ISSN br. 0354-8651

energija

■ ekonomija ■ ekologija

List Saveza energetičara
Broj 3-4 / Godina XVI / Mart 2014.
UDC 620.9

ENERGETIKA 2014

ENERGETIKA 2014.

XXX Međunarodno savetovanje

energija
ekonomija
ekologija

ENERGETIKA 2014.

Ministarstva energetike, razvoja i zaštite životne sredine,
Ministarstva prirodnih resursa, rudarstva i prostornog planiranja,
Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja,
Ministarstva privrede,
Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede,
PKS, JP EPS, NIS, JP EMS, JP Srbijagas

SAVEZ ENERGETIČARA
Adresa: 11000 Beograd, Knez Mihailova 33
Telefon: + 381 11 2183 315, Faks + 381 11 2639 368
E-mail:savezenergeticara@eunet.rs
www.savezenergeticara.org.rs

ZBORNIK RADOVA

Zlatibor, 25.03. - 28.03.2014

energija ■ekonomija ■ekologija

Energija/Ekonomija/Ekologija

Broj 3-4, mart 2014.

Osnivač i izdavač
Savez energetičara

Predsednik SE
Prof. dr Nikola Rajaković

Sekretar SE
Nada Negovanović

Glavni i odgovorni urednik
Prof. dr Ñenad Đajić

Adresa Redakcije
Savez energetičara
11000 Beograd
Knez Mihailova 33
tel. 011/2183-315
faks 011/2639-368
E-mail:savezenergeticara@EUnet.rs
www.savezenergeticara.org.rs

Kompjuterski prelom EKOMARK
Dragoslav Ješić

Štampa
„Akademska izdanja“, Beograd

Godišnja pretplata
- 8.000,00 dinara
- za inostranstvo 16.000,00 dinara

Tekući račun SE
broj 355-1006850-61

Radovi su recenzirani uz tehničku obradu.

Nijedan deo ove publikacije ne može biti reprodukovan, presnimavan ili prenošen bez prethodne saglasnosti Izdavača.

ZDAVAČKI SAVET

Prof. dr Zorana Mihajlović, ministar energetike, razvoja i zaštite životne sredine
Prof. dr Tomislav Jovanović, ministar prosvete, nauke i tehnološkog razvoja
dr Milan Bačević, ministar prirodnih resursa, rudarstva i prostornog planiranja
Prof. dr Dragan Glamočić, ministar poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede
Prof.dr Aleksandar Gajić, državni sekretar
Prof. dr Slobodan Stupar, pomoćnik ministra
Dušan Mrakić, državni sekretar
Dejan Popović, državni sekretar
Prof.dr Mirko Komatina, Mašinski fakultet u Beogradu
dr Kiril Kravčenko, gen.dir. NIS ad
Aleksandar Obradović, v.d. gen.dir. JP EPS
Željko Sertić, predsednik PKS
Ljubo Maćić, dir. Agencije za energetiku Srbije
dr Aca Marković, predsednik NO JP EPS
Aleksej Belov, dir. Bloka „Energetika“ NIS
Dušan Bajatović, dir. JP Srbijagas
Nikola Petrović, gen.dir. JP EMS
Čedomir Ponoćko, dir. TENT, d.o.o.
Dragan Jovanović, dir. TE-KO Kostolac, d.o.o.
Tomislav Basta, v.d. dir. JP Transnafta
Vladan Milošević, v.d. dir. JP PEU
Goran Stojilković, zam.gen.dir. za petrohemijske poslove NIS
Rišat Islamov, dir. Bloka „Istraživanje i proizvodnja“ NIS
Viktor Slavin, dir. Bloka „Prerada“ NIS
Goran Knežević, dir. HE Đerdap, d.o.o.
Zoran Rajović, dir. EDB, d.o.o.
Milorad Grčić, dir. RB Kolubara d.o.o.
Srđan Kružević, dir. Elektrovojvodina, d.o.o.
Srđan Đurović, dir. Elektrosrbija, d.o.o.
dr Miroslav Malobabić, dir. JP Srbijagas
Aleksandar Vlajčić, v.d. dir. Obnovljivi izvori EPS
Igor Novaković, v.d. dir. „Jugoistok“ d.o.o
Sanja Tucaković, dir. „Centar“, d.o.o.
Aleksandar Pribić, dir. JKP Novosadska toplana
Zoran Ivančević, dir. Panonske TE-TO
dr Svetislav Bulatović, dir. EFT Group
dr Nenad Popović, ABS Holding
dr Dragan Kovačević, dir. Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“
Prof.dr Sanja Vraneš, dir. Instituta „Mihajlo Pupin“
dr Bojan Radak, v.d. dir. Instituta za nuklearne nauke „Vinča“
Prof.dr Branko Kovačević, dekan ETF Beograd
Prof.dr Milorad Milovančević, dekan Mašinski fakultet u Beogradu
Prof.dr Dejan Filipović, *dekan Geografskog fakulteta*
Prof.dr Šćepan Miljanić, *dekan Fakulteta za fizičku hemiju*
Prof.dr Rade Dobroslovački, dekan Fakulteta tehničkih nauka u NS
Prof.dr Ivan Obradović, dekan Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu
Prof.dr Miroslav Babić, dekan Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu
Prof.dr Jeroslav Živanić, dekan Tehnički fakultet u Čačku
Prof.dr Milun Babić, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu
Slobodan Babić, Rudnap Group
Dr Vladimir Živanović, SE

REDAKCIONI ODBOR

Prof.dr Ozren Ocić
Slobodan Petrović, sekretar Odbora za energetiku PKS
Radiša Kostić, dir. Elektroistok-izgradnja
dr Tomislav Simović, dir. Montinvest ad
Milorad Marković, predsednik HK Minel
Milan Lončarević, NIS a. d.
Mijodrag Čitaković, dir. Drinsko-Limske HE
Prof.dr Petar Đukić, TMF
Dragan Nedeljković, novinar
Dr Branislava Lepotić, dir. JP Transnafta
Jelena Vujović, dir.za odose s javnošću EPS
Roman Mulić, SE
Sekula Krstajić, novinar
Božica Sandić, JP EPS
Simo Bobić, PK Beograda
Nikola Petrović, dir. Energetika Kragujevac
Ružica Vranjković, novinar
Jelica Putniković, novinar

energija ekonomija ekologija

ORGANIZACIONO - PROGRAMSKI ODBOR

Predsednik: Prof.dr Milun Babić, *Mašinski fakultet u Kragujevcu*
Sekretar: Nada Negovanović, *sekretar Saveza energetičara*

