

MERE ZA POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI INDUSTRIJSKIH POSTROJENJA

Tomislav Stepanović^{*1}, Nikola Kijanović¹, Leposava Ristić¹, Mirjana Stamenić² i Saša Marković³

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd ¹

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd ²

Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd ³

Sažetak: Energetska efikasnost je poslednjih godina dobila na značaju, posebno kada je došlo do značajnih promena na tržištu energijom i energentima. Kada se uporede vrednosti iz 2008. i 2022.god, cena električne energije se gotovo udvostručila (podaci *EuroStat-a*). Tokom poslednjih nekoliko decenija sve je aktuelnija proizvodnja „čiste“ električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE), međutim potpun prelazak na proizvodnju električne energije iz OIE nije izvestan u bliskoj budućnosti. U radu je analizirana mogućnost za povećanje energetske efikasnosti na primeru jednog industrijskog postrojenja gde je sproveden kratak energetski pregled. Predložene su mere za unapređenje energetske efikasnosti i urađena je jednostavna analiza njihove finansijske isplativost. Mere za unapređenje energetske efikasnosti koje su prikazane u ovom radu odnose se na smanjenje harmonijskog sastava mrežne struje, čime se smanjuju gubici kako u prenosu električne energije, tako i u njenoj eksploataciji, kao i na kompenzaciju reaktivne energije, koja predstavlja veoma važan faktor u povećanju energetske efikasnosti. Dodatno, u radu je analizirana mogućnost izgradnje solarne elektrane sa ciljem povećanja energetske efikasnosti celokupnog postrojenja. Izabrani su solarni paneli, način i mesto za njihovo postavljanje, dimenzionisan je inverter i izračunata je potencijalna proizvodnja električne energije. Takođe je detaljno analizirano rukovanje „viškom“ proizvedene energije u skladu sa poznatim parametrima postrojenja (mogućnost korišćenja baterija za skladištenje energije).

Ključne reči: energetska efikasnost, energetski pregled, solarna elektrana, kompenzacija reaktivne energije

1. UVOD

Energetska efikasnost predstavlja odnos uložene energije i ostavrenog rezultata u nekom procesu. Unapređenje energetske efikasnosti znači smanjenje količine utrošene energije za isti rezultat. Koncept energetske efikasnosti ne treba poistovećivati sa štednjom, budući da je štednja prinudna mera koja se primenjuje kada su resursi (novčani ili energetski) nedovoljni ili su ograničeni.

Republika Srbija u poređenju sa najrazvijenijim zemljama Evropske zajednice potroši u proseku 2 do 4 puta više energije da bi proizvela identičan proizvod, što predstavlja značajan potencijal za racionalnije korišćenje energije i energenata u industrijskom sektoru. Energetska efikasnost je dospela u žižu pažnje onog trenutka kada je cena električne energije i energenata (nafte i prirodnog gasa) višestruko porasla. Na ovaj trend cena uticali su mnogi parametri, posebno dešavanja u periodu od 2020. do 2022.god. Energija nikada više neće biti jeftina. Mere za unapređenje energetske efikasnosti sada postaju mnogo aktuelnije i prihvatljivije nego što je to bilo ranije. Novac koji se uštedi primenom mera energetske efikasnosti postaje čist profit za kompaniju. Da bi neko preduzeće sagledalo koliko troši i na koji način koristi energiju, preporučuje se da se sprovede energetski pregled. Energetski pregled je definisana procedura kojom se utvrđuje: kako i gde se energija koristi ili transformiše iz jednog oblika u drugi; koji je nivo potrošnje energenata sa ciljem identifikovanja svih energetskih tokova na lokaciji jedne kompanije; koje su mere kojima se unapređuje energetska efikasnost kompanije; ekonomska i tehnička opravdanost primene mera za unapređenje energetske efikasnosti; lista prioriternih aktivnosti koje će unaprediti energetsku

efikasnost i smanjiti trošak za nabavku energenata i energije. Energetski pregled je prvi korak kod primene odredaba ISO 50001 standarda koji se odnosi na postavku sistema energetskog menadžmenta u nekoj kompaniji. Detaljna procedura sprovođenja energetskog pregleda je definisana međunarodnim standardom ISO 50002.

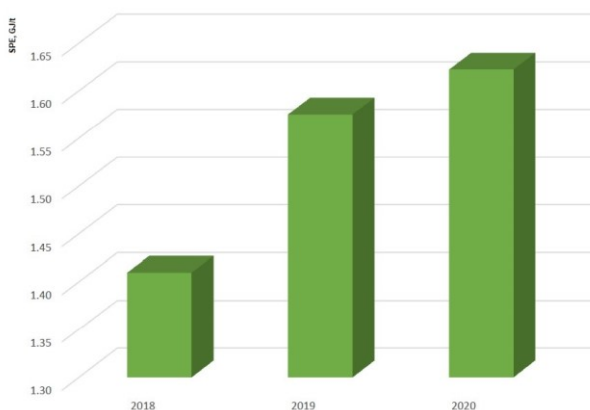
U ovom radu prikazani su najznačajniji rezultati energetskog pregleda u jednoj industrijskoj kompaniji, sa posebnim osvrtom na mere za unapređenje energetske efikasnosti koje se tiču elektro-potrošača.

2. INDIKATORI ENERGETSKE EFIKASNOSTI

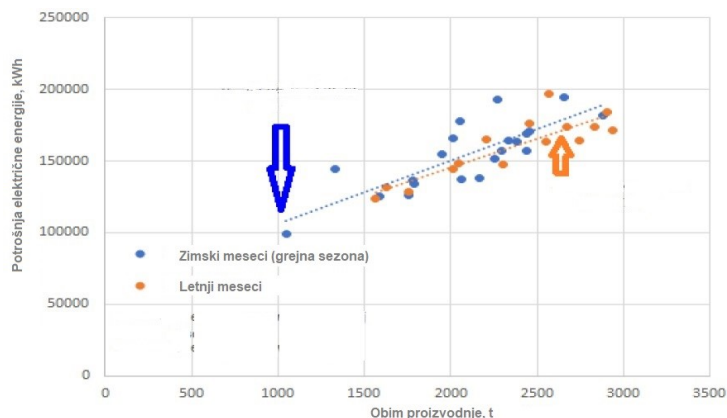
Osnovni energenti koji se koriste u kompaniji su električna energija i prirodni gas. Godišnji troškovi za električnu energiju su oko 16.000.000,00 RSD, dok se za nabavku prirodnog gasa godišnje potroši oko 40.000.000,00 RSD.

