

Eksergetska optimizacija zgrada sa različitim solarnim sistemima

Exergy Optimization of Buildings with Different Solar Systems

Danijela NIKOLIĆ, Jasmina SKERLIĆ, Jasna RADULOVIC,
 Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac

Ključne reči:
 eksegija; fotonaponski paneli; solarni kolektori; simulacija; optimizacija

Eksergija, kao mera korisnog rada koji se dobija interakcijom sistema i okoline, koristi se za optimizaciju i definisanje raspodele gubitaka u energetskom sistemu. Takođe je i u širokoj upotrebi za dizajn, simulaciju i evaluaciju osobina energetskog sistema. U ovom radu je istraživana srpska porodična kuća sa instaliranim fotonaponskim sistemom i solarnim kolektorima na krovu. Zgrada ima sistem električnog grejanja. Eksergetska optimizacija (uključujući i sopstvenu eksergiju) rađena je sa glavnim ciljem određivanja maksimalne vrednosti generisane električne energije. Na taj način se minimizira potrošnja primarne energije. Analizirane su zgrade sa fotonaponskim modulima različite čelijske efikasnosti. Zgrade su simulirane u okruženju softvera EnergyPlus, Open Studio plug-in u Google SketchUp-u je korišćen za dizajniranje zgrade, Hooke-Jeeves-ov algoritam za optimizaciju, a softver GENOPT za izvršnu kontrolu softvera pri optimizaciji.

Key words:
 exergy; photovoltaic; solar collector; simulation; optimization

Exergy, as a measure of useful work that can be obtained by the interaction of the system and the environment, is used for the optimization and allocation of losses in the energy system. It is also widely used in the design, simulation and performance evaluation of energy systems. In this paper the authors investigated a Serbian residential building with photovoltaics and solar collectors on the roof. The building has the electrical space heating. Exergy optimization (including embodied exergy) was performed with the aim to determine the maximum value of the generated electricity. Thus, primary energy consumption can be minimized. The residential buildings with variable PV cell efficiency were investigated. The buildings were simulated in EnergyPlus, Open Studio plug-in in Google SketchUp was used for buildings design and Hooke-Jeeves algorithm for optimization, and GENOPT was used for software execution control during optimization.

1. Uvod

Eksergetska analiza, koju su definisali Carnot 1824. god. i Clausius 1865. god., predstavlja metod baziran na Drugom zakonu termodinamike i konceptu nepovratne proizvodnje entropije. Energetske karakteristike inženjerskih sistema se ispituju pre svega korišćenjem bilansa energije u samom sistemu. Poslednjih godina, koncept eksergije dobija značajnu pažnju u termodinamičkim analizama termičkih procesa, pošto je zaključeno da analize sprovedene uz pomoć Prvog zakona termodinamike nisu dovoljne za procenu energetskih karakteristika [1]. Eksergetske analize kvantifikuju gubitak efikasnosti procesa kroz gubitak kvaliteta energije.

Solarna energija je najpodobnija od svih alternativnih izvora energije. Zbog povećanja energetskih potreba i rastuće cene fosilnih goriva, solarna energija se smatra veoma atraktivnim izvorom obnovljive energije koji se može koristiti za proizvodnju električne energije i grejanje vode u stambenim zgradama. Fotonaponska tehnologija (FN ili PV – engl. photovoltaic) je atraktivno rešenje za dobijanje čiste, obnovljive električne energije, jer predstavlja direktnu konverziju solarnog zračenja u električnu energiju. Električna energija se može posmatrati kao čista eksergija. Sa druge strane, energija potrebna za grejanje vode predstavlja približno

20% ukupne potrošnje energije u jednoj prosečnoj porodičnoj zgradi [2]. Imajući to u vidu, solarni sistemi za grejanje vode su najjeftinije i najdostupnije instalacije čiste energije koje su na raspolaganju vlasnicima kuća, a koje mogu pružiti veće količine tople vode od potreba prosečne porodice. Korišćenje fotonaponskog sistema i solarnih kolektora zajedno predstavlja veliku mogućnost za smanjenje potrošnje primarne energije u porodičnim zgradama.

