



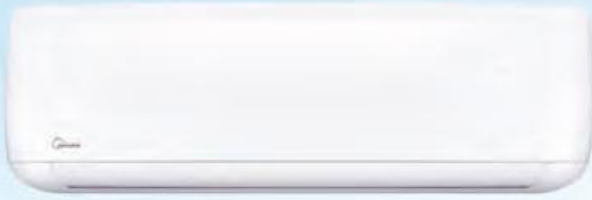
**48. MEĐUNARODNI
KONGRES I IZLOŽBA
O KLIMATIZACIJI
GREJANJU I HLADENJU**

**Beograd, Sava centar
6–8. XII 2017.**

**48th INTERNATIONAL
CONGRESS & EXHIBITION
ON HEATING
REFRIGERATION AND
AIR-CONDITIONING**

**Belgrade, Sava Center
6–8 XII 2017**

**ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS**



Midea

Dovoljno pametna klima
da vidi vaše potrebe



WiFi Control



Smart Sleep



Samodijagnostika

 **elcomtrade**

Ekskluzivni distributer za Srbiju, Kosovo i Bosnu i Hercegovinu:

Bulevar Arsenija Čarnojevića 52a, lok. 3
11070 Novi Beograd
Tel: +38111 30 18 118, 30 18 119, 30 15 505
Fax: +38111 30 18 118, 30 18 119, 30 15 505
e-mail: office@elcomtrade.com
Web: www.elcomtrade.com

ZBORNİK RADOVA

48. MEĐUNARODNI KONGRES O GREJANJU,
HLAĐENJU I KLIMATIZACIJI



2017

ZBORNİK RADOVA
48. međunarodni kongres o grejanju,
hlađenju i klimatizaciji
(Beograd, 6–8.12.2017)

IZDAVAČ

*Savez mašinskih i elektrotehničkih
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS)*
– Društvo za grejanje, hlađenje i klimatizaciju (KGH) Srbije
Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd
2017. god.

UREDNIK

Prof. dr Branislav Todorović, dipl. inž.

RECENZENTI

Branislav Todorović, Marija Todorović,
Milovan Živković, Slobodan Pejković,
Petar Vasiljević, Bojan Bogdanović

TIRAŽ

450 primeraka

ŠTAMPA

Paragon, Beograd

ISBN

978-86-81505-85-4

CIP- Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije

697(082)(0.034.2)

628.8(082)(0.034.2)

621.56/.59(082)(0.034.2)

620.9(082)(0.034.2)

МЕЂУНАРОДНИ конгрес о климатизацији, грејању и хлађењу (48 ; 2017 ; Београд)

Zbornik radova [Elektronski izvor] = Proceedings / 48. međunarodni kongres i izložba o klimatizaciji, grejanju i hlađenju, Beograd, 6-8. XII 2017. = 48th International Congress & Exhibition on Heating, Refrigeration and Air-Conditioning, Belgrade, 6-8 XII 2017 ; [urednik Branislav Todorović]. - Beograd : Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS), Društvo za grejanje, hlađenje i klimatizaciju (KGH) Srbije, 2017 (Beograd : Paragon). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemska zahteva: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 450. - Napomene i bibliografske reference uz radove. - Bibliografija uz većinu radova.

ISBN 978-86-81505-85-4

a) Klimatizacija - Zbornici; b) Rasladna tehnika - Zbornici; c) Grejanje - Zbornici
d) Energetski izvori - Zbornici

COBISS.SR-ID 253938700

PREDGOVOR

*48. međunarodni kongres i izložba o
grejanju, hlađenju i klimatizaciji*

*Za prilaz zdravim, održivim i rezilijentnim zgradama,
naseljima i gradovima nula emisije CO₂*

Beograd, 6–8. XII 2017.

Ovogodišnji skup je planiran da bude u duhu tema koje danas obuhvataju aktuelne zadatke svetske energetike i očuvanja životnog prostora i da okupi sve profile učesnika u gradnji zgrada i njihovom energetsom opremanju: energetičare, arhitekte kao i građevince koji ujedinjenim naporima stvaraju objekte, posebno one koji u budućnosti treba da budu nula energije. Rukovodeći se naglašenim potrebama za saradnjom svih učesnika u projektovanju i građenju zgrada, u Organizacionom odboru su predstavnici više struka.

Spisak tema je širok kako bi se podstakle sve institucije, obrazovne, projektantske, montažerske, kao i one administrativno-pravnog profila, da svojim nastupom, svaka u svojoj specijalnost, upotpune celokupnu problematiku energetike koja se odnosi na građevinske objekte. Predviđen je i poseban program za studente visokoškolskih i univerzitetskih institucija.

Kongres i ove godine prati izložba uređaja, sistema, aparata, opreme, koji se ugrađuju i koriste u građevinskim objektima, kao i odgovarajućih instrumenata, materijala i softverskih programa, koji su u vezi sa energetske potrebama stambenih, javnih i industrijskih zgrada.

