INTERNA STOPNJA DONOSNOSTI ZA PRIMER SLEDENJA FOTONAPETOSTNIH MODULOV SONCU

Klemen DEŽELAK, Katarina DEŽAN, Damjan DEŽELAK,
Ernest BELIČ, Gorazd ŠTUMBERGER

POVZETEK

Članek obravnava donosnost, oziroma interno stopnjo donosnosti investicije v sončno elektrarno. Sestavni del sončne elektrarne predstavljajo fotonapetostni moduli, kateri so lahko statični ali premični. Če je sončna elektrarna sestavljena iz premičnih modulov, pri čemer le-ti sledijo gibanju sonca, je mogoče proizvesti tudi do 30 % več energije, kakor če so moduli statični. Po drugi strani pa se postavitev sončne elektrarne s premičnimi fotonapetostnimi moduli odraža v večjih stroških investicije.

ABSTRACT

In proposed paper the internal rate of return for a solar power plant investment is mainly dealt. The main parts of the solar power plant are represented by the photovoltaic moduls, which could be static or movable. In case of movable photovoltaic moduls, where moduls are following to the movement of the sun, the amount of the produced energy could be even up to 30 % higher than in case of static photovoltaic moduls. On the other hand an investment in movable solar plant leads to the higher initial costs of the whole investment.

1. UVOD

Vire energije, ki jih zajemamo iz stalnih naravnih procesov kot so vodna energija, energija biomase, sončno sevanje, energija vetra, geotermalna energija, uvrščamo med obnovljive vire energije [1]. Pri tem večina obnovljivih virov energije izvira iz sprotnega sončnega sevanja. Večino oblik obnovljivih virov energije predstavlja shranjena sončna energija, pri čemer zajemanje obnovljivih virov energije ne izčrpa vira. Nasprotno pa z uporabo fosilnih goriv v kratkem času izčrpamo energijo, ki se je shranjevala tisoče ali milijone let. Zaradi tega se fosilna goriva kot so premog, nafta, zemeljski plin ne štejejo med obnovljive vire, čeprav se lahko obnovijo v zelo dolgem času [1].

Ker proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov energije navadno zahteva določene ukrepe, ki zagotavljajo približno enake možnosti v primerjavi z proizvodnjo iz klasičnih virov, države izvajajo različne sistemi spodbujanja k proizvodnji iz obnovljivih virov energije. Tako je v Sloveniji takšno spodbujanje izvedeno na osnovi energetskega zakona z uredbami in sklepi vlade [2]. V Sloveniji je namreč proizvodnja in soproizvodnja

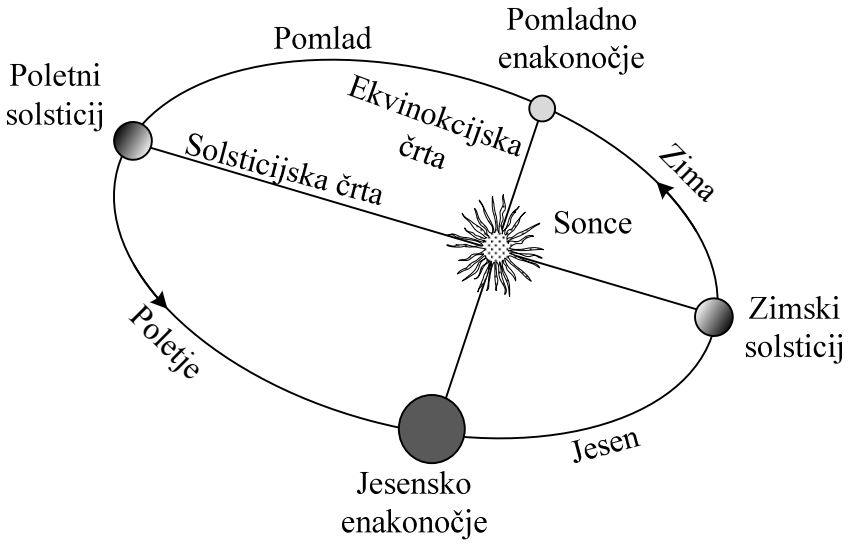
električne energije iz obnovljivih virov energije združena v termin kvalificirana proizvodnja električne energije. Pri tem si proizvajalci, ki ustrezajo določenim pogojem, pridobijo status kvalificiranega proizvajalca in s tem pripadajoče ugodnosti [2].