Ovaj rad predstavlja istraživanja koja su sprovedena kroz eksergetsku optimizaciju sa glavnim ciljem da se odredi optimalna veličina fotonaponskih panela i solarnih kolektora, instaliranih na krovu zgrade, da bi se dobio najveći iznos eksergije.

Na taj način se dobija maksimalna vrednost eksergetske efikasnosti instaliranih solarnih sistema, čime se smanjuje potrošnja primarne energije. Analizirana je zgrada sa fotonaponskim panelima različite čelijske efikasnosti.

Istraživana zgrada je locirana u Kragujevcu, u Srbiji. Zgrada je dizajnirana tako što su solarni sistemi (FN paneli i solarni kolektori) postavljeni na krovu. Generisana toplotna energija se koristi za grejanje sanitarne tople vode (STV). Električna energija generisana fotonaponskim sistemom može da se koristi za grejanje, hlađenje, rasvetu i rad električnih uređaja u kući. Analizirana zgrada ima sistem električnog grejanja, koji radi od 15. oktobra do 15. aprila.

* E-mail: danijela1.nikolic@gmail.com

U ovom radu korišćeni su softveri EnergyPlus, Open Studio dodatak u Google SketchUp-u, Hooke-Jeeves algoritam i Genopt za simulaciju i optimizaciju.

2. Simulacioni softveri

EnergyPlus softver simulira korišćenje energije u zgradi i energetska ponašanje zgrade u definisanom periodu. U ovoj studiji korišćena je verzija 8.1.0. EnergyPlus softver je razvijen u Lawrence Berkley Laboratoriji u SAD [3] i testiran i verifikovan serijom testova IEA HVAC BESTEST E100-E200 [4]. Za generisanje električne energije pomoću FN panela, EnergyPlus koristi različite komponente, kao što su PV system i inverter [5].

Open Studio dodatak u Google SketchUp softveru je besplatan 3D softverski alat koji kombinuje set sopstvenih alata sa sistemom inteligentnog dizajna [6]. Softver omogućava postavljanje modela zgrade pomoću sistema realnih koordinata. Open Studio je besplatan dodatak kojim se povezuje energetska ponašanje zgrade u EnergyPlus-u sa 3D SketchUp okruženjem. Softver omogućava korisniku da sam kreira i modifikuje EnergyPlus ulaznu datoteku bez SketchUp programa.

GenOpt je optimizacioni program za smanjenje funkcije cilja, postavljene od strane nekog drugog programa. GenOpt služi za optimizaciju problema kod kojih je izračunavanje funkcije cilja kompleksno u računskom smislu i gde izlazni rezultati čak i ne postoje uvek. On može biti povezan sa bilo kojim simulacionim programom koji očitava ulazne podatke iz tekstualnih datoteka a izračunata izlazne podatke zapisuje takođe u tekstualne datoteke. GenOpt je napisan u programu Java tako da je nezavisan u pogledu platforme. On ima biblioteku sa adaptivnim Hooke-Jeeves algoritmom [7].

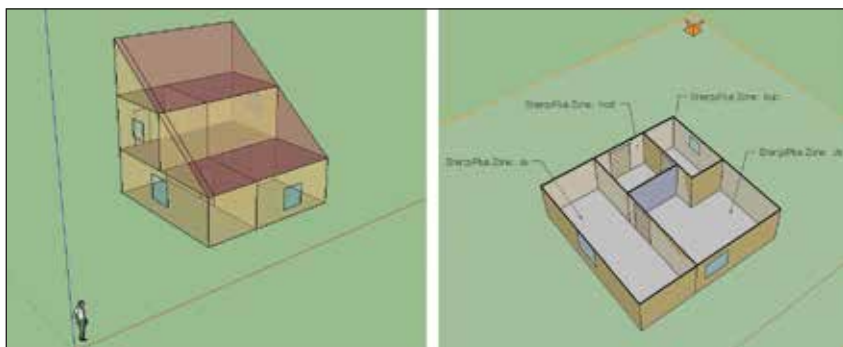
Hooke-Jeeves optimizacioni algoritam je korišćen za optimizaciju; to je algoritam bez izvoda i sa direktnom pretragom, koji je prilagodljivo precizan [8]. U ovom algoritmu se samo funkcija cilja i ograničene vrednosti koriste za strategiju pretrage. Glavna prednost ovog algoritma je smanjenje vremena proračuna.