Članovi:
Dr Matthias Jochem, *Hitachi, Nemačka*
Prof.dr Miloš Nedeljković, *Mašinski fakultet Beograd*
Prof.dr Adriana Sida Manea, *Politehnica-Universitety of Temisoara, Romania*
dr Ivan Souček, Ph. D., P*rague Institute of Chemical Technology, Czech Republic*
Prof.dr Aleksandar Gajić, *državni sekretar*
Prof.dr Slobodan Stupar, *pomoćnik ministra*
mr Milan Stojsavljević, *Institut za elektroprivredu i energetiku,Hrvatska*
Prof.dr Dečan Ivanović, *Mašinski fakultet Podgorica*
Prof.dr Šćepan Miljanić, *dekan Fakulteta za fizičku hemiju*
Prof.dr Zdravko N. Milovanović, *Mašinski fakultet Banja Luka*
Prof.dr Valentino Stojkovski, *Mašinski fakultet Skopje*
dr Ognjen Kuljača, *Brodarski institut, Hrvatska*
Prof.dr Predrag Popovski, *Mašinski fakultet Skopje*
Prof.dr Aleksandar Nospal, *Mašinski fakultet Skopje*
dr Igor Krčmar, *Elektrotehnički fakultet Banja Luka*
Prof.dr Rade Biočanin, *Univerzitet Aperion Banja Luka*
dr Tatjana Luppova, *Rusija*
dr. D. Seibt, *Vattenfall - Nemačka*
Prof.dr Nikolaj Ostrovski, *Ukrajina*
Prof. Daniela Marasova,CSc.*Technical university of Kosice Faculty of Mining, Ecology*
Prof.dr Dejan Filipović, *dekan Geografskog fakulteta*
Prof.dr Neven Duić, *Strojarsko-brodarski fakultet, Hrvatska*
Prof.dr Jeroslav Živanić, *dekan Tehničkog fakulteta u Čačku*
Prof.dr Miroslav Babić, *dekan Mašinskog fakulteta u Kragujevcu*
Prof.dr Slobodan Vukosavić, *Elektrotehnički fakultet Beograd*
Prof.dr Branko Kovačević, *dekan ETF u Beogradu*
Prof.dr Milan Medarević, *dekan Šumarskog fakulteta u Beogradu*
Prof.dr Mirko Komatina, *Mašinski fakultet u Beogradu*
Ljubo Maćić, *predsednik Agencije za energetiku Srbije*
Prof.dr Ozren Ocić, *Faculty of International Engineering Management*
dr Miloš Banjac, *Mašinski fakultet Beograd*
mr Dušan Kalember, *Brodarski Institut, Hrvatska*
dr Tomislav Simović, *direktor Montinvest AD*
Dr Miodrag Arsić, *IMS Beograd*
Prof.dr Željko Despotović, *IMP*
dr Miroslav N.Malobabić, *izvršni direktor JP Srbijagas*
Simo Bobić, *Privredna komora Beograda*
Prof.dr Nenad Đajić, *glavni i odgovorni urednik časopisa ENERGIJA*
Prof.dr Vladimir Živanović, *Savez energetičara*

energija ■ekonomija ■ekologija

Sadržaj

[007] D. Filipović, V. Šećerov
Metodološki okvir planiranja i projektovanja vetroparka u opštini Negotin

[014] Plavšić, M. Paunović, G. Stanković
Strateško planiranje kao faktor upravljanja obnovljivim izvorima energije Timočke krajine

[021] S. L. Milić, N. M. Tomasović
Tretman vetroelektrana u simulacionim modelima analize rada elektroenergetskog sistema

[027] Stefan Pavlović, I. Škokljev
Monte Karlo metoda u planiranju novih proizvodnih kapaciteta u uslovima otvorenog tržišta

[035] S. Ćurčić, S. Vučićević
Raspoloživi energetski potencijali od drvne i biljne biomase sa omeđenog dela planine Rudnik

[043] V. Šušteršič, M. Babić, S. Savić, D. Gordić
Mogućnost uvođenja trigeneracije u domaćinstvu

[048] A. S. Janković, D. Popović Milovanović, V. Milić
Primena Q-V modalne analize u ispitivanju stabilnosti napona elektroenergetskog sistema

[056] N. Mučalica, T. Papić, K. Kasaš-Lažetić, D. Herceg , D. Antić, M. Prša
Gubici usled struja indukovanim u čeličnim cevima zakopanim ispod dalekovoda

[061] K. Kasaš-Lažetić, N. Đurić, N. Mučalica, M. Prša
Određivanje frekvencijski zavisne strujne raspodele u trofaznom sistemu sastavljenom od „U“ sabirnica

[068] S. Spremić, D. Obradović
Regulacija napona pasivnih i aktivnih niskonaponskih distributivnih mreža

[075] Ilić, I. Radovanović, Ž. Vračević, Z. Cvejić
Preuzimanje napajanja kotla u sinhronizovanom radu turbo i elektronapojnih pumpi

[083] M. Ćalasan, V. Radulović, T. Dlabač, D. Kovač
Matematički modeli olovnih akumulatora - pregled i određivanje parametara

[089] Ž. Despotović
Kontrola vibracionog pražnjenja prihvatnih levkova na postrojenjima elektrostatičkih izdvajača

[100] D. Ristivojević, S. Vuković, S. Damnjanović
Merenje nultih i međufaznih kapacitivnosti kablova i vazdušnih vodova

energija ■ekonomija ■ekologija

[105] S. Kostic
Metodologija za utvrđivanje dozvoljenih troškova i regulisanih cena električne energije

[111] D. Glišić, V. Nešić, V. Vučurević, B. Nikolić
Modernizacija DCS sistema na TS 110/35 kV - Vranje 1

[116] S. N.Vukosavić, Ž. V. Despotović, N. Popov, N. Lepojević
Visokofrekventna distribuirana multirezonantna topologija energetskog pretvarača za napajanje elektrostatičkih filtara

[124] M. Obradović, D. Jovanović
Automatizacija nadzemnih vodova 10 i 35 kV na konzumu Elektrodistribucije Beograd

[130] Nenad Radojičić
Mrežna organizacija kao alternativi pristup dezagregaciji delatnosti (autsorsingu) u privrednim društvima JP EPS

[136] I.Ožegović, M. Životić
Specifičnosti kotla sa sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanom sloju

[143] S. Tatalović, D. Salamon
Analiza temeljnog uzemljivača vetroagregata u različitim uslovima tla

[151] P. Đukić
Srbija pred izazovima nove energetske strategije: u kontekstu globalne energetske politike

[160] M. Milojević, I. Nikolić, N. Radmilović, V. Petkovski, T. Jovanović
Prikaz biblioteke funkcija stanja vode razvijene za primenu u modeliranju termodinamičkih procesa termobloka