Napajanje električnom energijom u kompaniji je iz transformatorske stanice u krugu kompanije gde se obračunska merenja utrošene električne energije vrše na jednom mernom mestu na niskom naponu. U kompaniji se električna energija koristi u proizvodnom procesu kao pomoćni energent za pokretanje uslužnih elektromotora na kotlovima, pumpama, kompresorima i ventilatorima, zatim u transportu u okviru proizvodnog pogona (dizalice i električni viljuškari), za osvetljenje proizvodnih hala, dok se u upravnoj zgradi koristi i za osvetljenje kancelarija, napajanje kancelarijske opreme i napajanje toplotne pumpe koja se koristi za zagrevanje i hlađenje upravne zgrade.

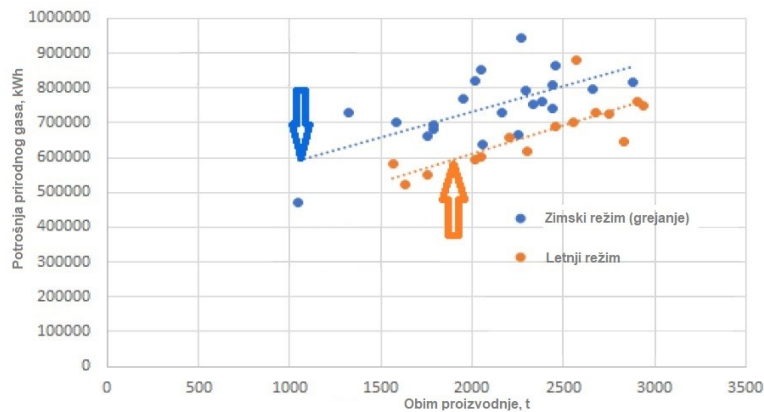
Na slikama 1. do 3. prikazana je specifična potrošnja energije u kopaniji u periodu od 2018.-2020.god, odnosno veza između obima proizvodnje i potrošnje električne energije (Slika 2.) i prirodnog gasa (Slika 3.).



Slika 1. Specifična potrošnja energije (SPE) u periodu od 2018. do 2020.god.



Slika 2. Zavisnost potrošnje električne energije od obima proizvodnje

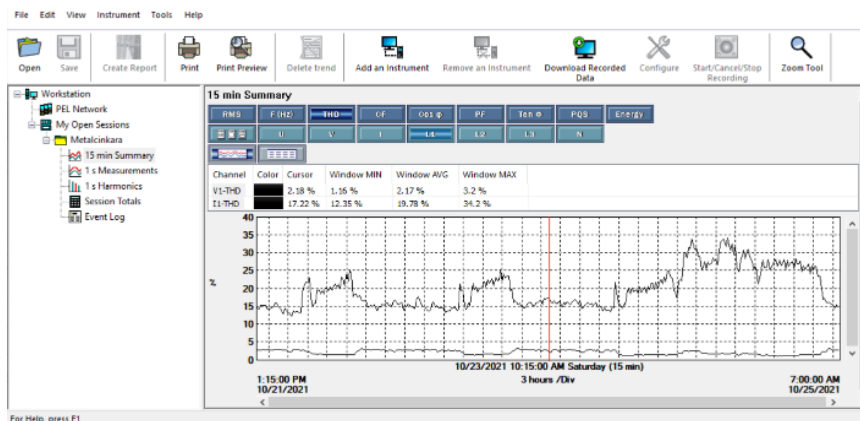


Slika 3. Zavisnost potrošnje prirodnog gasa od obima proizvodnje

Sa Slike 1. može se primetiti da se tokom godina povećavala specifična potrošnja energije (za 10% je povećana specifična potrošnja energije u kompaniji od 2019. do 2020.god.). U kontekstu potrošnje električne energije i prirodnog gasa (Slike 2. i 3.) primećuje se veće rasipanje tačaka kada je reč o potrošnji prirodnog gasa, što navodi na zaključak da je nešto veći potencijal ušteda u toplotnoj nego u električnoj energiji. Zimski i letnji režim, kada je reč o potrošnji električne energije se ne razlikuje značajnije, što znači da se za grejanje objekata tokom zimskog perioda koristi isključivo prirodni gas. Tokom sprovođenja energetskog pregleda u kompaniji rukovodioci su stavili do znanja da su zainteresovani za analizu mogućnosti ugradnje solarne elektrane, pa je u nastavku rada akcentat stavljen na analizu potrošača električne energije, kao i na proračun potrebnog kapaciteta solarne elektrane.

3. HARMONIJSKI SASTAV MERENIH VREDNOSTI NAPONA I STRUJE

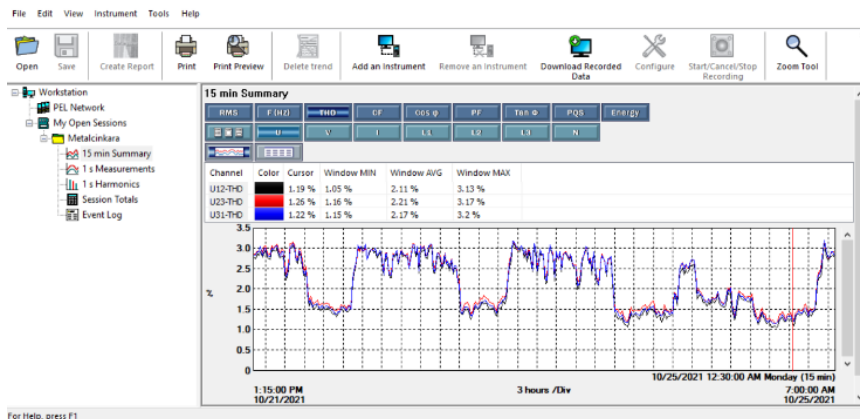
Na osnovu merenja koja su vršena u dužem vremenskom periodu u transformatorskoj stanici u krugu kompanije u cilju analize energetske efikasnosti, a bez upoznavanja sa električnim potrošačima u okviru tehnološkog procesa i analizom njihovih radnih karakteristika, izabran je tipičan deo koji se odnosi na merene vrednosti napona i struje i prikazan je na slikama 4 i 5. Sa vremenskih dijagrama koji su prikazani na ovim slikama, može se uočiti značajano prisustvo viših harmonika, posebno u talasnom obliku struje. Odatle se može zaključiti da fabrika svakako poseduje nelinearne potrošače koji izazivaju ovakva harmonijska izobličenja, a oni se najčešće napajaju iz energetskih pretvarača. Pored uređaja energetske elektronike, u nelinearne potrošače se ubrajaju elektrolučne peći, sistemi za besprekidno napajanje (UPS), indukzione peći u slučaju da se napajaju iz frekventnih pretvarača i dr.