3. Vremenski uslovi

Ispitivana zgrada je locirana u Kragujevcu. Prosečna nadmorska visina Kragujevca je 209 m, geografska širina 44°10' N i geografska dužina 20°55' E. Vremenska zona Kragujevca je GMT + 1,0 h. U Kragujevcu leta su veoma topla i vlažna sa temperaturama iznad 37 °C. Zime su hladne i snežne sa temperaturama nižim od -12 °C. Softver EnergyPlus koristi meteorološke podatke iz sopstvene baze podataka.

4. Model zgrade u softveru EnergyPlus

Modelirana stambena zgrada je prikazana na slici 1. Ona ima krov orijentisan ka jugu pod uglom od 37,5°, na kome su po-



Slika 1. Modelirana stambena zgrada

stavljani fotonaponski paneli i solarni kolektori. Zgrada ima 2 sprata i 6 zona – prostorija koje se greju. Ukupna površina zgrade je 160 m² a površina krova 80,6 m². Prozori su dvostruko zastakljeni. Betonski omotač zgrade, krov i pod su izolovani stiroporom. U ovim istraživanjima debljina izolacije je iznosila 0,15 m. Temperatura vazduha u prostorijama koje se greju je podešena na 20 °C od 7.00 do 9.00 h i od 16.00 do 21.00 h, i na 15 °C od 9.00 do 16.00 h. Vremenski korak simulacije je 15 min.

Razmatrani FN sistem je mrežno povezan sistem sa vekom trajanja od 20 godina, ugrađenom (sopstvenom) energijom od 3,75 GJ/m² [9, 10] i sopstvenom eksergijom FN panela od 5 GJ/m² [11]. FN paneli su predstavljeni matematičkim modelom Photovoltaic: Simple from EnergyPlus [4]. Vek trajanja solarnih kolektora je takođe 20 godina, sopstvena energija solarnih kolektora je 2,75 GJ/m² [11], a sopstvena (ugrađena) eksergija 3,8 GJ/m² [11].

Najveći deo eksergije (tj. električne energije) dobijen iz FN sistema ($E_{x, PV}$) troši se na električno grejanje zgrade. Dodatno, električna energija se troši za osvetljenje, grejanje sanitarne vode (STV) i električne aparate. Eksergija dobijena iz solarnih kolektora je obeležena sa $E_{x, KOL}$ i jednaka je zbiru eksergija krajnjih potrošača: tuša ($E_{x, SHOW}$), sudopera ($E_{x, SINK}$), mašine za pranje veša ($E_{x, CW}$) i mašine za pranje posuđa ($E_{x, DW}$):

$$E_{x, KOL} = E_{x, SHOW} + E_{x, SINK} + E_{x, CW} + E_{x, DW}$$

Tuš i sudopera zahtevaju nižu temperaturu, pa je potrebno mešanje vode iz sistema STV sa hladnom vodom. U eksergetskoj optimizaciji eksergija hladne vode je uzeta u obzir pri proračunu eksergije.

Eksergija sunca ($E_{x, SUN}$) je izračunata na osnovu vrednosti srednje godišnje insolacije za grad Kragujevac ($I = 1447,85$ kWh/m²) [11].

5. Optimizacione procedure

Eksergetskom optimizacijom je određena maksimalna vrednost eksergetskog stepena efikasnosti sistema fotonaponskih panela i solarnih kolektora. Maksimalna eksergetska efikasnost se postiže pri optimalnoj veličini površina FN sistema i solarnih kolektora, koji je dat preko udela FN panela na krovu u optimizacionom kodu (veličina y). Veličina y figuriše u izračunatoj ukupnoj eksergiji FN sistema i solarnih kolektora. Funkcija cilja u optimizacionoj proceduri je eksergetska efikasnost bez ugrađene (sopstvene) eksergije:

$$\eta_X = \frac{E_{x, PV, KOL}}{E_{x, SUN}}$$

gde je $E_{x, SUN}$ – eksergija sunca [J], $E_{x, PV, KOL}$ [J] – eksergija dobijena iz fotonaponskih panela i solarnih kolektora, koja je jednaka zbiru eksergije dobijene preko FN sistema ($E_{x, PV}$) i eksergije dobijene solarnim kolektorima ($E_{x, KOL}$), tj.:

$$E_{x, PV, KOL} = E_{x, PV} + E_{x, KOL}$$

Takođe je računata i eksergetska efikasnost sa ugrađenom eksergijom:

$$\eta_{X, EE} = \frac{E_{x, PV, KOL, EE}}{E_{x, SUN}}$$

gde je $E_{x, PV, KOL, EE}$ [J] – eksergija dobijena iz fotonaponskih panela i solarnih kolektora, sa njihovim ugrađenim eksergijama. Ova vrednost je jednaka razlici eksergije dobi-

jene iz fotonaponskih panela i solarnih kolektora ($E_{x, PV-KOL}$) i ugrađenih (sopstvenih) eksergija FN sistema (EE_{PV}) i solarnih kolektora (EE_{KOL}), tj.:

$$E_{x, PV-KOL, EE} = E_{x, PV-KOL} - EE_{PV} - EE_{KOL}$$

Kroz eksergetsku optimizaciju takođe se izračunavaju i neke druge veličine koje mogu biti važan pokazatelj eksergetskih tokova u analiziranim solarnim sistemima. Te veličine su odnosi između zahtevane i dobijene eksergije e_x i $e_{x, EE}$ (bez uračunate i sa uračunatom sopstvenom eksergijom solarnih sistema):

$$e_x = \frac{E_{x, POT}}{E_{x, PV, KOL}} \quad e_{x, EE} = \frac{E_{x, POT}}{E_{x, PV, KOL, EE}}$$

gde je $E_{x, POT}$ – ukupno potrebna eksergija [J] (jednaka zbiru potrebnih eksergija svih potrošača, na godišnjem nivou). Odnos između potrebne i dobijene eksergije treba da bude što manji.

U procesu eksergetske optimizacije računati su i ukupna potrošnja električne energije E_{EL} [G], potrošnja primarne energije [G], generisana finalna i primarna energija [G] i ušteda primarne energije E_{PRIM} . Ušteda primarne energije kroz rad solarnih sistema [J] je [12]:

$$E_{PRIM} = R_{EL}(E_{PV} + E_{COLL}) - C_m[(E_{em, PV} + E_{em, COLL})C_{inst}] - C_{m1}E_{em, ISO}$$

gde je $R_{EL} = 3,04$ – koeficijent konverzije električne u primarnu energiju; E_{PV} – generisana godišnja količina električne energije pomoću FN panela [J]; E_{COLL} – generisana godišnja količina toplotne energije pomoću solarnih kolektora [J]; $E_{em, PV}$ – sopstvena energija FN sistema [J]; $E_{em, COLL}$ – sopstvena energija solarnih kolektora [J]; $C_m = 1/LC$, gde je LC dužina životnog veka FN sistema i solarnih kolektora, u broju godina, $C_{m1} = 1/LC_{ISO}$, gde je LC_{ISO} dužina životnog veka termičke izolacije, u broju godina, $E_{em, ISO}$ – sopstvena energija izolacije [J] [12] i C_{inst} – koeficijent instalacije i održavanja solarnih sistema tokom njihovog životnog ciklusa [13].

6. Rezultati i analiza

Eksergetska optimizacija (sa uračunatom ugrađenom eksergijom solarnih sistema) sprovedena je sa ciljem određivanja maksimalne vrednosti eksergetske efikasnosti. Analizirana je porodična zgrada sa električnim grejanjem, solarnim kolektorima i FN panelima različite čelijske efikasnosti. Prvi slučaj je bio FN system sa 12% čelijske efikasnosti, drugi slučaj je bio FN system sa 14% čelijske efikasnosti i treći slučaj je bio FN system sa 16% čelijske efikasnosti. Ukupna godišnja potrošnja energije u zgradi je bila 68,36 GJ (finalna energija), tj. 207,81 GJ (primarna energija). Rezultati dobijeni eksergetskom optimizacijom prikazani su u tabeli 1.

