

# ZBORNIK RADOVA / *Proceedings*



## *interklima 2009*

20. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ I IZLOŽBA O GRIJANJU, HLAĐENJU I KLIMATIZACIJI

20. INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND EXHIBITION OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING

9. KONFERENCIJA O TERMOGRAFIJI / 9. CONFERENCE ON THERMOGRAPHY

Zagreb, CROATIA, 23. i 24. travnja 2009. / April 23-24, 2009



–weishaupt–



ISBN 978-953-6759-48-4



9 789536 759484



## Upoznajte nas...

**Tvrtka ENERGETIKA MARKETING** osnovana je prije 19 godina i u svojim uredima u Zagrebu i Ljubljani ima 12 djelatnika. Uprava je u Zagrebu, Sokolska 25.

Već 16 godina izdajemo **stručni časopis EGE** s temama iz **energetike, gospodarstva, ekologije, etike...** pet puta godišnje na hrvatskom jeziku i **stručni časopis EGES** u Sloveniji na slovenskom jeziku.

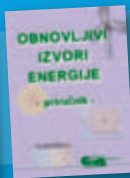
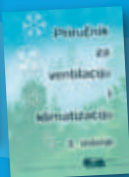
Izdajemo i **wellness-časopise Moja kupaonica** u nakladi od 10 000 primjeraka dva puta godišnje na hrvatskom jeziku i **Moja kopalnica** na slovenskom jeziku, također dva puta godišnje.

Uz to, imamo **bazu podataka** s više od **15 000 stručnjaka** iz područja energetike i srodnih struka, pratimo niz stručnih manifestacija, foruma, simpozija, seminara i sajmova, a također sami organiziramo nekoliko **međunarodnih znanstvenih i stručnih skupova**.

Prije dvije godine pokrenuli smo internetski portal **www.energetika-net.hr** koji donosi aktualne, brze i pouzdane informacije iz područja energetike, plinske tehnike, grijanja, klimatizacije, hlađenja, instalacija, obnovljivih izvora energije, ekologije itd.

Više podatka i informacija o našem radu i našim budućim projektima možete pronaći na našim internetskim stranicama **www.em.com.hr**.

Izdali smo više od 20 **stručnih djela** iz područja energetike, grijanja, klimatizacije, plinske tehnike, obnovljivih izvora energije, instalacija i sl.



Knjige i pretplatu na časopise možete naručiti na tel: **01/ 377 12 56 (107)** ili e-mail: **pretplata@ege.hr**



Sokolska 25  
HR-10 000 Zagreb  
t: 00 385 1 377 12 56  
f: 00 385 1 377 24 29  
e-mail: ege@ege.hr

[www.em.com.hr](http://www.em.com.hr)

[www.energetika-net.hr](http://www.energetika-net.hr)

[www.ege.hr](http://www.ege.hr)

[www.moja-kupaonica.com](http://www.moja-kupaonica.com)



# *interklima 2009*

## **20. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ O GRIJANJU, HLAĐENJU I KLIMATIZACIJI**

### **9. KONFERENCIJA O TERMOGRAFIJI**

## **20th INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND EXHIBITION OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING**

### **9th CONFERENCE ON THERMOGRAPHY**

---

***CROATIA - Zagreb, 23. i 24. travnja 2009.  
Zagrebački velesajam, Dvorana "Brijuni"***

---

Znanstvene radove u Zborniku radova recenzirali su članovi Međunarodnog znanstvenog odbora i objavljeni su u izvornom obliku. Pretisak, umnožavanje ili bilo koji drugi način reprodukcije zbornika ili njegovog dijela nije dozvoljeno bez suglasnosti nakladnika.

Scientific papers in the Proceedings are revised by members of the International Scientific Committee. All the papers are printed in their original form. Reproduction of this publication or parts thereof is permitted only under the permission of the publisher.

**Nakladnik / Publisher:** Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu,  
Zagreb, Hrvatska

**Glavni urednik / Editor-In-Chief:** prof. dr. sc. Mladen ANDRASSY, dipl. ing.

**Recenzije / Revisions:** prof. dr. sc. Antun GALOVIĆ, dipl. ing.  
prof. dr. sc. Srećko ŠVAIĆ, dipl. ing.

**Znanstveni odbor / Scientific Committee:**

Mladen ANDRASSY, Frano BARBIR, Imre BENKÖ, Ivanka BORAS, Vincenc BUTALA,  
Tonko ĆURKO, Julije DOMAC, Miodrag DRAKULIĆ, Bernard FRANKOVIĆ, Izvor  
GRUBIŠIĆ, Antun GALOVIĆ, Vesna KOLEGA, Jurij KROPE, Gordana LUČIĆ, Jurij  
MODIC, Peter NOVAK, Matjaž PREK, Nikola RUŽINSKI, Srećko ŠVAIĆ, Ivan VILIČIĆ,  
Nikola VULAS

**Tehnički urednik / Technical editor:** Zoran PAJNIĆ, dipl.ing.

**Priprema i dizajn / Layout & Design:** ENERGETIKA MARKETING, Zagreb, Hrvatska

**CIP zapis dostupan u računalnom katalogu  
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem:**

ISBN: 978-953-6759-48-4

**Tisak / Print:** Grafika HRAŠĆE, Zagreb, Hrvatska





# *interklima 2009*

**20. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ  
O GRIJANJU, HLAĐENJU I KLIMATIZACIJI**

**9. KONFERENCIJA O TERMOGRAFIJI**

**20th INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
AND EXHIBITION OF HEATING, REFRIGERATING  
AND AIR CONDITIONING**

**9th CONFERENCE ON THERMOGRAPHY**

---

**CROATIA - Zagreb, 23. i 24. travnja 2009.  
Zagrebački velesajam, Dvorana "Brijuni"**

---

## **ORGANIZATORI / *Organized by***



Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu  
*Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia*



Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani  
*Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia*

## **SUORGANIZATORI / *Co-Organized by***



**ENERGETIKA  
MARKETING,**  
Zagreb, Croatia



**Zagrebački  
Velesajam**  
ZAGREB FAIR,  
Zagreb, Croatia



# *interklina 2009*

**20. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ  
O GRIJANJU, HLADENJU I KLIMATIZACIJI  
9. KONFERENCIJA O TERMOGRAFIJI**

**20th INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
AND EXHIBITION OF HEATING, REFRIGERATING  
AND AIR CONDITIONING  
9th CONFERENCE ON THERMOGRAPHY**

---

***CROATIA - Zagreb, 23. i 24. travnja 2009.  
Zagrebački velesajam, Dvorana "Brijuni"***

---

## **POKROVITELJI / Under Auspices of**

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa  
*Ministry of Science, Education and Sports*

Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva  
*Ministry of the Economy, Labour and Entrepreneurship*

Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva  
*Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction*

Hrvatski zavod za norme / *Croatian Standards Institute*

Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost / *Environmental Protection and Energy Efficiency Fund*

Energetski institut "Hrvoje Požar" / *Energy Institute "Hrvoje Požar"*

HEP Toplinarstvo d.o.o.

HEP ESCO d.o.o.

Zbornik radova tiskan je uz financijsku potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

*The Proceedings were published with support of the Ministry of Science, Education and Sport of the Republic of Croatia.*



# *interklina 2009*

**20. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ  
O GRIJANJU, HLAĐENJU I KLIMATIZACIJI**

**9. KONFERENCIJA O TERMOGRAFIJI**

**20th INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
AND EXHIBITION OF HEATING, REFRIGERATING  
AND AIR CONDITIONING**

**9th CONFERENCE ON THERMOGRAPHY**

---

**CROATIA - Zagreb, 23. i 24. travnja 2009.  
Zagrebački velesajam, Dvorana "Brijuni"**

---

## **ZNANSTVENI SAVJET** (abecednim redom)

### ***Scientific Committee*** (alphabetical order)

Mladen ANDRASSY

Frano BARBIR

Imre BENKŐ

Ivanka BORAS

Vincenc BUTALA

Tonko ĆURKO

Julije DOMAC

Miodrag DRAKULIĆ

Bernard FRANKOVIĆ

Izvor GRUBIŠIĆ

**Antun GALOVIĆ,**  
**predsjednik / chairman**

Vesna KOLEGA

Jurij KROPE

Gordana LUČIĆ

Jurij MODIC

Peter NOVAK,  
dopredsjednik / *vice-chairman*

Matjaž PREK

Nikola RUŽINSKI

Srećko ŠVAIĆ

Ivan VILIČIĆ

Nikola VULAS

# Program rada



*interklina 2009*

četvrtak, 23. travnja 2009.

- 8:30 - 9:15 registracija sudionika / *participant registration*
- 9:15 - 9:30 pozdravni govori predstavnika Zagrebačkog velesajma, Fakultete za strojništvo Univerze u Ljubljani, Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu te ostalih suorganizatora i pokrovitelja / *greeting addresses of the representatives of the Zagreb Fair, Faculty of Mechanical Engineering of the University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb and other co-organizers and sponsors*

## Znanstveni dio - Dan Frana Bošnjakovića / *Scientific Section - Fran Bošnjaković Day*

- 9:30 - 9:45 uvodno slovo / *introductory address*  
M. Andrassy - 90 GODINA FAKULTETA STROJARSTVA I BRODOGRADNJE SVEUČILIŠTA U ZAGREBU / *90 YEARS OF THE FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING AND NAVAL ARCHITECTURE OF THE UNIVERSITY OF ZAGREB*
- 9:45 - 10:00 P. Blecich, K. Lenić, A. Trp - *NUMERICAL AND THERMOGRAPHIC HEAT TRANSFER ANALYSIS OF HEATING PLATE WITH COMPLEX HEAT SOURCES*
- 10:10 - 10:15 F. Juretić, D. Gosman - *APPLICATIONS OF ADAPTIVE-MESH REFINEMENT IN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS TO PROBLEMS WITH HEAT EXCHANGE*
- 10:15 - 10:30 B. Klarin, S. Nižetić, J. Roje - OSNOVNA UNAPREĐENJA SOLARNE DIMNJAČNE ELEKTRANE / *BASIC SOLAR CHIMNEY FLOW IMPROVEMENTS*
- 10:30 - 10:45 M. Ruševljan, V. Soldo, T. Čurko - *OPTIMAL SIZING OF THE BOREHOLE HEAT EXCHANGERS*
- 10:45 - 11:15 *coffee break*
- 11:15 - 11:30 V. Soldo, T. Čurko, M. Grozdek - KONVENCIONALNO GRIJANJE ILI GRIJANJE DIZALICOM TOPLINE / *CONVENTIONAL HEATING OR HEATING USING HEAT PUMPS*
- 11:30 - 11:45 V. Nikolić, M. Grozdek, B. Halasz - *COST ANALYSIS OF ICE BANKS IN REFRIGERATION SYSTEMS*
- 11:45 - 12:00 Z. Čarija, B. Pavković, B. Franković - *NUMERICAL ANALYSIS OF AIR - FLOW IN AIR - CONDITIONED SPACE OF SIGNIFICANT HEIGHT*
- 12:00 - 12:15 S. Švaić, I. Boras, V. Polović, M. Kozina, M. Dimnjašević - RASPLINJAVANJE DRVNE BIOMASE U SVRHU DOBIVANJA PLINA ZA IZGARANJE U TOPLOVODNIM KOTLOVIMA / *WOOD BIOMASS GASIFICATION FOR POWERING THE HOT WATER BOILERS*
- 12:15 - 12:30 M. Malinovec Puček, S. Švaić - RJEŠAVANJE PROBLEMA KONDENZACIJE KOD NISKOTEMPERATURNIH TOPLOVODNIH KOTLOVA / *SOLVING THE CONDENSATION PROBLEMS IN LOW TEMPERATURE HOT WATER BOILERS*



četvrtak, 23. travnja 2009.

12:30 - 12:45 rasprava i završne napomene / *discussion and closing remarks*

12:45 - 14:20 domjenak / *lunch break*

### **9. konferencija o termografiji / 9th. Conference on Thermography**

14:20 - 14:35 uvodno slovo / *introductory address*

S. Švaić

14:35 - 14:55 G. Weinzierl - *QUALITY CONTROL BY MEANS OF THERMOGRAPHY DURING THE CONSTRUCTION OF A PASSIVE HOUSE IN A MASSIVE DESIGN AND EXPERIENCES AFTER ONE-YEAR OPERATION AS AN OFFICE BUILDING*

14:55 - 15:15 E. Panic - *BAUEN MIT VAKUUMDÄMMUNG / CONSTRUCTION USING VACUUM INSULATION*

15:15 - 15:35 Ž. Hrs Borković, M. Zidar - *ULOGA IC TERMOGRAFIJE PRI PROVOĐENJU ENERGETSKIH PREGLEDA U SVRHU ENERGETSKOG CERTIFICIRANJA ZGRADA / THE ROLE OF IR THERMOGRAPHY IN ENERGY AUDITING OF BUILDINGS IN THE PROCESS OF ENERGY CERTIFICATION*

15:35 - 15:55 M. Andrassy - *IZOBRAZBA TERMOGRAFIŠTA / TRAINING OF THERMOGRAPHERS*

15:55 - 16:15 S. Švaić, I. Boras, M. Andrassy, N. Ferdelji - *IMPLEMENTATION OF THERMOGRAPHY FOR DETERMINATION OF THE AIR JET GEOMETRY IN HVAC SYSTEMS*

16:15 - 16:35 S. Švaić, I. Boras, M. Suša - *TERMOGRAFIJA U ZGRADARSTVU - PRIMJERI DETEKCIJE RAZLIČITIH TIPOVA GREŠAKA / THERMOGRAPHY IN CIVIL ENGINEERING - EXAMPLES OF DETECTION OF VARIOUS FAULT TYPES*

16:35 - 17:00 rasprava i završne napomene / *discussion and closing remarks*

# Program rada



*interklina 2009*

petak, 24. travnja 2009.

## Stručni dio

- 9:00 - 9:30    uvodno predavanje:  
                  N. Marđetko Škoro - HRVATSKA I EU, PROMJENE U ZAKONODAVSTVU I  
                  IMPLEMENTACIJA EUROPSKE DIREKTIVE O ENERGETSKIM ZNAČAJKAMA  
                  ZGRADA
- 9:30 - 10:00    Ž. Hrs Borković, M. Zidar - METODOLOGIJA ENERGETSKIH PREGLEDA  
                  ZGRADA
- 10:00 - 10:30   D. Josipović - ISKUSTVA U IZVEDBI PROJEKTA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI  
                  PO ESCO MODELU U ZGRADAMA ŠKOLA
- 10:30 - 11:00   D. Dović, S. Švaić - POSTUPAK IZRADE ELABORATA IZVEDIVOSTI  
                  ALTERNATIVNIH SUSTAVA ZA OPSKRBU ENERGIJOM KOD NOVIH I  
                  POSTOJEĆIH ZGRADA
- 11:00 - 11:30                   *coffee break*
- 11:30 - 11:50    B. Hrastnik - OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U FUNKCIJI ODRŽIVOG I  
                  NEOVISNOG GOSPODARSKOG RAZVOJA U RH - KAKO AKTIVIRATI VLASTITE  
                  RESURSE U GODINAMA RECESIJE?
- 11:50 - 12:10   M. Vukoje, V. Filipan - MOGUĆNOSTI DODATNOG KORIŠTENJA TOPLINSKE  
                  ENERGIJE SUNCA PRIMJENOM SEZONSKIH SPREMNIKA TOPLINE
- 12:10 - 12:30   I. Valek, K. Filipan, V. Filipan - GEOTERMALNE DIZALICE TOPLINE
- 12:30 - 13:00   R. Krklec - INDIVIDUALNO MJERENJE TOPLINSKE ENERGIJE, ZAKONSKA  
                  REGULATIVA I OSTVARENE UŠTEDE
- 13:00 - 13:30   V. Bizjak - WEISHAUP - BROJNE NOVOSTI U PROIZVODNOM PROGRAMU
- 13:30 - 15:00   domjenak - Weishaupt vas poziva

**Radove za prezentaciju na Simpoziju i objavljivanje u Zborniku radova  
prihvatio je Znanstveni savjet Simpozija. Znanstveni savjet će radove koji  
udovoljavaju općim kriterijima znanstvenog rada predložiti za objavljivanje  
Uređivačkom odboru časopisa 'Strojarstvo'.**

## Predgovor

**Međunarodni simpozij INTERKLIMA** održava se u sklopu Međunarodnog sajma grijanja, hlađenja, klimatizacije i obrade pitkih voda na Zagrebačkom velesajmu od 1969. godine. Simpozij i sajam su bijenalnog karaktera.

INTERKLIMA 2009 održat će se u dvije cjeline i to:

- 1. dan - znanstveni dio: Dan Frana Bošnjakovića i 9. konferencija o termografiji
- 2. dan - stručni dio s prezentacijama tvrtki.

Radovi za znanstveni dio simpozija pišu se i iznose na engleskom, a za stručni dio na hrvatskom jeziku.

Simpozij INTERKLIMA, kao najstariji simpozij takve vrste u ovom dijelu Europe, postao je tradicionalno mjesto susreta znanstvenika i stručnjaka iz područja klimatizacije, grijanja i hlađenja. To je također mjesto gdje brojni izlagači sa sajma INTERKLIMA izravno mogu predstavljati svoje novosti okupljenim stručnjacima.

Očekujemo da će i ovaj, 20. po redu Međunarodni simpozij o grijanju, hlađenju i klimatizaciji te 9. konferencija o termografiji okupiti ugledne stručnjake koji će tijekom dvodnevnog rada razmijeniti brojna istraživačka i radna iskustva iz tematskih područja simpozija.

Uz sudjelovanje na simpoziju INTERKLIMA sudionici imaju pravo na ulaznicu za jednokratni posjet sajmu INTERKLIMA na Zagrebačkom velesajmu.

## Foreword

*The INTERKLIMA International Symposium has been held in the context of the International Fair of Heating, Refrigeration, Air-conditioning and Potable Water Treatment as an event of the Zagreb Fair since 1969. Both the symposium and the fair have a biennial character.*

*INTERKLIMA 2009 will be composed of two sections:*

- *1st day - scientific section The Fran Bošnjaković Day and the 9th Conference on Thermography*
- *2nd day - specialized events including presentation of companies.*

*Papers intended for the scientific section of the symposium will be prepared and presented in English.*

*The INTERKLIMA, as the oldest symposium of the kind in this part of Europe, has grown into a traditional venue for meeting of scientists and experts in the field of air-conditioning, heating and refrigeration. This is also the place where numerous exhibitors may introduce their novelties to attending experts.*

*We expect this, 20th in the row International Symposium on Heating, Refrigeration and Air-conditioning and the 9th Conference on Thermography to gather prominent experts. During two symposium days they will be given the opportunity to exchange numerous research and practical experiences of the thematic areas covered by this event.*

*All participants of the INTERKLIMA Symposium will receive a ticket for a visit to the INTERKLIMA Exhibition at the Zagreb Fair site.*

# Sadržaj



*interklina 2009*

ENERGETIKA MARKETING, Zagreb.....	15
Impresum.....	4
Organizatori i suorganizatori.....	5
Pokrovitelji .....	6
Znanstveni savjet.....	7
Program rada.....	8
Predgovor .....	11
Sadržaj .....	12
<b>Znanstveni dio - Dan Frana Bošnjakovića.....</b>	<b>15</b>
P. Blecich, K. Lenić, A. Trp - <i>NUMERICAL AND THERMOGRAPHIC HEAT TRANSFER ANALYSIS OF HEATING PLATE WITH COMPLEX HEAT SOURCES</i> .....	16
F. Juretić, D. Gosman - <i>APPLICATIONS OF ADAPTIVE-MESH REFINEMENT IN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS TO PROBLEMS WITH HEAT EXCHANGE</i> .....	28
B. Klarin, S. Nižetić, J. Roje - <i>OSNOVNA UNAPREĐENJA SOLARNE DIMNJAČNE ELEKTRANE / BASIC SOLAR CHIMNEY FLOW IMPROVEMENTS</i> .....	38
M. Ruševljan, V. Soldo, T. Ćurko - <i>OPTIMAL SIZING OF THE BOREHOLE HEAT EXCHANGERS</i> .....	39
V. Soldo, T. Ćurko, M. Grozdek - <i>KONVENCIONALNO GRIJANJE ILI GRIJANJE DIZALICOM TOPLINE / CONVENTIONAL HEATING OR HEATING USING HEAT PUMPS</i> .....	51
V. Nikolić, M. Grozdek, B. Halasz - <i>COST ANALYSIS OF ICE BANKS IN REFRIGERATION SYSTEMS</i> .....	59
Z. Čarija, B. Pavković, B. Franković - <i>NUMERICAL ANALYSIS OF AIR - FLOW IN AIR - CONDITIONED SPACE OF SIGNIFICANT HEIGHT</i> .....	60
S. Švaić, I. Boras, V. Polović, M. Kozina, M. Dimnjašević - <i>RASPLINJAVANJE DRVNE BIOMASE U SVRHU DOBIVANJA PLINA ZA IZGARANJE U TOPLOVODNIM KOTLOVIMA / WOOD BIOMASS GASIFICATION FOR POWERING THE HOT WATER BOILERS</i> .....	67
M. Malinovec Puček, S. Švaić - <i>RJEŠAVANJE PROBLEMA KONDENZACIJE KOD NISKOTEMPERATURNIH TOPLOVODNIH KOTLOVA / SOLVING THE CONDENSATION PROBLEMS IN LOW TEMPERATURE HOT WATER BOILERS</i> .....	77



# Sadržaj



*interklima 2009*

6. HRVATSKI SEMINAR O TLAČNOJ OPREMI.....	86
KLIMA-FORUM.....	86
PLINSKA ENERGETSKA KONFERENCIJA .....	86
<b>9. konferencija o termografiji .....</b>	<b>87</b>
S. Švaić - UVODNO SLOVO / INTRODUCTORY ADDRESS.....	88
G. Weinzierl - <i>QUALITY CONTROL BY MEANS OF THERMOGRAPHY DURING THE CONSTRUCTION OF A PASSIVE HOUSE IN A MASSIVE DESIGN AND EXPERIENCES AFTER ONE-YEAR OPERATION AS AN OFFICE BUILDING</i> .....	89
E. Panic - <i>BAUEN MIT VAKUUMDÄMMUNG / CONSTRUCTION USING VACUUM INSULATION</i> .....	90
Ž. Hrs Borković, M. Zidar - <i>ULOGA IC TERMOGRAFIJE PRI PROVOĐENJU ENERGETSKIH PREGLEDA U SVRHU ENERGETSKOG CERTIFICIRANJA ZGRADA / THE ROLE OF IR THERMOGRAPHY IN ENERGY AUDITING OF BUILDINGS IN THE PROCESS OF ENERGY CERTIFICATION</i> .....	92
M. Andrassy - <i>IZOBRAZBA TERMOGRAFISTA / TRAINING OF THERMOGRAPHERS</i> .....	100
S. Švaić, I. Boras, M. Andrassy, N. Ferdelji - <i>IMPLEMENTATION OF THERMOGRAPHY FOR DETERMINATION OF THE AIR JET GEOMETRY IN HVAC SYSTEMS</i> .....	107
S. Švaić, I. Boras, M. Suša - <i>TERMOGRAFIJA U ZGRADARSTVU - PRIMJERI DETEKCIJE RAZLIČITIH TIPOVA GREŠAKA / THERMOGRAPHY IN CIVIL ENGINEERING - EXAMPLES OF DETECTION OF VARIOUS FAULT TYPES</i> .....	117
PORTAL <a href="http://www.energetika-net.hr">www.energetika-net.hr</a> .....	126
<b>Stručni dio.....</b>	<b>127</b>
N. Mardetko Škoro - <i>HRVATSKA I EU, PROMJENE U ZAKONODAVSTVU I IMPLEMENTACIJA EUROPSKE DIREKTIVE O ENERGETSKIM ZNAČAJKAMA ZGRADA</i> .....	128
Ž. Hrs Borković, M. Zidar - <i>METODOLOGIJA ENERGETSKIH PREGLEDA ZGRADA</i> .....	134

# Sadržaj



*interklima 2009*

D. Josipović - ISKUSTVA U IZVEDBI PROJEKTA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI PO ESCO MODELU U ZGRADAMA ŠKOLA .....	144
D. Dović, S. Švaić - POSTUPAK IZRADE ELABORATA IZVEDIVOSTI ALTERNATIVNIH SUSTAVA ZA OPSKRBU ENERGIJOM KOD NOVIH I POSTOJEĆIH ZGRADA .....	151
B. Hrastnik - OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U FUNKCIJI ODRŽIVOG I NEOVISNOG GOSPODARSKOG RAZVOJA U RH - KAKO AKTIVIRATI VLASTITE RESURSE U GODINAMA RECESIJE?.....	165
M. Vukoje, V. Filipan - MOGUĆNOSTI DODATNOG KORIŠTENJA TOPLINSKE ENERGIJE SUNCA PRIMJENOM SEZONSKIH SPREMNIKA TOPLINE.....	173
I. Valek, K. Filipan, V. Filipan - GEOTERMALNE DIZALICE TOPLINE .....	188
R. Krklec - INDIVIDUALNO MJERENJE TOPLINSKE ENERGIJE, ZAKONSKA REGULATIVA I OSTVARENE UŠTEDE.....	209
V. Bizjak - WEISHAAPT - BROJNE NOVOSTI U PROIZVODNOM PROGRAMU .....	223
HEP TOPLINARSTVO, Zagreb .....	234
HEP ESCO, Zagreb.....	234
WEISHAAPT, Zagreb .....	235
KLIMAOPREMA, Samobor.....	236
STURM, Kastav .....	236



*Interklima 2009*

# Znanstveni dio

## Dan Frana Bošnjakovića

P. Blecich, K. Lenić, A. Trp - <i>NUMERICAL AND THERMOGRAPHIC HEAT TRANSFER ANALYSIS OF HEATING PLATE WITH COMPLEX HEAT SOURCES</i> .....	16
F. Juretić, D. Gosman - <i>APPLICATIONS OF ADAPTIVE-MESH REFINEMENT IN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS TO PROBLEMS WITH HEAT EXCHANGE</i> .....	28
B. Klarin, S. Nižetić, J. Roje - <i>OSNOVNA UNAPREĐENJA SOLARNE DIMNJAČNE ELEKTRANE / BASIC SOLAR CHIMNEY FLOW IMPROVEMENTS</i> .....	38
M. Ruševljan, V. Soldo, T. Ćurko - <i>OPTIMAL SIZING OF THE BOREHOLE HEAT EXCHANGERS</i> .....	39
V. Soldo, T. Ćurko, M. Grozdek - <i>KONVENCIONALNO GRIJANJE ILI GRIJANJE DIZALICOM TOPLINE / CONVENTIONAL HEATING OR HEATING USING HEAT PUMPS</i> .....	51
V. Nikolić, M. Grozdek, B. Halasz - <i>COST ANALYSIS OF ICE BANKS IN REFRIGERATION SYSTEMS</i> .....	59
Z. Čarija, B. Pavković, B. Franković - <i>NUMERICAL ANALYSIS OF AIR - FLOW IN AIR - CONDITIONED SPACE OF SIGNIFICANT HEIGHT</i> .....	60
S. Švaić, I. Boras, V. Polović, M. Kozina, M. Dimnjašević - <i>RASPLINJAVANJE DRVNE BIOMASE U SVRHU DOBIVANJA PLINA ZA IZGARANJE U TOPLOVODNIM KOTLOVIMA / WOOD BIOMASS GASIFICATION FOR POWERING THE HOT WATER BOILERS</i> .....	67
M. Malinovec Puček, S. Švaić - <i>RJEŠAVANJE PROBLEMA KONDENZACIJE KOD NISKOTEMPERATURNIH TOPLOVODNIH KOTLOVA SOLVING THE CONDENSATION PROBLEMS IN LOW TEMPERATURE HOT WATER BOILERS</i> .....	77

## **Numerical and thermographic heat transfer analysis of heating plate with complex heat sources**

Paolo Blecich

Kristian Lenić

Anica Trp

Faculty of Engineering, University of Rijeka

Vukovarska 58, HR-51000 Rijeka

Tel.: +385 51 651 444, Fax: +385 51 675 801

E-mail: [paolo.blecich@riteh.hr](mailto:paolo.blecich@riteh.hr), [kristian.lenic@riteh.hr](mailto:kristian.lenic@riteh.hr),  
[anica.trp@riteh.hr](mailto:anica.trp@riteh.hr)

### **ABSTRACT**

3D numerical study of transient heat transfer phenomenon on a solid plate with complex heat sources has been carried out. In order to validate the chosen numerical model, a set of thermographic measurements have been performed on a heating plate sample. The infrared camera provided a number of thermograms showing the development of transient temperature fields on the plate surface. A good agreement between thermograms and numerically obtained temperature fields has been achieved.

Based upon validated numerical model, an approach involving thermographic measurements has been used to estimate the position of heat sources inside the plate. Numerically obtained temperature distributions have been used for calculation of effective transient heating output. The unsteady behaviour of heating plate with complex heat sources has been numerically studied for different plate materials. It has been concluded that the temperature fields and transient heating outputs depend on physical properties of the plate material. However, when a steady state has been achieved, different plate materials give equivalent steady heating outputs despite of different temperature distributions.

### **KEY WORDS**

Heat sources depth, infrared camera, numerical analysis, thermal diffusivity, heating plate

## 1. INTRODUCTION

The main objective of this work was to get an image of the relationship between material physical properties and the temperature distributions at the surface for solid materials with complex internal heat sources.

Generally speaking, physical properties such as thermal conductivity  $\lambda$ , density  $\rho$  and specific heat capacity  $c$  dictate the speed of heat diffusion throughout a solid. The thermal conductivity expresses the ability of a material to conduct heat. On the other hand, the product of density and specific heat capacity, represents the heat storage capability of a material. All together, these properties are gathered to yield the thermal diffusivity of a material

$$a = \frac{\lambda}{\rho c} \quad (1)$$

Therefore, the thermal diffusivity is the ratio of conducted heat to the stored heat in a solid and the larger the thermal diffusivity, the faster the heat diffusion through the solid.

It will be shown that temperature distributions on the body surface depend on the rate of heat diffusion through the body. A material with large thermal diffusivity (e.g. aluminium, copper, steel) transfers heat at a higher rate than a material with low thermal diffusivity (e.g. wood, plastics) and thus the temperature fields are more uniformly disposed on the surface [1-2].

The before-mentioned analysis has been carried for a heating plate of  $100 \times 40 \times 3$  cm dimensions with complex internal heat sources. The heat sources were electric resistances with constant heating rate. The development of transient temperature fields were recorded by means of an infrared (IR) camera and subsequently numerically analyzed [3].

The IR camera is a modern engineering measuring device, largely used for control, maintenance and diagnosis demands, capable of generating thermograms up to  $640 \times 480$  pixels.

## 2. MATHEMATICAL MODEL

Although contemporary software offer a large number of different approaches and numerical models for the governing equations to be solved, the user must be always and fully aware of the theoretical basis concerning the nature of the problem. Therefore, a brief description of the domain, governing equations and boundary conditions has been given.

## 2.1. Domain

The domain is a stone heating plate with electric wire-heaters placed inside the plate, shown in Fig. 1 and having properties according to Table 1.



Figure 1. Domain dimensions

Table 1: Heating plate properties:

Manufacturer	Mramoterm, Viškovo (Rijeka)
Model	800W/40cm
Electric-resistance heat sources output	66.7 W/m
Dimensions	
- Length, $L$	1000 mm
- Height, $H$	400 mm
- Thickness, $B$	30 mm
Physical properties of the heating plate material	
Material	Stone-Bračko veselje
Density	2600 kg/m <sup>3</sup>
Thermal conductivity	2.8 W/mK
Specific heat capacity	810 J/kgK
Thermal diffusivity	1.33 mm <sup>2</sup> /s

## 2.2. Governing equations

The governing equation describing the heat conduction in a solid, in its most general form, is the transient three-dimensional heat conduction equation

$$\rho c \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial z} \right) + \dot{q}_v \quad (2)$$

where  $\dot{q}_v$  is the source term. For isotropic heating plate material i.e.  $\lambda = \text{const.}$ , equation (2) can be rewritten to yield

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2} \right) + \frac{\dot{q}_v}{\rho c} \tag{3}$$

### 2.3. Initial and boundary conditions

The initial condition expresses the temperature distribution of the heating plate at the beginning of the analysis. Before turning on the electric heaters, it is supposed that the plate is at uniform temperature  $\vartheta_0$ , hence

$$\vartheta(x, y, z, t = 0) = \vartheta_0 \tag{4}$$

The boundary conditions are of the third kind what corresponds to the existence of mixed convection-radiation heat transfer at the plate surfaces [4]. According to Fig. 1 the boundary conditions can be written as:

	$x$	$y$	$z$	Boundary condition
x - axis	0	$0 \leq y \leq H$	$0 \leq z \leq B$	$-\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \Big _{x=0} = \alpha [\vartheta_\infty - \vartheta(0, y, z, t)]$
	L	$0 \leq y \leq H$	$0 \leq z \leq B$	$-\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \Big _{x=L} = \alpha [\vartheta_\infty - \vartheta(L, y, z, t)]$
y - axis	$0 \leq x \leq L$	0	$0 \leq z \leq B$	$-\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \Big _{y=0} = \alpha [\vartheta_\infty - \vartheta(x, 0, z, t)]$
	$0 \leq x \leq L$	H	$0 \leq z \leq B$	$-\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \Big _{y=H} = \alpha [\vartheta_\infty - \vartheta(x, H, z, t)]$
z - axis	$0 \leq x \leq L$	$0 \leq y \leq H$	0	$-\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial z} \Big _{z=0} = \alpha [\vartheta_\infty - \vartheta(x, y, 0, t)]$
	$0 \leq x \leq L$	$0 \leq y \leq H$	B	$-\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial z} \Big _{z=B} = \alpha [\vartheta_\infty - \vartheta(x, y, B, t)]$

The overall heat transfer coefficient  $\alpha$  consists of a convective  $\alpha_c$  and a radiative  $\alpha_r$  part. Using the average values of the coefficients gives

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_c + \bar{\alpha}_r \tag{5}$$

The average convection heat transfer coefficient is determined as

$$\overline{\alpha}_c = 0,59 \frac{\lambda}{H} \left[ \frac{H^3 g (\vartheta - \vartheta_\infty) \nu}{\nu^2 \vartheta_\infty a} \right]^{0,25} \quad (6)$$

while the average radiation heat transfer coefficient is

$$\overline{\alpha}_r = \frac{\varepsilon_1 \sigma [\vartheta^4 - \vartheta_s^4]}{\vartheta - \vartheta_\infty} \quad (7)$$

The boundary condition at the heater-material interface is a boundary condition of the second kind as shown in Fig. 2, i.e. a constant surface heat flux is assumed

$$-\lambda \left. \frac{\partial \vartheta}{\partial r} \right|_{r=R} = \dot{q}_s \quad (8)$$

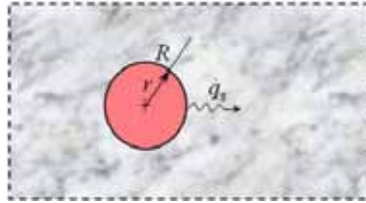


Figure 2. Constant heat flux at the heater-material interface

### 3. NUMERICAL CALCULATIONS

Using the finite volume method the domain and the related heat conduction equation (3) have been discretized and solved for a finite number of nodes marching along the time coordinate [5-7]. A fully implicit method has been used for time-stepping treatment.

The domain has been meshed using *Gambit* and numerically solved using *Fluent* software.

### 4. EXPERIMENTAL SETUP AND VALIDATION

Temperature distributions on the surface of the heating plate have been recorded by an IR camera. The experimental setup is shown in Fig. 3. Thermographic and numerical temperature fields have been compared until a steady state was reached, the results are shown as plots of average, minimum and maximum temperature in Fig. 4.



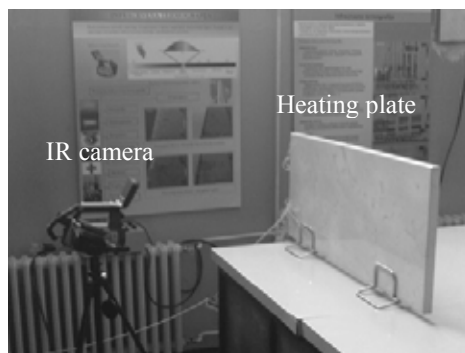


Figure 3. The experimental setup

The used IR camera is a LWIR sensitive,  $320 \times 240$  array size uncooled microbolometer detector camera, model ThermaCAM S65 – FLIR Systems [8], owned by the Laboratory for Thermal Measurements of the Faculty of Engineering, University of Rijeka.

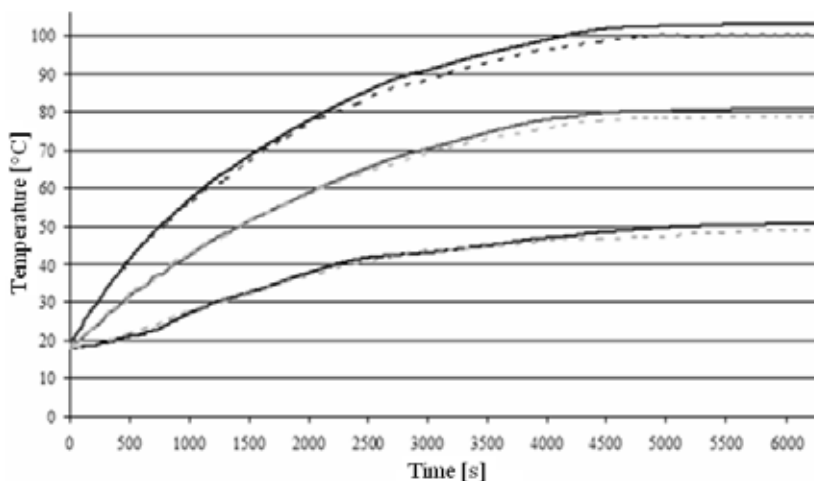


Figure 4. Thermographic (solid line) and numerical (dashed line) plots of average, minimum and maximum temperature at the front face of the heating plate

Very good agreement between recorded thermograms and numerically obtained temperature fields of the heating plate has been achieved. Although increasing deviations in time between experimental and numerical temperature curves suggest an underestimated heat flux at the heater-material interface, the maximum error do not exceed 7% relatively to the ambient temperature of  $20^{\circ}\text{C}$ .

Numerically obtained temperature distribution and a thermogram of the heating plate for a time moment of 3600 s are shown in Fig. 5.

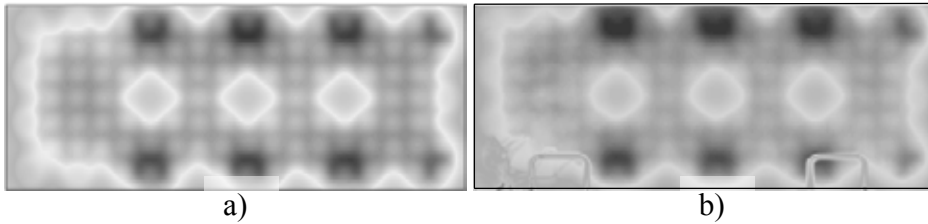


Figure 5. Temperature distributions of the heating plate at time moment  $t = 3600$  s obtained a) numerically and b) by IR camera

Since good agreement between thermograms and numerically obtained temperature fields has been achieved, the numerical model is validated.

## 5. RESULTS OF THE ANALYSIS

### 5.1. Temperature fields

The electric heaters are embedded in a double passage (dark-gray colour in Fig. 5) near the upper and the lower edge of the plate, whilst in the central area there are non of them (light-gray colour). In the remaining parts of the plate, heaters are found to be posted equally in a honeycomb pattern. Stronger heating at the edges with respect to the central area, protects the plate from cracking under thermal stresses. Fig. 6 shows numerically obtained temperature fields at four different time moments.

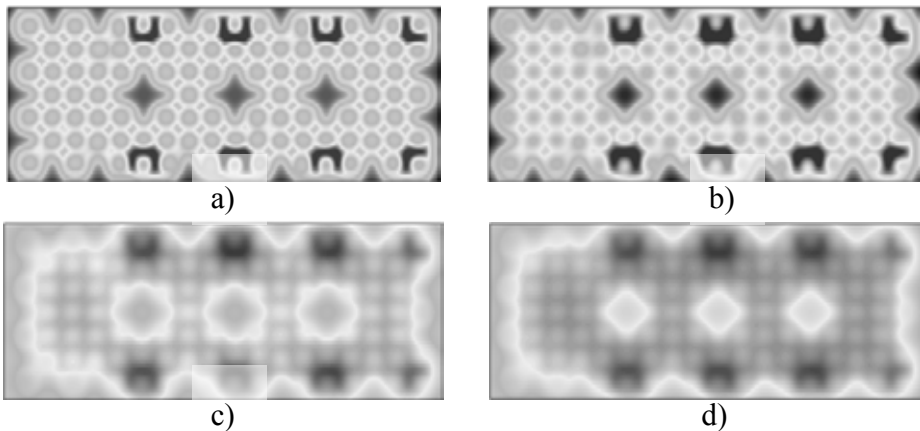


Figure 6. Numerically obtained temperature fields of the plate at:  
a)  $t = 120$  s, b)  $t = 300$  s, c)  $t = 2400$  s and d)  $t = 6270$  s

Steady state is reached when the heat flux coming from the heat sources becomes equal to the heat flux transferring from plate surface towards surroundings, either by convection or radiation. Steady state is assumed to occur when the growth of maximum temperature on the plate surface drops below  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  in the last 300 s. Following that criterion, the heating plate reaches steady state operation after 6270 s (Fig. 6 d)).

## 5.2. Influence of material properties

If the time moment of steady state depends on the rate of temperature change at the surface, there has to be a relationship between the time moment of steady state, the heaters depth, the power of the heaters and the thermal properties of the plate material. The time moment of steady state for different materials and different heaters depths has been studied numerically. The results are given in Fig. 7. The properties of the heating plate materials are as in Table 2.

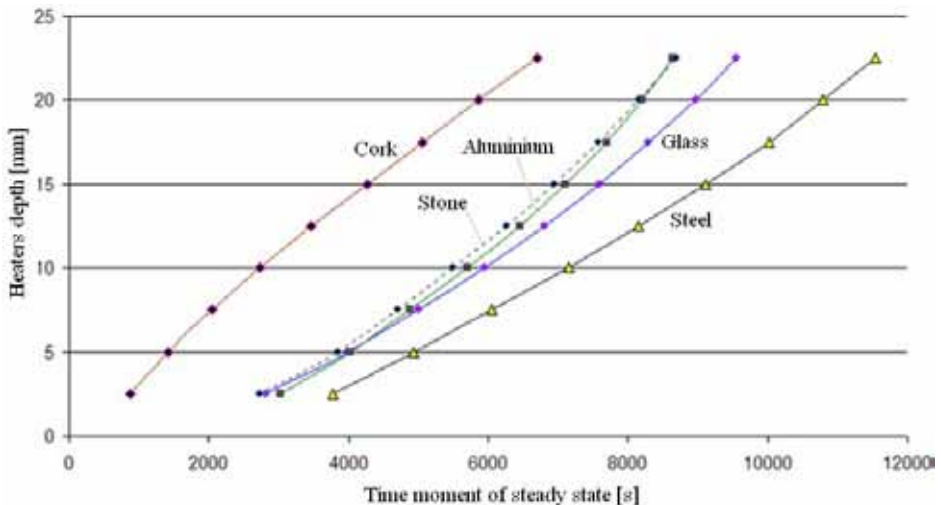


Figure 7. Time moment of steady state as a function of heaters depth for different plate materials

A stone and an aluminium plate show pretty much the same dependence in Fig. 7 and similar to them is a glass plate. Cork as a material with poor heat storage capability brings earlier the moment of steady state and on the other side, steel postpone it.

Table 2: Physical properties of cork, glass, steel, aluminium and stone:

	Cork	Glass	Steel	Aluminium	Stone
Thermal conductivity, $\lambda$ [W/mK]	0.04	0.9	50	211	2.8
Density, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	150	3000	7850	2600	2600
Specific heat capacity, $c$ [J/kgK]	1900	750	455	900	810

The numerically obtained temperature distributions of cork, glass, steel and aluminium at steady states and for a heaters depth of  $\delta = 12.5$  mm are shown in Fig. 8.

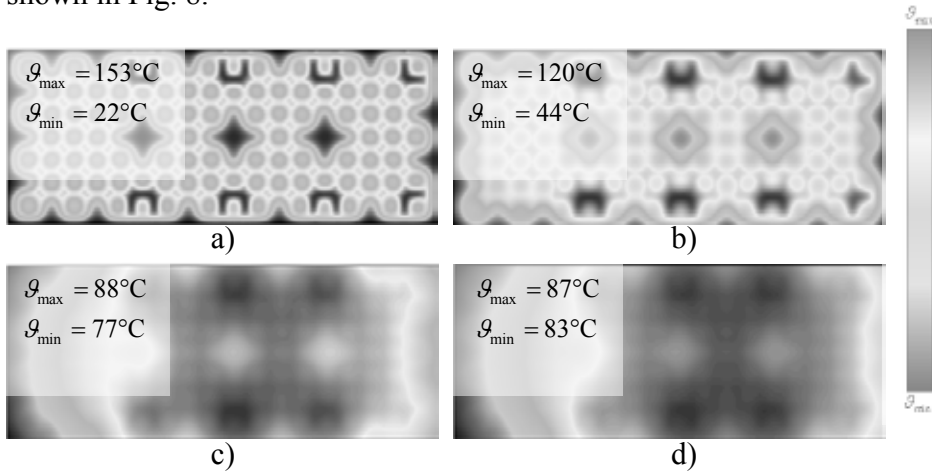


Figure 8. Temperature fields for: a) cork, b) glass, c) steel and d) aluminium. The heaters depth is 12.5 mm.

Aluminium and steel present a more uniform temperature pattern on the surface.

### 5.3. Heat sources depth

A numerical relationship between time moment of steady state and heaters depth has already been found, (Fig. 7). The relationship, described as a second order polynomial, for stone material states

$$\delta = 2 \cdot 10^{-7} t^2 + 10^{-3} t - 1.658 \text{ [mm]} \quad (9)$$

From the recorded thermograms, using the same criterion as in the numerical analysis, the steady state occurs at  $t = 6350$  s in the plate sample.

Introducing the experimental value of steady-state time moment in (9), the depth of the heat sources results to be 12.757 mm which deviates by only 2% from the real value of 12.5 mm.

### 5.4. Total heating output of the plate

The average heat transfer coefficients are calculated from (6) and (7) using numerically obtained temperature distributions. Their values against time are shown in Fig. 9.

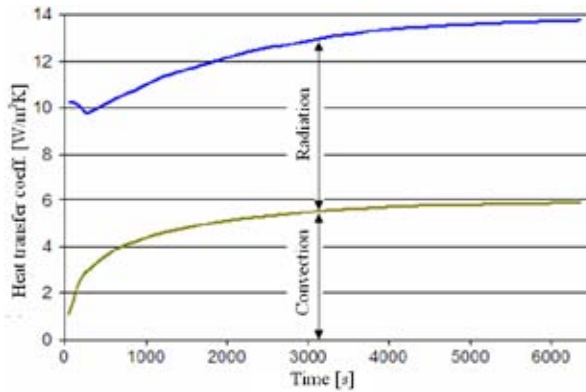


Figure 9. Convection and radiation in the total heating output of the plate

Convection participates with 43% and radiation with 57% in the total heat transfer from the plate surface. Until steady state is reached, only a part (about 65%) of the heat flux coming from the heaters is delivered to the surroundings, the remaining heat is being stored in the plate (Fig. 10).

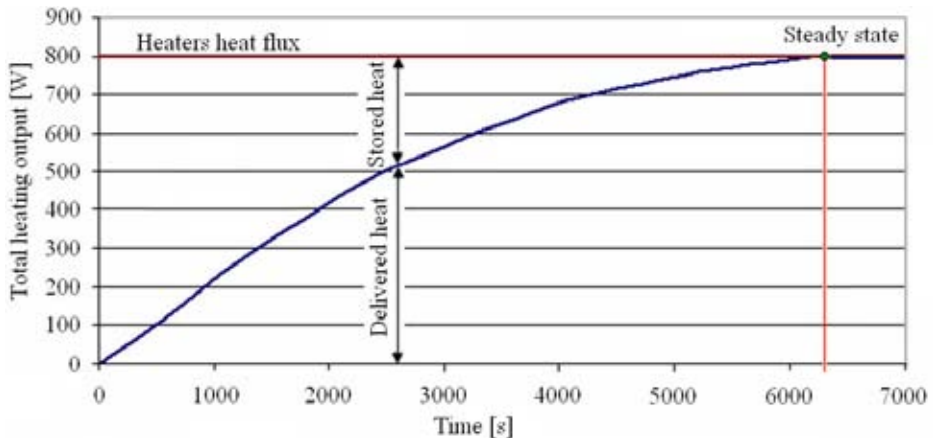


Figure 10. Time dependent total heating output of plate

## 6. CONCLUSION

The chosen numerical model proved to be successful in determining the transient temperature fields on the heating plate surface. Furthermore, the influence of the heat storage capability on temperature fields, the influence of heat sources depth on the time moment of steady state and the ratios of convection and radiation in the overall heating output of the plate have been elaborated. A further step in the analysis could be a study of the relationship between heat sources output or plate dimensions and the time moment of steady state.

A combination of thermographic and numerical approaches for the analysis of heat transfer inside and outside a heating plate with complex heat sources has been introduced as a powerful engineering apparatus.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research has been performed as a part of the scientific project *Research and Development of Renewable Energy Components and Systems*, supported by the Ministry of Science, Education and Sport of the Republic of Croatia

## NOMENCLATURE

$a$	thermal diffusivity, $\text{m}^2/\text{s}$	$\alpha$	heat transfer coefficient, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
$c$	Spec. heat capacity, $\text{J}/\text{kg K}$	$\delta$	heat sources depth, m
$H$	height, m	$\varepsilon$	emissivity, -
$L$	length, m	$\lambda$	thermal conductivity, $\text{W}/\text{m K}$
$\dot{q}$	heat source power, $\text{W}/\text{m}^3$	$\nu$	kinematic viscosity, $\text{m}^2/\text{s}$
$B$	thickness, m	$\vartheta$	temperature, K
$t$	time, s	$\rho$	mass density, $\text{kg}/\text{m}^3$
$x,y,z$	axis	$\sigma$	blackbody constant, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$

## BIBLIOGRAPHY

- [1] H. S. Carslaw and J. C. Jaeger: *Conduction of Heat in Solids*, 2<sup>nd</sup> ed., Oxford University Press, London, 1959.
- [2] V. S. Arpaci: *Conduction Heat Transfer*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, 1966.
- [3] P. Blecich.: *Primjena Termovizijske Infracrvene Kamere u Termotehnici*, Diplomski rad, Tehnički fakultet, Rijeka, 2008.
- [4] A. Bejan and A. D. Kraus: *Heat Transfer Handbook*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2003.

- [5] S. V. Patankar: *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Taylor & Francis, New York, 1980.
- [6] ANSYS, Inc.: *Fluent 6.3 Documentation*, Canonsburg, 2006.
- [7] H. K. Versteeg, W. Malalasekera: *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*, Longman Scientific and Technical, Essex, England, 1995.
- [8] *ThermaCAM S65-User's Manual*, FLIR Systems, Publ. No. 1557990 Rev. a155, 2006.

## Applications of adaptive-mesh refinement in Computational Fluid Dynamics to problems with heat exchange

Franjo Juretić, PhD  
AVL-AST d.o.o  
Avenija Dubrovnik 10/3  
10020 Zagreb, Croatia  
tel: +38517775053, fax: +38517775123  
e-mail: [franjo.juretic@avl.com](mailto:franjo.juretic@avl.com)

David Gosman, Professor, PhD  
CD-Adapco Ltd.  
200 Shepherds Bush Road  
London W6 7NL, United Kingdom

### SUMMARY

Most of processes occurring in devices in the air-conditioning systems require fluid flow and heat exchange, and the functioning of these devices is crucially dependent on their understanding. Computational Fluid Dynamics is a modern tool which enables development engineers to simulate the physics of processes on a computer. Such simulations may contain errors because the original problem has been replaced by a simplified discrete problem, solved on a mesh of non-overlapping control volumes and assuming certain solution behaviour in every control volume of the modelled domain. This paper presents the advantages of adaptive-mesh refinement which helps engineers get accurate solutions without their intervention by modifying the mesh where higher accuracy is needed. The potential of the method is shown on some examples often found in engineering practice.

### KEYWORDS

Computational Fluid Dynamics (CFD), Discretisation Error Estimation, Adaptive-mesh Refinement

### INTRODUCTION

The modern era of strict ecological regulations imposes many requirements on the quality of the processes occurring in almost all products aimed to the mass market. These requirements together with the pressure of short time to market have forced scientists and engineers to introduce computer-aided simulation tools into the development process, which help them gain insight into the physics of the process occurring the in the device under consideration.

Computational Fluid Dynamics (CFD) simulates fluid flow and heat exchange on a computer. The simulation process consists of the following steps:

1. Selection of mathematical model relevant for the physics under consideration. The mathematical model is a system of partial differential equations describing the underlying physics. However, most of mathematical models are merely a simplified description of the physics thus causing the so-called modelling error defined as the



difference between the solution of the model and the exact behaviour of the system [1].

2. Discretisation of model equations. In this study, the Finite Volume Method (FVM) is used, see [1, 2]. The method requires a mesh of non-overlapping control volumes, which determine the points where the solution is sought. The result of this process is a system of algebraic equations, one per control volume, which can be solved on a computer. Naturally, the number of the control volumes in the mesh has an impact on the accuracy of the approximation. The difference between the exact solution of the mathematical model and the approximated solution is called discretisation error [1]. The focus of this study is the reduction of this type of errors, which can be achieved by refining the mesh in the regions of high errors in the approximated solution. This process is called adaptive-mesh refinement, and it consists of error estimation in the approximated solution, serving as an indicator where the mesh shall be changed in order to achieve required accuracy.

Adaptive-refinement strategies can be grouped into four main groups, depending on the type of changes imposed on the mesh and/or the discretisation practice, thus [3]:

- ***h*-refinement** is a strategy where additional computational cells are inserted in regions of high error. Cells can also be removed from regions of small error using a coarsening procedure. The number of cells may increase or decrease during the calculation process as a consequence of additions and removals. The topology of the mesh changes during the adaptation process to achieve a mesh with optimum cell distribution. Examples can be found in Chen *etal* [4], Chang *etal* [5], Mavriplis [6], Almeida *etal* [7], Apel *etal* [8] and many more.
- ***r*-refinement** keeps the number of cells and their topology constant, and changes their distribution in order to minimise the error. However, with this approach there is no guarantee that the required accuracy can be achieved with the specified number of cells. The approach may also cause severe distortion of the mesh and convergence problems. Examples of this approach can be found in Ait-Ali-Yahia *etal* [9], Gnoffo [10] and others.
- ***p*-refinement** refers to the group of methods which change the order of the discretisation practice according to the error distribution. This approach is particularly suitable for Finite Element calculations as the nature of the discretisation practice allows easy implementation of higher-order methods. The *p*-refinement method is not suitable for non-smooth solutions as higher-order methods are more prone to non-physical oscillations in regions of steep gradients than their lower order counterparts. Calculations using *p*-refinement have been presented by Zienkiewicz *etal* [11], Demkowicz *etal* [12], *etc.*
- **Composite methods.** These methods combine previously mentioned methodologies, see Tam *etal* [13] and many more.

Although adaptive methods have evolved during the past few decades, none can generate high-quality anisotropic meshes, required to achieve high accuracy with the smallest possible number of cells, and achieve it in a small number of adaptation cycles. This paper presents an *h*-refinement technique, because the authors believe that *h*-refinement provides the best control of the mesh resolution and quality. It is also considered to be the most suitable for problems of engineering interest where the geometries are complex.

#### ADAPTIVE-MESH REFINEMENT METHODOLOGY

The mesh-refinement procedure for consists of the following steps [3]:

1. Solve the problem on the available mesh.

2. Estimate the distribution of the discretisation error. The error is estimated on every face of the mesh by using the Face Residual Error Estimator [3]. The estimator provides the level of discretisation error for every face, which is used to drive the mesh refinement. In case the error is below the required level on every face, the calculation is terminated.
3. Determine faces for which the estimated error is above the required upper limit and mark them. Cells sharing marked faces are marked for refinement parallel to those faces, see Figure 1, to reduce distances between the nodes which mainly contribute to the error on that face, see Figure 2.

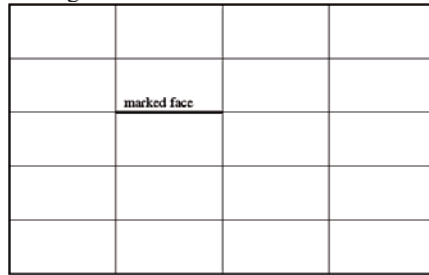


Figure 1. Mesh with marked face for refinement

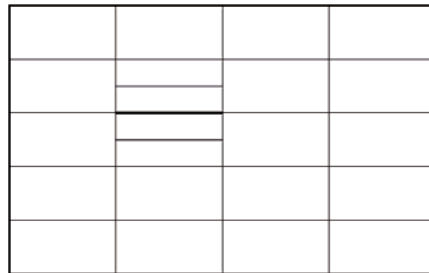


Figure 2. Refined mesh

4. In order to ensure the correct boundary description, newly created boundary vertices may have to be moved from the position where they were located by the refinement procedure to the closest point at the boundary surface.
5. Transfer the solution from the initial mesh onto the new one. This step is implemented in order to reduce the overall calculation time.
6. Repeat from step 1 until the error is reduced below the required upper limit.

## RESULTS

In order to demonstrate the potential of the method, two cases have been selected. The first problem is an example of turbulent flow across a bank of staggered tubes and the second problem is a natural convection between the two concentric spheres at different temperature.