Spodbujanje k proizvodnji električne energije iz obnovljivih virov povzroča povečanje števila investitorjev v takšne projekte, pri čemer marsikateri investitor razmišlja o možnostih čim večje proizvodnje električne energije. Če govorimo o sončnih elektrarnah, oziroma o fotonapetostnih modulih, ki predstavljajo glavne elemente sončnih elektrarn, potem je eden izmed ukrepov za povečano proizvodnjo električne energije prav gotovo izvedba sledenja fotonapetostnih modulov soncu.

V tem delu se ukvarjamo predvsem z donosnostjo sončnih elektrarn pri čemer je postavitev modulov lahko tako statična kakor premična. Tako je v razdelku 2 predstavljena možnost določitve proizvodnje električne energije s statično postavljenimi fotonapetostnimi moduli. Poleg tega je na kratko obravnavana še možnost določitve povečane proizvodnje električne energije s fotonapetostnimi moduli, pri sledenju le-teh soncu. Glavni prispevek tega dela je predstavljen v razdelku 3, kjer je določena interna stopnja donosnosti tako za statično kakor za premično sončno elektrarno.

2. DOLOČITEV PROIZVEDENE ENERGIJE

Zaradi Zemljinega vrtenja okoli svoje osi in njenega gibanja okoli Sonca se spreminja vpadni kot direktne komponente sončne svetlobe, kar je z opazovalne točke na Zemlji vidno kot navidezno gibanje Sonca. Njegov navidezni položaj je odvisen od geografskih koordinat, dneva in ure. Sonce se med dnevom navidezno pomika na nebu od leve proti desni, ter navzgor in navzdol glede na horizont, od sončnega vzhoda na zahod [3], [4]. Slika 1 prikazuje ekliptično ravnino oziroma pot zemlje okrog sonca [3], [5].

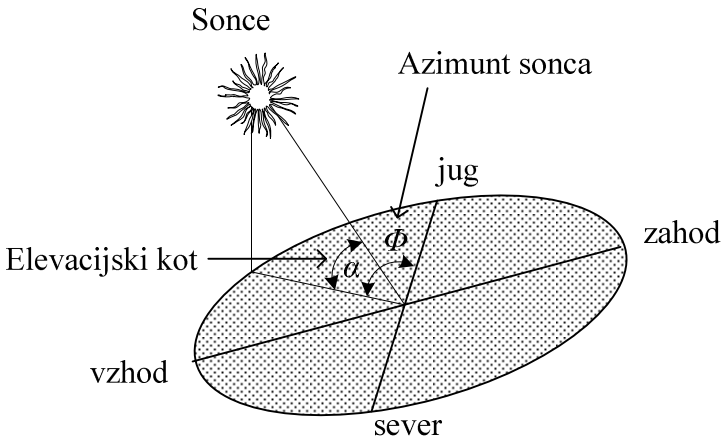


Slika 1: Gibanje Zemlje okoli Sonca

Zaradi Zemljine eliptične orbite na poti okrog Sonca (slika 1) se spreminja moč sevanja na vrhu atmosfere. Spreminjanje sevanja na vrhu atmosfere zaradi eliptične orbite opisuje tako imenovani Raiev model [6]. Del sončne svetlobe, ki pade na Zemljo, se odbije nazaj v vesolje, preostali del pa se kot toplota najprej začasno shrani v atmosferi, oceanih ali v zemlji, nato pa kot, dolgovalovno sevanje izseva nazaj v vesolje. Največ izsevane toplote je v poletnem času, medtem ko je najmanj izsevane toplote v zimskem času. Del svetlobe pri prehodu skozi atmosfero vpijejo toplogredni plini, del pa se je razsipa. Pri tem doseže Zemljo približno 70 % sevanja Sonca [5], kar je odvisno od oblačnosti, lokacije in stanja ozonske plasti.

