

“PROFOTONAPSIS” – PROGRAMSKI ALAT ZA PROJEKTOVANJE FOTONAPONSKIH SISTEMA

“PROFOTONAPSIS” – SOFTWARE TOOL FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS DESIGN

Duško Tovilović, EFT – Rudnik i Termoelektrana Stanari, Stanari, Republika Srpska, BiH
Zlatan Stojković, Elektrotehnički fakultet Beograd, Beograd, Srbija

Sadržaj - U radu je opisana realizacija i način korištenja programskog alata „PROFOTONAPSIS“ koji omogućava izvođenje neophodnih proračuna pri projektovanju manjih fotonaponskih sistema za proizvodnju električne energije. Programski alat je modularan i realizovan je korištenjem programskih paketa za obradu podataka u tabelarnom obliku (Open Office Calc, MS Office Excel). „PROFOTONAPSIS“ omogućava analizu lokacije fotonaponskog sistema (određivanje optimalne orijentacije panela, provjeru zasjenjavanja), konfiguraciju polja fotonaponskih modula, dimenzionisanje i izbor pojedinih elemenata razvoda jednosmjerne i naizmjenične struje, automatsku izradu specifikacije materijala i radova, procjenu proizvodnje električne energije i ekonomsku analizu projekta izgradnje fotonaponskog sistema. Rezultati proračuna iz ovog programskog alata se na jednostavan način mogu koristiti za izradu tekstualnog dijela projektne dokumentacije. U radu su prikazani značajniji rezultati proračuna za konkretan testni primjer.

Abstract - The paper describes the implementation and how to use software tool "PROFOTONAPSIS" which allows you to perform the necessary calculations in the design of small photovoltaic systems for electricity generation. The software tool is modular and is implemented using software packages for processing data in tabular format (Open Office Calc, MS Excel). "PROFOTONAPSIS" allows you to analyze site of the photovoltaic system (determining the optimum orientation of the panels, shading analysis), configure the fields of photovoltaic modules, sizing and selection of certain elements of the AC and DC electrical installations, automatically making material and works specification, estimate the power generation and economic analysis of the investment to build the photovoltaic system. The results of calculations of this software tool maybe used for making the textual part of the project documentation. The paper presents significant results of the calculations for a concrete test case.

1. UVOD

PROFOTONAPSIS (skraćenica od PROjektovanje FOTONAPonskih SIStema) predstavlja programski alat koji omogućava rješavanje neophodnih proračuna u procesu projektovanja fotonaponskih sistema za proizvodnju električne energije, te prikaz rezultata proračuna u vidu grafika i tabela. Ovaj programski alat je posebno razvijen za projektovanje fotonaponskih sistema manjih snaga koji se postavljaju na krovove zgrada i električno su povezani sa lokalnom elektroenergetskom distributivnom mrežom. Ovakvi sistemi namjenjeni su za djelimično ili potpuno snabdijevanje električnom energijom potrošnje na koju su direktno priključeni. Za slučaj da proizvode više električne energije od trenutne potrošnje, višak se predaje distributivnoj mreži te na taj način vlasnik sistema može ostvariti dodatni ekonomski profit od prodaje električne energije. U praksi postoje i drugi tipovi fotonaponskih sistema. Teorija koja se odnosi na osnovne elemente, kao i na klasifikaciju fotonaponskih sistema, data je u [1, 2, 3, 4].

U radu je opisan način realizacije i način korištenja pomenutog programskog alata. Pri opisivanju pojedinih funkcija programskog alata data je i kraća teoretska podloga. Ukazano je i na pojedine bitne detalje kojima je potrebno posvetiti posebnu pažnju u toku projektovanja.

Testni primjer predstavlja zadatak koji se sastoji u zahtjevu za projektovanjem fotonaponskog sistema na raspoloživu površinu krova koja iznosi 40 m², a kao značajan podatak navodi se i to da se mjesto predviđeno za postavljanje sistema nalazi na 44 stepena sjeverne geografske širine. U radu su

prikazani značajniji rezultati proračuna u tabelarnom i grafičkom obliku za opisani testni primjer.