### Tube bundle

The flow across a bank of staggered tubes is an example of turbulent flow. The geometry of the computational domain and the boundary conditions employed here are shown in Figure 3. Even though the flow is periodic, see Figure 5, periodic boundary conditions were not employed for the inlet and the outlet boundary, because the refinement procedure cannot

guarantee that the adapted mesh will have same distribution of faces at the left and the right boundary, as required by the flow solver.

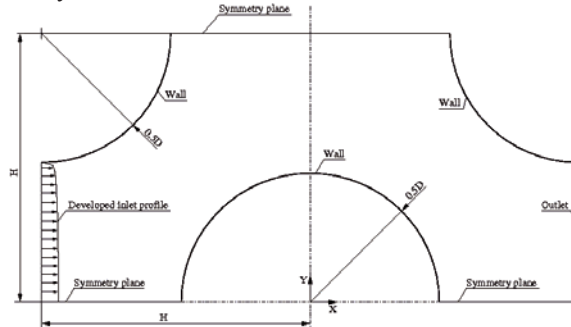


Figure 3. Geometry and boundary conditions for the tube bundle case

The Reynolds number of the flow is  $Re = 18000$  based on the tube diameter  $D$  and the average inlet velocity  $U_{avg}$ . A developed inlet profile is obtained by fitting a curve through the data obtained by a separate calculation using periodic boundary conditions.

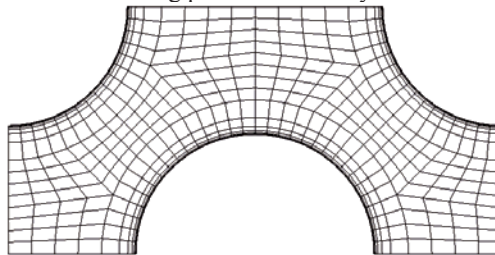


Figure 4. Starting mesh for the tube bundle case (640 cells)

The calculation was started on the coarse mesh with 640 cells, shown in Figure 4. The Figure 5 shows the streamlines of the flow which is periodic with a separation on the leeward side of each tube.

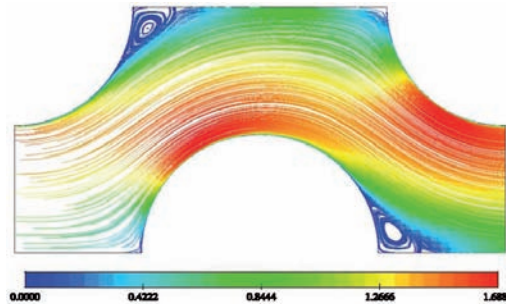


Figure 5. Streamlines of the velocity field for the tube bundle case

The required accuracy of the adapted solution was set to 1% of the maximum value found in velocity, pressure and turbulence fields. The quality of the solution on the adapted mesh will be compared to the benchmark solution on the mesh consisting of 486000 cells considered discretisation error free. Since the variation of velocity is sharp in the boundary layer region, the mesh is refined primarily in the boundary layer region in the direction parallel to the wall, as shown in Figure 6 and Figure 7.

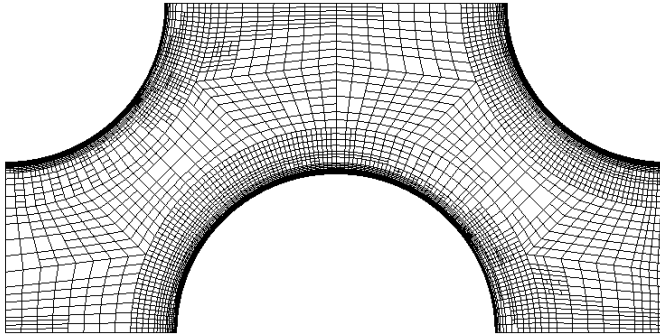


Figure 6. Refined mesh for the tube bundle case (17505 cells)

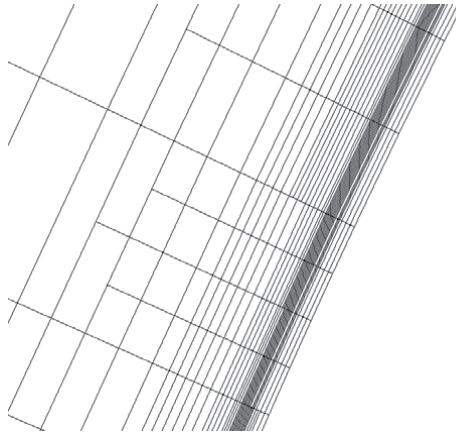


Figure 7. Detail of the refined mesh for the tube bundle case (17505 cells)

The accuracy was also monitored in terms of shear stress at the wall boundaries because it is critically dependent on the mesh resolution in the near-wall region. Figure 8 shows the shear stress at the bottom tube wall which is in very good agreement with the benchmark solution even though the adapted mesh has only 3.6% of the number of cells of the benchmark mesh. Calculation time and required computational resources are also low compared to the calculation time and memory resources needed for the benchmark solution.

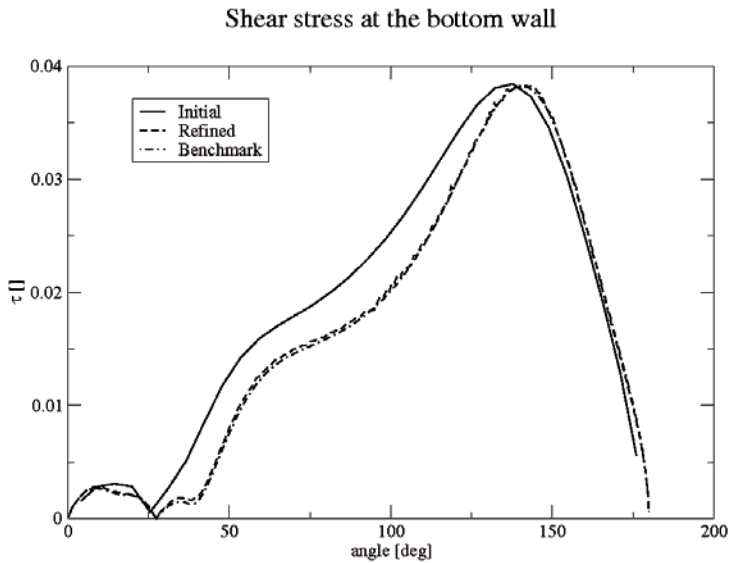


Figure 8. Shear stress at the bottom tube wall

**Concentric spheres**

The problem of heat transfer and fluid flow in two concentric spheres is an example of flow driven by the natural convection. The geometry of the domain and the boundary conditions are given in Figure 9.

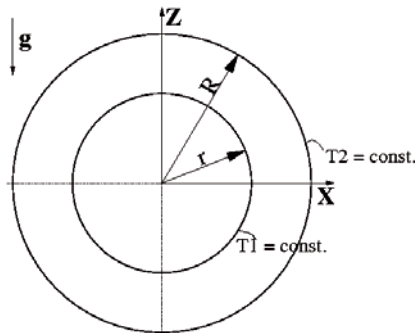


Figure 9. Geometry and boundary conditions for concentric spheres

The radius of the inner sphere is  $r = 5\text{cm}$ , and the radius of the outer sphere is  $R = 15\text{cm}$ . The temperature of the inner sphere is  $T_1 = 373\text{K}$  and the temperature of the outer sphere is set to  $T_2 = 293\text{K}$ . The working fluid is air at atmospheric pressure  $101325\text{Pa}$ . This results in the Grashof number  $Gr = 2.44 \cdot 10^7$ .

The starting mesh for the calculation is given in Figure 10. It is coarse and consists of 6000 cells; a small number for a 3D problem.

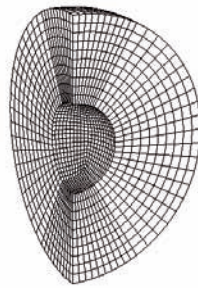


Figure 10. Starting mesh for the concentric spheres (6000 cells)

Figures 10 and Figure 11 show the temperature and the velocity field, respectively. The temperature is high near the inner sphere and in the plume rising towards the colder outer sphere. The velocity is also highest in the plume. This indicates that natural convection is the main transport mechanism.

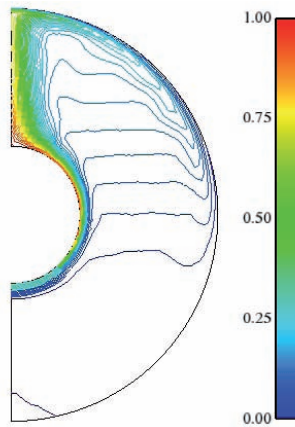


Figure 11. Temperature field for the concentric spheres

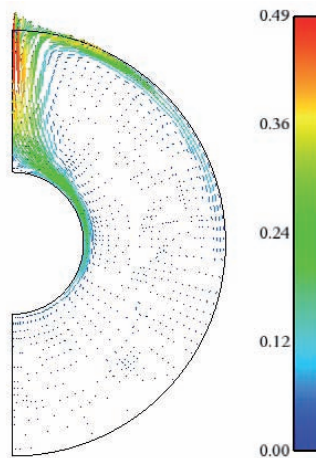


Figure 12. Velocity field for the concentric spheres

The required accuracy was set to 3% of maximum values found in the velocity, temperature and pressure fields. Figure 13 shows that the majority of refinement occurred in boundary layer regions on the upper half of the inner and outer sphere. These are the regions of sharp variations of temperature and velocity in the direction normal to the wall, which cannot be resolved accurately on a coarse mesh. The mesh is also randomly refined in some regions, and it is believed that this was caused by the fluctuations of the solution because the problem is not steady. Since the error estimation and mesh refinement are performed only at certain times, these random refinements exhibit the features of the solution at those moments.

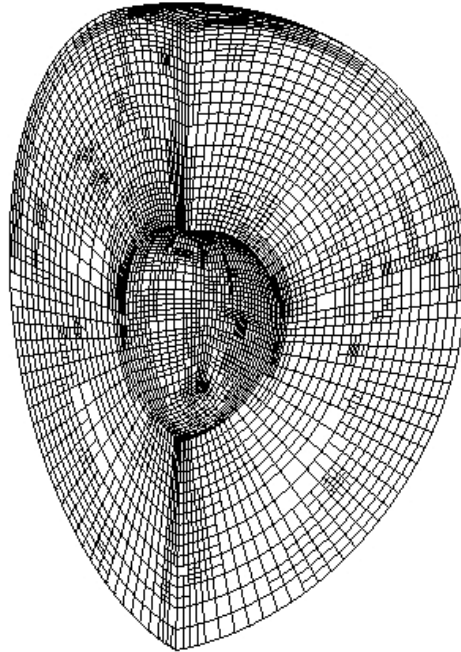


Figure 13. Refine mesh for the concentric spheres (70192 cells)

Nusselt number was selected as the main criterion for monitoring the quality of the solution with mesh refinement. Figure 14 shows the values of Nusselt number on 5 consecutive meshes during the calculation. Please note the dramatic change of the predicted heat flux between the first mesh with 6000 cells and third mesh with 34525 cells. The calculation on the initial mesh under-predicted the heat-flux by more than 50% which is not acceptable for the engineering point of view. The variation of heat flux over the last three meshes is quite small even though the resolution of the mesh changed quite significantly. This indicates that the solution is close to mesh-independence and that the remaining discretisation error is within the 3% threshold.

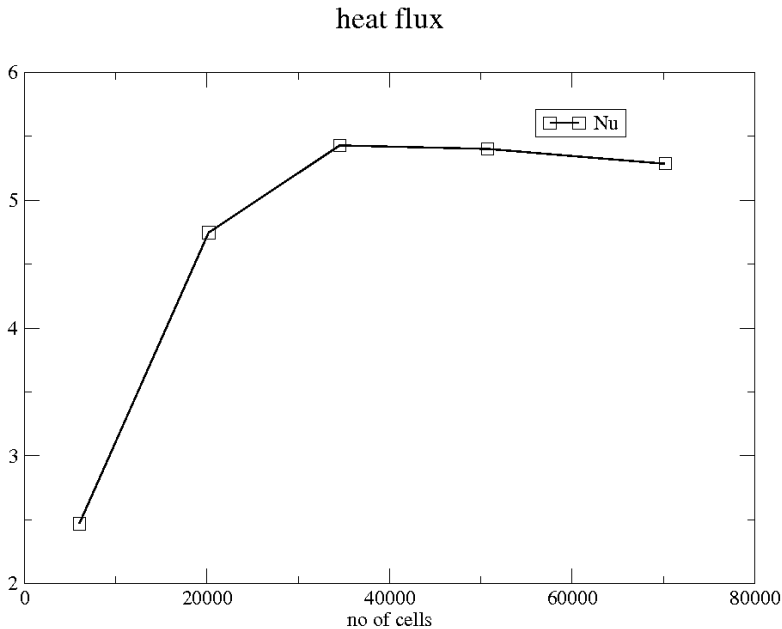


Figure 14. Heat flux between the concentric spheres

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

The paper has presented an anisotropic method for adaptive-mesh refinement which was applied to two cases of interest to the engineering community. The method is found capable of improving accuracy of solutions with reasonable computational resources due to anisotropic refinement of cells. The applicability of the method is hindered by the fact that it requires hexahedral meshes which are difficult to generate in complex geometries occurring in engineering practice. Additionally, the method can be further improved by performing error estimation and refinement based on averaged fields in case of transient cases.

## BIBLIOGRAPHY

1. Ferziger, J.H. and Perić, M., *Computational methods for fluid dynamics*, Springer Verlag, Berlin-New York, 1995.
2. Jasak, H., Error analysis and estimation in the Finite Volume method with applications to fluid flows, *PhD Thesis*, Imperial College, University of London, 1996.
3. Juretić, F., Error Analysis in Finite Volume CFD, *PhD Thesis*, Imperial College, University of London, 2005.
4. Chen, W.L., Lien, F.S., and Leschziner, M. A., Local mesh refinement within a multi-block structured-grid scheme for general flows, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol. 144, pages 327-369, 1997.
5. Chang, S. and Haworth, D. C., Adaptive grid refinement using cell-level and global imbalances, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Vol. 24, pages 375-392, 1997.



6. Mavriplis, D. J., Adaptive Mesh Generation for Viscous Flows Using Delaunay triangulation, *J. Comput. Phys.*, Vol. 90, pages 271-291, 1990.
7. Almeida, R. C., Feijoo, R. A., Galeao, A. C., Padra, C., and Silva, R. S., Adaptive finite element computational fluid dynamics using an anisotropic error estimator, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol. 182, pages 379-400, 2000.
8. Apel, T., Grosman, S., Jimack, P. K., and Meyer, A., A new methodology for anisotropic mesh refinement based upon error gradients, *Appl. Numer. Math.*, Vol. 50, pages 329-341, 2004.
9. Ait-Ali-Yahia, D., Habashi, W. G., Tam, A., Vallet, M. G., and Fortin, M., A directionally adaptive methodology using an Edge-Based Error Estimate on quadrilateral grids, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Vol. 23, pages 673-690, 1996.
10. Gnoffo, P. A., A Finite-Volume, Adaptive Grid Algorithm Applied to Planetary Entry Flowfields", *AIAA J.*, Vol. 21, pages 1249-1254, 1983.
11. Zienkiewicz, O. C. and Taylor, R. L., *The Finite Element method, vol 1: Basic formulation and linear problems*, McGraw-Hill, 4th edition, 1989.
12. Demkowicz, L., Oden, J.T., Rachowicz, W., and Hardy, O., Toward a universal *h-p* adaptive Finite Element strategy: Part I: Constrained approximation and data structure, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol. 77, pages 79-112, 1989.
13. Tam, A., Ait-Ali-Yahia, D., Robichaud, M. P., Moore, M., Kozel, V., and Habashi, W. G., Anisotropic mesh adaptation for 3D flows on structured and unstructured grids, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol. 189, pages 1205-1230, 2000.

doc. dr. sc. Branko KLARIN, dipl. ing.,  
Sveučilište u Splitu  
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje  
Ruđera Boškovića bb  
21 000 Split  
e-mail: branko.klarin@fesb.hr

Sandro NIŽETIĆ, dipl. ing.  
Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split

Jadran ROJE, dipl. ing.  
Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split

## OSNOVNA UNAPREĐENJA SOLARNE DIMNJAČNE ELEKTRANE

Sažetak:

U radu se opisuju numerički postupci i rezultati simulacije strujanja kroz solarnu dimnjačnu elektranu. Zbog malih Reynoldsovih brojeva moguće je izvesti određena aerodinamička unapređenja. Rad povezuje vanjsku dovedenu toplinu s parametrima unutarnjeg strujanja. Osnovna geometrija solarnog dimnjaka izvedena je i analizirana pomoću CFD aplikacije u trodimenzionalnoj domeni. Osnovna pretpostavka rada je povećanje efikasnosti postizanjem optimalnog pada tlaka kroz turbinu i najveće produkcije električne energije promjenom geometrije. Rezultati su numerički testirani i uspoređeni s poznatim parametrima uz primjenjena unapređenja. Izdvojeno je i analizirano više geometrijskih oblika unutrašnjosti solarnog dimnjaka. Isto tako mijenjani su i neki vanjski oblici. Testiranje dobivenog obavljeno je usporedbom s poznatim mjerenim vrijednostima sličnog izvedenog postrojenja (Manzanares, Španjolska). Usporedbe ukazuju na ostvarenje predviđenog poboljšanja efikasnosti i mogu biti baza za daljnji eksperimentalni rad.

## BASIC SOLAR CHIMNEY FLOW IMPROVEMENTS

Abstract:

This paper deals with the numerical analysis procedure and results of air flow simulation through solar chimney. Because of low Reynolds numbers, some aerodynamic improvements could be obtained. Paper links input heat energy with geometry or air flow parameters. Basic solar chimney geometry is carried out and analyzed with CFD application in three dimensional domains. Main assumption is to reach the optimal fractional pressure drop across turbines and maximal electric energy production by solar chimney geometry adaptation. Results are numerically tested by known parameters and improvements are applied and tested. Various shapes of internal solar chimney geometry are applied and the best for given input parameters are extracted. Also, some external geometry shape solutions are investigated. Test includes comparison to the known measured air flow results in similar solar chimney (Manzanares, Spain). Results provided validate the assumptions and could be a base for further experimental investigations.

Doc. dr. sc. Miroslav Ruševljan

Doc. dr. sc. Vladimir Soldo

Prof. dr. sc. Tonko Ćurko

## OPTIMAL SIZING OF BOREHOLE HEAT EXCHANGERS

### ABSTRACT

The heat pumps coupled to the borehole heat exchangers (BHE) can serve for heating and/or cooling of buildings. Optimal sizing of BHE is important because of high drilling costs and importance of matching borehole thermal capacity with the capacity of the heat pump.

Proper design of such systems is usually based on complex mathematical simulations that have to be performed not only for peak building loads, but also for building loads that are calculated throughout the whole year. For this reason the building loads have to be analysed in more detail than for sizing of a conventional system. Designers of heat pumps systems coupled to the BHE should also take into account the long-term temperature changes in the ground surrounding the BHE, which would influence the overall efficiency of the system during its life cycle. The required BHE length is substantially influenced by the thermal conductivity of the ground, that can be only roughly estimated from the local geological data. Experimental thermal response tests provide a good estimate of the ground thermal conductivity and of the borehole thermal resistance. High cost of the thermal response test reduces its application to commercial and institutional objects with the large number of BHE.

In this work the overview of calculation methods for the heat pumps coupled to the BHE is presented, with suggestions for optimal sizing of the BHE.

### INTRODUCTION

Heat pumps combined with vertical borehole heat exchangers (BHE) are using the ground as a heat source or sink for the purpose of heating or cooling of buildings. The depth of the boreholes usually varies between 40 and 200 m, and the diameter between 75 and 150 mm. Heat exchanger usually consists of one or two U-shaped pipes which are inserted inside the borehole. After the U-pipes are inserted, the borehole is backfilled with thermally enhanced grout. The heat transferring fluid recirculates between the BHE and the heat pump evaporator or condenser. In the heating mode the temperature of the ground surrounding the borehole is decreased. In the cooling mode it is increased. In cold climates, where the heating mode dominates, the fluid extraction temperatures usually fall below 0 °C, requiring the addition of antifreeze to the water.

After many years of operation the heat extraction by the borehole tends to reach a steady-state condition in the ground surrounding the borehole. In steady-state the extracted heat is supplied from two major sources. One is a constant geothermal heat flux, that originates from the deep ground below the borehole, and the other is a radial- and time-dependent heat flux that comes from the surroundings over the ground surface. The contribution of the ground surface heat flux to the borehole heat extraction becomes significant after many years of operation. During the same period of time the heat accumulated in the ground surrounding the borehole is exhausted, and thermal capacity of the ground becomes unimportant. Reaching the steady-state condition practically means that the long-term temperature change in the ground can be neglected, and that the thermal capacity of the ground is not an influencing parameter. In the steady-state the ground becomes fully reversible heat source.

Where there is a significant disbalance between the heat that is extracted from the ground during cold season, and the heat that is returned to the ground during warm season, the long-term efficiency of the BHE is fundamental for its proper dimensioning.

The actual heat transfer to or from the borehole varies in accordance to changing building energy requirements. The resulting short time-step fluctuations in the supply and return temperatures of the heat transferring fluid typically vary from 5 – 10 °C over a given day. The low temperatures of the fluid adversely influence the coefficient of performance (COP) of the heat pump. Proper dimensioning of the borehole depends on both short-term and long-term effects. The short-term fluctuations influence temperature changes not only in the vicinity of the borehole but also in the borehole itself. At hourly and sub-hourly fluctuations the thermal capacity of the borehole plays significant role. From the beginning of constant heat injection the approximated time needed to reach the steady-state within the borehole is up to 12 hours.

Theoretical interpretations of the heat transfer phenomena within the ground surrounding the borehole are usually based on Kelvin's (1861) line-source theory. Practical elaboration of this theory was given by Ingersoll (1948, 1954), though providing only rough approximations to the real heat transfer process.

## THE LINE-SOURCE MODEL

The time dependent ground temperature distribution around the borehole heat exchanger can be expressed in polar coordinates:

$$\frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

As the ratio of the BHE length to its diameter is of the order of  $10^3$ , the line-source model may be used in most simulations that have been developed for the short and medium time scales where axial effects can be neglected.

Mathematical solution, based on the first principles, for the temperature field development around an instantaneous line-source in an infinite solid was found by Carslaw and Jaeger [1] in the form:

$$T(r,t) = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \int_{\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} \cdot du = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot Ei\left(\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}\right) \quad (2)$$

It is supposed that for the time  $t \leq 0$  the temperature in the ground is zero, and thus Equation (2) gives the perturbation temperature in the ground. The heat source rate  $q$  is specified per meter of the line-source, W/(m·K). It is also called "heat extraction step", as it is defined with Heaviside's step-function:

$$q(t) = q_1 \cdot He(t) \quad He(t < 0) = 0; \quad He(t \geq 0) = 1 \quad (3)$$

For values of  $(a \cdot t)/r^2$  that are large enough the so-called exponential integral  $Ei$  can be approximated with:

$$Ei\left(\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}\right) \approx \ln\left(\frac{4 \cdot a \cdot t}{r^2}\right) - \gamma \quad \frac{a \cdot t}{r^2} \geq 5, \quad (4)$$

where  $\gamma \approx 0,5772$  is Euler's constant. The maximum error when applying Equation (4) depends on  $(a \cdot t)/r^2$ , and is 10% for  $(a \cdot t)/r^2 = 5$ , but falls below 2,5% for  $(a \cdot t)/r^2 \geq 20$ , [6].

### Eskilson's long time step model

Eskilson [2] developed a theory based on the line-source model for the long-time temperature distribution in the ground surrounding the borehole. The thermal process in the borehole is separated from the thermal process in the ground by considering the average temperature of the borehole wall. In this model the effect of groundwater filtration and the thermal disturbance at the ground surface are neglected.

Combining analytical and numerical approach, Eskilson succeeded to mathematically describe the long-time temperature response of the ground around a single borehole in homogeneous ground on a radial-axial coordinate system. In his model the influence of the thermal capacitance and thermal resistance of the grout, pipe walls, and the heat transferring fluid flow is neglected. The temperature response of the borehole field for any borehole configuration is then obtained by using the principle of superposition.

The effective undisturbed ground temperature  $T_{0m}$  (the average temperature of the ground around the borehole before the heat transfer takes place) is usually defined with the undisturbed ground temperature at the depth  $z = D + H / 2$ .

$$T_{0m} = T_0 + \alpha \cdot \left(D + \frac{H}{2}\right) \quad (5)$$

The vertical temperature profile of the ground indicates permanent heat flow from dispersed heat sources deep in the ground. The value of the geothermal gradient  $\alpha$  is typically from 0,03 to 0,05 °C/m.

The mean annual temperature of the ground surface  $T_0$  is taken to be approximately equal  $T_{0m}$ . The uppermost part of the borehole, corresponding to the depth  $D$ , is treated as thermally insulated. The average heat exchange between the ground and the borehole is, expressed per meter of active borehole length  $H$ , given by

$$q(t) = \frac{1}{H} \cdot \int_D^{D+H} 2 \cdot \pi \cdot r_b \cdot \lambda \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=r_b} \cdot dz \quad (6)$$

In this model the borehole wall temperature and thermal properties of the ground are constants over the borehole length. Even in the case of stratified ground the average values of ground properties over the borehole length can be used as constants. With Equation (6) either the heat flow rate  $q(t)$  at the borehole wall can be calculated for a prescribed borehole wall temperature  $T_b(t)$ , or the borehole wall temperature can be calculated for a prescribed heat flow rate. The solution of Equation (6) for the simplest case of constant heat flow rate on the borehole wall is expressed in the form:

$$T_b(t) = T_{0m} - q_1 \cdot R_q \quad (7)$$

In Equation (7) the positive value of  $q_1$  corresponds to heat extraction, and  $R_q$  presents the thermal resistance in the ground due to the heat extraction step.

At first, in the ground near the borehole dominates radial thermal process, and the thermal resistance is a time function. With the line-source approximation of the borehole, Equations (2) and (4), follows the expression for the estimated thermal resistance in the ground

$$R'_q \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left[ \ln \left( \frac{\sqrt{4 \cdot a \cdot t}}{r_b} \right) - \frac{\gamma}{2} \right] \quad (8)$$

The nonradial process around the end regions of the borehole can reasonably be neglected since the ratio of the length to the diameter of the borehole is of the order of  $10^3$ . For the same reason the borehole can be theoretically treated as the "line source or sink".

In practice, heat extraction step is realized by starting the flow of the fluid with the temperature lower than the ground temperature. The effective thermal resistance between the borehole wall and the fluid,  $R_b$ , is defined with equation

$$T_b - T_f = q \cdot R_b \quad (9)$$

In order to realize a high heat flow rate with small temperature drop  $T_b - T_f$ , the borehole thermal resistance should be low. This can be realized by the application of grouting material with high thermal conductivity, spacing pipes close to the borehole wall, and ensuring that the fluid flow within the pipes is turbulent.

The lower time limit for Equation (8) is based on the criterion for attaining local steady-state within the borehole and its immediate vicinity. This time limit is associated with the borehole radius, so that from the validity limitation of Equation (4) follows

$$t_b = \frac{5 \cdot r_b^2}{a} + \frac{2 \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot H}{V_f} \approx \frac{5 \cdot r_b^2}{a}, \tag{10}$$

and usually it is a few hours.

At the steady-state condition the temperature change in the ground due to heat extraction (or injection) caused by the borehole can be neglected. Eskilson found steady-state condition to be approximately reached after time  $t_s$ , when the borehole wall temperature becomes virtually constant:

$$t_s = \frac{H^2}{9 \cdot a}, \tag{11}$$

The steady-state time  $t_s$  serves as criterion for the upper limit time for the validity of Equation (4), and it is typically a few years. At the steady-state the thermal resistance due to the heat extraction step becomes constant:

$$R_q = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \ln\left(\frac{H}{\sqrt{4,5} \cdot r_b}\right) \tag{12}$$

Equations (8) and (12) show a very good accuracy for  $t \leq 0,1 \cdot t_s$  and  $t > 10 \cdot t_s$ , respectively. The maximum error of up to 7% occurs in the intermediate interval  $0,1 \cdot t_s < t < 10 \cdot t_s$ .

For larger times the thermal process in the ground becomes three-dimensional.

Eskilson expressed the results of his analytical and numerical studies of the transient resistant due to heat extraction step with dimensionless g-functions:

$$R_q = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot g\left(\frac{t}{t_s}, \frac{r_b}{H}\right) \tag{13}$$

G-functions represent the non-dimensionalized resistance between the ground and the borehole wall. In his finite difference analysis Eskilson neglected the borehole thermal resistance and capacitance effects, restricting the minimum time to  $t_b$ , according to Equation (10). Numerically calculated borehole wall temperatures allowed him to calculate the corresponding g-functions, using Equation (7).

Introduction of g-functions, defined with Equation (13), that represent the ground thermal resistance and not the borehole thermal resistance, allowed the application of a single long-time step g-function for any borehole geometry and soil conductivity. The variation of g-function with borehole radius is expressed with:

$$g\left(\frac{t}{t_s}, \frac{r_b^*}{H}\right) = g\left(\frac{t}{t_s}, \frac{r_b}{H}\right) - \ln \frac{r_b^*}{r_b} \tag{14}$$

Using spatial temperature distribution in the ground, resulting from the long time influence of a single borehole, Eskilson applied a spatial superposition principle to determine the long-time step g-functions for multiple borehole systems.

Figure 1 shows an example of g-functions calculated by Yavuzturk [4] for various multiple borehole configurations compared to the g-function for a single borehole, for the ratios  $r_b / H = 0,0005$  and  $B / H = 0,1$ .

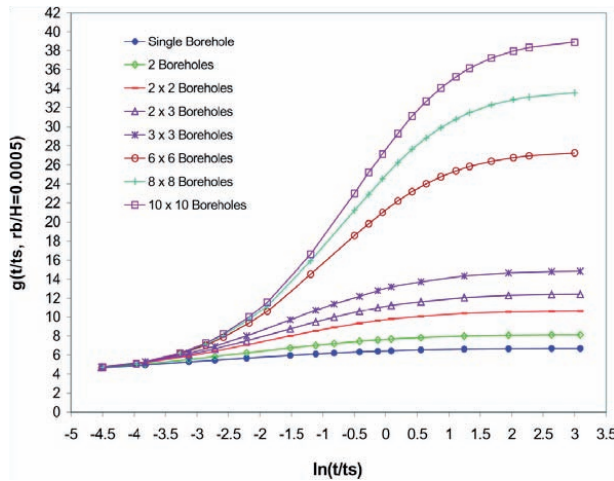


Figure 1: g-functions for a single borehole and multiple borehole configurations [4]

### Short time step models

The local condition around the borehole can substantially differ from the average values according to the fluctuations of the building energy demands. For this reason Eskilson’s model is inadequate for modeling systems with peak-load-dominant loading conditions. Yavuzturk [4] developed a two dimensional numerical model that calculates the average fluid temperatures in the borehole as a respond to heat pulses over subhourly time periods, for a given borehole geometry and and known thermal conductivity of a homogeneous ground. Numerically estimated borehole resistance is used to determine the average borehole wall temperature, Equation (9). Short time step g-functions are than calculated with Equations (7) and (13). Figure 2 shows an example of a short time-step g-functions, calculated [4] as extension of the long time-step g-functions.

Introduction of short time-step g-functions requires also new calculating techniques to solve the borehole thermal response to the arbitrary heat extraction/injection time functions. The methods that are successfully applied in long time-step based models are not applicable in short time-step models because of the huge number of step functions that have to be superinposed. In order to reduce computation time various load aggregation schemes are proposed [4], [11].



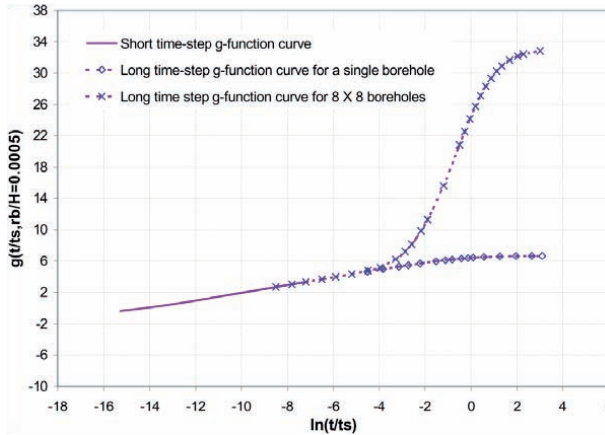


Figure 2: Short time-step g-function curve as an extension of the long time step g-functions plotted for a single borehole and an 8 × 8 borehole field [4]

### Thermal response test

In practice, the thermal ground properties can be only roughly estimated from the geological data, and the g-functions have to be estimated experimentally. For this purpose the so-called thermal response tests (TRT) are performed. On a test borehole the constant heat pulse (injection or extraction) is applied, for app. 50 hours. The fluid temperatures are recorded in intervals of 2 to 10 minutes, and are consequently plotted against  $\ln t$ . From Equations (7), (8) and (9) follows:

$$T_f(t) = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left[ \ln \left( \frac{4 \cdot a \cdot t}{r_b^2} \right) - \gamma \right] + q \cdot R_b + T_{0m} \tag{13}$$

Supposing that after time  $t_b$  the borehole thermal resistance  $R_b$  becomes constant, Equation (13) can be rewritten as:

$$T_f(t) = k \cdot \ln(t) + C \quad k = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \tag{14}$$

The thermal conductivity of the ground can be calculated from the slope  $k$  of the curve obtained from the test. As the heat transfer in the ground is not purely conductive, i.e. it comprises the convective component due to the groundwater flow, the values obtained by the TRT are also called "effective thermal conductivities". The groundwater flow is expressed with the Darcy-velocity  $m^3/(m^2 \cdot s)$ , the water flow rate through the free cross-section. It is typically a few meters per second.

The amount of groundwater flow is the main limitation to TRT [7], [8].

## Heat flow through the ground surface

Radial temperature distribution according to Equation (2) is valid for the endless line-source spaced in an endless solid. Perturbation temperature in an semi-infinite solid can be found [1] with applying the method of images. The zero temperature as boundary condition at the ground surface is obtained [2] by adding a finite mirror line-source above the ground. With such assumptions the resulting time-dependant total heat flow through the ground surface due to the heat extraction is:

$$Q_s = q_1 \cdot \sqrt{4 \cdot a \cdot t} \cdot \left( \operatorname{ierfc} \left( \frac{D}{\sqrt{4 \cdot a \cdot t}} \right) - \operatorname{ierfc} \left( \frac{D+H}{\sqrt{4 \cdot a \cdot t}} \right) \right) \quad (15)$$

$$\operatorname{ierfc}(x) = \frac{1}{\sqrt{x}} \cdot e^{-x^2} - x \cdot \operatorname{erfc}(x) \quad (16)$$

The fraction of the extracted thermal energy that originates from the ground surface can be expressed with:

$$\eta = \frac{Q_s}{H \cdot q_1} \quad (17)$$

The transient solution described with Equation (15) is illustrated by the example shown on **Figure 3** for a typical borehole with following parameters:

Borehole radius  $r_b = 75 \text{ mm}$

Active borehole length  $H = 50 \text{ m}, 100 \text{ m}, \text{ and } 150 \text{ m}$

Thermally insulated upper part of the borehole  $D = 2 \text{ m}$

Effective ground thermal conductivity  $\lambda = 2,4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Mean ground volumetric thermal capacity  $\rho \cdot c_p = 2,55 \text{ MJ}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$

Design heat extraction rate  $q = 50 \text{ W}/\text{m}$

Heat extraction step  $q_1$  represents the **annual** average heat extraction rate. With annual operating time of 1800 hours follows:

$$q_1 = \frac{1800}{365 \cdot 24} \cdot q = 10,3 \text{ W}/\text{m}$$

The Eskilson's steady time is calculated according to Equation (7) for the three borehole length:

$H =$	m	50	100	150
$t_s = \frac{H^2}{9 \cdot a} =$	years	7,93	31,7	71,4

**Figure 4** shows the average borehole wall temperature that is calculated using the same parameter.

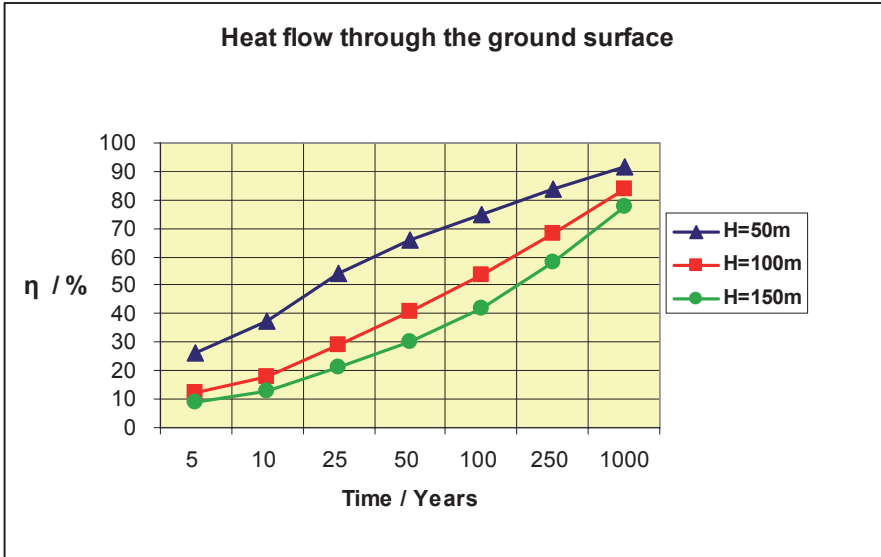


Figure 3: The fraction of the extracted thermal energy that originates from the ground surface for three different borehole lengths

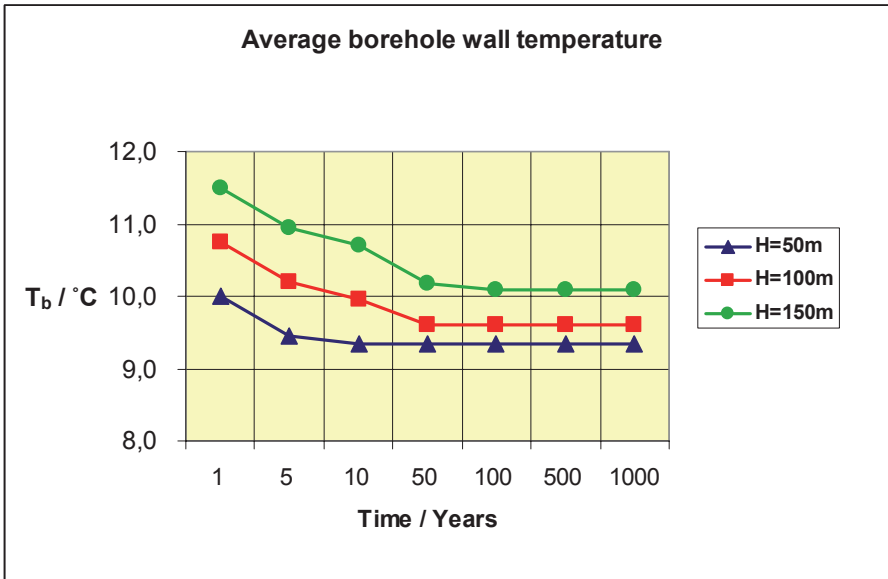


Figure 4 : The average borehole wall temperature for three different borehole lengths

The year averaged heat extraction rate  $q_1$  can be used also in the case of alternating heat extractions and injections. Deeper boreholes are obviously favorable (Figure 2) since higher average temperature on the borehole wall would influence higher average temperature of the fluid in the pipes, and thus greater COP of the heat pump. Designers of GSHP systems should also be aware that the overall performance of the system can continuously be reduced during several decades. In order to ensure the required heat for the heat pump evaporator the lower entering fluid temperature to the BHE, and the higher pumping rates will be necessary. The pumping power will also be increased because of the higher viscosity of antifreeze at lower temperature. The higher viscosity of antifreeze could lead to the impaired heat transfer within the pipes in the case of laminar flow.

## CONCLUSION

Optimization of the system consisting of the heat pump coupled to the borehole heat exchanger is based on the detailed analysis of building requirements for heating and cooling, calculated throughout the whole year. Minimizing life cycle costs for the whole system, requires simultaneous modeling of building thermal loads, borehole heat exchanger reaction, and the heat pump efficiency variation with load fluctuation. In cases where the building loads are heating or cooling dominated the attenuation of the borehole thermal capacity after years of operation must be foreseen. In the case of cooling dominated building additional heat sink (e.g. cooling tower) can help to reduce the load disbalance, but it also must be included in the simulation for optimization. For large commercial buildings borehole fields are needed to meet the required thermal capacity. The thermal interaction of the boreholes lowers the ability of borehole to extract or inject heat to the ground. The thermal interaction between the boreholes increases with the number of boreholes in the field and with the time of operation. The proper dimensioning of the borehole heat exchanger depends on the ground thermal properties influencing both the first cost and the life cycle costs. The most important design parameters are the undisturbed ground temperature and its effective thermal conductivity. They can be accurately determined only by "in-situ" performing the thermal response test. To make the ground coupled heat pump systems competitive with conventional systems the borehole heat exchanger must be constructed in a way to minimize its thermal resistance. This can be achieved by spacing plastic pipes close to the borehole wall and applying thermally enhanced grout. The flow of the fluid in pipes must be turbulent. The excessive antifreeze concentration and too large circulation rate of the fluid can cause unnecessary pumping power.

**NOMENCLATURE**

- $a$  thermal diffusivity of the ground,  $\text{m}^2/\text{s}$   
 $B$  distance between adjacent boreholes  
 $D$  depth of thermally insulated upper part of the borehole,  $\text{m}$   
 $H$  borehole length over which heat exchange takes place,  $\text{m}$   
 $q$  heat transfer per length of the borehole,  $\text{W}/\text{m}$   
 $r_b$  borehole radius,  $\text{m}$   
 $r$  radial distance,  $\text{m}$   
 $R$  thermal resistance,  $(\text{m}\cdot\text{K})/\text{W}$   
 $R_b$  thermal resistance between fluid and borehole wall,  $(\text{m}\cdot\text{K})/\text{W}$   
 $R_q$  thermal resistance due a heat extraction step,  $(\text{m}\cdot\text{K})/\text{W}$   
 $t$  time,  $\text{s}$   
 $t_s$  steady-state time defined by  $t_s = \frac{H^2}{9 \cdot a}$ ,  $\text{s}$   
 $T_b$  temperature at the borehole wall,  $^\circ\text{C}$   
 $T_0$  average air temperature at the ground surface,  $^\circ\text{C}$   
 $T_{0m}$  effective undisturbed temperature in the ground,  $^\circ\text{C}$   
 $z$  vertical coordinate,  $\text{m}$

**Greek symbols**

- $\alpha$  geothermal gradient,  $\text{K}/\text{m}$   
 $\gamma$  Eulers constant, ( $\approx 0,5772$ )  
 $\lambda$  thermal conductivity of the ground,  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$   
 $\rho$  density of the ground,  $\text{kg}/\text{m}^3$

## REFERENCES

1. Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C., 1959, *Conduction of Heat in Solids*, Second ed., Oxford University Press, Great Britain
2. Eskilson, P., 1987, *Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes*, Lund-MPh-87/13, Dept. of Mathematical Physics, Lund Institute of Technology, Sweden
3. Claesson, J. and Eskilson, P., 1988, *Conductive Heat Extraction to a Deep Borehole: Thermal Analyses and Dimensioning Rules*, *Energy* Vol. 13, No. 6, pp. 509-527
4. Yavuzturk, C., 1999, *Modeling of Vertical Ground Loop Heat Exchangers for Ground Source Heat Pump Systems*, PhD Thesis, Oklahoma State University, USA
5. Spitler, J.D. and Cullin, J., 2008, *Misconceptions Regarding Design of Ground-source Heat Pump Systems*, *Proceeding of the World Renewable Energy Congress*, July 20-25, Glasgow, Scotland
6. Gehlin, S., 2002, *Thermal Response Test – Method Development and Evaluation*, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, Sweden
7. Sanner, B. et al., 2005, *Thermal Response Test – Current Status and World-Wide Application*, *Proceedings World Geothermal Congress*, 24-29 April, Antalya, Turkey
8. Sanner, B. et al., 2007, *Technology, Development Status, and Routine Application of Thermal Response Test*, *Proceedings European Geothermal Congress*, 30 May - 1 June, Unteraching, Germany
9. Gehlin, S., Hellström, G., 2003, *Influence on Thermal Response Test by Groundwater Flow in Vertical Fractures in Hard Rock*, *Renewable Energy* 28, pp. 2221-2238
10. Young, T. R., 2001, *Development, Verification, and Design Analysis of the Borehole Fluid Thermal Mass Model for Approximating Short Term Borehole Thermal Response*, M.S. Thesis, Oklahoma State University, USA
11. Fisher, D. E. et al., 2006, *Implementation and Validation of Ground-Source Heat Pump System Models in an Integrated Building and System Simulation Environment*, *HVAC&R Research*, Vol. 12, No. 3a, July.

## KONVENCIONALNO GRIJANJE ILI GRIJANJE DIZALICOM TOPLINE

Vladimir SOLDI, Tonko ĆURKO, Marino GROZDEK

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5, 10 000 Zagreb  
e-mail: vladimir.soldo@fsb.hr, tel.: +385 1 6168 235, fax.: +385 1 6168 512

Dizalice topline smatraju se visokoučinkovitim sustavima za proizvodnju toplinske energije. Primjenjuju se u svim veličinama, od onih najmanjih za grijanje stanova, pa sve do sustava koji služe za grijanje čitavih naselja.

Vrlo niski pogonski troškovi za rad dizalica topline u odnosu na konvencionalne sustave grijanja (od dva do tri puta niži), te smanjena emisija stakleničkih plinova u atmosferu daje ovoj tehnologiji značajnu prednost i mogućnost za korištenje. Postoje i nedostaci, a oni se ogledaju u značajno većim investicijskim troškovima, više od dvostruko, ako se radi o geotermalnim dizalicama topline, te manjoj učinkovitosti ako se radi o dizalicama topline sa zrakom kao toplinskim izvorom. Investiciju dodatno poskupljuje primjena dizalica topline za niskotemperaturne sustave grijanja. Poticaji za ovakvu vrstu obnovljivih izvora energije, koji su prisutni u mnogim razvijenim zemljama svijeta, trebali bi pomoći većoj zastupljenosti ove tehnologije u praksi.

### 1. UVOD

Korištenje dizalica topline s tlom kao obnovljivim spremnikom topline bilježi jedan od najbržih porasta u području primjene obnovljivih izvora energije, mjereno brojem instaliranih jedinica u svijetu. Procjenjuje se da je u svijetu instalirano 1,7 miliona geotermalnih dizalica topline s tlom ili vodom kao izvorom topline, učinka grijanja 18 GW, [1]. Ovakvi su sustavi široko prihvaćeni u razvijenom svijetu, u čemu prednjače Švedska, SAD, Austrija, Njemačka, Švicarska. Jedno od najvećih polja vertikalnih bušotina u Europi nalazi se u Norveškoj (180 bušotina, svaka dubine 200 m). U SAD je 600 škola opremljeno s dizalicama topline tlo-voda u vertikalnoj izvedbi izmjenjivača. Prednosti ovakvih sustava ogledaju se u izuzetno visokoj učinkovitosti, dok s druge strane nedostaci su vezani za veliku početnu investiciju.

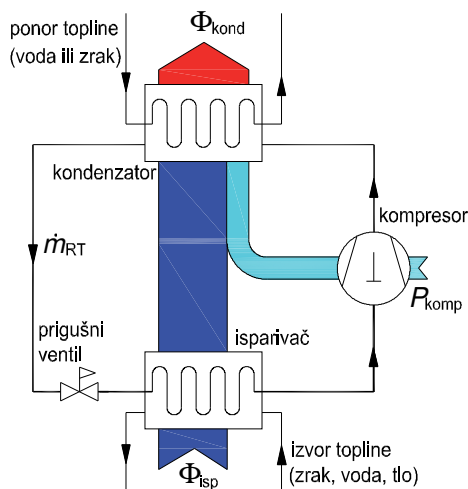
Ekonomska analiza rada različitih izvora energije za grijanje, pa tako i dizalica topline, obrađuje se u znanstvenoj i stručnoj literaturi. Većina tih analiza temelji se na godišnjem trošku kapitala za ulaganje u pojedini termotehnički sustav, koji se svodi na životni vijek uređaja [2-4].

U ovom radu dana je analiza ekonomske isplativosti geotermalnih dizalica topline u usporedbi s konvencionalnim sustavima grijanja koji koriste plin, ulje ili električnu energiju kao energent.

### 2. UČINKOVITOST DIZALICE TOPLINE

Ljevokretni rashladno-ogrjevni proces posreduje u prijenosu topline između dva toplinska spremnika, niskotemperaturnog spremnika kojem se odvodi toplina i pritom

se hladi, te visokotemperaturnog toplinskog spremnika kojem se ta toplina dovodi i pritom se grije (*Ilustracija 1.*).



*Ilustracija 1. Tijek energije u ljevokretnom kružnom procesu*

Najpoznatija i najraširenija dizalica topline je kućni hladnjak („frižider“) koji se koristi s ciljem hlađenja, odnosno primarni cilj je odvođenje topline tretiranoj robi (izvor topline) pri temperaturi nižoj od okoline, a ostvaruje se putem isparivača. Inače u praksi se uvriježio naziv dizalica topline za ljevokretni uređaj koji se koristi za potrebe grijanja.

Toplinski množitelj, ili faktor grijanja dizalice topline definiran je izrazom:

$$\varepsilon_{gr} = \frac{\Phi_{kond}}{P_{komp}} \quad (1)$$

pri čemu učinak grijanja koji predstavlja učinak kondenzatora iznosi:

$$\Phi_{kond} \approx \Phi_{isp} + P_{komp} \quad [W] \quad (2)$$

Od toplinskog množitelja (1), relevantniji je godišnji toplinski množitelj (engl. *Seasonal performance factor*) koji se koristi za potrebe vrednovanja energetske učinkovitosti dizalice topline:

$$SPF = \frac{\Sigma Q_{kond}}{\Sigma E} \quad (3)$$

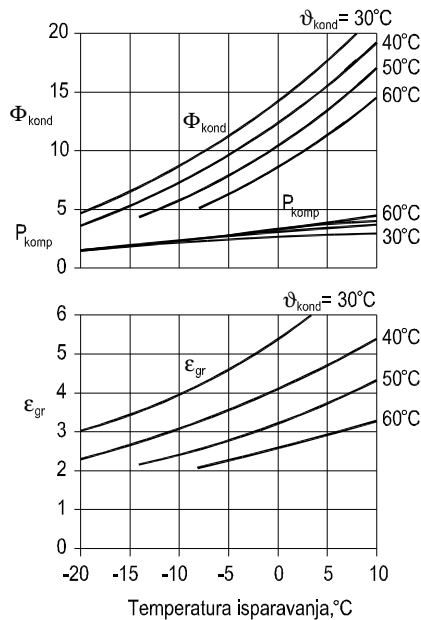
je drugi faktor dizalice topline, a definiran je kao omjer stvarno dobavljene toplinske energije tijekom godine ( $\Sigma Q_{kond}$ ) i tijekom godine ukupne utrošene energije ( $\Sigma E$ ) za pogon kompresora, pumpi, ventilatora te sustava za odleđivanje isparivača.

Prosječni toplinski množitelj, ovisno o temperaturama toplinskog izvora i ponora, najčešće doseže vrijednosti od 2,5 do 4, a nerijetko i više. To npr. znači da za 1 kW



snage kompresora, snaga grijanja na kondenzatoru može biti i nekoliko puta veća, odnosno 2,5 do 4 kW. Učinkovitost dizalice topline smanjuje se s padom temperature toplinskog izvora, ali i s porastom temperature ogrjevnog medija na izlazu iz kondenzatora. Sustavi za grijanje najčešće su dizalice topline namijenjene za niskotemperaturno grijanje prostora (ako se radi o vodi temperaturni režim je 45/35 °C) te za zagrijavanje potrošne tople vode.

Pravilo koje vrijedi je: što je manja temperaturna razlika između temperature toplinskog izvora (zrak, voda, tlo) i temperature toplinskog ponora (zraka ili vode koja se grije), to će veći biti učinak grijanja i manja snaga kompresora, odnosno bit će veći toplinski množitelj (*Ilustracija 2.*).



*Ilustracija 2. Ovisnost toplinskog množitelja o temperaturama isparavanja i kondenzacije [5]*

Ogrjevni učinak dizalice topline određen je jednadžbom (2).  
 Rashladni učinak isparivača određen je izrazom (4):

$$\dot{m}_{RT} q_o = V_s n \lambda \rho_{usis} q_o, [W] \tag{4}$$

Ogrjevni učinak kondenzatora (2) određen je izrazom (5):

$$\dot{m}_{RT} q_{kond} = V_s n \lambda \rho_{usis} q_{kond}, [W] \tag{5}$$

pri čemu su

- $\dot{m}_{RT}$  – protočna masa radne tvari, kg/s
- $V_s$  – stapajni volumen kompresora, m<sup>3</sup>
- $n$  – brzina vrtnje elektromotora, s<sup>-1</sup>
- $\lambda$  – volumetrički stupanj djelovanja kompresora
- $\rho_{usis}$  – gustoća radne tvari na usisu u kompresor, kg/m<sup>3</sup>

$q_0$  – specifični rashladni učinak, J/kg

$q_{\text{kond}}$  - specifični ogrjevni učinak, J/kg

Jednadžbe (4) i (5) određuju rashladni učinak isparivača i ogrjevni učinak kondenzatora. Osim konstrukcijskih veličina kompresora ( $V_s, n$ ) rashladni učinak ovisi i o volumetričkom stupnju djelovanja kompresora ( $\lambda$ ), gustoći radne tvari na usisu u kompresor ( $\rho_{\text{usis}}$ ) i specifičnom rashladnom učinku ( $q_0$ ). Navedena termofizikalna svojstva za poznatu radnu tvar su funkcija temperature kondenzacije i isparavanja radne tvari.

Može se zaključiti da učinkovitost dizalice topline bitno ovisi o temperaturama toplinskih spremnika.

Tako npr. norma HRN EN 14511 za radnu točku B0/W35 definira učinkovitost dizalice topline tlo-voda za temperaturni režim glikolne smjese na isparivaču: 0/-3 °C i temperaturni režim vode na kondenzatoru 30/35 °C. Komercijalne dizalice topline za navedene uvjete imaju faktor grijanja oko 4,5 (*Tablica 1.*). Faktor grijanja za radnu točku B0/W55 i temperaturni režim vode na kondenzatoru 50/55 °C je značajno manji i iznosi oko 3,0.

*Tablica 1. Radne točke komercijalnih dizalica topline tlo-voda prema HRN EN 14511*

Norma HRN EN 14511	DIZALICA TOPLINE <b>TLO-VODA</b>			
	B0/W35*		B0/W55**	
Učinak grijanja	10,4	10,8	9,5	9,8
El. snaga kompresora	2,4	2,4	3,3	3,3
Faktor grijanja	4,4	4,5	2,9	3,0

\*Temperaturni režim glikolne smjese na isparivaču: 0/-3 °C; Temperaturni režim vode na kondenzatoru 30/35 °C

\*\*Temperaturni režim glikolne smjese na isparivaču: 0/-3 °C; Temperaturni režim vode na kondenzatoru 50/55 °C

Za dizalice topline koje koriste vodu kao toplinski izvor, norma HRN EN 14511 određuje radnu točku W10/W35, pri čemu je temperaturni režim vode na isparivaču: 10/5 °C, a na kondenzatoru 30/35 °C. Manja temperaturna razlika između toplinskih spremnika za posljedicu ima porast vrijednosti toplinskog množitelja koji iznosi za komercijalne dizalice topline približno 5,5 (*Tablica 2.*). Za radnu točku W10/W55 toplinski množitelj iznosi približno 3,5.

*Tablica 2. Radne točke komercijalnih dizalica topline voda-voda prema HRN EN 14511*

Norma HRN EN 14511	DIZALICA TOPLINE <b>VODA-VODA</b>			
	W10/W35*		W10/W55**	
Učinak grijanja	11,6	10,9	10,2	9,6
El. snaga kompresora	2,1	1,9	3,0	2,7
Faktor grijanja	5,5	5,7	3,5	3,6

\*Temperaturni režim vode na isparivaču: 10/5 °C; Temperaturni režim vode na kondenzatoru 30/35 °C

\*\*Temperaturni režim vode na isparivaču: 10/5 °C; Temperaturni režim vode na kondenzatoru 50/55 °C

## 3. EKONOMSKI POKAZATELJI PRIMJENE DIZALICE TOPLINE

Analiza ekonomske isplativosti različitih izvora toplinske energije provedena je na primjeru obiteljske kuće grijane površine 250 m<sup>2</sup>, snage grijanja 15 kW. Procijenjena specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje je 88 kWh/(m<sup>2</sup> god), što znači da je potrebna toplinska energija za grijanje obiteljske kuće 22.000 kWh/god. Na temelju maloprodajne cijene termotehničke opreme i cijene izvedbe pojedinih termotehničkih sustava za grijanje procijenjeni su investicijski troškovi različitih sustava grijanja. Proračunati su pogonski troškovi prema važećim cijenama pojedinih energenata pri čemu je uzeta u obzir učinkovitost pojedinog termotehničkog sustava grijanja. Godišnji stupanj djelovanja plinskog bojlera uzet je 0,9, dok je godišnji stupanj djelovanja uljnog kotla procijenjen na 0,87. Za sustave s dizalicom topline tlo-voda (horizontalna izvedba izmjenjivača) i voda-voda s crpnim i ponornim bunarima pretpostavljen je niskotemperaturni panelni i podni sustav grijanja s temperaturnim režimom 35/30 °C. Godišnji faktor grijanja dizalice topline tlo-voda iznosi 4, dok je godišnji faktor grijanja dizalice topline voda-voda 5,2. Prosječna cijena izvedbe panelnog i podnog grijanja uzeta je 250 kn/m<sup>2</sup> grijane površine kuće.