Slika 4. Harmonijski sastav struje, THD_I (Total Harmonic Distorsion) struje

Analizom merenja prikazanih na Slici 4. može se primetiti da se THD struje povećava nedeljom, kada fabrika ne radi. Dakle, potrošači koji uzrokuju THD rade i nedeljom, dok ostali potrošači tada

ne rade. Takođe je zanimljivo, ali i očekivano da se nedeljom THD napona smanjuje, Slika 5.



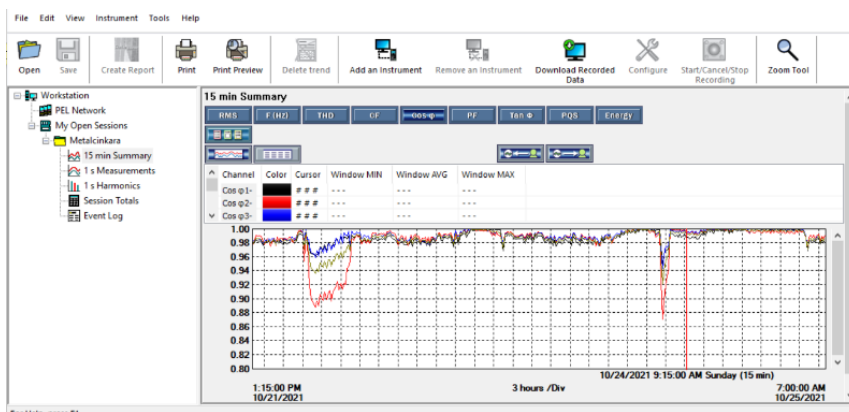
Slika 5. Harmonijski sastav napona, THD_U (Total Harmonic Distorsion) napona

Na osnovu merenih vrednosti za faktor snage, koji su prikazani na Slici 6, može se uočiti da je njegova vrednost uvek iznad 0,95. Opravdano je pretpostaviti da postoji kompenzacija reaktivne snage u fabrici. Međutim, postoji mogućnost da je kompenzacija loše izvedena i da paralelna veza između baterija i impedanse mreže pri određenim učestanostima daje beskonačnu impedansu.

Ovakva pojava naziva se antirezonansa [1]. Pojavu antirezonanse treba sprečiti jer izaziva niz negativnih posledica, među kojima je i povećanje THD vrednosti napona i struje. Antirezonansa se sprečava ugradnjom antirezonantnih prigušnica [1] koje se vezuju na red sa kondenzatorskim baterijama. Upotrebom pasivnih filtera ili kombinacijom pasivnih filtera sa aktivnim filtrom, moglo bi se uticati na smanjenje THD struje, a samim tim i svih negativnih posledica ove pojave, kao što su pre svega povećani gubici snage i prekidi u proizvodnji, izazvani propadima napona. Za proračun pomenutih filtera ili antirezonantne prigušnice potrebno je detaljnije poznavanje talasnog oblika struje i napona u odnosu na postojeće diskretne 15-minutne vrednosti, kao i poznavanje električnih šema u fabričkom postrojenju.

3. FAKTOR SNAGE I REAKTIVNA ENERGIJA

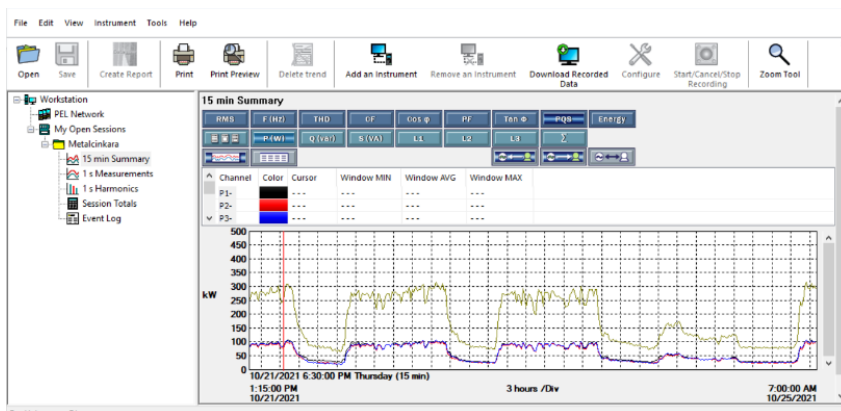
Sa vremenskog dijagrama faktora snage prikazanog na Slici 6, može se zaključiti da njegova vrednost uglavnom osciluje oko 0,98, osim u pojedinim vremenskim intervalima i to od četvrtka 22:00 do petka 4:45 ujutru i od 5:00 do 6:45 u nedelju. Ovi rezultati navode na zaključak da ni trebalo dodatno kompenzovati reaktivnu snagu, jer se faktor snage kreće u zadovoljavajućim okvirima.