2. PROFOTONAPSIS – REALIZACIJA I NAČIN KORIŠTENJA

Rad ovog programskog alata zasniva se na izvođenju tabelarnih proračuna (*eng. Spreadsheet Calculations*) te je realizovan kao skup radnih tabela i namjenjen je za korištenje u već postojećim programskim paketima za rad sa podacima u tabelarnom obliku. Razvoj i upotreba programskih alata ovog tipa vrlo je česta praksa pri rješavanju inženjerskih proračuna kao što je opisano i u [5]. Konkretno, programski alat PROFOTONAPSIS namjenjen je za rad u programskim paketima *Open Office Calc* [6] i *Microsoft Office Excel* [7].

Ovakav način realizacije ovog programskog alata izabran je iz nekoliko razloga, i to:

- iskorištene su već ugrađene funkcije i napredne tehnike navedene klase programskih paketa koje se odnose na izračunavanja na osnovu podataka u tabelarnoj formi,
- iskorišteni su već ugrađeni podprogrami za jednostavno vizuelno prikazivanje rezultata u obliku grafika,
- postignuta je mogućnost lake nadogradnje ovog programskog alata novim tabelama (modulima) te lako izvođenje eventualnih izmjena zbog prilagođavanja posebnim primjenama,
- iskorišten je jednostavan i opšteprihvaćen način da se rezultati iz ovog programskog alata iskoriste kao materijal pri izradi odgovarajuće projektne dokumentacije,

- postignuta je velika prenosivost programskog alata ako se ima u vidu da su navedeni programski paketi [6, 7] široko rasprostranjeni i često korišteni,
- alat je moguće koristiti na više različitih računarskih operativnih sistema gdje god je moguće koristiti programski paket [6], među kojima je i nekoliko operativnih sistema koji nisu komercijalni.

Programski alat čini jedna datoteka formata .ods ili .xls koju je neophodno učitati u odgovarajući programski paket sa napomenom da programski paket [6] omogućava učitavanje oba navedena tipa datoteka. Zamišljeni koncept programskog alata podrazumjeva raščlanjenost istog na pojedine funkcionalne cjeline (module). Praktično, modularnost je izvedena tako da se datoteka programskog alata sastoji iz nekoliko radnih listova (*eng. sheets*), i to: profotonapsis, podaci_o_projektu, FNS_mjesto_montaze, FNS_provjera_za_sjenjavanje, FNS_izbor_elemenata, FNS_predmjer_i_predracun, FNS_proizvodnja_el_energije, FNS_ekonomska_analiza.

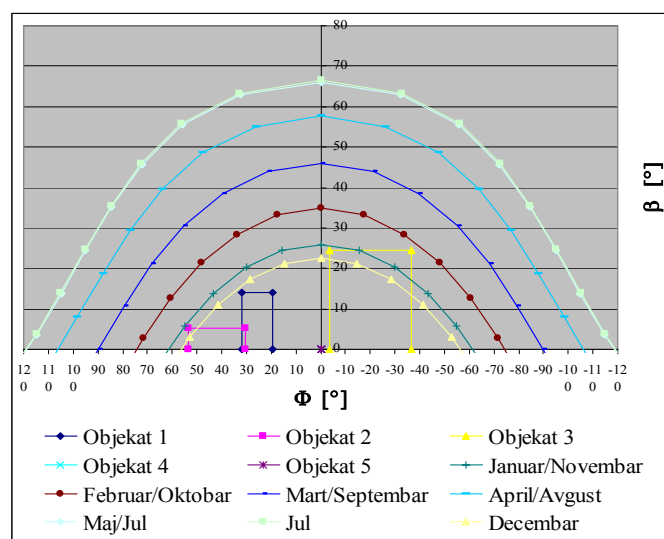
Prvi navedeni radni list sadrži osnovne podatke o programskom alatu a drugi radni list osnovne podatke o samom projektu. U ostalim radnim listovima nalaze se tabele u kojima se vrši unos ulaznih podataka i izračunavanja. U pojedine ćelije radnih tabela vrši se unos podataka od strane korisnika. U takvim tabelama u jednoj koloni dat je opis parametra ili radne veličine koju je potrebno unijeti. Navedene su i jedinice veličina i parametara koje je potrebno poštovati pri unosu. Korisnik unosi parametre samo u ćelije koje su obojene sivom bojom, dok se vrijednosti u ostalim ćelijama izračunavaju automatski. Da bi programski alat pravilno funkcionisao nije dozvoljeno mijenjati sadržaje ćelija koje nisu predviđene za unos. Iz istih razloga nije dozvoljeno brisanje pojedinih redova i kolona u radnim tabelama.