Rezultati ekonomske analize različitih sustava grijanja prikazani su u *Tablici 3.*

*Tablica 3.: Parametri ekonomske analize grijanja obiteljske kuće različitim izvorima toplinske energije A=250 m<sup>2</sup>, Q<sub>gr</sub> = 22.000 kWh/god, q<sub>gr</sub> ≈ 90 W/(m<sup>2</sup> god), Φ<sub>gr</sub> = 15 kW*

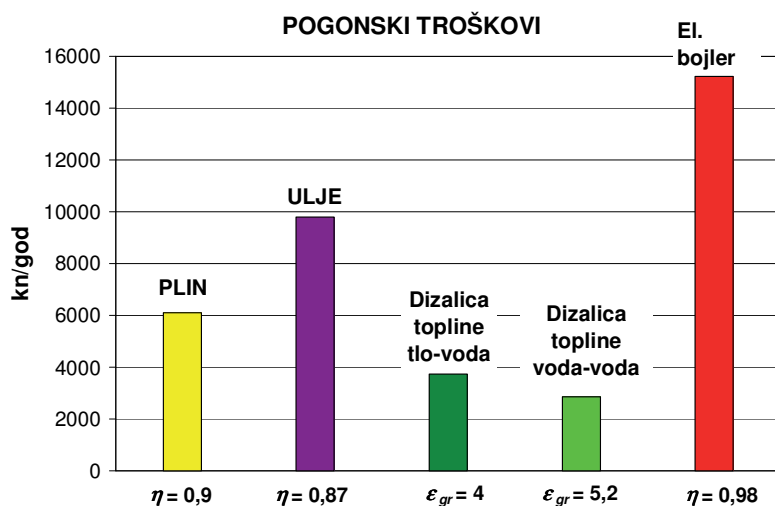
	Plin	Ulje	DT tlo-voda	DT voda-voda	Električni bojler
<b>ENERGETSKA ANALIZA</b>					
Potrebna topl. en. za gr., kWh/god	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
Stupanj djelovanja/faktor grijanja	0,9	0,87	4	5,2	0,98
Efektivna energija, kWh/god	24.444	25.287	5.500	4.231	22.450
Utrošak energenta, jed mjere/ god	2.630 m <sup>3</sup>	2520 lit	5.500 kWh	4.231 kWh	22.450 kWh
Emisija CO <sub>2</sub> , kg	4.910	6.680	2.070	1.590	8.440
<b>EKONOMSKA ANALIZA</b>					
Investicija, kn	50.000,00	45.000,00	120.000,00	135.000,00	32.000,00
Faktor anuiteta	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095
Trošak kapitala, kn/god	<b>4.772,00</b>	<b>4.295,00</b>	<b>11.453,00</b>	<b>12.885,00</b>	<b>3.054,00</b>
Cijena energenta, kn/jed mjeri	2,434	3,90	0,75/0,39	0,75/0,39	0,75/0,39
Cijena energenta, kn/kWh	0,25	0,39	0,75/0,39	0,75/0,39	0,75/0,39
Pogonski troškovi, kn/god	<b>6.111,00</b>	<b>9.786,00</b>	<b>3.729,00</b>	<b>2.868,00</b>	<b>15.220,00</b>
Održavanje, kn/god	1.000,00	1.000,00	500,00	500,00	300,00
Troškovi kapitala i pogona, kn/god	11.883,00	15.081,00	15.682,00	16.254,00	18.576,00
Troškovi kroz 17 godina, kn	200.017,00	256.381,00	266.600,00	276.310,00	315.788,00

Analiza investicijskih troškova provedena je prema godišnjem trošku kapitala koji je funkcija faktora anuiteta. Faktor anuiteta (*a*) funkcija je važeće kamatne stope (*r*) i životnog vijeka uređaja (*t*), a računa se prema sljedećem izrazu:

$$a = \frac{r}{1 - (1+r)^{-t}}$$

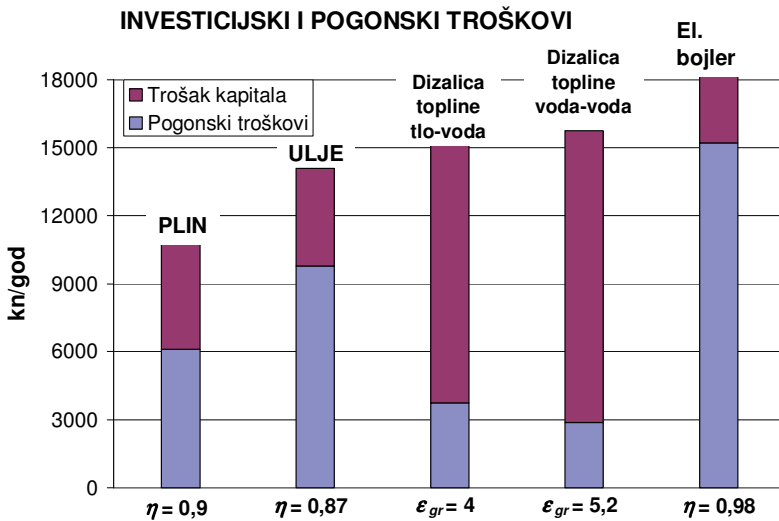
U proračunu je korištena kamatna stopa od 6 %, te je procijenjen životni vijek uređaja na 17 godina. U stručnoj i znanstvenoj literaturi životni vijek dizalice topline uzima se od 15 do 20 godina.

*Ilustracija 3.* pokazuje da su pogonski troškovi sustava grijanja obiteljske kuće s dizalicom topline u odnosu na konvencionalne sustave grijanja (prirodni plin i ulje) značajno manji za današnju cijenu energenata. U odnosu na ulje kao energent, pogonski troškovi su dva do tri puta manji. U odnosu na plin troškovi niskotemperaturnog grijanja s dizalicom topline voda-voda su više od dvostruko niži, dok su za dizalicu topline tlo-voda troškovi pogona 1,65 puta niži.



*Ilustracija 3. Pogonski troškovi različitih izvora toplinske energije za grijanje obiteljske kuće 250 m<sup>2</sup>*

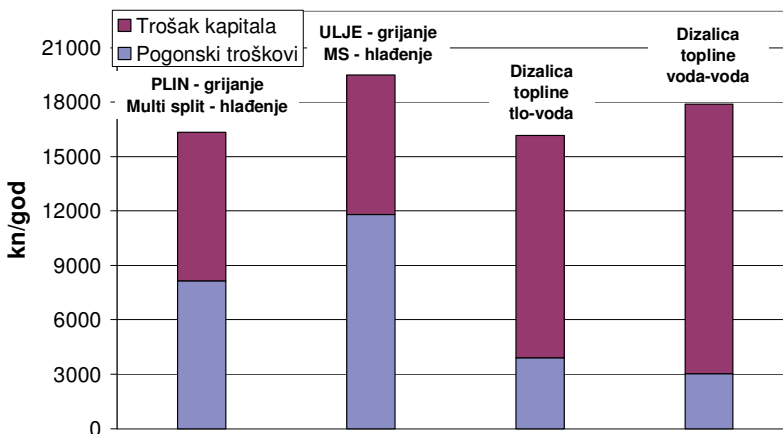
S druge strane investicijski troškovi za sustave geotermalnih dizalica topline su značajno veći u odnosu na konvencionalne sustave grijanja (*Ilustracija 4.*). Ti su troškovi dvostruko ili trostruko veći u odnosu na sustave grijanja koji koriste plin ili ulje kao energent.



Ilustracija 4. Investicijski i pogonski troškovi različitih izvora toplinske energije za grijanje obiteljske kuće 250 m<sup>2</sup>

Analiza pokazuje da je jednostavni period povrata ulaganja za ugradnju geotermalnih dizalica topline oko 20 godina. Ako se u analizu uključi uz grijanje i hlađenje obiteljske kuće dizalicom topline, period povrata ulaganja geotermalnih dizalica topline biti će od 10 do 12 godina. Ilustracija 5. prikazuje investicijske i pogonske troškove različitih sustava grijanja i hlađenja obiteljske kuće.

**INVESTICIJSKI I POGONSKI TROŠKOVI - Grijanje i hlađenje**



Ilustracija 5. Investicijski i pogonski troškovi različitih sustava grijanja i hlađenja obiteljske kuće,  $A=250 \text{ m}^2$ ,  $Q_{hl} = 9.000 \text{ kWh/god}$ ,  $q_{hl} \approx 35 \text{ W/(m}^2 \text{ god)}$ ,  $\Phi_{hl} = 12 \text{ kW}$

Ekonomska analiza pokazuje da je glavna barijera u široj primjeni tehnologije dizalica topline u velikim početnim troškovima u samu investiciju. U razvijenom svijetu razvijeni su modeli poticaja za primjenu ove obnovljive vrste izvora energije koji se bazira na godišnjoj potrošnji toplinske energije objekta ili instaliranom toplinskom učinku dizalice topline. Uvjet je da je vrijednost godišnjeg toplinskog množitelja veća od 3,5 ili 4,0. U Hrvatskoj se također planiraju poticaji za primjenu geotermalnih dizalica topline, što će pomoći široj primjeni ove tehnologije.

#### 4. ZAKLJUČAK

Dizalice topline su visokoučinski sustavi namijenjeni za niske temperature sustave grijanja (podno, zidno, ventilokonvektorsko), te zagrijavanje PTV-a. Optimalna temperatura polazne vode s kondenzatora dizalice topline iznosi do 45 °C. U odnosu na konvencionalne sustave grijanja pogonski su troškovi više od dvostruko manji. Značajno je smanjena i emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu. Nedostatak dizalica topline je visoka investicija koja je više od dvostruko veća u odnosu na konvencionalne sustave grijanja koji koriste trenutno jeftin prirodni plin ili ulje kao energent. U ovisnosti o korištenju geotermalnih dizalica topline samo za grijanje, ili za grijanje i hlađenje, period povrata ulaganja iznosi od 10 do 20 godina.

Vrijedi istaknuti da su u Hrvatskoj u posljednjih godinu dana izvedene prve dizalice topline tlo-voda s izmjenjivačem u vertikalnoj bušotini dubine 100 m. Nešto su širu primjenu našle dizalice topline tlo voda s horizontalno položenim izmjenjivačem. I dalje su sustavi zrak-zrak ili zrak-voda najzastupljeniji.

Eksperimentalna istraživanja, izdavanje publikacija i popularnih prezentacija, te praktična primjena tehnologije vezane za dizalice topline trebaju pomoći boljem razumijevanju ove tematike.

#### LITERATURA

- [1] J. Spittler, J. Cullin: *Misconceptions Regarding Design of Ground-source Heat Pump Systems*, Proceedings of the World Renewable Energy Congress, Glasgow, 2008.
- [2] H. Esen, M. Inalli, M. Esen: *Technoeconomic appraisal of ground source heat pump system for a heating in eastern Turkey*, Energy Conversion and Management 47, 1281-1297, 2006.
- [3] K. Rafferty, *A capital cost comparison of commercial ground – source heat pump systems*, Geo-Heat Center Oregon Institute of Technology
- [4] ProHeatPump Project Report, *Promotion of efficient heat pumps for heating*, Project No. EIE/06/072 / S12.444283, 2006.
- [5] E. Granryd, *Introduction to refrigerating engineering*, Part II, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2005.

mr. sc. Vanda NIKOLIĆ, dipl. ing.  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5  
10 000 Zagreb

Marino GROZDEK, dipl. ing.  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

prof. dr. sc. Boris HALASZ, dipl. ing.  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

## **ANALIZA ISPLATIVOSTI BANKE LEDA U RASHLADNIM POSTROJENJIMA**

### **COST ANALYSIS OF ICE BANK IN REFRIGERATION PLANTS**

U radu je istražena ekonomska opravdanost primjene banke leda u sustavima hlađenja u procesnoj industriji za područje Republike Hrvatske. Kao primjer uzet je tipičan proces u mljekari. Pri skladištenju i obradi mlijeka prvi nužni korak je njegovo brzo hlađenje, za što se potreba za kratkotrajnim, a velikim rashladnim učinkom može namirivati iz banke leda. Opterećenje sustava je prikazano histogramom, što je realna snimka situacije na terenu. Toplinska energija se skladišti u latentnom obliku, u tipu banke leda kod kojeg se stvaranje i otapanje leda odvija s vanjske strane cijevi. U radu su uspoređivana dva osnovna sustava hlađenja: napredni sustav s bankom leda i osnovni sustav s rashladnim uređajem. Usporedbom ukupnih troškova postrojenja s različitim brojem modula u silosu i ukupnih troškova osnovnog rashladnog uređaja bez akumulacije leda može se procijeniti isplativost različitih rješenja. Kao osnova je poslužila simulacija rada banke leda programskim paketom 'Banka leda' razvijenim od strane autora. Rezultati simulacije su temelj za proračun investicijskih i pogonskih troškova promatranih sustava i za konačnu ocjenu isplativosti pojedinih rješenja u različitim vremenskim trajanjima.

## NUMERICAL ANALYSIS OF AIR-FLOW IN AIR-CONDITIONED SPACE OF SIGNIFICANT HEIGHT

Doc. dr. sc. Zoran Čarija, dipl. ing.<sup>1</sup>

Prof. dr. sc. Branimir Pavković, dipl. ing.<sup>2</sup>

Prof. dr. sc. Bernard Franković, dipl. ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department for Fluid Mechanics and Computational Engineering

<sup>2</sup> Department Of Thermodynamics And Energy Engineering

University of Rijeka - Faculty of Engineering

zcarija@riteh.hr

### ABSTRACT

Numerical analyses, performed as a part of a redesign project for an air-conditioning system of a sport hall, have been presented. The existing and redesigned air-duct arrangements as well as different types of air supply outlets have been analyzed using three dimensional steady-state numerical simulations of air flow. Commercial CFD software *Star-CCM+* has been used for fluid flow simulations based on the finite volume method. It was determined that the use of special diffuser type with variable outlet flow patterns for winter and summer operation produced better thermal environmental conditions in air-conditioned space, as compared to existing air grilles. The application of computational fluid dynamics (CFD) methods for air distribution analysis has proven to be a very useful tool in design of modern air distribution systems.

### INTRODUCTION

Both the existing and the reconstructed ventilation system of a sports hall were analyzed in this paper. The existing system supplies 8500 m<sup>3</sup>/h of fresh air that can be heated to 40°C at external temperatures of -8°C which is sufficient for the heating needs of the hall. It is, however, inadequate in the distribution of the air throughout the hall which is the main reason for insufficient heating (or cooling during the summer) and influences the comfort of the people inside. The ventilation grilles are set at a height of 7.6 m from the floor which makes it difficult for the heated air to reach the ground area intended for people. Air outflow vents are at a height of 7 m leaving the air circulation confined to the upper level of the hall. The existing ventilation grilles are fixed so they cannot be used to adjust the direction or speed of the conditioned air entering the hall forcing an identical air distribution during the summer (cooling) and winter (heating). This is least suitable during the summer as the conditioned cool air falls to the hall ground, due to its greater specific density, creating draft zones of faster and cooler air that are particularly discomforting. The inability to change the outflow vent area during the winter causes the conditioned hot air to insufficiently penetrate the ground area occupied by people. The existing air distribution was therefore deemed unsuitable for human comfort and required reconstruction. In order to be cost-effective and easily performed, the suggested modifications in the ventilation system were designed to keep the installed air conditioning equipment and change the make, position and number of outflow adjustable diffusers instead. Their number was increased from 20 to 24 and they were spaced evenly through the hall (Figure 2b) unlike the existing setup where they were concentrated in just one area (Figure 2a).



The proposed adjustable diffusers can change the area of outflow and so regulate the speed of fresh air inflow and the penetration depth in the hall area. In order to prevent drafts in the cooling mode, the supply air must largely be discharged horizontally from the diffuser. However in the heating mode, the diffuser must be able to project the warm supply air vertically downward to achieve fast and efficient heating. Such diffuser ensures optimum air distribution in the cooling and heating modes. The diffuser has a funnel neck connection with an inner and outer basket arrangement. The diffuser has openings around its circumference and at the underside. In the heating mode, the diffuser can be adjusted manually or electronically by the actuator to close off the lateral openings and open the bottom openings, thus creating a vertical supply air jet. This results in a compact supply air jet, reaching a greater penetration depth. The high penetration depth ensures quick heating of the room. In the cooling mode, the outer openings are opened, while the openings at the bottom of the diffuser are closed. The individual supply air jets that are created ensure a high induction, which means that velocity and temperature differentials are rapidly reduced.

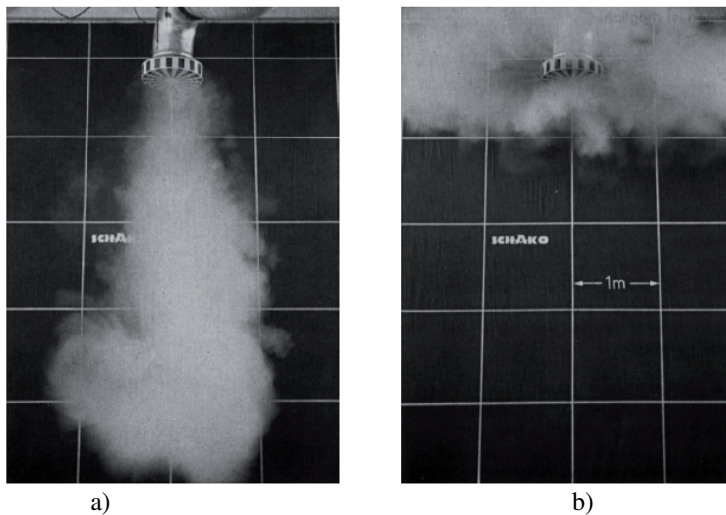


Figure 1. Typical adjustable diffuser smoke test: a) heating mode, b) cooling mode

Experimental and numerical methods have been widely accepted as a means of airflow analyses of optimal building design and indoor ventilation [1,2,3,4,5,6]. Numerical simulations were performed for the case of existing and reconstructed system to prove the efficiency of the ventilation system reconstruction. The systems were simulated in both winter and summer work regimes.

## GEOMETRY AND NUMERICAL MESH

The sports hall measures a 50m in length, 35m in width and a height of 11m. The southern and northern sides contain panes of glass whose thermal characteristics were taken into account. The geometry of the sports hall, as well as the placement of inflow and outflow vents are shown in Figures 2a and 2b.

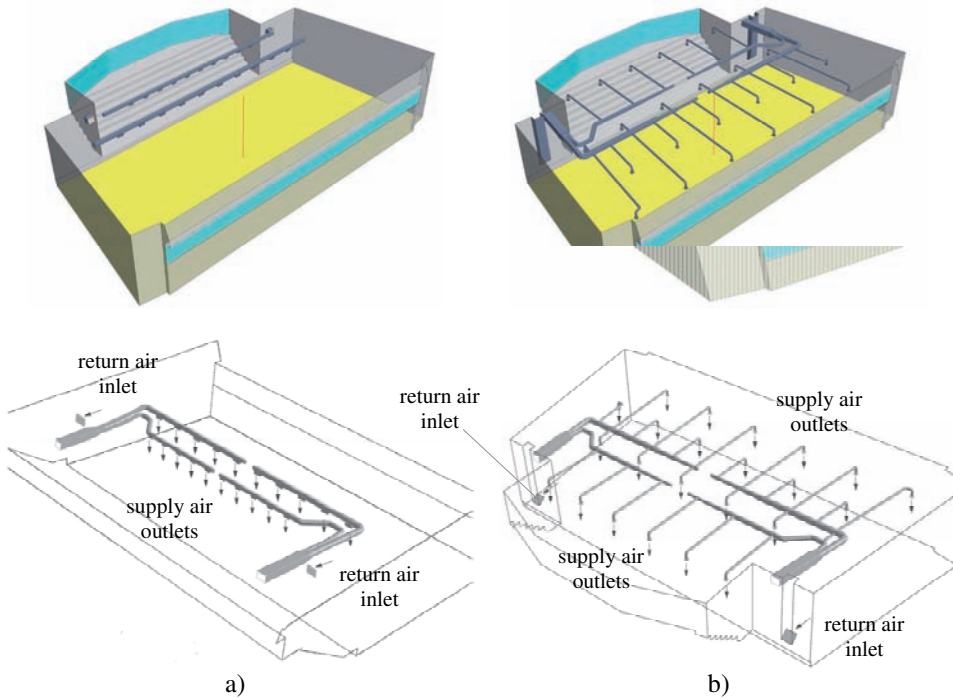


Figure 2. Geometry of the sports hall with the existing (a) and the reconstructed (b) ventilation system

The numerical meshes for both cases contained about 2 million of predominantly hexahedral volume cells. All solid walls were covered with multiple layers of prismatic elements to increase accuracy.

### Boundary conditions

The amount of conditioned air was equal for both simulated systems and was 8500 m<sup>3</sup>/h either heated to 40°C or cooled to 18°C appropriate for the chosen regime. The external air temperatures for winter conditions were set at -6°C and 32°C for summer. The walls, glass panes, roof and ground floor were all defined with their specific thermal characteristics.

## COMPUTATIONAL MODEL

### Conservation equations

The flow over the louvers is assumed to be turbulent and steady-state. The equations for representing the conservation of mass, momentum and energy for the 3D model are as follows [7, 8, 9]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{u}) + \nabla(\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla p + \nabla \left[ \mu \left( \nabla \vec{u} + \nabla \vec{u}^T \right) \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{u}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k \cdot \nabla T) \quad (3)$$

In order to complete this set of equations, additional relations are required to link thermodynamic and transport properties of air. Air properties can be assumed to change according to the ideal gas law.

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (4)$$

The dynamic viscosity of the air is a function of temperature and is obtained from Sutherland's law. Turbulence was taken into account using the realizable k- $\epsilon$  turbulence model [10].

## RESULT ANALYSIS

### *Winter regime* (Figure 3.)

The contours of temperature in characteristic cross-sections show a more even vertical temperature distribution in the hall with the reconstructed ventilation system. The temperatures in the part of the hall occupied by people are higher while the temperatures in the upper regions are lower than before making the heat losses towards the exterior lower as well. The speed of air flow in the zone occupied by people is also slightly lower in the reconstructed solution providing better comfort. These temperature field characteristics and air speeds are the result of using adjustable diffusers which enable the fine adjustments of flow direction and velocity. This results in a deeper penetration of heated air into the region occupied by people clearly visible by comparing the streamlines flowing out of the installed grilles and the reconstruction adjustable diffusers. The existing system makes the heated air, with its lower density and speed, rise vertically to the upper regions only heating the space without people.

### *Summer regime* (Figure 4.)

The cooling regime also shows a more even vertical temperature distribution in the reconstructed ventilation system showing an improvement in the occupied area with lower temperatures and air speeds. The cool air in the existing system drops vertically to the floor creating a heterogynous temperature field in the occupied area with the increased air flow speed creating a discomforting drafty feeling. Adjustable diffusers in cooling mode enable a lateral (horizontal stream lines from diffusers) inflow of conditioned air resulting in slower descent of chilled air and providing a more homogenous hall temperature and human comfort.

## CONCLUSION

An analysis of air distribution was presented for the sports hall in the heating and cooling regimes of both the installed and reconstructed ventilation system. The reconstruction consists of changing the number, position and make of the outflow vents replacing grilles with adjustable diffusers. The numerical analyses in the commercial fluid flow solver Star-CCM+ have shown an improvement in thermal human comfort conditions for both the summer and winter regimes when using the special adjustable diffusers. The application of computational fluid dynamics in air distribution analysis has proven a very useful tool in designing modern air conditioning systems.

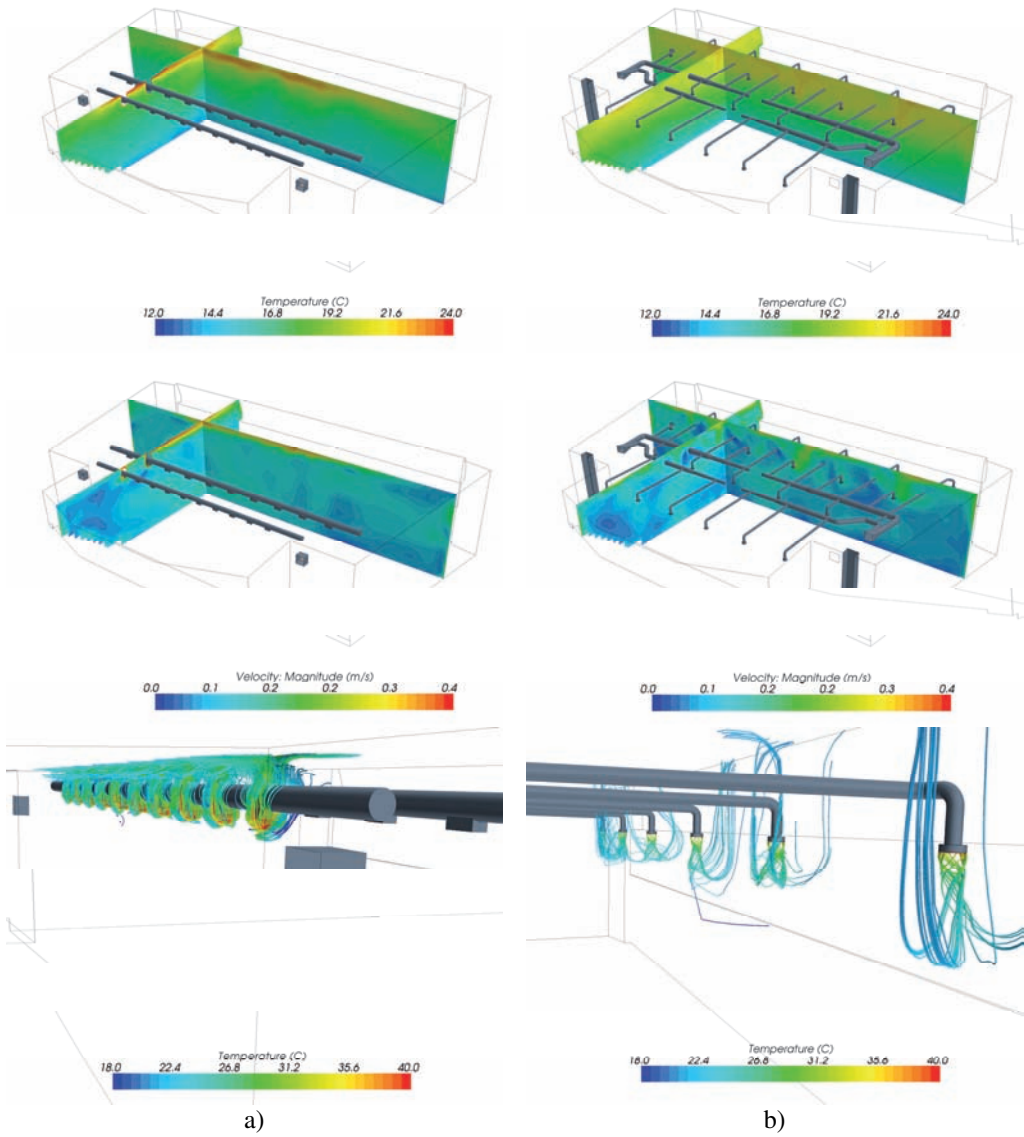


Figure 3. Contours of temperatures, air flow velocities and streamlines for the heating mode of the existing (a) and reconstructed (b) sports hall ventilation system.

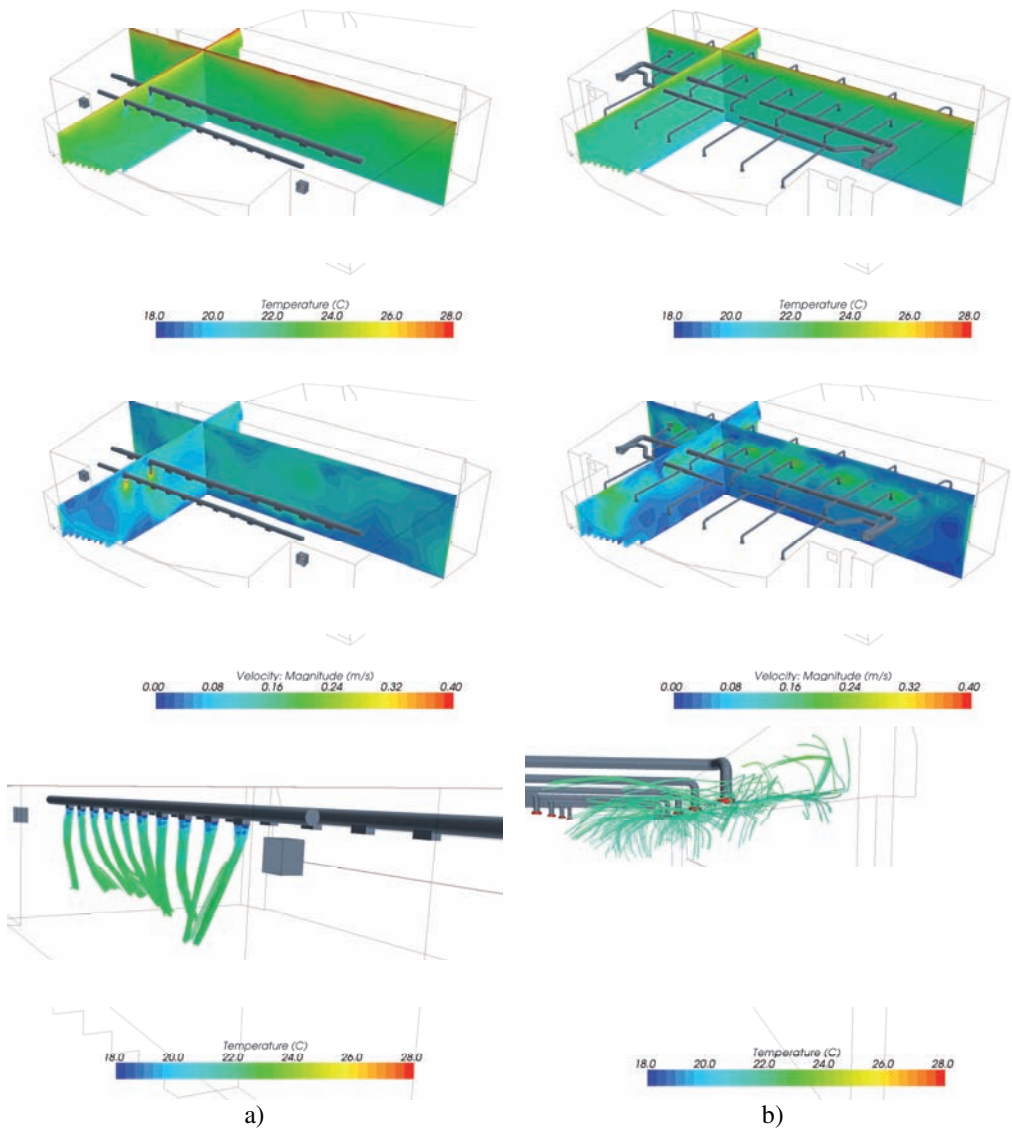


Figure 4. Contours of temperatures, air flow velocities and streamlines for the cooling mode of the existing (a) and reconstructed (b) sports hall ventilation system.

**REFERENCES**

1. Berg J.R., Soliman H.M., Ormiston S.J., Effective cooling of stacked heat-generating bodies in a large room: Comparison between floor and side-wall air injection, *International Journal Of Thermal Sciences*, Volume 47, Issue 6, 2008.
2. Chow W.K., Fung W.Y., Wong L.T., Preliminary studies on a new method for assessing ventilation in large spaces, *Building And Environment*, Volume 37, Issue 2, 2002.
3. Papakonstantinou K.A., Kiranoudis C.T., Markatos N.C., Computational analysis of thermal comfort: the case of the archaeological museum of Athens, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 24, Issue 7, 2000.
4. Stathopoulou, O.I., Assimakopoulos, V.D., Indoor environmental conditions of athletic halls: Experimental and numerical investigation, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2006.
5. Stathopoulou O.I., Assimakopoulos V.D., Numerical study of the indoor environmental conditions of a large athletic hall using the CFD code PHOENICS, *Environmental Modeling & Assessment*, Volume 13, Issue 3, 2008.
6. Stathopouliou O.I., Assimakopoulos V.D., Flocas H.A., et al., An experimental study of air quality inside large athletic halls, *Building And Environment*, Volume 43, Issue 5, 2008.
7. Versteeg, H.K., Malalasekera, W., An Introduction To CFD The Finite Volume Method, ISBN 0-582-21884-5, Longman Gr., 1995.
8. Ferziger J.H., Peric M., Computational methods for fluid dynamics, Third Edition, *Springer*, New York, 2002.
9. Star-CCM+ User Guide, *CD-Adapco*, 2009.
10. Shih T.H., Liou W.W., Shabbir A., Yang Z., Zhu J., A New - Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows - Model Development and Validation. *Computers and Fluids*, Volume 24, 1995.

## Rasplinjavanje biomase

Srećko Švaić, prof.dr.sc.  
Ivanka Boras, prof.dr.sc.  
Vedran Polović, univ. bacc. ing. str.  
Mario Kozina, univ. bacc. ing. str.  
Marko Dimnjašević, univ. bacc. ing. str.  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5, Zagreb, Hrvatska

### SAŽETAK

U radu je prikazan povijesni pregled upotrebe i razvoja tehnologije rasplinjavanja, termodinamički proračun, te jedno od mogućih konstrukcijskih rješenja rasplinjavanja u svrhu dobivanja generatorskog plina za loženje toplovodnih kotlova.

### KLJUČNE RIJEČI

rasplinjavanje, biomasa, ogrjevna vrijednost, generatorski plin

### UVOD

Zbog nedostatka fosilnih goriva i sve većeg onečišćenja okoliša ustrajno se radi na pronalaznju tehnologija koje bi zamijenile današnje konvencionalne izvore novima i to na ekološki prihvatljiv način. Jedan od načina na koji je to moguće postići je korištenje rasplinjača za dobivanje generatorskog plina.

Biomasa je obnovljivi izvor energije koji uključuje ogrjevno drvo i drveni otpad iz šumarstva, piljevinu, koru, drveni ostatak iz drvne industrije itd. Između različitih vrsta biomase drvna ima najširu primjenu.

Najstariji način korištenja drva je izgaranje na otvorenom. Kruta goriva se mogu oplemeniti pretvaranjem u plinovita. Naziv oplemenjivanje se koristi zbog višestrukih prednosti: plinovi se lakše i bolje mogu miješati sa zrakom za izgaranje, a plin se može dovesti cjevovodima tamo gdje je potreban.

Dva glavna procesa oplemenjivanja krutih goriva su: otplinjavanje i rasplinjavanje. Otplinjavanje je proces suhe destilacije krutog goriva bez dovođenja kisika gorivu, a u svrhu stvaranja plina bogatog s  $H_2$  i  $CO$  za korištenje u kemijskoj industriji. Ovaj način oplemenjivanja krutog goriva nije predmet ovoga rada, već rasplinjavanje koje je puno interesantnije s toplinsko-tehničkog gledišta, pa će se ovaj rad posebno pozabaviti tim procesom.

Rasplinjavanje je proces izgaranja uz manjak kisika, te se zbog toga može govoriti o nepotpunom izgaranju. Produkt rasplinjavanja je generatorski plin bogat s  $CO$ ,  $CH_4$  i  $H_2$ , kojega je moguće koristiti u raznim postrojenjima. Ovisno o mjestu korištenja plina različite su i prednosti korištenja ovakvog generatorskog plina u odnosu na kruta goriva.



## POVIJESNI PREGLED RAZVOJA TEHNOLOGIJE RASPLINJAVANJA

Početak korištenja rasplinjavanja započinje krajem 18.-tog stoljeća u Europi, kada se uglavnom koristilo rasplinjavanje ugljena i treseta. Plin dobiven rasplinjavanjem se koristio za uličnu rasvjetu (gradski plin), za grijanje, rasvjetu kućanstava i kuhanje. Pronalaskom velikih naftnih polja u Americi sredinom 19. stoljeća i sigurnije opskrbe naftnim derivatima, uporaba rasplinjavanja polagano nestaje u razvijenijim industrijskim državama, zamjenjuje se jeftinijim i za uporabu prikladnijim i jednostavnijim gorivom, naftom.

Za vrijeme drugog svjetskog rata dolazi do nestašice nafte te se proces rasplinjavanja ponovo vraća u upotrebu u razvijenije države zapadne Europe. Rasplinjavanje drveta se koristi za održavanje rada vitalnih dijelova ekonomije poput transporta, poljoprivrede i bolnica. U to se vrijeme koristi preko milijun jedinica s rasplinjačem po cijeloj Europi.

U državama koje nisu imale problem nestašice nafte u drugom svjetskom ratu, poput SAD-a, ova tehnologija se nije značajnije koristila i razvijala. Zbog ekonomskih razloga (jeftine uvozne nafte), relativno složene upotrebe, zdravstvene opasnosti uslijed otrovnih otpadnih plinova, tehnologija rasplinjavanja se nakon drugog svjetskog rata ubrzo napušta nakon što je opskrba nafte ponovo postala dostupna 1945.

Tijekom 1973. i ponovo 1979. godine, zbog rasta cijena nafte javlja se veliki interes za tehnologijom rasplinjavanja u razvijenim zemljama koje su bile ovisne o uvozu nafte, a imale su veće zalihe biomase.

Danas, uslijed ponovne naftne krize, postoji povećan interes za rasplinjavanjem. Zemlje u razvoju, zbog nedovoljno razvijene energetske infrastrukture, jeftine radne snage i s velikim izvorima jeftine biomase, poput Indije, Kine, južnoameričkih i afričkih država, prednjače u korištenju rasplinjavanja za podmirivanje svojih energetskih potreba.

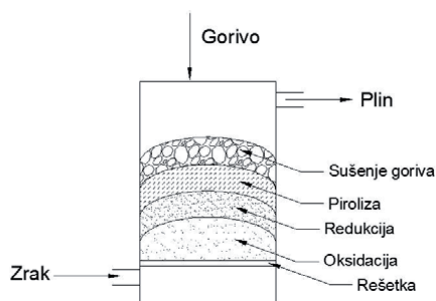
## VRSTE RASPLINJAČA

Današnji tipovi rasplinjača se mogu podijeliti u 4 skupine u odnosu na smjer dodavanja goriva i smjer strujanja dobivenog plina:

- protusmjerni rasplinjači
- istosmjerni rasplinjači
- unakrsni rasplinjači
- rasplinjači s fluidiziranim slojem

### Protusmjerni rasplinjač

Najstariji i najjednostavniji tip rasplinjača je protusmjerni rasplinjač, prikazan na ilustraciji 1.



Ilustracija 1. Protusmjerni rasplinjač



Uzis zraka se nalazi na dnu a dobiveni plin se ispušta na vrhu rasplinjača. Na dnu uz rešetku se nalazi zona izgaranja, a iznad nje zona redukcije. U gornjem dijelu rasplinjača odvija se zagrijavanje i piroliza goriva, kao rezultat prijenosa topline konvekcijom i zračenjem iz donjih slojeva. Katran i hlapljivi spojevi nastali u ovom dijelu bivaju odnošeni strujom plina. Pepero se nakuplja na dnu rasplinjača.

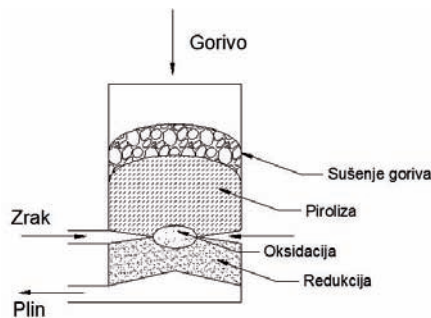
Najveća prednost protusmjernog rasplinjača je njegova jednostavnost i unutarnja izmjena topline između plina i goriva, što dovodi do relativno niske izlazne temperature dobivenog plina. Dakle nije potrebno njegovo dodatno hlađenje izvan rasplinjača. Ovo doprinosi visokoj toplinskoj efikasnosti ovakvog tipa rasplinjača.

Najveći nedostaci ovog tipa su mogućnost pojave kanala u slojevima, što može dovesti do prolaza kisika kroz slojeve i eksplozije. Zbog ovih nedostataka postoji potreba za ugradnjom mehanizma za trešnju rešetke radi sprječavanja stvaranja kanala kroz slojeve.

Također, zbog visokog udjela katrana u dobivenom plinu potreban je složeniji sustav za čišćenje plina u slučaju korištenja plina u motorima s unutrašnjim izgaranjem.

### Istosmjerni rasplinjač

Istosmjerni tip rasplinjača je razvijen radi potrebe dobivanja čisteg plina u odnosu na protusmjerni tip rasplinjača. Kod ovog tipa rasplinjača primarni zrak za rasplinjavanje se uvodi iznad ili u zoni oksidacije goriva u rasplinjaču. Dobiveni plin se ispušta na dnu rasplinjača tako da i gorivo i plin imaju isti smjer.



Ilustracija 2. Istosmjerni rasplinjač

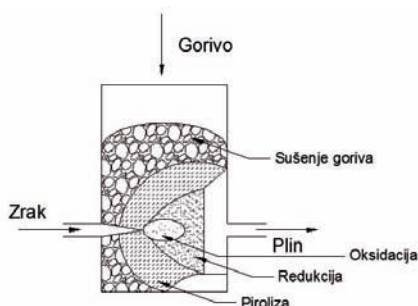
Katran i kiseline, produkti pirolize goriva, moraju proći kroz užareni sloj ugljena gdje se prevode u vodik, ugljični dioksid, ugljični monoksid i metan. Ovisno o temperaturi u tom sloju i o vremenu provedenom u oksidacijskom sloju može se dogoditi potpuni raspad katrana u plin. Mogućnost dobivanja gotovo potpuno čistog plina, bez katrana, je najveća prednost istosmjernog tipa rasplinjača. Dobiveni plin se može koristiti bez naknadnog pročišćavanja u motorima s unutrašnjim izgaranjem.

Najveća mana ovog tipa rasplinjača leži u nemogućnosti korištenja niza vrsta goriva bez prethodne obrade. Goriva s malom nasipnom gustoćom dovode do problema s protokom i do povećanog pada tlaka, zbog prolaska plina kroz gorivo, tako da ta goriva moraju biti paletizirana ili briketizirana prije upotrebe. Također, istosmjerni rasplinjači imaju više problema s gorivima s velikim udjelom pepela nego protusmjerni - problem taloženja pepela.

Istosmjerni rasplinjači imaju nešto slabiju toplinsku efikasnost pošto nemaju unutarnju izmjenu topline između plina i goriva, pa zbog toga plin izlazi iz rasplinjača s relativno visokom temperaturom. Plin dobiven u ovom tipu rasplinjača obično ima nižu ogrjevnost vrijednost nego plin dobiven u protusmjernom rasplinjaču.

### Unakrsni rasplinjač

Unakrsni tip rasplinjača je razvijen za slučaj korištenja drvenog ugljena kao goriva. U tom su slučaju izrazito visoke temperature u oksidacijskoj zoni (1500 °C), što može dovesti do problema s materijalom stijenke. U unakrsnom tipu rasplinjača kao toplinski izolator od tih visokih temperatura služi samo gorivo.



Ilustracija 3. Unakrsni rasplinjač

Prednost ovog tipa rasplinjača je mogućnost izvedbe rasplinjača malih snaga.

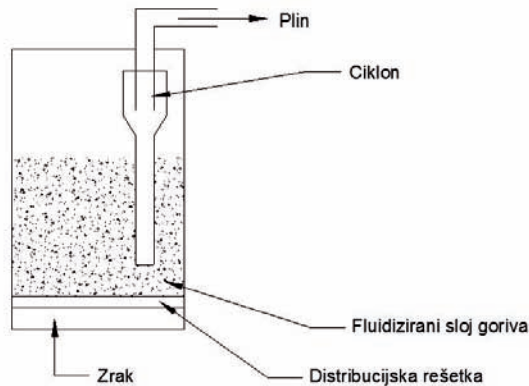
Nedostatak je mala mogućnost pretvorbe katrana i zahtjev za višom kvalitetom drvenog ugljena koji se koristi kao gorivo (s manjim udjelom hlapljivih tvari).

### Rasplinjač s fluidiziranim slojem

Istosmjerni i protusmjerni tip rasplinjača kao nedostatak imaju posebne zahtjeve na morfološka, fizička i kemijska svojstva goriva. Korištenje neprikladnog gorivo tako dovodi do problema s protokom, taloženjem pepela i velikim padovima tlaka unutar rasplinjača.

Zbog ovih nedostataka je razvijen tip rasplinjača s fluidiziranim slojem. Zrak se upuhuje na dnu kroz sloj krutih čestica goriva dovoljnom brzinom da se stvori fluidizirani sloj od krutih čestica i zraka. Čestice goriva se uvode na dnu reaktora na distribucijskoj rešetci i zbog struje zraka se vrlo brzo miješaju sa sadržajem u fluidiziranom sloju. To dovodi do vrlo brze pirolize goriva i velikog udjela plina u fluidiziranom sloju. Većina ovih rasplinjača imaju unutrašnje ciklone za uklanjanje ugljena iz plina za slučaj korištenja plina u motorima s unutrašnjim izgaranjem.

Najveća prednost ovog tipa rasplinjača leži u fleksibilnosti u odnosu na vrstu i tip korištenog goriva. To je posljedica lagane regulacije temperature unutar rasplinjača, koja se može držati ispod temperature taljenja pepela. Postoji mogućnost korištenja goriva male gustoće bez potrebe prethodne obrade. Nedostatak ovog tipa rasplinjača je u povećanom udjelu katrana u dobivenom plinu, nepotpunom izgaranju ugljika i sporom odzivu na promjenu opterećenja. Rasplinjač s fluidiziranim slojem je prikladan za primjenu u postrojenjima koja zahtijevaju veće snage.



Ilustracija 4. Rasplinjač s fluidiziranim slojem

## TEORIJA RASPLINJAVANJA

Zadatak plinskog generatora je da potpuno rasplini zadano gorivo. Zahtjevi koji se postavljaju na proizvedeni plin su različiti, ovisno o tome kojoj je svrsi plin namijenjen.

U ovom je radu razmatrana proizvodnja plina za upotrebu u strojevima za dobivanje mehaničke snage. Glavni zahtjev koji se postavlja na plin proizveden za takvu upotrebu je što veća ogrjevna vrijednost.

Tvari koje sudjeluju u općem slučaju rasplinjavanja su:

- gorivo ( $c, h, o, n, s, w, a$ )
- zrak ili čisti kisik ( $O_2, N_2$ )
- voda ( $H_2O$ )
- troska (pepeo)

Produkt rasplinjavanja je generatorski plin koji u općem slučaju sadrži sljedeće elemente:  $H_2O, CO_2, CO, H_2, CH_4, N_2$ .

Rasplinjavanje se može promatrati kao proces bez stvaranja metana i sa stvaranjem metana. Procesi bez stvaranja metana podrazumijevaju rasplinjavanje čistog ugljika, što se praktički poklapa s rasplinjavanjem koksa, dok su procesi sa stvaranjem metana upotrebljivi za rasplinjavanje bilo kojeg goriva. U ovom radu se promatra rasplinjavanje biomase, odnosno drveta zadanog sastava i vlažnosti. Shodno tome, razmatrat će se rasplinjavanje sa stvaranjem metana.

Pretpostavka je da se kisik u procesu u potpunosti utroši, te da se osim metana ne stvaraju drugi ugljikovodici. To je bez sumnje stanovito pojednostavljenje. Ono je međutim dopustivo, jer se zanemareni plinovi pojavljuju kao produkti suhe destilacije a ne rasplinjavanja. Kisik, ako se uopće i pojavljuje, nalazi se u zanemarivim količinama zbog nesavršenosti vođenja procesa.

Temperatura pliništa je od posebne važnosti za sastav plina. O ovoj temperaturi ovisi do koje će se mjere ugljični dioksid  $CO_2$  reducirati na gorivi  $CO$ , te koji će se udio vodene pare  $H_2O$  rastvoriti na kisik i vodik. Što je viša temperatura pliništa, to će u pravilu generatorski plin sadržavati više vodika  $H_2$  ali i ugljičnog monoksida  $CO$ .

Sastav plina koji ulazi u generator plina u masenim udjelima je:

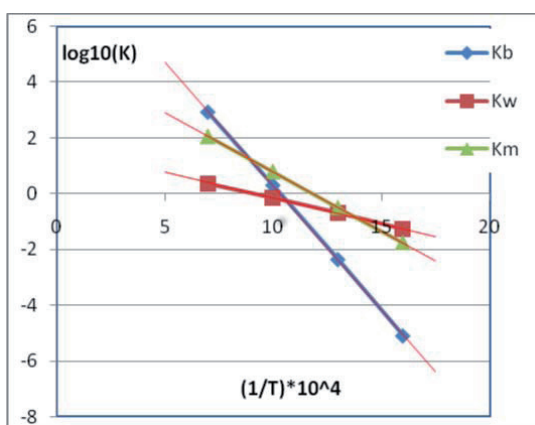
$$c + h + o + w + a + n = 1 \tag{1}$$

pri čemu se oznake u jednadžbi odnose na: *c* – ugljik, *h* – vodik, *o* – kisik, *w* – vlaga, *a* – pepeo (negorivi sastojci goriva) i *n* - dušik.

U gorivu je zanemaren sumpor, jer je njegov udio vrlo mali.

**Postupak proračuna**

Postupak proračuna se provodi iterativno u dvije razine. Polazi se s pretpostavljenim udjelom vodika (H<sub>2</sub>) u nastalom generatorskom plinu i pretpostavljenom temperaturom pliništa. Pomoću pretpostavljene temperature pliništa se očitavaju koeficijenti K<sub>B</sub>, K<sub>W</sub>, K<sub>M</sub> iz dijagrama na slici 5.



Ilustracija 5. Dijagram koeficijenata

Kod rasplinjavanja, naime, moraju osim jednadžbe sastava plina, biti zadovoljene materijalne bilance pojedinih elemenata, a kod ravnotežnih procesa i jednadžbe kemijske ravnoteže. U proračunu u nastavku je zanemareno stvaranje čađe tj. smatra se da se radi o potpunom rasplinjavanju goriva.

Materijalne bilance glase:

Bilanca vodika:

$$\frac{h}{2} + \frac{w}{18} = [H_2O] + [H_2] + 2 \cdot [CH_4] \tag{2}$$

Bilanca kisika:

$$\frac{o}{32} + \frac{1}{2} \cdot \frac{w}{18} + \lambda \cdot O_{\min} = [CO_2] + \frac{1}{2} \cdot [CO] + \frac{1}{2} \cdot [H_2O] \tag{3}$$

Bilanca ugljika:

$$\frac{c}{12} = [CO_2] + [CO] + [CH_4] \quad (4)$$

Bilanca dušika:

$$\frac{n}{28} + 0,79 \cdot \lambda \cdot \frac{O_{\min}}{0,21} = [N_2] \quad (5)$$

Jednadžbe ravnoteže glase:

za Boudouardovu reakciju:

$$K_B = \frac{[CO] \cdot [CO]}{[CO_2]} \quad (6)$$

za reakciju vodenog plina:

$$K_W = \frac{[CO] \cdot [H_2O]}{[CO_2] \cdot [H_2]} \quad (7)$$

za stvaranje metana:

$$K_M = \frac{[H_2] \cdot [H_2]}{[CH_4]} \quad (8)$$

Ove jednadžbe, uz materijalne bilance pojedinih elemenata: kisika, vodika i ugljika, te energijsku bilancu procesa zatvaraju sustav jednadžbi. Njegovim se rješavanjem dolazi do sastava i izlazne temperature generatorskog plina.

Na prvoj razini iteracije se na temelju pretpostavljene temperature pliništa određuje ravnotežni sastav generatorskog plina. Pri tomu se koriste materijalne bilance elemenata i jednadžbe kemijske ravnoteže.

Na drugoj razini iteracije se izračunava temperatura pliništa, uspoređuje s pretpostavljenom i po potrebi korigira.

Energijska se bilanca rasplinjača može prikazati jednadžbom (9), pri čemu je zanemarena entalpija goriva koje ulazi u rasplinjač.

$$H_d + H_z = H_{dp\_iz} + H_{d\_p} \quad (9)$$

U jednadžbi (9) pojedine se oznake odnose na:

$H_d$  - donja ogrjevna vrijednost goriva, kW

$H_z$  - entalpija zraka na ulazu u rasplinjač, kW

$H_{dp\_iz}$  - entalpija dimnih plinova na izlazu iz rasplinjača, kW

$H_{d\_p}$  - donja ogrjevna vrijednost proizvedenog plina, kW

## Rezultati proračuna

U prethodnom je poglavlju "Teorija rasplinjavanja" objašnjen postupak termodinamičkog proračuna rasplinjača. S tim proračunom se određuje sastav nastalog plina i temperatura pliništa.

Maseni sastav biomase (drva) za koji je proveden proračun je:

$$c = 37,51\%;$$

$$h = 4,5\%;$$

$$o = 32,92\%;$$

$$n = 0,07\%;$$

$$w = 25\%;$$

Ogrjevna vrijednost goriva takvog sastava iznosi:  $h_d = 13475$  kJ/kg.

Proračun je proveden za faktor prečišćavanja zraka u iznosu od:  $\lambda = 0,3$ . Potrebna količina kisika i zraka za rasplinjavanje je:

$$O_{\min} = 0,032221 \text{ kmol } O_2/\text{kg}_g$$

$$L_{\min} = 0,153433 \text{ kmol } z/\text{kg}_g$$

Proces rasplinjavanja je promatran kao adijabatski proces.

Molni sastav proizvedenog generatorskog plina u postotcima:

$$H_2 = 24,85 \%$$

$$CH_4 = 2,25 \%$$

$$H_2O = 7,2 \%$$

$$CO = 11,46 \%$$

$$CO_2 = 17,69 \%$$

$$N_2 = 36,55 \%$$

Adijabatska temperatura pliništa iznosi 489,28 °C.

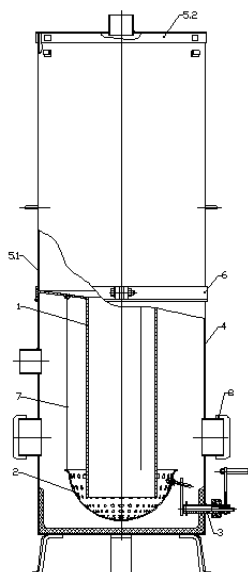
Donja ogrjevna vrijednost proizvedenog generatorskog plina za jedan kilogram goriva iznosi 10991,276 kJ/kg<sub>g</sub>. Ako se, pak, ogrjevna vrijednost svede na jedinicu količine generatorskog plina slijede vrijednosti:

$$h_d = 110,4 \text{ MJ/kmol}$$

$$h_d = 4926,392 \text{ kJ/m}_n^3$$

## KONSTRUKCIJSKO RJEŠENJE RASPLINJAČA BIOMASE

Na temelju analize postojećih konstrukcijskih rješenja različitih tipova rasplinjača, kao optimalno rješenje za rasplinjavanje drvene biomase odabran je istosmjerni rasplinjač. Za njega je proveden proračun i planira se realizirati izvedba prototipa prema slici 6.



Ilustracija 6. Prikaz konstrukcije rasplinjača

Temeljem mjerenja koja će biti provedena na prototipu moći će se provjeriti rezultati teorijske analize.

## ZAKLJUČAK

Glavna prednost korištenja sustava rasplinjača je niža emisija štetnih plinova i čestica prilikom izgaranja goriva. To je posljedica korištenja filtera koji pročišćavaju nastali plin u rasplinjaču. Uz takvo korištenje rasplinjača moguće je koristiti kombinirani proces s kogeneracijom, što dovodi do značajnog povećanja iskoristivosti korištenog krutog goriva. Problem predstavlja visoka cijena sustava filtera za pročišćavanje nastalog plina prije ulaska u komoru izgaranja. Zbog toga je u današnje vrijeme još uvijek upitna isplativost takvog procesa.

Rasplinjač se može koristiti za rasplinjavanje biomase, gradskog otpada i ugljena. Sustav rasplinjavanja omogućuje korištenje tehnologije čistog ugljena. Ova se tehnologija temelji ponajprije na rasplinjavanju i pročišćavanju nastalog plina, te njegovom korištenju u raznim energetskim postrojenjima.

Zbog sve veće ekološke svijesti ljudi, ekonomska isplativost ovakvih postrojenja prestaje biti odlučujući čimbenik i sve manje bitna.

## NAZIVLJE

- c* - maseni udio ugljika u krutom gorivu
- h* - maseni udio vodika u krutom gorivu
- o* - maseni udio kisika u krutom gorivu
- n* - maseni udio dušika u krutom gorivu
- s* - maseni udio sumpora u krutom gorivu

$a$  - maseni udio negorivih krutih tvari u krutom gorivu  
 $w$  - maseni udio vode u krutom gorivu  
 $H_d$  - donja ogrjevna vrijednost goriva, kW  
 $H_z$  - entalpija zraka na ulazu u rasplinjač, kW  
 $H_{dp_{iz}}$  - entalpija dimnih plinova na izlazu iz rasplinjača, kW  
 $H_{d_p}$  - donja ogrjevna vrijednost proizvedenog plina, kW

## **BIBLIOGRAFIJA**

1. Bošnjaković, F., *Rasplinjavanje i čađenje*, Institut za industrijska istraživanja, Zagreb, 1947.
2. Galović, A., *Termodinamika II*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Zagreb, 2002.
3. Hubert E. Stassen, *Small-scale biomass gasifiers for heat and power*
4. L.Jaeger, *Holzgasanlagen*
5. FAO (Food and agriculture organization of the United Nations), *Wood gas as engine fuel*
6. The UNDP/World Bank Biomass Gasifier Monitoring Programme



**RJEŠAVANJE PROBLEMA KONDENZACIJE KOD NISKOTEMPERATURNIH  
TOPLOVODNIH KOTLOVA****SOLVING CONDENSATION PROBLEMS IN LOW TEMPERATURE HOT WATER  
BOILERS**

Dr.sc. Marina MALINOVEC PUČEK<sup>1</sup>  
Prof.dr.sc. Srečko ŠVAIC<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu, Ivana Lučića 5, Zagreb, Hrvatska

E-mail: [marina.malinovec@eihp.hr](mailto:marina.malinovec@eihp.hr), [srecko.svaic@fsb.hr](mailto:srecko.svaic@fsb.hr)

**SAŽETAK**

U okviru općih nastojanja za štednjom energije i postizanjem što boljeg stupnja djelovanja kotla, standardne toplovodne kotlove na loživo ulje i plin sve više zamjenjuju niskotemperaturni i kondenzacijski kotlovi. Također, u svrhu očuvanja okoliša i smanjenja globalnog zagrijavanja kod novijih konstrukcija toplovodnih kotlova emisija štetnih tvari i dimnih plinovima mora se nalaziti u propisanim granicama.

