

Uticaj koeficijenta transformacije primarne energije na niskotemperaturne panelne sisteme grejanja

The Impact of Primary Energy Coefficient on Low Temperature Panel Heating Systems

Dragan CVETKOVIĆ* i Aleksandar NEŠOVIĆ,

Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac

Ključne reči:
zračeći paneli;
toplotna pumpa; PV paneli;
potrošnja energije; EnergyPlus

U Srbiji se sve više koriste panelni sistemi grejanja. Iako je poznato da ovi sistemi mogu da rade sa znatno nižim temperaturnim izvorima, zbog visokih ulaganja kupci se opredeljuju za gas ili struju kao izvore toplote. Cilj ove studije je bio da se pokažu stvarne uštede uz pomoć GTP i FN (geotermalnih toplotnih pumpi i fotonaponskih) panela u sistemima panelnog grejanja. Analizirana kuća se nalazi u Kragujevcu, a ovo istraživanje obavljeno je u okviru projekta „Razvoj energetski neto nultih kuća“. Rad analiziranih panela je simuliran pomoću programa EnergyPlus, koji je proizvod Laboratorije Berkli, SAD.

Key words:
radiant panel; heat pump;
PV panels; energy consumption;
EnergyPlus

Panel heating systems are increasingly used in Serbia. Although it is well known that these systems can operate at much lower temperature heat sources, high investment/cost is why customers opt for gas or electricity as a heat source in these systems. The aim of this study is to demonstrate the actual savings using the GHSP and PV panels in panel heating systems. The analysed house is located in Kragujevac, Serbia. Also, this research is a part of the project “Development of a Net-zero-energy House”. The operation of these panels is simulated using EnergyPlus software that is a product of Lawrence Berkeley Laboratory in the USA.

1. Uvod

Danas se u Srbiji sve više koriste panelni sistemi grejanja, zahvaljujući, pre svega, pristupačnijim cenama panela. Međutim, kako panelni sistemi rade sa niskim temperaturama fluida, neophodan je pravilan izbor generatora toplote. Zbog niske investicione cene, danas se korisnici panelnih sistema odlučuju uglavnom za gasne kotlove. Sa druge strane, energetski edukovaniji korisnici bez razmišljanja se odlučuju za sistem sa toplotnim pumpama voda–voda koje kao toplotni izvor uglavnom koriste geotermalnu energiju.

Postoji dosta radova objavljenih na temu primene geotermalnih toplotnih pumpi (GTP). Piechowski je proučavao relativno novi pristup optimizaciji geotermalnog razmenjivača toplote (GRT), na osnovu Drugog zakona termodinamike, pa je usvojen test za optimalne kombinacije protoka vode i prečnika cevi. Hepbasli i Akdemir [3] su opisali energetsku i eksergetsku analizu sistema GTP. Prenos eksergije između komponenti i potrošnja svake komponente sistema GTP definisani su za izmerene prosečne parametre dobijene eksperimentalnim merenjima. Lohani i Schmidt su uporedili različite generatore toplote putem energetske i eksergetske analize. Oni su zaključili da je geotermalna toplotna pumpa bolja od vazdušnih toplotnih pumpi ili od klasičnih grejnih sistema. Hepbasli [3] je sproveo termodinamičku analizu sistema GTP za daljinsko grejanje u energetskom i eksergetskom pogledu, koja je imala za cilj da unapredi efikasnost procesa. Kharseh i ostali [6] su istraživali uticaj globalnog zagrevanja na karakteristike sistema GTP. Oni su pokazali da neprestane globalne promene imaju značajan uticaj na sisteme GTP.

Neke studije su posvećene istraživanju karakteristika panelnih sistema unutar zgrada. Killis je pokazao da optimalan

proces zračećih panelnih sistema povezanih sa geotermalnim toplotnim pumpama, vođenim pomoću obnovljivih energetske izvora, unapređuje eksergetsku efikasnost i odnos primarne energije. Kosir M. i ostali [1] primenili su niskotemperaturne zračeće sisteme u kombinaciji sa lokalnom automatizovanom ventilacijom u muzeju u Ljubljani, u Sloveniji. Korišćenjem ove solucije sa menadžmentom zgrade, potreba za energijom za grejanje i hlađenje je smanjena za 60,5%. Bojić i ostali [7] su uporedili zidne panela i radijatore povezane sa klasičnim gasnim kotlom. Ova studija je nastavak prethodnih istraživanja Bojića i ostalih [7]. Oni su uporedili četiri različita panelna sistema (podno, zidno, plafonsko i podno-plafonsko) grejanja povezana sa kotlom na prirodni gas.