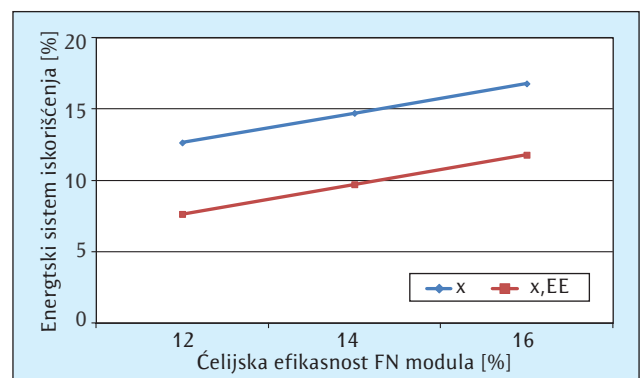
Prema tabeli 1 može se zaključiti da sa porastom čelijske efikasnosti FN sistema značajno rastu oba koeficijenta eksergetske efikasnosti (sa ugrađenom i bez ugrađene eksergije). Eksergetska efikasnost η_x za čelijske efikasnosti FN sistema 12%, 14% i 16% je 12,64%, 14,71% i 16,78%, dok je eksergetska efikasnost $\eta_{x, EE}$ za iste vrednosti čelijske efikasnosti FN sistema 7,63%, 9,71% i 11,78%. Grafički prikaz koeficijenta eksergetske efikasnosti je na slici 2.

Odnosi između zahtevane i dobijene eksergije e_x i $e_{x, EE}$ (sa ugrađenom i bez ugrađene eksergije), opadaju sa porastom čelijske efikasnosti FN sistema. Za čelijsku efikasnost od 12%, 14% i 16%, odnos između zahtevane i dobijene eksergije (bez ugrađene eksergije) je 1,075, 0,9236 i 0,8095, dok je odnos između zahtevane i dobijene eksergije računat sa ugrađenom eksergijom 1,78, 1,4 i 1,153. Može se zaključiti da se ugradnjom FN modula čelijske efikasnosti 14% i 16%,

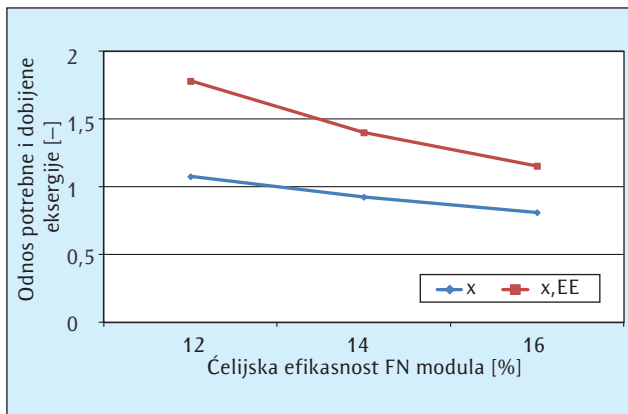
mogu postići vrednosti odnosa zahtevane i potrebne eksergije koji su manji od 1 ($e_x < 1$). To znači da instalirani solarni sistemi generišu više eksergije od potrebne eksergije svih potrošača u zgradi (bez ugrađene eksergije). Prikaz odnosa potrebne i dobijene eksergije za različitu čelijsku efikasnost FN sistema nalazi se na slici 3.

Tabela 1. Rezultati dobijeni eksergetskom optimizacijom za porodičnu zgradu sa različitim čelijskom efikasnošću FN panela