3. MJESTO ZA MONTAŽU FOTONAPONSKOG SISTEMA

Proizvodnja električne energije fotonaponskog sistema najviše zavisi od izbora mjesta za postavljanje fotonaponskih modula i njihove orijentacije (azimuta i ugla nagiba). Obilazak mjesta i izbor optimalnih parametara za montažu predstavlja prvi korak u projektovanju. U radnom listu FNS_mjesto_montaze, u datoteci programskog alata Profotonapsis, nalaze se tabele u koje se unose podaci o geografskim koordinatama predviđenog mjesta za montažu, podaci o dimenzijama krova, te visina na koju je predviđeno montirati fotonaponske panele. Na osnovu unesenih podataka izračunava se optimalna orijentacija fotonaponskih panela. Ukoliko nije moguće koristiti optimalne uglove azimuta i nagiba panela (zbog već postojeće orijentacije zgrade i nagiba krova) moguće je unijeti orijentaciju panela koja se može ostvariti. Ukoliko se azimut površine na koju će biti postavljeni paneli određuje pomoću kompasa sa magnetnom iglom, neophodno je uzeti u obzir i ugao deklinacije (*eng. Magnetic Declination Angle*) kako bi se izračunala orijentacija prema „pravom jugu“. Ugao deklinacije je ugao između pravca sjever koji pokazuje kompas i pravca koji zaista prolazi kroz tačku sjevernog pola Zemlje. Postoje i programski alati koji određuju ugao deklinacije na osnovu unesenih geografskih koordinata posmatranog mjesta, a neki od njih mogu se koristiti direktno na internetu [8].

4. PROVJERA ZASJENJAVANJA

Pored optimalne orijentacije panela neophodno je iste postaviti tako da eventualni okolni objekti u blizini mjesta za montažu panela nemaju uticaj na osunčanost, tj. da ne prave sjenke na površini predviđenoj za montažu. Kako zasjenjavanje može da ima veliki negativan uticaj na proizvodnju električne energije od velikog značaja je izvođenje provjere zasjenjavanja i uticaja zasjenjavanja na proizvodnju. Za ovu provjeru postoje odgovarajući instrumenti i priručni alati [1, 2, 3]. Profotonapsis omogućava provjeru zasjenjavanja na osnovu unesenih podataka o geografskoj širini mjesta za montažu, te udaljenosti, visini, širini i azimutu pojedinih okolnih objekata. Ovi podaci se unose u odgovarajuću tabelu radnog lista FNS_provjera_zasjenjavanja, na osnovu kojih se dobija grafički prikaz putanja Sunca za pojedine mjesce i konture pojedinih objekata (Slika 1).



Slika 1 – Grafik putanje Sunca za 44° SGŠ sa konturama objekata u vidokrugu

Sa Slike 1 vidljivo je da Objekat 3 pravi sjenku na izabranoj površini od Novembra do Januara i to u ranim "poslijepodnevnim" časovima, približno od 12h do 2 1/2h, pri čemu su vremenski periodi izraženi u solarnom vremenu [1, 2, 3]. Objekat 2 takođe pravi sjenku u decembru u tako da je Sunce direktno vidljivo sa mjesta fotonaponskih modula tek poslije 8 1/2h. Putanje Sunca su nacrtane samo za 21. dan mjeseca tako da ova provjera može da da približne rezultate. Za identifikovane sate kada nema direktnog Sunčevog zračenja, moguće je procijeniti i gubitak energije na osnovu izraza [3]:

$$I = Ae^{-km} \left[\cos \beta \cos (\Phi_s - \Phi_c) \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma \right] + Ae^{-km} \left[C \left(\frac{1 + \cos \Sigma}{2} \right) + \rho (\sin \beta + C) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \right] \quad (1.1)$$