S ciljem ubrzanja cjelokupnog procesa razvoja kotla od ideje do prototipa, sve se više koristi računalna dinamika fluida, koja omogućuje detaljnu analizu konstrukcije i izmjene topline u kotlu. Time se značajno smanjuje broj eksperimenata potrebnih u fazi razvoja kotla.

Cilj prikazanog istraživanja je razviti numerički model i simulirati rad prototipa niskotemperaturnog kotla nazivnog učina 25 kW s glavnom svrhom sprječavanja kondenzacije dimnih plinova na ogrjevnim stijenkama kotla. Rezultati provedenih numeričkih simulacija, koristeći programski kod Fluent, uspoređeni su s rezultatima mjerenja. Razvoj prototipa i eksperimentalni dio rada proveden je u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje u Zagrebu.

**Glavne riječi:** niskotemperaturni kotao, sprječavanje kondenzacije dimnih plinova, turbulator u obliku zavojnice, numerička simulacija rada kotla, Fluent, mjerenja

**ABSTRACT**

Within the global efforts for energy savings and achievement of better boiler power efficiency standard hot water boilers are replaced with low temperature and condensing boilers. Also for the purpose of environmental protection and global warming reduction flue gas pollutant emissions must occur in listed borders.

With the aim of speed-up the entire boiler designing process from the idea to prototype, computational fluid dynamics is used, which enables detailed analysis of design and heat transfer in the boiler. Thereby the number of tests needed in the designing process of the boiler is significantly reduced.

The aim of the presented research is to develop a numerical model and to simulate the operation of a low temperature boiler prototype of nominal capacity 25 kW with the main purpose of preventing combustion gas condensation on the heated boiler surfaces. The results of the numerical simulation performed by using the computational package Fluent are compared with the measurement results. The development of prototypes and the experimental part of the research have been conducted in the Laboratory for Applied Thermodynamics at the Faculty for Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University in Zagreb.

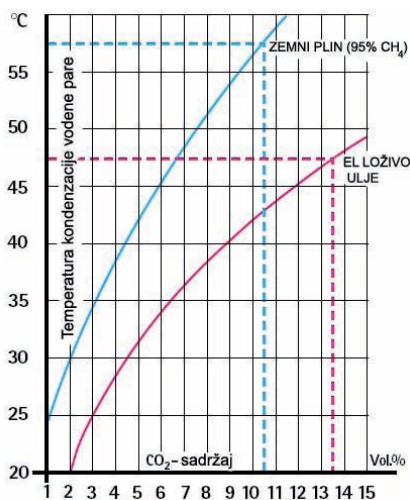
**Key words:** low temperature boiler, prevention of combustion gas condensation, helical coil inserts, CFD simulation of boiler operation, Fluent, measurements

## 1. UVOD

Kod standardnih kotlova, temperatura vode u kotlu održava se konstantnom na temperaturi 70 do 80 °C neovisno o potrebi za toplinom odnosno neovisno o vanjskim vremenskim prilikama da bi se spriječila korozija na ogrjevnim površinama kotla uzrokovana kondenzacijom dimnih plinova. Posljedica rada kotla na nepotrebno visokim temperaturama su povećani toplinski gubici odnosno manji stupanj djelovanja kotla.

Od suvremenih konstrukcija kotlova traži se prije svega smanjenje potrošnje goriva i emisije štetnih tvari, te povećanje stupnja djelovanja. Tako se je na tržištu osamdesetih godina prošlog stoljeća pojavila nova konstrukcija kotlova nazvana niskotemperaturni kotlovi (u nastavku NT–kotlovi). Prema definiciji NT–kotao je toplovodni kotao koji može kontinuirano raditi s temperaturom povratne vode do 35 °C i kod kojeg u određenim uvjetima može nastupiti kondenzacija vodene pare sadržane u dimnim plinovima. Kod NT–kotlova s kliznim načinom rada, kotlovska voda se zagrijava uvijek na potrebnu polaznu temperaturu vode u ovisnosti o vanjskoj temperaturi ili nekoj drugoj prikladnoj vodećoj veličini. Na taj način se, u usporedbi sa standardnim kotlovima, značajno smanjuju nepotrebni toplinski gubici. Kod standardnih kotlova takvo sniženje temperature kotlovske vode nije moguće zbog opasnosti od kondenzacije dimnih plinova. Nastali kondenzat je kiseo ( $\text{pH} < 5$ ) te izaziva niskotemperaturnu koroziju, što je naravno uzrokom negativnih posljedica na trajnost kotla te je nužno spriječiti kondenzaciju dimnih plinova odnosno potrebno je održavati temperature ogrjevnih stijenki na strani dimnih plinova  $t_{st}$  iznad temperature rosišta.

Temperatura rosišta funkcija je parcijalnog tlaka vodene pare u dimnim plinovima i kvalitete izgaranja, tj. sadržaja  $\text{CO}_2$  u dimnim plinovima. U slučaju izgaranja ekstra lakog loživog ulja (u nastavku EL loživo ulje) kod sadržaja  $\text{CO}_2$  od 13,5% u dimnim plinovima, što odgovara kvalitetnom izgaranju, temperatura na kojoj se javlja kondenzacija je oko 47 °C, a kod plina (95%  $\text{CH}_4$ ) 57 °C (slika 1) [1]. Dogovorom je utvrđeno da se kao granična temperatura stijenke za NT–kotlove na EL loživo ulje/plin uzme vrijednost 65 °C. Takvi se kotlovi naime uobičajeno grade za kombinirani pogon plinom i uljem, a kupac određuje gorivo izborom odgovarajućeg plamenika, pa je sigurnu temperaturu stijenke potrebno odrediti prema višem rosištu koje odgovara loženju plinom.

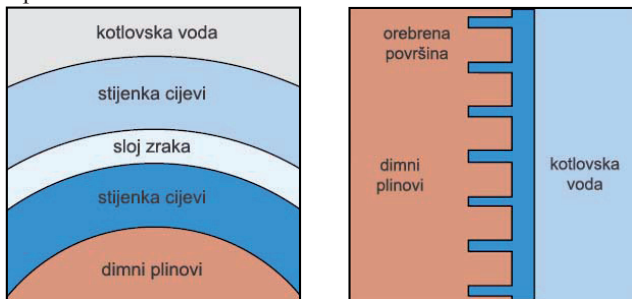


Slika 1: Temperature kondenzacije zemnog plina i EL loživog ulja

## 2. NAČINI SPRJEČAVANJA KONDENZACIJE I NISKOTEMPERATURNE KOROZIJE

U praksi su poznate slijedeće konstrukcijske mjere sprječavanja kondenzacije i niskotemperaturne korozije (slika 2) [2]:

- *dvoslojne ogrjevne površine*, kojima se povećava razlika između površinskih temperatura na strani dimnih plinova i na strani kotlovske vode,
- *orebrenje* na strani dimnih plinova, kojim se povećava ogrjevna površina koja prima toplinu, tako da su njezine površinske temperature više,
- *upravljanje strujanjem vode* u toplovodnom kotlu tako da se hladna povratna voda najprije pomiješa s nešto toplijom kotlovsom vodom, prije nego što dođe u dodir s ogrjevnim površinama.



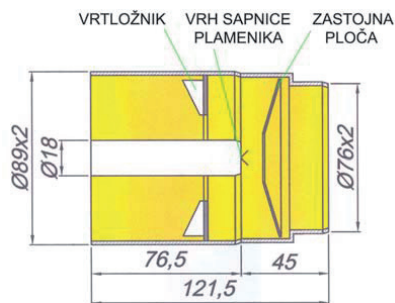
Slika 2: Dvoslojne ogrjevne površine i orebrenje kao konstrukcijske mjere sprječavanja kondenzacije dimnih plinova

U slučaju dvoslojnih ogrjevnih površina preko osnovne stijenske prevučena je još jedna vanjska stijenska. Između vanjske i unutarnje stijenske nalazi se sloj zraka.

## 3. ISPITNI PROTOTIP

Kao ispitni prototip odnosno predstavnik familije NT–kotlova u području snaga 20–70 kW odabran je NT–kotao nazivnog učina 25 kW (u nastavku NTK25). Odabrano je gorivo EL loživo ulje. Prototip kotla izrađen je iz čelika u zavarenoj izvedbi. Ima tri prolaza dimnih plinova, od čega su dva u reverzibilnom ložištu, a treći u dimovodnim cijevima. U sve četiri dimovodne cijevi NTK25 predviđena je ugradnja turbulatora u obliku zavojnice.

Prototip NTK25 je opremljen ventilatorskim pretlačnim uljnim plamenikom B10 firme Bentone, čija sapnica plamenika ima promjer 0,85 mm, dok kut raspršivanja ulja iznosi 60°. Raspršeno ulje poprima oblik punog stošca tip S. Za stabilizaciju plamena kod spomenutog plamenika koristi se kombinacija vrtloženja i zastoje ploče. Element za vrtloženje (tzv. vrtložnik), smješten je na početnom dijelu plamenika kroz koji prostrujava samo zrak, a zastoje ploča je smještena neposredno iza vrha sapnice plamenika (slika 3 i 4).

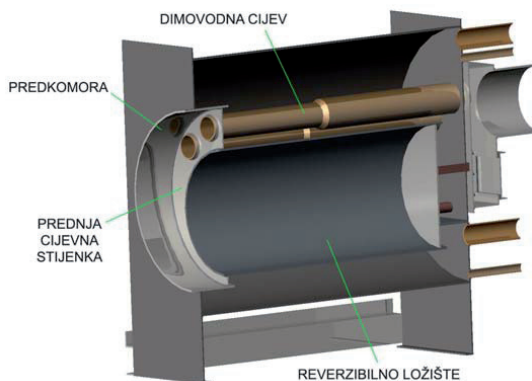


Slika 3: Smještaj vrtložnika i zastoje ploče unutar uljnog plamenika Bentone B10



Slika 4: Pogled na vrtložnik i zastojnu ploču uljnog plamenika Bentone B10

Kritične ogrjevne stijenke prototipa NTK25, čije temperature stijenke na strani dimnih plinova raznim konstrukcijskim mjerama treba održavati iznad 65 °C, su stijenke dimovodnih cijevi, reverzibilnog ložišta, predkomore i prednje cijevne stijenke (slika 5).



Slika 5: Presjek kroz NT–kotao s djelomično dvostrukom cijevi

#### 4. ISPITNA LINIJA

Ispitna linija za ispitivanje toplovodnih kotlova pripremljena je prema odredbama norma EN 303–1 [3], EN 303–2 [4] i EN 304 [5] u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje – Zagreb. Za potrebe ovog rada mjerenja su provedena na ispitnoj liniji s kratko spojenim vodom. Mjerenim sustavom praćene su sljedeće veličine: temperatura zraka u prostoru  $t_{\text{prostora}}$ , temperatura hladne vode iz vodovoda  $t_E$ , temperatura povratne vode  $t_R$ , temperatura polazne vode  $t_V$ , temperatura dimnih plinova u ložištu  $t_L$  (termopar nikl-krom-nikl tip K), temperatura dimnih plinova na ulazu u dimovodnu cijev  $t_1$ , temperatura dimnih plinova na izlazu iz dimovodne cijevi  $t_2$ , temperatura stijenke unutarnje cijevi na strani dimnih plinova  $t_{st}$  (6 pozicija samo na jednoj cijevi), temperatura dimnih plinova u dimnoj komori  $t_{DK}$ , temperatura i sastav dimnih plinova, maseni protok hladne vode iz vodovoda  $\dot{m}_W$  i potrošnja goriva  $\dot{m}_G$ .

Korisno predana toplina dobiva se mjerenjem volumnog/masenog protoka svježje vode i mjerenjem razlike temperatura ( $t_V - t_E$ ).

$$Q = \dot{m}_W \cdot c_{pW} \cdot (t_V - t_E) = \dot{V}_W \cdot \rho_W \cdot c_{pW} \cdot (t_V - t_E) \quad (1)$$

pri čemu su  $\dot{m}_W$  i  $\dot{V}_W$  maseni odnosno volumni protok svježje vode iz vodovoda ili vode na izlazu iz sustava. Gustoća  $\rho_W$  i specifični toplinski kapacitet vode  $c_{pW}$  uvrštavaju se za srednju temperaturu vode u kotlu ( $t_V + t_E$ )/2.

## 5. NUMERIČKI MODEL NT–KOTLA NAZIVNOG UČINA 25 kW

### 5.1 Pristup postavljanju modela

Računalna mreža prototipa NTK25 generirana je pomoću programskog paketa Gambit verzija 2.2 [6]. S obzirom na to da mreža samo jedne dimovodne cijevi s umetnutim turbulatorom u obliku zavojnice iziskuje cca  $10^6$  kontrolnih volumena, najprije su, pomoću komercijalnog programskog paketa Fluent verzija 6.2 [7], zasebno provedene numeričke simulacije dimovodnih cijevi s umetnutim turbulatorom u obliku zavojnice i bez njih u širokom području parametara kojima se može utjecati na pojavu kondenzacije dimnih plinova.

Računalna domena prototipa NTK25 podijeljena je na dva osnovna modela:

1. model na strani izgaranja (uljni plamenik, reverzibilno ložište i predkomora)
2. model na strani vode s dimnim plinovima u dimovodnim cijevima bez turbulatora.

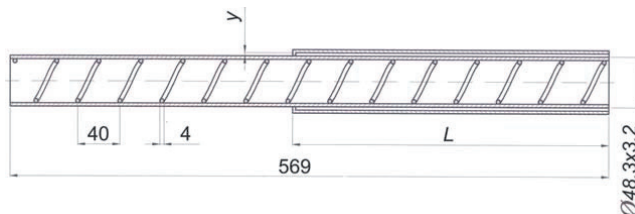
Nadalje, zbog ograničene memorije i snage računala, model na strani izgaranja, koji obuhvaća također i plamenik s dva izuzetno zahtjevna elementa za modeliranje vrtložnik i zastojnu ploču, podijeljen je na dva dijela:

- 1A. model vrtložnika, gdje struji samo zrak
- 1B. model na strani izgaranja (dio plamenika sa zastojnom pločom, reverzibilno ložište i predkomora)

Glavni cilj provedenih numeričkih simulacija je dobivanje raspodjele temperature na kritičnim ogrjevnim stijenkama NTK25 na strani dimnih plinova sa svrhom utvrđivanja i sprječavanja kondenzacije dimnih plinova.

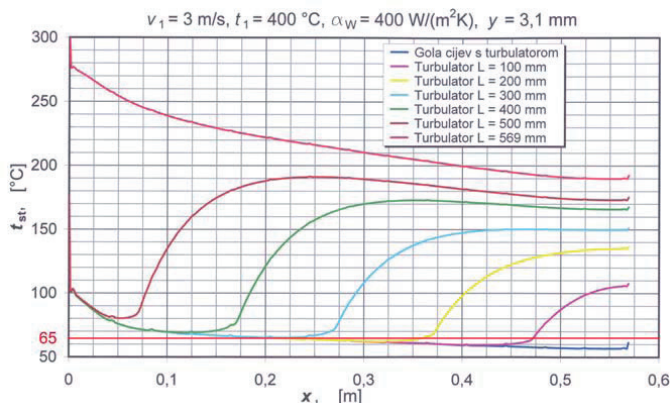
### 5.2 Numerička simulacija dimovodne cijevi

Provedena je analiza izvedbe dimovodne cijevi, oblika cijev u cijevi, s umetnutim turbulatorima (*slika 6*) ili bez njih. Pri tome su od utjecajnih parametara varirani brzina  $v_1$  (1–8 m/s) i temperatura  $t_1$  (200, 300, 400 i 500 °C) dimnih plinova na ulazu u dimovodnu cijev, koeficijent prijelaza topline na strani vode  $\alpha_w$  (200, 300, 400, 500 i 600 W/(m<sup>2</sup>K)), duljina vanjske cijevi  $L$  (100, 200, 300, 400, 500 i 569 mm), debljina zračnog sloja  $y$  (1, 2, 3, 1, 4, 5 i 6 mm) i koeficijent toplinske vodljivosti materijala stijenke cijevi. Duljina unutarnje cijevi iznosi 569 mm.



Slika 6: Dimovodna cijev NT–kotla s umetnutim turbulatorom u obliku zavojnice

Na osnovu provedenih numeričkih simulacija dimovodnih cijevi određene su potrebne duljine vanjske cijevi kojom se prevlači osnovna cijev da bi se spriječila kondenzacija dimnih plinova. U slučaju dimovodne cijevi bez turbulatora za promatrane parametre kondenzacija dimnih plinova je spriječena ukoliko se unutarnja cijev prevuče vanjskom cijevi duljine  $L = 500$  mm. Umetanjem turbulatora postiže se povećanje minimalne temperature stijenke od 5,3 do 25,37% ovisno o brzini strujanja dimnih plinova na ulazu u dimovodnu cijev  $v_1$  i o duljini vanjske cijevi  $L$ . U slučaju dimovodne cijevi s umetnutim turbulatorom dovoljno je unutarnju cijev prevući s vanjskom cijevi duljine  $L = 300$  mm (*slika 7*). Zahvaljujući umetnutom turbulatoru, za slučaj  $L = 300$  mm i  $v_1 = 3$  m/s temperatura stijenke je porasla za 17,05% u odnosu na dimovodnu cijev bez turbulatora.



Slika 7: Prikaz raspodjele temperature stijenke unutarne cijevi na strani dimnih plinova za голу cijev s turbulatorom i za dimovodne cijevi s turbulatorom prevučene vanjskom cijevi različitih duljina  $L$

### 5.3 Numerička simulacija prototipa NTK25

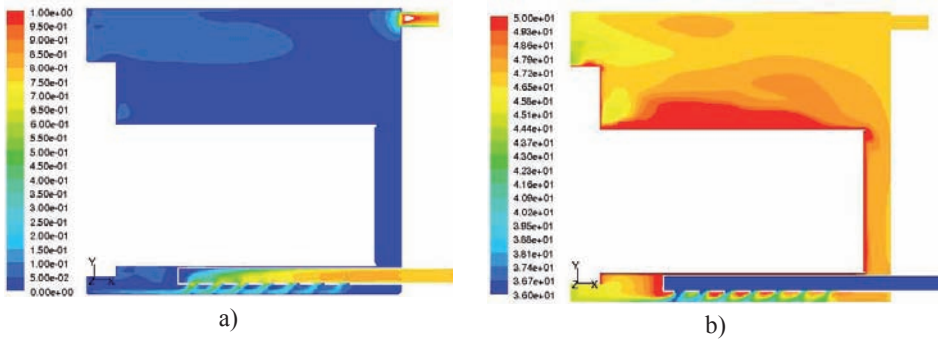
Da bi se izbjeglo direktno nastrojavanje hladne povratne vode na ogrjevne površine, povratni vod je upušten u kotao, a njegov kraj je zatvoren. Na donjoj strani povratnog voda napravljeno je 7 provrta promjera  $\varnothing 20 \text{ mm}$  kroz koje istrujava voda u kotao, te najprije udara na vanjski plašt kotla.

Cilj numeričke simulacije vrtložnika je bio dobiti profil brzina (aksijalna, radialna i tangencijalna komponenta brzine) nakon prostrujavanja zraka preko vrtložnika, a prije ubrizgavanja tekućeg goriva. Dobiveni profil brzina je preslikan kao rubni uvjet prilikom ulaska zraka u model 1B. U prvom koraku numeričkih simulacija ispitnog prototipa NTK25 najprije je provedena simulacija modela 2, pri čemu su kao rubni uvjet na veznim stijenkama između modela 1B i 2 korištene prosječne vrijednosti specifičnog toplinskog opterećenja veznih stijenki dobivene proračunom. Određene su kritične površine na kojima dolazi do kondenzacije dimnih plinova, odnosno na kojima je temperatura stijenke manja od dogovorom utvrđene granične temperature stijenke  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ . Prilikom numeričke simulacije modela 1B kao rubni uvjet na veznim stijenkama korištene su prosječne vrijednosti koeficijenta prijelaza topline dobivene nakon numeričke simulacije modela 2.

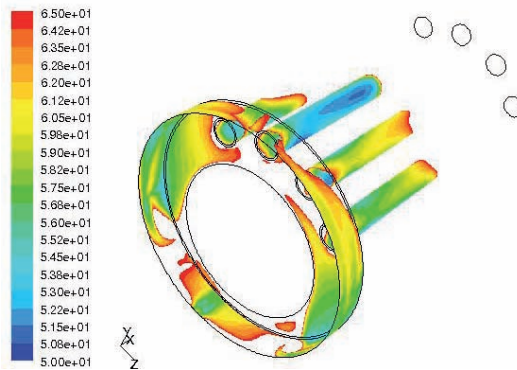
Raspodjela brzine i temperature u uzdužnom presjeku prototipa NTK25 bez turbulatora dobivene numeričkom simulacijom prikazane su na slici 8a i 8b. Izbjegnuto je direktno nastrojavanje povratne hladne vode na donji dio prednje cijevne stijenke i stijenke predkomore. Povratna hladna voda je usmjerena na donji dio vanjske stijenke kotla, a zatim struji oko cilindričnog ložišta.

Kritične ogrjevne površine dobivene numeričkom simulacijom ispitnog prototipa NTK25, na kojim se temperatura stijenke spušta ispod dogovorenih  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , su dimovodne cijevi koje nisu prevučene vanjskom cijevi, te bočni dijelovi prednje cijevne stijenke i stijenke predkomore (slika 9). Nakon ulaza u kotao povratna voda najprije udara u donji dio vanjske stijenke kotla, a zatim opstrujava ložište i diže se prema gore i pri tome opstrujava i bočne dijelove prednje cijevne stijenke i stijenke predkomore.





Slika 8: Prikaz raspodjele brzine (0–1 m/s) i temperature (36–50 °C) u uzdužnom presjeku ispitnog prototipa NTK25 bez turbulatora – model 2

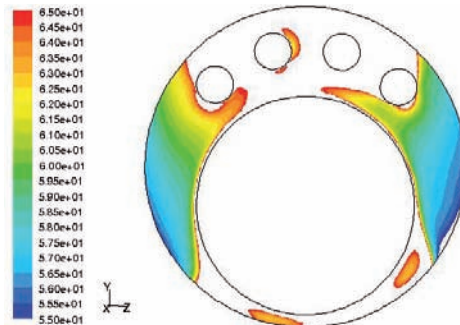


Slika 9: Prikaz raspodjele temperature (50–65 °C) na kritičnim ogrjevnim površinama ispitnog prototipa NTK25 bez turbulatora

Na slici 10 je prikazana pojava kondenzacije neposredno nakon otvaranja vrata ispitnog prototipa NTK25, a na slici 11 je dana raspodjela temperature samo na prednjoj cijevnoj stijenci. Minimalna temperatura prednje cijevne stijenke dobivena numeričkom simulacijom iznosi 55 °C.



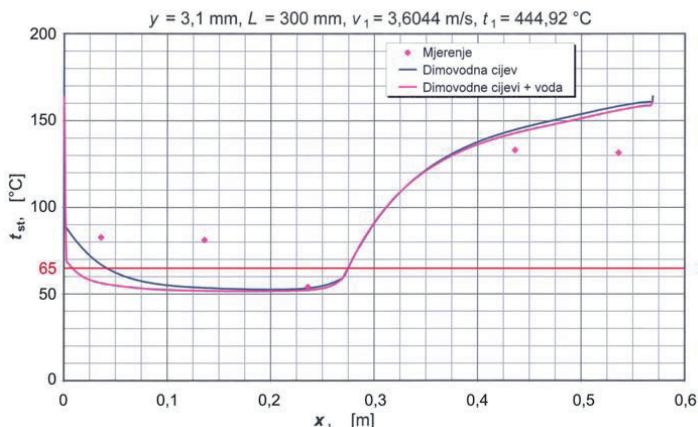
Slika 10: Kondenzacija dimnih plinova kod ispitnog prototipa NTK25



Slika 11: Prikaz raspodjele temperature (55–65 °C) na prednjoj cijevnoj stijenci ispitnog prototipa NTK25 bez turbulatora

S obzirom da su kod ispitnog prototipa dimovodne cijevi prevučene vanjskom cijevi duljine  $L = 300$  mm, problem kondenzacije rješava se umetanjem turbulatora u obliku zavojnice u dimovodne cijevi. Da bi se u potpunosti spriječila kondenzacija dimnih plinova na prednjoj cijevnoj stijenci i stijenci predkomore potrebno ih je prevući vanjskom stijenkom.

Na slici 12 su prikazane raspodjele temperature stijenske u dimovodnoj cijevi na strani dimnih plinova dobivene numeričkom simulacijom samo dimovodne cijevi, te numeričkom simulacijom strane vode (model 2), te raspodjela temperature dobivena mjerenjem. Odstupanje rezultata mjerenja od rezultata dobivenih numeričkim simulacijama djelomično je posljedica pretpostavljenih adijabatskih rubnih uvjeta na krajevima cijevi.



Slika 12: Usporedba temperatura stijenske na strani dimnih plinova dobivene mjerenjem i numeričkim simulacijama za slučaj dimovodne cijevi ispitnog prototipa NTK25 bez turbulatora (duljina vanjske cijevi  $L = 300$  mm)

Ukoliko se usporede ukupno količina topline predana od strane dimnih plinova preko ogrjevnih stijenci na stranu vode dobivena proračunom i numeričkom simulacijom uočava se poprilično dobro slaganje (tablica 1).

Tablica 1: Usporedba rezultata dobivenih proračunom i numeričkom simulacijom ispitnog prototipa NTK25 bez turbulatora – model 1B

	Preliminarni proračun, [kW]	Numerička simulacija, [kW]
Ukupna količina topline	<b>18,6358</b>	<b>17,545</b>

## 6. ZAKLJUČAK

Postavljeni cilj ovog rada bio je razvoj numeričkog modela NTK25 na EL loživo ulje. Razvijeni numerički model za simulaciju rada NTK25, koji se temelji na metodi kontrolnih volumena, obuhvaća procese pripreme gorive smjese u plameniku, izgaranje i prijelaz topline na ogrjevnoj strani te strujanje i prijelaz topline na strani vode i pruža vjerodostojne podatke o procesima izmjene topline i mase u kotlu. S takvim modelom moguće je istraživati utjecaj različitih geometrija kotla na pojavu kondenzacije dimnih plinova.

U radu je uočen korisni efekt turbulatora u obliku zavojnice na prijelaz topline, a time i na povećanje sporne temperature stijenske na strani dimnih plinova u dimovodnim cijevima. Na osnovu provedenih numeričkih simulacija dimovodnih cijevi određene su potrebne duljine vanjske cijevi kojom se prevlači osnovna cijev da bi se spriječila kondenzacija dimnih plinova. Dimovodne cijevi ispitnog prototipa NTK25 bez turbulatora potrebno je prevući s vanjskom cijevi duljine  $L = 500$  mm. Ukoliko su u dimovodne cijevi prototipa NTK25



umetnuti turbulatori u obliku zavojnice po cijeloj duljini dimovodnih cijevi, kondenzacija dimnih plinova se izbjegava prevlačenjem cijevi s vanjskom cijevi duljine  $L = 300$  mm.

Ostale kritične ogrjevne površine, dobivene numeričkim simulacijama provedenim zasebno na strani vode i na strani dimnih plinova, prednja cijevna stijenka i stijenka predkomore moraju se djelomično prevući dvostrukom stijenkom da bi se na njima u potpunosti spriječila kondenzacija dimnih plinova.

## POPIS OZNAKA

### Latinične oznake

$c_{pW}$	- specifični toplinski kapacitet vode	[J/(kgK)]
$L$	- duljina vanjske cijevi	[m]
$\dot{m}_G$	- maseni protok goriva	[kg/s]
$\dot{m}_W$	- maseni protok hladne vode iz vodovoda	[kg/s]
$Q$	- toplinski tok	[W]
$t_1$	- temperatura dimnih plinova na ulazu u dimovodnu cijev	[°C]
$t_2$	- temperatura dimnih plinova na izlazu iz dimovodne cijevi	[°C]
$t_{\text{prostora}}$	- temperatura zraka u prostoru	[°C]
$t_{\text{st}}$	- temperatura stijenke na strani dimnih plinova	[°C]
$t_{\text{DK}}$	- temperatura dimnih plinova u dimnoj komori	[°C]
$t_E$	- temperatura hladne vode iz vodovoda	[°C]
$t_L$	- temperatura dimnih plinova u ložištu	[°C]
$t_R$	- temperatura povratne vode	[°C]
$t_V$	- temperatura polazne vode	[°C]
$v_1$	- brzina strujanja dimnih plinova na ulazu u dimovodnu cijev	[m/s]
$\dot{V}_W$	- volumni protok svježe vode iz vodovoda	[m <sup>3</sup> /s]
$y$	- debljina zračnog sloja između unutarnje i vanjske cijevi	[m]

### Grčke oznake

$\alpha_W$	- koeficijent prijelaza topline na strani vode	[W/(m <sup>2</sup> K)]
$\lambda$	- koeficijent toplinske vodljivosti	[W/(mK)]
$\rho_W$	- gustoća vode	[kg/m <sup>3</sup> ]

## LITERATURA

1. F. Steimle: *Handbuch – Haustechnische Planung*, Herausgeber: Ruhrgas AG Essen, Verbundnetz Gas AG Leipzig, Karl Krämer Verlag Stuttgart, 2000.
2. Recknagel, Sprenger, Schramek: *Taschenbuch für Heizung and Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik 2000*, 69. Auflage, Oldenbourg Verlag, 1999.
3. DIN EN 303-1: *Heizkessel—Teil 1: Heizkessel mit Gebläsebrenner-Begriffe, allgemeine Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*, März 1999.
4. DIN EN 303-2: *Heizkessel—Teil 2: Heizkessel mit Gebläsebrenner-Spezielle Anforderungen an Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern*, Dezember 1998.
5. DIN EN 304: *Heizkessel—Prüfregeln für Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern*, November 1992.
6. *GAMBIT 2.2 Modeling Guide*, Fluent Inc., Lebanon, NH, 2004.
7. *FLUENT 6.2 User's Guide*, Fluent Inc., Lebanon, NH, 2004.



## 6. HRVATSKI SEMINAR O TLAČNOJ OPREMI

**Zagreb, 14. svibnja 2009.**

Velika kino-dvorana Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva,  
Zagreb, Ulica grada Vukovara 78 (istočni ulaz)

**Organizator:**  
ENERGETIKA MARKETING, Zagreb

**Suorganizatori:**  
Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva  
Agencija za opremu pod tlakom  
Hrvatska akreditacijska agencija  
Hrvatski zavod za norme  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje



**Tajništvo:**

ENERGETIKA MARKETING  
Sokolska 25, 10 000 ZAGREB  
tel. 01/ 377 12 56  
e-mail: to-seminar@ege.hr  
www.em.com.hr/tlacna\_oprema



## KLIMA FORUM 2009.

2. forum o hlađenju, klimatizaciji i ventilaciji Hotel "Donat", Zadar, 1. i 2. listopada 2009.



Cilj **Klima-foruma** je na jednom mjestu okupiti sve kojima su hlađenje, ventilacija i klimatizacija struka (proizvođače i trgovce opremom i uređajima, projektante, instalatere, servisere itd.), ali i korisnike opreme i uređaja za hlađenje, ventilaciju i klimatizaciju kako bi se svi mogli upoznati sa svim novostima (tehničkim rješenjima, dostignućima i proizvodima, normama i propisima itd.), ali i problematikom u području tehnike hlađenja, ventilacije i klimatizacije te uz ugodno druženje razmjenjivati iskustva i mišljenja.

**Organizator:**  
ENERGETIKA MARKETING  
d.o.o. ZA TEHNIČKE I POSLOVNE USLUGE

Zagreb, Sokolska 24  
tel: 01/ 377 12 56  
faks: 01/ 377 24 29  
e-mail: klimaforum@ege.hr  
www.em.com.hr



## PLINSKA ENERGETSKA KONFERENCIJA

Split, 12. i 13. studenog 2009.



## GAS ENERGY CONFERENCE

CROATIA, Split  
November 12-13, 2009

**Tajništvo:**



ENERGETIKA MARKETING  
Sokolska 25, 10 000 ZAGREB  
tel: 00 385 1 377 12 56  
faks: 00 385 1 377 24 29  
e-mail: pek@ege.hr  
www.em.com.hr/pek



## 9. konferencija o termografiji

uvodno slovo / introductory address	
S. Švaić .....	88
G. Weinzierl - <i>QUALITY CONTROL BY MEANS OF THERMOGRAPHY DURING THE CONSTRUCTION OF A PASSIVE HOUSE IN A MASSIVE DESIGN AND EXPERIENCES AFTER ONE-YEAR OPERATION AS AN OFFICE BUILDING</i> .....	89
E. Panic - <i>PLANEN UND BAUEN MIT VAKUUMDÄMMUNG / DESIGN AND CONSTRUCTION USING VACUUM INSULATION</i> .....	90
Ž. Hrs Borković, M. Zidar - <i>ULOGA IC TERMOGRAFIJE PRI PROVOĐENJU ENERGETSKIH PREGLEDA U SVRHU ENERGETSKOG CERTIFICIRANJA ZGRADA / THE ROLE OF IR THERMOGRAPHY IN ENERGY AUDITING OF BUILDINGS IN THE PROCESS OF ENERGY CERTIFICATION</i> .....	92
M. Andrassy - <i>IZOBRAZBA TERMOGRAFIŠTA / TRAINING OF THERMOGRAPHERS</i> .....	100
S. Švaić, I. Boras, M. Andrassy, N. Ferdelji - <i>IMPLEMENTATION OF THERMOGRAPHY FOR DETERMINATION OF THE AIR JET GEOMETRY IN HVAC SYSTEMS</i> .....	107
S. Švaić, I. Boras, M. Suša - <i>TERMOGRAFIJA U ZGRADARSTVU - PRIMJERI DETEKCIJE RAZLIČITIH TIPOVA GREŠAKA / THERMOGRAPHY IN CIVIL ENGINEERING - EXAMPLES OF DETECTION OF VARIOUS FAULT TYPES</i> .....	117

## **9. Konferencija o termografiji - Uvodno slovo**

prof.dr.sc. Srećko Švaić

Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

Poštovane kolegice i kolege, dame i gospodo,

Deveta konferencija o termografiji rezultat je 18-godišnje aktivnosti znanstvenika s Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu i značajna je zbog nekoliko stvari:

- Prošle godine započelo se s edukacijom termografista prema normi HRN EN 473 za stupanj I u organizaciji FSB Zagreb i njegovog Centra za transfer tehnologije
- Ove godine započinjemo međunarodni tečaj u suradnji sa Sektor Cert, Njemačka također za stupanj I
- Nastavljamo suradnju s Austrijskim termografskim društvom čiji su nam članovi pomogli u pripremi međunarodnog tečaja
- FSB Zagreb i njegov Centar za transfer tehnologije u suradnji s Hrvatskom udrugom za infracrvenu termografiju nastavlja promociju termografije kroz jednodnevne seminare

Infra-crvena termografija sve više postaje snažan alat u temeljnim i primijenjenim istraživanjima na različitim područjima u održavanju, nadzoru preventivi, nerazornim ispitivanjima, medicini, veterini i slično, a neka istraživanja i primjene bit će dane i kroz referate na ovoj konferenciji.

Na konferenciji će biti izneseno šest radova vezanih prvenstveno za područje zgradarstva, održavanja mikroklimе u prostorima i izobrazbe termografista kojima ova konferencija daje doprinos simpoziju Interklima a koji je ove godine posvećen štednji energije i energetsom vrednovanju zgrada. Na osnovi pristiglih radova može se zaključiti da će u budućnosti termografija sve više zauzimati mjesto u mnogim područjima kao praktična, brza i nadasve za neke probleme nezamjenjiva mjerna metoda. Upravo iz tog razloga očekujemo još više autora na 10. konferenciji o termografiji koja će se održati u okviru simpozija Interklima 2011. godine.

**Quality Control by means of Thermography while the Formation of a Passive House in a Massive Construction and Experiences after one-year operation as an Office Building.**

Günther Weinzierl, Dipl. Ing.  
METEG Ingenieurbüro Prof. Ing. Mendel Partner GmbH, Wallern / Trattnach, Austria

The term "Passive House" identifies a building standard which is obtained by different methods of construction-forms and materials.

The concept "Passive House" stands for a building where a comfortable indoor climate can be provided without a traditional heating system both in summer and in winter. First of all this supposes that the annual amount of required heat consumption doesn't lay over 15 kWh pro m<sup>2</sup> and year. The rest of the still required heat can be then affected through the warming of the additional air via already available ventilation system.

The decision to build in a massive construction with external insulation in our case is due to the better air-climatic qualities of humidity (minimum 35- max. 65% relative humidity). In order to control the building standard there was arranged a Blower Door measuring with thermographic examination of leakage during the construction phase (carcass with interior plaster and built-in windows). Examples of leakage demonstrate which way the air can take.

Inspection by means of indoor thermography after completed electric installation and external storefront.

Which consumer behaviour is required for a passive house- How do, for example, boreholes affect the outer walls, can the windows be opened?

Can the house with the selected heating system be heated up? How can the overheating be avoided in summer?

These questions will be thoroughly discussed in the Report.

## **Bauen mit Vakuumdämmung**

Emanuel Panic, TB Panic Qualitätsicherung,  
Blindenmarkt 7, A-4600 Schleißheim b. Wels

Der Einsatz von Vakuumdämmung ist im Baubereich, aus den Anforderungen eines erhöhten Wärmeschutzes, im Steigen begriffen. Der Einsatz reicht von der Dämmung hinter Raffstorekästen, der Dämmung von Terrassen, der nachträglichen wärmetechnischen Verbesserung von Fußböden und Decken bis hin zur Anwendung als Wärmedämmverbundsystem.

Für den Baubereich geeignete Vakuumpaneele, abgekürzt VIP, bestehen aus einem Stützkern aus pyrogener Kieselsäure welcher unter Vakuum in einer speziellen Kunststoffmetallverbundfolie eingeschweißt wird. Die Anforderungen an die Umhüllung liegen einerseits in der sehr hohen Dichtheit gegenüber Gasen und andererseits einer geringen Wärmeleitfähigkeit im Stoßbereich der Vakuum-paneele. Diese Anforderungen widersprechen sich bei genauerer Betrachtung, weshalb die in der Praxis eingesetzten Verbundfolien einen Kompromiss darstellen.

Die Montage von VIP's stellt sich ähnlich wie jene von Glasscheiben dar. Die Hüllfolie ist grundsätzlich sehr robust, jedoch führt jede kleinste Verletzung, es genügt ein Nadelstich, zum Defekt des Paneels, welches dann eine ca. 4-fach geringere Wärmeleitfähigkeit als im Ursprungszustand aufweist.

Bei der Projektierung des Wärmeschutzes ist die Alterung des Paneels zu berücksichtigen, welche unter der Annahme einer Verschlechterung der Wärmeleitfähigkeit von 0,005 W/mK auf ca. 0,009 W/mK, mit bis zu 50 Jahren angegeben werden kann.

Bei der Planung von Bauteilen mit Vakuumdämmung ist auch darauf zu achten, dass, falls es zu einem Totalausfall eines Paneels kommt, in diesem Bereich die gesetzlichen Mindestanforderungen hinsichtlich Wärmeschutz eingehalten und Bauschäden wie Schimmel- oder Tauwasserbildung hintan gehalten werden.

Da Vakuumpaneele nicht geschnitten werden können, werden die Paneele nach erfolgter Naturmaßnahme und Abklärung der Anschlussdetails individuell auf Maß gefertigt.

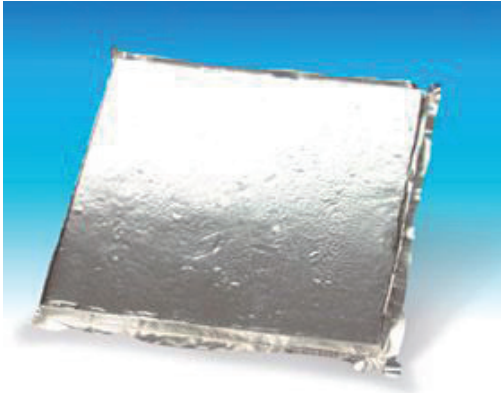
Bei der Befestigung von Vakuumdämmung im Wandbereich gibt es grundsätzlich 2 Methoden.

Die erste Variante stellt die Verklebung von Vakuumpaneelen dar, welche mittels Spezialkleber einfach durchzuführen ist, aber den Nachteil aufweist, dass der Austausch eines defekten Paneels erschwert wird.

Bei der zweiten Variante werden die Paneele mittels Klemmleisten gehalten. An diesen Klemmleisten können dann wieder Fassadenbekleidungen aller Art angebracht werden. Der Vorteil hier liegt in der möglichen Austauschbarkeit, verbunden mit dem Nachteil, dass je nach Wandaufbau die Wärmedämmwirkung durch die Fuge vermindert wird.

Vakuumpaneele stellen eine Möglichkeit dar, in Bereichen mit hohen Anforderungen an den Wärmeschutz und geringen Aufbauhöhen die erforderliche Dämmleistung bewerkstelligen zu können. Aufgrund durchgeführter Projekte sind ausreichende

Erfahrungen im Bereich Verarbeitung und Planung vorhanden. Vakuumdämmung kann bei sorgfältiger Planung und Verarbeitung somit als technisch ausgereifte Variante im Bereich innovativer Wärmedämmung betrachtet werden, deren Einsatz plan- und ausführbar ist.



Vakuumpaneel ohne umgeklebten Laschen

Verlegen von VIP's am Flachdach



Anwendung bei dünnen Aufbauten

**Uloga IC termografije pri provođenju energetskih pregleda u svrhu  
energetskog certificiranja zgrada**

**The role of IR thermography in energy auditing of buildings in the process  
of energy certification**

Željka Hrs Borković, B.Sc.Arch.Eng.  
Margareta Zidar, B.Sc.Arch.Eng.  
Energy Institute Hrvoje Požar  
Savska 163, Zagreb, Croatia  
385 1 6326138, 6326108, 6040599  
[zhrs@eihp.hr](mailto:zhrs@eihp.hr), [mzidar@eihp.hr](mailto:mzidar@eihp.hr)

**ABSTRACT**

Today the building sector is recognized as the biggest individual energy consumer when considering long life cycle of a building and its long and continuous influence on the environment. Therefore the biggest potential of energy and ecology savings is possible in buildings.

Implementation of energy certification in buildings, or grading buildings into classes according to the energy consumption, makes many key changes which will influence quality of construction, refurbishment of pre-existing buildings, reducing maintenance costs, applying innovative technologies and solutions and development of integrated design concept.

To complete the energy certificate an energy audit must be conducted, to determine energy performance of a building and to suggest measures to improve energy efficiency.

Paper shows the role of infrared thermography method in energy audits of new and pre-existing buildings, in analysis of construction and energy characteristics, and essential building characteristics. Through three examples of energy audits of buildings for public purposes; school, elderly nursing home and hospital, the implementation of infrared thermography has been analyzed as an important method in energy certification of buildings.

**KEYWORDS**

Energy efficiency, energy audits of buildings, energy certificate, infrared thermography, energy performance of buildings



## **INTRODUCTION**

Harmonization of national legislation with European Directives in building sector has resulted in adopting 4 new technical regulations in 2008 and introducing 2 obligatory studies in 2009. New legislation is oriented to classification of new and existing buildings according to energy consumption. Additional analysis of buildings is required by conducting an energy audit and display of results in an energy certificate. Energy audit is a procedure for determining energy characteristics of a building (both building elements and energy systems) and comparison of calculated characteristics of energy consumption to legal values. Energy certificate is a document which shows energy class of a building according to energy characteristics of a building and efficiency of energy systems installed. Calculated data are transposed to referent climate for grading energy consumption in classes from G (highest energy consumption) to A<sup>+</sup> (lowest energy consumption).

## **ENERGY AUDITS**

In an energy audit thermal characteristics of construction elements and characteristics of energy production and consumption systems are analyzed. Measures of energy efficiency are suggested according to three feasibility criteria: energy, ecology and financial savings. Audit is conducted through on site inspection of building and energy systems used and analysis of collected data. Calculated level of energy consumption is compared to legal values, when available. In the first phase of introduction of energy certification only  $Q_{h, nd}$  (needed yearly heat energy for heating) is used when grading buildings.

Energy audit in new and existing buildings analyzes all energy production and consumption systems. Heating demand is dependent on thermal characteristics of construction elements and climate characteristics of the location of the building. By calculation of transmission ( $H_T$ , W/K) and ventilation losses ( $H_V$ , W/K) heating demand is determined. Due to design or construction faults additional heat losses are present, e.g. thermal bridges areas on the building envelope where thermal flow is higher due to change of material, thickness or geometry of building element.

These losses increase total energy consumption and need to be identified and included in EE measures. Measurements are required to determine actual condition of building elements. Visualization of thermal losses by infrared thermography is especially useful in on site inspection and analysis thermal properties of the building's envelope, e.g. construction material is not known or construction faults are suspected. National legislation (in HRN EN 15603:2008, Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings) recommends infrared thermography in analysis of thermal bridges on building elements. Interpretation of measurements is used to determine measures of energy efficiency for improvement of both thermal and technical characteristics of buildings.

## **EXAMPLES OF IR THERMOGRAPHY APPLICATION IN ENERGY AUDITS**

Use of infrared thermography in energy audits is presented in three examples. In energy audits all building elements and energy systems have been analyzed, calculation of relevant parameters (heat energy needed for space heating), modeling of energy consumption and costs and measurements of thermal losses through external envelope are conducted.

IR thermography measurements are conducted in winter, in early evening (between 6 and 8 p.m.) while heating system was still running. Emissivity factor  $\epsilon=0,95$  was used as the material of the external envelope is plaster, brick or concrete. Other parameters are taken according to specific site conditions.

Hospital for continued nursing in Duga Resa consists of two buildings. In a historic building (built in 1900) external walls being of solid brick display characteristic thermal bridges on IR thermograms (Illustration 1). Although wall thickness represents high thermal mass capacity, total heat energy demand is high. Windows (being considerably thinner) and walls (thickness of 60 cm) connection represents linear thermal bridges. To improve energy efficiency partial application of measures is possible. As historic appearance of the façade can't be changed walls can be thermally insulated from inside. Insulation of ceiling toward unheated attic is also recommended. In a new part of building thermal losses are even higher. Thermal insulation is only used in external walls (thickness of insulation material is 3 cm). Windows of poor thermal characteristics and uninsulated screen boxes have highest influence on heat losses as shown on IR thermograms (Illustration 2). Thermal insulation of all building elements is recommended, external wall with additional 14 cm, ceiling toward attic with 20 cm and ground floor with 10 cm of thermal insulation material. New windows with low coefficient of heat transfer properly positioned to thermal insulation in wall are required to achieve energy economy. By implementation of all energy efficiency measures (for building elements and energy systems) heating energy demand in this building can be lowered by 75 percent.



Illustration 1: Photography and thermogram of a historic building (1900)

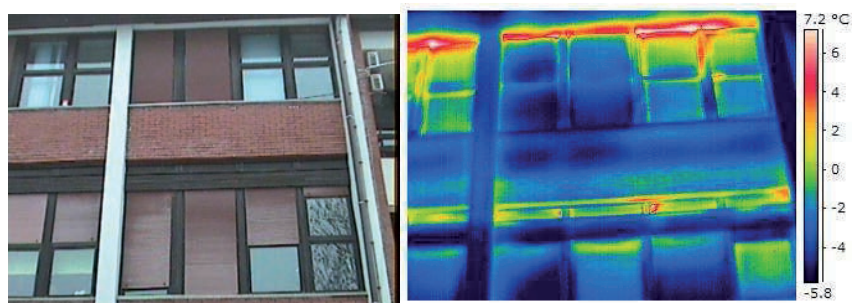


Illustration 2: Photography and thermogram of a new building (1984)

As design documentation of Elderly nursing home in Petrinja (built in two phases, in 1971 and 1981) was not available, IR thermography was used to determine material of external

envelope. IR thermograms showed difference in thermal losses indicating different materials used and no thermal insulation material in the external envelope. Relatively higher thermal losses represent concrete elements of construction, brick elements are represented by relatively lower thermal losses (Illustration 3). Thermal insulation of steel frame windows and panels is poor, displayed by higher emissivity on IR thermogram (Illustration 4). Negative effect of thermal bridges is also displayed on corners of walls, wall and window connection and on cantilevered balcony slabs (Illustration 5). All conclusions from IR thermography analysis were taken into consideration when suggesting energy efficiency measures. Thermal insulation of all building elements is suggested, external walls with 10 cm, ceiling toward unheated attic with 16 cm and change of windows with new ones of good thermal characteristics. Special attention is given to characteristic details of construction in achieving continuity of insulation material to avoid thermal bridges. By all EE measures recommended and specific construction details enclosed total heating energy demand in this building can be lowered by 70 percent.

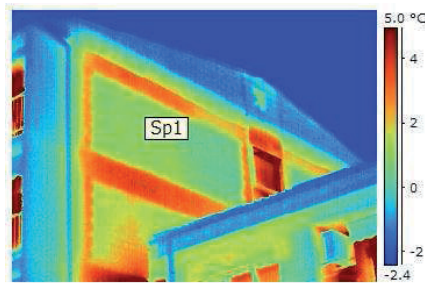


Illustration 3: Difference in thermal losses indicates different materials of building envelope

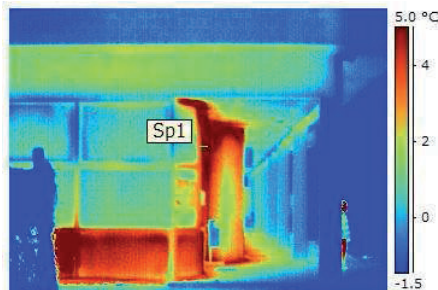


Illustration 4: Low thermal insulation of steel frame windows and panels



Illustration 5: Thermal losses through uninsulated cantilevered balcony slabs and windows

Building crafts high school in Čakovec has low level of thermal protection, all building elements have minimum of thermal insulation material (3-5 cm) in composite wall element. Continuity of insulation material is not achieved and linear thermal bridges are seen on IR thermograms. Wall and ground floor thermal material connection is not achieved and also wall and window connection show thermal bridges (Illustration 6). Due to thermal bridges total heat energy consumption of a building is high (Illustration 7). In an energy audit construction details to avoid thermal bridges are enclosed. Additional thermal insulation is recommended for all building elements, external wall with 12 cm of insulation material, flat roof with 20 cm and change of windows with energy efficient ones with movable shutters to achieve Sun protection. By application of all energy efficiency measures and specific construction details enclosed total heating energy demand in this building can be lowered by 50 percent.



Illustration 6: Linear thermal bridge on ground floor and wall connection



Illustration 7: Characteristic thermal bridges on the corners of a building

## ENERGY EFFICIENCY MEASURES INPUT TO ENERGY CERTIFICATION

While energy audit provides information for technically educated personnel, energy certificate communicates to owners and all users of buildings. Energy certificate grades buildings in classes according to energy characteristics calculated in an energy audit: efficiency of energy systems used and quality of thermal characteristics of the external envelope. The class represents in simple way energy consumption of a building, also indicating energy and maintenance costs. Using standard construction principles about 15 percent of energy is used for the construction of a building and 85 percent of energy is used during its lifecycle. Energy efficient buildings have up to 50 percent lower energy demand compared to standard buildings according to legal values. Investing in energy efficiency reduces living/business costs and therefore should be included in planning new and reconstructing existing buildings.

To upgrade energy efficiency, an energy certificate also provides list of measures for improvement of energy systems and building elements and introduces energy management. These measures are divided in two categories, according to complexity of implementation and financial resources needed and can be used in renovation, maintenance and in every day use to achieve energy savings. Simple measures with low financial resources needed and short payback period (up to 3 years and up to 5000 kn/100 m<sup>2</sup>) include improvement of deficiencies recognized in on site inspection of the building: improvement of sealing of windows and doors, change of glazing, thermal insulation of ceiling toward unheated attic or pitched attic roof, radiator niches and screen boxes, thermal insulation of heating system distribution pipes and hot water tanks and other measures in heating and electricity consumption system. Most of these measures can be recognized by infrared thermography measurement and interpretation of the results. Improvement of such construction deficiencies or lack of basic maintenance practices can reduce heat energy consumption. These characteristics are very important in energy certification of buildings considering heating demand has highest share of energy consumption, both in residential and non-residential buildings.

Next category are measures with higher financial resources needed and longer pay back period (more than 3 years and more than 5000 kn/100 m<sup>2</sup>) and are based on heat energy demand calculation or technical improvement of all technical systems. These measures are recommended when technical and thermal characteristics of building elements and energy systems are poor and total energy demand is much higher than legal value. Infrared thermography analysis can also indicate level of deficiency where change of elements or major improvement of thermal characteristics is required, as shown in previous examples of energy audits.

Table 1: Construction deficiencies recognized by infrared thermography in presented examples

Building	Year of construction	Construction deficiencies recognized by infrared thermography	Energy efficiency measures	Expenses
Hospital for continued nursing in Duga Resa	Old building in 1900, new building in 1984	Low level of thermal insulation on new building	Thermal insulation of external envelope, change of windows	More than 5000 kn/100 m <sup>2</sup>
		Uninsulated screen boxes		
		Widows of poor thermal and technical characteristics		
Erderly nursing home in Petrinja	Old building in 1971, new building in 1981	Linear thermal bridges on cantilevered balcony slabs	Thermal insulation of external envelope, change of windows	More than 5000 kn/100 m <sup>2</sup>
		Uninsulated external envelope		
		Widows of poor thermal and technical characteristics		
Building crafts high school in Čakovec	1975	Low thermal protection of the external envelope	Thermal insulation of external envelope, change of windows	More than 5000 kn/100 m <sup>2</sup>
		Linear thermal bridges on wall and ground floor connection		
		Widows of poor thermal and technical characteristics		



Market value of a building will be influenced by an energy certificate for it shows energy consumption according to actual energy characteristics and gives list of measures required to improve living comfort and reduce energy costs. Starting from September 2009 energy certificate display will be obligatory for all public buildings and when selling, leasing or renting buildings or single units of a building. Presentation of energy characteristics of buildings will stimulate implementation of contemporary construction principles and building elements to reduce energy consumption. To achieve this goal cooperation and contribution of all participants in construction process is required, starting from design idea. Engineers trained in energy efficiency and conducting energy measurements are new members of design team responsible for improvement, harmonization and feasibility of basic design and technical solutions.

## CONCLUSION

Examples of energy audits show importance of measurements to assess energy characteristics of buildings and detect possible construction deficiencies. Thermal characteristics of the building's envelope influence energy demand for heating and cooling i.e. highest share of energy consumption. These characteristics need to be calculated, measured and evaluated on site and in design documentation. For measurement of thermal losses a non destructive and easily interpreted method of infrared thermography is used. Thermograms visualize thermal losses of building elements and indicate state and possible deficiencies of building elements and energy systems.. Highest potential for energy saving in Croatia is in building sector for mostly they were built in the period from 1960 to 1980 using no thermal insulation. These buildings need to be renovated not only to reduce energy consumption but also to improve other technical characteristics. When suggesting measures of energy efficiency, actual condition of building elements and energy systems must be evaluated to achieve not only energy economy and thermal protection but also include other essential characteristics of a building, upgrading hygiene, health, indoor comfort and environmental conditions. Assessment of current energy characteristics of a building and calculations for energy efficiency improvement conducted in an energy audit provide energy, financial and ecology feasibility of investment. For this reason an energy audit is necessary in reconstruction of existing buildings and in planning new buildings. Also, calculation of energy characteristics of a building provides input data for energy certification. Energy audits and energy certification are new obligatory technical documents of buildings. In a very near period experienced, specifically trained and certified engineers are required for provision of these documents.

## SAŽETAK

Sektor zgradarstva danas je prepoznat kao najveći pojedinačni potrošač energije, koji zbog dugog životnog vijeka zgrada, ima dug i kontinuiran utjecaj na okoliš. Također je prepoznato da se upravo u zgradama krije najveći potencijal energetske i ekološke uštede. Uvođenje energetske certifikacije zgrada odnosno podjele zgrada u razrede prema energetskej potrošnji, donosi niz ključnih promjena koje će utjecati na podizanje kvalitete gradnje, osuvremenjivanje postojećih zgrada, smanjenje troškova održavanja, primjenu inovativnih tehnologija i rješenja, te razvoj integralnog pristupa projektiranju. Za izdavanje energetske certifikata potrebno je provesti energetski pregled, kojim se utvrđuju energetska svojstva zgrade te predlažu mjere za povećanje energetske učinkovitosti.

U radu je prikazana uloga metode IC termografije pri provođenju energetske pregleda novih i postojećih zgrada kod analize građevinskih i energetske karakteristika, te općenito

utvrđivanja bitnih svojstava građevine. Kroz tri primjera provedenih energetske pregleda zgrada javne namjene, škole, doma za starije i nemoćne osobe, te bolnice, analizira se primjena termografije kao nezaobilazne metode pri energetskom certificiranju zgrada.