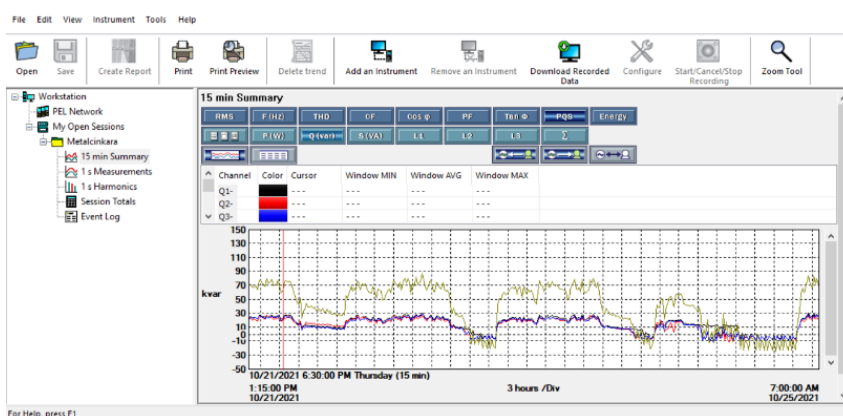
Slika 6. Vremenski dijagram faktora snage

Međutim, merenja prikazana na slikama 7 i 8 pokazuju da postoji nezanemarljiva potrošnja reaktivne energije u odnosu na aktivnu. Isto se može zaključiti iz računa za utrošenu električnu

energiju, iz koga se vidi da firma godišnje plaća reaktivnu energiju oko 200.000 RSD. Ako pretpostavimo cenu baterija za kompenzaciju reaktivne energije npr. od proizvođača *ELMARK*, i prepostavimo da bi za reaktivnu snagu po fazi od 25 kVAR (najgori slučaj očitano sa grafika) bilo potrebno 5 baterija od po 5 kVAR i kontroler za automatsko regulisanje, dolazi se do cene od 41.500 RSD. To dalje znači da bi se ova investicija isplatila za nekoliko meseci, što je prihvatljiv vremenski period. Ovo je sve izračunato pod pretpostavkom da sistem za kompenzaciju reaktivne energije ne postoji, ili da je neadekvatno dimenzionisan, te proračun ukazuje na opravdanu investiciju.



Slika 7. Vremenski dijagram potrošnje aktivne snage



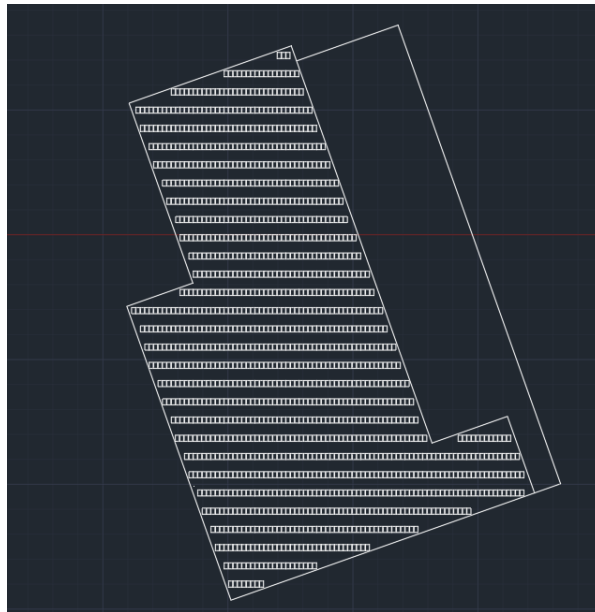
Slika 8. Vremenski dijagram potrošnja reaktivne snage

4. TEHNO EKONOMSKA ANALIZA UVOĐENJA SOLARNE ELEKTRANE

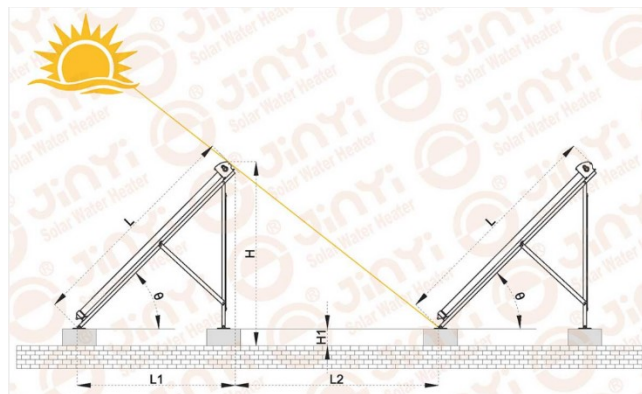
S obzirom na poziciju i konstruktivnu izvedbu posmatrane fabrike, kao i na sve veću opravdanost uvođenja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, opravdano je razmotriti uvođenje solarne elektrane na krovu fabrike. Pre svega potrebno je izabrati fotonaponske (PV) -panele. Radi postizanja što veće snage po panelu, izabran je panel maksimalne dostupne dimenzije od proizvođača *Exe Solar Srl* [2] dimenzija 1980x1000 mm. U sledećem koraku je potrebno odrediti maksimalan broj panela koje je moguće postaviti na krov zgrade. Kada se uzme u obzir da paneli treba da budu postavljeni u pravcu sever-jug, nagnuti ka jugu pod uglom od 40°, sa rastojanjem od 4744 mm izmedju redova panela, dolazi se do zaključka da je optimalan raspored panela prikazan na Slici 9.

Da bi paneli radili što efikasnije, potrebno je napraviti razmak izmedju redova panela dovoljan da senka od reda ispred ni u jednom trenutku ne zaklanja posmatrani red panela. Taj razmak računat je prema formuli (1), koja je izvedena na osnovu geometrijske predstave sa Slici 10.

$$L_2 = \frac{L \cdot \sin(40)}{\tan(21,52)} + L \cdot \cos(40) \quad (1)$$



Slika 9. Raspored panela na krovu zgrade



Slika 10. Grafička interpretacija izraza (1)

Poređenjem veličina u izrazu (1) i onih prikazanih na Slici 10, zaključuje se da ugao θ iznosi 40° , dok ugao koji sunce zaklapa sa horizontalom iznosi $21,52^\circ$ u najkritičnijem slučaju kada je

$$\beta_N^{\min} = 90^\circ - (L - \delta^{\min}) = 90^\circ - (45,03^\circ - 23,45^\circ) = 21,52^\circ \quad (2)$$

θ – ugao nagnutosti panela prema horizontalnoj podlozi,

β_N^{\min} – kritični ugao koje sunce zaklapa sa horizontalom, a koji je bitan u proračunu zasenčenja,

L – latitudni ugao (geografska širina lokacije),

δ – ugao deklinacije sunca (kreće se od $-23,45^\circ$ do $23,45^\circ$).

Detaljnije o ovom proračunu, kao i o samim uglovima može se videti u [3]. Sprovedenjem proračuna na opisani način dobija se rastojanje od 4744 mm. Na ovaj način je moguće poredati 1356 panela na krov zgrade.