*U Beogradu,
novembra 2017.*

UREDNIK

Sadržaj

1. ZELENI STANDARD ZA PROCENU FUDBALSКИH STADIONA ZA FIFA SVETSKI KUP 2018. GODINE <i>Iurii TABUNSHCHIKOV, Marianna BRODACH</i>	11
2. EKSERGIJA KAO MERA ODRŽIVOSTI ENERGETSKOG SISTEMA <i>Peter NOVAK</i>	19
3. PRIMENA GEOTERMALNIH IZVORA ENERGIJE U FUNKCIJI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE <i>Miroslav VULIĆ, Kristijan VUJIĆIN</i>	41
4. DOPRINOS GEOTERMALNE ENERGIJE URBANOJ TRANSFORMACIJI GRADA UTIKE U SAD, SA ASPEKTA URBANISTIČKOG PLANIRANJA <i>Aleksandar JOVANOVIĆ</i>	51
5. SISTEMI ZA SEZONSKO SKLADIŠTENJE SOLARNE ENERGIJE U ZGRADAMA <i>Uroš STRITIH, Rok KOŽELJ, Urška MLAKAR</i>	61
6. PROVERA INTEGRITETA ANALITIČKIH REZULTATA ČVRSTIH BIOGORIVA <i>Predrag PETROVIĆ, Marija PETROVIĆ</i>	73
7. KOMPRIMOVANI PRIRODNI GAS (CNG) – PROIZVODNJA, TRANSPORT I PRIMENA <i>Marin IVOŠEV</i>	83
8. POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U SKLADU SA EVROPSKOM DIREKTIVOM 2012/27/EU U CILJU SMANJENJA POTROŠNJE ENERGIJE KRAJNJEG KORISNIKA <i>Romanas SAVICKAS, LL. M. Lauryna SAVICKIENE</i>	97
9. CFD MODELIRANJE PROTOKA FLUIDA U POJEDINAČNIM KANALIMA PLOČASTIH RAZMENJIVAČA TOPLOTE <i>Dragan MANDIĆ</i>	109
10. KOMBINOVANI ŠTEDNJAK KAO IZVOR TOPLOTE U SISTEMIMA ETAŽNOG ILI CENTRALNOG GREJANJA <i>Mile S. ŠILJAK</i>	117
11. SISTEM AUTOMATSKE DOPUNE ZATVORENE EKSPANZIONE POSUDE KORIŠĆENJEM TRANSMITERA PRITISKA I SENZORA MAKSIMALNOG NIVOA VODE <i>Vojkan ZDRAVKOVIĆ, Miroljub TODOROVIĆ</i>	125
12. EKSPERIMENTALNA I NUMERIČKA STUDIJA INDIREKTNOG SLOBODNOG HLAĐENJA U EGZOTERMIČKOJ ZGRADI <i>Yazid KACED, Stephane Le MASSON, David NORTERSHAUSER, Patick GLUANNEC</i>	133

MOGUĆNOST PRIMENE PLAFONSKOG SISTEMA GREJANJA ZA ZAGREVANJE SPORTKIH DVORANA

POSSIBILITY OF APPLICATION OF RADIANT CEILING SYSTEM FOR HEATING SPORTS HALLS

Dragan CVETKOVIĆ*, **Aleksandar NEŠOVIĆ**,
Jasmina SKERLIĆ, **Danijela NIKOLIĆ**,

Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, Serbia

Niskotemperaturni panelni sistem grejanja nudi posebne pogodnosti u smislu toplotnog komfora i potrošnje energije, što omogućava njegovu kombinaciju sa nižim temperaturnim izvorima (npr.: toplota zemlje). Ovakvi sistemi, međutim, nisu pogodni za grejanje velikih objekata, kao što su sportske sale. U ovoj studiji se analizira mogućnost implementacije panelnog plafonskog sistema grejanja sa gasnim kotlom za grejanje sportske dvorane u Beogradu, Srbija. Cilj rada je da se pokaže kako temperatura na ulazu u plafonski panel utiče na ambijentalne uslove u sportskoj sali, pri čemu je razmatran temperaturni opseg od 40 do 90°. U radu je analizirano ponašanje navedenog sistema grejanja i u zavisnosti od vrednosti koeficijenta prolaza toplote elemenata termičkog omotača (stolarije, krova i spoljnih zidova). Istraživanje je sprovedeno numeričkim simulacijama dinamike energetskog ponašanja objekta BPS (Building Performance Simulation, korišćenjem programskog paketa EnergyPlus-

Ključne reči: sportska sala; plafonsko grejanje; gasni kotao; EnergyPlus.

The low temperature panel heating system offers special benefits in terms of heat comfort and energy consumption, which allows for its combination with lower temperature sources (for example: ground heat). Such systems, however, are not suitable for the heating of large buildings, such as sports hall. This study analyzes the possibility of implementing a radiant panel ceiling heating system with a gas boiler for heating a sports hall located in Belgrade, Serbia. The aim of the paper was to show that the temperature at the entrance to the ceiling panel affects the ambient conditions in the sports hall, with a temperature range of 40 to 90°C. This paper analyzes the behavior of the mentioned heating system and depending on the value of the heat transfer coefficient of the elements of the thermal coating (carpentry, roof and external walls). The research was carried out numerical simulation of dynamics of building energy performance BPS (Building Performance Simulation) using the EnergyPlus software package.