[166] M. Stakić, I. Vuković, I. Radovanović
Modernizacija i automatizacija sistema za nadzor i upravljanje bunarima i peščanim filterima u pogonu hemijske pripreme vode termoelektrane „Nikola Tesla B“

[173] N. Krajnović, N. Radmilović, M. Milojević, V. Petkovski, A. Latinović
Model isparivača parnog kotla razvijen za simulator termobloka

[178] M. Stanojević, V. Stevanović, M. Bajić, N. Karličić
Uticajni faktori na rad sistema pneumatskog transporta pepela na primeru postrojenja u TENT-B

[185] V. Stevanović, M. Jovanović
Zaštita od termohidrauličnog udara na Termoelektrani „Nikloa Tesla B”

[192] Z. Stojanović, M. Bajić, I. Gavrić
Smanjenje količine zaprljanih otpadnih voda pre prečišćavanja na TENT B

[203] Milić, A. Ilić
Prilog regulaciji loženja na TENT B1

[210] R. Cvejić
Modernizacija i usaglašavanje rada termoenergetskih postrojenja u TE “Kostolac” sa zahtevima zaštite životne sredine

[218] G. Tomić, V. Kovačević
Preventivno održavanje važnih rotacionih uređaja bloka kontinualnim praćenjem trenda vibracionog stanja u TENT-u

[225] D. Filimonović, I. Ristić, B. Radojčić, B. Milenković
Adaptacija merenja protoka u ciklusu napojna voda - sveža para na termo bloku

[233] G. Rajković, M. Milišić, S. Ilić, V. Nikolić, D. Ćirić
Uticaj održavanja na brzinu vraćanja investicionih sredstava

[238] Ž. Đurović, G. Kvaščev, A. Ilić, P. Tatomirović
Analiza uticaja pripreme ložišta u režimu promene referentne električne snage termoenergetskih blokova - TENT B1

[246] Z. N. Milovanović, D. Knežević, A. Milašinović, J. Škundrić, S. Dumonjić-Milovanović
Tehničko-tehnološko rješenje kondenzacione termoelektrane Ugljevik III instalisane snage 2x300 MW

energija ■ekonomija ■ekologija

[256] D. Šarić, Ž. Gagić, I. Vukosavljević, B. Kuzminac, K. Duvnjak
Idejni projekat sistema za razmenu upravljačkih signala između različitih DCS-ova

[261] P. Tatomirović, I. Jovanović, N. Turnić, P. Vasić
Detekcija odbacivanja opterećenja termo-energetskih blokova

[269] A. Latinović, V. Šimšić, P. Vasić, P. Tatomirović, N. Krajnović
Raspodela toplotne energije u kotlovskom postrojenju termoelektrane i procena zaprljanosti grejnih površina

[276] A. Latinović, B. Buha, Z. Božović, Lj. Mihailović, S. Bezmarević, Z. Karać, N. Samardžić, N. Obradović, M. Đurđević
Rad termoblokova TE „Nikola Tesla“ - A, Obrenovac u sistemu sekundarne regulacije učestanosti i snage razmene i uticaj na parametre rada parnog kotla

[283] S. Kovačević, Z. Mićević
Radovi na rekonstrukciji kotlovskog postrojenja Bloka 2 TE „Kostolac B“

[291] M. Stanković, B. Papić, Lj. Jovanović, V. Nešić, D. Glišić, N. Radmilović, M. Roganović, Ž. Gagić
Sistem za redundantno merenje broja obrtaja u sistemima turbinske regulacije u termoagregatima

[298] A. Aleksić, D. Gordić, M. Babić
Analiza isplativosti primene toplotne pumpe u proizvodnom preduzeću srednje veličine

[304] B. Stojanović , Lj. Rudić-Mikić, S. Govedarica
Depozicja sumpornih jedinjenja u Ugljeviku

[309] T. Mačkić, D. Ćatić, Z. Milovanović
Analiza stabla otkaza protočnog parnog kotla TE Ugljevik

[315] M. M. Josijević, M. Milašinović, V. Šušteršič, D. Gordić, M. Babić
Communal Wastewater Biogas Energy Potential in Kragujevac

[320] A. Stojanović
PD TENT i razvoj energetski efikasnog ponašanja učenika srednjih škola u lokalnoj zajednici - mogući primeri dobre prakse društveno odgovornog poslovanja

[326] M. Roganović, A. Car, V. Nešić, Đ. Čović, M. Stanković, M. Živanović
Merenje jednosmerne struje i napona niza solarnih panela u fotonaponskim elektranama

[331] S. R. Pavlović, V. P. Stefanović, M. V. Mančić
Optical Analysis of a Solar Paraboloidal Dish Thermal Concentrator Using Monte Carlo Ray - Tracing Method

[339] M. Komarčević, M. Živojinović, M. Tadić - Marković
Konceptualne osnove i formativni okvir zaštite kritične infrastrukture

[347] Lj. Pejanović, D. Kolev, C. Živanović
Strateške dileme na planu zaštite kritične nacionalne infrastrukture

[353] *V. Kočović, I. Radosavljević, A. Aleksić, D.Andrić, S. Tasić, M. Babić*
Razvoj i upotreba tzv. školskog solarnog kolektora za unapređenje edukacije u oblasti ekologije i energetske efikasnosti

[359] Ž. Despotović
Impulsno kontrolisani energetski pretvarač za elektrootporno žarenje masivnih metalnih delova

[365] M. Štefanco, D. Košičanová, F. Vranay, P. Grendel
Design and Assessment of Technical Building Equipment in terms of Renewable Resources

[372] V. Rajs, V. Milosavljević, Ž. Mihajlović, G. Tatic, M. Živanov
Merenje koncentracije prašine i automatska dezinsekcija vazduha u prostoriji

Aleksandar ALEKSIĆ, Dušan GORDIĆ, Milun BABIĆ, Vanja ŠUŠTERŠIČ
Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac

UDC: 621.577.003/.004:658.5

Analiza isplativosti primene toplotne pumpe u proizvodnom preduzeću srednje veličine

APSTRAKT

Toplotne pumpe se smatraju jednim od najefikasnijih sistema za grejanje/hlađenje, ali i pored visoke efikasnosti, u našoj zemlji, prvenstveno se uzima u obzir njihova ekonomska isplativost, odnosno eventualni benefit koji donosi korišćenje geotermalne energije u odnosu na primenu konvencionalnih sistema za grejanje/hlađenje. Još uvek postoji velika neizvesnost o stvarnim performansama toplotnih pumpi u realnim uslovima obzirom na relativno visoke investicione troškove. Ova studija razmatra odredjivanje perioda isplativosti sistema koji bi korišćenjem geotermalne energije i toplotne pumpe zamenio deo konvencionalnog sistema u domenu radijatorskog grejanja objekta u jednom proizvodnom preduzeću.