Cilj ovog rada je da se ispita mogućnost poboljšanja energetske efikasnosti panelnih sistema grejanja korišćenjem niskotemperaturnih izvora. Najčešće korišćen sistem sa gasnim kotlom je upoređen sa sistemom sa toplotnom pumpom. Kao izvor toplote toplotna pumpa koristi geotermalnu energiju (GTP). U cilju smanjenja primarne potrošnje energije za GTP istraživana je sprega između GTP i FN ćelija.

2. Matematički model

2.1. Opis kuće

Analizirana je porodična stambena kuća prikazana na slici 1. Kuća je projektovana za stanovanje jedne porodice i ima ukupnu površinu za stanovanje od 190 m². Omotač kuće je napravljen od šuplje opeke debljine 190 mm, termoizolacionog sloja debljine 50 mm i krečnog maltera debljine 20 mm. Koeficijent U omotača kuće je oko 0,57 W/(m²K). Prozori su zastakljeni dvostrukim staklom sa vrednošću koeficijenta U od 2,72 W/(m²K). Ukupan odnos staklenih površina i omotača je oko 7,32%, gde je ukupna površina omotača oko 264 m², a površina prozora oko 19 m².

* E-mail: dragan_cw8202@yahoo.com

Analizirana kuća se nalazi u Kragujevcu. Nadmorska visina je oko 209 m, geografska širina i dužina su 44° S i 20°55' I. Grad ima umerenu klimu i četiri godišnja doba (leto, jesen, zima i proleće). Kao deo programskog paketa EnergyPlus korišćen je vremenski fajl sa podacima za Kragujevac, a prethodno je generisan pomoću programa Meteonorm [8]. Grejna sezona za grad Kragujevac traje od 15. oktobra do 15. aprila [11].

2.2. Opis grejnih sistema

Korišćeni grejni sistemi se sastoje od niskotemperaturnih grejnih panela i generatora toplote. Istraživana su četiri tipa grejnih panela. Prvi je podno grejanje, drugi je zidno grejanje, treći je plafonsko grejanje i četvrti sistem predstavlja podno-plafonsko grejanje. Površina podnih panela je oko 190 m². Zidni paneli su postavljeni na sve spoljašnje zidove unutar grejanih prostorija. Njihova površina je oko 210 m². Plafonski paneli su postavljeni na plafon prvog i drugog sprata. Njihova površina je oko 190 m². Podno-plafonski grejni panel funkcioniše kao plafonsko grejanje za nižu etažu i istovremeno kao podno grejanje za višu etažu. Ukupna površina ovih panela je oko 95 m².

Glavne komponente grejnih panela su cevi kroz koje protiče topla voda. Temperatura te vode na ulazu u panel je ista za sva četiri sistema i iznosi oko 37 °C. Cirkulaciona pumpa koristi struju za svoj rad. Takođe, potrošnja struje je uzeta u obzir pri proračunavanju potrošnje energije.

Kao generator toplote korišćeni su kotao na prirodni gas i geotermalna toplotna pumpa. Za sva četiri sistema instalirana snaga kotla je oko 24 kW. Nominalna električna snaga toplotne pumpe je oko 4 kW. Takođe, dužina geotermalne sonde sa dve U cevi je oko 76 m.