Key words: sports hall; radiant ceiling heating; gas boiler; EnergyPlus;

* Corresponding author's e-mail: dragan_cw8202@yahoo.com

1. Uvod

Niskotemperaturni panelni sistemi se danas sve više koriste, kako u cilju grejanja, tako i u cilju hlađenja objekata. Prema nekim studijama, implementacija ovih sistema prelazi 50% [1, 2]. Neka istraživanja pokazuju [3, 4] da se sa ovim sistemima potrošnja finalne energije može redukovati za 30%.

Mnoge studije su posvećene laboratorijskom istraživanju niskotemperaturnih panelnih sistema grejanja u smislu prenosa toplote i razvoja novih načina za njihovo upravljanje [5-10].

Takođe postoji nekoliko analitičkih studija o termičkim karakteristikama panelnih sistema. Kollmar i Lises [11] su pokazali da se toplotna energija sa panelnog grejača gubi uglavnom sa njegove gornje površine. Leal i Miler [12] su koristili analitičko-numeričke metode za određivanje temperature u instalacijama koje se koriste za zagrevanje pešačkih puteva. Zhang i Pate su razvili dvodimenzionalni metod konačnih elemenata za plafonsko grejanje, koji je korišćen za modeliranje NTS grejanja [13, 14]. Kilkis [15] je razvio stacionarni kompozitni model za modeliranje panelnih sistema za grejanje i hlađenje. Nakon toga, Kilkis i Sapci [16] su zajedno sa Kilkisom i Coleiom [17] koristili ovaj model za razvoj softvera za dizajniranje sistema podnog grejanja i hlađenja. Malonei [18] je razvio model panelnih grejnih tela za program BLAST. Strand i Pederson [19, 20] su razvili model panela za grejanje i hlađenje u okviru EnergyPlus programa. Miriel [21] je koristio softver TRNSYS za modeliranje plafonskog grejanja i hlađenja.

Sa druge strane, primena niskotemperaturnih sistema dovodi se u pitanje kod objekata velike zapremine, među kojima su i sportske dvorane.

Cilj ovog rada je da se ispita mogućnost primene plafonskog sistema grejanja u kombinaciji sa gasnim kotlom za grejanje sportke dvorane pri raznim temperaturnim režimima (ulazna temperatura u plafonski panel se kreće od 40 do 90°). U radu je analizirano ponašanje navedenog sistema grejanja u zavisnosti od vrednosti koeficijenata prolaza toplote elemenata termičkog omotača (stolarije, krova i spoljnih zidova).

2. Opis analiziranog objekta

Predmet istraživanja je standardna sportska zgrada (Slika 1). Zgrada poseduje sportsku salu (dvoranu) i veliki broj pomoćnih prostorija, među kojima su svlačionice, tuševi, toaleti itd. Neto površina sportske sale iznosi 1130 m².

Koeficijent prolaza toplote za pod iznosi $U_{\text{POD}}=0.32$ W/m²K. Spoljni zidovi su neizolovani, pa koeficijent prolaza iznosi $U_{\text{ZS}}=1.8$ W/m²K. Prozori su sa jednoslojnim zastakljenjem koeficijentom prolaza toplote $U_{\text{PR}}=2.72$ W/m²K. Krov je na dve vode, pri čemu je koeficijent prolaza toplote za ovu građevinsku konstrukciju $U_{\text{KROV}}=0.31$ W/m²K.



Slika 1. Analizirani objekat

3. Klimatski podaci za lokaciju objekta

Analizirana sala je nalazi se u Beogradu, Srbija. Nadmorska visina na kojoj se grad nalazi je 99 m. Matematičko-geografski položaj Beograda je 44.82°N i 20.28°E . Klima je umereno kontinentalna sa izraženim godišnim dobima (Tabela 1). Za simuliranje grejne sezone u EnergyPlus, korišćen je Weather file [23]. Gejna sezona traje od 15. oktobra do 15. aprila [24].

Tabela 1. Klimatski podaci za Beograd [25]

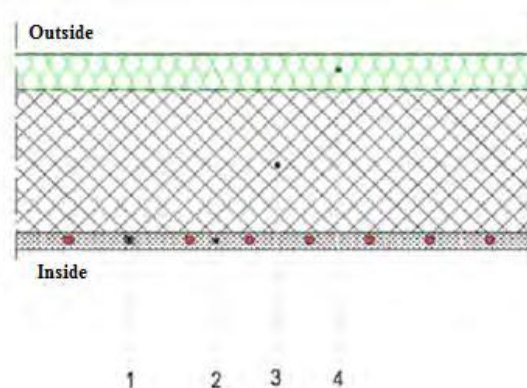
Promenljiva	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Insolacija [kWh/m ² /day]	1.31	2.15	3.27	4.36	5.46	5.95	6.03	5.41	3.80	2.49	1.46	1.10
Temperatura [°C]	0.64	1.75	6.24	11.96	17.68	20.85	3.39	3.60	8.71	3.26	6.41	1.48
Brzina vetra [m/s]	4.02	4.39	4.40	4.35	3.85	3.68	3.63	3.44	3.54	3.71	3.99	4.15
Padavine [mm]	47	44	46	56	71	91	67	53	51	46	57	59

4. Matematički model

4.1. Panelni sistem grejanja

Kod plafonskog grejanja, grejni paneli su integrisani unutar plafona i konvekcijom i zračenjem predaju toplotnu energiju grejanom prostoru. Konstrukcija plafonskog panela prikazana je na Slici 2.