Ključne reči: toplotna pumpa, grejanje, toplotni bilans, period isplativosti, emisija CO_2 gasova

ABSTRACT

The heating pumps are considered as the most efficient systems for heating / cooling, but besides their high efficiency, in Serbia, in most cases it's taken just their economic profitability, and potential benefit of geothermal energy, compering to other conventional systems for heating / cooling. There is significant suspense about actual performance of heating pumps in real conditions due to relatively high investment costs. This study shows payback period validation for a system which uses geothermal energy and heating pump to replace a part of conventional radiator heating system in one production facility.

Keywords: heating pump, heating, heating balance, payback period, CO_2 emission

1. UVOD

Prvi poznati zapis o konceptu korišćenja energije zemlje kao izvora toplote, pronađen je u jednom švajcarskom patentu izdatom još 1912. godine [1]. Prvu toplotnu pumpu napravio je Vilijam Tomson i ona je predstavljala otvoren sistem koji je koristio okolni vazduh kao izvor toplote, ali i kao radni fluid.

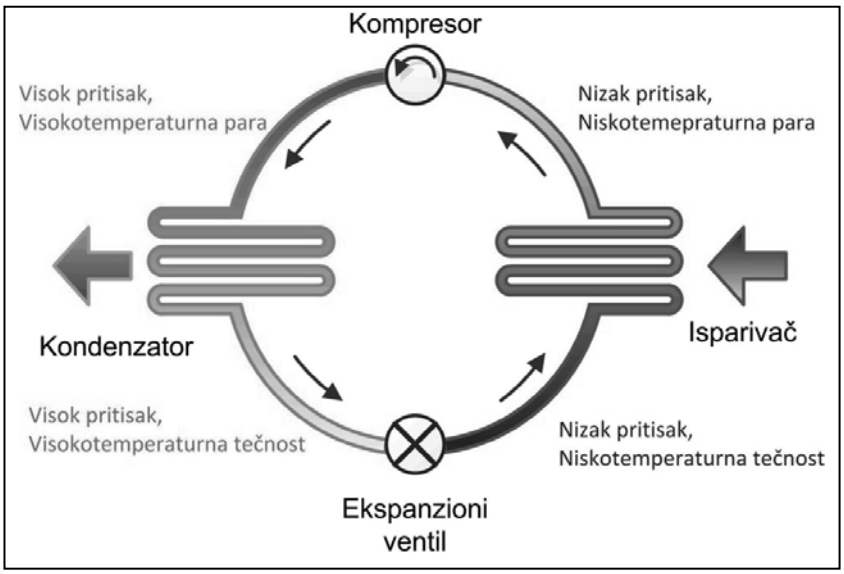
Toplotne pumpe su uređaji koji rade na termodinamičkom principu podizanja toplote, odnosno dovode energiju sa niže temperature na višu, uz dodatnu energiju (rad) pomoću kružnog procesa prikladnog medija (*slika 1*).

Za svoj rad toplotne pumpe zahtevaju dva spremišta toplote:

– toplotni izvor (spremište niže temperature): to je prostor ili medij kome se uzima toplota, najčešće okolni vazduh, tlo, površinske ili podzemne vode, otpadna toplota itd.
– toplotni ponor (spremište više temperature): to je prostor ili medij kome se predaje toplota, npr. prostorija, grejni medij sistema grejanja, topla voda itd.

Na istom principu rade i rashladni uređaji (hladnjaci, split klima-uređaji i sl). Osnovna razlika između njih i toplotnih pumpi je u cilju koji se želi postići. Dok je kod rashladnih uređaja cilj hlađenje, odnosno uzimanje toplote iz nekog prostora ili medija (toplotnog izvora), kod toplotnih pumpi je cilj grejanje, odnosno predavanje toplote nekom prostoru ili mediju (toplotnom ponoru). Toplotna pumpa predaje toplotnu energiju koja se može koristiti za grejanje prostora ili za grejanje vode [3].

U zavisnosti od toplotnog izvora uobičajna podela toplotnih pumpi je:



Slika 1. - *Šematski prikaz rada toplotne pumpe*

– vazduh-voda,
– zemlja-voda,
– voda-voda.

Prva reč označava toplotni izvor koji se koristi, a druga prenosilac energije unutar instalacije.

U režimu hlađenja toplotna pumpa hladi prenosioca energije unutar instalacije koji cirkuliše kroz cevi unutar objekta, a sakupljenu toplotnu energiju izbacuje u spoljašnji prostor.

2. METODOLOGIJA

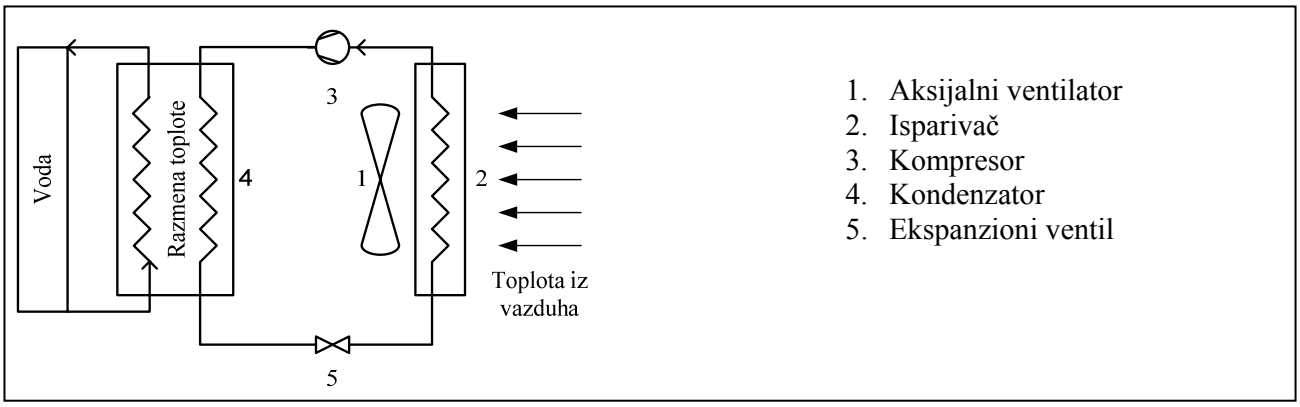
Preduzeće koje je predmet analize ima godišnju proizvodnju od 6.500 tona proizvoda i od energenata koristi električnu energiju i prirodni gas. Procentualni odnos potrošnje ovih energenata dat je na *slici 3*.

Potrošnja i troškovi energenata za period za period 2012. i 2013. godinu prikazani su u *tabeli 1*.