Elevacijski kot ali kotna višina Sonca α je kot med žarkom direktnega sončnega sevanja in vodoravnico (slika 2). Elevacijski kot je poleg azimuta sonca, najpomembnejši parameter, ki opisuje trenutni položaj Sonca in ga podamo v kotnih stopinjah. Elevacijski kot za neko točko na Zemlji ni odvisen samo od zemljepisne širine, ampak tudi od časa dneva in dneva v letu. Spreminjanje elevacijskega kota α je mogoče opisati z enačbo (1), kjer je δ deklinacijski kot Sonca, ω časovni kot ter L_{latit} lokalna geografska širina [3], [7].

Deklinacija δ je kot med zveznico središč Zemlje in Sonca ter ekvatorialno ravnino Zemlje. Deklinacija se med letom spreminja v mejah med -23,45 ° in +23,45 °. Pozitivna je v primeru, da je ekvatorjalna ravnina Zemlje na strani, ki gleda proti Soncu, nagnjena proti južnemu polu, in negativna pozimi, ko je ekvatorjalna ravnina Zemlje na strani, ki gleda proti Soncu, nagnjena proti severnemu polu. Če Zemljina os ne bi bila nagnjena, bi bila deklinacija vedno enaka 0°. S (2) je mogoče določiti deklinacijo Sonca δ za določen dan, kjer je n dan v letu ter 23,45° nagnjenosti Zemljine osi [7].



Slika 2: Elevacijski kot α

$$\alpha = \arcsin\left(\sin\delta \sin L_{\text{latit}} + \cos\delta \cos L_{\text{latit}} \cos\omega\right) \tag{1}$$

$$\delta = 23,45° \sin\left(\frac{\left(360 \frac{\pi}{180}\right)}{365} (284 + n) \right) \tag{2}$$

Časovni ali urni kot točke na površini Zemlje ω je kot, za katerega bi se le – ta morala zavrteti, da bi zveznica središča Zemlje in Sonca ležala na ravnini, ki poteka skozi poldnevnik, na katerem leži dana točka, in skozi središče Zemlje. Časovni kot ω ima ob sončnem poldnevu za določeno lokacijo vrednost nič, ker Zemlja rotira približno s hitrostjo 15° na uro (15/*h*), vsaka ura od sončnega poldneva ustreza kotnemu premiku Sonca za 15°. Iz enačbe za časovni kot (3) je razvidno da so jutranji urni koti negativni, popoldanski pa pozitivni, pri tem je le – ta odvisen od lokalnega sončnega časa *TLT* ter ustreznega kotnega premika Sonca [3], [7].

$$\omega = (TLT - 12) \cdot 15 \tag{3}$$

Če želimo določiti sončno sevanje na zemeljski površini v nekem trenutku leta, oziroma dneva, je bistveno poznavanje elevacijskega kota α. V kolikor želimo upoštevati še poljubno nagnjenost površine telesa (npr. fotonapetostnega modula) na katerega vpada sončna svetloba in pri tem zajeti direktno, difuzno in odbito komponento pa je potrebno uporabiti enačbo (4), pri čemer je poleg *sinα* ključno poznavanje *cosi*. Kot *i* je namreč vpadni kot sončnih žarkov na nagnjeno površino ter ρ faktor refleksije. Pri tem je kot *i* odvisen tako od kota a_w (sledenje vzhod - zahod), kakor od kota β (sledenje sever - jug) - (5), [7].