### **KLJUČNE RIJEČI**

energetska učinkovitost, energetske pregledi zgrada, energetski certifikat, IC termografija, energetska svojstva zgrada

### **Bibliografija / Bibliography**

1. Technical regulation on energy economy and thermal protection in buildings (NN 110/08)
2. Technical regulation on heating and ventilation systems (NN 110/08)
3. Technical regulation on energy certification of buildings (NN 113/08)
4. Technical regulation on conditions and classification of energy certification experts (NN 113/08)
5. Methodology of energy audits for energy certification of buildings, on public discussion, available on ([www.mzopu.hr](http://www.mzopu.hr))
6. Prefeasibility study for application of alternative energy sources in buildings, on public discussion, available on ([www.mzopu.hr](http://www.mzopu.hr))
7. Law on physical planning and construction, article 14, NN 137/07
8. Hrs Borković, Ž. et al.: Energy audits of hospitals in Ogulin and Duga Resa: Hospital for continued nursing in Duga Resa, Energy institute Hrvoje Požar, Zagreb, 2009
9. Hrs Borković, Ž. et al: Energy audit of school and student accommodation buildings in Building crafts school in Čakovec, Energy institute Hrvoje Požar, Zagreb, 2008
10. Hrs Borković, Ž. et al: Energy audit of elderly nursing home in Petrinja, Energy institute Hrvoje Požar, Zagreb, 2008

## IZOBRAZBA TERMOGRAFIŠTA

Prof.dr.sc. Mladen Andrassy  
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje

### Sažetak

Termografija je suvremena metoda određivanja raspodjele temperature na površinama objekata. Osim što donosi sve prednosti beskontaktnog mjerenja, velika joj je prednost pred ostalim načinima mjerenja temperature u tome što je njezin rezultat mjerenja termogram, koji predstavlja trajan zapis razdiobe temperature na površini promatranog objekta, a to znači da se time dobiva vrlo velik broj podataka odjednom, što ne omogućava niti jedna druga metoda mjerenja temperature. S druge strane, termografija se temelji na mjerenju intenziteta infracrvenog zračenja promatrane površine, pri čemu je za mjerni rezultat relevantno samo njeno vlastito zračenje, dok ostale izvore zračenja (reflektirano i propušteno) te utjecaj okoline i samog mjernog uređaja treba eliminirati iz mjernog signala. To od mjeritelja – termografista zahtijeva dobro poznavanje kako samog instrumenta, tako i fizikalnih podloga na kojima se temelji mjerna metoda te svojstava mjerenog objekta. Stoga je razumljivo da je potrebno posvetiti naročitu pažnju izobrazbi termografista prije nego će on uopće moći započeti mjernu djelatnost, a isto tako i tijekom njegovog radnog vijeka. Termografija je relativno mlada mjerna metoda, te stoga još nije dovoljno dobro pokrivena normama niti u metrološkom a niti u obrazovnom pogledu. Kako ona nedvojbeno spada u nerazorne metode ispitivanja, na području izobrazbe termografista u Europi je široko prihvaćena norma EN 473 Nerazorna ispitivanja – Kvalifikacija i certifikacija osoblja – Opća načela, a drugdje, naročito u SAD, koristi se ISO 9712 Nerazorna ispitivanja – Kvalifikacija i certifikacija osoblja. U radu će biti obrađena pitanja potrebe i realizacije izobrazbe termografista u Republici Hrvatskoj, naročito u svjetlu novo donesene regulative u području energetske učinkovitosti zgrada.

### Summary

The paper analyzes the needs for systematic education of thermographers in accordance with existing standards. The focus is put on the education according to EN 473, which is a harmonized European standard, accepted in the Republic of Croatia, and represents the basic act in professional training and certification of personnel for non-destructive testing methods. The conditions requested by the standard and qualification levels are presented along with the corresponding teaching contents, acquired competencies and exams in the process of the certification of thermographers. The paper ends with an overview of the development of thermography in Croatia with a special review of problems in the examination of thermal characteristics of buildings and their energy certification, where thermography is one of the most practical and appropriate testing methods.

### 1. Uvod

Prema definiciji je termografije beskontaktna metoda mjerenja razdiobe intenziteta infracrvenog (IC) zračenja promatranog objekta. Fizikalni zakoni (Stefan-Boltzmannov zakon, Planckova spektralna distribucija intenziteta zračenja) pokazuju da je intenzitet zračenja razmjeran četvrtoj potenciji apsolutne temperature tijela, pa će na temelju termografskog mjerenja biti moguće odrediti i njegovu temperaturu. Ako se radi o krutom objektu, koji je uz to i neproziran za IC zračenje, to će biti temperatura površine objekta, koju



se dobiva uzimajući u obzir emisijska svojstva površine te relevantne parametre okoline i samog mjernog uređaja – termografske kamere. Kod tijela prozirnih za IC zračenje, načelno će uz spomenute parametre biti potrebno eliminirati propušteno zračenje (npr. pomoću odgovarajućih filtara), a kada se radi o većim nakupinama plinova, termografija omogućava određivanje njihove prosječne temperature.

Množina ovih ukratko navedenih utjecajnih parametara koje valja uzimati u obzir pri termografskom mjerenju, složenost fizikalnih zakonitosti koje ih objedinjuju i zahtjevni tehnički ustroj same termografske opreme jasno ukazuju na nužnost temeljitog obrazovanja osoblja za termografska mjerenja - termografista. Termografisti svoja mjerenja i snimanja obavljaju u mnogim područjima djelatnosti, a glavne skupine definirane regulativom jesu: industrija, elektrotehnika, građevinarstvo (zgradarstvo) i detekcija propuštanja. Termografija je relativno mlada mjerna metoda; komercijalno je dostupna tek od šezdesetih godina 20. stoljeća, a tek u posljednjih dvadesetak godina doživljava sve intenzivniju primjenu; pa nije neobično da je za sada slabo pokrivena normama. To podjednako vrijedi za metodologiju primjene i za izobrazbu termografista. Kako je netom istaknuto, izobrazba osoblja za termografiju posebno je važna, jer će jedino dobro obrazovan termografist moći pružiti kvalitetnu uslugu i pouzdane rezultate mjerenja. Garanciju kvalitete obrazovanja pružiti će certifikacijske organizacije pod čijim nadzorom i prema čijim pravilima se obavlja izobrazba i provjera znanja termografista. U skladu s činjenicom da je termografija neinvazivna treba je svrstati u područje nerazornih metoda ispitivanja. Izobrazba osoblja u tome području regulirana je dvama normama. Europska harmonizirana norma EN 473: Nerazorna ispitivanja – Kvalifikacija osoblja – Opća načela prihvaćena je i u Republici Hrvatskoj (HRN EN 473) predstavlja temelj edukacije osoblja za nerazorna ispitivanja u većini europskih zemalja. Međunarodna norma ISO 9712: Non-destructive testing – Qualification and certification of personnel koristi se u drugim zemljama, poglavito u Sjedinjenim Državama Amerike. Ta norma doduše među nerazorne metode ubraja i termografiju (infrared thermographic testing – TT), ali je ne razrađuje po pojedinim područjima primjene, te stoga nije globalno prihvaćena za izobrazbu termografista.

Iako EN 473 eksplicitno ne spominje termografiju i te metode nema u njenom popisu nerazornih postupaka ispitivanja, izobrazba termografista provodi se upravo po toj normi. To je logična posljedica svojstava termografskog mjerenja, a i toga da se norme koje reguliraju termografsko mjerenje (npr. DIN 54190: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermographische Prüfung) i izobrazbu termografista (npr. DIN 54162: Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung und Zertifizierung von Personal im Verfahren Infrarot-Thermographie) pozivaju se na tu europsku normu.

U Republici Hrvatskoj su se prvi termografski uređaji pojavili krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća, najprije u medicinskom i znanstveno istraživačkom području, a potom i u industriji i uslužnim djelatnostima. Izobrazba osoblja koje je radilo s tim uređajima bila je dugo vremena prepuštena njihovoj osobnoj inicijativi i temeljila se je pretežno na individualnom učenju i sporadične odlaske na tečajeve koje su organizirali proizvođači opreme, pretežno bez nadzora certifikacijske organizacije. Tek su 2007. godine upriličeni prvi tečajevi za termografiste stupnja I (Level I) prema EN 473. Organizator tečaja prijavio je postupak certifikacije pri akreditiranoj certifikacijskoj organizaciji te valja očekivati prve hrvatske termografiste s međunarodnim certifikatom u skoroj budućnosti.

Kvalitetno obrazovani termografisti svakako će doprinijeti kvaliteti termografskih ispitivanja u mnogim područjima djelatnosti. Naročito aktualno je pri tome područje zgradarstva, gdje je u posljednje vrijeme u Republici Hrvatskoj donijet niz propisa kojima se regulira energetska učinkovitost novih i postojećih zgrada. Ti propisi zahtijevaju među ostalim i kontrolu toplinskih karakteristika zgrada, a pri tome termografija pruža najkvalitetnije mogućnosti nadzora i mjerenja.

## **2. Izobrazba termografista prema HRN EN 473**

Norma propisuje postupak izobrazbe i certifikacije osoblja za nerazorna ispitivanja. Izobrazba i provjera znanja provodi se u ispitnim centrima ili pri ovlaštenim kvalifikacijskim tijelima, pod nadzorom certifikacijskog tijela koje mora udovoljavati zahtjevima EN ISO/IEC 17024 (EN 45013). Certifikacija osoblja se provodi za traženu metodu nerazornog ispitivanja, za traženi stupanj u predviđenim sektorima djelatnosti a temelji se na kvalifikacijskom ispitju. Norma predviđa tri stupnja certifikacije osoblja koje ovisno o postignutom stupnju ima različite ovlasti u postupcima ispitivanja. Za termografsku metodu ispitivanja razlikuju se četiri sektora: industrija, elektrotehnika, zgradarstvo i detekcija propuštanja.

Da bi udovoljio zahtjevima norme, ispitni centar mora imati:

- umjerene mjerne uređaje
- primjerene prostorije
- ispitne uzorke
- zbirke ispitnih pitanja odobrene od certifikacijskog tijela

Ispitni uzorci moraju simulirati realne situacije i omogućavati da kandidat pokaže svoje sposobnosti za praksu. Ispitni uzorci različitih ispitnih centara moraju sadržavati usporedive pogreške.

Provjera znanja strogo je odvojena od pripreme za ispit, tj. mora biti zadovoljeno pravilo: „onaj koji školuje, ne može provjeravati znanje“. To znači da ispite provodi ispitivač ovlašten od certifikacijskog tijela. Ispitivač mora biti certificiran za najviši stupanj kvalifikacije (Stupanj III prema EN 473).

### **2.1 Stupnjevi kvalifikacije**

Spomenuta tri stupnja kvalifikacije za koje se može zatražiti certifikacija prema EN 473 su sljedeća:

Stupanj I – provedba postupka ispitivanja. Osoba s certifikatom Stupanj I osposobljena je za stručno provođenje ispitivanja u skladu s pisanim uputama, za podešavanje opreme, bilježenje i razvrstavanje rezultata ispitivanja u skladu s uputama i za izradu izvješća o ispitivanju.

Stupanj II – ocjena rezultata ispitivanja. Osoba s certifikatom Stupanj II, osim kompetencija osobe sa Stupnjem I, osposobljena je za izbor postupaka ispitivanja, za izradu uputa za ispitivanje, za nadzor osoblja Stupnja I te za ocjenu rezultata ispitivanja u skladu s regulativom.

Stupanj III – odgovorna osoba. Osoba s certifikatom Stupanj III odgovara za ispitni sustav i osoblje. Ona odlučuje o tome koje će se postupke primijeniti, tumači propise i norme te izrađuje opise postupaka. To je ujedno najviši stupanj certifikacije osoblja u sustavu nerazornog ispitivanja.

### **2.2 Provjera znanja**

Za sva tri stupnja kvalifikacije norma zahtijeva pripremni tečaj određenog sadržaja i trajanja s pripadnim ispitom. Ispiti se sastoje od teorijskog i praktičnog dijela. Teorijski dio se opet dijeli na opći dio i dio koji se odnosi na izabrani sektor. Moguće je polagati ispit za više sektora odjednom. Za praktični dio ispita za Stupanj I i II koriste se ispitni uzorci na kojima kandidat pokazuje svoju kompetentnost za ispitivanje po danoj nerazornoj metodi i prijavljenom sektoru, a za zadani stupanj kvalifikacije.

Ispit za Stupanj III se u praktičnom dijelu sastoji od sastavljanja opisa postupka ispitivanja kakav će služiti u ispitivanju koje provode osobe sa Stupnjem I i II. Ispitu za Stupanj III može pristupiti osoba sa certifikatom za Stupanj II ili ona koja ima samo certifikat za Stupanj I i položen praktični dio ispita za Stupanj II (koji je moguće polagati zajedno s ispitom za Stupanj I).

Opći dio teorijskog ispita je test s određenim brojem pitanja iz teorije vezane uz metodu te pitanjima vezanim uz izabrani sektor (sektore). Uz svako pitanje ponudena su četiri odgovora od kojih je samo jedan točan (test višestrukog izbora). U praktičnom dijelu rješava se najprije zadani problem opisan na odgovarajućem formularu, a potom se pristupa konkretnom zadatku na ispitnom uzorku. Sva pitanja za ispit bira slučajnim izborom certifikacijsko tijelo. Rezultate ispita utvrđuje ovlaštenu ispitivač kojeg delegira certifikacijsko tijelo. Pojedinačni dijelovi ispita moraju biti zadovoljeni s najmanje 70% predviđenih bodova, a ukupni rezultat ne smije biti manji od 80%. Na ispitu za Stupanj III ukupni se rezultat određuje kao aritmetička sredina rezultata pojedinačnih dijelova ispita, dok se kod ispita za Stupanj I i II jednak značaj daje praktičnom i pismenom dijelu. To znači da praktični dio ima ponder 0,5 a svaki dio pismenog dijela ima ponder 0,25.

Kandidat koji nije zadovoljio na nekom od dijelova ispita može ga ponoviti samo jedanput i to najranije nakon proteka roka od 30 dana. Ukoliko kandidat ne zadovolji na ponovljenom dijelu, mora ponoviti cjelokupni ispit.

### ***2.3 Specifičnosti izobrazbe termografista***

U skladu s općim načelima izobrazbe i certifikacije osoblja za nerazorna ispitivanja prema EN 473 određeni su sadržaji i trajanje pripremnih tečajeva, minimalno radno iskustvo, zdravstveni i etički uvjeti te načini i sadržaji provjere znanja za certificirane termografiste. Za to još ne postoje harmonizirane norme već samo prijedlozi normi na nacionalnoj razini kao što je npr. DIN 54162/2006.

Polaznici tečajeva iz termografije upoznaju se s to metodom mjerenja i ispitivanja putem sljedećih tematskih cjelina:

- Normizacija u području nerazornih ispitivanja
- Termodinamičke osnove:
  - o temperatura i toplina
  - o mehanizmi prijelaza i prolaza topline
  - o teorija toplinskog zračenja
- Mjerenje temperature kontaktnim i beskontaktnim načinom
- Načela rada termografskih uređaja i bolometara
  - o povijesni aspekti
  - o ustroj uređaja: optički dio, osjetnici zračenja, pretvorba signala
- Termografsko mjerenje
  - o izbor mjernih parametara: emisijski faktor, prividna reflektirana temperatura, utjecaji okoline i atmosfere
  - o svojstva uređaja: temperaturna i prostorna razlučivost, točnost
  - o podešavanje uređaja: temperaturni raspon i temperaturna razina
  - o izbor mjernih alata i funkcija uređaja
  - o očitavanje termograma, interpretacija podataka, spremanje termograma
  - o izrada izvješća
- Primjena termografije

- opći aspekti: pasivna i aktivna, kvantitativna i kvalitativna termografija
  - mjerenja u elektrotehnici
  - mjerenja u industriji
  - mjerenja u zgradarstvu
- Izbor termografske opreme prema namjeni

Navedeni sadržaji obrađuju se u pripremnim tečajevima primjereno traženom stupnju certifikacije. Za Stupanj III se uz navedene teme specifične za termografiju izučavaju i teorijska i praktična načela vezana uz ostale metode nerazornih ispitivanja.

Trajanje pripremnih tečajeva za sva tri stupnja određeno je s 40 sati s time da za Stupanj II kandidat koji je prijavio više sektora dobiva obuku od daljnjih 20 sati za svaki dodatni sektor.

Za pristup certifikacijskom postupku potrebno je određeno radno iskustvo u sektoru. Za Stupanj I je to najmanje 3 mjeseca, za stupanj II 9 mjeseci, a za Stupanj III između 12 i 72 mjeseca, ovisno o školskoj spremi. Potvrdu o radnom iskustvu izdaje poslodavac kandidata.

U pogledu zdravstvenih preduvjeta provjerava se jedino vid (oštrina i razlikovanje boja) kandidata za što se traži liječnička potvrda ili potvrda ovlaštenog optičara.

Etičku podobnost kandidat dokazuje potpisivanjem odgovarajuće izjave.

### **3. Izobrazba termografista u Republici Hrvatskoj**

Kako je već rečeno u uvodu, organizirana izobrazba termografista u Republici Hrvatskoj je ustanovljena tek nedavno, unatoč činjenici da su prvi termografski uređaji nabavljeni još krajem tisućudevetstosedamdesetih, a u posljednjih dvadesetak godina brojimo blizu stotinu aktivnih termografista i još veći broj prodanih termografskih kamera i drugih instrumenata za beskontaktno mjerenje temperature.

Pioniri termografije u Hrvatskoj, a i drugdje, pretežno su bili prepušteni samostalnom učenju i usavršavanju, prvo na temelju, često šturih i nepotpunih, uputa proizvođača termografske opreme koju su nabavili te rijetke i teško dostupne literature iz IC termografije. U Hrvatskoj nije bilo termografskih tečajeva, već su ih veći proizvođači opreme organizirali u svojim sjedištima ili većim središtima s brojnijom klijentelom.

Kada se govori o izobrazbi na području termografije potrebno je spomenuti da je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu ta problematika uvrštena u nastavni program nekih modula studija strojarstva ubrzo nakon što je 1978. godine nabavljena prva termografska kamera (AGA 680 – Standard) za tadašnji Toplinski laboratorij fakulteta. Na taj je način već tridesetak generacija studenata termotehničkog i procesnog modula studija dobilo temeljne informacije o toj mjernoj metodi i praktičnu obuku u termografskom mjerenju putem laboratorijskih vježbi.

Organiziranoj izobrazbi termografista doprinijelo je osnivanje Hrvatske udruge za infracrvenu termografiju u lipnju 2005. godine. Udruga je među svoje zadaće odmah uvrstila i obrazovanje članstva. U tome smislu organizirani su isprva posjeti tečajevima iz termografije u inozemstvu. Oni su se međutim pokazali suviše skupima za većinu zainteresiranih, a dobiveni certifikati nisu bili u skladu s EN 473. Stoga se je nastavilo napore za organizacijom tečajeva u Hrvatskoj.

Rješenje je nađeno u suradnji HUICT-a i Centra za transfer tehnologije (CTT) Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Od 2007. godine nadalje CTT organizira petodnevne tečajeve za izobrazbu termografista za Stupanj I. Istodobno se upriličuju i

jednodnevni informativni seminari o termografiji sa svrhom davanja temeljnih informacija o termografiji potencijalnim korisnicima termografskih usluga ili termografskih uređaja. U proteklom razdoblju održana su takva dva informativna seminara, a kroz sedam održanih tečajeva prema EN 473, nešto više od šezdeset polaznika koji su ih s uspjehom završili steklo je kvalifikaciju termografista za Stupanj I.

Teorijsku i praktičnu nastavu na tečajevima provode nastavnici Fakulteta strojarstva i brodogradnje iz područja termodinamike i termotehnike s dugogodišnjim iskustvom u radu s termografskim uređajima, a redoviti su gosti i stručnjaci iz prakse, koji polaznicima iznose iskustva i demonstriraju rad najnovije opreme. Polaznicima su na raspolaganju podloge za predavanja, a vježbe se provode na uzorcima u laboratoriju i na realnim objektima električnih i termotehničkih instalacija Fakulteta. Nastavnici tečaja izdali su i knjigu „Osnove termografije s primjenom“, koja predstavlja prvo izdanje o termografiji na hrvatskom jeziku i sadrži potrebne informacije o načinu rada termografskih uređaja i njihovom ustroju te mogućnostima primjene termografije. Knjiga služi kao udžbenik za polaznike i uključena je u cijenu tečaja. Izrađena je i zbirka pitanja od kojih se radi izbor pitanja za teorijski dio ispita, a za praktični dio ispita postoje ispitni uzorci. Za provedbu nastave i ispita postoje i više nego odgovarajući prostori i infrastruktura. Sadržaj seminara i provjera znanja je usklađena sa zahtjevima norme EN 473, ali seminar za sada nije pod nadzorom certifikacijskog tijela. Osnovni razlog za to je da nisu postojali potrebni termografisti sa Stupnjem III kakvi su potrebni za ovlaštene ispitivače. U međuvremenu su dva člana tima postigla taj stupanj certifikacije, a treći se priprema. Na taj način su postignuti uvjeti za pokretanje postupka certifikacije pri akreditiranom certifikacijskom tijelu. Za tu svrhu uspostavljeni su kontakti s kućom SECTOR Cert, Treusdorf, SR Njemačka, koja već ima mrežu ispitnih centara za nerazorna ispitivanja i akreditirana je pri Njemačkom udruženju za akreditaciju (TGA - Trägergemeinschaft für Akkreditierung) za certifikaciju osoblja za nerazorna ispitivanja. Uskoro se očekuje potpisivanje ugovora o osnivanju ispitnog centra za termografiju, a kada završi evaluacijski postupak moći će se provoditi izobrazba temeljem koje će polaznici stjecati certifikat termografista za Stupanj I i II prema HRN EN 473 s međunarodnom važnošću. Izobrazba će se nuditi na hrvatskom i engleskom jeziku, te će je stoga moći pohađati polaznici iz inozemstva.

Takva organizacija izobrazbe dati će dodatnu kvalitetu obrazovanju termografista za sektore industrije, elektrotehnike i zgradarstva. Naročito aktualno je pri tome područje zgradarstva, gdje je u posljednje vrijeme u Republici Hrvatskoj donijet niz propisa kojima se regulira energetska učinkovitost novih i postojećih zgrada. Oni su nastali iz potrebe za racionalnim korištenjem energije i smanjenjem utjecaja na okoliš, ali i kao posljedica usklađenja hrvatskog zakonodavstva s pravnom tečevinom Europske unije, u ovom slučaju vezano uz Direktivu 2002/91/EC o energetskim svojstvima zgrada. Radi se redom o slijedećim propisima:

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 110/08)

Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada (NN 110/08)

Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada (NN 113/08)

Ti propisi zahtijevaju među ostalim i kontrolu toplinskih karakteristika zgrada, a pri tome termografija pruža najkvalitetnije mogućnosti nadzora i mjerenja. Tako je u svrhu bolje provedbe tehničkih propisa nadležno ministarstvo (Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva) dalo izraditi Studiju primjenjivosti alternativnih izvora energije kod novih i postojećih zgrada, koja u opisu provjere dobrote konstrukcije predviđa primjenu termografije za kontrolu izolacije omotača zgrade i pronalaženje toplinskih mostova. Slično tome je u vezi s Pravilnikom o energetskoj certifikaciji zgrada Ministarstvo naručilo studiju pod nazivom „Metodologija provođenja energetskih pregleda za nove i postojeće

zgrade stambene i nestambene namjene s jednostavnim i složenim tehničkim sustavom za potrebe energetskog certificiranja zgrada“. U tome se dokumentu na više mjesta termografija preporuča termografija kao najpovoljnija metoda kontrole toplinskih gubitaka i toplinskih mostova prema HRN EN 13187 te nepravilnosti konstrukcije prema HRN EN 15603. Termografija se također spominje kao efikasna metoda kontrole ispravnosti razvoda ogrijevnog medija u sustavima grijanja zgrada. Pri tome se naglašava da termografska snimanja i analize mogu provoditi samo stručnjaci koji su kvalificirani za tu metodu.

U svjetlu navedenoga valja zaključiti da u Republici Hrvatskoj, kao i drugim zemljama, postoji nužna potreba za izobrazbom termografista, kako bi se moglo dati kvalitetne odgovore potrebama tržišta i struke.

#### **4. Zaključak**

U radu je obrazložena potreba sustavne izobrazbe termografista u skladu s postojećim normama. Težište je dano izobrazbi prema EN 473, koja je harmonizirana europska norma, preuzeta i u Republici Hrvatskoj, te predstavlja temeljnu normu za izobrazbu i certifikaciju stručnjaka u području nerazornih metoda ispitivanja. U tom smislu su prikazani zahtjevi norme, stupnjevi kvalifikacije i certifikacije s pripadnim obrazovnim sadržajima i stečenim kompetencijama te način provjere znanja pri certifikaciji termografista. Na kraju je dan prikaz razvoja termografije u Hrvatskoj s posebnim osvrtom na problematiku provjere kvalitete toplinskih svojstava zgrada i njihove energetske certifikacije, pri čemu se termografija pokazuje kao jedna od najpraktičnijih i najpodobnijih metoda.

## IMPLEMENTATION OF THERMOGRAPHY FOR DETERMINATION OF AIR JET GEOMETRY IN HVAC SYSTEMS

S. Švaić, I. Boras, M. Andrassy, N. Ferdelji  
Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture  
University of Zagreb, Croatia

### ABSTRACT

To obtain the designed parameters, air outlets and inlets must be properly selected and balanced and the predicted air movement patterns achieved. For evaluation of the air movement pattern IR thermography can be applied as a method for quick determination of air jet geometry. The method is proved in the Laboratory for Applied Thermodynamic, Faculty for Mechanical Engineering and Naval Architecture and some of results presented in this paper.

Key words: HVAC systems, air movement patterns, IR thermography

### 1.0.0 Introduction

A properly designed room air diffusion scheme ensures that conditioned air supplied into a room causes no discomfort to the occupants. With conventional diffusion arrangements, primary air is supplied over the occupied zone where it entrains and mixes with room secondary air. This process results in decay of the initial temperature and velocity difference between the supply and room air, so that when the supply jet reaches the occupied zone the velocity and temperature are close to room conditions. To obtain the designed parameters, air outlets and inlets must be properly selected and balanced and the predicted air movement patterns achieved. For the evaluation of the air movement patterns, IR thermography can be applied as a method for quick determination of air jet geometry. The method was investigated in the Laboratory for Applied Thermodynamic of the Faculty for Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, and some of results are presented in this paper.

### 2.0.0 Air jet, terms and definitions

Air jet geometry:

Throw or radius of diffusion is the forward travel of a jet to the point where the maximum velocity has decayed to a nominated terminal velocity.

Drop or rise is the distance between the jet centerline and supply outlet centerline at nominated throw.



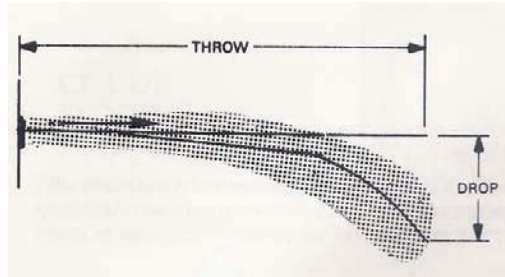


Figure1. Air jet throw and drop

Envelope is a jet area within the boundary of a nominated air velocity.  
Expansion or spread is normal divergence of a jet as it leaves an outlet and entrains surrounding air.

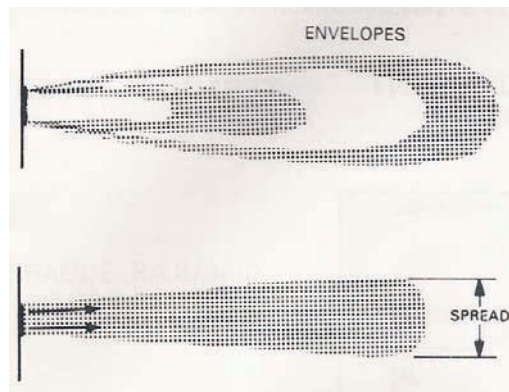


Figure 2. Air jet envelopes and spread

Air jet parameters:

Terminal velocity is the maximum air velocity of a supply jet at a nominated throw.  
Room velocity is an average air velocity recorded within the occupied zone.  
Terminal temperature is an average temperature of a supply jet at a nominated throw.  
Temperature differential is the difference between supply temperature and air room temperature.

Air jet types:

Free jets are supply jets that are able to entrain surrounding air on all sides.  
Confined jets or ceiling effect jets are supply jets located so close to one or more surfaces that entrainment is reduced or eliminated.



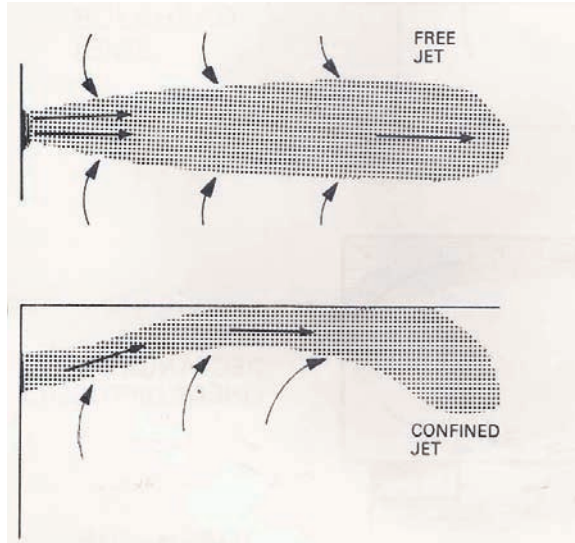


Figure 3. Free and confined jet

Occupied zone:

Zone defined as the space up to 1,8 m from the floor and as close as 150 mm from any room surface.

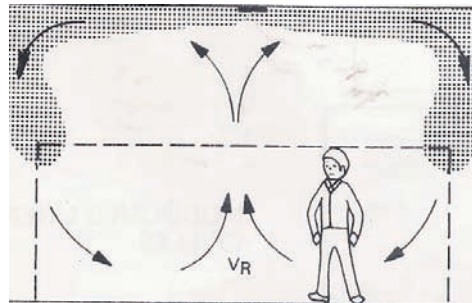


Figure 4. Occupied zone

### 3.0.0 Standard air movement patterns

The location, type and size of the air terminal device will determine the manner in which the supply jet and resultant room air motion behave. The change in supply air temperature from cooling to heating will also modify the jet trajectory and movement pattern. Depending on the air terminal device location, the air movement patterns occurring for different terminal types are shown in Figure 5.

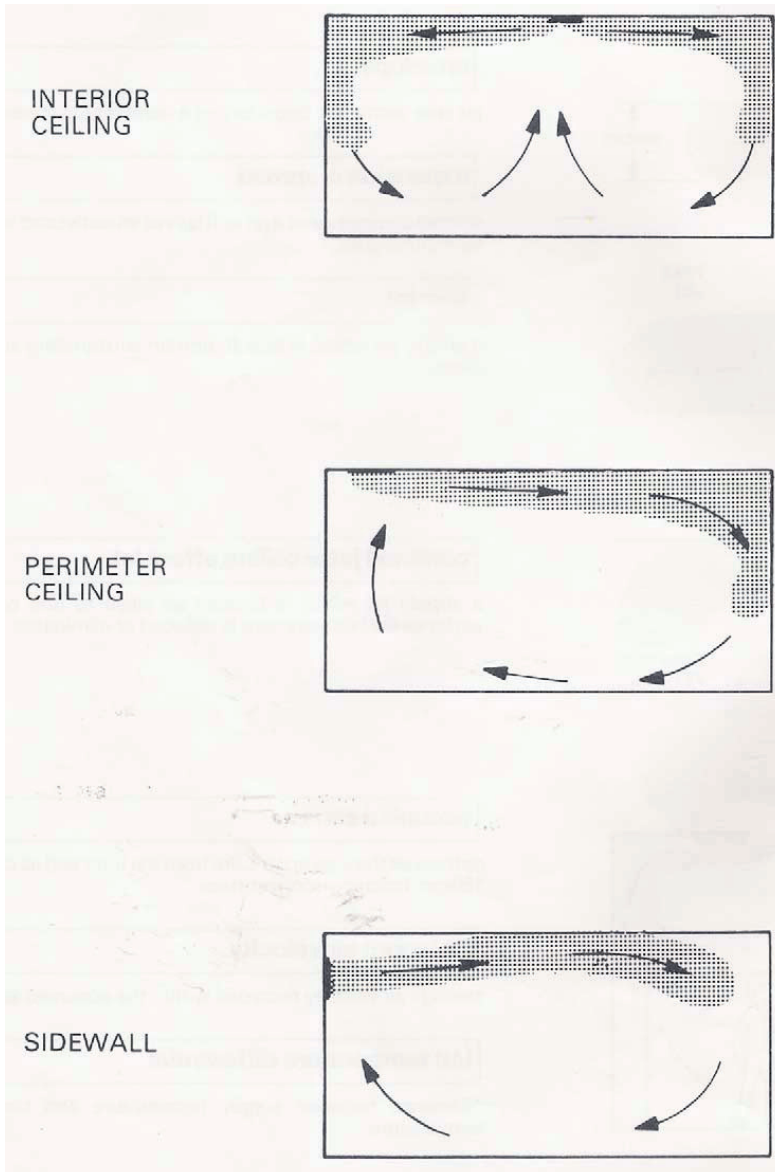


Figure 5. Different air movement patterns

#### 4.0.0 Air terminal device selection

The type and location of diffuser will frequently be determined by architectural or other requirements. If this is the case, performance data can be applied directly to determine whether the resulting performance is acceptable. If an entirely free choice is available selection data can be used to determine the most suitable air terminal device. Usually, the

sizing of a particular terminal device is based on throw, but at each stage, it is necessary to check that other parameters like noise and pressure drop are satisfied.

4.1.0 Linear slot diffusers

These diffusers can be selected or set to provide horizontal diffusion in one or two directions across a flat ceiling surface.

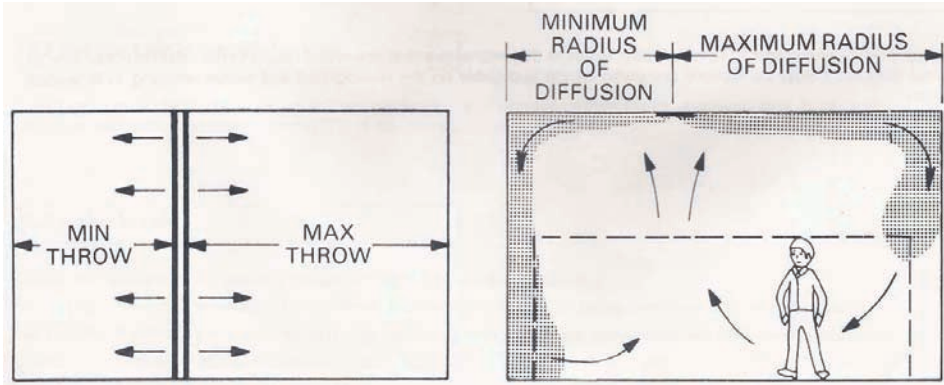


Figure 6. Position of linear slot diffuser and air movement pattern

4.2 Individual grilles

Supply grilles can be selected or adjusted to discharge air under the ceiling surface with or without spread in the horizontal plane (sidewall supply), or can be mounted away from any surface and in that case the free jet is formed.

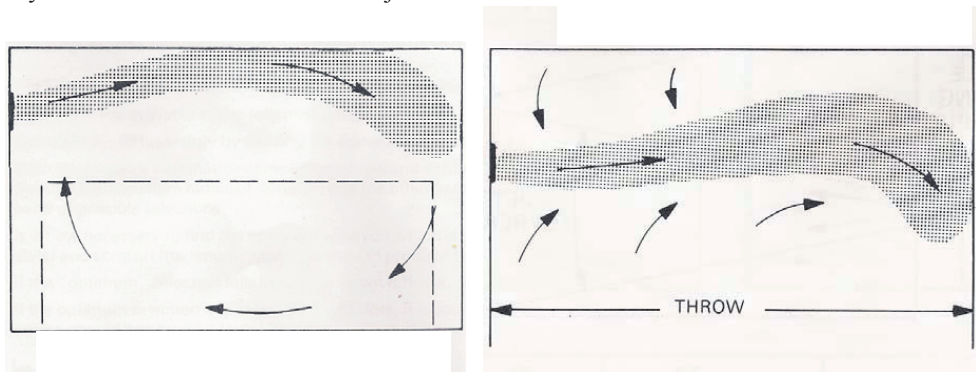


Figure 7. Sidewall supply grille and free jet supplied grille.

### 5.0.0 Air jet theory and characteristic

#### 5.1.0 Isothermal jet

A free isothermal jet supplied from a circular, square or nearly square outlet may be divided into four distinct zones, described with the following terms:

$v_x$  = jet terminal velocity (m/s)

$v$  = jet outlet velocity (m/s)

$X$  = jet throw (m)

$A$  = jet outlet area (m<sup>2</sup>)

$K$  = constant depending on outlet type

$$1^{\text{st}} \text{ Zone } \frac{v_x}{v} = K$$

A short zone where the maximum centerline velocity remains constant.

$$2^{\text{nd}} \text{ Zone } \frac{v_x}{v} \propto \frac{1}{\sqrt{X}}$$

Transition zone where the jet velocity varies inversely with square root of throw. The zone length is approximately equal to 8 hydraulic diameters.

$$3^{\text{rd}} \text{ Zone } \frac{v_x}{v} \propto \frac{1}{X}$$

This zone, where the jet velocity varies inversely with throw, extends up to 100 hydraulic diameters. The performance data is usually established for this zone because the terminal velocities approach 0,5 m/s, which ensures fairly reliable measurements.

$$4^{\text{th}} \text{ Zone } \frac{v_x}{v} \propto \frac{1}{X^2}$$

This is the jet terminal zone where velocity decays very rapidly and jet velocities approach 0,25 m/s.

Table 1. Basic equations for different air jets

Parameter	Circular outlet, free jet	Linear square outlet, free jet	Individual square outlet, free jet
1 <sup>st</sup> zone length	$x_0 = \frac{d}{m}$	$x_0 = \frac{h}{m}$	$x_0 = \frac{h}{m}$
Terminal velocity	$\frac{v_x}{v} = \frac{x_0}{X}$	$\frac{v_x}{v} = \frac{\sqrt{x_0}}{\sqrt{X}}$	$\frac{v_x}{v} = \frac{x_0}{X} \sqrt{\frac{b}{h}}$
Spread angle	$\approx 24^0$	$\approx 33^0$	$\approx 24^0$

In the above equations:

$d$ = outlet diameter;  $b$ = outlet width;  $h$ = outlet high;  $m$ = mixing factor,  $X$ = throw;  $v$ = outlet velocity;  $v_x$ = terminal velocity;  $x_0$ = jet core length.

5.2.0 Non-isothermal jet

The theoretical jet throw is modified when cooling or heating conditions replaces isothermal conditions. Buoyancy forces due to difference between the supply and room air temperature differentials can overcome the inertia forces present in a jet.

In addition to natural or forced expansion, buoyancy forces influence a jet trajectory if the supply air temperature is higher or lower than the surrounding air temperature, thus causing the drop or rise of a horizontal jet.

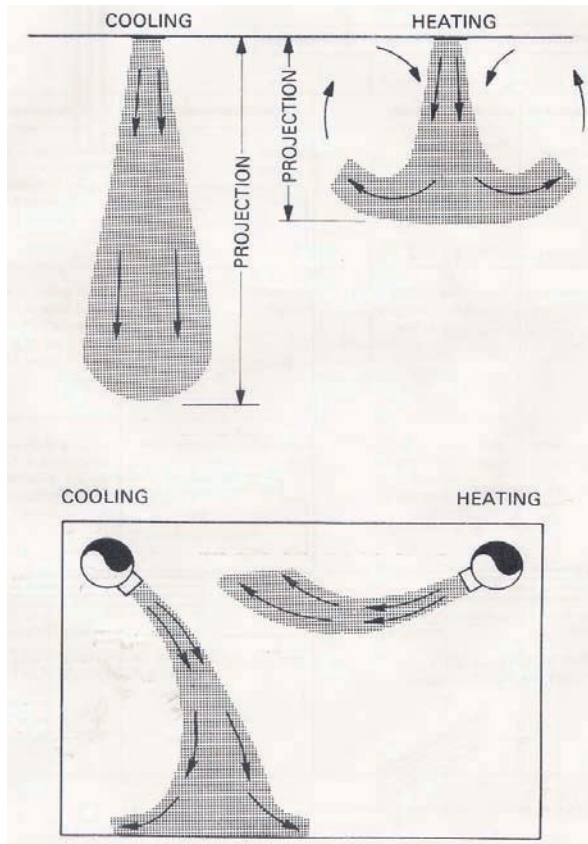


Figure 8. Non-isothermal air jet

6.0.0 Application of IR thermography for determination of air jet geometry

The method developed at the Laboratory for Applied Thermodynamic tends to visualize the temperature distribution in non-isothermal air jets. A curtain made of a material having a low heat conduction coefficient (paper, textile etc.) is inserted perpendicular to the jet outlet, along its centerline and positioned vertically. The hot or cold air stream

passing along the curtain leaves on its surface a temperature track having the shape of jet geometry. This temperature field is recorded in stationary state using the IR thermographic camera, allowing the obtained thermogram to be analyzed later. The experimental rig shown on figure 9 consist of a synthetic textile curtain placed perpendicular to the outlet grille, plenum with grille in sidewall position, fan with inlet and outlet sections for measurement of air parameters (temperature, velocity, flow) and an air heater. Figure 10 shows the thermograms recorded for three positions of the grille lamellas (horizontal, max. up and max. down position). The air jet had the following parameters;  $t = 26,7^{\circ}\text{C}$ ,  $v = 4,37 \text{ m/s}$ ,  $V = 0,0772 \text{ m}^3/\text{s}$ .

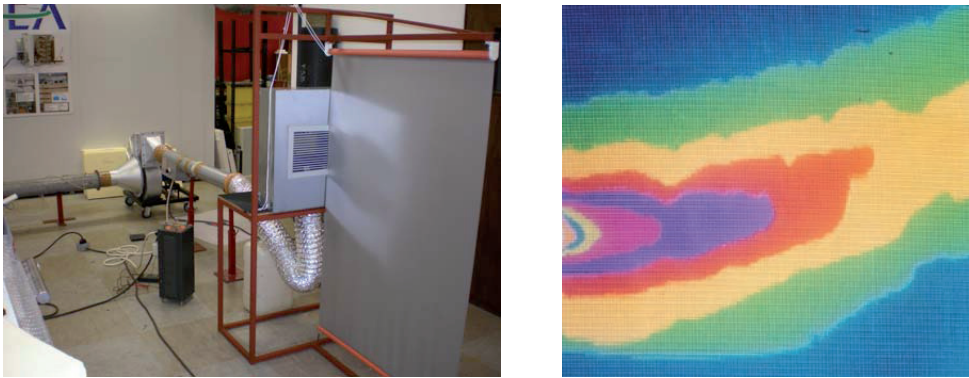


Figure 9. Experimental rig and sample thermogram

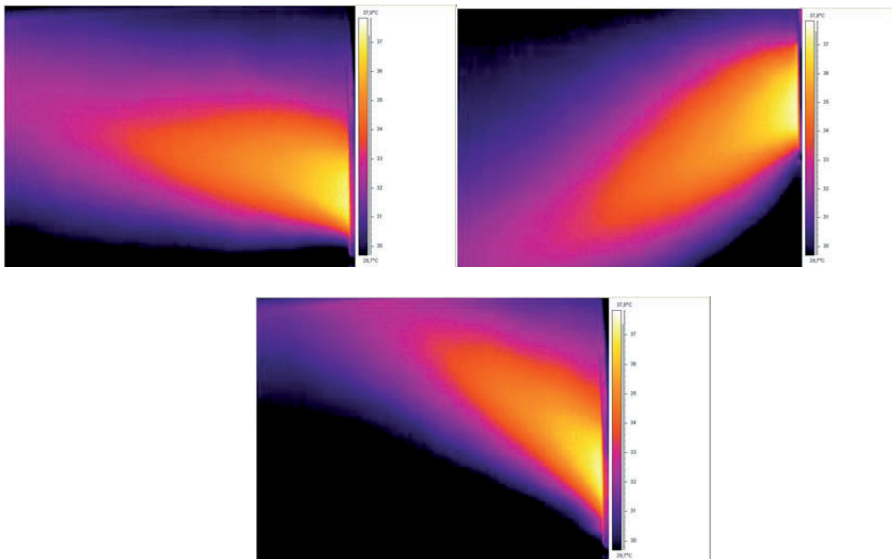


Figure 10. Thermograms obtained for hot air jet from sidewall grille



Next example (Figure 13) shows more detail analysis of air jet whose data were measured on the experimental rig shown previously on Figure 9. In this experiment, instead of sidewall grille, a circular free jet is used as an outlet of hot stream. Hot air exits with temperature of 30 C, with 0.9 m/s and passes along the curtain as in previous example. The experiment was consisted of two separate measurements. In first measurement, air jet stream will be recorded with IR thermographic camera in order to compare those results with measured temperatures along the centerline of the air jet, obtained from the second measurement. Velocities along the centerline will be also measured. Overall results are presented in Figure 13.

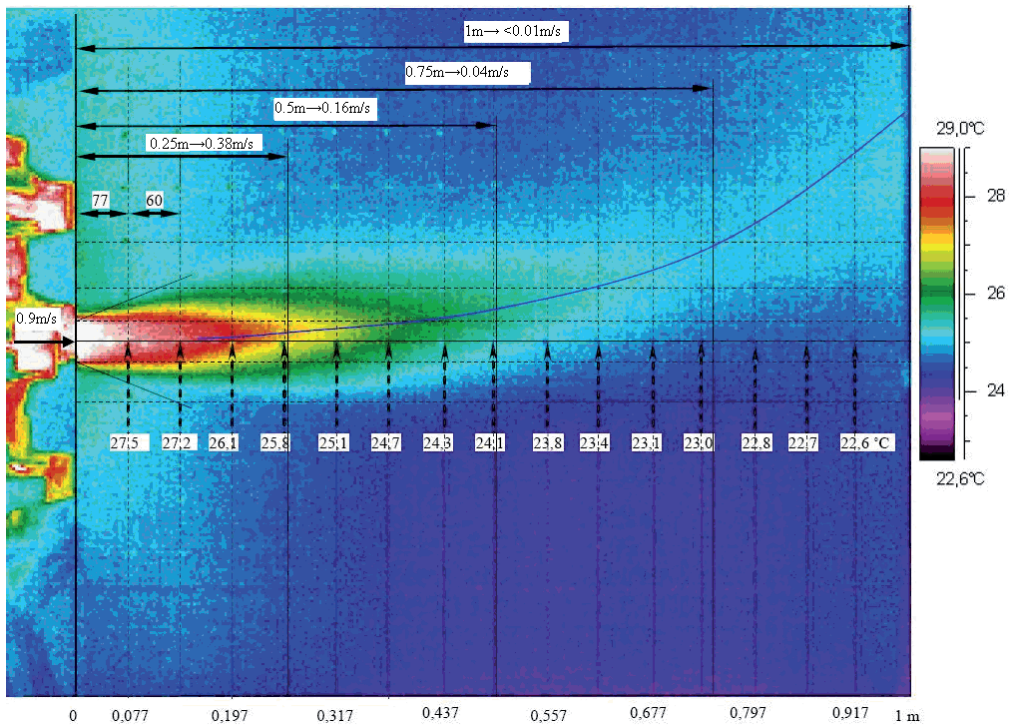


Figure 13 Thermogram of the circular outlet, free jet

Ingoing velocity of 0.9 m/s and theoretical spread angle of  $24^\circ$  are marked on the left side of thermogram. Dimensions 77 and 60 are distances in millimeters from hot air outlet. Those distances also can be seen on abscise where dimensions of distances are expressed in meters. Measured velocities are given above the thermographic image of the jet. Numbers marked with dashed arrows are temperatures along the centerline measured with thermocouples. The blue line, spread along the image, represents buoyancy effect calculated with theoretical formulas and it clearly shows how jet image almost perfectly follows its path, justifying the use of thermography in jet analysis. From temperature scale of the thermogram, it can be read that temperatures recorded on camera are higher than the ones measured what can be seen in the Figure 14.

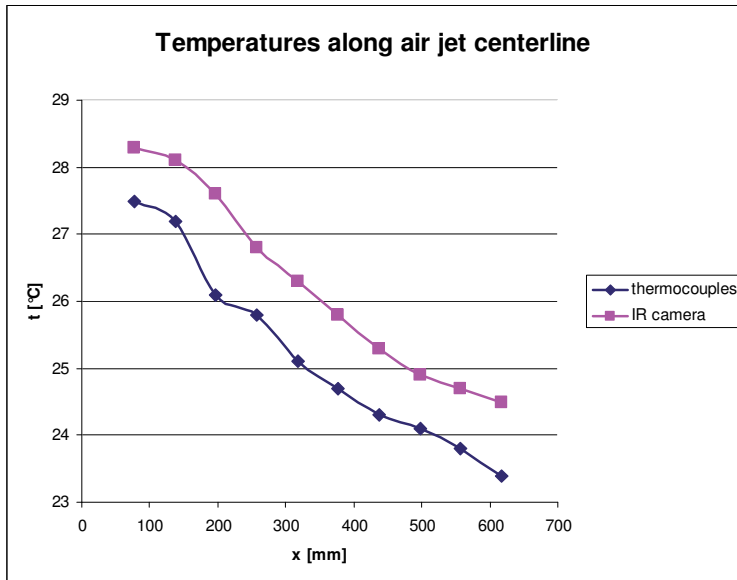


Figure 14 Temperatures along air jet centerline

The Figure 14 contains first ten points of the air jet centerline temperatures. It can be noticed that curves are shifted from each other for a nearly constant temperature difference. It can also be seen that both curves have the same decreasing trend what implies that there is a correlation between these two temperature data. Further research should be directed to explain this phenomenon and, if possible, to find the correlation. From the velocity and temperature data, in this example, can be concluded that hydrodynamic and thermal phenomena are tightly related, so this measurement represents a good example of how thermography can be implemented for analyzing both, geometry and temperatures of a non-isothermal air jet.

### 7.0.0 Conclusion

On the base of the presented results, it can be concluded that thermography can be successfully applied for determination of air jet geometry in HVAC systems. This fact finds its confirmation in the last example where velocity measurements showed that temperature and velocity fields are firmly related. Besides air jet geometry, on buoyancy effect, in the same example, has been shown that air movement patterns can also be seen on the thermogram. So taking under consideration applicability of the presented method, it is of great importance that further effort is made to investigate this relationship. Bottom line is that relatively easy measurements can provide better insight and prediction of air movement patterns and thermal phenomenon in HVAC systems. Further research will be directed to quantification of the parameters such as temperature and flow patterns. The air jet geometry will be studied qualitatively and quantitatively for different terminal types with cold and hot air having different outlet velocities. For this purposes the experimental rig must be adapted for longer and wider air jets. It is expected that the result of the research will significantly improve HVAC systems management.



## **Termografija u zgradarstvu - primjeri detekcije različitih tipova grešaka**

Srećko Švaić, prof.dr.sc.  
Ivanka Boras, prof.dr.sc.  
Mirela Suša, dipl.ing.stroj.  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5, Zagreb

### **SAŽETAK**

Primjena termografije u zgradarstvu pruža velike mogućnosti otkrivanja različitih tipova grešaka (nedostataka i oštećenja), kako na ovojnicu zgrade tako i kod ravnih krovova. Premda postoje različiti ograničavajući čimbenici kod termografskog snimanja građevinskih objekata, termografija se afirmirala kao metoda toplinske kontrole bez razaranja koja, u odnosu na neke druge metode neraznog ispitivanja, posjeduje čitav niz prednosti. Između ostalog, metodom je omogućena trenutna analiza objekta na mjestu mjerenja kao i kontrola relativno velikih površina u kratkom vremenu, a naknadnom analizom mogući su i relativno jednostavna procjena kvalitete toplinske izolacije/toplinskih gubitaka objekta te otkrivanje strukture objekta ispod površine na temelju snimljenih termograma.

U članku su obrađeni primjeri detekcije različitih grešaka u području zgradarstva s osvrtom na zahtjeve norme HRN EN 13187. Obrađeni su slučajevi različitih stupnjeva oštećenja ovojnice zgrade, prisustvo vlage u zidovima objekta, toplinski mostovi i nekvalitetno brtvljenje, te prisustvo vlage i zraka u strukturi ravnog krova.

### **KLJUČNE RIJEČI**

Infracrvena termografija, ovojnica zgrade, vrste oštećenja, analiza termograma

### **UVOD**

Razlike u toplinskim svojstvima elemenata koji sačinjavaju složenu strukturu ovojnice zgrade za posljedicu uvijek imaju različit temperaturni uzorak na samoj ovojnicu. Površinska će temperaturna raspodjela ovisiti i o međusobnoj interakciji promatrane građevine i okoline, tj. o načinu strujanja zraka oko i kroz ovojnicu, toplinskom opterećenju od Sunca i ogrjevnih tijela u samoj zgradi.

Različiti tipovi oštećenja na ovojnicu i unutar njezine strukture, kao što su greške u izolaciji objekta, prisustvo vlage ili slabo brtvljenje, bit će vidljivi preko temperaturnog uzorka na površini ovojnice.

Rezultat termografskog mjerenja je termogram - prikaz prividnih temperatura na površini promatranog objekta. On će u općem slučaju ovisiti o stvarnim temperaturama površine, emisijskim svojstvima površine, uvjetima okoliša i o samom senzoru mjernog uređaja.

Norma EN 13187 opisuje primjenu termografije pri određivanju mjesta toplinskih nepravilnosti i pri određivanju mjesta propuštanja zraka, ali se ne određuje u smislu procjene kvalitete toplinske izolacije niti procjene intenziteta propuštanja zraka kroz strukturu.

Općenito se postupak termografskog ispitivanja zgrade može podijeliti u cjeline:

- određivanje površinske temperaturne raspodjele na pojedinim dijelovima ovojnice iz raspodjele prividnih temperatura na termogramu
- utvrđivanje je li dobiveni temperaturni uzorak očekivan (odgovarajući) s obzirom na promatrane dijelove ovojnice ili se radi o greškama izolacije, prisustvu vlage ili propuštanju zraka
- definiranje tipa greške ukoliko se utvrdi da su greške prisutne.

Procjena moguće greške na ovojnici zgrade iz prikaza prividnih temperatura na termogramu najčešće se radi preko uspoređivanja snimljenog termograma s referentnim termogramom. Referentni termogram ili "zlatni" termogram je termogram na kojem se nalaze dijelovi objekta ili cijeli objekt bez grešaka izolacije, vlage ili propuštanja snimljen na strukturi koja je predviđena projektom i pod istim uvjetima pod kojima se obavlja naknadno mjerenje.

### **MJERNA PROCEDURA ZA TERMOGRAFSKO ISPITIVANJE**

Tijekom termografskog mjerenja potrebno je u obzir uzeti niz faktora:

- posebnosti i značajke korištene termografske opreme,
- značajke same ovojnice objekta, primjerice vrstu i razmještaj ogrjevnih tijela, strukturu ovojnice i izolacijske slojeve,
- emisijska svojstva površine ovojnice,
- klimatske uvjete, stanje atmosfere,
- mogućnost pristupa objektu i utjecaj okolišnjih objekata,
- druge utjecajne faktore.

Za provedbu kvalitetnog termografskog mjerenja nužan je uvjet da je temperaturna razlika kroz ovojnicu dovoljno velika da osigura mogućnost detekcije eventualno prisutne nepravilnosti uz pomoć korištenog termografskog sustava. Termogrami koji su snimljeni u nestacionarnom stanju su vrlo teški za analizu i zahtijevaju veliko iskustvo i znanje iz područja građevinske fizike.

Kao rezultat takvog razmišljanja postavlja se uvjet da tijekom mjerenja temperaturne varijacije zraka unutar zgrade kao i okolišnjeg zraka ne bi smjele biti velike, te da treba izbjegavati termografska snimanja za vrijeme direktne izloženosti objekta sunčevom zračenju ili jakom vjetru.

Prije termografskog mjerenja potrebno je odrediti emisijska svojstva ovojnice, ili mjerenjem ili iz odgovarajućih tablica. Treba bilježiti sve podatke o stanju atmosfere: temperaturu zraka, brzinu vjetra, oblačnost, prisustvo vlage na površini ovojnice, orijentaciju građevine i slično.

Ukoliko se radi i ispitivanje propusnosti potrebno je osigurati dovoljno veliku razliku tlaka kroz ovojnicu zgrade. Uobičajeno se uzima da je minimalna vrijednost razlike tlakova koja omogućava detekciju propuštanja 5 Pa. Termografsko se mjerenje uvijek radi na strani nižeg tlaka.

Ona ogrjevna tijela koja bi mogla unijeti grešku u postupak analize termograma, tj. ona ogrjevna tijela čije se djelovanje preklapa (miješa) s djelovanjem greške u ovojnici zgrade treba isključiti prije mjerenja. Neposredno prije termografskog mjerenja potrebno je mjeriti temperature zraka u i izvan zgrade s točnošću od  $\pm 1$  °C, a razlike tlakova s točnošću  $\pm 2$  Pa.

Prije termografskog mjerenja uvijek se preporučuje provesti preliminarno mjerenje cijele ovojnice zgrade, a dijelove ovojnice koji su od posebnog interesa treba mjeriti i analizirati detaljno. Sve primijećene nepravilnosti treba ucrtati na shemu ili plan zgrade.

## PROVEDBA MJERENJA I ANALIZA TERMOGRAMA

Očekivana temperaturna raspodjela za dijelove ovojnice na kojima se provodi mjerenje može se odrediti uz pomoć crteža samog objekta, uz pomoć različitih vrsta dokumenata koji su povezani s izradom ovojnice, sustava grijanja i ventilacije i slično. Za procjenu oblika očekivanih temperaturnih uzoraka mogu poslužiti i različiti proračuni, prethodna laboratorijska ispitivanja, iskustvo ili referentni termogram ovojnice zgrade bez prisutnih grešaka.