Izraz (1.1) predstavlja ukupni intenzitet fluksa sunčevog zračenja (*eng. Irradiance*), za sve tri komponente (direktnu, difuzionu i reflektovanu), a za pojedini odabrani vremenski trenutak u godini. Na osnovu ovog izraza se za uneseni sat u pojedinom mjesecu, u posebnoj tabeli u radnom listu

FNS_provjera_zasjenjavanja, vrši izračunavanje procjene gubitka energije koji se kasnije koristi kod procjene proizvodnje električne energije posmatranog sistema.

5. DIMENZIONISANJE I IZBOR POJEDINIH ELEMENATA FOTONAPONSKOG SISTEMA

U radnom listu FNS_izbor_elementa nalazi se 8 radnih tabela u kojima se vrše odgovarajući proračuni koji su neophodni za izbor pojedinih elemenata fotonaponskog sistema pod kojima se podrazumjeva sva aktivna oprema (fotonaponski paneli, invertori, složeni zaštitni uređaji) kao i elementi električnog razvoda jednosmjerne i naizmjenične struje (provodnici, zaštitni uređaji, montažni materijal). Pojedine tabele u ovom radnom listu označene su brojevima koji predstavljaju redni broj koraka pri izboru pojedinih elemenata sistema i ovaj redosljed bi trebalo uvažiti.

Pri izboru elemenata sistema polazi se od izbora tipa fotonaponskih modula jer od izabranog tipa modula zavise osnovni parametri čitavog fotonaponskog sistema (napon, struja, izlazna snaga). Na izbor tipa fotonaponskih modula mogu da utiču cijena modula, dostupnost na tržištu, garantni uslovi, dosadašnja iskustva u korištenju modula, kao i zahtjevi u pogledu zadovoljavanja specijalnih tehničkih uslova. Nakon izbora fotonaponskog modula, radi proračuna ostalih parametara sistema, neophodno je unijeti parametre fotonaponskog modula. Nakon izbora tipa modula, a na osnovu raspoložive površine za montažu modula, potrebno je odrediti broj modula. S obzirom na ranije unesene podatke o dimenzijama krova, izračunava se maksimalni broj modula koje je moguće montirati u redu i maksimalni broj redova fotonaponskih modula. Proračun se izvodi uzimajući u obzir unesene vrijednosti o dimenzijama fotonaponskih modula uz uvažavanje i rastojanja između dva modula nakon montaže koje obično iznosi 20 mm.

Na osnovu predloženog broja modula, vrši se izbor broja modula pri čemu treba imati u vidu da je za sisteme sa više fotonaponskih panela potrebno usvojiti paran broj fotonaponskih modula kako bi bilo moguće formirati panele istog izlaznog napona. Na osnovu izabranog broja modula dobija se i ukupna masa modula te bi ovaj rezultat, uz dodatak mase metalne konstrukcije za montažu modula, trebalo da predstavlja ulazni parametar pri proračunu koji je neophodno izvesti da se pokaže da li krov izabrane konstrukcije može da podnese ovu dodatnu masu. U zavisnosti od rezultata pomenutog proračuna eventualno se vrši ojačanje krovne konstrukcije pri kasnijoj montaži u praksi.

Na osnovu usvojenog broja fotonaponskih modula vrši se konfiguracija fotonaponskog sistema u smislu izbora broja nizova fotonaponskih modula (panela) koji se vezuju paralelno te broja fotonaponskih modula u pojedinim nizovima. Pri ovom izboru potrebno je kao zadatak postaviti postizanje što veće vrijednosti napona fotonaponskog sistema, što se postiže što većim brojem redno vezanih modula u panelu, a kako bi se smanjila vrijednost struje. Sa druge strane, treba imati u vidu maksimalno dozvoljene vrijednosti napona za koje su u praksi dimenzionisani inverter, kablovi i zaštitni uređaji. Nakon unosa broja panela i broja modula u panelu u ostalim ćelijama automatski se

izračunavaju vrijednosti osnovnih parametara fotonaponskog sistema (Tabela 1).