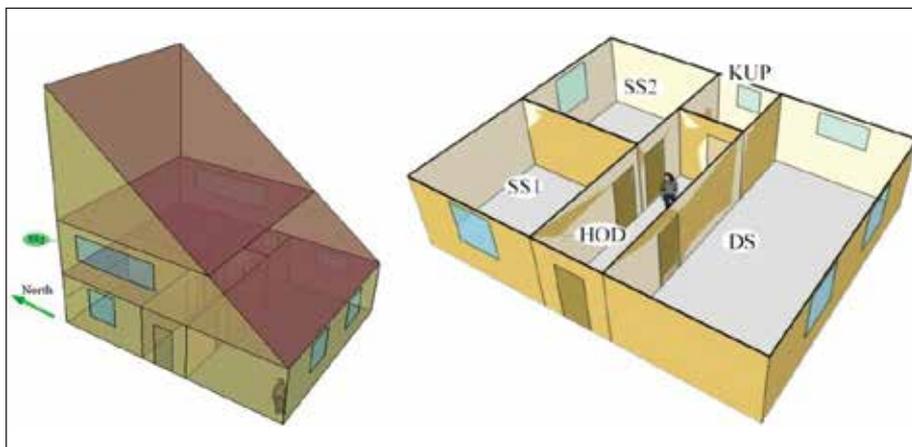
U ovom istraživanju ispitivana su tri načina generisanja toplote (slika 2). Prvi sistem je slučaj kada su panelni sistemi povezani sa kotlom na prirodni gas, drugi slučaj je kada su panelni sistemi povezani sa geotermalnom toplotnom pumpom tipa voda-voda i treći slučaj je kada su panelni sistemi povezani sa geotermalnom toplotnom pumpom tipa voda-voda koja deo električne energije za pogon kompresora koristi iz fotonaoponskih panela (GTP + FN). U svim sistemima grejanja postoji cirkulaciona pumpa koja koristi električnu energiju za svoje funkcionisanje. Takođe sistemi sa geotermalnom toplotnom pumpom imaju i cirkulacione pumpe na strani isparivača. Potrošnja električne energije cirkulacionih pumpi je uzeta u obzir pri izračunavanju potrošnje energije sistema grejanja.

3. Potrošnja primarne energije za grejanje

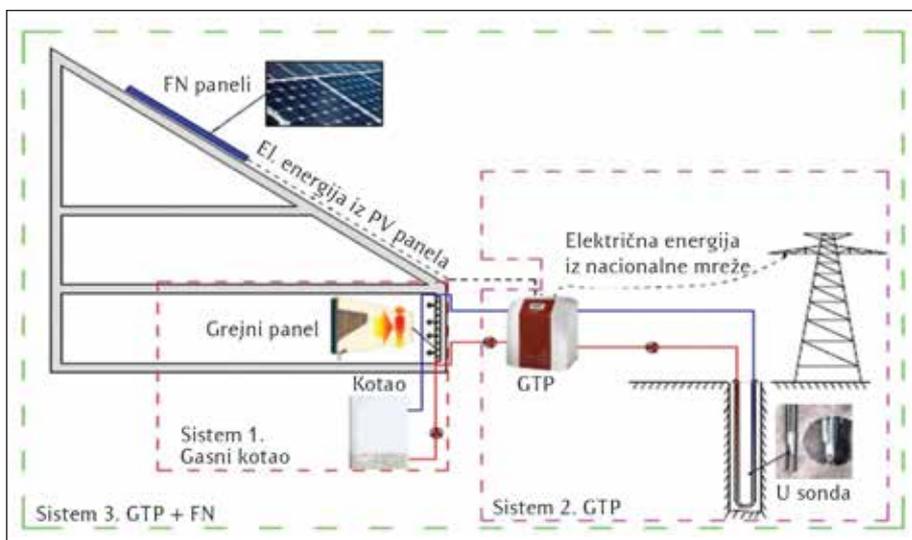
Potrošnja primarne energije u toku grejne sezone se izračunava korišćenjem sledeće jednačine:

$$E_{\text{pry}} = E_{\text{ng}} + R E_{\text{el}} \quad (1)$$

ili:



Slika 1. Analizirana kuća; DS – dnevna soba, HOD – hodnik, KUP – kupatilo, SS1 – spavaća soba, SS2 – spavaća soba, SS3 – spavaća soba