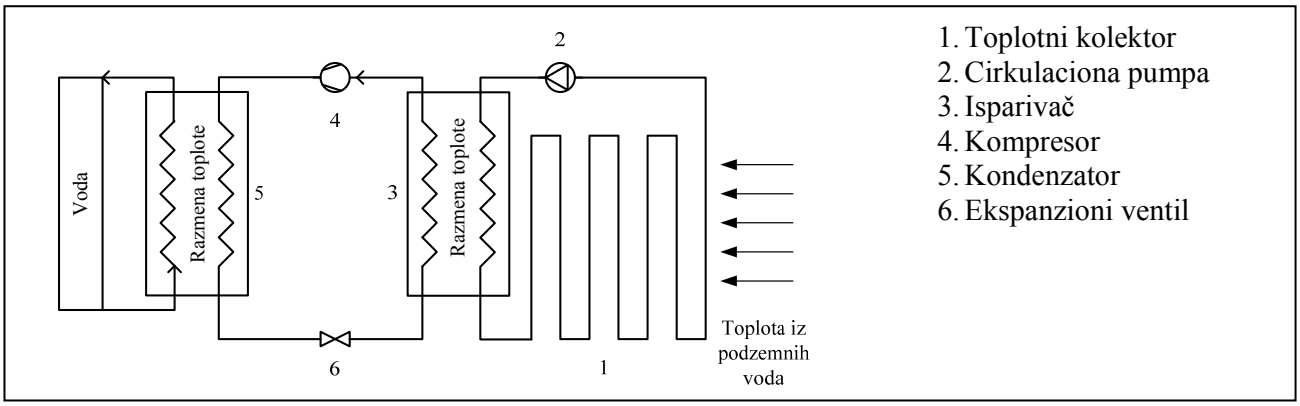
Prirodni gas se koristi za proizvodnju pare pomoću parnog kotla instalisane snage 350kW. Deo pare se koristi za proizvodni proces (proces pasterizacije i otapanja proizvoda), a ostatak za tehnološko grejanje instalacija i cevovoda, proizvodnju sanitarne tople vode i grejanje objekta u zimskom periodu. Pretpostavljeni angažovani toplotni kapacitet za sistem radijatorskog grejanja objekta u zimskom periodu je 40kW na korisnoj površini od 350m^2, dok je temperatura u radnom prostoru 20-22°C.

Na *slici 4*. je prikazana potrošnja prirodnog gasa u periodu od 26 meseci, sa koje se vidi povećana potrošnja prirodnog gasa u mesecima zimske (grejne) sezone (od sredine oktobra do sredine marta).

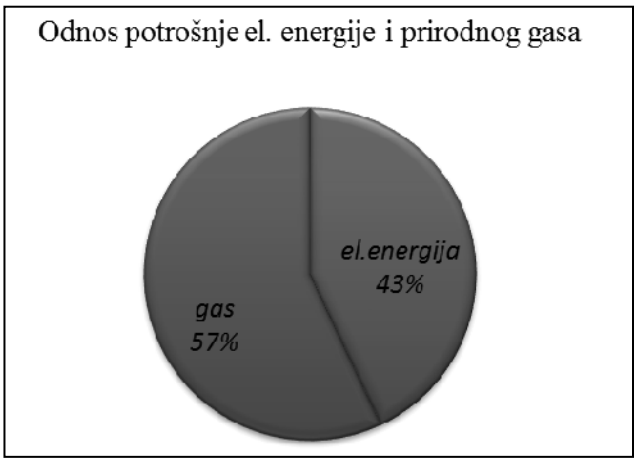
Pošto se prirodni gas, sem grejanja objekta, koristi i za tehničko-tehnološke potrebe proizvodnje, potreb-



Slika 2a. - *Šematski prikaz toplotne pumpe vazduh-voda [2]*



Slika 2b. - *Šematski prikaz toplotne pumpe zemlja-voda odnosno voda-voda [2]*



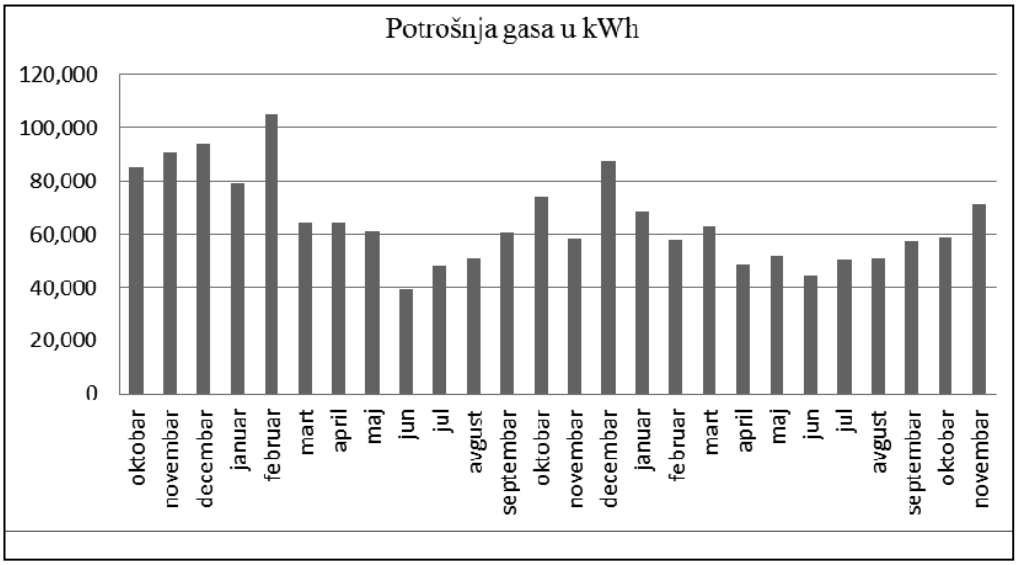
Slika 3. - *Odnos potrošnje el. energije i prirodnog gasa*

no je napraviti toplotni bilans kojim bi se odredila količina toplotne energije potrebne za grejanje objekta u periodu grejne sezone od 15.oktobra do 15.marta.

Pošto potrošnja prirodnog gasa u zimskom periodu zavisi od grejanja, ali zavisi i od proizvodnje, najmerodavniji pristup je da se posmatra procentualna razlika specifične potrošnje prirodnog gasa u kWh /toni proizvoda u letnjem i zimskom periodu i ona iznosi 17,96 % za grejnu sezonu 2012/2013, što znači da je u tom periodu utrošeno 17,96 % više prirodnog gasa samo za potrebe grejanja objekta. Ako je prosečna mesečna potrošnja prirodnog gasa u periodu oktobar 2012. - mart 2013. iznosila 68.298 kWh od te količine za potrebe grejanja objekta potrošeno je 12.295 kWh mesečno. U posmatranom preduzeću svaki mesec ima 23 radna dana i ukoliko grejanje objekta radi 12h dnevno, to znači da se za potrebe grejanja troši 44,43 kW svakog časa.