3) Konfiguracija i parametri fotonaponskog sistema	
Broj modula vezanih serijski u fotonaponskom panelu [kom]:	13
Broj panela vezanih paralelno [kom]:	2
Maksimalni napon otvorenog strujnog kola DC sistema pri STC [V]:	400.4
Maksimalni napon DC sistema! Vrijednost napona otvorenog strujnog kola DC sistema pri temperaturi od -10 [°C] [V]:	467.39
Minimalni napon DC sistema! Vrijednost napona otvorenog strujnog kola DC sistema pri temperaturi od 70 [°C] [V]:	314.27
Izbor modula u skladu sa maksimalnim naponom DC sistema	DA!
Maksimalni radni napon DC sistema pri STC [V]:	321.1
Maksimalna radna struja DC sistema pri STC [A]:	15.42
Maksimalna DC snaga sistema pri STC [kW]:	4.95
Maksimalna snaga fotonaponskog sistema dozvoljena za jednofazno priključenje na mrežu [kW]:	5
Maksimalna izlazna snaga invertora dozvoljena za jednofazno priključenje na mrežu [kVA]:	4.6
Moguće jednofazno priključenje fotonaponskog sistema na mrežu	DA!
Potreban broj monofaznih invertora [kom]:	1
Preporučena nominalna izlazna snaga invertora [kW]:	4.95
Donja granica nominalne izlazne snage invertora [kW]:	3.96
Gornja granica nominalne izlazne snage invertora [kW]:	4.60
Konfiguracija sistema:	polje(podpolje)/inverter
Broj panela po invertoru [kom] :	2
Broj glavnih vodova DC sistema [kom]:	1

Tabela 1 – PROFOTONAPSIS, radna tabela za izračunavanje parametara fotonaponskog sistema

Ograničavajući faktori kada se vrši projektovanje fotonaponskog sistema, koji je povezan sa postojećom distributivnom električnom mrežom, mogu da predstavljaju normativi lokalnih distributivnih preduzeća koji propisuju maksimalnu dozvoljenu snagu fotonaponskog sistema koji može jednofazno da se priključi na mrežu. Kao primjer u ovom slučaju uzeti su u obzir normativi koji su važeći u Njemačkoj i još nekim evropskim zemljama [1, 2] te je u skladu sa ovim u Tabeli 1 izvršeno logičko ispitivanje uslova da li je izlazna DC snaga fotonaponskog sistema veća od snage koja je dozvoljena za jednofazno priključenje. U slučaju da je ista veća neophodno bi bilo projektovati sistem koji bi se na mrežu priključivao trofazno. Trofazno priključivanje moguće je realizovati izborom tri odvojena jednofazna invertora ili izborom jednog trofaznog invertora

koji se rjeđe sreću u praksi. U pogledu broja invertora i načina priključenja polja fotonaponskih modula na inverter, postoji više konfiguracija fotonaponskih sistema [1, 2, 3, 4]. U ovom programskom alatu razmatrana je konfiguracija da jedno polje može pripadati jednom invertoru ili dio fotonaponskog polja pripada jednom invertoru kada ih postoji više (polje (podpolje)/inverter). U slučaju sistema sa snagom većom od dozvoljene za jednofazno priključenje, u Tabeli 1 ugrađena je logika koja izračunava broj fotonaponskih panela po invertoru kako bi se dobio simetričan sistem.