5. IZBOR INVERTORA

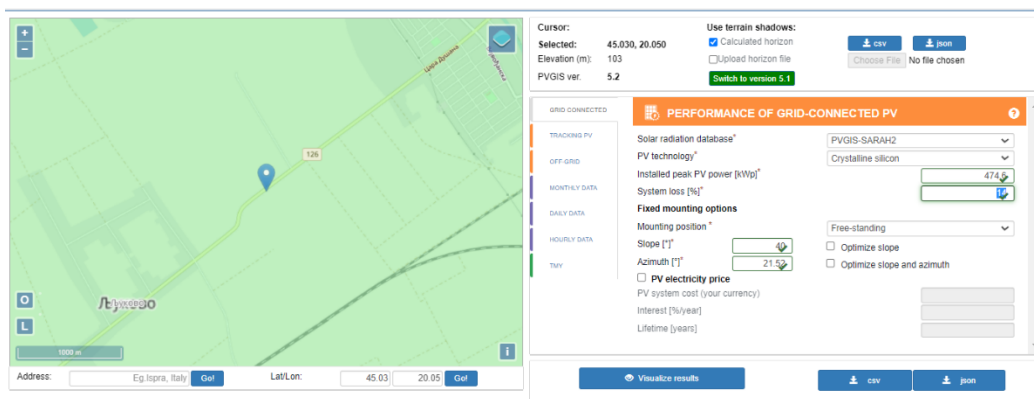
Odlučeno je da se izabere *On-Grid Fronius Symo 20.0-3-M* [4] inverter od proizvođača *Fronius*. Na osnovu nominalnih snaga invertora i panela, izvodi se zaključak da je maksimalni broj panela 57. Kada se sprovede analogni proračun sa sa ulaznim jednosmernim naponom invertora i nominalnim naponom panela, dolazi se do maksimalnog broja panela po jednosmernom naponu u iznosu od 26. Još je potrebno da se odredi maksimalan broj stringova u paralelnoj vezi, što se dobija deljenjem maksimalne ulazne struje invertora sa nominalnom strujom jednog panela. Na kraju opisanog proračuna, može se zaključiti da je potrebno maksimalno 2 stringa panela u paralelnoj vezi.

Konačan broj panela po invertoru je 52, koji se grupišu u 2 stringa po 26 panela. Ovo je posledica činjenice da izabrani invertor poseduje 2 MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) regulatora. Ukupan broj invertora je 24.

6. PRORAČUN PERIODA OTPLATE INVESTICIJE

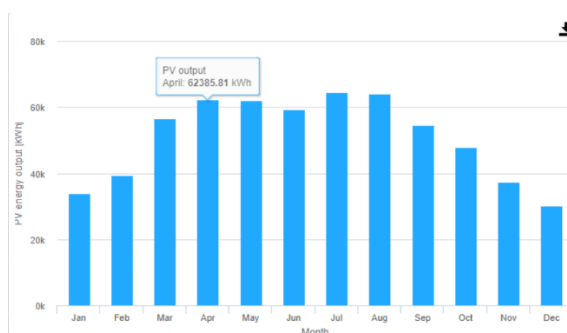
U cilju proračuna vremena otplate investicije potrebno je da se odredi za koje vreme će solarna elektrana svojim radom „sama sebe isplatiti“. Postupak je sledeći:

Pomoću online softverskog alata PVGIS 5.2 [5] određuje se mesečna proizvodnja električne energije za posmatranu elektranu. Od ulaznih podataka potrebno je uneti ukupnu snagu panela (koja se dobija množenjem broja panela sa snagom jednog panela) i sistemske gubitke koji su procenjeni na 14 %. Gubici predstavljaju sve gubitke sistema, u invertoru, provodnicima itd. Optimalni nagib panela i azimutski ugao program sam generiše, tako da se ima najveća moguća proizvodnja u naznačenom vremenskom periodu. Za način postavljanja panela izabran je *Free-standing* zbog svoje robusnosti i manje cene u odnosu na varijante sa rotacijom po jednoj ili dve ose. Pored prethodno navedenog, potrebno je odabrati i vrstu panela. U ovom slučaju su po kriterijumu najniže cene izabrani kristalno silicijumski paneli. Osim toga, potrebno je uneti i geografsku lokaciju mesta na kom će biti postavljeni paneli. Interfejs softvera sa unetim podacima za ovaj proračun dat je na Slici 11.



Slika 11. Ulazni podaci za softver PVGIS 5.2

Grafički prikaz proizvodnje ovako projektovane solarne elektrane dat je na Slici 12.



Slika 12. Proizvodnja električne energije solarne elektrane po mesecima

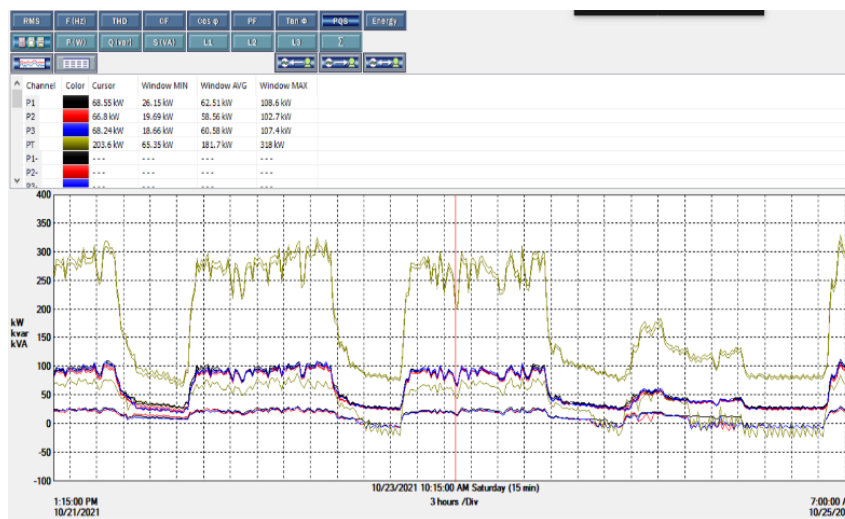
Na osnovu ulaznih podataka, određena je cena kWh aktivne snage koja iznosi 0,05986 €, a dalje i ukupna dobit od proizvedene električne energije na godišnjem nivou koja iznosi 36.684,56 €. Cena ulaganja se može odrediti sabiranjem ukupne cene panela i invertora, koja iznosi 267.812,71€. Prost period otplate investicije iznosi 7,3 godine. Rezultat je izuzetno povoljan, jer predviđen vek trajanja panela iznosi 25 godina uz linearno smanjenje ukupne efikasnosti sistema za 1% godišnje [6].