Ukoliko se očekivani temperaturni uzorak razlikuje od stvarnog, odstupanja je potrebno zabilježiti i istražiti. Ako neočekivane uzorke na termogramu nije moguće objasniti građom same ovojnice, utjecajima ogrjevnih tijela, promjenjivom emisivnošću površine ili različitim intenzitetom prijelaza topline na pojedinim dijelovima ovojnice, tada se takvi dijelovi moraju tretirati kao moguće greške.

Nepravilnosti u toplinskoj izolaciji zgrade, nekvalitetno brtvljenje te sama struktura građevine mogu rezultirati različitim temperaturnim uzorcima.

U procjeni termograma treba u razmatranje uzeti sljedeće:

- jednolika temperaturna raspodjela prividne temperature po područjima ovojnice koja imaju sličnu strukturu upućuje da na tom dijelu nema toplinskih mostova,
- pravilnost i učestalost pojave toplijih i hladnijih područja u kutovima i istacima,
- mjesto i obrise, te karakterističan oblik hladnijih i toplijih područja na termogramu,
- mjerenu temperaturnu razliku između "normalne" površinske temperature ovojnice i temperatura hladnijih odnosno toplijih područja koja su uočena na termogramu.

### Primjeri karakterističnih uzoraka na termogramu

Premda se efekti koji nastaju kao produkt grešaka u strukturi ovojnice mogu bitno razlikovati, ipak se mogu uočiti neke karakteristične značajke:

- Loše brtvljenje se manifestira nepravilnim temperaturnim uzorcima s nejednolikim rubovima i velikim varijacijama u vrijednostima temperatura.
- Mjesta na kojima nedostaje izolacija se pokazuju kao pravilna i jasno definirana područja na termogramu koja nisu povezana s karakteristikama strukture zdrade. Područje greške se pokazuje kao relativno jednoliko temperaturno područje.
- Prisustvo vlage u strukturi ovojnice uobičajeno se pokazuje kao šareno i rašireno područje bez većih temperaturnih razlika unutar područja.

Tip greške treba odrediti za svaki promatrani slučaj posebno. To se može napraviti proračunom, na osnovi sličnih prethodnih mjerenja, iskustveno ili usporedbom s referentnim termogramom. Prilikom usporedbe, referentni termogram treba biti priređen za strukturu s poznatim greškama izolacije i poznatim greškama lošeg brtvljenja različitih vrsta.

Termografska mjerenja na ovojnicama zgrada u načelu se mogu provesti kvantitativno i kvalitativno.

Kvantitativna termografija zahtijeva analizu kompletnog područja termografskog prikaza te određivanje stvarnih temperatura. Pri tomu se moraju poštivati stroga ograničenja koja se postavljaju na uvjete mjerenja: doba dana i atmosferski uvjeti. Moguće ih je provesti tek nekoliko dana nakon oborina i u uvjetima mirnog vremena (bez vjetra). Zahtijeva se relativno stacionarno stanje toplinskog toka (mjerenja treba obaviti rano jutro ili kasno navečer). Potrebno je obaviti i dodatna termografska mjerenja s unutrašnje strane. Općenito je za provedbu ovakvih mjerenja potrebno veliko iskustvo, a sama mjerenja potrebno je uvijek kvalitetno pripremiti.

Kvalitativna su mjerenja uglavnom usmjerena na otkrivanje toplinskih mostova ili drugih tipičnih grešaka u konstrukciji zgrade, te otkrivanje vlage ili slojeva zraka u ovojnici. Zahtjevi koji se postavljaju na uvjete u kojima se obavlja mjerenje su znatno blaži.

### Uvjeti mjerenja

Mjerenja su uglavnom ograničena na hladniji dio godine, preporučuje se zimski period. Uvjeti koje bi trebalo ostvariti za kvalitetnu provedbu termografskog mjerenja su općeniti:

- razlika temperatura zraka unutar i izvan objekta treba iznositi minimalno 10 °C tijekom najmanje 12 sati,
- promjena temperatura tijekom navedenog perioda ne bi smjela prijeći 30 %
- ukoliko se radi vanjska termografija mjerenje treba obaviti prije izlaska Sunca,
- ukoliko se radi unutrašnja termografija treba osigurati jednoliku temperaturu unutar objekta,
- brzina vjetra ne smije biti veća od 1 m/s kod vanjske kvantitativne termografije,
- mjerenja raditi bez prisustva ikakvih padalina (kod kvantitativne termografije često se traži period od barem jednog dana bez padalina do trenutka provedbe mjerenja),
- na mjerenim termografskim površinama ne smije biti prisutna voda (kiša ili rosa).

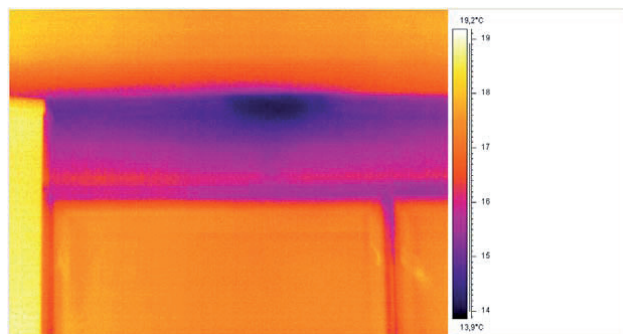
### Zahtjevi na mjerne uređaje

Preporučuje se da termografski uređaji koji se koriste u termografskim mjerenjima u zgradarstvu za kvalitetnu termografsku analizu ima sljedeće karakteristike:

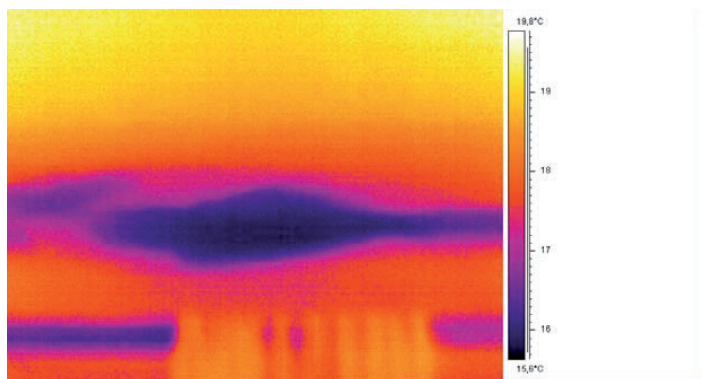
- mjesto područje – 20 °C do + 80 °C
- područje rada – 10 °C do + 40 °C
- prostorna razlučivost < 1,5 mrad
- toplinska razlučivost < 0,1 K
- rezolucija kamere > 320 x 240
- spektralno područje 8 μm – 14 μm
- vremenski odziv < 1 s
- apsolutna točnost < ± 2 °C

### PRIMJERI KARAKTERISTIČNIH TERMOGRAMA

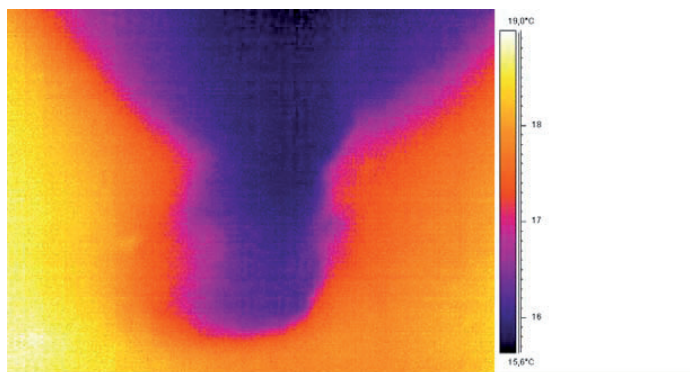
U nastavku su prikazani karakteristični termogrami za pojedine tipove grešaka.



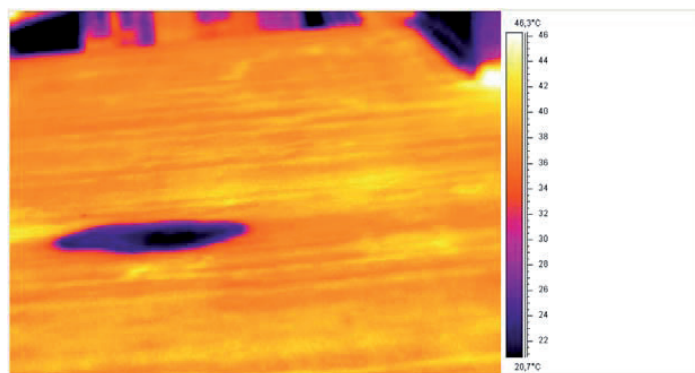
Ilustracija 1. Pojava vlage iznad prozora



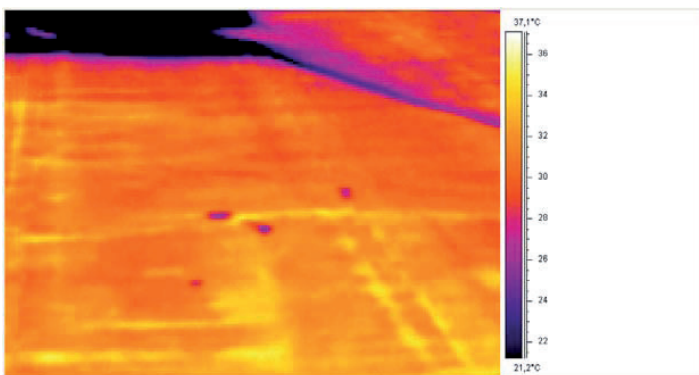
Ilustracija 2. Vlaga na stropu



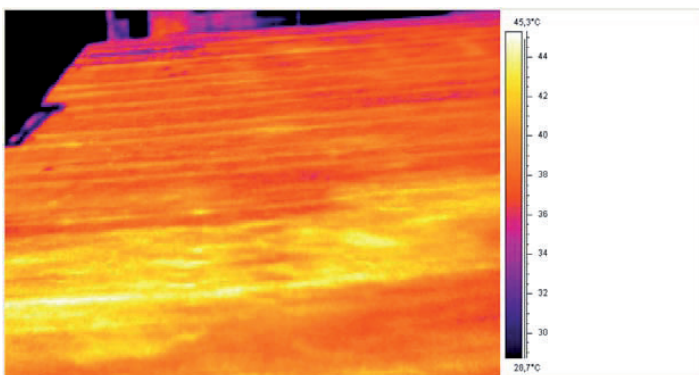
Ilustracija 3. Veliko područje vlage na stropu



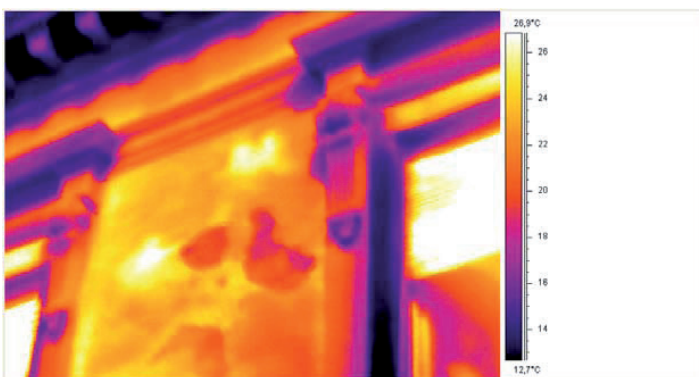
Ilustracija 4. Područje vlage na ravnom krovu, vlaga ispod sloja ljepenke



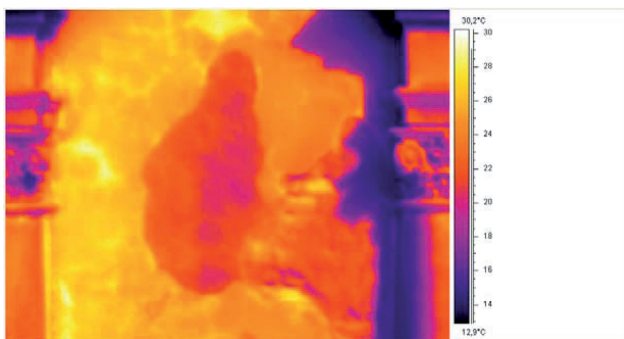
Ilustracija 5. Točkasta područja vlage ispod krovne ljepenke



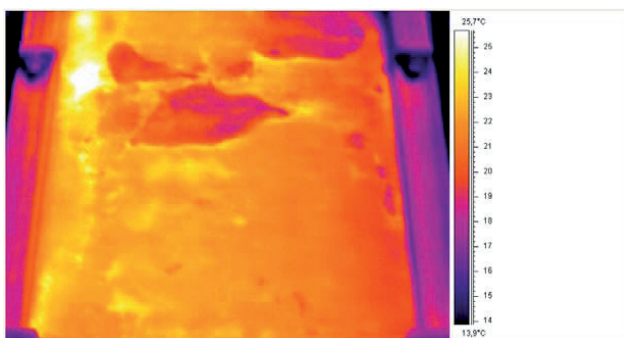
Ilustracija 6. Područja sa slojem zraka ispod sloja krovne ljepenke



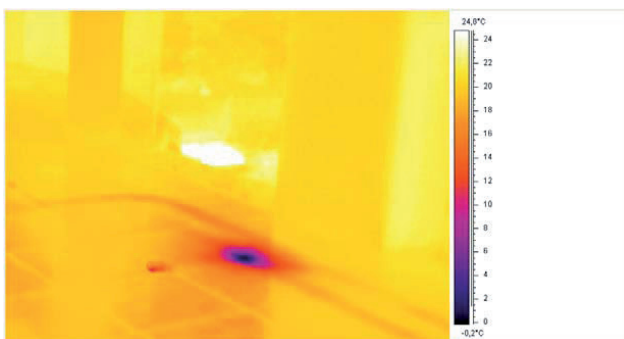
Ilustracija 7. Područje oštećenja vanjske žbuke na ovojnici



Ilustracija 8. Oštećenja sloja temeljne žbuke i prisustvo sloja zraka ispod vanjske žbuke

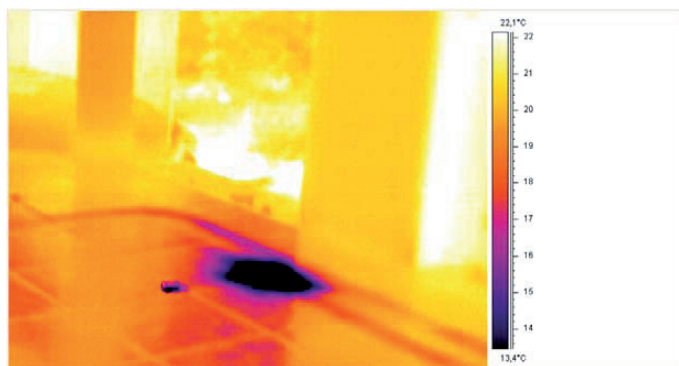


Ilustracija 9. Toplija područja na termogramu upućuju na izvana nevidljivi proces odvajanja vanjskog od temeljnog sloja žbuke

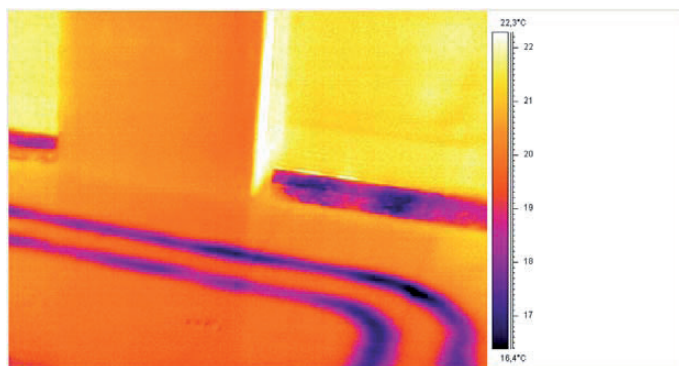


Ilustracija 10. Primjena termografije u postupku otkrivanja oštećenja podnog grijanja

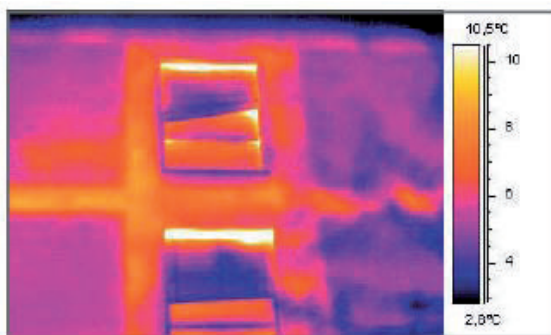




Ilustracija 11. Jasna vizualizacija mjesta oštećenja

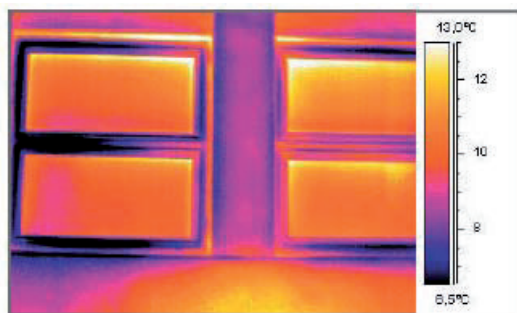


Ilustracija 12. Vizualizacija neoštećenog dijela instalacije centralnog grijanja

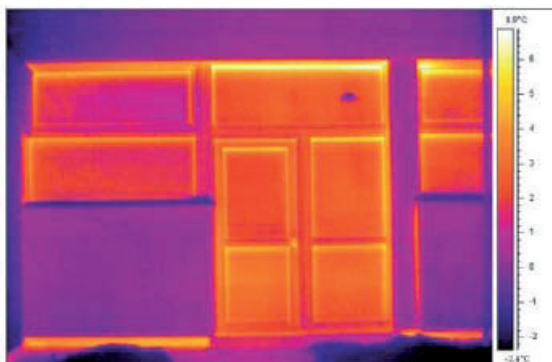


Ilustracija 13. Prisustvo toplinskih mostova i loše brtvljenje prozora zgrade





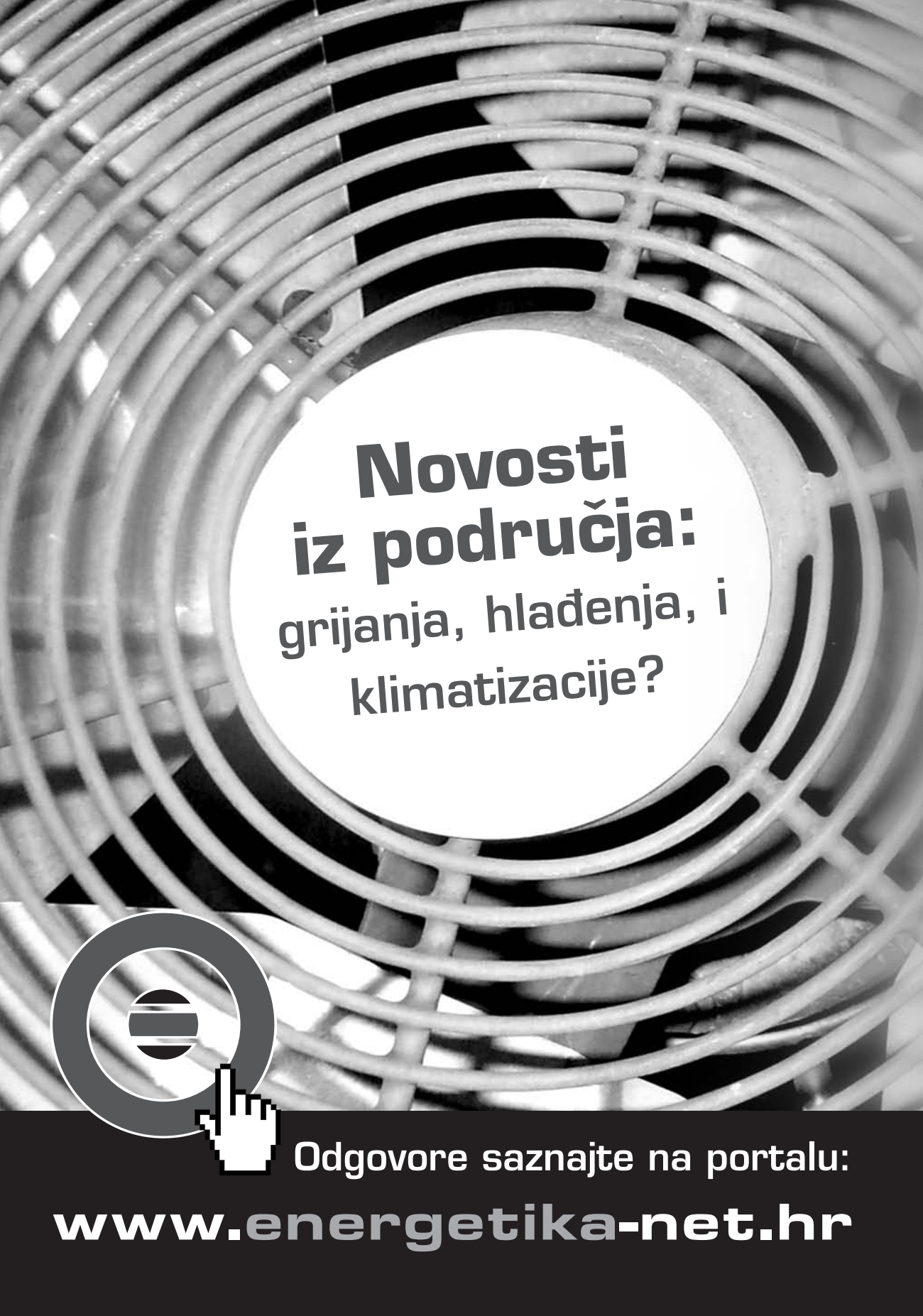
Ilustracija 14. Loše brtvljenje prozora



Ilustracija 15. Termogrami dijelova ovojnice sa sličnom strukturom i jednolikom temperaturnom raspodjelom

## BIBLIOGRAFIJA

1. Hrvatska norma HRN EN 13187
2. Andrassy, M.; Boras, I. i Švaić, S., *Osnove termografije s primjenom*, Kigen, Zagreb, 2008.
3. Prospektni materijali Energetskog instituta Hrvoje Požar



**Novosti  
iz područja:  
grijanja, hlađenja, i  
klimatizacije?**



Odgovore saznajte na portalu:

**[www.energetika-net.hr](http://www.energetika-net.hr)**



*Interklima 2009*

# Stručni dio

uvodno predavanje:

N. Mardetko Škoro - HRVATSKA I EU, PROMJENE U ZAKONODAVSTVU I IMPLEMENTACIJA EUROPSKE DIREKTIVE O ENERGETSKIM ZNAČAJKAMA ZGRADA.....	128
Ž. Hrs Borković, M. Zidar - METODOLOGIJA ENERGETSKIH PREGLEDA ZGRADA.....	134
D. Josipović - ISKUSTVA U IZVEDBI PROJEKTA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI PO ESCO MODELU U ZGRADAMA ŠKOLA .....	144
D. Dović, S. Švaić - POSTUPAK IZRADE ELABORATA IZVEDIVOSTI ALTERNATIVNIH SUSTAVA ZA OPSKRBU ENERGIJOM KOD NOVIH I POSTOJEĆIH ZGRADA .....	151
B. Hrastnik - OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U FUNKCIJI ODRŽIVOG I NEOVISNOG GOSPODARSKOG RAZVOJA U RH - KAKO AKTIVIRATI VLASTITE RESURSE U GODINAMA RECESIJE?.....	165
M. Vukoje, V. Filipan - MOGUĆNOSTI DODATNOG KORIŠTENJA TOPLINSKE ENERGIJE SUNCA PRIMJENOM SEZONSKIH SPREMNIKA TOPLINE.....	173
I. Valek, K. Filipan, V. Filipan - GEOTERMALNE DIZALICE TOPLINE .....	188
R. Krklec - INDIVIDUALNO MJERENJE TOPLINSKE ENERGIJE, ZAKONSKA REGULATIVA I OSTVARENE UŠTEDE.....	209
V. Bizjak - WEISHAUP - BROJNE NOVOSTI U PROIZVODNOM PROGRAMU .....	223

Nada Marđetko Škoro, dipl.ing. građ.

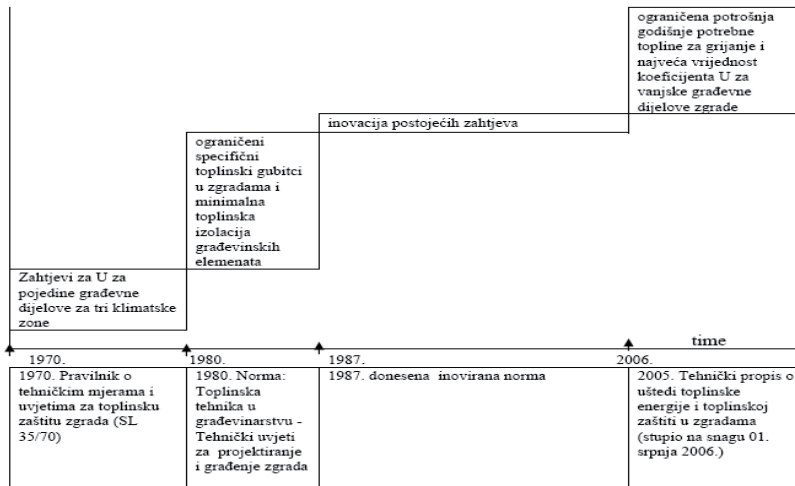
## **Hrvatska i EU – promjene u zakonodavstvu i implementacija europske direktive o energetske značajkama zgrada**

### **Uvod**

Sigurnost opskrbe energijom i zaštita okoliša temeljne su pretpostavke održivog razvoja svake zemlje. U ukupnoj potrošnji primarne energije zgrade učestvuju sa oko 40%. U sličnom udjelu ovaj sektor učestvuje i u ukupnim emisijama ugljičnog dioksida koji je glavni čimbenik u stvaranju efekta staklenika. Ove činjenice, kao i spoznaja da u sektoru zgradarstva postoje i veliki neiskorišteni potencijali uštede energije koji se procjenjuju i do 30% u narednih desetak godina, ključni su razlozi zbog kojih se velika pozornost poklanja legislativnom uređenju sektora zgradarstva u energetske smislu.

### **Energetsko stanje zgrada u Hrvatskoj i razvoj propisa**

Stambeni fond Republike Hrvatske čini gotovo pedeset posto zgrada koje su izgrađene prije donošenja prvog propisa koji je uređivao područje uštede energije i toplinske zaštite u zgradama, tj. do 1970. godine. Prema izrađenim procjenama, ove zgrade troše korisne energije u prosjeku između 230 i 250 kWh/m<sup>2</sup>. Od donošenja prvog propisa pa nadalje postavljeni kriteriji vezano na uštedu energije i toplinsku zaštitu u zgradama postepeno su se pooštravali, da bi Tehničkim propisom o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (Narodne novine“, broj 79/2005., 155/2005., 74/2006.) prvi puta bilo propisano ograničenje godišnje potrošnje toplinske energije za grijanje čime su se postavili temelji za ostvarivanje značajnijih energetske ušteda u sektoru zgradarstva. Prema izrađenim test primjerima još prije samog početka primjene propisa, očekivane uštede trebale su biti između 20-30% , a primjena propisa je ta predviđanja i potvrdila. Primjenom tog propisa stimulira se primjena bioklimatskih tehnika projektiranja, korištenje pasivnog sunčevog zračenja, te iskorištavanje obnovljivih izvora energije (ograničenja potrošnje toplinske energije za grijanje nisu obvezna za zgrade koje najmanje 70% potrebne toplinske energije za grijanje pomiruju iz obnovljivih izvora energije, te za one kod kojih se više od polovice toplinskih gubitaka nadoknađuju unutarnjim izvorima topline iz tehnološkog procesa).



Razvoj propisa u području uštede energije i toplinske zaštite u zgradama

### Prijenos Direktive o energetske značajkama zgrada u hrvatsko zakonodavstvo

Temeljnim zakonodavnim instrumentom na polju energetske učinkovitosti u zgradarstvu smatra se Direktiva o energetske značajkama zgrada. Rok za prijenos ove Direktive (s dodatnim rokom za prijenos dijela Direktive koji se odnosi na osiguranje dovoljnog broja nezavisnih stručnjaka potrebnih za provođenje energetske certificiranja zgrada i redovite kontrole kotlova za grijanje i sustava za klimatizaciju) u zemljama Europske unije završio je početkom siječnja 2009.g. Republika Hrvatska je u sklopu prilagodbe nacionalnog zakonodavstva prenijela ovu Direktivu putem Zakona o prostornom uređenju i gradnji („Narodne novine“, broj 76/07) koji je u nadležnosti Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, te putem Zakona o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji („Narodne novine“, broj 154/08) koji je u nadležnosti Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva.

Na temelju članka 15. Zakona o prostornom uređenju i gradnji doneseno je niz propisa kojima se pobliže propisuju pojedini dijelovi Zakonom prenesene Direktive o energetske značajkama zgrada.

### Usvajanje opće metodologije za određivanje energetske značajki zgrada na temelju općeg okvira: članak 3. Direktive Postavljanje minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti na nove i postojeće zgrade: članci 4. i 6. Direktive

Člankom 3. Direktive propisano je obvezno usvajanje metodologije za određivanje energetske značajki zgrade koja treba najmanje uključiti: toplinske karakteristike zgrade uključujući i zrakonepropusnost, instalacije za grijanje i pripremu potrošne tople vode, ventilaciju, klimatizaciju, rasvjetu, položaj i orijentaciju zgrade, pasivne

solarne sustave, i zaštitu od pregrijavanja od sunca, prirodnu ventilaciju, unutarnje klimatske uvjete.

Člankom 4. Direktive propisana je obveza postavljanja minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti za nove zgrade osnovanih na temelju usvojene metodologije.

Člankom 6. Direktive propisana je obveza ispunjavanja minimalnih zahtjeva za postojeće zgrade koje je obnavljaju. Kod većih obnova zgrade korisne površine veće od 1000 m<sup>2</sup> (pod većom obnovom podrazumijeva se takova obnova kod kojih su ukupni troškovi koji se odnose na konstrukciju i/ili energetske instalacije veći od 25% vrijednosti zgrade bez uključivanja cijene zemljišta, ili takova kod kojih se obnavlja više od 25% konstrukcije zgrade) treba osigurati da ta zgrada ispuni minimalne zahtjeve uz uvjet da je to tehnički, funkcionalno i ekonomski izvedivo. Pri tome se zahtjevi mogu odnositi na cijelu zgradu ili na dio koji se obnavlja.

Zahtjevi vezani uz usvajanje metodologije za određivanje energetskih značajki zgrade, te obveze postavljanja minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti na nove zgrade i kod rekonstrukcija postojećih zgrada preneseni su putem Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama ("Narodne novine", broj 110/8) (koji uključuje stanovite izmjene i nadopune ranijeg Tehničkog propisa o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama).

Obveza usvajanja metodologije za određivanje energetskih značajki zgrade djelomično je prenesena kroz propisane tehničke zahtjeve za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu koje je potrebno ispuniti kod novih zgrada i kod rekonstrukcije postojećih zgrada koje se griju na unutarnju temperaturu višu od 12 °C. Ovi zahtjevi između ostalog sadrže propisanu najveću dopuštenu godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade, odnosno po jedinici obujma grijanog dijela zgrade, najveći dopušteni koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade, spriječavanje pregrijavanja prostorija zgrade zbog djelovanja sunčeva zračenja tijekom ljeta, ograničenje zrakopropusnosti omotača zgrade, ograničenje najvećih dopuštenih koeficijenata prolaska topline pojedinih građevnih dijelova omotača zgrade, i dr.

Propis navodi i izuzetke od primjene propisanih zahtjeva za određene vrste zgrada: zgrade koje imaju predviđeni vijek uporabe ograničen na dvije godine i manje, privremene zgrade izgrađene u okviru pripremnih radova za potrebe organizacije gradilišta, staklenici koji se koriste u poljoprivredi, radionice, proizvodne hale, industrijske zgrade i druge gospodarske zgrade koje se, u skladu sa svojom namjenom, moraju držati otvorenima više od polovice radnog vremena ako nemaju ugrađene zračne zavjese, šatori i slične privremene građevine, koje se mogu višekratno postavljati i rastavljati, te jednostavne građevine utvrđene posebnim propisom.

Postojeće zgrade koje se podvrgavaju rekonstrukciji također moraju ispuniti uvjete vezano na racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu. Ovisno o rekonstrukciji, propisana je obvezna primjena zahtjeva koji se odnose na nove zgrade na dograđeni ili na nadograđeni dio postojeće zgrade odnosno na rekonstruiranu postojeću zgradu (i jedno i drugo nema uvjeta ograničenja korisne površine zgrade), ili je potrebno ispuniti uvjet ograničenja koeficijenta prolaska topline  $U$  čitavog građevnog dijela na kojemu je proveden građevinski zahvat.

**Obveza izrade procjene tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti primjene alternativnih sustava: članak 5. Direktive**

Ovim člankom Direktive propisana je obveza poduzimanja mjera kako bi se osiguralo da nove zgrade ispunjavaju postavljene zahtjeve energetske učinkovitosti, te obveza izrade procjene tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti primjene alternativnih izvora energije za nove zgrade korisne površine veće od 1000 m<sup>2</sup>.

Ova obveza prenesena je Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama na način da je propisano da se za zgrade s ploštinom korisne površine većom od 1000 m<sup>2</sup>, uz zahtjev za izdavanje građevinske dozvole, odnosno potvrde glavnog projekta obvezno prilaže elaborat tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom, naročito decentraliziranih sustava opskrbe energijom korištenjem obnovljivih izvora energije, kogeneracijskih sustava, daljinskog ili blokovskog grijanja, sustava s dizalicama topline te sustava s gorivnim ćelijama.

**Uvođenje energetskog certificiranja zgrada: članak 7. Direktive**

Ovim člankom Direktive propisana je obveza izdavanja energetskog certifikata za nove zgrade, te za postojeće koje se prodaju ili iznajmljuju. Zgrade javne namjene ukoliko imaju korisnu površinu veću od 1000 m<sup>2</sup> moraju imati energetski certifikat javno izložen. Obvezni sadržaj energetskog certifikata su referentne vrijednosti i preporuke.

Ovaj zahtjev je prenesen putem Pravilnika o energetskom certificiranju zgrada („Narodne novine“, broj 113/08) kojim su propisane zgrade za koje je potrebno izdati energetski certifikat, izuzetci od obveze energetskog certificiranja, način provođenja energetskog certificiranja, izgled i sadržaj energetskog certifikata, te su određene vrste energetskog certifikata prema namjeni zgrada.

Prema Pravilniku stambene i nestambene zgrade svrstavaju se u osam energetskih razreda prema energetskoj ljestvici od A+ do G, gdje je A+ oznaka energetski najpovoljnijeg razreda, dok je oznaka G oznaka za energetski najnepovoljniji razred.

Kako bi se omogućilo uspoređivanje zgrada u odnosu na njihove energetske značajke, učinkovitost njihovih energetskih sustava, te kvalitetu i svojstva ovojnice, energetski razredi se određuju na temelju izračunate potrebne godišnje specifične toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke. Za gradove i mjesta koji imaju 2200 i više stupanj dana grijanja godišnje, proračun energetskih potreba vrši se prema referentnim klimatskim podacima za kontinentalnu Hrvatsku, a za gradove i mjesta s manje od 2200 stupanj dana grijanja godišnje, proračun energetskih potreba se vrši prema referentnim klimatskim podacima za primorsku Hrvatsku.



$Q_{H,nd,ref}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	Izračun
		<b>49</b>
A+	≤ 15	
A	≤ 25	
B	≤ 50	<b>B</b>
C	≤ 100	
D	≤ 150	
E	≤ 200	
F	≤ 250	
G	> 250	

Energetski certifikat zgrade sadrži opće podatke o zgradi, energetski razred zgrade, podatke o osobi koja je izdala energetski certifikat, podatke o termotehničkim sustavima, klimatske podatke, podatke o potrebnoj energiji i referentne vrijednosti, objašnjenja tehničkih pojmova, opis primijenjenih propisa i normi, te preporuke za ekonomski povoljno poboljšanje energetskih svojstava zgrade, osim za nove zgrade.

Energetski certifikat za nestambene zgrade	Zgrada		<input type="checkbox"/> nova	<input type="checkbox"/> postojeća
	Vrsta zgrade			
	K.F. i.o.			
	Adresa			
	Mjesto			
	Vlasnik / investitor			
	Izdavač			
	Opcija izračuna			
	$Q_{H,nd,ref}$	kWh/(m <sup>2</sup> a)	izračun	potrošnja
			<b>49</b>	<b>98</b>
A+	≤ 15			
A	≤ 25			
B	≤ 50	<b>B</b>		
C	≤ 100		<b>C</b>	
D	≤ 150			
E	≤ 200			
F	≤ 250			
G	> 250			
Podaci o osobi koja je izdala certifikat				
Ovlaštena fizička osoba				
Ovlaštena pravna osoba / imenovana osoba				
Registarski broj ovlaštene osobe				
Broj certifikata				
Datum istovajanja / važenja				
Poziv				
Podaci o zgradi				
$A_v$ (m <sup>2</sup> )				
$V_v$ (m <sup>3</sup> )				
$A_{p,net}$ (m <sup>2</sup> )				
$H_v$ (W/m <sup>2</sup> K)				

Energetski certifikat zgrade javne namjene sadrži energetski razred zgrade na temelju izračunate  $Q_{H,nd,ref}$  – specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje zgrade u referentnim klimatskim uvjetima (kontinentalna ili primorska Hrvatska)

Opciono je moguće energetski razred dodatno izraziti na temelju potrošnje energije u posljednje tri godine

Propisane su zgrade javne namjene koje, ukoliko imaju korisnu površinu veću od 1000 m<sup>2</sup>, moraju imati izrađen i javno izložen energetski certifikat za što je odgovoran vlasnik zgrade.

Preporuke za ekonomski povoljno poboljšanje energetskih značajki zgrade, obvezni su sadržaj energetskog certifikata, no nije propisana obveza primjene niti jedne od predloženih preporuka. Energetski certifikat je prije svega informacija vlasnicima i korisnicima zgrade o energetskim značajkama zgrade i o energetskim potrebama za grijanje, hlađenje, klimatizaciju, rasvjetu.



## **Osiguranje nezavisnih stručnjaka: članak 10. Direktive**

Prema ovom članku Direktive države članice su obvezne osigurati da energetska certificiranja zgrade obavljaju kvalificirani i/ili ovlašteni stručnjaci.

Ova obveza je prenesena putem Pravilnika o uvjetima i mjerilima za davanje ovlaštenja za provođenje energetske pregleda i energetska certificiranja zgrada („Narodne novine“, broj 113/08).

Pravilnikom su propisane vrste ovlaštenja: za provođenje energetske pregleda i energetska certificiranja zgrada sa jednostavnim tehničkim sustavom i zgrada sa složenim tehničkim sustavom, uvjeti za dobivanje ovlaštenja, te neovisnost stručnjaka. Potreban broj nezavisnih stručnjaka za provođenje energetske pregleda i energetska certificiranja zgrada procjenjuje se na najmanje 500 za nove zgrade, dok je za dodatna energetska certificiranja zgrada javne namjene, te zgrada koje se prodaju ili iznajmljuju, potrebno osigurati i tri do četiri puta više stručnjaka.

## **Zaključak**

Prijenos Direktive pretpostavlja prilagodbu zakona i podzakonskih akata s njezinim odredbama, dok implementacija podrazumijeva stvarnu provedbu u praksi. Priprema propisa u cilju prijenosa odredbi Direktive kao i provedba tih propisa, proces su koji zahtijeva dugotrajni, sustavni i kontinuirani rad svih uključenih u taj proces: od tijela koja donose propise do projekatanta, izvođača, certifikatora, a koji je uvjetovan i čestim promjenama na zakonodavnom području koje se odnosi na energetska učinkovitost u zgradarstvu uslijed postavljanja sve viših kriterija na ovaj sektor sukladno tehnološkom razvoju.

## **Bibliografija:**

1. Tehnički propisi o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, N. Mardetko-Škoro, L. Fučić, J. Bertok-Vrček, *Gradevinar*, Vol.57 No.07.
2. Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama („Narodne novine“, broj 79/2005., 155/2005., 74/2006.)
3. Directive 2002/91/EC on the energy performance of buildings of 16 th December 2002, *Official Journal of the European Communities* L1/65 04/01/2003)
4. Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama („Narodne novine“, broj 110/8)
5. Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada („Narodne novine“, broj 113/08)
6. Pravilnik o uvjetima i mjerilima za provođenje energetske pregleda i energetska certificiranja zgrada („Narodne novine“, broj 113/08)

INTERKLIMA 2009

## Metodologija energetskih pregleda zgrada

Željka Hrs Borković, dipl.ing.arh.

Margareta Zidar, dipl.ing.arh.

Energetski institut Hrvoje Požar

Savska 163, Zagreb

01 6326138, 6326108

[zhrs@eihp.hr](mailto:zhrs@eihp.hr), [mzidar@eihp.hr](mailto:mzidar@eihp.hr)

Uvođenje obavezne energetske certifikacije zgrada podrazumijeva i usvajanje jedinstvene nacionalne metodologije provedbe energetskih pregleda novih i postojećih zgrada, stambene i nestambene namjene. U ovom se radu daje pregled najnovijeg hrvatskog zakonodavnog okruženja, kojim se implementira EU Direktiva 2002/91/EC o energetskim svojstvima zgrada (EPBD), te se detaljnije prikazuje predložena metodologija energetskih pregleda zgrada.

Metodologija definira postupak provođenja energetskog pregleda za nove i postojeće zgrade, koji uključuje analizu toplinskih karakteristika vanjske ovojnice zgrade i karakteristika svih tehničkih sustava s ciljem utvrđivanja učinkovitosti/neučinkovitosti potrošnje energije te donošenja zaključaka i preporuka za povećanje učinkovitosti. Svrha izrade metodologije provođenja energetskih pregleda zgrada jest osiguranje alata ovlaštenim osobama za provođenje energetskih pregleda kroz propisivanje detaljne procedure svih aktivnosti u tom procesu. Energetski pregledi provode se radi analize stanja i mogućnosti primjene mjera poboljšanja energetskih svojstava zgrade i povećanja energetske učinkovitosti u novim i postojećim zgradama, te kao osnovni alat u određivanju razreda potrošnje energije u energetske certifikaciji zgrada.

### *KLJUČNE RIJEČI*

*energetski pregledi zgrada, energetski certifikat, energetska svojstva zgrada, energetska učinkovitost*

### *KEYWORDS*

*energy audits of buildings, energy certificate, energy performance of buildings, energy efficiency*

## UVOD

Implementacija EU Direktive 2002/91/EC o energetskim svojstvima zgrada (EPBD) u hrvatsko zakonodavstvo i ciljevi zaštite okoliša stvorili su važan okvir za početak energetske certifikacije zgrada u Hrvatskoj. Proces energetske certifikacije zgrada donosi niz ključnih promjena koje će značajno utjecati na podizanje kvalitete gradnje, osuvremenjivanje postojećih zgrada, povećanje standarda i komfora u zgradama, smanjenje troškova održavanja zgrada,

primjenu inovativnih tehnologija i rješenja, razvoj integralnog pristupa projektiranju i dugoročni pristup analizi zgrade uzimajući u obzir cijeli njen životni vijek.

U skladu sa Zakonom o prostornom uređenju i gradnji, NN 76/07, članak 15. uvodi se obavezna energetska certifikacija zgrada u Republici Hrvatskoj (RH). EPBD se u RH implementira na temelju Akcijskog plana za implementaciju EPBD izrađenog u Ministarstvu zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva (MZOPUG) tijekom 2007., te putem niza tehničkih propisa i pravilnika, od kojih su do sada usvojeni: Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada NN 110/08, Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada NN 110/08, Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada NN 113/08, Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada NN 113/08. Pravilnikom o energetskom certificiranju zgrada propisan je sadržaj i izgled energetskog certifikata za stambene i nestambene zgrade, energetske razredi zgrada, te obveze investitora i vlasnika zgrade u procesu energetske certifikacije. Propisane su zgrade za koje je potrebno izdati energetski certifikat, te zgrade za koje je potrebno javno izlaganje energetskog certifikata. Pravilnikom o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje zgrada definirani su uvjeti za davanje ovlaštenja za provođenje energetskih pregleda i energetsko certificiranje zgrada.

Energetski certifikat zgrade jest dokument koji predočuje energetska svojstva zgrade i koji ima propisani sadržaj i izgled prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada, a izdaje ga ovlaštena osoba. Vrijednosti koje su istaknute na energetskom certifikatu odražavaju energetska svojstva zgrade i potrošnju energije izračunatu na temelju pretpostavljenog režima korištenja zgrade i ne moraju nužno izražavati realnu potrošnju u zgradi ili njezinoj samostalnoj uporabnoj jedinici jer ona uključuje i ponašanje korisnika. Energetski pregled zgrade jest dokumentirani postupak koji se provodi u cilju utvrđivanja energetskih svojstava zgrade i stupnja ispunjenosti tih svojstava u odnosu na zahtjeve propisane posebnim propisima i sadrži prijedlog mjera za ekonomski povoljno poboljšanje energetskih svojstava zgrade, a provodi ga ovlaštena osoba.

Za izdavanje energetskog certifikata nove ili postojeće zgrade potrebno je provesti energetski pregled zgrade. Primjeri provođenja energetskih pregleda u Hrvatskoj do sada, pokazali su da se oni provode na različite načine, s različitim rezultatima i bez jedinstvene nacionalne metodologije. Iz tog je razloga izrađen prijedlog jedinstvene nacionalne Metodologije za provođenje energetskih pregleda novih i postojećih zgrada, stambene i nestambene namjene, za potrebe energetskog certificiranja zgrada, u skladu sa člankom 28. Pravilnika o energetskom certificiranju zgrada. Metodologija propisuje način dobivanja potrebnih ulaznih podataka, te proceduru aktivnosti koje se provode pri energetskom pregledu, s posebnim naglaskom na onom dijelu aktivnosti koje se provode u svrhu energetske certifikacije zgrada. Temeljem provedenog energetskog pregleda i izračunatih energetskih potreba zgrade izrađuje se energetski certifikat.

## **OSNOVNE KARAKTERISTIKE PRIJEDLOGA NACIONALNE METODOLOGIJE ENERGETSKIH PREGLEDA ZGRADA**

Metodologija energetskih pregleda obuhvaća metodologiju provođenja energetskih pregleda za nove i postojeće zgrade, stambene i nestambene namjene, s jednostavnim ili složenim tehničkim sustavima (bez industrije i industrijskih procesa). Osnovni je cilj energetskog pregleda utvrditi energetska svojstva nove ili postojeće zgrade, te dati preporuke za povećanje energetske učinkovitosti. Energetski pregled mora sadržavati podatke potrebne za energetsko certificiranje zgrada. Prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada, sve nove zgrade za koje se nakon

1. rujna 2009. godine podnosi zahtjev za izdavanje akta temeljem kojega se može graditi (građevinske dozvole ili potvrde glavnog projekta) moraju imati energetska certifikat, a time i proveden energetski pregled. Sve zgrade čija građevinska (bruto) površina nije veća od 400 m<sup>2</sup> i zgrade za obavljanje isključivo poljoprivrednih djelatnosti čija građevinska (bruto) površina nije veća od 600 m<sup>2</sup> i koje nisu izuzete od obveze energetskog certificiranja, za koje je prijavljen početak građenja nakon 1. rujna 2009. godine, moraju imati energetska certifikat i proveden energetski pregled. Sve zgrade javne namjene za koje je obvezno javno izlaganje energetskog certifikata moraju imati izrađen i javno izložen energetski certifikat, uz proveden energetski pregled, u roku od najdulje 36 mjeseci od donošenja nacionalne metodologije za provođenje energetskih pregleda. Sve postojeće zgrade koje se prodaju, iznajmljuju ili daju na leasing moraju imati energetska certifikat dostupan na uvid kupcu ili najmoprimcu najkasnije danom pristupanja Republike Hrvatske u članstvo EU.

Prema prijedlogu metodologije, energetski pregled zgrade obavezno uključuje:

1. analizu građevinskih karakteristika zgrade u smislu toplinske zaštite (analizu toplinskih karakteristika vanjske ovojnice zgrade),
2. analizu energetskih svojstava sustava grijanja i hlađenja,
3. analizu energetskih svojstava sustava klimatizacije i ventilacije,
4. analizu energetskih svojstava sustava za pripremu potrošne tople vode,
5. analizu energetskih svojstava sustava potrošnje električne energije – sustav elektroinstalacija, rasvjete, kućanskih aparata i drugih podsustava potrošnje električne energije,
6. analizu upravljanja svim tehničkim sustavima zgrade,
7. potrebna mjerenja gdje je to nužno za ustanovljavanje energetskog stanja i /ili svojstava,
8. analizu mogućnosti promjene izvora energije,
9. analizu mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije i učinkovitih sustava,
10. prijedlog ekonomski povoljnih mjera poboljšanja energetskih svojstava zgrade, ostvarive uštede, procjenu investicije i jednostavni period povrata,
11. izvještaj s preporukama za optimalni zahvat i redoslijed prioriternih mjera koje će se implementirati kroz jednu ili više faza.

Energetski pregled zgrade može uključivati i druge radnje ovisno o namjeni i vrsti zgrade, kao npr. analizu potrošnje sanitarne vode i preporuke za smanjenje potrošnje. Energetski pregled za potrebe energetske certifikacije zgrada uključuje sve navedene analize s naglaskom na izračunu potrebne toplinske energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode, koji se unosi obavezno u energetska certifikat, dok se ostali podaci za sada unose opcionalno.

Osnovni elementi energetskog pregleda postojećih zgrada za potrebe energetskog certificiranja su:

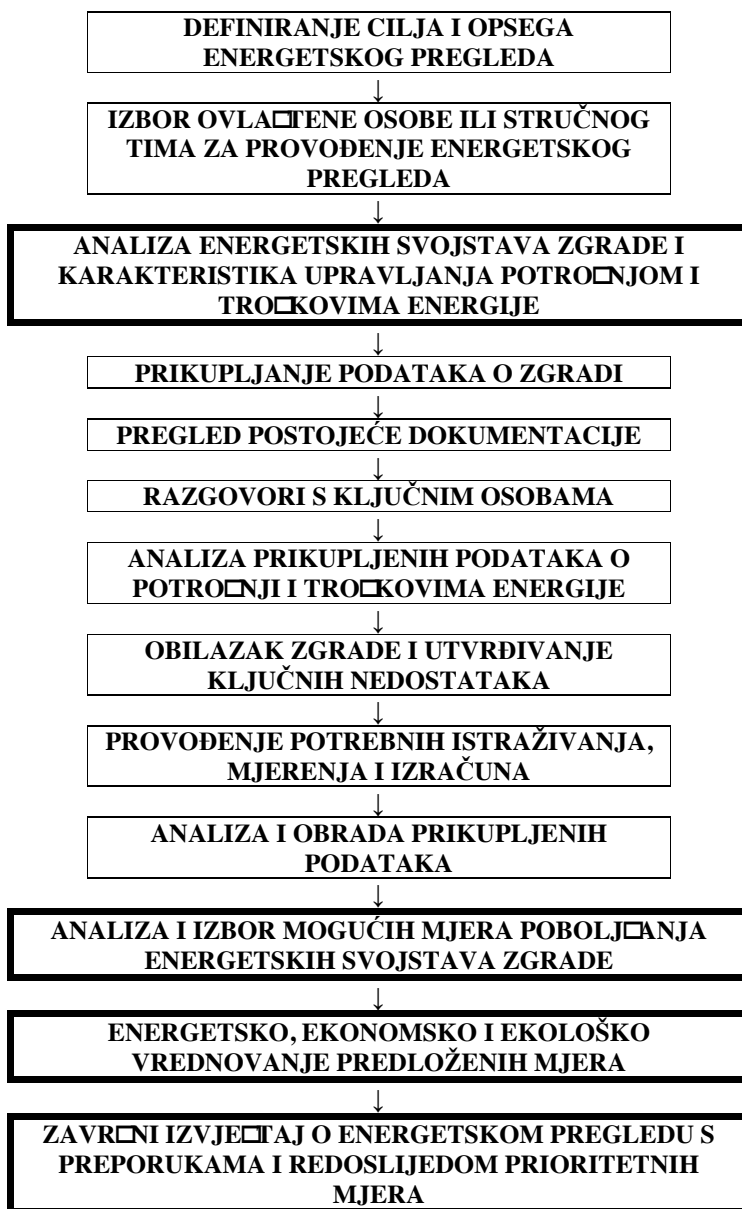
1. analiza energetskih svojstava zgrade i karakteristika upravljanja potrošnjom i troškovima energije
2. analiza i izbor mogućih mjera poboljšanja energetskih svojstava zgrade
3. energetsko, ekonomsko i ekološko vrednovanje predloženih mjera
4. završni izvještaj o energetskom pregledu s preporukama i redoslijedom prioriternih mjera

Osnovni elementi energetskog pregleda novih zgrada za potrebe energetskog certificiranja su:

1. analiza energetskih svojstava zgrade i karakteristika upravljanja potrošnjom i troškovima energije – prema podacima iz projektne dokumentacije i uvidom u izvedeno stanje

2. završni izvještaj o energetske pregledu s iskazom podataka za izradu energetske certifikata

Za potrebe energetske certificiranja energetske pregledom se analiziraju svi tehnički sustavi zgrade, a izračunavaju se energetske potrebe za grijanje i potrošnu toplu vodu ( $Q_{H,nd}$  i  $Q_w$ ), prema stvarnim klimatske podacima, koje se za sada obavezno unose u energetske certifikat, dok se ostale energetske potrebe unose samo opcionalno.



Slika 1: Prikaz toka provođenja energetske pregleda

Zgrada <input type="checkbox"/> nova <input type="checkbox"/> postojeća		Klimatski podaci	
		Vrsta zgrade K.č. k.o. Adresa Mjesto Vlasnik / investitor Izvođač Godina izgradnje	
Energetski certifikat za stambene zgrade	$Q_{H,nd,ref}$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	Izračun	49
	A+	≤ 15	
	A	≤ 25	
	B	≤ 50	<b>B</b>
	C	≤ 100	
	D	≤ 150	
	E	≤ 200	
	F	≤ 250	
	G	> 250	
	Podaci o osobi koja je izdala certifikat Ovlaštena fizička osoba Ovlaštena pravna osoba i imenovana osoba Regstarski broj ovlaštene osobe Broj certifikata Datum izdavanja/rok važenja Potpis		
Podaci o zgradi A <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> ] V <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> ] f <sub>g</sub> [m <sup>-1</sup> ] H <sub>t</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]			
Podaci o termotehničkim sustavima zgrade		Način grijanja zgrade (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor) Izvori energije koji se koriste za grijanje i pripremu tople vode Način hlađenja (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor) Izvori energije koji se koriste za hlađenje Vrsta ventilacije (prirodna, prisilna bez ili s povratom topline) Vrsta i način korištenja sustava s obnovljivim izvorima energije Udio obnovljivih izvora energ. u potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje [%]	
Energetske potrebe			
		Za referentne klimatske podatke     Za stvarne klimatske podatke     Zhtjev	
	Ukupno	Specifično	Ukupno     Specifično     Dopusšteno     Ispunjeno
Q <sub>ned</sub> [kWh/a]			
Q <sub>cv</sub> [kWh/a]			
Q <sub>wh</sub> [kWh/a]			
Q <sub>whs</sub> [kWh/a]			
Q <sub>wha</sub> [kWh/a]			
E <sub>wh</sub> [kWh/a]			
E <sub>erm</sub> [kWh/a]			
CO <sub>2</sub> [kg/a]			
Objašnjenje: <input type="checkbox"/> obavezna ispunava <input type="checkbox"/> ispunjava se opcijski			
Građevni dio zgrade		U [W/(m <sup>2</sup> K)]	U <sub>max</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]     Ispunjeno
Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema tavanu Zidovi prema tlu, podovi prema tlu Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0 °C Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozorni elementi pročelja Vanjska vrata s neprozirnim vratnim krilom			

Slika 2: Energetski certifikat za stambene zgrade, prve dvije stranice

Zgrada <input type="checkbox"/> nova <input type="checkbox"/> postojeća		Klimatski podaci	
		Vrsta zgrade K.č. k.o. Adresa Mjesto Vlasnik / investitor Izvođač Godina izgradnje	
Energetski certifikat za nestambene zgrade	$Q_{H,nd,ref}$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	Izračun	49
	Potrošnja (opcijski)	98	
	A+	≤ 15	
	A	≤ 25	
	B	≤ 50	<b>B</b>
	C	≤ 100	<b>C</b>
	D	≤ 150	
	E	≤ 200	
	F	≤ 250	
	G	> 250	
Podaci o osobi koja je izdala certifikat Ovlaštena fizička osoba Ovlaštena pravna osoba i imenovana osoba Regstarski broj ovlaštene osobe Broj certifikata Datum izdavanja/rok važenja Potpis			
Podaci o zgradi A <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> ] V <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> ] f <sub>g</sub> [m <sup>-1</sup> ] H <sub>t</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]			
Podaci o termotehničkim sustavima zgrade		Način grijanja zgrade (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor) Izvori energije koji se koriste za grijanje i pripremu tople vode Način hlađenja (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor) Izvori energije koji se koriste za hlađenje Vrsta ventilacije (prirodna, prisilna bez ili s povratom topline) Vrsta i način korištenja sustava s obnovljivim izvorima energije Udio obnovljivih izvora energ. u potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje [%]	
Energetske potrebe			
		Za referentne klimatske podatke     Za stvarne klimatske podatke     Zhtjev	
	Ukupno	Specifično	Ukupno     Specifično     Dopusšteno     Ispunjeno
Q <sub>ned</sub> [kWh/a]			
Q <sub>cv</sub> [kWh/a]			
Q <sub>wh</sub> [kWh/a]			
Q <sub>whs</sub> [kWh/a]			
Q <sub>wha</sub> [kWh/a]			
Q <sub>ca</sub> [kWh/a]			
Q <sub>c</sub> [kWh/a]			
E <sub>wh</sub> [kWh/a]			
E <sub>erm</sub> [kWh/a]			
CO <sub>2</sub> [kg/a]			
Objašnjenje: <input type="checkbox"/> obavezna ispunava <input type="checkbox"/> ispunjava se opcijski			
Građevni dio zgrade		U [W/(m <sup>2</sup> K)]	U <sub>max</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]     Ispunjeno
Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, tavanu Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema tavanu Zidovi prema tlu, podovi prema tlu Stropovi iznad vanjskog zraka, stropovi iznad garaže Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama i negrijanom stubištu temperature više od 0 °C Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozorni elementi pročelja Vanjska vrata s neprozirnim vratnim krilom			

Slika 3: Energetski certifikat za nestambene zgrade, prve dvije stranice

Energetski certifikat se izrađuje na osnovu izračunatih energetske potrebe zgrade za grijanje i potrošnu toplu vodu i provedenog energetskeg pregleda. Metodologija provođenja energetskeg pregleda propisuje način dobivanja potrebnih ulaznih podataka, te proceduru aktivnosti koje se provode pri energetskeg pregledu, s posebnim naglaskom na onom dijelu aktivnosti koje se provode u svrhu energetske certifikacije zgrada. Energetski certifikat sastoji se od 5 stranica, od kojih prva stranica daje osnovni podatak o zgradi i svrstava zgradu temeljem izračuna potrebne energije za grijanje u razred energetske potrošnje, od A+ razreda s najmanjom potrošnjom energije za grijanje (manje od 15 kWh/m<sup>2</sup>), do G razreda zgrade s najvećom energetskeg potrošnjom (preko 250 kWh/m<sup>2</sup>). Druga stranica energetskeg certifikata zgrade donosi podatke iz proračuna dok treća stranica certifikata daje popis mjera za ekonomski povoljno poboljšanje energetskeg svojstava zgrade. Ostale dvije stranice energetskeg certifikata su pojašnjenja pojmova i popis normi i proračunskih postupaka. Važno je napomenuti da zgrade projektirane u skladu s propisima danas ulaze u razred energetske potrošnje C, te da je potrebno značajno poboljšanje energetskeg svojstava zgrade kako bi ona ušla u energetski razred A ili A+.