Nakon izbora konfiguracije panela vrši se izbor invertora. Pri izboru invertora u ćelije odgovarajuće tabele unose se karakteristike invertora, a koje moraju da budu takve da zadovolje karakteristične vrijednosti parametara sistema koje su date u Tabeli 1. Prije svega potrebno je usvojiti inverter koji zadovoljava u pogledu maksimalnog sistemskog napona, maksimalne struje DC sistema (kod invertora maksimalna ulazna vrijednost jednosmjerne struje) te preporučene vrijednosti izlazne naizmjenične snage invertora date u Tabeli 1. Nakon unošenja parametara invertora automatski se vrši ispitivanje gore navedenih uslova te se u posljednjoj ćeliji tabele prikazuje vrijednost logičkog izraza koja govori o tome da li je izabran inverter odgovarajućih karakteristika.

Sljedeći korak u izboru opreme predstavlja izbor provodnika i odgovarajućih zaštitnih elemenata pojedinih strujnih kola fotonaponskih panela. Kao provodnici za ovu upotrebu koriste se izolovani provodnici i kablovi koji zbog izloženosti direktnom Sunčevom zračenju i povišenim temperaturama, moraju da zadovolje specijalne uslove. Korištenje radnih tabela za izbor provodnika (kablova) podrazumjeva unošenje odgovarajućih vrijednosti struje za odabrani poprečni presjek provodnika i koeficijenata iz odgovarajućih tabela u [9], gdje je i opisan način izbora trajno dozvoljene struje provodnika. Za maksimalnu radnu struju panela uzima se vrijednost struje kratkog spoja jednog modula (pri standardnim testnim uslovima) uvećana za 25%.

Maksimalna vrijednost struje koja bi proticala kroz strujno kolo fotonaponskog panela (pogođeno kvarom) za, slučaj kratkog spoja na nekom mjestu u polju fotonaponskih modula jednaka je [1]:

$$(n-1)I_{SC \text{ jednog panela}} \quad (1.2)$$

U (1.2) je sa n označen broj panela koji su međusobno povezani paralelno. Ovo je veoma važno za izbor zaštitnih uređaja panela jer struja kvara dostiže značajne vrijednosti (u odnosu na radnu struju kola) tek za polja fotonaponskih modula sa većim brojem fotonaponskih panela vezanih paralelno. Kako bi zaštitni uređaji mogli pouzdano da reaguju, usvojena je praksa da se od ovakvih kvarova štite strujna kola pojedinih panela samo u slučaju fotonaponskih polja sa brojem panela većim od 4 [1, 2]. Za naznačenu (nominalnu) vrijednost struje zaštitnog uređaja uglavnom je dovoljno uzeti struju koju daje proizvođač fotonaponskih modula u svojim tehničkim karakteristikama. U odgovarajuće ćelije moguće je unijeti podatke o usvojenom tipu kabla i zaštitnog uređaja koji se koristi za automatsku izradu specifikacije i predmjera materijala.

Nakon izbora provodnika za fotonaponske panele, na sličan način usvajaju se i provodnici i zaštitni uređaji za glavni vod električnog razvoda jednosmjerne struje i glavni vod razvoda naizmjenične struje. U pojedine tabele unose se poprečni presjek provodnika, potrebna dužina, materijal od koga je isti izrađen, te odgovarajući koeficijenti koji se odnose na okolnu temperaturu, način polaganja provodnika (kablova) i eventualno paralelno grupno vođenje sa drugim kablovima [9]. Na osnovu unesenih podataka računaju se padovi napona i trajno dozvoljena struja provodnika koji se upoređuju sa dozvoljenim padom napona i izborom naznačene struje zaštitnih uređaja, a na osnovu poređenja se formira i ispisuje logička vrijednost o pravilnom izboru pomenutih elemenata. U posebnoj radnoj tabeli izračunava se minimalna površina poprečnog presjeka bakarnog provodnika za izradu instalacije uzemljenja, na osnovu praktičnih iskustava.

Pored zaštitnog uređaja za struje kratkih spojeva i preopterećenja, važno je izabrati i zaštitu od kvarova tipa zemljospoj te prenaponsku zaštitu fotonaponskog sistema. Način izbora navedenih uređaja ove namjene nije ugrađen u ovaj programski alat u vidu radne tabele kao što je to urađeno za ostale elemente. U katalogima opreme proizvođača, uglavnom, postoje uputstva kako izabrati tip i konfiguraciju potrebnih uređaja za ovu namjenu.