Proračun vezan za cenu proizvedene električne energije rađen je pod pretpostavkom da će višak električne energije koji elektrana proizvede biti predat u mrežu. Da bi to bilo moguće potrebno je dobiti dozvolu da se elektrana priključi na mrežu, što može da predstavlja problem zbog koga je dalje analizirana isplativost solarne elektrane kada se viškovi energije ne bi predavali u mrežu. U daljem tekstu je analizirano da li bi ugradnja baterija, koje bi se punile u trenucima kada je proizvedena snaga veća od snage potrošnje bila isplativija, ili bi isplativije bilo da se u trenucima kada postoji višak energije, a nije ga moguće plasirati u mrežu, upravlja invertorima na takav način da ne rade u tački maksimalne snage, već u tački kojom bi se postiglo da je proizvodnja jednaka potrošnji.

7. IZBOR BATERIJE

Na osnovu dobijenih podataka o potrošnji električne energije, kao i pomoću podataka o insolaciji na zadatoj lokaciji pomoću softvera [7] određen je način kontrolisanja punjenja i pražnjenja baterije, a pomoću *Matlab* programa izračunata ekonomska isplativost korišćenja baterije sa prikazom viškova energije koji bi se javili tokom perioda eksploatacije date solarne elektrane.

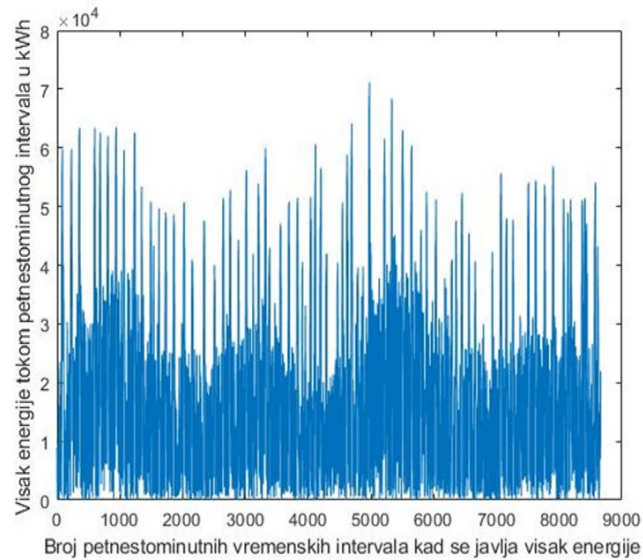
Na osnovu dijagrama potrošnje, primećuje se da se javlja najveća potrošnja aktivne snage u period od 5:30 h do 18 h. Čak i tokom noći postoji potrošnja od oko 90 kW, dok nedeljom postoji značajno umanjene potrošnje u periodu od 5:30 do 18h. Na Slici 13 je prikazana potrošnja za četvrtak, petak, subotu i nedelju.



Slika 13. Dijagram potrošnje u periodu (četvrtak-nedelja)

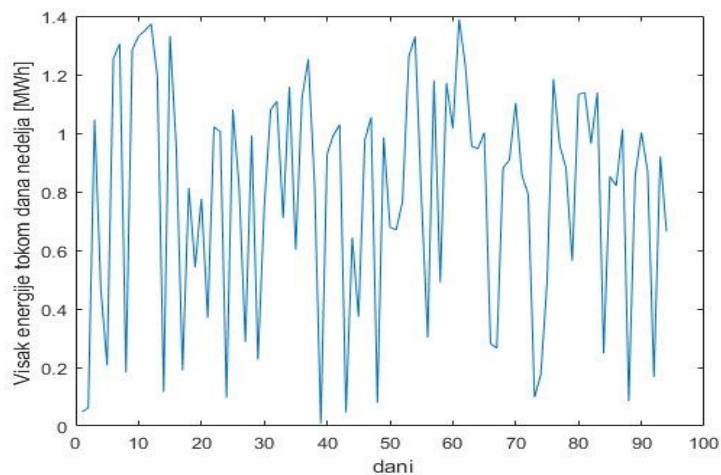
Primeri iz prakse kompanija koje se bave projektovanjem i izvođenjem radova u oblasti solarnih elektrana ukazuju da je potrebno imati ne više od jednog ciklusa punjenja i pražnjenja baterije tokom dana, čime se povećava životni vek trajanja baterije koji direktno zavisi od ukupnog broja ciklusa punjenja i pražnjenja tokom eksploatacije. Na osnovu toga i dijagrama potrošnje fabrike, logika kontrolisanja punjenja i pražnjenja se sastoji u tome da se baterija puni u trenucima kada je proizvodnja veća od potrošnje, a da se prazni u periodu od 18h do 24h. Predviđen je jedan ciklus punjenja i pražnjenja tokom dana. U nastavku su dati grafikoni pomoću kojih se može utvrditi višak energije (razlika između proizvodnje i potrošnje), kao ukupan višak energije za određene dane. Proračuni su rađeni na osnovu vrednosti insolacije u periodu od dve godine, kako bi dobijeni rezultat bio što tačniji. Svrha ovih proračuna jeste buduća optimizacija viškova energije koji se javljaju, a koja bi se mogla optimizovati kada bi razvodna šema fabrike bila poznata. Ovakva optimizacija bi potencijalno obuhvatala korišćenje postojećih baterijskih kapaciteta bez ulaganja u posebne baterijske kapacitete isključivo za solarnu elektranu.

Ukupan višak energije u petnestominutnim vremenskim intervalima u periodu od dve godine je prikazan na Slici 14.