Princip rada plafonskog panela zasniva se na cirkulisanju radnog fluida kroz cevi koje se nalaze unutar konstrukcije. Kao radni fluid se koristi voda. Obično se temperature vode na ulazu u plafonski panel kreće u granicama od 35 do 45° , ali će u ovom radu biti razmatrane ulazne temperature od 40 do 90° sa temperaturnim korakom od 10° .



Slika 2. Konstrukcija plafonskog panela;
1 – grejna zmijsa, 2 – malter, 3 – šuplji blok, 4 – stiropor

Cevna zmijsa kod plafonskog sistema grejanja se postavlja odmah iza završne obrade, tj. sloja maltera. Da bi se smanjilo odavanje toplote ka spoljnoj sredini, neophodno je panele toplotno izolovati.

4.2. Potrošnja energije za grejanje sportske sale

Količina primarne energije E_{sys} [kWh] utrošene za grejanje analizirane zgrade računa se po sledećoj formuli (1):

$$E_{SYS} = E_{NG} + R E_{EL} \quad (1)$$

E_{NG} [kWh] je potrošnja prirodnog gasa tokom grejnog perioda, E_{EL} [kWh] je potrošnja električne energije za grejanje objekta tokom grejne sezone i R je koeficijent transformacije primarne energije. Ovaj koeficijent se definiše kao odnos između ukupne ulazne energije (iz obnovljivih i neobnovljivih izvora) i finalne proizvodnje električne energije. Prema [26] usvojeno je $R=3.61$ [26].

4.3. Scenario simulacija

Ovo istraživanje simulira rad grejnih panela priključenih na gasni kotao u cilju zagrevanja sportske sale. Za ovu svrhu je izabrano plafonsko grejanje. Plafonski grejni paneli su vezani za plafon posebnim nosačima jer je plafon ujedno i krov analizirane zone. Za generisanje toplotne energije korišćen je gasni kotao bez kondenzacije sa kontinualnom cirkulacionom pompom.

Niskotemperaturni panelni sistemi grejanja nisu pogodni za grejanje prostora velikih zabremina. Zbog toga je razmatran uticaj ulazne temperature, sa ciljem da se podesi određena temperatura u grejanom prostoru. Temperatura vode na ulazu u plafonski panel se menja od 40 do 90°, sa temperaturnim korakom od 10°.

Simulacijama treba da se pokaže i kako ulazna temperatura vode u plafonski panel za grejanje sportske sale utiče na ambijentalne uslove u sledećim slučajevima (scenarijima):

$$U_{ZS} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}, U_{PR} = 2,72 \text{ W/m}^2\text{K}, U_{KROV} = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (scenario 1)}$$

$$U_{ZS} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}, U_{PR} = 1,32 \text{ W/m}^2\text{K}, U_{KROV} = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (scenario 2)}$$

$U_{ZS} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{PR} = 2,72 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{KROV} = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ (scenario 3)

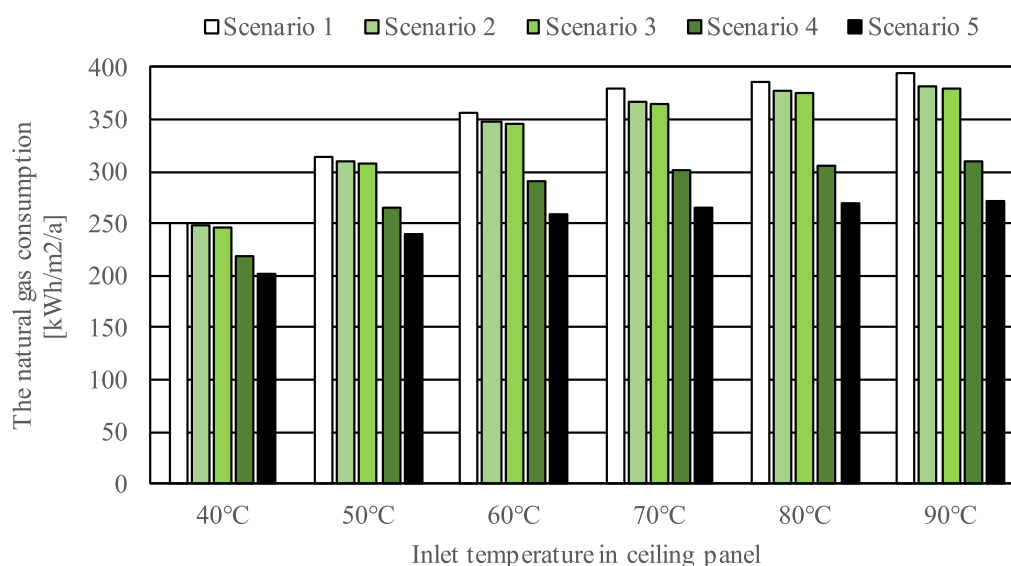
$U_{ZS} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{PR} = 2,72 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{KROV} = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ (scenario 4)