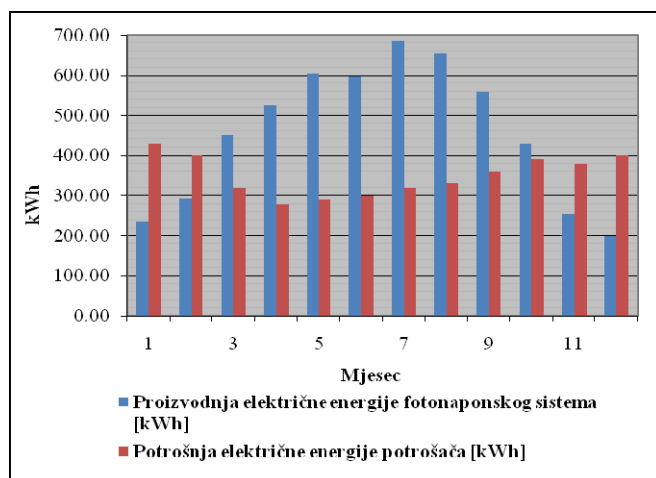
6. PREDMJER I PREDRAČUN

U radnom listu FNS_predmjer_i_predracun nalaze se tabele sa detaljnim spiskom potrebne opreme i materijala kao i sa spiskom neophodnih radova za izgradnju fotonaponskog sistema. Količine pojedinih stavki izračunavaju se automatski na osnovu već unesenih podataka u pojedinim tabelama radnog lista FNS_izbor_elementa. Na osnovu unesenih jediničnih cijena dobija se predračunska vrijednost koštanja izgradnje fotonaponskog sistema, a koja se koristi u ekonomskoj analizi investiranja u izgradnju fotonaponskog sistema.

7. PROCJENA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE FOTONAPONSKOG SISTEMA

U radnom listu FNS_proizvodnja_el_energije nalazi se tabela u koju se, za površinu predviđenu za montažu fotonaponskih modula usvojene orijentacije, unosi srednja vrijednost globalne dnevne iradijacije (Wh/m^2 dan) za pojedine mjesece u godini. Ovaj podatak se može dobiti računski na osnovu izraza (1.1), kao i na osnovu mjerenja intenziteta Sunčevog zračenja. Za određenu geografsku širinu i orijentaciju fotonaponskih panela postoje izrađene tabele sa podacima o intenzitetu zračenja Sunca [3]. Za izračunavanje ovih parametara postoji mnogo programskih alata [1, 2] a neki mogu da se koriste direktno na internetu kao što je [10]. U određenu kolonu moguće je unijeti vrijednost srednje dnevne snage koja se gubi usljed eventualnog zasjenjavanja u toku mjeseca. Na smanjenje proizvodnje sistema utiču faktori kao što su: zaprljanost površine modula, povišena temperatura, gubici u AC i DC razvodu i invertoru. Na osnovu uobičajenih vrijednosti za pojedine navedene gubitke [1], kao i podataka proizvođača pojedine opreme, izračunati su stepen korisnog dejstva i izlazna snaga sistema, a za

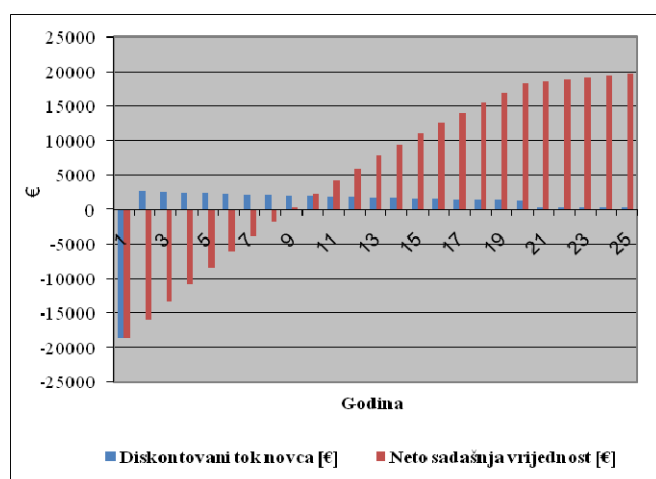
posmatrani sistem oni iznose 76,2 % i 3,77 kW, respektivno. U odgovarajuću kolonu unose se i podaci o srednjoj mjesečnoj potrošnji koju napaja fotonaponski sistem. Proizvodnja posmatranog sistema i potrošnja odgovarajućeg konzuma grafički su predstavljene na Slici 2.