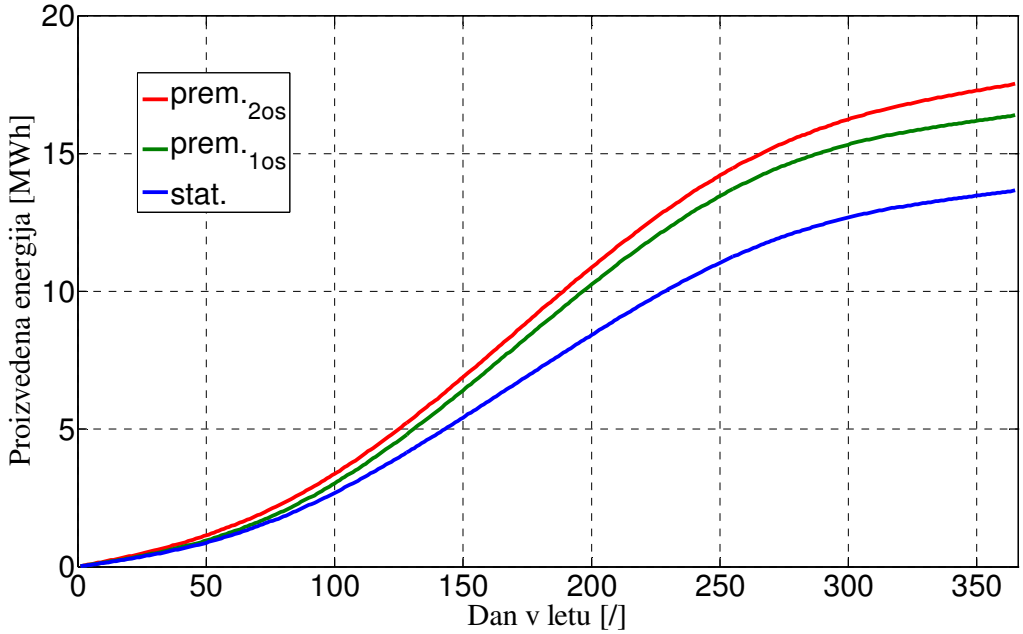
$$H_{cel} = B_h \frac{\cos i}{\sin \alpha} + D_h \cos^2 \frac{\beta}{2} + (D_h + B_h) \rho \sin^2 \frac{\beta}{2} \tag{4}$$

$$\cos i = f(a_w, \beta) \tag{5}$$

Slika 3 prikazuje proizvedeno energijo tekom vseh dni enega leta, pri čemer je v izračunu parametra direktne B_h in difuzne D_h komponente uporabljen pristop predlagan v [8]. Pri tem je uporabljen primer izračuna za manjšo (mikro) sončno elektrarno z močjo 10 kW. Proizvedena energija je prikazana tako za statične (stat.) fotonapetostne module, kakor za premične (prem.) module (enoosno in dvoosno sledenje). Pri enoosnoem sledenju se fotonapetostni moduli gibljejo od vzhoda proti zahodu, njihov naklon pa ostaja nespremenjen. Pri dvoosnem sledenju moduli dnevno sledijo soncu pri čemer se istočasno spreminja tudi njihov naklon. Sprejemna površina (fotonapetostni moduli) je tako postavljena vedno pravokontno na vpadni sončni žarek [9].

Upravičenost montaže sledilnikov pri klasičnih fotonapetostnih modulih je odvisna tako od višine investicije, ki je potrebna za mehansko konstrukcijo sledilnika, kakor od cene za dodatno elektroniko in vzdrževanja sistema. Seveda na ekonomske kazalce vrednotenja

investicij vpliva še proizvedena energija ter ostali klimatski pogoji [9]. Pri enoosnem sledenju lahko proizvedemo, v primerjavi s statičnimi sistemi, okoli 15 - 20 % več energije, medtem ko z dvoosnim sledilnikom pridobimo približno 25 - 30 % več energije (slika 3).