Za izradu energetskeg certifikata potrebno je provesti energetski pregled zgrade. Na osnovu analize prikupljenih podataka odabiru se konkretne energetske, ekonomske i ekološke optimalne mjere energetske učinkovitosti za promatranu zgradu. Kvaliteta prikupljenih podataka ključ je uspješne provedbe energetskeg pregleda. Osoba koja provodi energetski pregled mora biti stručna i osposobljena da pregledom projektne dokumentacije i uvidom u postojeće stanje, te provedbom potrebnog izračuna, uz eventualna mjerenja na terenu, ustanovi postojeće energetsko stanje i da preporuke za poboljšanje energetskeg svojstava zgrade. Dvije su osnovne svrhe provođenja energetskeg pregleda:

- analiza stanja i mogućnosti primjene mjera poboljšanja energetskeg svojstava zgrade i povećanja energetske učinkovitosti u novim i postojećim zgradama
- osnovni alat u određivanju razreda potrošnje energije u energetskeg certifikaciji zgrada.

## **VRSTE ENERGETSKIH PREGLEDA**

Energetski pregledi dijele se prema:

- opsegu i detaljnosti provedenog istraživanja
- starosti zgrade
- složenosti tehničkih sustava zgrade
- namjeni zgrade i karakteristikama potrošnje energije

### **Prema opsegu i detaljnosti provedenog istraživanja razlikujemo:**

1. Preliminarni energetski pregled
2. Detaljni energetski pregled

Preliminarni energetski pregled zgrade uključuje kratki uvid u stanje energetskeg svojstava zgrade, s ciljem utvrđivanja potencijala za povećanje energetske učinkovitosti, odnosno potrebe za provođenjem detaljnog energetskeg pregleda.

Za potrebe energetskeg certificiranja zgrada potrebno je provesti detaljni energetski pregled. Detaljni energetski pregled uključuje detaljnu energetsku analizu svih građevinskih i tehničkih sustava u zgradi, u skladu s člankom 28 Pravilnika o energetskeg certificiranju zgrada. Ovisno o tome da li se analizira postojeća ili nova zgrada, prema prikupljenim podacima ustanovljavaju se energetske svojstva zgrade. Predložene mjere za povećanje energetske učinkovitosti potrebno je klasificirati u kategorije prema energetskeg, ekonomskom i ekološkom

doprinosu, uz izračun jednostavnog perioda povrata ulaganja, članak 29. Pravilnika o energetske certifikaciji zgrada NN(113/08). Jednostavni period povrata je omjer procjene potrebnih ulaganja i godišnjih energetskih ušteda u kunama, uz cijenu energije u trenutku analize.

#### **Prema starosti zgrade razlikujemo:**

1. Energetske preglede novih zgrada
2. Energetske preglede postojećih zgrada

Za potrebe energetske certifikacije zgrada provodi se detaljni energetski pregled novih i postojećih zgrada. Detaljni energetski pregled postojeće zgrade utvrdit će karakteristike potrošnje energije za postojeće rješenje i analizirati mogućnost povećanja energetske učinkovitosti svih građevinskih i energetskih tehničkih sustava te dati prijedlog za cjelovito energetski, ekonomski i ekološki isplativo rješenje.

Detaljni energetski pregled novih zgrada za potrebe energetske certifikacije značajno je jednostavniji, koristi podatke iz projektne dokumentacije i ne uključuje mjere poboljšanja energetskih svojstava zgrade, već samo ustanovljava podatke potrebne za izradu energetske certifikate. Energetski pregled novih zgrada provodi se nakon što je zgrada izgrađena, a prije tehničkog pregleda, završnog izvješća nadzornog inženjera i izdavanja uporabne dozvole, a služi kao podloga za izradu energetske certifikate zgrade, koji se prilaže zahtjevu za izdavanje uporabne dozvole.

#### **Prema složenosti tehničkih sustava razlikujemo:**

1. Energetski pregled zgrade s jednostavnim tehničkim sustavom
2. Energetski pregled zgrade sa složenim tehničkim sustavom

Metodologija daje razradu procedure za energetske preglede zgrada sa složenim tehničkim sustavima, dok se za zgrade s jednostavnim tehničkim sustavom primjenjuje ista metodologija, samo pojednostavnjena prema situaciji.

#### **Prema namjeni i karakteristikama potrošnje energije razlikujemo:**

1. Energetski pregled stambenih zgrada
2. Energetski pregled nestambenih zgrada

Osnovna karakteristika energetske certifikacije stambene zgrade je prikupljanje podataka o zgradi i izračun godišnjih energetskih potreba za grijanje i potrošnju toplu vodu, prema HRN EN 13790:2008. Za stambene zgrade nije obavezno mjerenje niti prikupljanje podataka o potrošnji i troškovima za energiju, već se cijeli energetski pregled temelji na prikupljanju ulaznih podataka i izračunu. Opcionalno, ukoliko postoje podaci, moguće je analizirati i potrošnju i troškove za energiju. U stambenim zgradama moguće je prema potrebi, provesti i određena mjerenja radi ustanovljavanja kvalitete izvedbe, kod novih zgrada, odnosno identifikacije problema i točnijeg utvrđivanja energetskih svojstava kod postojećih zgrada.

Kod energetske certifikacije nestambenih zgrada treba voditi računa o karakteristikama potrošnje energije zgrade određene namjene. Kao i kod stambenih zgrada, prikupljaju se potrebni ulazni podaci u svrhu ustanovljavanja energetskih svojstava zgrade, te se temeljem prikupljenih podataka provodi izračun godišnjih energetskih potreba za grijanje i potrošnju toplu vodu, prema HRN EN 13790:2008. U nestambenim zgradama moguće je prema potrebi, provesti i određena



mjerena radi ustanovljavanja kvalitete izvedbe, kod novih zgrada, odnosno identifikacije problema i točnijeg utvrđivanja energetske svojstava kod postojećih zgrada. Dodatno, za zgrade javne namjene analiziraju se i podaci o troškovima za energiju, kroz optimalno 36 mjeseci.

## **SADRŽAJ ENERGETSKOG PREGLEDA U SVRHU ENERGETSKOG CERTIFICIRANJA ZGRADA**

### **1. UVOD**

- 1.1 Svrha i cilj provođenja energetske pregleda
- 1.2 Kratki opis klijenta
- 1.3 Kratki opis lokacije i namjene zgrade
- 1.4 Kratki opis korištenih energetske sustava
- 1.5 Kratki opis karakterističnih energetske podsustava
- 1.6 Kratki opis ugodnosti boravka u zgradi

### **2. ANALIZA ENERGETSKIH SVOJSTAVA ZGRADE I KARAKTERISTIKA UPRAVLJANJA POTROŠNJOM I TROŠKOVIMA ENERGIJE**

- 2.1 Obilazak terena i prikupljanje potrebnih podataka
- 2.2 Opći dio – kratki opis karakteristika upravljanja potrošnjom i troškovima energije, odgovorne osobe, financiranje troškova za energiju, sustav odlučivanja o investicijama u održavanje zgrade, funkcioniranje sustava informiranja o potrošnji energije, motivacija za primjenu mjera energetske učinkovitosti
- 2.3 Analiza toplinskih karakteristika vanjske ovojnice zgrade
- 2.4 Analiza energetske svojstava sustava grijanja prostora
- 2.5 Analiza energetske svojstava sustava hlađenja prostora
- 2.6 Analiza energetske svojstava sustava ventilacije i klimatizacije
- 2.7 Analiza energetske svojstava sustava pripreme potrošne tople vode
- 2.8. Analiza energetske svojstava sustava potrošnje električne energije – elektroinstalacije, rasvjeta, uređaji i ostala trošila
- 2.9 Analiza energetske svojstava specifičnih podsustava (kuhinja, praonica i dr.)
- 2.10 Analiza potrošnje sanitarne vode (opcionalno)
- 2.11 Analiza sustava regulacije i upravljanja
- 2.12 Analiza energetske svojstava sustava za proizvodnju toplinske i električne energije iz obnovljivih izvora energije (ukoliko takvi postoje na lokaciji)
- 2.13 Izračun potrebne toplinske energije za grijanje i potrošnu toplu vodu, u skladu s HRN EN 13790

### **3. PROVOĐENJE POTREBNIH MJERENJA (nije obavezno)**

- 3.1 Analiza toplinskih gubitaka kroz vanjsku ovojnicu korištenjem infracrvene termografije, mjerenje zrakopropusnosti (Blower Door Test), mjerenje toplinskog otpora
- 3.2 Potrebna mjerenja u sustavima klimatizacije, grijanja, hlađenja, ventilacije
- 3.3 Mjerenje elektroenergetskih parametara potrošnje električne energije – po trošilima ili podsustavima

### **4. ANALIZA TROŠKOVA ZA ENERGIJU I MODELIRANJE POTROŠNJE ENERGIJE (za nestambene zgrade javne namjene)**

- 4.1 Troškovi za električnu energiju i karakteristike potrošnje
- 4.2 Troškovi za toplinsku energiju i karakteristike potrošnje
- 4.3 Troškovi za sanitarnu vodu i karakteristike potrošnje

## **5. ANALIZA I IZBOR MOGUĆIH MJERA POBOLJČANJA ENERGETSKIH SVOJSTAVA ZGRADE**

- 5.1 Poboljšanje toplinskih karakteristika vanjske ovojnice
- 5.2 Poboljšanje energetske svojstava sustava grijanja prostora
- 5.3 Poboljšanje energetske svojstava sustava hlađenja prostora
- 5.4 Poboljšanje energetske svojstava sustava ventilacije i klimatizacije
- 5.5 Poboljšanje energetske svojstava sustava pripreme potrošne tople vode
- 5.6 Poboljšanje energetske svojstava sustava potrošnje električne energije – elektroinstalacije, rasvjeta, uređaji i ostala trošila
- 5.7 Poboljšanje energetske svojstava specifičnih podsustava
- 5.8 Analiza mogućnosti zamjene energenta ili korištenja obnovljivih izvora energije za proizvodnju toplinske i/ili električne energije
- 5.9 Poboljšanje sustava regulacije i upravljanja
- 5.10 Poboljšanje sustava opskrbe vodom i potrošnje (opcionalno)
- 5.11 Potrebni izračuni ušteda za odabrane mjere

## **6. ENERGETSKO, EKONOMSKO I EKOLOŠKO VREDNOVANJE PREDLOŽENIH MJERA**

- 6.1 Organizacijsko edukacijske mjere, malih troškova
- 6.2 Mjere brzog povrata investicije i malih troškova prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada, Prilog 4, točka 1.
- 6.3 Mjere dužeg povrata investicije i većih troškova prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada, Prilog 4., točka 2.
- 6.4 Usporedba isplativih varijanti i ocjena složenosti provedbe

## **7. ZAVRŠNI IZVJEŠTAJ O ENERGETSKOM PREGLEDU S PREPORUKAMA I REDOSLIJEDOM PRIORITETNIH MJERA – PODLOGA ZA ENERGETSKI CERTIFIKAT**

### **ZAKLJUČAK**

Energetska certifikacija zgrada donosi cijeli niz aktivnosti koje će biti potrebno provesti interdisciplinarno u području zgradarstva. Osnovna metoda utvrđivanja energetske svojstava zgrada je energetska pregled, za koji će trebati, nakon usvajanja predložene nacionalne metodologije, educirati, osposobiti i ovlastiti niz stručnjaka arhitektonske, građevinske, strojarke i elektrotehničke struke. Osim toga, očekuje se da će energetska pregledi i energetska certifikacija zgrada potaknuti cijeli niz energetske obnove postojećeg sektora zgrada, kao i pokrenuti projektiranje učinkovitijih niskoenergetskih zgrada. Osmišljavanje energetike zgrada, kroz interdisciplinarni pristup, provodit će se u budućnosti, kroz tri stupnja:

1. Energetska pregledi zgrada
2. Energetska obnova postojećih zgrada
3. Rješavanje energetske koncepta novih zgrada

Usvajanje jedinstvene nacionalne metodologije energetske pregleda zgrada omogućava implementaciju mjera energetske učinkovitosti na jedinstven način, kao i jednostavno uspoređivanje energetske svojstava zgrada putem energetske certifikacije zgrada.

**Literatura**

- [1] Direktiva 2002/91/EC o energetske svojstvima zgrada / Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings (Official Journal L 001, 04/01/2003)
- [2] Zakon o prostornom uređenju i gradnji, NN 76/07
- [3] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada NN 110/08
- [4] Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada NN 110/08
- [5] Pravilnik o energetske certificiranju zgrada NN 113/08
- [6] Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetske certificiranje zgrada NN 113/08
- [7] Prijedlog Metodologije provođenja energetske pregleda za nove i postojeće zgrade stambene i nestambene namjene s jednostavnim i složenim tehničkim sustavom za potrebe energetske certificiranja zgrada, prema članku 7 EPBD, Energetski institut Hrvoje Požar, 2009.

## ISKUSTVA U IZVEDBI PROJEKTA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI PO ESCO MODELU U ZGRADAMA ŠKOLA

### UVOD

Izvedba projekata energetske učinkovitosti po ESCO modelu u zgradama škola pokazala je niz prednosti za vlasnike i osnivače škola odnosno gradove i županije. Uz povoljan način financiranja projekta koji uključuje vraćanje investicije putem postignutih ušteda moderniziraju se sustavi grijanja, rasvjete te poboljšavaju izolacijske toplinske karakteristike objekta. Osim direktnog utjecaja na smanjenje potroška toplinske i električne energije te time vezanih troškova povećava se i ukupan komfor u korištenju i održavanju objekta te utječe na smanjenje emisija štetnih plinova u okoliš. Istodobnom izvedbom više mjera energetske učinkovitosti zbrajaju se svi pozitivni efekti. Ovakvim načinom implementacije projekata energetske učinkovitosti do sada je obuhvaćeno 70 škola u više gradova i županija.

Kao jedan od primjera biti će ovom prilikom navedene implementirane mjere energetske učinkovitosti u sklopu projekta koji je izveden u školama Karlovačke županije.

Projekt koji je HEP-ESCO izveo u Karlovačkoj županiji obuhvatio je niz elektrostrojarskih i građevinskih mjera energetske učinkovitosti na ukupno pet škola.

Projekt je vremenski, od trenutka uspostavljanja prvog kontakta sa klijentom i odabira škola u listopadu 2005. god., preko izrade studija izvodljivosti koja je dala prve preliminarne rezultate, potpisivanja ugovora sa klijentom za nastavak projekta, izrade investicijske studije sa detaljnom analizom predloženih mjera energetske učinkovitosti, te u konačnici izvedbe samih radova do listopada 2008. god., trajao ukupno 3 godine.

Ukupna vrijednost opreme i radova iznosila je oko 5,2 milijuna kuna uz godišnje uštede oko 394.000 kuna. Radovi na izvedbi navedenih mjera odvijali su se tijekom 2008. godine kroz elektrostrojarsku i građevinsku grupu mjera.

### ELEKTROSTROJARSKE MJERE ENERGETSKE UČINKOVITOSTI

Elektrostrojarska grupa izvedenih mjera energetske učinkovitosti obuhvatila je zahvate na modernizaciji sustava elektroinstalacija odnosno grijanja i rasvjete u sljedeće četiri škole:

- Gimnaziji Bernardina Frankopana u Ogulinu,
- Prvoj osnovnoj školi u Ogulinu,
- Srednjoj školi Duga Resa i
- Šumarskoj i drvodjeljskoj školi Karlovac.

Ukupna investicija u radove i opreme iznosila je oko 1.491.000 kuna. Uštede iznose 78.348 kuna, odnosno 152.135 kWh toplinske energije i 33.343 kWh električne energije godišnje.

**Na objektu Gimnazije Bernardina Frankopana u Ogulinu** opseg modernizacije sustava grijanja obuhvatio je zahvate na uspostavljanju centralne automatske regulacije rada kotlova prema vanjskim uvjetima koja je obuhvatila ugradnju regulacijskog mješajućeg ventila, cirkulacionih crpke, armatura i priključaka te ugradnju kotlovske automatike za kaskadni rad kotlova. Novi sustav regulacije zamjenio je dotadašnji ručni način reguliranja. Izvršena je izmjena starih radijatorskih ventila novim termostatskim ventilima namjenjenih za ugradnju u javne prostore.

Modernizacija sustava elektroinstalacija obuhvatila je i istovremeno i radove na instalacijama telekomunikacija, razglaša, satova i školskog zvona te zajedničkog antenskog sustava u sklopu cjelokupne rekonstrukcije elektroinstalacija.

Prelazak sa sadašnjeg ručnog načina reguliranja polaza tople vode sa automatskim reguliranjem kruga grijanja vođena vremenskim prilikama ostvarena je ušteda energije za grijanje na razini od 1.885 lit/god lož ulja što iznosi 18.907 kWh/god odnosno 8.690 kn/god. Rekonstrukcijom elektroinstalacija i rasvjete u Gimnaziji Bernardina Frankopana u Ogulinu ukupna potrošnja električne energije prije i nakon modernizacije se prema očekivanju i modelu izračuna nije promjenila. Razlog leži u činjenici da je podignuta prethodno nezadovoljavajuća niska razina rasvjete na ispravnu razinu što je u konačnici rezultiralo time da je snage novog sustava ostala praktički ista. S obzirom da se modernizacijom znatno unaprijedila postojeća razina rasvjete te dobila kompletno rekonstruirana elektroinstalacija škole uz praktički isti trošak za energiju ovaj zahvat nalazi svoju opravdanost.

**Na objektu Prve osnovne škole Ogulin** u sklopu modernizacije elektroinstalacije rasvjete ugrađena su fluorescentna rasvjetna tijela s elektronskim prigušnicama i svjetiljke sa štednim žaruljama te je izvedena kompenzacija jalove energije.

Izvršena je ugradnja kompenzatora jalove energije kojim se eliminirala prekomjerno preuzeta jalova energija.

Uštede koje su postignute modernizacijom rasvjete iznose oko 4.600 kWh/god odnosno 6.606 kn/god.

Kompenzacija prekomjerno preuzete jalove energija iznosi 12.116 kVArh i prema referentnoj godini donosi uštede od 1.817 kuna.

**Na objektu Srednje škole Duga Resa** opseg modernizacije sustava grijanja također je obuhvatio izvedbu centralne regulacije u kotlovnici odnosno ugradnju regulacijskog mješajućeg ventila, cirkulacionih crpki, armatura i priključaka te ugradnju kotlovske automatike za kaskadni rad kotlova. Nadalje je izvršena i izmjena starih radijatorskih ventila novim termostatskim te su zamjenjeni preostali stari dotrajali radijatori u školi novima. U sklopu radova izvršena je i zamjena dotrajalog kotla novim niskotemperaturnim kotlom snage 560 kW uz instaliranje dodatno potrebnog dimnjaka te rješavanje problema neadekvatne ventilacije ugradnjom novih ventilacijskih kanala i otvora.

Ugradnjom automatike ostvarena je ušteda iznosa 2.100 lit/god što iznosi 21.063 kWh/god odnosno 9.681 kn/god.

Uštede dobivene ugradnjom novog niskotemperaturnog kotla donose dodatne ušteda na razlici u iskoristivosti starog i novog kotla što iznosi 4.200 lit/god odnosno 42.126 kWh/god ili 19.362 kn/god.

Ugradnjom termostatskih ventila postignute uštede procjenjene su na razini od 3.590 lit/god lož ulja što iznosi 36.008 kWh/god odnosno 16.550 kn/god.

**Opseg modernizacije sustava elektroinstalacije rasvjete u Šumarskoj i drvodjeljskoj školi Karlovac** obuhvatio je ugradnju fluorescentnih rasvjetnih tijela s elektroničkom prigušnicom i sjajnim paraboličnim rasterom te lampi sa štednim žaruljama. U okviru radova izvršena je sanacija rasvjete sportske dvorane i radionice. U sportskoj dvorani zamjenjene su VTFe žarulje od 400W odnosno svjetiljke koje su u potpunosti dotrajale te dijelom nefunkcionalne sa novim energetski učinkovitijim metalhalogenim svjetilkama izvorom svjetlosti HQI 250W. U radionicama su postojeće lampe 2x40W koje su također bile u vrlo lošem stanju i djelomično izvan funkcije zamijenjene fluorescentnim svjetilkama snage 2x36W.

Uštede se kreću na razini od 28.743 kWh odnosno 33.054 kn/god.



Slika 1: Prva Osnovna škola Ogulin – Rekonstruirana rasvjeta i sanirana vanjska stolarija



Slika 2: Srednja škola Duga Resa – Instalacija novog niskotemperaturnog kotla

Ukupni opseg investicija za elektrostrojarsku grupu mjera energetske učinkovitosti iznosio je 1.745.000 kuna, što uz postinute uštede od 78.300 daje jednostavni period povrata investicija od oko 15,7 godina.

Tablica 1: Rekapitulacija ukupno izvedenih radova i ušteda za elektrostrojarske mjere energetske učinkovitosti

Opis radova	Mjera energetske učinkovitosti	Uštede (lit/god ELLU)	Uštede (kWh/god)	Uštede (kn/god)
Rekonstrukcija uljne kotlovnice i ugradnja termostatskih radijatorskih ventila - Gimnazija B. Frankopana Ogulin	Ugradnja automatike	1.885	18.907	8.690
	Ugradnja termostatskih ventila	3.393	34.032	15.642
Rekonstrukcija elektroinstalacije rasvjete - Gimnazija B. Frankopana Ogulin	Rekonstrukcija elektroinstalacija i modernizacija rasvjete	-	-	-
Rekonstrukcija elektroinstalacije rasvjete - Prva osnovna škola Ogulin	Modernizacija rasvjete	-	4.600	6.606
	Ugradnja kompenzatora jalove energije	-	12.116*	1.817
Rekonstrukcija uljne kotlovnice i ugradnja termostatskih radijatorskih ventila - Srednja škola Duga Resa	Ugradnja automatike	2.100	21.063	9.681
	Ugradnja termostatskih ventila i nužna zamjena radijatora	3.590	36.008	16.550

	Ugradnja niskotemperaturnog toplovodnog kotla	4.200	42.126	19.362
Rekonstrukcija rasvjete u Šumarskoj i drvodjeljskoj školi Karlovac	Rekonstrukcija sustava rasvjete	-	28.743	33.054
<b>UKUPNO</b>		<b>15.168</b>	<b>185.478**</b>	<b>111.402</b>

\* - kVArh (Ušteda na kompenzaciji jalove energije)

\*\* - Ukupni iznos energije u kWh odnosi se na 152.135 kWh toplinske energije i 33.343 kWh električne energije

## GRAĐEVINSKE MJERE ENERGETSKE UČINKOVITOSTI

Izvedbom građevinskih mjera energetske učinkovitosti obuhvaćene su sljedeće četiri škole:

- Osnovna škola Ivan Goran Kovačić Duga Resa,
- Srednja škola Duga Resa,
- Gimnazija Bernardina Frankopana Ogulin i
- Prva osnovna škola Ogulina.

Ukupna investicija u radove i opreme iznosila je oko 3.424.000 kuna, uz uštede od 282.865 kuna, odnosno oko 615.000 kWh godišnje.

Opseg radova zamjene i ugradnje vanjske fasadne stolarije odnosno prozora i vrata obuhvatio je zamjenu dotrajale vanjske stolarije na sve četiri škole sa modernom višekomornom PVC stolarijom sa termoizolacijskim ostakljenjima uključivo sa PVC roletama, odnosno žaluzinama gdje je to zahtijevala situacija.

Dodatno na ovo u Osnovnoj školi Ivan Goran Kovačić u Dugoj Resi kao mjera izvedena toplinska izolacija fasade.

Nova vanjska građevinska stolarija sastoji se iz prozora, stijena, vrata te klupica, a izvedena je iz PVC stolarije sljedećih osnovnih karakteristika:

- izrađena je iz peterokomornih profila ugradbene dubine 70 mm
- faktor termoizolacije profila  $k \leq 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- sva vanjska stolarija opremljena je IZO staklenim sendvičem iz LOW-e termoizolacionog stakla 4-16-4 mm punjena argonom faktora termoizolacije  $k \leq 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
- toplinski faktor osnovnog sendvič panela bez stakla iznosi  $k \leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- doprozornici i krila su ojačani unutarnjim pocinčanim čeličnim profilima, ugrađen je sigurnosni okov osnovne sigurnosti, postojan na vanjske utjecaje

Manji dio stolarije u Gimnaziji B. Frankopana u Ogulinu izveden je kao drvena stolarija uz poštivanje zahtjeva ostakljenja kao kod PVC stolarije.

Toplinska fasada u Osnovnoj školi Ivan Goran Kovačić u Dugoj Resi izvedena je u povezanom ETICS sustavu koja je obuhvatila ugradnju toplinsko-izolacijskih ploča iz ekspaniranog polistirena debljine 6 cm zahtjevane toplinske provodljivosti  $\lambda \leq 0,04 \text{ W/mk}$ . Završna akrilatna žbuka izvedena je u dogovoru sa nadležnim Konzervatorskog odjela iz razloga smještaja škole unutar zaštiće povijesno-urbanističke cjeline grada.



**Na objektu Osnovne škole Ivan Goran Kovačić, Duga Resa** sanacijom pročelja zgrade ostvarena je ušteda toplinske energije od oko 151.052 kWh godišnje ili 15.060 litara lož ulja. Prema referentnoj cijeni lož ulja ušteda iznosi 69.427 Kn godišnje.

Toplinskom izolacijom fasade u ETICS povezanom sustavu sa ekspanziranom polistirenom na vanjskim zidovima školepostignut je koeficijent prolaza topline  $U=0,45$  W/m<sup>2</sup>K. Implementacijom ove ostvarena je ušteda toplinske energije od oko 99.829 kWh godišnje ili 9.953 litara lož ulja. Prema referentnoj cijeni lož ulja, ušteda iznosi 45.883 Kn godišnje.

Sanacijom vanjske stolarije ostvarena je ušteda toplinske energije od oko 100.200 kWh godišnje ili 9.990 litara lož ulja. Prema referentnoj cijeni lož ulja, ušteda iznosi oko 46.054 Kn godišnje.

**U objektu Gimnazije Bernardina Frankopana u Ogulinu** zamjena fasadne stolarije u obuhvatila je zamjenu vanjske stolarije na novijem objektu, zamjenu preostale stare vanjske stolarije na starijem objektu i zatvaranje spojnog hodnika između starog i novog dijela škole čime je spriječeno nepotrebno gubljenje topline prilikom čestih prelazaka korisnika između starog i novog dijela škole.

Zamjenom vanjske stolarije na novijem objektu izvršena je zamjena dotrajalih postojećih prozora i ulaznih vrata. Implementacijom ove mjere ostvarena je ušteda toplinske energije oko 28.164 kWh godišnje ili 2.808 litara lož ulja. Prema referentnoj cijeni lož ulja, ušteda iznosi 12.945 Kn godišnje.

Zamjena preostale stare stolarije na starijem objektu obuhvatila je zamjenu preostale dotrajale stare vanjske stolarije novom drvenom ostakljenom termoizolacionim staklom. Implementacijom ove mjere ostvarena je ušteda toplinske energije od oko 13.039 kWh godišnje ili 1.300 litara lož ulja. Prema referentnoj cijeni lož ulja, ušteda iznosi oko 5.993 Kn godišnje.

Zatvaranjem spojnog hodnika izvedeno je PVC stijenom iz višekomornih profila ukupne dužine 18,35 m pri čemu postojeći vanjski zid u površini od oko 100 m<sup>2</sup> postaje zid prema negrijanom prostoru sa smanjenim transmisivnim gubitkom.

Na temelju proračuna ostvarena je ušteda od oko 2.427 kWh godišnje ili 242 litre lož ulja. Ušteda u troškovima grijanja iznosi 1.116 Kn godišnje.

**U objektu Prve osnovna škole Ogulin** zamjenom cjelokupne fasadne stolarije izvršena je zamjena dotrajale postojeće drvene vanjske stolarije novom. Implementacijom ove mjere ostvarena je ušteda toplinske energije od oko 220.720 kWh godišnje ili 22.006 litara lož ulja. Prema referentnoj cijeni lož ulja, ušteda iznosi oko 101.448 Kn godišnje.

**Tablica 2: Rekapitulacija ukupno izvedenih radova i ušteda za građevinske mjere energetske učinkovitosti**

<i>Opis radova</i>	<i>Mjera energetske učinkovitosti</i>	<i>Uštede (lit/god ELLU)</i>	<i>Uštede (kWh/god)</i>	<i>Uštede (kn/god)</i>
<i>Sanacija vanjske stolarije i pročelja zgrade - Osnovna škola I. G. Kovačić Duga Resa</i>	<i>Zamjena vanjske stolarije</i>	15.060	151.052	69.427
	<i>Toplinska izolacija fasade</i>	9.953	99.829	45.883
<i>Sanacija vanjske stolarije - Srednja škola Duga Resa</i>	<i>Zamjena vanjske stolarije</i>	9.990	100.200	46.054
<i>Zamjena fasadne stolarije - Gimnazija B. Frankopana Ogulin</i>	<i>Zamjena vanjske stolarije na novijem objektu</i>	2.808	28.164	12.945
	<i>Zamjena preostale stare vanjske stolarije na starijem objektu</i>	1.300	13.039	5.993



	Zatvaranje spojnog hodnika	242	2.427	1.116
Zamjena fasadne stolarije - Prva osnovna škola Ogulin	Zamjena vanjske stolarije	22.006	220.720	101.448
<b>UKUPNO</b>		<b>61.359</b>	<b>615.431</b>	<b>282.865</b>

Ukupni opseg investicija za građevinsku grupu mjera energetske učinkovitosti iznosio je 3.424.000 kuna, što uz postinute uštede od 282.900 kuna daje jednostavni period povrata investicija od oko 12 godina.



Slika 3: Osnovna škola Ivan Goran Kovačić – Sanirana vanjska stolarija i pročelje zgrade

## ZAKLJUČAK

Izvedbom projekta energetske učinkovitosti u Karlovačkoj županiji na objektima pet škola smanjila se potrošnja odnosno ukupni trošak energenta za grijanje i električnu energiju za više od 394.000 kn godišnje. Uz vrijednost investicija od oko 5,2 milijuna kuna jednostavni period povrata iznosi oko 13,1 godinu.

Projekt je izveden po ESCO modelu na način da HEP ESCO osigurava pripremu i izvedbu projekta te financira projekt u dijelu energetske učinkovitosti. Dio investicije u iznosu koji pokrivaju uštede u periodu povrata od 8 godina ne osigurava se unaprijed od strane Karlovačke županije, nego se vraća iz ostvarenih ušteda. Preostali dio financijskih sredstava koji se ne pokriva iz ušteda klijent sam dodatno osigurava.

Radovi na modernizaciji sustava grijanja i sustava potrošnje električne energije, ovisno o pojedinoj školi, obuhvatili su više različitih sustava potrošnje toplinske i električne energije. Mjere energetske učinkovitosti na zahvatima sustava grijanja obuhvatili su ugradnju i ososobljavanje centralne regulacije u kotlovnica za optimalan rad kotlova te lokalne regulacije temperature prostora ugradnjom termostatskih ventila na radijatore. Zahvatima na sustavima potrošnje električne energije obuhvaćena je prvenstveno rasvjeta odnosno zamjena dotrajalih i neučinkovitih rasvjetnih tijela s novim učinkovitijim sustavima. U slučaju postojanja jalove energije ugradili su se kompenzatori. Ugradnjom svjetiljki s

elektroničkim prigušnicama smanjila se potrošnja energije, unaprijedila kvaliteta svjetla (nema treperenja) i poboljšava faktor snage uz povećavanje razine osvijetljenosti.

Zahvatima na sanacijama vanjske stolarije ugradnjom višekomorne PVC stolarije sa termoizolacijskim ostakljenjima i sanacijom fasade toplinskom izolacijom smanjena je u velikoj mjeri potrošnja energenta za grijanje.

Iskustvo između ostalog pokazuje da postojeće stanje sustava grijanja i elektroinstalacija u školama je često zbog nedostatka novčanih sredstava škola tehnički i funkcionalno nezadovoljavajuće odnosno neadekvatno izvedeno i održavano. Ova činjenica kao posljedicu direktno povlači to da se u toku izvedbe projekta nužno moraju izvesti i radovi koji ne moraju imati direktno karakter energetske učinkovitosti što se nažalost može i odraziti na relativno smanjene ušteda naspram investicija. Ovi dodatni opsezi radova dovodi postojeće stanje instalacija u tehnički i zakonski ispravno stanje uz podizanje kvalitete korištenja.

Istodobnom izvedbom više mjera energetske učinkovitosti doprinosi se postizanju cjelovitosti rješenja zahvaćenog sustava, zbrajaju se financijski efekti, a često u konačnici na račun neznatnog povećanja perioda povrata investicija se ukupno izvede veći broj mjera energetske učinkovitosti.

Nakon implementacije mjera energetske učinkovitosti, odnosno nakon izvedbe i predaje radova, školama ostaje nova moderna i učinkovita oprema, a kvaliteta sustava grijanja i rasvjete je poboljšana uz niže troškove korištenja.

## **POSTUPAK IZRADE ELABORATA IZVEDIVOSTI ALTERNATIVNIH SUSTAVA ZA OPSKRBU ENERGIJOM KOD NOVIH I POSTOJEĆIH ZGRADA**

Damir Dović, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, e-mail: damir.dovic@fsb.hr  
Srećko Švaić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, e-mail: srecko.svaic@fsb.hr

### **SAŽETAK**

U radu je dan opis glavnih odrednica Studije primjenjivosti alternativnih sustava kod novih i postojećih zgrada koja je podloga projektantima za izradu Elaborata tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom. Izrada elaborata je propisana Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (TPRUETZZ), NN 110/08 i prilaže se zahtjevu za izdavanje građevinske dozvole za objekte veće od 1000 m<sup>2</sup>.

**KLJUČNE RIJEČI** : alternativni sustavi, opskrba energijom, elaborat izvedivosti

### **1. UVOD**

Direktiva o energetske značajkama zgrada (EPBD) 2002/91/EC donesena je s ciljem uštede energije u zgradama, promocije energetske učinkovitosti i smanjenja emisije ugljičnog dioksida. Direktiva propisuje pet bitnih elemenata za uštedu energije:

- uspostavu općeg okvira za metodologiju proračuna energetske značajke zgrada
- primjenu minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti za nove zgrade
- primjenu minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti za postojeće zgrade prilikom većih rekonstrukcija
- energetske certifikacije zgrada
- redovitu inspekciju kotlova i sustava za pripremu zraka u zgradama

EPBD se u RH implementira kroz Zakon o prostornom uređenju i gradnji NN 76/07 na temelju Akcijskog plana za implementaciju EPBD izrađenog U MZOPUG tijekom 2007., te putem niza tehničkih propisa i pravilnika, od kojih su do sada usvojeni: Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada NN 110/08, Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada NN 110/08, Pravilnik o energetske certifikaciji zgrada NN 113/08, Pravilnik o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetske certifikacije zgrada NN 113/08.

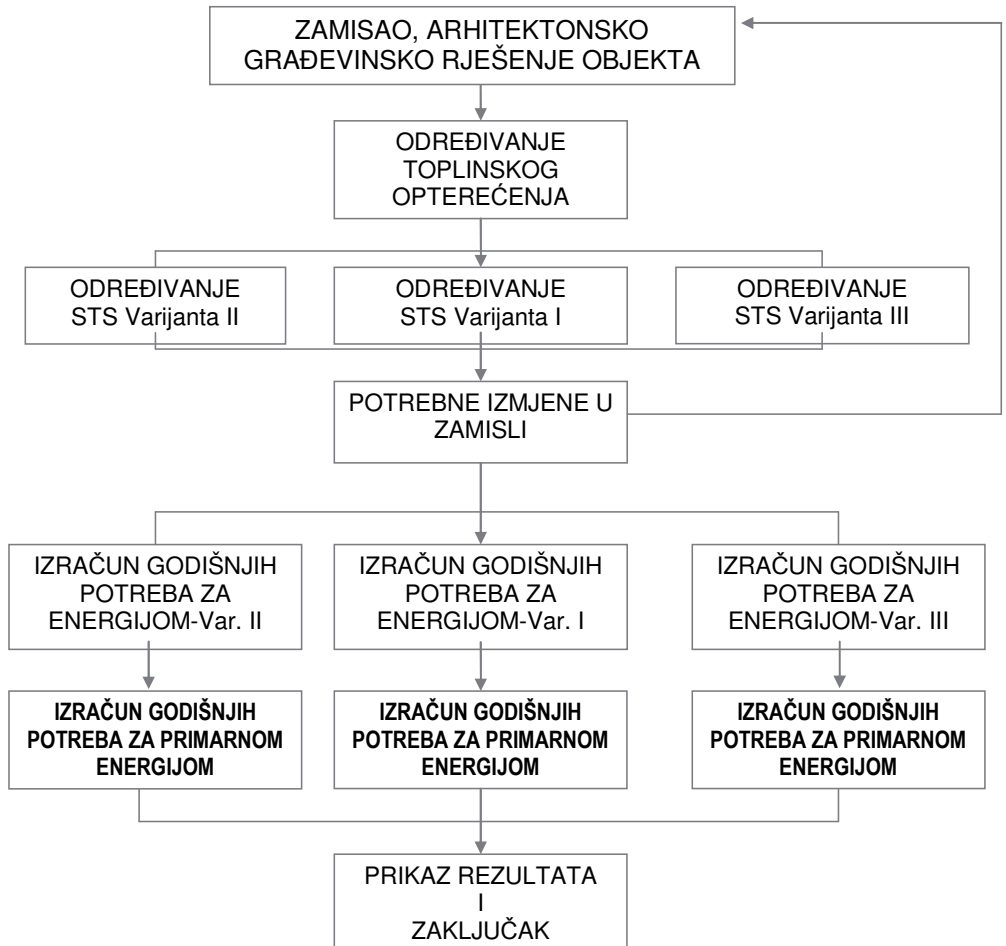
Implementacija EPBD u hrvatsko zakonodavstvo i ciljevi zaštite okoliša stvorili su važan okvir za uvođenje energetske certifikacije za nove zgrade, energetske obnovu postojećih i gradnju suvremenih, nisko energetske zgrada i konačno energetske certifikacije zgrada. Proces energetske certifikacije zgrada donosi niz ključnih promjena koje će značajno

utjecati na podizanje kvalitete gradnje, osuvremenjivanje postojećih zgrada, povećanje standarda i komfora u zgradama, smanjenje troškova održavanja zgrada, primjenu inovativnih tehnologija i rješenja, razvoj integralnog pristupa projektiranju i dugoročni pristup analizi zgrade uzimajući u obzir cijeli njen životni vijek.

Prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (TPRUETZZ), NN 110/08, članak 52, za zgrade s ploštinom korisne površine veće od 1.000 m<sup>2</sup> zahtjevu za izdavanje građevinske dozvole, odnosno potvrdi glavnog projekta obavezno se prilaže Elaborat tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom, naročito decentraliziranih sustava opskrbe energijom korištenjem obnovljivih izvora energije, kogeneracijskih sustava, daljinskog/blokovskog grijanja, sustava s dizalicama topline te sustava s gorivnim ćelijama. Elaborat se izrađuje na temelju odrednica iz Studije primjenjivosti alternativnih izvora kod novih i postojećih zgrada. U Studiji su u najvećoj mogućoj mjeri korišteni podaci identični onima koji se moraju odrediti prema TPRUETZZ. Rezultati energetske analize u Studiji su usklađeni s podacima koji se traže u Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada (PECZ), NN 113/08. To znači da je Elaborat napravljen na osnovi Studije osnovni dokument o energetskim potrebama zgrade koji daje ulazne podatke za Iskaznicu potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje zgrada, prema TPRUETZZ, te za Energetski certifikat zgrade tražen prema PECZ. U nastavku je opisan postupak izrade Elaborata tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom.

## 2. POSTUPAK IZRADE ELABORATA

1. Postupak izrade Elaborata (vidi dijagram toka na Slici 1) započinje određivanjem toplinskog opterećenja zgrade za odabrano arhitektonsko-građevinsko rješenje. Pri tome je potrebno odrediti potrebne topline za grijanje i hlađenje odnosno transmisijske toplinske gubitke i one zbog prirodnog i prisilnog provjetravanja, umanjene za toplinske dobitke i to kod standardne vanjske i unutrašnje temperature, kao i energiju potrebnu za pripremu potrošne tople vode (PTV). Godišnja potrebna toplina za grijanje mora zadovoljiti uvjete o najvećim dopuštenim vrijednostima definiranim u TPRUETZZ. Popis normi za proračun svih potrebnih veličina koje se koriste u Elaboratu dan je u Prilogu 1.

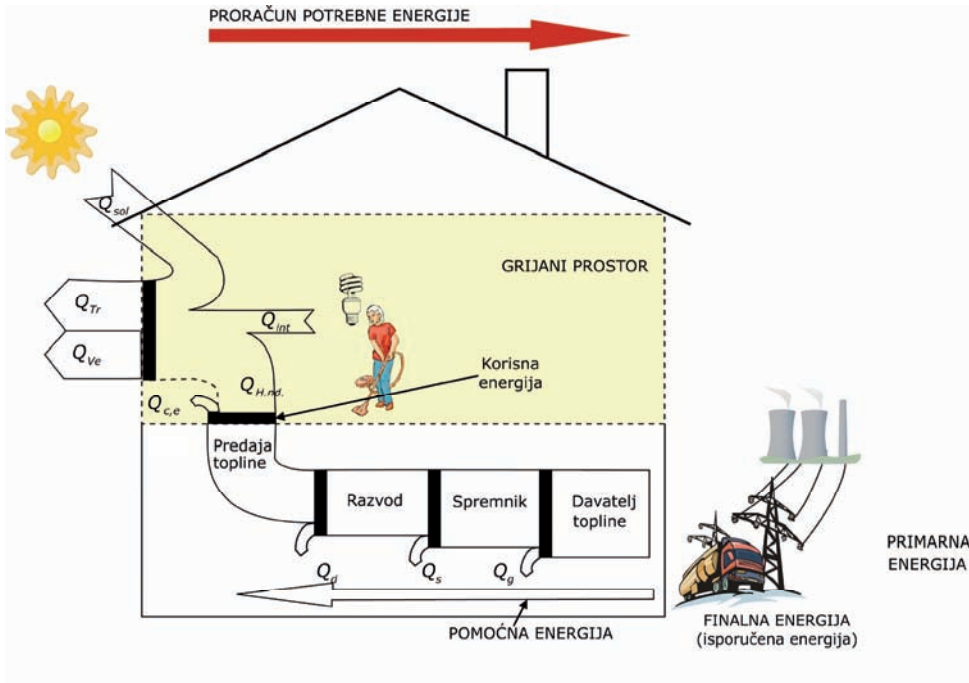


Slika 1 Dijagram toka izrade elaborata

2. Za zgradu se zatim definiraju razne varijante složenih termotehničkih sustava (STS) grijanja, hlađenja, ventilacije, potrošne tople vode i rasvjete (Varijanta I, II i III). Pri tome se analiziraju varijante u kojima se koriste alternativni sustavi koji koriste obnovljive izvore energije, kogeneraciju, daljinsko/blokovsko grijanje, dizalice topline itd. Ukoliko predviđene varijante zahtijevaju izmjene u arhitektonsko građevinskom rješenju (npr. promjene toplinske zaštite) iste se provode u suradnji s nosiocima arhitektonsko-građevinskog rješenja i za novo rješenje se ponavlja proračun toplinskog opterećenja (vidi dijagram toka, Slika 1). Na temelju vršnih opterećenja određuju se nazivne snage uređaja termotehničkih sustava, odnosno vrši se izbor opreme.

3. U daljnjem postupku analize primijenjenih sustava za određenu zgradu potrebno je, uz prethodno definiranu energiju za grijanje, hlađenje i PTV, odrediti i gubitke u svakom pojedinom sustavu (pri proizvodnji, skladištenju, razdiobi i predaji

topl. energije) kao i energiju potrebnu za rad pomoćnih uređaja (npr. pumpe, ventilatori, regulacija) te temeljem svega toga i finalnu (isporučenu) energiju objektu koju plaća potrošač, Slika 2.



$Q_{c,e}$ ,  $Q_d$ ,  $Q_s$ ,  $Q_g$  - gubici toplinske energije u pojedinim dijelovima sustava

Slika 2. Energetski tok kroz zgradu s termotehničkim sustavom za grijanje

4. Potom je potrebno odrediti ukupnu primarnu energiju koja obuhvaća primarnu energiju za grijanje i PTV, hlađenje i rasvjetu.

Potrebna godišnja energija za grijanje i pripremu PTV-a se može odrediti iz podataka o godišnjoj energiji potrebnoj za grijanje (uključuje transmisijske gubitke te one uslijed prirodne i prisilne ventilacije) i pripremu PTV, gubitaka sustava te energiji potrebnoj za pogon pomoćnih uređaja.

$$E_{H,prim} = \sum_i (f_{p,i} \cdot E_{del,i}) + \sum_j (f_{p,el} \cdot E_{p,j})$$

$E_{del,i}$  je ukupna godišnja isporučena toplina objektu proizvedena pojedinim izvorom/energentom.

$E_{p,j}$  je energija za pogon pojedinog pomoćnog uređaja.

Faktor primarne energije  $f_p$  je pretvorbeni faktor koji uzima u obzir svu potrebnu dodatnu energiju onoj isporučenoj, pri dobivanju, pretvorbi i raspodjeli korištenih energenata kroz procesne lance izvan granice sustava zgrade. Faktori primarne energije  $f_{p,i}$  se određuju iz Tablice 1 prema izvoru topline/energentu koji odgovara pojedinom  $E_{del,i}$ , dok je  $f_{p,el} = 3$  jedinstvena vrijednost za sve uređaje napajane električnom energijom.

Ukoliko se u sustavu koristi regeneracija/rekuperacija topline i/ili sustav koji koristi obnovljive izvore energije, isporučena toplina objektu se umanjuje za iznos topline koja se na taj način može povratiti i/ili prikupiti.

Određivanje primarne energije za hlađenje se svodi na određivanje potrebne električne energije za pogon rashladnog agregata i pomoćnih uređaja.

$$E_{C,prim} = \sum_i \left( \frac{Q_{C,nd} + Q_{C,ls}}{COP_C} \right)_i \cdot f_{p,el} + \sum_j (f_{p,el} \cdot E_{pl,j})$$

Pri čemu je  $COP_{C,i}$  rashladni činitelj pojedinog rashladnog agregata (orijentacijski  $COP_C \approx 3$ ) tj. omjer proizvedene rashladne energije i utrošene električne, dok je faktor primarne energije za električnu energiju  $f_{p,el} = 3$ .

Kod proračuna apsorpcijskog rashladnog uređaja  $COP_C < 1$  dok se faktor primarne energije određuje za odgovarajući izvor topline na generatoru.

Primarna energija za rasvjetu dobije se iz podatka o potrebnoj električnoj energiji za rasvjetu  $E_l$

$$E_{l,prim} = E_l \cdot f_{p,el}$$

pri čemu se faktor primarne energije za električnu energiju kao izvor uzima  $f_{p,el} = 3$ .

Tablica 1. Faktor primarne energije  $f_p$  za razne primarne izvore energije (PECZ, DIN 4701-10)

Nositelj energije	Faktor primarne energije	
Goriva	Loživo ulje	1,1
	Prirodni plin	1,1
	Ukapljeni naftni plin	1,1
	Kameni i mrki ugljen	1,2
	Drvo	0,2
Blokovsko/daljinsko grijanje iz kogeneracije	Fosilna goriva	0,7
	Obnovljiva goriva	0,0
Blokovsko/daljinsko grijanje iz toplane	Fosilna goriva	1,3
	Obnovljiva goriva	0,1
Električna energija		3,0

5. Na temelju podataka o primarnoj energiji za grijanje i PTV potrebno je izračunati koeficijent utroška energije  $e_p$ . Koeficijentom  $e_p$  su obuhvaćeni gubici ogrjevnog sustava koji nastaju pri prijenosu, razdiobi, akumulaciji i proizvodnji topline svih energetske izvora čime je dana karakteristika energetske kvalitete ukupne opreme. Što će  $e_p$  biti manji, bit će učinkovitiji rad opreme.

Mali koeficijent utroška energije stoga karakterizira energetske povoljniji sustav i služi za energetske analizu i prilikom odabira najpovoljnije varijante pojedinog sustava.

$$e_p = \frac{E_{H,prim}}{Q_{H,nd} + Q_{W,nd}} \quad (1)$$

6. Na kraju se izračunava emisija CO<sub>2</sub> (na temelju isporučene energije) te zasebno daje udio obnovljivih izvora u energiji za grijanje i PTV.

7. Postupak se provodi za svaku predloženu varijantu. Pri tome se dodatno izračunavaju i godišnje uštede energije u odnosu na polazno rješenje (Varijanta I), izražene u kWh/a i kn/a, te jednostavni period povrata investicije ukoliko je moguće procijeniti razliku cijene investicije polaznog (Varijanta I) i ostalih sustava (Varijanta II i III).



Sve izračunate veličine se unose u obrasce poput onog prikazanog Tablicom 2 za sustav sa solarnim kolektorima za grijanje i pripremu PTV-a, kao jedna od alternativa polaznom rješenju sustava (Slike 3, 4). Pored ostalog, sve je te energetske veličine potrebno izračunati i za ispunjavanje obvezne energetske iskaznice, TPRUETZZ i energetskog certifikata zgrade, PECZ.

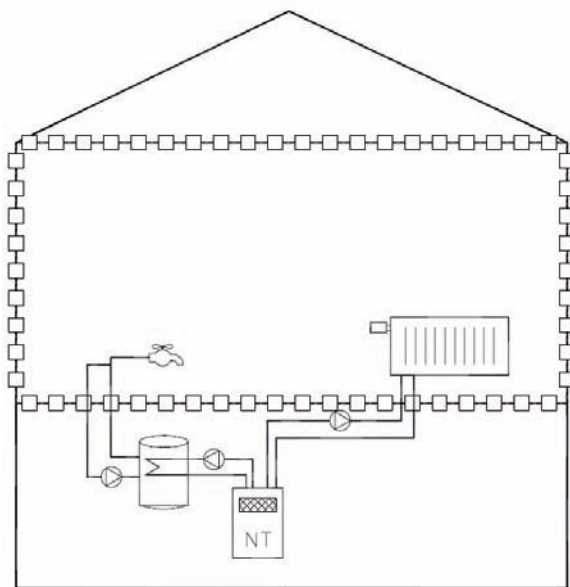
U elaboratu je uz polazno rješenje potrebno priložiti analizu još najmanje dva alternativna sustava (Varijanta II i III) s primijenjenim mjerama za povećanje energetske učinkovitosti i korištenim alternativnim sustavima kao što su primjerice decentralizirani sustavi s obnovljivim izvorima (sunce, biomasa, vjetar..), daljinskim grijanjem/hlađenjem, dizalicama topline, gorivnim ćelijama.

Odabir konačnog rješenja za izvođenje ostavlja se na izbor investitoru i projektantu temeljem provedene analize, uz uvjet da sva rješenja zadovoljavaju zahtjeve iz TPRUETZZ o najvišim dopuštenim vrijednostima  $Q_{H,nd}$  i  $H_{tr,adj}$ . Na kraju elaborata je potrebno navesti koje je rješenje odabrano za izvođenje uz kratko objašnjenje.

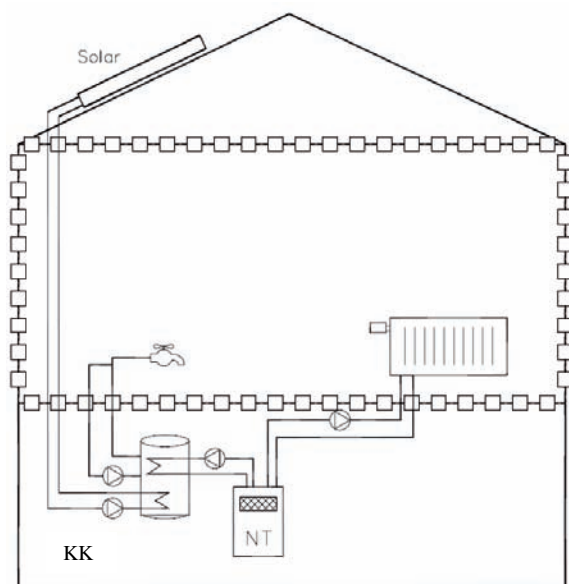
### 3. PRORAČUN PUTEM DIJAGRAMA I TABLICA ZA TIPSKE SUSTAVE

Za brzi orijentacijski proračun može se koristiti dijagrame dane za tipske sustave u Dodatku 1 norme DIN 4701-10. Tamo su dijagramski i tablično dani iznosi pomoćne, isporučene i primarne energije za grijanje i PTV te koeficijent  $e_p$  (uz godišnju isporučenu i pomoćnu energiju) za 78 tipskih sustava danih (Slika 5.). Pri tome su ulazni podaci korisna površina  $A_k$  i  $Q_{H,nd}$ . Takav način proračuna rezultira većim vrijednostima primarne energije i  $e_p$  nego prethodno opisani opširniji proračun prema normama (popis u Prilogu 1), te kao takav može poslužiti za brzu provjeru određenih koncepcija sustava. U Elaboratu je potrebno prezentirati vrijednosti izračunate za stvarni (a ne tipski) sustav tj. primijeniti prethodno opisani detaljni proračun prema normama.