$U_{ZS} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{PR} = 1,32 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{KROV} = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ (scenario 5)

U svim scenarijima koeficijent prolaza toplote za pod sportske sale je isti i iznosi $U_{POD} = 0.32 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5. Rezultati simulacija

Potrošnja prirodnog gasa za grejanje sportske dvorane tokom grejne sezone u zavisnosti od ulazne temperature vode u plafonski panel i odabranog scenarija prikazana je na Slici 3.



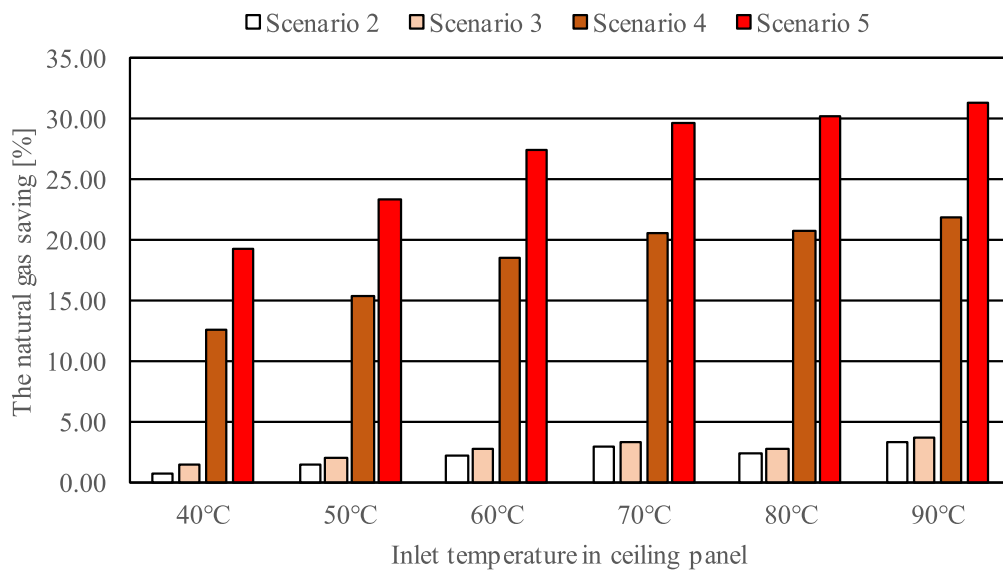
Slika 3. Potrošnja prirodnog gasa za grejanje sportske sale tokom grejne sezone

Temperatura vode na ulazu u plafonski panel utiče na potrošnju prirodnog gasa. Što je ova temperatura viša, potrošnja prirodnog gasa je veća. I to važi za svaki odabrani scenario.

Bez obzira na ulaznu u vode u plafonski panel, potrošnja prirodnog gasa je najmanja u Scenariju 5, koji podrazumeva adekvatnu izolaciju spoljnih zidova i krova, kao i zamenu stolarijere (kompletnu rekonstrukciju objekta). Sa Slike 3. se može videti da izolacija krova donosi nešto bolje rezultate od zamene prozora.

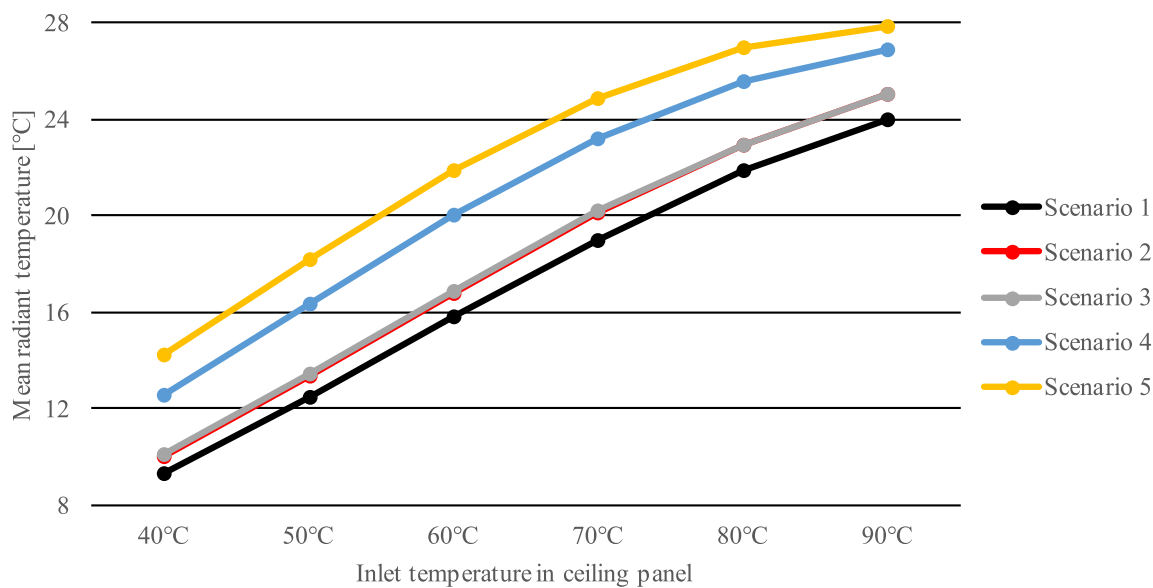
Uštede koje se ostvaruju primenom navedenih scenarija za smanjenje potrošnje prirodnog gasa tokom grejne sezone u zavisnosti od ulazne temperature vode u plafonski panel prikazane sun a Slici 4.