Slika 2. Sistemi generisanja toplote

$$E_{\text{pry}} = R E_{\text{el}} \quad (2)$$

Jednačina (1) se odnosi na panelne sisteme kada su povezani sa gasnim kotlom, a jednačina (2) se odnosi na panelne sisteme povezane sa geotermalnom toplotnom pumpom. E_{ng} predstavlja potrošnju prirodnog gasa za grejanje u toku grejne sezone, E_{el} – potrošnju struje za grejanje u toku grejne sezone, a R – faktor transformacije primarne energije. Ovaj koeficijent je definisan kao odnos ukupne ulazne energije sadržane u energetsom resursu (voda, ugalj, nafta i prirodni gas) i proizvedene finalne električne energije. Vrednost ovog faktora za srpski energetski miks koji se koristi za proizvodnju električne energije je $R = 3,01$ [12].

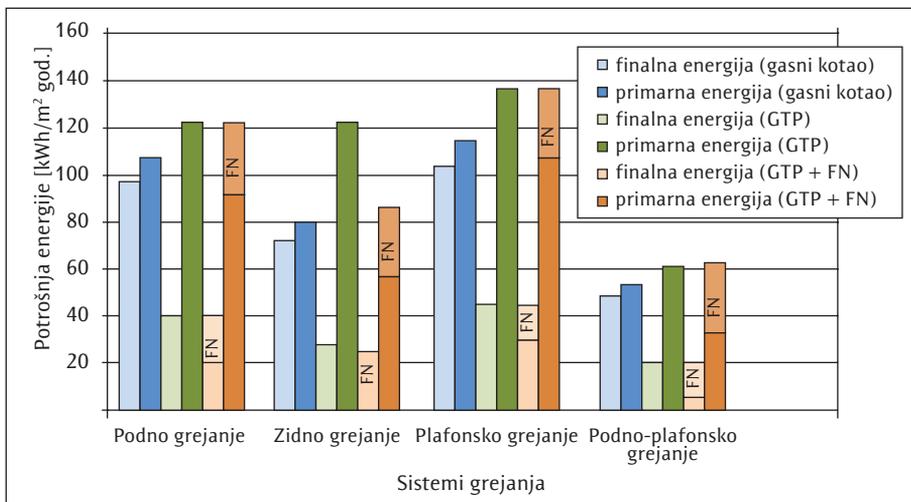
Potrošnja totalne energije. Ukupna energija predstavlja zbir primarnih energija utrošenih za rad sistema za grejanje i energije ugrađene u sistem grejanja. Totalna energija se izračunava po sledećem obrascu:

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{pry}} + E_{\text{emb}} \quad (3)$$

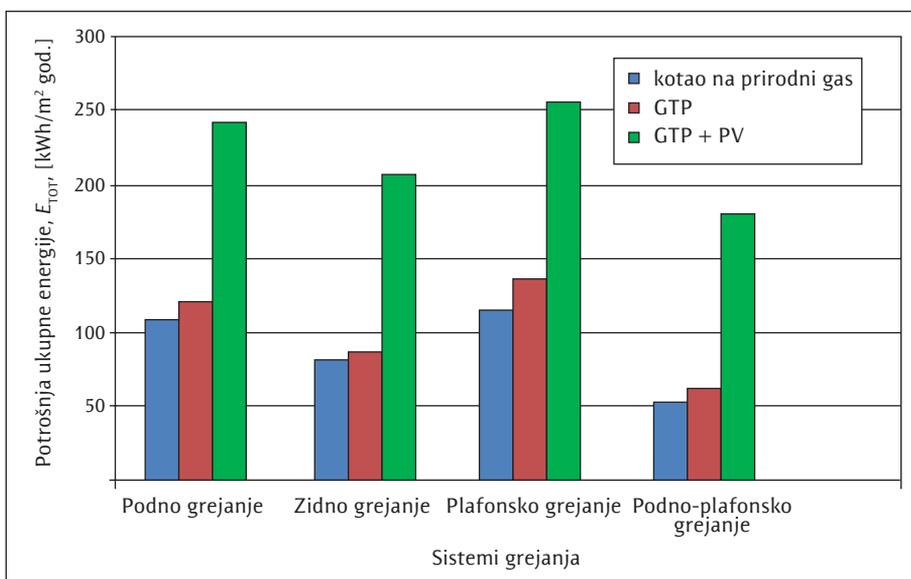
gde je E_{emb} energija ugrađena u sisteme ili komponente grejanja.