Tabela 1. - *Potrošnja i troškovi energenata*

Podaci se odnose na period 2012. i 2013				
Energent	Potrošnja	Jed.	Trošak	
			RSD	%
El. energija	1.117,11	MWh	7.431.604	45,39%
Prirodni gas	1.481,03	MWh	6.177.161	54,61%
Ukupno			13.608.765	



Slika 4. - *Potrošnja prirodnog gasa u kWh*

3. ANALIZA ISPLATIVOSTI I DISKUSIJA REZULTATA

Cilj analize je odredjivanje perioda isplativosti sistema koji bi korišćenjem geotermalne energije i toplotne pumpe zamenio deo konvencionalnog sistema u domenu radijatorskog grejanja objekta.

Analiza ekonomske opravdanosti investicije radjena je prema proračunu

Tabela 2. - *Toplotni bilans*

mesec	godina	proizvodnja tonama	potrosnja gasa u kWh	potrosnja gasa m3/toni	troškovi gasa	potrosnja gasa u kWh/toni		
jul	2012	263,90	48198,30	19,72	200.558 Din.	182,64		
avgust	2012	348,73	51217,06	15,86	212.849 Din.	146,87	pros. mesečna potrošnja gasa u kWh leti	pros.mesečna specifična potrošnja gasa u kWh leti
septembar	2012	364,75	60745,60	17,98	251.646 Din.	166,54	54.160,20	156,93
oktobar	2012	439,32	74181,86	18,23	306.351 Din.	168,86		
novembar	2012	416,56	58430,60	15,15	232.268 Din.	140,27		
decembar	2012	407,92	87636,64	23,20	169.595 Din.	214,84		
januar	2013	464,80	68486,96	15,91	299.961 Din.	147,35		
februar	2013	367,60	58097,24	17,07	275.509 Din.	158,04	pros. mesečna potrošnja gasa u kWh zim	pros. mesečna specifična potrošnja gasa u kWh zim
mart	2013	413,27	62958,74	16,45	287.299 Din.	152,34	68.298,67	163,30
april	2013	394,69	48513,14	13,27	222.551 Din.	122,91		
maj	2013	381,10	51800,44	14,68	237.286 Din.	135,92	12.264,60	17,96%
jun	2013	400,29	44698,02	12,06	138.273 Din.	111,66		
jul	2013	317,04	50457,74	17,19	231.268 Din.	159,15		
avgust	2013	404,54	50892,96	13,59	233.218 Din.	125,80	pros. mesečna potrošnja gasa u kWh leti	pros. mesečna specifična potrošnja gasa u kWh leti
septembar	2013	371,13	57597,20	16,76	279.854 Din.	155,19	50.659,92	133,97

Prikaz 1. -

Polazni podaci:	
Lokacija	Kragujevac
Za grejanje se koristi:	prirodni gas
Površina objekta (m^2):	350
Izloženost vetru:	normalno vetroviti predeo i otvoren položaj
Izolacija cevne mreže:	neizolovana cevna mreža unutar term. omotača
Tip regulisanja:	automatska centralna regulacija
Projektovana unutrašnja temp. (°C):	tu= 20
Spoljna projektna temp. (°C):	ts= -15
Donja toplota moć goriva KJ/Nm^3:	Hd= 33600
Potrošnja pr. gasa u grejnoj sezoni Nm^3:	Bg= 7950
Efikasnost izvora grejanja (kotla):	hk = 0,6
Stepen korisnosti cevne mreže:	hc = 0,95
Stepen korisnosti regulisanja:	hr = 0,92
Koef. temp. ograničenja:	et = 0,85
Koef. temp. ograničenja:	eb= 0,9
Koef. jednovremenosti:	y= 0,6
Br.stepen dana:	HDD= 2610

uskladjenom sa Pravilnikom o energetskoj efikasnosti zgrada [4], za objekat, površine od oko 350 m^2 .

Postojeci sistem grejanja objekta je radijatorski sa parnim kotlom na prirodni gas kao izvorom toplote. Unutrašnji grejni sistem je toplovodni. Prenos toplote sa pare na vodu se vrši putem izmenjivaca toplote para/voda postavljenog u podstanici unutar objekta (*prikaz 1*).

Eksploataciona potrošnja postojećeg konvencionalnog radijatorskog sistema grejanja objekta *formula 1*

$$Q - \frac{(tu - ts) * Hd * Bg * hk * hc * hr}{24 * 3{,}6 * et * eb * y * HDD} \quad (1)$$

$$Q = 47.366 \text{ kW}$$

Eksploatacioni troškovi unapredjenog sistema grejanja toplotnom pumpom (*prikaz 2*).

Prikaz 2. -

Novi sistem koristi:	električnu energiju
Povrsina objekta (m^2):	350
Projektovana unutrašnja temp. (°C):	20
Izolacija cevne mreze:	neizolovana cevna mreza
Tip regulisanja:	automatska centralna regulacija
Koef. temp. ograničenja:	et= 0,75
Koef. temp. ograničenja:	eb= 0,75
Koef. jednovremenosti:	y= 0,5
Br.stepen dana:	HD= 2610
Instalisani kapacitet (kW):	Q= 47.366
Projektovana unutrašnja temp. (°C):	tu= 20
Spoljna projektna temp. (°C):	ts= -15
Donja toplota moć goriva KJ/kWh:	Hd= 3600
Koeficijent učinka topl.pumpe:	COP = 3,75
Stepen korisnosti cevne mreže:	hc = 0,95
Stepen korisnosti regulisanja:	hr = 0,95

Potrošnja električne energije na godišnjem nivou:

$$Bg = \frac{24 * 3{,}6 * et * eb * y * HDD * Q}{(tu - ts) * Hd * COP * hc * hr} \quad (2)$$

$$Bg - 7.044{,}83 \text{ kWh/god}$$

Novim sistemom grejanja zadržala bi se postojeća radijatorska instalacija uz konverziju postojećeg izvora toplote toplotnom pumpom tipa voda-voda toplotne snage 48 kW čija je investiciona vrednost sa ugradnjom, bušenjem bunara i adaptacijom postajaće instalacije 31.200 EUR.