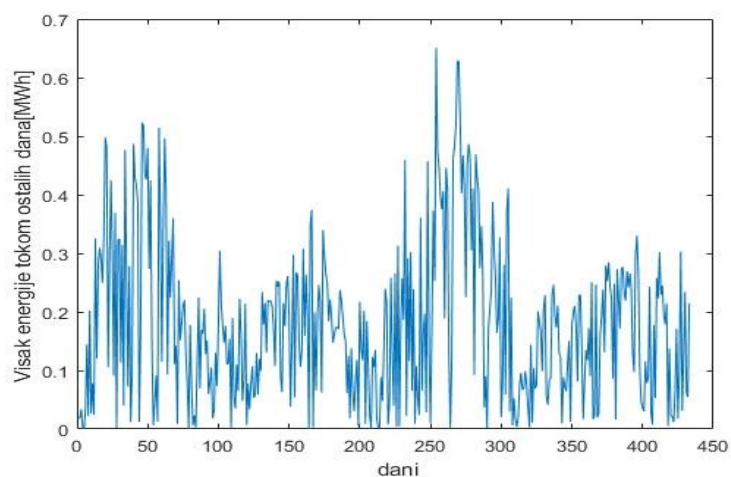


Slika 14. Višak proizvedene energije iz solarne elektrane

Odvojeno su prikazani na Slici 15 i Slici 16 viškovi koji se javljaju na dnevnom nivou tokom dana nedelja i tokom svih ostalih dana, u period od dve godine.



Slika 15. Višak energije tokom dana nedelja



Slika 16. Višak energije tokom svih dana sem nedelje

Ukupan višak tokom dana nedelje u period od dve godine je 73,9 MWh. Broj takvih dana u toku dve godine je 94.

Ukupan višak ostalih dana sem nedelje u period od dve godine je 77,5 MWh. Broj takvih dana u toku dve godine je 433.

Na osnovu datih rezultata se može uočiti da je ukupan višak tokom dana nedelje i tokom svih ostalih dana približno jednak, a da je pri tom broj nedelja (dan) u kojima se javlja višak energije dosta manji nego ukupan broj svih ostalih dana kada se javlja višak energije.

Ovaj podatak bi mogao biti od izuzetnog značaja u slučaju poznate razvodne šeme fabrike, na osnovu koje bi se mogao bolje iskoristiti višak energije koji se javlja sa već postojećom opremom u fabrici. Jedano od mogućih rešenja bi bilo punjenje baterija viljuškara tokom nedelje kada se ova vozila neće koristiti i samim tim bi se bolje iskoristili viškovi koji se javljaju tokom dana nedelja kada fabrika ne radi.

U narednom delu biće predstavljeni rezultati ekonomskog proračuna korišćenja litijum-jonskih baterija u cilju skladištenja viškova električne energije. Litijum-jonske baterije su izabrane zato što se one isključivo koriste u solarnim aplikacijama.

Životni vek izabranih baterija je 3000 ciklusa, što bi u analiziranom slučaju značilo da bi baterije mogle trajati 11 godina, sa obzirom da je postojalo 270 ciklusa punjenja i pražnjenja godišnje. Za potrebe proračuna izabrane su litijum-jonske baterije kapaciteta od 10 kWh i 2.5 kWh. Glavne karakteristike baterije od 10 kWh su [8]:

- Maksimalni napon punjenja: 57,6 V
- Struja punjenja: 80 A
- Nominalni kapacitet: 10.000 Wh
- Cena: 381.600,00 RSD

Simuliran je ciklus punjenja i pražnjenja baterije za date uslove, uz variranje energije baterije od 1×10 kWh do 200×10 kWh. Za efikasnost ciklusa punjenja i pražnjenja uzet je koeficijent 0,9. Za cenu jednog kWh usvojena je vrednost od 5,7 RSD, ali se očekuje da će ova cena u bliskoj budućnosti biti značajno veća.

Može se primetiti da povećanje kapaciteta u baterijama kao rezultat daje povećanje ukupnog uskladištenog viška energije, ali korišćenjem 120 i više baterija od po 10 kWh ulazi se u zasićenje. Za određivanje ekonomske isplativosti korišćenja baterija za skladištenje viška proizvedene električne energije, primenjen je model kojim se izračunava broj godina eksploatacije koje su potrebne da početna ulaganja u sisteme baterija budu isplaćena.

Primećuje se da se najbrže isplati korišćenje najmanje baterije (za oko 30 godina), ali je njen vek trajanja 11 godina, odakle se zaključuje da ulaganje u ove baterije nije ekonomski opravdano. Korišćenjem baterije manjeg kapaciteta, čije su karakteristike date u literaturi [8], (Maksimalni napon punjenja: 12,8 V, Struja punjenja: 60 A, Nominalni kapacitet: 2.500 kWh, Cena: 114.600 RSD) dobija se sličan zaključak.

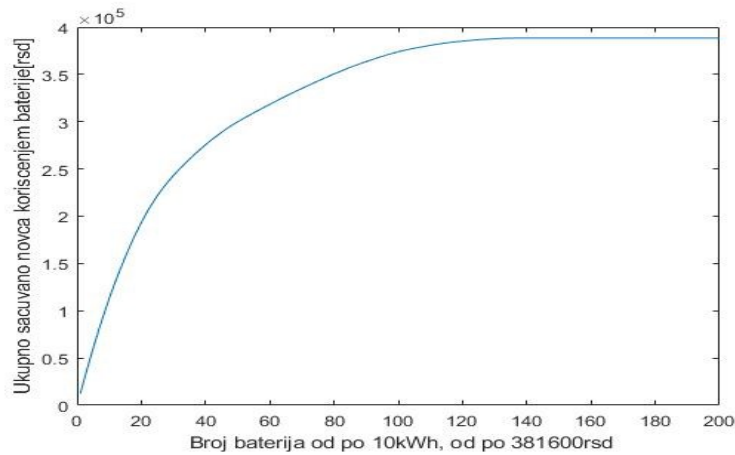
Na osnovu grafički prikazanih dobijenih rezultata na slikama 17 - 19, uočava se da ekonomski nije isplativo investiranje u dodatne kapacitete baterija čija bi uloga bila da isključivo skladište energiju proizvedenu radom solarne elektrane. Zbog toga je urađena analiza isplativosti solarne elektrane koja ne bi sadržala posebne sisteme za skladištenje energije.