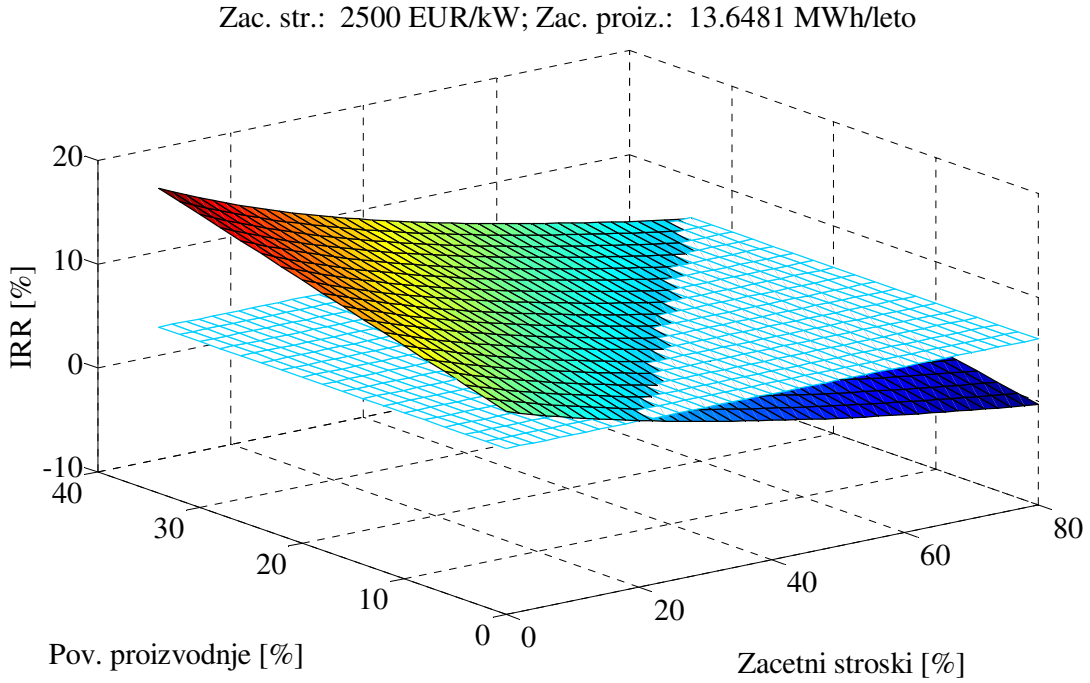


Slika 3: Proizvedena energija sončne elektrarne

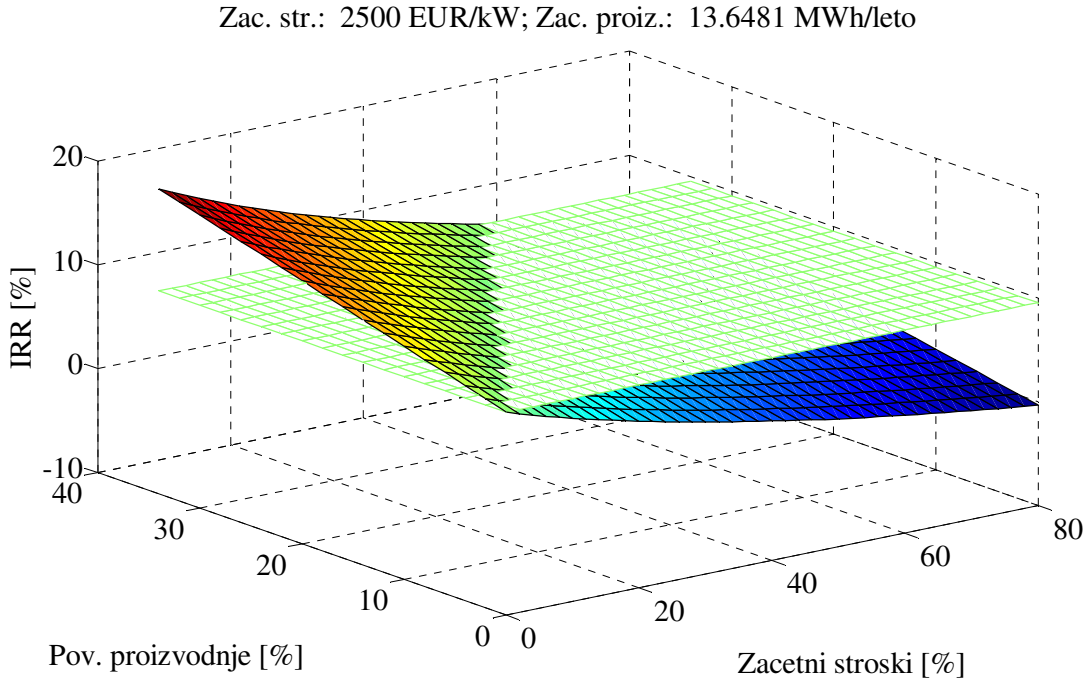
3. IZRAČUN INTERNE STOPNJE DONOSNOSTI

Merila s katerimi presojamo uspešnost naložbe, oziroma izbiro med možnimi investicijskimi projekti, lahko razdelimo na statična in dinamična. Statična ali konvencionalna merila podajo prvo grobo presojo poslovnih rezultatov in učinkov investicije v izbranem časovnem preseku, ki je lahko najboljši, povprečen ali pa najslabši v življenju neke naložbe. Dinamična merila, v nasprotju s statičnimi, upoštevajo različne življenjske dobe investicij in različne časovne dinamike investicij [10], [11]. Bistvo dinamičnih meril je diskontiranje kasnejših donosov na skupni termin, oziroma začetno leto nič, ko dospeva začetni vložek.