4. Rezultati i njihovo razmatranje

Slika 3 prikazuje potrošnju finalne i primarne energije za četiri različite vrste panelnih sistema grejanja koji su se kori-



Slika 3. Potrošnja finalne i primarne energije panelnih sistema grejanja povezanih na različite izvore toplote



Slika 4. Potrošnja totalne energije panelnih sistema grejanja povezanih na različite izvore toplote

stili kao generatori toplote (gasni kotao, GTP ili GTP + FN). Ukoliko bi se međusobno poredile karakteristike panelnih sistema grejanja, najmanju potrošnju energije ima podno-plafonsko grejanje, a najveću plafonsko grejanje. Ukoliko bi se poredila svojstva korišćenih generatora toplote, panelni sistem (važi za sva četiri slučaja) povezan sa kotlom na prirodni gas troši veću količinu finalne energije, nego sistem sa geotermalnom toplotnom pumpom. Međutim, sistem sa geotermalnom toplotnom pumpom troši veću količinu primarne energije, nego sistem sa gasnim kotlom. Razlog ove pojave je u tome što je koeficijent transformacije primarne energije za električnu energiju ($R = 3,01$) znatno viši od koeficijenta transformacije primarne energije za prirodni gas ($R = 1,1$). Tako je potrošnja finalne i primarne energije podno-plafonskih panela povezanih sa kotlom na prirodni gas 48 kWh/m²god. i 53 kWh/m²god., odnosno, potrošnja finalne i primarne energije podno-plafonskih panela povezanih sa geotermalnom toplotnom pumpom je 20 kWh/m²god. odnosno 62 kWh/m²god.

Ovi rezultati dovode do zaključka da su panelni sistemi povezani sa geotermalnim toplotnim pumpama, usled visoke vrednosti koeficijenta transformacije primarne energije,

nepovoljnije rešenje od panelnih sistema povezanih sa gasnim kotlom. Naravno, ovo važi za Srbiju kao i za zemlje sa sličnim vrednostima koeficijenta transformacije primarne energije. Zbog toga se pribeglo rešavanju problema primenom fotonaponskih panela. Proizvedena električna energija iz fotonaponskih panela će smanjiti količinu električne energije iz nacionalne mreže, koja ima visoku vrednost koeficijenta transformacije primarne energije. Tako da će se potrošnja finalne i primarne energije redukovati sa 20 kWh/m²god. i 62 kWh/m²god. na 6 kWh/m²god. odnosno 32 kWh/m²god. Naravno, toplotna pumpa će povlačiti istu količinu finalne energije, ali će udeo primarne energije iz fotonaponskih panela, koja ima faktor transformacije primarne energije blizak jedinici, smanjiti ukupnu količinu primarne energije potrebne za rad panelnih sistema u odnosu na slučaj kada se sva količina električne energije koristi iz nacionalne mreže.

Na slici 4 prikazana je potrošnja ukupne energije analiziranih panelnih sistema, koji su za generatore toplote imali kotao na prirodni gas, geotermalnu toplotnu pumpu i geotermalnu toplotnu pumpu povezanu sa fotonaponskim panelima. Totalna energija je zapravo suma utrošene primarne energije sistema grejanja i utrošene ugrađene energije u primenjeni sistem grejanja. Najnižu potrošnju totalne energije ima podno-plafonsko grejanje, koje kao izvor toplote koristi kotao na prirodni gas (54 kWh/m²god.). A najveću potrošnju ukupne energije ima plafonsko grejanje koje koristi sistem GTP + FN kao generator toplote (257 kWh/m²god.). Visoka vrednost

ugrađene energije za proizvodnju fotonaponskih panela jeste razlog što sistem sa GTP + FN ima značajno višu potrošnju totalne energije u odnosu na panelne sisteme koji su povezani sa jednim od preostala dva sistema.