Slika 2 – Prikaz proizvodnje i potrošnje električne energije za pojedine mjesece

8. EKONOMSKA ANALIZA INVESTIRANJA U IZGRADNJU FOTONAPONSKOG SISTEMA

Na osnovu predračunske vrijednosti fotonaponskog sistema u radnom listu FNS_ekonomska_analiza posmatra se opravdanost ulaganja novca u izgradnju posmatranog sistema. U većini zemalja širom svijeta postoje odgovarajući sistemi podsticajnih naknada za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije, a samim tim i fotonaponskih sistema (*eng. Feed-in Tariff*) [4]. Ekonomska analiza investicije posmatranog testnog sistema izvedena je pod pretpostavkom mogućnosti dobijanja naknade od 0,403 €/kWh za svu proizvedenu energiju, što je slučaj za neke evropske zemlje [4].



Slika 3 – Rezultati ekonomske analize investicije u izgradnju fotonaponskog sistema (životni vijek 25 godina)

Na osnovu diskontovanog toka novca i neto sadašnje vrijednosti [4] (Slika 3) vidljivo je da je, pod navedenim

uslovima subvencioniranja projekta, period otplate investicije u posmatrani sistem oko 10 godina.

9. ZAKLJUČAK

Profotonapsis predstavlja jednostavan programski alat orijentisan ka rješavanju inženjerskih proračuna pri projektovanju fotonaponskih sistema. Programski alat daje optimalne parametre orijentacije panela i omogućava grafički način provjere zasjenjavanja. Za izabrane elemente sistema automatski se generiše detaljna specifikacija materijala i radova na osnovu kojih se lako dolazi do predračunske vrijednosti sistema. Modul za procjenu proizvodnje električne energije daje ulazne podatke za ekonomsku analizu.

Unošenje ulaznih podataka, izračunavanje i korištenje rezultata proračuna je krajnje jednostavno. Korisnici koji poznaju tehnike rada u programskim paketima [6, 7] na jednostavan način mogu da prilagođavaju pojedine radne listove i tabele i na taj način dodaju nove opcije i module. Na jednostavan način takođe je moguće mjenjati izgled rezultata proračuna.

LITERATURA

- [1] The German Energy Society (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie DGS LV Berlin BRB), *Planning and Installing Photovoltaic Systems A guide for installers, architects and engineers, second edition*, London: Earthscan 2008.
- [2] Tom Markvart, Luis Castaner: *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*, Oxford: Elsevier Advanced Technology 2003.
- [3] Gilbert M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, Stanford University, Hoboken, New Jersey: Wiley 2003.
- [4] ABB, *Technical Application Papers No. 10, Photovoltaic plants*, <http://www.abb.com/> 2010.
- [5] Zlatan Stojković, *Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici – primena programskih alata*, monografija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Akademska misao, Beograd, 2009.
- [6] OpenOffice.org, <http://www.openoffice.org>, internet stranica
- [7] Microsoft Office, <http://www.microsoft.com>, internet stranica
- [8] NOAA, *NOAA's Geophysical Data Center - Geomagnetic Online Calculator*, <http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/IGRFWMM.jsp>, internet stranica
- [9] Gojko Dtolčić, *Elektroenergetika kroz standarde, zakone, pravilnike, odluke i tehničke preporuke, četvrto, izmenjeno i dopunjeno izdanje*, Beograd: SMEITS 2006.
- [10] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), *Solar irradiation data utility*, <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php?lang=en&map=europe>, internet stranica