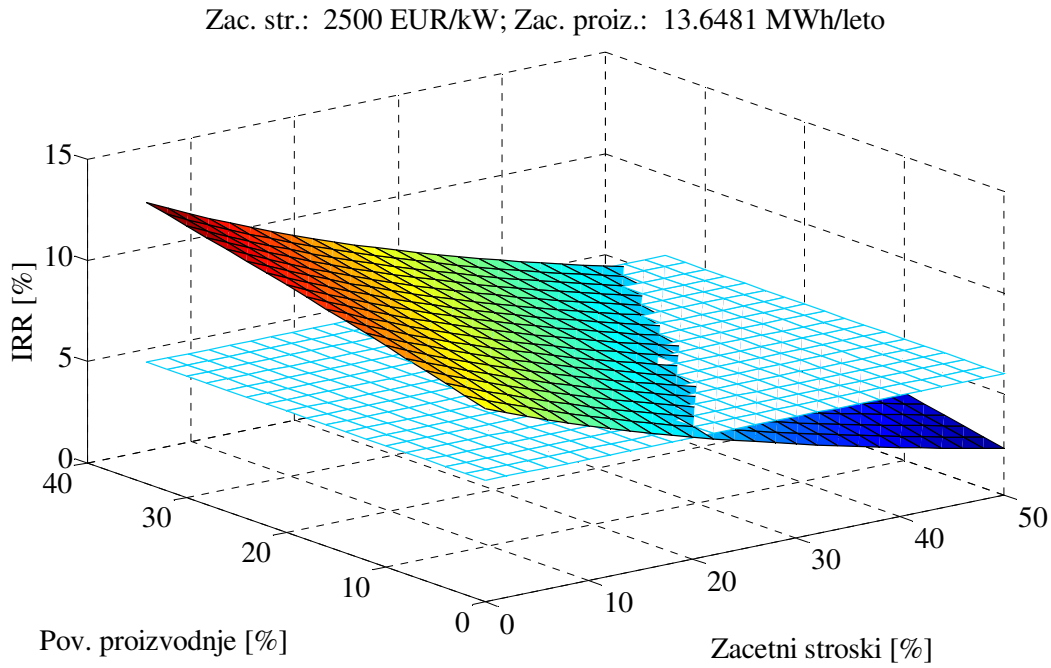
Med dinamčna merila lahko uvrstimo interno stopnjo donosnosti ISD (Ang. IRR), ki prikazuje maksimalni diskontni faktor, oziroma v odstotku izražen letni donos, pri katerem je še finančno smotrno izvesti določeno naložbo. Naložbo sprejmemo, če je interna stopnja donosnosti večja od relativne diskontne stopnje ter zavrnemo, če velja obratno. V kolikor je interna stopnja donosnosti enaka relativni diskontni stopnji smo ravnodušni. V primeru, če obstaja več naložbenih možnosti izberemo tisto, z najvišjo interno stopnjo donosa [10]. Na slikah 4 - 7 je prikazana izračunana interna stopnja donosnosti v odvisnosti od proizvedene električne energije in od začetnih stroškov investicije. Pri tem smo upoštevali 6 % diskontno stopnjo ter 50 % financiranje investicije s kreditom.



