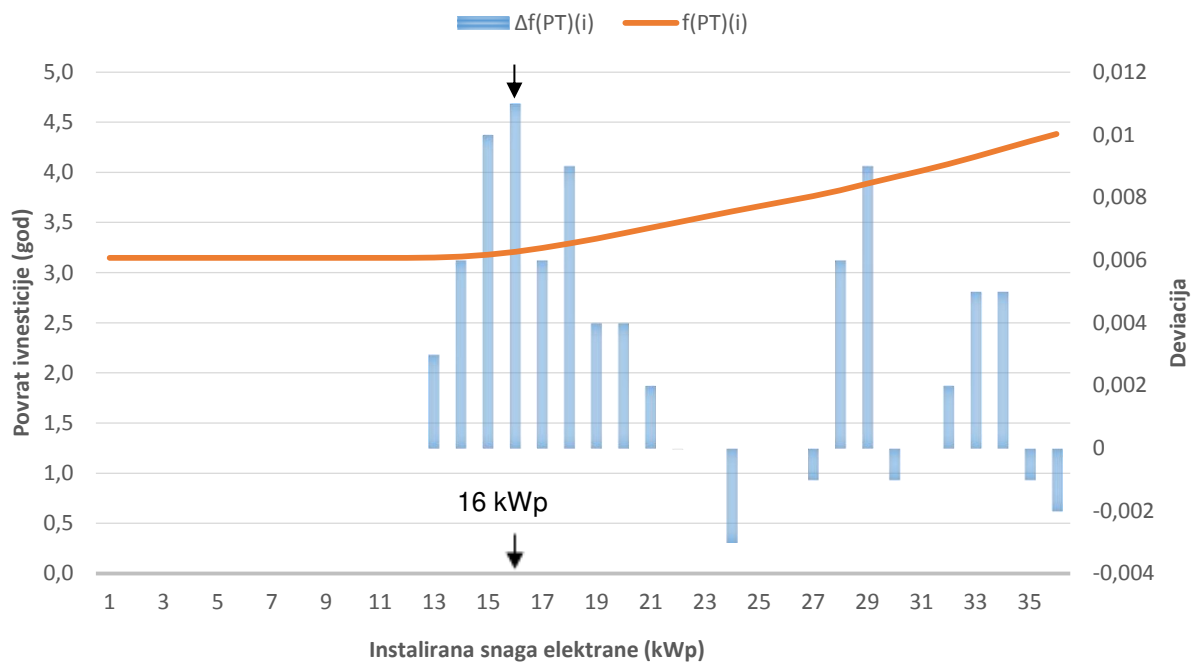
$$f_{(PT)(i)}' = \frac{P_{FN(i+1)} - P_{FN(i)}}{T_{PI(i+1)} - T_{PI(i)}} \quad \text{Izraz ( 1.3-15 )}$$

Devijaciju između promatrane i prethodne vrijednosti prve derivacije funkcije može se odrediti prema sljedećem izrazu:

$$\Delta_{f_{(PT)(i)}} = f_{(PT)(i)}' - f_{(PT)(i-1)}' \quad \text{Izraz ( 1.3-16 )}$$

Instalirana snaga koja je u korelaciji s maksimalnim iznosom gore prikazane devijacije je optimalna snaga fotonaponske elektrane  $P_{FN-OPT}$  (kWp). Može se odrediti sljedećim izrazom:

$$P_{FN-OPT} = \mathop{\text{MAX}}^i (\Delta_{f_{(PT)(i)}}) \quad \text{Izraz ( 1.3-17 )}$$



Slika 1.3-1 Vizualizacija funkcije – određivanje optimalne snage fotonaponske elektrane