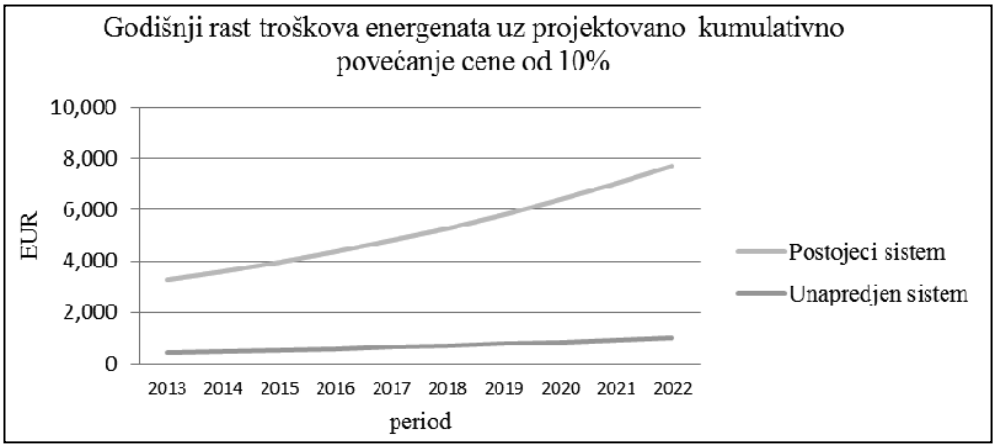
Uporedni proračun potrošnje energenata postojećeg konvencionalnog sistema radijatorskog grejanja na prirodni gas i unapredjenog sistema koji se bazira na primeni toplotne pumpe tipa voda-voda u eksploatacionom periodu od 10 godina uz projektovano povećanje cene oba energenta od 10% godišnje prikazan je u *Tabeli 3*.

U postojećem konvencionalnom sistemu, godišnji rast troškova za prirodni gas uz kumulativno povećanje cene prirodnog gasa od 10% godišnje, dovodi do znatno većih eksploatacionih troškova u odnosu na unapredjeni sistem koji koristi toplotnu pumpu pri istim uslovima uz kumulativno povećanje cene električne energije od 10% godišnje u analiziranom periodu od 10 godina, prikazano na *slici 5*.

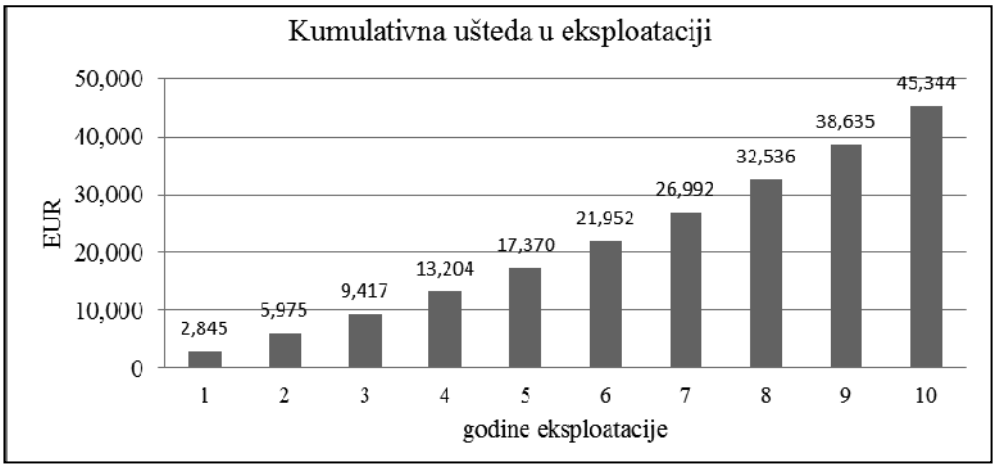
Primena unapredjenog sistema će dovesti do znatnih ušteda u pogledu potrošnje energenata, sa aspekta godišnje razlike u troškovima, što se uočava kroz kumulativne uštede koje nastaju u analiziranom periodu od 10 godina, prikazano na *slici 6*.

Tabela 3. - *Uporedni proračun potrošnje energenata*

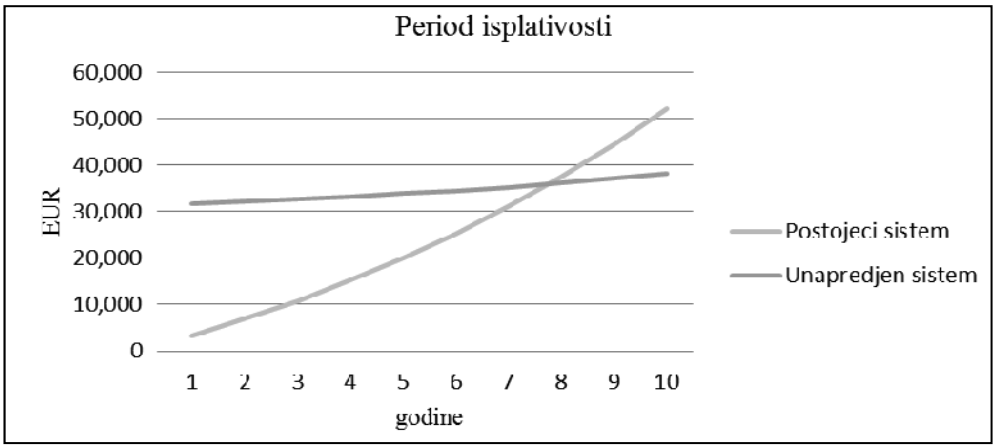
	potrošnja	EUR/jm	rast cene	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	Nm3/god												
Postojeci sistem	7.950	0,41	1,10	3.278	3.605	3.966	4.363	4.799	5.279	5.807	6.387	7.026	7.728
	kWh/god												
Unapredjen sistem	7.044	0,06	1,10	433	476	523	576	633	697	766	843	927	1.020



Slika 5. - *Godišnji rast troškova energenata*



Slika 6. - *Kumulativna ušteda u eksploataciji u odnosu na radijatorsko grejanje objekta u zimskom periodu*



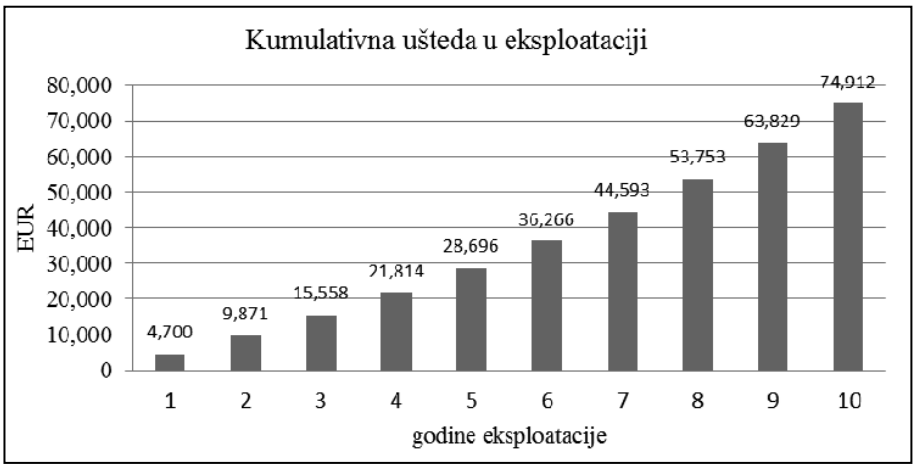
Slika 7. - *Period isplativosti u odnosu na radijatorsko grejanje objekta u zimskom periodu*

Period isplativosti investicije tj. prelazak sa postojećeg konvencionalnog sistema, na sistem grejanja sa toplotnom pumpom voda-voda, će zbog uštede u potrošnji, iznositi oko osam godina (*slika 7*).