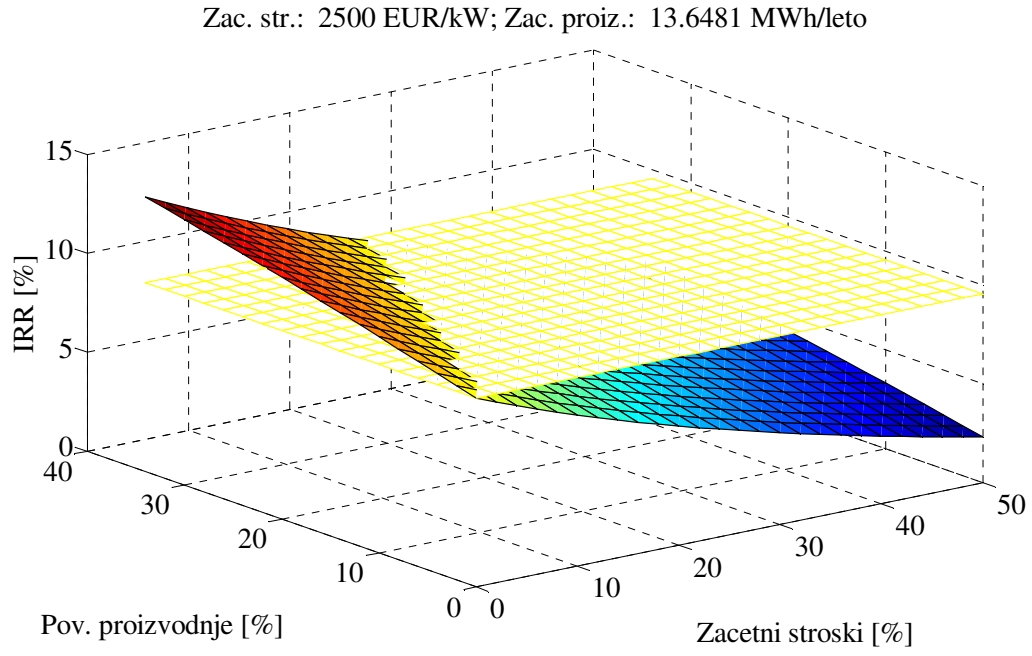
Slika 4: Interna stopnja donosnosti v odvisnosti od proizvedene električne energije in začetnih stroškov investicije - **6 % diskontna stopnja**, IRR_{stat} = 9,5 %



Slika 5: Interna stopnja donosnosti v odvisnosti od proizvedene električne energije in začetnih stroškov investicije - 6 % diskontna stopnja, **IRR_{stat} = 9,5 %**



Slika 6: Slika 3: Interna stopnja donosnosti v odvisnosti od proizvedene električne energije in začetnih stroškov investicije - **6 % diskontna stopnja**, IRR_{stat} = 9,5 %, spremenljivi letni stroški



Slika 7: Interna stopnja donosnosti v odvisnosti od proizvedene električne energije in začetnih stroškov investicije - 6 % diskontna stopnja, **IRR_{stat} = 9,5 %**, spremenljivi letni stroški

Pri izračunih smo upoštevali začetno vrednost investicije 2500 EUR/kW ter začetno proizvodnjo električne energije 13,6481 MWh/leto - toliko električne energije bi namreč proizvedli z elektrarno s statičnimi moduli. Obe vrednosti smo postopno večali ter pri tem izračunavali interno stopnjo donosnosti. V prvem primeru (sliki 4 in 5) letnih stroškov nismo spreminjali, kar pomeni, da večja proizvodnja nima vpliva na le-te stroške, medtem ko smo v drugem, realnejšem, primeru (sliki 6 in 7) upoštevali tudi povečanje letnih stroškov. Najprej nas je zanimalo, pri kakšnih začetnih stroških in pri kakšni proizvodnji dosežemo večjo ali vsaj enako donosnost v primerjavi z diskontno stopnjo 6 % (sliki 4 in 6), medtem ko smo v drugem primeru vse skupaj opazovali glede na donosnost elektrarne s statičnimi fotonapetostnimi moduli IRR_{stat} = 9,5 % (sliki 5 in 7).