Na slici 5 prikazane su relacije između potrošnje ukupne energije E_{TOT} i koeficijenta transformacije primarne energije R . Takođe, prema slici 5 je zaključeno da zbog visoke vrednosti koeficijenta transformacije primarne energije $R = 3,01$, geotermalna toplotna pumpa ima veću potrošnju primarne energije nego sistem sa gasnim kotlom. Iz tog razloga, prikazane su potrošnje ukupne energije za panelne sisteme povezane sa geotermalnom toplotnom pumpom pri nižim vrednostima R i naznačene su vrednosti koeficijenta transformacije primarne energije R , pri kojima panelni sistemi povezani sa kotlom na prirodni gas imaju istu potrošnju ukupne energije kao i panelni sistemi povezani sa geotermalnom toplotnom pumpom.

Naravno, neka realnost je da će se u skorijoj budućnosti težiti nižim vrednostima od $R = 3,01$, ali je realnost i da se teško može ići na vrednosti ispod $R = 2$, pa je iz tog razloga ova vrednost usvojena kao donja granica. Na slici 5 se može videti da će panelni sistemi povezani sa geotermalnom toplot-

nom pumpom imati manju potrošnju ukupne energije od panelnih sistema povezanih sa gasnim kotlom kada je $R < 2,81$ za zidno grejanje, $R < 2,68$ za podno grejanje, $R < 2,62$ za podno-plafonsko grejanje i $R < 2,54$ za plafonsko grejanje.

5. Zaključci

U ovom istraživanju prikazana je analiza panelnih sistema povezanih sa različitim vrstama izvora toplote. Ako se razmatraju toplotni izvori, situacija se razlikuje u zavisnosti od toga da li se analiza posmatra sa nivoa krajnjeg korisnika kuće, ili sa globalnog stanovišta. Rezultati pokazuju da je potrošnja finalne energije panelnih sistema povezanih sa geotermalnom toplotnom pumpom manja od one za panelne sisteme povezane sa gasnim kotlom. Ali zbog znatno veće vrednosti koeficijenta transformacije primarne energije za električnu energiju od one na prirodni gas, potrošnja primarne energije se dijametralno razlikuje i sada je viša za sisteme sa geotermalnom toplotnom pumpom. Iz ovog razloga, istraživanje je uključilo i fotonaponske panele, kako bi se razblažila vrednost koeficijenta transformacije primarne energije.

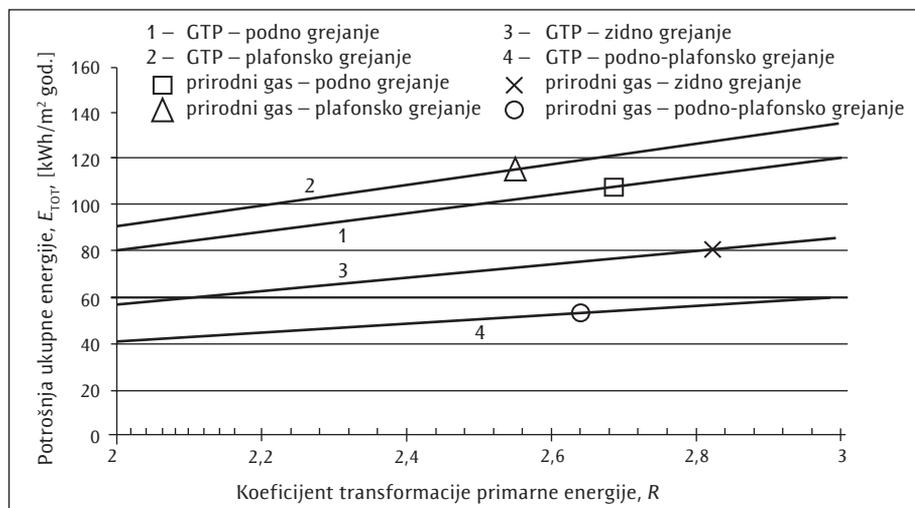
Zaključeno je da je količina finalne energije koja se povlači iz mreže najniža za sistem sa geotermalnom toplotnom pumpom i fotonaponskim panelima (GTP + FN). Takođe, upotreba fotonaponskih panela smanjuje i potrošnju primarne energije iz mreže. Naravno, troškovi grejanja su manji u ovom slučaju. Međutim, posmatrajući ove rezultate na globalnom nivou, moraju se uzeti u obzir i količine energije utrošene pri proizvodnji generatora toplote, sistema grejanja kao i količina ugljen-dioksida koja se emituje pri njihovoj proizvodnji (ugrađena energija i ugrađeni CO₂). Takođe, uzeta je u obzir vrednost investicija u posmatrane sisteme. Tako da sa globalnog stanovišta ovi sistemi (GTP + PV) predstavljaju najnepovoljnije rešenje. Naravno, ovi rezultati su dobijeni za uslove koji vladaju u Srbiji (visoke vrednosti koeficijenta transformacije primarne energije i malo sunčanih dana tokom zime).