Scenario 5 donosi najveće procentualne uštede tokom grejne sezone bez obzira na ulaznu temperaturu vode u plafonski panel. Izolacija krova donosi veće uštede od zamene prozora. Ako se uporede Slika 3. i Slika 4. može se videti da viša temperatura radnog fluida na ulazu u panel prouzrokuje veću potrošnju prirodnog gasa, ali istovremeno i veće uštede.



Slika 4. Procentualna ušteda tokom grejne sezone

Promena srednje zračne temperature, srednje temperature vazduha i operativne temperature u sportskoj sali za najhladniji dan u godini (24. decembar) prikazane su na sledećim slikama (Slika 5, Slika 6, Slika 7).

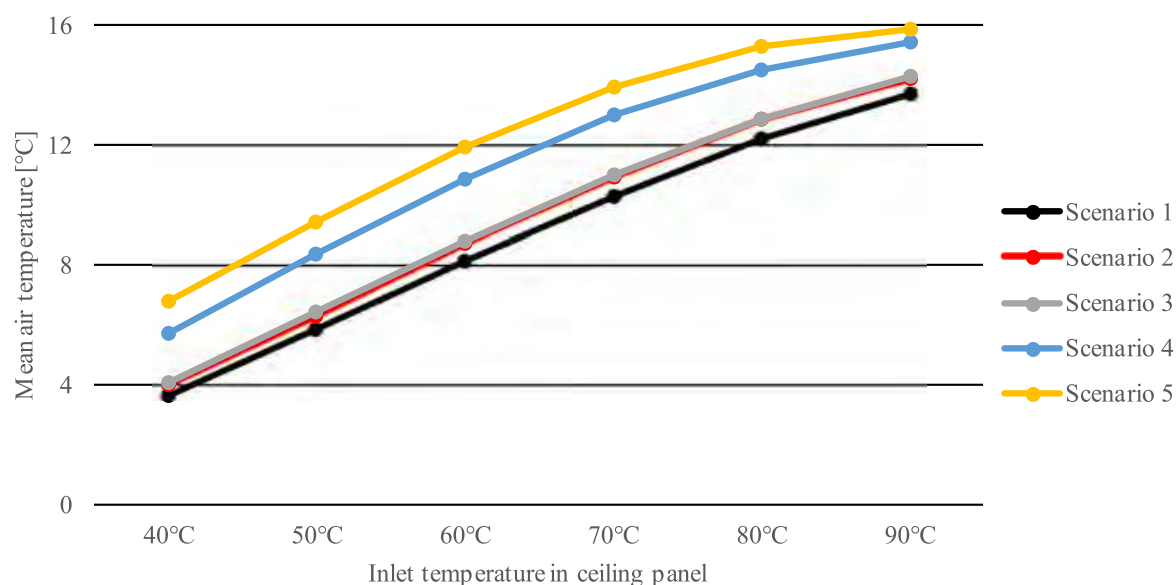


Slika 5. Srednja zračna temperatura u sportskoj sali (24. decembar)