Če se najprej osredotočimo na poenostavljen primer (nespremenjeni letni stroški) lahko iz slike 4 razberemo, da IRR doseže, pri 20 % povečanju izplena sončne energije, enako vrednost kot je diskontna stopnja pri 56 % večjih stroških investicije, oziroma je le-ta vrednost za 30 % večji izplen enaka 72 %. Če izvedemo še primerjavo z IRR_{stat} = 9,5 % (slika 5) ugotovimo, da dosežemo enako donosnost pri 28 % (za 20 % povečanje izplena) in 44 % (30 % večji izplen) večjih investicijskih stroških.

Nekoliko realnejši primer, kjer je v izračune zajeto še povečanje letnih stroškov - sliki 6 in 7, vse procentualne vrednosti nekoliko znižuje. Če najprej vzamemo kot referenčno donosnost diskontno stopnjo (slika 6) sta procentualni vrednosti povečanja investicije enaki 36 % (pri 20 % večjem izplenu) in 42 % (pri 30 % večjem izplenu). Pri primerjavi investicije z elektrarno s statičnimi moduli (slika 7) pa sta procentualni vrednosti povečanja investicije enaki 14 % (pri 20 % večjem izplenu) in 18 % (pri 30 % večjem izplenu).

4. SKLEP

V prispevku je obravnavan vpliv večje proizvodnje električne energije s sončno elektrarno in večjih stroškov investicije v le-to elektrarno na interno stopnjo donosnosti takšne investicije. Če je sončna elektrarna sestavljena iz premičnih modulov je namreč mogoče proizvesti tudi od 15 % do 30 % več energije. V primeru, da je sledenje fotonapetostnih modulov soncu enoosno je le-ta odstotek med 15 in 20 %, medtem ko je pri dvoosnem sledenju sonca odstotek povečanja proizvedene električne energije od 25 do 30 %. Poleg večje proizvodnje električne energije potencialnega investitorja zanima tudi povečanje stroškov investicije. V članku je tako prikazano, do kakšne vrednosti se začetni stroški še lahko povečajo, da še dosežemo ustrezno donosnost investicije.

5. LITERATURA

[1] http://sl.wikipedia.org/wiki/Obnovljivi_viri_energije
[2] http://sl.wikipedia.org/wiki/Soproizvodnja_toplote_in_električne_energije

[3] Damjan Deželak, Temperatura vodnika daljnovoda v odvisnosti od tokovne obremenitve in vpliva okolja, Diplomsko delo, UM-FERI, 2011
[4] Boris Sovič, Optimatizacija oskrbe z odnovljivimi viri energije, Magistrsko delo, UM-FERI, 2009
[5] http://sl.wikipedia.org/wiki/Gibanje_Zemlje
[6] G. D. Rai, Solar Energy Utilisation, Khanna Publisher, 1980
[7] Denis Lenardič, Fotonapetostni sistemi, Ljubljana, priročnik, Agencija poti, 2009
[8] J. A. Duffie, W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd Edition, JohnWiley & Sons, 1991
[9] http://pv.fe.uni-lj.si/Sledenje.aspx
[10] A. Žnidaršic Kranjc, Ekonomika podjetja, Postojna, Dej, 1995
[11] K. Dežan, Povračilo marketinških naložb, Magistrsko delo, Ekonomsko poslovna fakulteta, Maribor, 2011

NASLOV AVTORJEV

doc. dr. Klemen Deželak, univ. dipl. inž. el.
Katarina Dežan, mag. ekon.in posl. ved
Damjan Deželak, univ. dipl. inž. el.
Ernest Belič, dipl. inž. el. (UN)
red. prof. dr. Gorazd Štumberger, univ. dipl. inž. el.

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 71 80 Fax: + 386 2 252 54 81 ali + 386 2 220 72 72
Elektronska pošta: klemen.dezelak@uni-mb.si