U tom slučaju, pri pojavi viška energije usled pozitivne razlike između proizvodnje i potrošnje, invertori bi radili u tački koja je različita od tačke maksimalnog iskorišćenja energije, a koja je određena tako da u datom trenutku proizvodnja bude jednaka potrošnji. Povraćaj ovakve investicije koji je određen slično ranijem postupku, iznosio bi 7,4 godina.

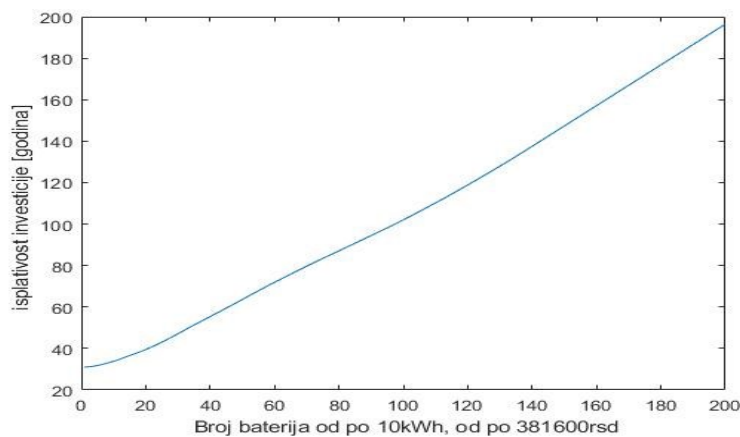
8. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati energetskeg pregleda u jednom odabranom industrijskom preduzeću. Posebna pažnja je posvećena analizi potrošnje električne energije. Tokom pregleda urađena su kontinualna višednevna merenja profila potrošnje električne energije. Predložene su mere za unapređenje energetske efikasnosti - kompenzacija reaktivne energije i instalacija solarne elektrane. Predložena mera ugradnje baterija za kompenzaciju reaktivne energije isplatila bi se za manje od pola godine.

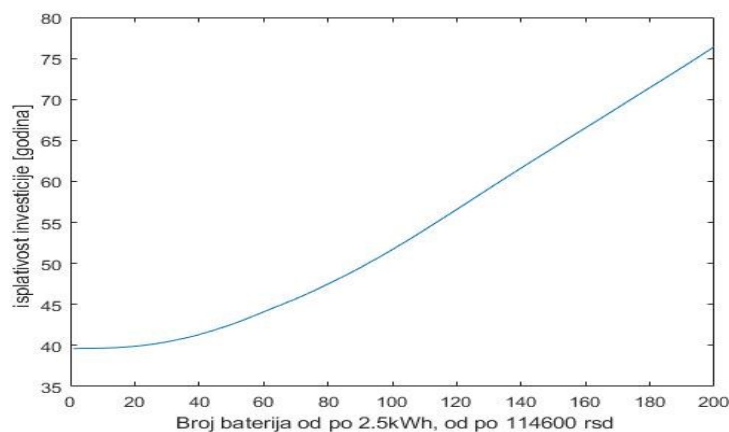
Povraćaj novca investicije u solarnu elektranu na krovu fabrike sa dobijenom dozvolom za priključenje na mrežu iznosi 7,3 godine, dok bez dobijanja dozvole iznosi 7,4 godina. Imajući u vidu da vek trajanja solarne elektrane iznosi 25 godina, ova investicija predstavlja atraktivnu opciju za rukovodstvo kompanije. Ulaganje u baterije čija bi uloga bila skladištenje viškova energije nije opravdano.



Slika 17. Ukupne uštede novca korišćenjem baterije u toku jedne godine



Slika 18. Isplativost investicije u baterije od po 10 kWh



Slika 19. Isplativost investicije u baterije od po 2,5 kWh

LITERATURA

- [1] <https://bs.atomiyme.com/indukciono-pec-za-pecnice-princip-rada-shema-i-pregledi/>

- [2] https://www.solar-shop.rs/wp-content/uploads/2020/10/EXE-EN-Saturn-Poly-72-cell-330-350-Wp_Silver- -White.pdf
- [3] http://ees.etf.bg.ac.rs/predmet.php?Id=13#fajlovi/OIE_3_Polozaj_sunc_na_nebeskoj_sferi/
- [4] <https://www.fronius.com/ar-ae/middle-east/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-20-0-3-m>
- [5] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/?fbclid=IwAR0CuTgIIS4M7ADiVe22uxvfM2MBW_K4UC4PEf_TeUNvD1ywI305tIpxwno
- [6] <https://specinstalacijetf.wordpress.com/материјали-за-предавања/Poglavlje-5>
- [7] <https://www.solar-shop.rs/proizvodi/akumulator-lifepo4-lpbg48200-48v-10kwh/>
- [8] <https://www.solar-shop.rs/proizvodi/akumulator-lifepo4-lpbf12200-12v-25kwh/>

ENERGY AUDIT IN SELECTED INDUSTRIAL COMPANY AND PROPOSED MEASURES FOR ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENTS

Tomsilav Stepanović^{*1}, Nikola Kijanović¹, Mirjana Stamenić² and Saša Marković³

University of Belgrade, School of Electrical Engineering, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11120 Belgrade¹

*University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Kraljice Marije 16, 11120 Belgrade²
The Academy of Applied Technical Studies, Belgrade³*

Abstract: Energy efficiency has become essential in recent years, especially when there have been significant changes in the energy market. If we compare data from 2008 and 2022, the price of electricity has almost doubled (according to *Euro-Stat data*). During the last few decades, producing "clean" electricity from renewable energy sources - RES has become attractive. However, a complete transition to electricity production from RES is not certain shortly. The paper analyzes the possibility of improving energy efficiency in an industrial plant where a short energy audit was carried out. Energy efficiency measures were proposed, and a simple cost-benefit analysis was made. The energy efficiency measures presented in this paper are related to reducing the current harmonics, thus reducing losses in the transmission of electricity and in its exploitation. Attention to the work is also paid to the compensation of reactive energy, which is a significant factor in increasing energy efficiency. Additionally, the paper analyzes the possibility of installing a solar power plant to increase the energy efficiency of the entire plant. The solar panels, the method, and the place for their installation were selected, the inverter was dimensioned, and the potential production of electricity was calculated.

Keywords: Energy audit, Energy efficiency, Solar power plant, Reactive energy compensation.