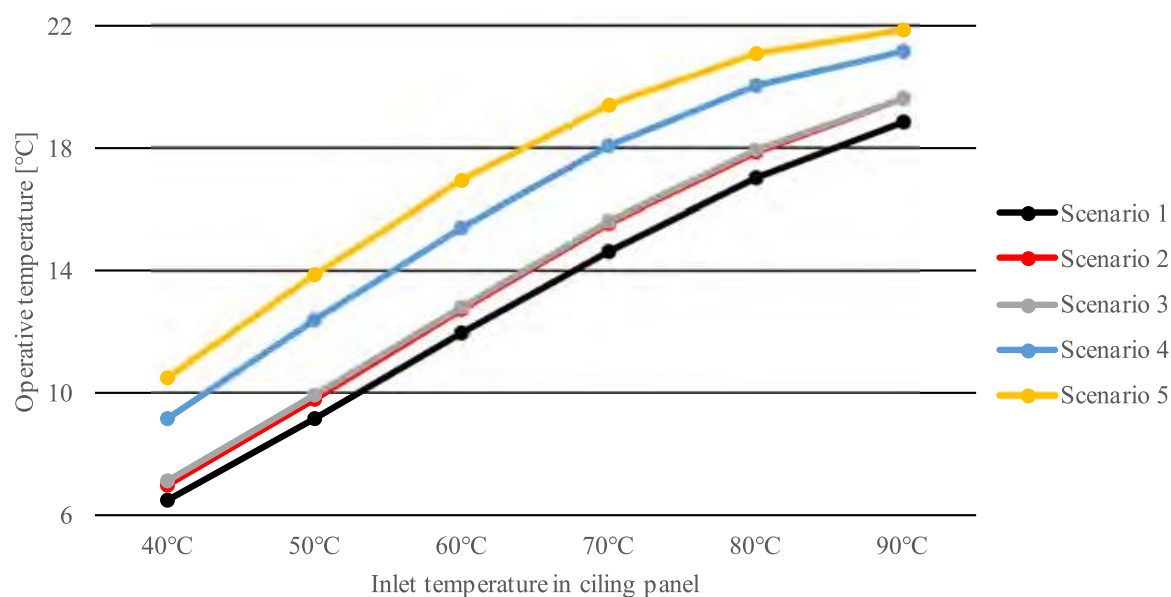
Ako se na analiziranoj sportskoj sali ništa ne preduzme (scenario 1) srednja zračna temperatura će biti viša od 18°C tek kada temperatura vode na ulazu u plafonski panel bude viša od 70°C. U slučaju scenarija 2 i 3, ulazna temperatura treba biti oko 70°C. Izolacijom spoljnih zidova temperatura vode na ulazu u plafonski panel može biti 60°C, a u slučaju scenarija 5 oko 55°C.

Bez obzira na primenjeni scenario i visinu temperature na ulazu u panelni sistem, temperatura od 18°C ne može biti dostignuta. Najviša temperatura se dostiže

u slučaju kompletne rekonstrukcije termičkog omotača i ulazne temperature od 90°C (srednja temperatura vazduha u tom slučaju je 15.85°C).



Slika 6. Srednja temperatura vazduha u sportskoj sali (24. decembar)



Slika 7. Operativna temperatura u sportskoj sali (24. decembar)

Uz scenario 5 može se dostići temperatura od 18°C, ali pod uslovom da ulazna temperatura vode u plafonski panel bude oko 65°C. Izolacijom spoljnih zidova i ulaznom temperaturom od oko 70°C postiže se isti efekat. Za scenario 1 potrebno je da temperatura vode bude oko 85°C na ulazu u panel. Temperatura od 80°C je dovoljna ako se izoluje krov ili zameni stolarija.

6. Zaključci

Izvršena je analiza uticaja ulazne temperature radnog fluida (vode) u plafonski panel i konstrukcija raznih građevinskih elemenata na potrošnju prirodnog gasa i temperaturu unutar grejanog prostora. Kao izvor toplotne energije korišćen je klasični gasni kotao. Cirkulaciju vode kroz grejni sistem obezbeđuje cirkulaciona pumpa. Analizirana sportska dvorana nalazi se u gradskom području Beograda, pri čemu arhitektura zgrade predstavlja tipičan način gradnje za ovu vrstu zgrada u Srbiji.

Sistem grejanja sa ulaznom temperaturom od 40°C ima manju potrošnju energije, dok sistem sa ulaznom temperaturom od 90°C ima najveću potrošnju energije.

Međutim, adekvatni ambijentalni uslovi (operativna temperatura) se ne postižu sa ulaznom temperaturom od 40°C. Prva temperatura koja zadovoljava operativne uslove od 18°C je centralni sistem sa ulaznom temperaturom od 85°C. U cilju smanjena potrošnje energije za grejanje, tj. snižavanja ulazne temperature, mogu se primeniti mere poput zamene stolarije i izolacija krova (ulazna temperatura se tada spušta na oko 80°C. Ako se spoljni zidovi izoluju, ulazna temperatura tada može biti oko 70°C. Najbolji rezultati se osvaruju kombinacijom svih prethodno navedenih mera, čime je omogućeno da temperatura vode na ulazu u plafonski panel bude oko 65°C.

7. Zahvalnica

Ovaj rezultat dva istraživanja: (1) projekat TR33015 Tehnološkog razvoja Republike Srbije, i (2) projekat III 42006 Integralna i interdisciplinarna istraživanja Republike Srbije. Prvi projekat je pod nazivom "Istraživanje i razvoj Srpske kuće neto nulte potrošnje energije", i drugi projekat je pod nazivom "Istraživanje i razvoj energijski i ekološki visoko efikasnih sistema poligeneracije zasnovanoj na obnovljivim izvorima energije. Želimo da se zahvalimo Ministarstvu obrazovanja i nauke Republike Srbije na njihovoj finansijskoj podršci tokom ovih istraživanja.

8. References

- [1] **Kilkis BI, Sager SS, Uludag M.** A simplified model for radiant heating and cooling panels. *Simulation Practice and Theory* 1994; 2: 61–76.
- [2] **Lisa LM.** Radiant heating provides energy-efficient versatility. *Professional builder and remodeler.* 1992.
- [3] **Stetiu C.** Energy and peak power potential of radiant cooling systems in US commercial buildings. *Energy and Buildings* 1999; 30: 127–38.
- [4] **Yost PA, Barbour CE, Watson R.** An evaluation of thermal comfort and energy consumption for a surface mounted ceiling radiant panel heating system. *ASHRAE Transactions* 1995; 101 (1): 1221–35.
- [5] **Simmonds P.** Practical applications of radiant heating and cooling to maintain comfort conditions. *ASHRAE Transactions* 1996; 102 (1): 659–65.