	Čelijska efikasnost FN panela		
	12%	14%	16%
η_x – eksergetska efikasnost bez ugrađene eksergije [%]	12,64	14,71	16,78
$\eta_{x, EE}$ – eksergetska efikasnost sa ugrađenom eksergijom [%]	7,63	9,71	11,78
e_x – odnos između zahtevane i dobijene eksergije (bez ugrađene eksergije)	1,075	0,9236	0,8095
$e_{x, EE}$ – odnos između zahtevane i dobijene eksergije (sa ugrađenom eksergijom)	1,78	1,4	1,153
$E_{x, POT}$ – potrebna eksergija potrošača [GJ]	54,45	54,45	54,45
$E_{x, PV-KOL}$ – eksergija dobijena u solarnim sistemima (bez ugrađene eksergije) [GJ]	50,65	58,96	67,26
$E_{x, PV-KOL, EE}$ – eksergija dobijena u solarnim sistemima (sa ugrađenom eksergijom) [GJ]	30,6	38,91	47,21
E_{EL} – ukupna potrošnja električne energije [GJ]	68,36	68,36	68,36
$E_{EL, PRIM}$ – potrošnja primarne energije [GJ]	207,81	207,81	207,81
Udeo FN panela na krovu [%]	98,75	98,75	98,75
Generisana finalna energija [GJ]	55,68	64,42	73,17
Generisana primarna energija [GJ]	169,27	195,85	222,43
E_{PRIM} – ušteda primarne energije [GJ]	149,02	175,6	202,18
Tip zgrade (sa ugrađenom eksergijom solarnih sistema)	NNEB	NNEB	NNEB
Tip zgrade (bez ugrađene eksergije solarnih sistema)	NNEB	NNEB	NNEB

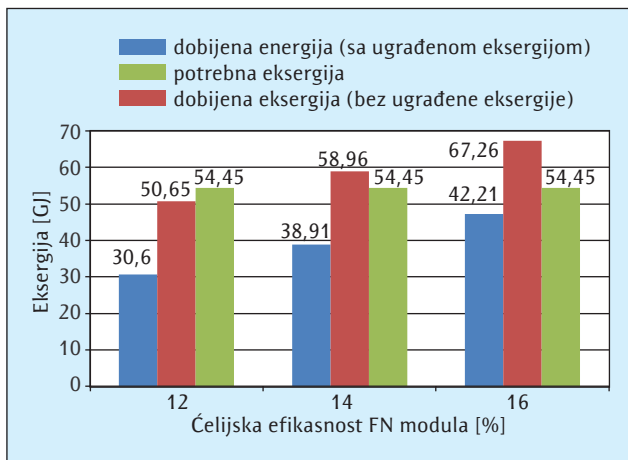


Slika 2. Eksergetska efikasnost za zgradu sa različitim čelijskom efikasnošću FN sistema



Slika 3. Odnos između potrebne i dobijene eksergije za zgradu sa FN panelima različite ćelijske efikasnosti

Potrebna eksergija svih potrošača u zgradi i eksergija dobijena iz solarnih sistema (sa ugrađenom i bez ugrađene eksergije) za različitu ćelijsku efikasnost F sistema i električni sistem grejanja, prikazana je na slici 4.

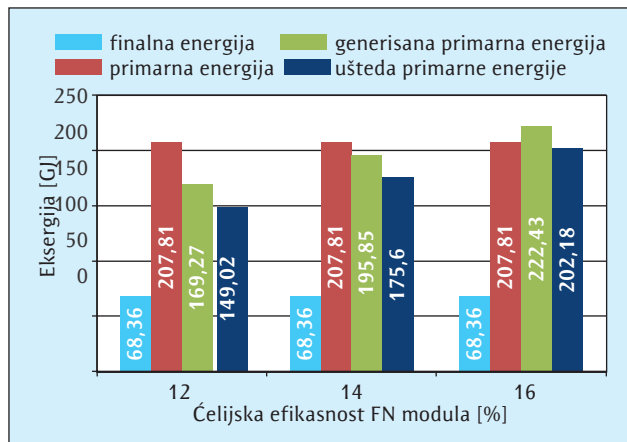


Slika 4. Potrebna dobijena eksergija pri različitim vrednostima ćelijske efikasnosti FN panela

Sa porastom ćelijske efikasnosti FN sistema, eksergija dobijena solarnim sistemima takođe raste. Potrebna eksergija je u svim analiziranim slučajevima ista – 54,45 GJ. Udeo FN panela na krovu je isti za sve vrednosti ćelijske efikasnosti FN panela – 98,75% (odgovara površini od 79,6 m² FN panela i 1 m² solarnog kolektora). Na taj način generiše se 169,27 GJ primarne energije, dok je ušteda primarne energije 149,02 GJ godišnje.