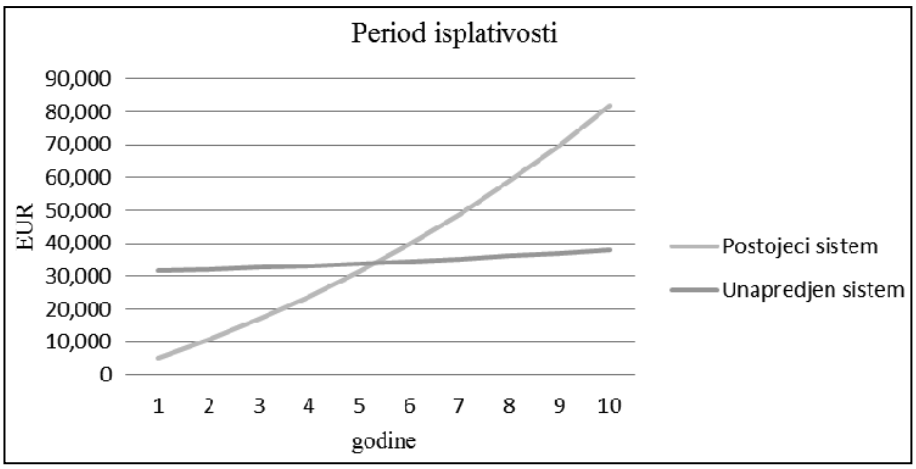
Nakon 10 godina eksploatacije, unapredjeni sistem grejanja toplotnom pumpom voda-voda će uz procenu povećanja cene energenata na godišnjem nivou, uštedeti 45.344 € kroz kumulativne uštede energenata.

Prethodna analiza se odnosila na mogućnost zamene konvencionalnog sistema radijatorskog grejanja objekta. Pošto se radi o proizvodnom pogonu koji ima potrebe i za proizvodnjom sanitarne tople vode tokom čitave godine, uštede i period isplativosti predloženog sistema koji se bazira na korišćenju geotermalne energije i toplotne pumpe bio bi kraći, pošto omogućava korišćenje dodatnih kapaciteta od 48kW van grejne sezone u zimskom periodu, što iznosi oko 13,5% instalisanog kapaciteta kotla.

Kumulativne uštede u eksploataciji unapredjenog sistema koji bi se pored grejanja u



Slika 8. - *Kumulativna ušteda u eksploataciji- radijatorsko grejanje objekta u zimskom periodu i proizvodnja sanitarne tople vode u letnjem periodu*



Slika 9. - *Period isplativosti- radijatorsko grejanje objekta u zimskom periodu i proizvodnja sanitarne tople vode u letnjem periodu*

zimskom periodu, koristio i za proizvodnju sanitarne tople vode letnjem periodu prikazan je na *slici 8*.

U ovom slučaju period isplativosti investicije vode iznosio bi oko 5,5 godina (*slika 9*).

U ovom slučaju unapredjeni sistem grejanja toplotnom pumpom voda-voda će nakon 10 godina eksploatacije uštedeti 74.912 € kroz kumulativne uštede energenata.

Potrošnja prirodnog gasa za grejanje objekta postojećim konvencionalnim sistemom iznosi 7.950 Nm3/god što predstavlja 16,04 tona CO_2eq/god.

Pored finasijskog benefita u pogledu smanjenja troškova energenata, neizostavano je i ostvareno smanjenje emisije CO_2 gasova i efekta staklene bašte, imajući u vidu da su svi sistemi grejanja koji se baziraju na primarnom sagorevanju fosilnih goriva (bilo da je reč o proizvodnji el.energije ili direktoj proizvodnji toplotne energije sagorevanjem), ograničeni sadržajem ugljenika u gorivu [6].

4. REZIME

Uštede i povećanje energetske efikasnosti primenom toplotnih pumpi se ogleda u tome, da je za prenos energije iz jednog prostora u drugi, potrebno uložiti do 10-25% energije koja bi se angažovala korišćenjem konvencionalnih sistema. Često se čini da su visoki investicioni troškovi ograničavajući faktor prilikom donošenja odluke za korišćenje toplotnih pumpi u proizvodnim preduzećima, ali analizom troškova za energiju u periodu amortizacije dolazi se do jasne računice u korist donošenja ove odluke.

U konkretnom slučaju efikasnost sistema korišćenja geotermalne energije u odnosu na konvencionalni sistem grejanjaje povećan je i obezbeđivanjem „besplatne“ tople vode u objektu, što dodatno smanjuje troškove. Na taj način period isplativosti investicije se svodi na vrednost koja je prihvatljiva za korisnike ovakvih sistema.

LITERATURA

[1] D.A. Ball, R.D. Fischer, D.L. Hodgett (1983) „Design methods for ground-source heatpumps“, *ASHRAE Transactions* 89 (28) pp.416–440

[2] Benjamin Greening, Adisa Azapagic (2012) „Domestic heat pumps: Life cycle environmental impacts and potential implications for the UK“, Energy,Vol. 39, Issue 1, pp. 205–217

[3] Ioan Sarbu, Calin Sebarchievici (2014) „General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings“, *Energy and Buildings*, No70, pp.441– 454

[4] Pravilnik o energetskoj efikasnosti zgrada, *(Sl. glasnik RS br. 61/11)* u primeni od 30/09/2012

[5] Rajat Gupta, Robert Irving (2013) „Development and application of a domestic heat pump model for estimating CO_2 emissions reductions from domestic space heating, hot water and potential cooling demand in the future“, Energy and Buildings, Vol. 60, pp 60–74

[6] D.P. Jenkins, R. Tucker, R. Rawlings (2009) „Modelling the carbon-saving performance of domestic ground-source heat pumps“, *Energy and Buildings*, Vol.41, pp. 587–595