U budućnosti, u svetu a i u Srbiji, očekuje se intenzivna upotreba obnovljivih izvora energije u energetskom miksu (pri proizvodnji električne energije). Tada će se energetski miks kretati ka smanjenju koeficijenta transformacije primarne energije. U nekom trenutku, panelni sistemi povezani sa geotermalnom toplotnom pumpom će trošiti manje energije od panelnih sistema povezanih sa gasnim kotlom.

Zahvalnica

Ovaj rad je rezultat dva istraživanja: 1) projekta TR33015 – Tehnološkog razvoja Republike Srbije, i 2) projekta III 42006 – Integralnih i interdisciplinarnih istraživanja Republike Srbije. Prvi projekat sa nazivom „Istraživanje i razvoj srpske kuće nulte neto potrošnje energije“, a drugi ima naziv „Istraživanje i razvoj energijski i ekološki visokoefikasnih sistema poligeneracije zasnovane na obnovljivim energetskim izvorima“.

Želimo da zahvalimo Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci tokom ovih istraživanja.



Slika 5. Odnos između potrošnje totalne energije GTP sistema i koeficijenta transformacije primarne energije R

Literatura

- [1] Kosir, M., A. Krainer, M. Dovjak, R. Perdan, Z. Kristl, *Alternative to the Conventional Heating and Cooling Systems in Public Buildings*, Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering 56 (2010) 575–583.
- [2] Bojić, Milorad, Dragan Cvetković, Marko Miletić, Jovan Malešević, Harry Boyer, *Energy, cost, and CO₂ emission comparison between radiant wall panel systems and radiator systems*, Energy and Buildings, Volume 54, November 2012, Pages 496–502.
- [3] Hepbasli, A., *Thermodynamic analysis of a ground source heat pump system for district heating*. International Journal of Energy Research 2005;29:671–87.
- [4] Sankaranarayanan, K. P., *Modeling, verification and optimization of hybrid ground source heat pump systems in ENERGYPLUS*. Master thesis, Oklahoma State University, USA, 2005.
- [5] Salsbury, T., R. Diamond, *Performance validation and energy analysis of HVAC system using simulation*. Energy and Buildings 2000;32:5–17.
- [6] Kharseh, Mohamad, Lobna Altorkmany, Bo Nordell, *Global warming's impact on the performance of GSHP*, Renewable Energy, Volume 36, Issue 5, May 2011, Pages 1485–1491.
- [7] Bojić, Milorad, Dragan Cvetković, Vesna Marjanović, Mirko Blagojević, Zorica Đorđević, *Performances of low temperature radiant heating systems*, Energy and Buildings, Volume 61, June 2013, Pages 233–238.
- [8] *** Meteonorm, Global Meteorological Database for Engineers, Planners and Education: <http://www.meteonorm.com>, Retrieved May 2011.
- [9] Bogner, M., *Tehnički propisi o grejanju, hlađenju i klimatizaciji*, SMEITS, Beograd, 2002.
- [10] *** The energy balance, <http://www.scribd.com/doc/12836648/Energetski-Bilans-Plan-Za-2008>, Retrieved, May 5, 2011.
- [11] Interklima, The method of calculation, http://www.interklima.rs/01_14nacin_obracuna.html, Retrieved May 5, 2011.
- [12] Monahan, J., J. C. Powell, *A comparison of the energy and carbon implications of new systems of energy provision in new build housing in the UK*, Energy Policy, Volume 39, Issue 1, January 2011, Pages 290–298.