- [6] **Simmonds P.** Control strategies for combined heating and cooling radiant systems. *ASHRAE Transactions* 1994; 100 (1): 1031–9.
- [7] **Olesen BW.** Comparative experimental study of performance of radiant floor heating systems and a wall panel heating system under dynamic conditions. *ASHRAE Transactions* 1994; 100 (1): 1011–23.
- [8] **Gibbs DR.** Control of multi-zone hydronic radiant floor heating systems. *ASHRAE Transactions* 1993; 99 (1): 1003–10.
- [9] **Leigh SB, MacCluer CR.** A comparative study of proportional flux-modulation and various types of temperature-modulation approaches for radiant floor heating system control. *ASHRAE Transactions* 1994; 100 (1): 1040–52.
- [10] **MacCluer CR.** The response radiant heating systems controlled by outdoor reset with feedback. *ASHRAE Transactions* 1991; 97 (2): 795–9.
- [11] **Kollmar A, Liese W.** *Die strahlungsheizung*, 4th ed. Munchen: R. Oldenbourg; 1957.
- [12] **Leal RLV, Miller PL.** An analysis of the transient temperature distribution in pavement heating installations. *ASHRAE Transactions* 1972; 78 (2): 71–8.
- [13] **Zhang Z, Pate MB.** A numerical study of heat transfer in a hydronic radiant ceiling panel. In: Chen JLS, Vafai K, editors. *Numerical methods in heat transfer*, vol. 62. New York: ASME-HTD; 1986.
- [14] **Zhang Z, Pate MB.** A semi-analytical formulation of heat transfer from structures with embedded tubes. In: Kuehn TH, editor. *Heat transfer in buildings and structures*, vol. 78. New York: ASME-HTD; 1987. p. 17–25.
- [15] **Kilkis BI, Eltez M, Sager S.** A simplified model for the design of radiant in-slab heating panels. *ASHRAE Transactions* 1995; 99 (2): 210–6.
- [16] **Kilkis BI, Sapci M.** Computer-aided design of radiant sub-floor heating systems. *ASHRAE Transactions* 1995; 99 (2): 1214–20.
- [17] **Kilkis BI, Coley M.** Development of a complete software for hydronic floor heating of buildings. *ASHRAE Transactions* 1995; 99 (2): 1201–13.
- [18] **Maloney DM, Pederson CO, Witte MJ.** Development of a radiant heating system model for BLAST. *ASHRAE Transactions* 1988; 94 (1): 1795–808.
- [19] **Strand RK, Pederson CO.** Implementation of a radiant heating and cooling model into an integrated building energy analysis program. *ASHRAE Transactions* 1997; 103 (1): 949–58.
- [20] **Strand RK, Pederson CO.** Modeling radiant systems in an integrated heat balance based energy simulation program. *ASHRAE Transactions* 2002; 108 (2): 1–9.
- [21] **Miriel J, Fermanel F, Mare T.** Modeling of water ceiling radiant panel heating and cooling system—interaction between air velocity and temperature fields. *Computational technologies for fluid/thermal/structural/chemical systems with industrial applications*. ASME; vol.1.1999. p. 285–91.
- [22] **Abdelaziz Laouadi.** Development of a radiant heating and cooling model for building energy simulation software *Building and Environment* 39 (2004) 421–431

- [23] Meteonorm, Global Meteorological Database for Engineers, Planners and Education: <http://www.meteonorm.com>, Retrieved May 2011
- [24] **M. Bogner, M. (2002)**. Technical regulations about heating, cooling and air conditioning (in Serbian). Belgrade: SMEITS.
- [25] World Meteorological Organization:
<http://worldweather.wmo.int/101/c00198.htm> Retrieved May 5, 2011,
- [26] http://www.sslink.com/mre/cms/mestoZaUploadFajlove/ENERGETSKI_BILANS_PLAN_ZA_2008, Retrieved May 5, 2011.
- [27] **M. Virtanen, M. Ala-Juusela**, Increased energy efficiency and improved comfort, Paper No. 1494, 9th REHVA World Congress- Clima 2007, 10–14 June, Helsinki, Finland.
- [28] **M. Ala-Juusela**, Heating and Cooling with Focus on Increased Energy Efficiency and Improved Comfort, Guidebook to IEA ECBCS, Annex 37, Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings, VTT Technical Research Centre of Finland, 2003
- [29] Interklima: http://www.interklima.rs/03_01cena_pg.html, Retrieved May 5, 2011
- [30] Interklima: http://www.interklima.rs/01_14nacin_obracuna.html, Retrieved May 5, 2011

kgb

This is an open access article distributed under the CC BY-NC-ND 4.0 terms and conditions.