Slika 5 predstavlja ukupnu potrošnju električne energije, potrošnju primarne energije, generisanu primarnu energiju i uštedu primarne energije u zgradi sa FN modulima različite ćelijske efikasnosti.

Korišćenjem FN modula sa ćelijskom efikasnošću od 12% i 14%, zgrade će biti neto negativne energetske potrošnje (NNEB) (tip zgrade sa ugrađenom i bez ugrađene energije). Korišćenjem FN modula sa ćelijskom efikasnošću od 16%, moguće je postići koncept zgrade neto pozitivne energetske potrošnje (PNEB) bez uzimanja u obzir ugrađene energije instaliranih solarnih sistema i izolacije pri proračunu tipa zgrade. Ako se navedene ugrađene energije uzmu u obzir pri proračunu, zgrada će biti neto negativne energetske potrošnje (NNEB). Sa FN modulima ćelijske efikasnosti od 16%, generiše se 222,43 GJ primarne energije, što je više od godišnjih energetske potreba zgrade (207,81 GJ).



Slika 5. Ukupna potrošnja električne energije, potrošnja primarne energije, generisana primarna energija i ušteda primarne energije u zgradi sa FN modulima različite ćelijske efikasnosti (godišnje vrednosti)

7. Zaključak

U ovom radu je prikazan postupak eksergetske optimizacije, sa glavnim ciljem određivanja maksimalne vrednosti eksergetske efikasnosti (sa ugrađenom i bez ugrađene eksergije). Na taj način se postiže generisanje maksimalno moguće količine električne energije i smanjuje potrošnja primarne energije. Sve razmatrane zgrade su imale električni sistem grejanja.

Korišćenjem FN modula veće ćelijske efikasnosti (14% i 16%) moguće je da se generiše značajno veća količina električne energije u poređenju sa FN modulima ćelijske efikasnosti od 12%. Sa porastom ćelijske efikasnosti FN modula, dolazi i do rasta oba koeficijenta eksergetske efikasnosti (sa ugrađenom i bez ugrađene eksergije).

Odnos između potrebne i dobijene eksergije e_x i $e_{x, EE}$ (sa ugrađenom i bez ugrađene eksergije), opada sa porastom ćelijske efikasnosti FN modula. Ako je vrednost ovog odnosa manja od 1, ($e_x < 1$, slučaj bez ugrađene eksergije), tada instalirani solarni sistemi generišu više eksergije od potrebne eksergije svih potrošača u zgradi.

Korišćenjem FN modula sa ćelijskom efikasnošću od 14% i 16%, zgrada proizvodi više električne energije, pa se može postići koncept zgrade neto-pozitivne energetske potrošnje (PNEB) u slučaju FN sistema ćelijske efikasnosti od 16% (prema pristupu bez ugrađene energije).

Zahvalnica

Ovaj rad je rezultat istraživanja dva projekta TR33015 i COST akcije TU1205-BISTS. Projekat TR33015 finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. COST akcija TU1205-BISTS je finansijski podržana od strane Evropske unije. Autori se zahvaljuju pomenutim institucijama na njihovoj finansijskoj podršci.

Literatura

- [1] Koroneos, C., M. Tsarouhis, Exergy analysis and life cycle assessment of solar heating and cooling systems in the building environment, *Journal of Cleaner Production*, Volume 32, 2012, pp. 52–60.
- [2] Johari, D., A. Yadav, R. Verma, Study of solar water heaters based on exergy analysis, *Proceedings of the National Conference on Trends and Advances in Mechanical Engineering*, Faridabad, Haryana, 2012.
- [3] *** EnergyPlus, Input Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, Uni-

versity of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009.

- [4] **Henninger, R. H., M. J. Witte, D. B. Crawley**, Analytical and comparative testing of EnergyPlus using IEA HVAC BESTEST E100-E200 test suite, *Energy and Buildings* 36 (8), (2004), pp. 855–863.
- [5] *** Lawrence Berkeley National Laboratory. EnergyPlus – Engineering documentation: the reference to EnergyPlus calculations. University of Illinois & Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory; 2001.
- [6] **Bojić, M., J. Skerlić, D. Nikolić, D. Cvetković, M. Miletić**, Toward future: positive net-energy buildings, *Proceedings 4th Renewable Energy Sources, EXPRES 2012*, Subotica, Serbia, pp. 49–54 IEEE International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources, 2012.
- [7] **Wetter, M.**, 2004. GenOpt, Generic Optimization Program. User Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory, Technical Report LBNL – 54199, p. 109.
- [8] **Hooke, R., T. A. Jeeves**, Direct search solution of numerical and statistical problems, *Journal of the Association for Computing Machinery, Volume 8* (1961), pp. 212–229.

- [9] **Alsema, E. A., E. Nieuwlaar**, Energy viability of photovoltaic systems, *Energy Policy, Volume 28(14)*, 2000, pp. 999–1010.
- [10] **Alsema, E. A.**, Energy pay-back time and CO₂ emissions of PV systems, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 8(1), (2000), pp. 17–25.
- [11] **Nikolić, D.**, Energetsko-eksegetska optimizacija veličina fotonaponskih panela i solarnih kolektora kod kuća neto nulte potrošnje energije, doktorska disertacija, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac, 2015.
- [12] **Nikolić, D., M. Bojić, J. Skerlić, J. Radulović**, Energy optimization of Serbian buildings with solar collectors and different PV systems, CD, Conference proceedings i zbornik radova, ISBN 978-86-81505-79-3, *46th International HVAC&R Congress*, Beograd, decembar 2015.
- [13] **Cabeza, L. F., L. Rincón, V. Vilariño, G. Pérez, A. Castell**, Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 29*, 2014, pp. 394–416.

kgh

INTERFRIGO Panasonic
heating and cooling systems

PROIZVOĐONJA MONTAŽA SERVIS HVAC&R SISTEMA
Tošin Bunar 163, Beograd
t: +381(0) 11 311 47 73
w: interfrigo@orion.rs

* Komercijalni i rezidencijalni program
* Multi i split sistemi
* AQUAREA linija toplotnih pumpi
* VRF sistemi (mini-ECOi, ECOi, i ECOg)

Posetite **WWW.INTERFRIGO.CO.RS**
za preuzimanje tehničke dokumentacije i programa za selekciju

Tehnosam
TRETMAN VODA

FILTRACIJA
DEFERIZACIJA
DEMANGANIZACIJA
UKLANJANJE ARSENA
UKLANJANJE ORGANIČNE MATERIJE
OMEKŠAVANJE

DEKARBONIZACIJA
DEMNERALIZACIJA
REVERS OSMOZA
DOZIRANJE HEMIKALIJA
DEZINFEKCIJA
PREDPREMA VOZE ZA DOMAĆINSTVA

Tehnosam
TRETMAN VODA

Jelene Čović 22, 24106 Subotica
kancelarija: tel./fax 024 567 431, mob. tel. 063 521 806
servis: mob. tel. 062 237 134
@: tehnosam@eunet.rs, web: www.tehnosam.rs

ALFA CLIMA

Spasija Milkića 32, 19350 Knjaževac
Tel./faks +381 19 730-337, 732-770

Toplotne pumpe

VODA-VODA
ZEMLJA-VODA
VAZDUH-VODA
VAZDUH-VAZDUH
snage 8-450 kW

E-mail: office@alfaclima.co.rs
www.alfaclima.co.rs

KLIMA DOP KLIMA DOP d.o.o.

Autoput Beograd - Zagreb bb, (Blok 52, GP „Novi Kolektiv“)
11070 Novi Beograd, Srbija
Tel.: 011 3190 177; Fax: 011 3190 563

U ponudi firme Klima DOP nalazi se kompletan asortiman opreme za ventilaciju i klimatizaciju. Svoje poslovanje firma bazira na kvalitetu proizvoda za koje poseduje odgovarajuće sertifikate, kao i na poštovanju rokova.

10 godina u službi čistog vazduha

PICHLER CERHARDT/STAHL®

e-mail: klimadop@eunet.rs www.klimadop.com

48. Međunarodni kongres
i izložba o KGH

6–8.12.2017, Sava centar, Beograd
www.kgh-kongres.rs • www.kgh-drustvo.rs