4. PRIMJERI PROVEDBE ENERGETSKE ANALIZE



Slika 3. Polazno rješenje grijanja i pripreme PTV-a u stambenoj zgradi \_ Varijanta I



Slika 4. Alternativni sustav sa sunčanim zagrijavanjem PTV-a \_Varijanta II

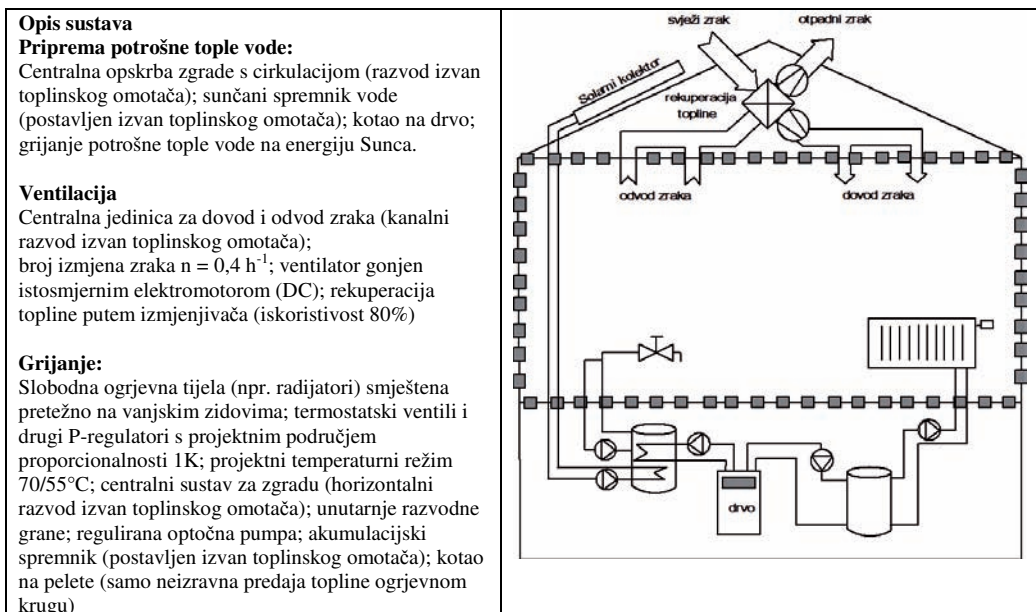
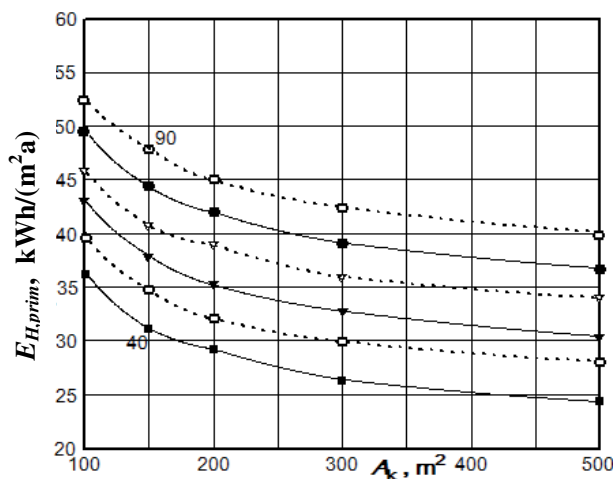
Tablica 1 Primjer obrasca za unos podataka korištenih u analizi alternativnog sustava za grijanje i pripremu PTV-a

Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka $H_{tr,adj}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	Izračunati: 0,46	Najv. dopušteni: 0,48
OPIS SUSTAVA GRIJANJA, HLAĐENJA I VENTILACIJE		
Izvori energije (grijanje , PTV, hlađenje, ventilacija, rasvjeta)	Kondenzacijski plinski kotao (70/55°C) + solarni kolektori kombinirani s indirektno grijanim spremnikom PTV-a i recirk.	
Način grijanja (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor),	Centralno, radijatori s termost. ventilom, kotao i spremnik u negrijanoj zoni	
Način hlađenja (lokalno, etažno, centralno, daljinski izvor),	-	
Vrsta ventilacije (prirodna, prisilna bez povrata topline, prisilna s povratom topline)	Prirodna	
Vrsta i namjena korištenja sustava s obnovljivim izvorima energije	Pločasti solarni kolektori spojeni na spremnik PTV-a, dogrijavanje kond. kotlom	
RASVJETA	-	

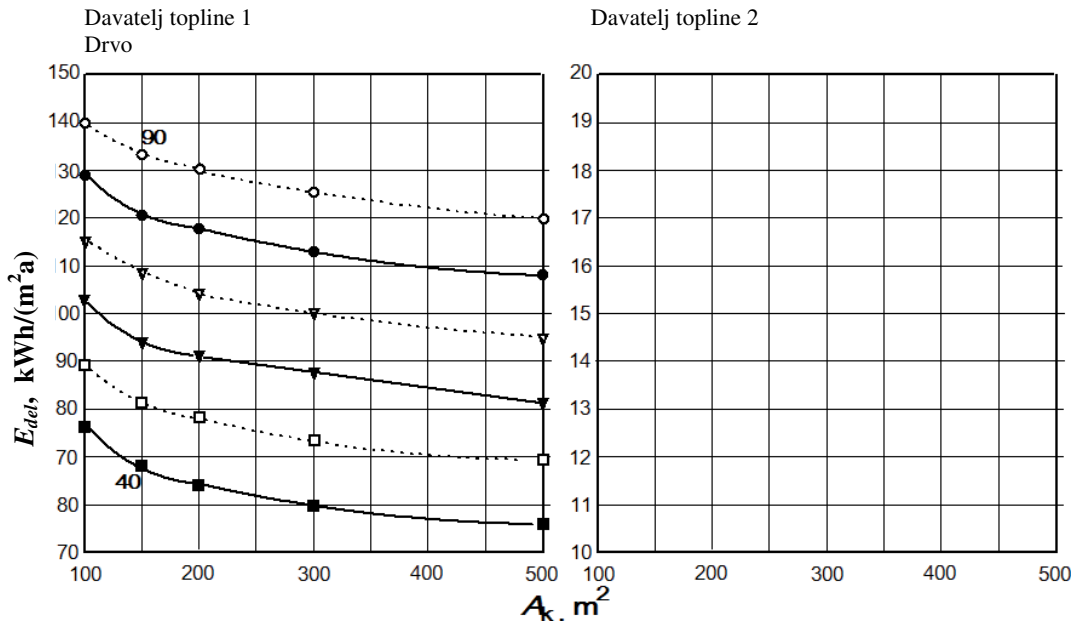
Energetske potrebe zgrade- Alternativno rješenje (Kondenzacijski kotao +sunčeva energija)

	Izračunato za stvarne klimatske podatke				
	GRIJANJE	PTV	VENTILACIJA	HLAĐENJE	RASVJETA
	$Q_{H,nd}$	$Q_{W,nd}$	$Q_{Ve}$ (bez gub.)	$Q_{C,nd}$	$E_l$
Apsolutna potreba, kWh/a	93170	16638	-	-	-
Svedena potreba na $A_k$ , kWh/(m <sup>2</sup> a)	70	12,5	-	-	-
Najveća dopuštena, kWh/(m <sup>2</sup> a)	84,7	-	-	-	-
Neisk. gubici sustava, [kWh/a]	$Q_{H,ls}$	$Q_{W,ls}$	$Q_{Ve,ls}$	$Q_{C,ls}$	-
	6712	7063	-	-	-
Pomoćna energija,[kWh/a]	$E_{H,p}$	$E_{W,p}$	$E_{Ve,p}$	$E_{C,p}$	-
	1158	250	-	-	-
Godišnja isporučena energija građevini, $E_{del}$	117261 [kWh/a]			88 [kWh/m <sup>2</sup> a]	
<b>Godišnja primarna energija, <math>E_{prim}</math></b>	131769 [kWh/a]			99,0 [kWh/m <sup>2</sup> a]	
<b>Koeficijent utroška sustava, <math>e_p = E_{prim,H} / (Q_{H,nd} + Q_{W,nd})</math></b>	1,20				
Godišnja emisija CO <sub>2</sub> , [kg/a] (prema NN. 113/08)	23891 (svedeno na $E_{del}$ za plin i el.energiju)				
Udio obnovljivih izvora energije u $(Q_{H,nd} + Q_{W,nd})$ , [%]	7 %				
Uštede u isporučenoj energiji u odnosu na polaz. rješenje.	20897 [kWh/a]			4830 [kn/a]	
Period povrata investicije, [a]	4,3				

Slika 5 Primjer proračuna putem dijagrama i tablica za tipski sustav


 Potreba primarne energije za grijanje i PTV  $E_{H,prim}$  svedena na površinu


Isporučena energija za grijanje i PTV  $E_{del}$  svedena na površinu



Energija za pomoćne uređaje  $E_p$  svedena na površinu

$E_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]		$A_k$ [m <sup>2</sup> ]									
		100	150	200	300	500	1000	1500	2500	5000	10000
$Q_{t,nd}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	40	7,9	6,6	6,0	5,4	4,9	....	....	....	....	....
	50	8,1	6,8	6,2	5,6	5,1	....	....	....	....	....
	60	8,4	7,0	6,4	5,7	5,2	....	....	....	....	....
	70	8,6	7,3	6,6	6,0	5,4	....	....	....	....	....
	80	8,8	7,5	6,8	6,2	5,7	....	....	....	....	....
	90	9,1	7,7	7,1	6,4	5,9	....	....	....	....	....

Koeficijent utroška sustava  $e_p$

$e_p$ [-]		$A_k$ [m <sup>2</sup> ]									
		100	150	200	300	500	1000	1500	2500	5000	10000
$Q_{t,nd}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	40	0,69	0,60	0,55	0,51	0,47	....	....	....	....	....
	50	0,64	0,55	0,52	0,48	0,44	....	....	....	....	....
	60	0,59	0,52	0,49	0,45	0,42	....	....	....	....	....
	70	0,56	0,50	0,47	0,44	0,41	....	....	....	....	....
	80	0,54	0,48	0,45	0,43	0,40	....	....	....	....	....
	90	0,51	0,46	0,44	0,41	0,39	....	....	....	....	....

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je dan opis postupka izrade Elaborata tehničke, ekološke i ekonomske izvedivosti alternativnih sustava za opskrbu energijom kod novih i postojećih zgrada ploštine korisne površine veće od 1000 m<sup>2</sup>. Za njegovu izradu potrebno je provesti proračun potrebne topline za grijanje i hlađenje kao i svih toplinskih gubitaka i energije za pogon pomoćnih uređaja u odabranim termotehničkim sustavima. Temeljem tih podataka određuje se potrebna isporučena odnosno primarna energija za pogon pojedinog sustava a čije vrijednosti daju smjernice za odabir optimalnog rješenja s energetske-ekološke-ekonomskog stajališta.

## LITERATURA

- [1] Direktiva 2002/91/EC o energetskim svojstvima zgrada / *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings (Official Journal L 001,04/01/2003)*
- [2] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada NN 110/08
- [3] Tehnički propis o sustavima grijanja i hlađenja zgrada NN 110/08
- [4] Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada NN 113/08
- [5] HRN EN 15603:2008 – Energy performance of buildings -- Overall energy use and definition of energy ratings (EN 15603:2008)
- [6] HRN EN ISO 13790:2008 - Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling (EN ISO 13790:2008)
- [7] ] HRN EN 15316 Heating systems in buildings -- Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies
- [8] DIN V 4701-10 Energy efficiency of heating and ventilation systems in buildings - Part 10: Heating, domestic hot water supply, ventilation

## **PRILOG 1** Izrazi i norme potrebne za proračun veličina potrebnih za analizu termotehničkih sustava

*Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje  $Q_{H,nd}$  [kWh/a], [kWh/m<sup>2</sup>a],*

Prema HRN EN 13790:2008

$$Q_{H,nd} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta(Q_{int} + Q_{sol})$$

$Q_{Tr}$  - godišnji toplinski gubici uslijed transmisije

$Q_{Ve}$  – godišnji toplinski gubici uslijed prirodnog i/ili prisilnog provjetravanja

$Q_{int}$  - toplinski dobici od unutrašnjih izvora

$Q_{sol}$  - toplinski dobici od sunčevog zračenja

$\eta$  - stupanj iskorištenja toplinskih dobitaka

<p>Godišnji toplinski gubici sustava grijanja, <math>Q_{H,ls}</math> [kWh/a] Prema HRN EN 15316:2007</p>
<p>Godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode, <math>Q_{W,nd}</math> [kWh/a] [kWh/m<sup>2</sup>a], Prema HRN EN 15316-3-1:2007</p> $Q_{W,nd} = \rho_w c_w V_w (\theta_w - \theta_0)$ $c_w V_w = 1,16 kWh / (m^3 K)$ <p><math>V_w</math> - godišnja potrošnja vode [m<sup>3</sup>/a]  <math>\theta_w</math> - temperatura vode u spremniku [°C]  <math>\theta_0</math> - temperatura vode iz vodovoda [°C]</p>
<p>Godišnji toplinski gubici sustava za zagrijavanje potrošne tople vode, <math>Q_{W,ls}</math> [kWh/a] Prema HRN EN 15316:2007</p>
<p>Godišnja potrebna energija za ventilaciju (bez gubitaka), <math>Q_{Ve}</math> [kWh/a], [kWh/m<sup>2</sup>a] Prema HRN EN 13790:2008, HRN EN 15241:2007, HRN EN 15243:2007 Napomena: u Pravilniku N.N. 113/08 se <math>Q_{Ve}</math> na jednom mjestu definira bez gubitaka a na drugom s uključenim gubicima sustava ventilacije</p>
<p>Godišnji gubici sustava ventilacije, <math>Q_{Ve,ls}</math> [kWh/a] Prema HRN EN 13790:2008, HRN EN 15241:2007, HRN EN 15243:2007</p>
<p>Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje, <math>Q_{C,nd}</math> [kWh/a], [kWh/m<sup>2</sup>a] Prema HRN EN 13790:2008</p>
<p>Godišnji gubici sustava hlađenja, <math>Q_{C,ls}</math> [kWh/a] Prema HRN EN 15243:2007</p>
<p>Godišnja potrebna energija za rasvjetu, <math>E_l</math> [kWh/a], [kWh/m<sup>2</sup>a] Prema HRN EN 15193:20XX</p>
<p>Godišnja isporučena (finalna) energija (koju plaća potrošač), <math>E_{del}</math> [kWh/a], [kWh/m<sup>2</sup>a]</p> $E_{del} = Q_{H,nd} + Q_{W,nd} + \frac{Q_{C,nd} + Q_{C,ls}}{COP_h} + Q_{H1,s} + Q_{W,ls} + Q_{Ve,ls} + E_l + E_p - E_{obnov} - E_{pov}$ <p>Obuhvaća toplinu potrebnu za grijanje (uključena prirodna i prisilna ventilacija), pripremu PTV-a, hlađenje, gubitke sustava grijanja, pripreme PTV-a, hlađenja i ventilacije, el. energija za rasvjetu i pogon pomoćnih uređaja <math>E_p</math> (pumpe, ventilatori, regulacija...) umanjenu za energiju iz obnovljivih izvora <math>E_{obn}</math> dovedenu odgovarajućim sustavom (npr. sunčanim kolektorima) i toplinu povrćenu sustavom za regeneraciju/rekuperaciju</p> <p>Napomena: <math>E_p</math> ne obuhvaća el. energiju za pogon kompresora kako je navedeno u Pravilniku NN 113/08, jer je ista obuhvaćena u <math>(Q_{C,nd} + Q_{C,ls})/COP_c</math>, pri čemu je <math>COP_c</math> rashladni činilac rashladnog procesa (za orijentaciju <math>COP_c \approx 3</math>).</p> <p>U slučaju grijanja i pripreme PTV-a dizalicom topline godišnja isporučena energija se računa kao</p> $E_{del} = \frac{Q_{H,nd} + Q_{W,nd} + Q_{H,ls} + Q_{W,ls} + Q_{Ve,ls}}{COP_h} + \frac{Q_{C,nd} + Q_{C,ls}}{COP_c} + E_l + E_p - E_{obnov} - E_{pov}$

pri čemu je  $COP_C$  stupanj pretvorbe dizalice topline ( $COP_h=3,7-4,3$ ).

Koeficijenta utroška sustava  $e_p$

$$e_p = \frac{E_{prim,H}}{Q_{H,nd} + Q_{W,nd}}$$

predstavlja omjer potrebne ukupne primarne energije za grijanje i pripremu PTV-a te korisne energije za grijanje i PTV.



## Obnovljivi izvori energije u funkciji održivog i neovisnog gospodarskog razvoja u RH

### Kako aktivirati vlastite resurse u godinama recesije?

Dr.sc.Branimir Hrastnik

#### Umjesto sažetka:

Stavite najljepši cvijet u najtamniji kut sobe. Povremeno mu upalite neko umjetno svjetlo. Neka ne bude uvijek ista svjetiljka. Barem jednom dnevno okrenite ga u neki novi položaj. Malo i neredovito ga zalijevajte. Ne dodajte mu nikakve hranjive sastojke. Taj će cvijet sa velikom sigurnošću propasti. Ipak, na 4,5 miliona cvjetova, nekoliko njih će se prilagoditi i preživjeti. Pa i čovječja ribica živi u mraku.

Svaka sličnost sa hrvatskim gospodarstvom i energetikom sasvim je slučajna.

#### 1. Postojeće stanje i razvojni prioriteti u energetici

Autori triju scenarija energetskeg razvitka RH do 2030. godine, koji su objavljeni 1998. <sup>1)</sup> i zatim doradeni do 2002. godine <sup>2)</sup>, uz neobnovljive izvore energije (NIE), koji zasad (nažalost i dalje) dominiraju među anticipiranim izvorima primarne energije, procijenili su i potencijale raspoloživih obnovljivih izvora energije (OIE), za čije korištenje imamo sve prirodne pogodnosti. Iako je prvi izrazito konzervativni scenarij S1 predviđao samo "klasične tehnologije bez poticajnih mjera države", procjene o relativno skromnom povećanju proizvodnje električne i toplinske energije iz OIE po tom scenariju, posebice iz sunčeve energije i biomase, nisu se ostvarile u proteklom razdoblju od 10 godina. Primjerice, korištenje toplinske energije sunca u proteklih desetak godina smanjilo se i sada iznosi oko 250 TJ godišnje, što je samo 1,5% od predviđanja po tom scenariju. Korištenje biomase danas je na razini od samo 13,4 PJ, što je također manje od predviđanja po tom scenariju. Biomasa o kojoj je ovdje riječ je ogrjevno drvo. U recesiji i krizi, ogrjevno drvo će opet doći u prvi plan za grijanje ruralnih, poljoprivrednih i urbanih kućanstava slabije imovinske noći. Udjel biomase će se dakle povećati. Naravno da je takvo korištenje biomase nije niti primjereno niti učinkovito.

Drugi scenarij S2, "nove tehnologije i aktivne mjere države", nije se ni aktivirao u proteklom desetljeću, jer su izostale i nove tehnologije i državni poticaji, dok je treći S3, tzv. "izrazito ekološki scenarij", ostao čista fikcija, koju kreatori gospodarske i energetske politike na ovim prostorima očito ne razumiju (vidi Tablicu 1).

Približavanje članstvu u EU, donijelo je Hrvatskoj europske direktive o obaveznom korištenju OIE, sa ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova. To je prisililo i Hrvatsku da zakonskim i pod-zakonskim aktima, istina sa velikim zakašnjenjem, definira poticajne mjere za korištenje OIE. Nažalost, poticajne mjere u godini opće gospodarske recesije, došle su 10 godina prekasno, ne samo za domaće, nego i za strane ulagače. Bez selektivnog usmjeravanja svih ulaganja u proizvodnju i primjenu tehnologija 21. stoljeća i poticajnih mjera države, ostatak ćemo i dalje „dućan“ u kome ćemo kupovati tuđe proizvode.

**Tablica 1 Usporedba planiranih i ostvarenih rezultata za sunčevu energiju i biomasu**

TJ	2007	2010	2020	2030
<b>Sunčeva energija <sup>1)</sup></b>				
Ostvareno	26,3			
S1		1780	4820	9160
S2		4900	14350	23180
S3		6170	21140	35140
<b>Biomasa</b>				
Ostvareno <sup>2)</sup>	13405			
S1		15480	21220	27150
S2		16060	23800	34630
S3		18650	32120	45710

<sup>1)</sup> Uključena toplinska i simbolička električna proizvodnja

<sup>2)</sup> Odnosi se na ogrjevno drvo, dok su ostale primjene zanemarivo male

Ulagati i poticati infrastrukturne projekte na bazi NIE i energetske tehnologije 20. stoljeća, znači nastavljati neracionalno trošenje nacionalnih resursa i opredjeljenje za čekanje i nekritično kopiranje tuđih iskustava, nama neprimjerenih, što znači trajno zaostajanje u razvoju.<sup>3,4,5)</sup> Jezikom naroda, umjesto bogatih gospodara pretvaramo se u siromašne slugu, što sigurno nije cilj ulaska u EU.

U kriznim razdobljima ulaganja u krupne energetske objekte koji koriste NIE nije poželjno, ne samo zbog skupog i teže dostupnog kapitala kao i činjenice da priprema i izgradnja takvih kapaciteta zahtijeva dugo vremensko razdoblje (povrat uloženog kapitala je spor, što dodatno potiče gospodarsku recesiju u zemlji), nego i zbog posljedičnog porasta ovisnosti o uvozu primarnih energenata. Tijekom kriznih razdoblja prednost uvijek treba dati malim “žilavim” projektima, koji se temelje na znanju, ne zahtijevaju dugotrajne pripreme i realiziraju se unutar nekoliko mjeseci. Oni ne iziskuju krupne zemljane i zahtjevne građevinske radove, pa ukoliko koriste tehnologije na bazi OIE, ne traže niti značajnija ulaganja u zaštitu okoline. Takvi projekti brzo vraćaju uložena sredstva, sinergijski koriste vlastita znanja i aktiviraju sve raspoložive domaće resurse, čime stvaraju dodatnu vrijednost i vrlo učinkovito smanjuju efekte recesije. Takvi projekti otvaraju najviše novih radnih mjesta.

Lokalno gospodarstvo brzo i uspješno se razvija uvijek onda kad se radi o dobro projektiranim, tehnološki osmišljenim i informatički organiziranim “virtualnim tvornicama”, gdje output jedne male tvrtke postaje input za iduću takvu tvrtku u lancu. Naše gospodarske i poduzetničke zone trebale bi upravo tako funkcionirati. Obrtnici i mali poduzetnici, koje smo ostavili na pučini oceana, gdje nema u blizini ni otoka ni sigurnih luka, ne mogu preživjeti. Naše gospodarske zone, nažalost, nisu tako niti osmišljene, niti organizirane, pa je njihov učinak skroman, jer se tamo nazočne djelatnosti međusobno ne nadopunjavaju. Gospodarske zone koje nude samo pristupne ceste i energetske infrastrukturu, koja pokriva opskrbu električnom energijom i možda plinom, ako ga u zimi bude, te kupnju terena za nekoliko kuna ili eura, ne nude ono najvažnije – programe, koji moraju jasno definirati profile tvrtki i njihove proizvodne kapacitete, uključivši „know-how“ i modele financiranja takvih projekata, koji su potrebni u zoni za konkretnu proizvodnju, primjerice za proizvodnju solarne opreme na velikoj skali, energetske učinkovite opreme A-klase na bazi OIE, elektronike, telekomunikacijske opreme i automatike, mjernih uređaja, sofisticiranih alata, kućanskih aparata A-klase, itd.

Kvalitetan finalni proizvod za domaće i strano tržište i nova radna mjesta su tada rezultat koji se sa velikom sigurnošću može očekivati. Tada porast BND u općini i županiji iznosi više od 10% p.a.

Umrežene područne/komunalne energane, koje koriste domaće NIE (naftu i plin) i lokalno raspoložive OIE, kao što su sunčeva energija i biomasa, koje imaju potrošače toplinske, rashladne i električne energije u neposrednoj blizini, primjerice u zoni, ili na urbanom području, čiji su kapaciteti odmjereni prema stvarnim lokalnim potrebama, postaju visoko učinkovite kod energetske transformacije, prijenosa energije i distribucije do svojih umreženih potrošača. U takvim okolnostima, zavisno o omjeru OIE/NIE finalni oblici energije znatno manje ovise o globalnom kretanju cijena uvoznih energenata, pa su nižom i stabilnom cijenom energije vrlo stimulativni za lokalno gospodarstvo, što olakšava planiranje i povećava konkurentnost svih područnih gospodarskih subjekata.<sup>6,7)</sup>

Područne energane<sup>8,9)</sup> sa kapacitetima na odgovarajućoj ekonomskoj skali (1-10 MW<sub>t</sub>), koje bi koristile do 50% OIE, po specifičnim ulaganjima [kn/W<sub>t</sub>], višestruko su povoljnije od malih obiteljskih sustava. Posebno to vrijedi za područne toplane na sunčevu energiju u priobalju, zaobalju i na otocima, gdje postoje ogromne potrebe za područno hlađenje, grijanje i pripremu PTV (oko 36 PJ/god), koje može zadovoljiti oko milion visokoučinkovitih ravnih kolektora velike površine (12,5 m<sup>2</sup>) najnovije tehnološke generacije, koji bi se instalirali u nekih 500-800 područnih toplana. Grijanje i priprema PTV nije ekonomična na sitnoj ekonomskoj skali, primjerice za pojedina kućanstva ili apartmane. Sustavi sa više tisuća kvadrata kolektorske površine imaju 3 - 4 puta niža specifična ulaganja u odnosu na male obiteljske sustave, dok su specifična ulaganja u sustave sa 20 tisuća kvadratnih metara ravnih kolektora čak do 5 puta niža od onih u male obiteljske sisteme. Ukoliko se energetska učinkovitostu najprije smanji potrošnja energije do ekonomski opravdanog minimuma, a zatim primijene OIE, ulaganja će se raspoloviti, pa veliki solarni sustavi već za 4-5 godina vraćaju uložena sredstva.

Ulaganja u velike fotonaponske elektrane, tamo gdje postoji električna mreža, međutim, nije ekonomski opravdano u godinama recesije, jer je kW<sub>e,h</sub> iz takvih elektrana, uvjetno rečeno, mnogostruko skuplji od električne energije iz mreže. Najnovijom tehnologijom nanošenja nanometarskih slojeva fotonaponskih ćelija na različite podloge, uključujući folije, cijena kilovata vršne snage dostigla je granicu iz elektrana na ugljen. Proizvodnja u dvije tvornice kapaciteta 2x430 MW<sub>p</sub>/p.a. već je rasprodana godinu dana unaprijed. Programi izgradnje velikih nuklearnih i drugih kapaciteta za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj, koji je (javnosti nepoznata) grupa stručnjaka prezentirala Vladi, pokazuju premalo imaginacije za projektiranje vlastite budućnosti. Hrvatskoj Vladi treba preporučiti da sav politički autoritet, stečen ulaskom u NATO, uloži u SAD-u i dovede jednu takvu tvornicu „već sutra“ u Hrvatsku. Samo jedna takva tvornica fotonaponskih ćelija i druga solarnih kolektora kapaciteta 600.000 m<sup>2</sup>/p.a. ukinula bi recesiju u Hrvatskoj.

Ulaganja u stotine malih područnih solarnih toplana i fotonaponskih elektrana u ruralnim područjima i posebno na otocima, gdje nema u blizini električne mreže, imalo bi značajnu socijalnu i gospodarsku dimenziju, jer može aktivirati lokalne poljoprivredno-stočarske, turističke i druge resurse.

Isto tako, ulaganja u stotine malih energetski učinkovitih područnih energana (0,5-2,5 MW<sub>t</sub>) ukupnog kapaciteta oko 1000 MW<sub>t</sub>, koje bi koristile lokalno raspoloživu biomasu, posebice drvenu masu, svrsishodna su i ekonomski opravdana u rijetko naseljenim šumskim i ruralnim sredinama, gdje bi osiguravala toplinsku energiju za područno grijanje, za sušare drva i poljoprivrednih proizvoda, kao i za ostale objekte i sadržaje u funkciji seoskog i izletničkog turizma. Tamo gdje bi takve energane proizvodile i električnu energiju, bio bi to i poticaj za gradnju pilana i male specijalizirane drvne industrije. U priobalju, zaobalju i na otocima to bi direktno smanjilo požarne rizike, a istovremeno povećalo i unaprijedilo turistički potencijal unutrašnjosti otoka i zaobalja.

Dosadašnjim trendom potrošnje energije (scenarij BAU:business as usual), neposredna potrošnja energije (industrija, promet i opća potrošnja) porasla bi od sadašnjih 300 PJ do 375 PJ u 2020 godini, što bi za zemlju značilo povećanje uvoza fosilnih NIE za daljnjih 25%. Takva razvojna strategija u energetici nije održiva. Uz uštede energije, koje se provode u zemljama članicama EU, Hrvatska do 2020. godine, kroz veću energetska učinkovitost i znatno veću upotrebu OIE, može ostvariti uštede na razini do 30%, čime bi potrošnja energije u 2020.godini bila čak i niža od sadašnje za oko 5%.

## 2. Potencijal područnih toplana na obnovljive izvore

Potencijal sunčeve energije utvrdio je nacionalni energetska program SUNEN.<sup>10,11)</sup> Sunčevu energiju neki energetska stratezi u Hrvatskoj i dalje smatraju malim dopunskim izvorom energije, koji pokriva manje od 1% neposredne potrošnje u industriji, kućanstvima i poljoprivredi. Ti isti stratezi stalno uvjeravaju javnost da su svi OIE skupi, ne isplate se i zahtijevaju obilatu pomoć države. Ništa od toga nije istina. Takva gledišta plod su potpuno pogrešne percepcije o sunčevoj energiji da može poslužiti samo za grijanje STV u kućanstvima. Obiteljski solarni sustavi sa 4-6 m<sup>2</sup> kolektorske površine, sa 200-300 litarskim spremnikom i automatikom, koje treba platiti 20.000-26.000 kn vratit će ulaganja (kroz uštede električne energije), ako se plaća u gotovini, za oko 15 godina, koliko je i vijek trajanja takve opreme. Kupnjom na kredit na 24 mjesečne rate troškovi će se povećati za 12,5%. Ukoliko ugrijavamo vodu električnom energijom u slučaju više uzastopnih oblačnih dana, što je čest slučaj u jesen i tijekom zime, troškovi će porasti za daljnjih 30%. Ukoliko najveći dio dana ne koristimo toplu vodu, ona će se do navečer djelomično ohladiti, pa će opet biti potrebna električna energija. Ako ovdje dodamo činjenicu da bi neulaganjem i štednjom 25.000 kn uz godišnju kamatu 5,5% nakon 20 godina investitor stekao ušteđevinu od 72.944 kn nakon pripisanih kamata (47.944 kn), onda postaje jasno zašto su takvi sustavi u Hrvatskoj rijetki.

Mali sustavi su skuplji od velikih jer svaki korisnik mora nabaviti sve komponente sustava, a zatim mora ga dodatno predimenzionirati da kompenzira oblačne dane. Mali sustavi imaju nižu učinkovitost i veće toplinske gubitke u cjevovodima i spremniku topline. Mali sustavi imaju veće troškove i zbog električne energije koju koriste tijekom oblačnih dana ili noći.

Pogrešna percepcija sunčeve energije odnosi se prije svega na kapacitet i tip primjene instalacije. Glavna sezona primjene sunčeve energije nisu kasna jesen i zima, nego kasno proljeće i ljeto, kad su prinosi sunčeve energije 50% veći u odnosu na hladniji dio godine.

Veliki sustavi<sup>5)</sup> mogu zadovoljiti veliki broj potrošača, koriste znatno kvalitetnije kolektore, čija je cijena niska, jer se radi o nekoliko tisuća puta većim kapacitetima i samo jednom zajedničkom spremniku, primjerice za 5 dana, čija je specifična cijena samo 150 kn/m<sup>3</sup>. Veliki sustavi imaju znatno manje toplinske gubitke, učinkovitost pumpanja je znatno veća, imaju manje instalirane kapacitete po korisniku (zbog ne istovremenosti upotrebe svih korisnika), omogućuju korištenje ostalih obnovljivih izvora kao rezervu za slučajeve oblačnog vremena, primjerice umreženu toplanu na biomasu koja koristi drvo, otpadno drvo, sječku, pelete, brikete, ostatke od poljoprivrede, bioplin, bioetanol ili biodiesel. Veliki solarni sustavi umreženi sa sustavima na biomasu omogućili bi područno hlađenje i grijanje kao i komunalnu proizvodnju električne energije isključivo na obnovljive izvore energije, po cijenama koje bi bile niže od onih iz konvencionalnih toplana.

Instaliranu površinu velikih solarnih sustava treba prije svega prilagoditi potrebama klimatizacije i rashladnih uređaja uvećano za potrebe pripreme STV. Od rashladnih agregata koji kao pogonsku energiju koriste toplinu, treba izdvojiti apsorpcione LiBr-H<sub>2</sub>O i adsorpcione H<sub>2</sub>O-silika gel agregate. Rashladni koeficijent (C.O.P.) u oba slučaja kreće se između 0,6 i 0,7 gdje malu prednost ipak treba dati H<sub>2</sub>O-silika gel agregatima, koji kao donju granicu mogu koristiti toplinu već na 60°C. Veliki komunalni solarni sustavi snage 10 – 20 MW<sub>t</sub> mogu osigurati između 6 i 12 MW<sub>n</sub> rashladne energije,

dok u zimskim mjesecima stoji na raspolaganju između 7 i 14 MW toplinske energije za pripremu STV i (pred) grijanje povratne tople vode za CTS.

Specifična ulaganja u solarnu toplanu snage 14 MW<sub>t</sub> iznose oko 2460 kn/kW, a prosječna cijena toplinske energije u radnom vijeku toplane iznosila bi po sadašnjem tečaju 308 kn/MWh. U cijenu je uračunata cijena 5 ha zemljišta, prethodni i istraživački radovi, građevinski radovi, troškovi opreme i montaže, troškovi financiranja i osiguranja, te troškovi pogona i održavanja. U slučaju solarne toplane cijena goriva otpada, pa se cijena toplinske energije ne mijenja u radnom vijeku.

U slučaju plinske toplane godišnji troškovi plina po sadašnjim cijenama iznosili bi 3,3 mil.kn, što u radnom vijeku iznosi 82,5 milijuna kuna, ukoliko ne računamo eskalaciju cijena plina, koji je zasad još uvijek znatno jeftiniji od drugih energenata.

### 3. Potencijal sunčeve energije i biomase u Hrvatskoj

Ekonomski potencijal SE, prema scenariju S3, za priobalne županije procijenjen je na 21 PJ (7 mil.m<sup>2</sup> kolektora), te oko 15 PJ (5 mil.m<sup>2</sup> kolektora) za kontinentalnu RH.

Planiranjem i izgradnjom tvornice ravnih kolektora sa godišnjim proizvodnim kapacitetom 600.000 m<sup>2</sup>, otvaralo bi se najmanje 2000 novih radnih mjesta godišnje (oko 40.000 do 2030. godine) neposredno u solarnoj industriji, a posredno i dvostruko više. Tvornica takvog kapaciteta izradila bi za domaće potrebe 12 mil.m<sup>2</sup> kolektorske površine (kapacitet 8.400 MW<sub>t</sub> obnovljive energije) do 2030.godine i zapošljavala bi velik broj ljudi, kojima bi garantirala radna mjesta 25 godina.

Godišnje uštede uvoznih fosilnih goriva 2030. godine bile bi 860.000 t<sub>en</sub> ili 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> prirodnog plina. Te uštede su na razini 50% ukupne potrošnje energije u kućanstvima 2007. godine!

Kapacitet instaliranih fotonaponskih elektrana do 2030. godine, najvećim dijelom na otocima i u ruralnim područjima, ne bi trebao biti manji od 24 MW<sub>e</sub> sa godišnjom proizvodnjom oko 33 GWh/a.

Osim ulaganja u sustave komunalnog grijanja koji bi koristili sunčevu energiju i biomasu, posebnu pažnju treba usmjeriti na građevinsku regulativu. Do 2003. godine godišnje izgrađene površine rasle su po stopama 1,5-3,5% godišnje. U godinama između 2003. i 2008. godine novo izgrađene površine rasle su po stopama koje su bile veće i od 10% godišnje. Nažalost nova regulativa nije pratila takve trendove, pa se većina novosagrađenih površina ne mogu svrstati u kategoriju nisko energetske potrošnje energije. Isto tako, regulativa je propustila propisati obavezu o ugradnji solarnih kolektora i fotonaponskih modula na krovove i fasade novosagrađenih objekata. Propustom zakonodavca dobili smo barem 1 mil.m<sup>2</sup> izgrađene površine poslovno-stambenog fonda, koji niti je energetski štedljiv, niti aktivno koristi sunčevu energiju, što bi smanjilo toplinske, rashladne i električne potrebe, koje se sada podmiruju iz NIE, prije svega plina i električne energije. Na kraju što nije nevažno, nismo otvorili prostor za male proizvođače solarne opreme, projektante, konzultante, montažere i servisere, čime smo također propustili otvoriti barem 2.500 novih radnih mjesta.

Ekonomski iskoristiv potencijal biomase u Hrvatskoj procijenjen je u strateškim dokumentima <sup>12)</sup> koji su izrađeni još 1998. godine, a dopunjeni su 2002. <sup>13)</sup> na oko 50 PJ, od čega je iskoristiv dio potencijala do 2030. godine procijenjen na oko 35 PJ/god (10 TWh/god). Taj potencijal čini drvena biomasa (ogrjevno drvo, energetsko drvo, ostaci sječe, otpadno drvo drvoprerađivača), ostaci poljoprivredne proizvodnje (životinjski ekskrementi, otpad iz ratarstva, ostaci energetskog bilja, otpad organskog porijekla kod proizvođača hrane i iz kućanstava), bioplina, bioetanol i biodiesel. Energetski potencijal biomase dovoljan je za oko 100 bio-toplana kapaciteta 10 MW<sub>t</sub> i oko 40 bio-kogeneracija kapaciteta 3 MW<sub>e</sub>.

Dodamo li potencijalima sunčeve energije i biomase još i potencijale energije vjetra, vodnih masa i geotermalnih izvora, vidimo da Hrvatska spada među mali broj zemalja u Europi, posebice u EU, koje najvećim dijelom mogu podmiriti svoje potrebe u neposrednoj potrošnji energije iz OIE.

#### **4. Gdje su kočnice razvoja održivog gospodarstva?**

Hrvatska je mlada zemlja koja je pretrpila velike ratne štete i u kratko vrijeme svog postojanja nije mogla potpuno izgraditi i uskladiti sve vrlo složene mehanizme gospodarski i pravno uređene zajednice. Mjere i alati koje Hrvatska gradi još uvijek u praksi ne donose očekivane rezultate. Međutim približavanjem članstvu u EU, ministarstva i institucije države sve češće i efikasnije ispravljaju brojne zablude i pogreške. U međuvremenu, dok mehanizmi svih državnih institucija nisu bili u potpunoj funkciji desila se nekontrolirana privatizacija u kojoj su mnoge kvalitetne tvrtke propale, a radnici ostavljeni na ulici. Ono što je potpuno zaustavilo tehnološki razvoj u Hrvatskoj nakon domovinskog rata bila je neopreznost, neodlučnost i neznanje, koje nisu zaustavile neograničen uvoz svih mogućih proizvoda, vrlo upitnog porijekla i kvalitete, koji su preplavili domaće tržište i uništili svaki vid domaće proizvodnje. Danas, u vrijeme globalne krize i recesije, Hrvatska ima jako smanjeni manevarski prostor, jer je inozemni kapital sve skuplji, a vraćanje duga sve upitnije.

Teret koji smo stavili na leđa mladim generacijama vrlo je težak. Trebamo mlade fakultetski školovane ljude na svim razinama, posebno one tehničkih struka, koji svojim znanjem, radom i kreativnošću mogu naći najbolja tehnička i ekonomska rješenja u vlastitom okruženju, no oni neće polučiti velike rezultate, ako nastavimo praksu, kojom rukovoditelji proizvodnih i razvojnih pogona biramo po političkim ili nekim drugim strukovno ne primjerenim kriterijima. Hrvatska, primjerice treba tisuće strojara, ali tako dugo dok oni budu samo „šarafili“, a planiranje, koncepcijska rješenja i strateške odluke ostanu i dalje u rukama manje sposobnih, ali podobnih, uspjeh će izostajati. Na ovim prostorima treba graditi sustav vrijednosti za koji tek postavljamo temelje. Kada izgradimo sustav vrijednosti i počnemo funkcionirati, ustanovit ćemo da živimo doslovce u raju, ali taj raj tek treba otkriti. To nećemo otkriti bez sustavno ozbiljnog i stručnog rada. Put do uspjeha posut je trnjem.

#### **5. Ključne organizacije za inicijalizaciju i “on-line” podršku razvojnih projekata**

Svaki razvoj u dobro organiziranoj zajednici pokreće institucionalno umrežena infrastruktura organizacija u čijoj režiji se aktiviraju raspoloživi resursi. U slučaju energetike sudjeluju:

- Vlada i resorna ministarstva
- Gospodarske komore
- Regulatorna tijela, uredi za dozvole i operatori sustava
- Strukovna i granska udruženja poslodavaca
- Institucije za poticaje i financiranje razvojnih projekata
- Razvojno-istraživačke institucije i organizacije
- Znanstveno-obrazovne institucije i organizacije
- Interdisciplinarne projektne i konzultantske tvrtke

Organizam i poluge koje pokreću razvoj aktiviranjem i upravljanjem resursnim potencijalima, vrlo je složen, jer su pojedine gospodarske grane, isto kao i pojedine struke, u velikoj mjeri, međusobno zavisne. Promjene u jednoj grani gospodarstva, očituju se, dio odmah, a dio znatno kasnije na mnoge druge sektore. Svaki poremećaj rađa domino efekt. Eksperimenti na velikoj ekonomskoj skali uvijek su skupi, a pogreške se ne mogu brzo, jednostavno i jeftino ispraviti. Krivi signali gospodarstvu, koje se

kao i svaki organizam nastoji prilagoditi, vode do odluka, koje alociraju resurse na krivom mjestu i na pogrešan način. Takvi resursi su dugoročno izgubljeni za dobre i zdrave razvojne projekte.

Institucionalna infrastruktura u svakom trenutku mora biti u stanju identificirati korelacije i posljedice svojih odluka. To može samo dobro orkestriranje sustavom, koje ne može na sebe preuzeti pojedinac, ili ne daj Bože neka komisija koja površno poznaje problem. Nažalost to nam se još uvijek prečesto dešava, jer nismo dobro profilirani po strukama, a nismo dobro ni organizirani, pa ne znamo imenom i prezimenom što je u čijoj kompetenciji. Kad nemamo argumente, odluke o nečemu što ne znamo donosimo brzo i lako, a tamo gdje nešto znamo, svjesni smo mogućih pogrešaka, pa odluka bude, da odluke nema. Rezultat je, tehničkim rječnikom, vrlo mali  $\eta$ , koji se trenutno, optimistički gledano, vrti oko pozitivne nule. Zamislite inženjera strojarstva, koji projektira stroj, čiji je koeficijent iskorištenja nula. Uloži se 100% i vrati se nula! Povučemo li paralelu, prirast BND je drugo ime za  $\eta$  na nacionalnoj skali, a on nije samo zbog globalne recesije tako mali. Da smo se kojim slučajem pred 10 godina odlučili za vlastite resurse, danas bi nam ta globalna recesija mnogo manje naudila. Kopiranje tuđe prakse, što rado činimo, može kratkoročno biti korisno, poglavito kad vlastite nemamo, ali problem često leži u „detaljima“, koje često previdimo. Treba inovirati, a ne kopirati, no to mogu samo najbolji. Velike zemlje mogu si dozvoliti povremeni zastoj u razvoju, ali one imaju ogromne ljudske i materijalne potencijale koji u nekoliko godina mogu sve nadoknaditi. Male zemlje to nemaju i moraju se više osloniti na međunarodno provjerene vlastite kadrove, koji u današnjem globalno povezanom informatiziranom svijetu mogu lako doći do potrebnih specifičnih znanja, koja treba izravno prosljediti onima koji donose razvojne odluke. Kad govorimo o krivnji, ona je očito dobro raspodijeljena.

Školovanje, studij i znanstveno-istraživački rad sigurno donosi rezultate, ali potrebno je vrijeme. Ne možemo tražiti pomoć stručnjaka kad se brod već naginje i tone, jer mu je primjerice, oplata iz lošeg materijala. Znanost treba uključiti znatno ranije i tada uvažiti preporuke i pogreške ispraviti.

## 6. Zaključak

Potpuno je jasno da Hrvatska u narednim godinama mora u potpunosti izmijeniti svoje strateške odrednice i odreći se što prije novih velikih elektroenergetskih kapaciteta, koji koriste isključivo uvozne NIE, gdje koristimo samo 35-45% primarne energije, a preostali dio (55-65%) toplinske energije i štetne emisije stakleničkih plinova ispuštamo u atmosferu. Ako se tome doda novo veliko zaduživanje u inozemstvu, sve veći uvoz energenata, pasiviziranje svih vlastitih resursa, mnogo manje vlastitih radnih mjesta, mnogo manje mogućnosti izvoza, dugotrajna neadekvatnost energetske infrastrukture za malo i srednje poduzetništvo i sve niži standard građana, onda svaka Vlada koja bi to provodila morala bi raditi protiv interesa vlastitog naroda. Mislim da takve Vlade u Hrvatskoj nema.

### Citirani radovi:

1. B.Hrastnik (jedan od 32 autora) – Strategija Energetskog Razvitka Republike Hrvatske, 271 stranica, Energetski Institut “Hrvoje Požar”, Zagreb, Srpanj 1998.
2. B.Hrastnik (jedan od 67 autora), Hrvatska u 21. stoljeću, Energetika, Ured za strategiju razvitka Republike Hrvatske, 187 stranica, ožujak 2002.
3. B.Hrastnik, The Role of Indigenous Energy Carriers in the Sustainable Development of Croatia, Proc. of Rijeka Faculty of Economics – Journal of Economics and Business, Vol.1, p.31-53, 1999.
4. B.Hrastnik (jedan od 14 autora), Energetski razvitak Splitsko-dalmatinske županije – Mjesto i uloga energetske efikasnosti i obnovljivih izvora energije na području Splitsko-dalmatinske županije, 126 strana, Prilog meteorološke podloge 21 strana, Zagreb 1999.



5. B.Hrastnik, B.Franković, Croatian National Solar Energy Programme – SUNEN, SUN @ work in Europe, Vol.14, No.1, p.7-10, March 1999.
6. B.Hrastnik, R.Vujčić, Solar District Heating Challenge in Dalmatian, Proceedings of the Congress Energy and the Environment 2000, Opatija, 25 – 27 October, 2000.,Vol. II.,117-125.
7. B.Hrastnik, Prospects and Problems of Solar Energy Development in Croatia, Proc. Conf. on Energy Management 13-15 May, p.51-54, Dubrovnik 1998.
8. B.Hrastnik, O.Fabris – Studija: Energetski učinkovito i ekološki prihvatljivo idejno rješenje energetske opskrbe stambenih i turističkih naselja i gradova u Splitsko-dalmatinskoj županiji, Fakultet Elektrotehnike, Strojarstva i Brodogradnje Sveučilišta u Splitu, lipanj 2003.
9. B.Hrastnik – Studija: Gospodarski potencijal i isplativost sunčeve energije u gradovima i općinama Zadarske županije, Zagreb, Energetski Institut “Hrvoje Požar”, lipanj 2002.
10. B.Hrastnik i ostali (16 autora), Program korištenja energije sunca *prethodni rezultati i buduće aktivnosti* – SUNEN, 244 stranice, Energetski Institut “Hrvoje Požar”, Zagreb, travanj 1998.
11. B.Hrastnik, Program korištenja energije sunca *nove spoznaje i provedba* – SUNEN, 126 stranica, Energetski Institut “Hrvoje Požar”, Zagreb, srpanj 2001.
12. J.Domac i ostali (17 autora), Program korištenja biomase i otpada *prethodni rezultati i buduće aktivnosti* – BIOEN, 179 stranica, Energetski Institut “Hrvoje Požar”, Zagreb, travanj 1998.
13. J.Domac i ostali (14 autora), Program korištenja biomase i otpada *nove spoznaje i provedba* – BIOEN, 144 stranica, Energetski Institut “Hrvoje Požar”, Zagreb, lipanj 2001.



## MOGUĆNOSTI DODATNOG KORIŠTENJA TOPLINSKE ENERGIJE SUNCA PRIMJENOM SEZONSKIH SPREMNIKA TOPLINE

Marina Vukoje, Prof. dr. sc. Veljko Filipan

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu  
Zagreb, Savska cesta 16, Hrvatska

### SAŽETAK

U članku su obrađeni sezonski spremnici topline (SST), kao relativno nove tehnologije koje omogućavaju dodatno korištenje toplinske energije Sunca. Opisan je način rada i dan je pregled sva četiri izvedbena rješenja SST koja se primjenjuju u sjevernoj i srednjoj Europi. Usporedba koncepcija provedena je na temelju stranih iskustava sa SST u radu. Prikazano je nekoliko primjera izvedenih SST u Njemačkoj s njihovim osnovnim pokazateljima. Ukratko je prezentiran prvi domaći projekt SST analiziran za potrebe jedne energetske učinkovite zgrade koja se opskrbljuje toplinskom energijom isključivo iz obnovljivih izvora (solarna energija uz pomoć solarnih toplinskih kolektora + geotermalna energija uz pomoć geotermalne dizalice topline s vertikalnim sondama). Toplinska bilanca zgrade pokazuje veliko značenje SST u takvim sustavima gdje oni omogućavaju sniženje kapaciteta ili snage aktivnih dijelova sustava. Primjena SST omogućava relativno visok solarni udio u ukupnoj potrebnoj toplinskoj energiji zgrade. Naglašeno je također da je rad SST posebno probitačan u sustavima niskotemperaturnog grijanja.

**KLJUČNE RIJEČI:** toplinska Sunčeva energija, sezonski spremnici topline, toplinska bilanca zgrade, niskotemperaturni sustavi, energetska učinkovitost, geotermalna dizalica topline

### 1. UVOD

Sunčeva energija je svugdje dostupan obnovljivi izvor energije koji se može koristiti za grijanje prostora, osvjetljavanje zgrada, pripremu sanitarne tople vode, zagrijavanje vode u bazenima ili za izravnu pretvorbu u električnu energiju. Prosječna dnevna dozračena energija Sunca na jedan kvadratni metar horizontalne plohe u okolici Zagreba iznosi ~3,2 kWh, pri čemu svega ~1 kWh u siječnju odnosno čak preko 6 kWh u srpnju [1]. Ovako velika neujednačenost dozračene Sunčeve energije, kako tijekom jedne godine, tako i tijekom jednog mjeseca pa čak i jednog dana, znatno otežava njezinu primjenu u tehničkim sustavima. S druge strane velika je neujednačenost i na strani potrošnje toplinske energije kako na godišnjoj, sezonskoj ili mjesečnoj, tako i na dnevnoj pa čak i satnoj razini. Za uravnotežavanje zahtjeva neusklađene potražnje s dostupnošću izvora potrebni su stoga dodatni spremnici topline koji mogu biti namijenjeni za dnevna, tjedna, mjesečna ili višemjesečna, odnosno sezonska izjednačavanja.

Namjena sezonskih spremnika topline (SST) je pohranjivanje viškova solarne toplinske energije tijekom toplijeg dijela godine s ciljem omogućavanja njenog korištenja tijekom jesenskih i zimskih mjeseci kad je potreba za toplinskom energijom povećana, a dozračena energija Sunca znatno manja. SST je energetske povoljno rješenje budući da omogućuje korištenje one energije koja se inače ne bi mogla iskoristiti. Pohranjujući viškove toplinske

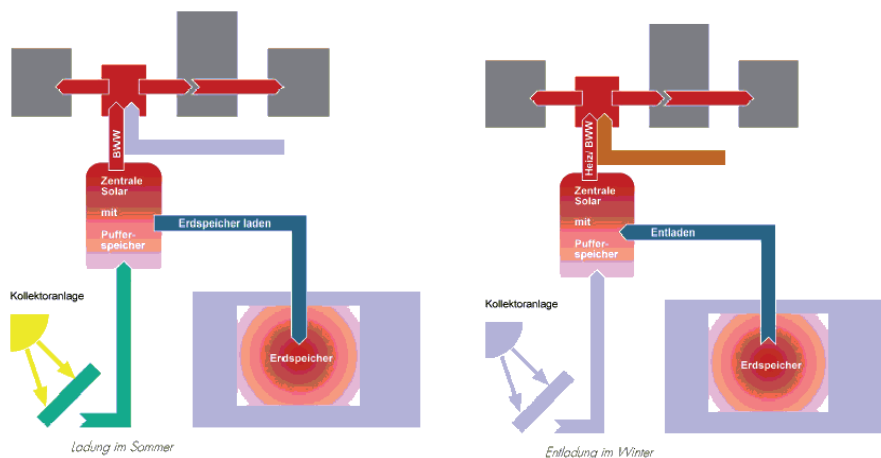
energije u vrijeme kad je ima u izobilju i čuvajući je za trošenje u vrijeme kad je nema dovoljno SST na određeni način štedi energiju, odnosno omogućava uštedu drugih primarnih oblika energije (npr. fosilnih goriva) te time doprinosi i povećanju energetske učinkovitosti. Osim solarne toplinske energije u SST se može spremati i otpadna toplina iz industrije ili energetskih sustava.

Tehnologije SST su novijeg datuma, a prva su istraživanja započela 70-ih godina prošlog stoljeća u sjevernoj Europi. Prvo demonstracijsko postrojenje izgrađeno je 1978/79. na temelju rezultata nacionalnih istraživačkih programa u Švedskoj [2]. U Njemačkoj je prvi SST izgrađen 1985. na Sveučilištu u Stuttgartu [3]. Istraživanja u Njemačkoj bila su usmjerena na laboratorijske eksperimente i konstrukciju malih pilot postrojenja gdje su trebali biti potvrđeni svi tehnički i ekonomski aspekti pojedinih koncepata. Od 1996. godine u Njemačkoj je u sklopu programa „Solarthermie-2000“ izgrađeno 8 demonstracijskih postrojenja [4]. Sva ova postrojenja projektirana su za solarni udio (solarno pokriće) od 35% do 60% ukupne godišnje potrebe za toplinskom energijom stambenih zgrada. Hrvatska za sada nema niti jedno izgrađeno takvo postrojenje, a prvi projekt za primjenu SST napravljen je 2007. godine [5].

Nakana ovog članka je ukratko opisati način rada SST i dati opći pregled do sada korištenih sustava s njihovim osnovnim pokazateljima te na taj način potaknuti primjenu ovih relativno novih tehnologija i u Hrvatskoj.

## 2. OPIS RADA SEZONSKOG SPREMNIKA TOPLINE

Za rad sezonskog spremnika topline (SST) potreban je sustav (vidi sl. 1) koji osim samog spremnika, uobičajeno obuhvaća i sustave za prihvaćanje topline od izvora, sustave izmjenjivača topline, radne medije za akumulaciju topline i sustave raspodjele topline. Na slici 1 shematski su prikazana dva osnovna režima rada SST (tzv. ljetni i zimski) u sustavu sa solarnim kolektorima.



a) ljetni režim rada SST (punjenje)

b) zimski režim rada SST (pražnjenje)

Slika 1. Shematski prikaz načina rada SST (a - ljetni režim, b- zimski režim)

U tzv. ljetnom režimu SST se „puni energijom“ pohranjujući viškove toplinske energije solarnih kolektora (sl. 1a) dok se u tzv. zimskom režimu rada SST „prazni“ predajući pohranjenu toplinsku energiju u sustav potrošnje (sl. 1b). U Hrvatskim uvjetima ljetni režim rada uobičajeno može trajati od travnja do rujna, a zimski od listopada do ožujka. Kako se radi o dva režima rada koja ovise o sezoni, odnosno kako SST sprema energiju iz jedne sezone za korištenje u drugoj sezoni, odatle naziv sustava „sezonski“. Spremanje i vraćanje toplinske energije može se odvijati strujanjem radnog medija koji akumulira toplinu preko distribucijskog (dnevnog) spremnika topline, kao na slici 1, ali i preko sustava izmjenjivača topline ili na neki drugi način.

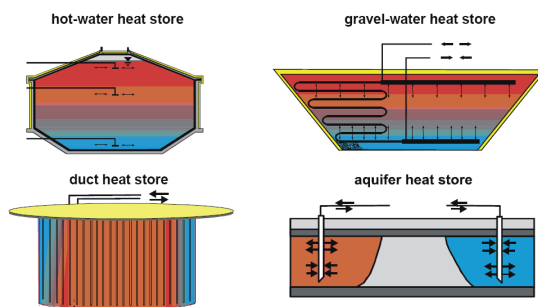
### 3. IZVEDBENA RJEŠENJA SST

Razvijeno je nekoliko različitih tehnologija za sezonsko spremanje topline, i sve su one provjerene u okviru njemačkih projekata [3]. SST se obično smještaju ispod površine zemlje te je za njihovo postavljanje potrebno provesti određena geološka istraživanja i trebaju se dobiti dozvole za njihovu izgradnju. Odobrenja daju državna ili lokalna upravna tijela nadležna za gospodarenje podzemnim vodama. Za izbor i izgradnju odgovarajućeg spremnika moraju se uzeti u obzir svi granični uvjeti, kao što su geološko stanje terena, pravni zahtjevi, ekonomska isplativost itd.

Prema izvedbi razlikuju se četiri osnovna tipa SST (vidi sl. 2):

1. SST s vrućom vodom
2. SST sa šljunkom i vodom
3. SST sa sondama u zemlji
4. SST s akumulacijom vode u podzemlju

Svako od ovih rješenja u nastavku je ukratko opisano sa svojim specifičnostima.



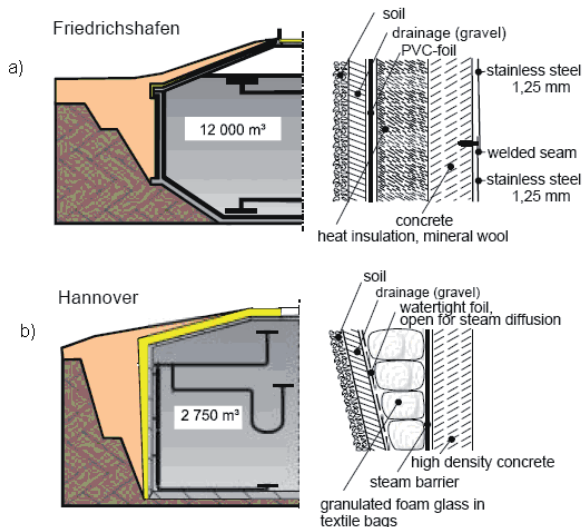
Slika 2. Izvedbena rješenja (tipovi) SST

#### 3.1. SST S VRUĆOM VODOM

Plast ovog spremnika (sl. 3) uobičajeno se gradi od armiranog betona. Toplinski medij je voda i ona akumulira toplinsku energiju u obliku osjetne topline - zagrijava se tijekom spremanja energije u SST, a hladi se prilikom vraćanja energije u sustav.

Prvi SST s vrućom vodom imali su dodatnu unutrašnju oplatu od nehrđajućeg čelika (sl. 3a) koja je osiguravala vodonepropusnost potrebnu radi zaštite vanjske toplinske izolacije i za smanjenje gubitaka topline uzrokovanih parnom difuzijom kroz betonski zid. S razvojem nove vrste betona veće gustoće (HDC - high density concrete), omogućena je izvedba bez dodatne čelične oplata (sl. 3b). Kao toplinska izolacija u početku se primjenjivala kamena vuna (vidi na sl. 3a), dok se u novije vrijeme koristi zrnata staklena pjena u tekstilnim vrećama uz bočne zidove spremnika (sl. 3b) radi brže i jednostavnije izgradnje spremnika te radi efikasnijeg sušenja ako se materijal slučajno smoči. Izolacija se mora zaštititi parnom pregradom jer HDC beton nije u potpunosti nepropustan za difuziju pare. Već nekoliko godina proučava se plastika ojačana staklenim vlaknima (GFP) kao novi materijal za izradu plašta SST.

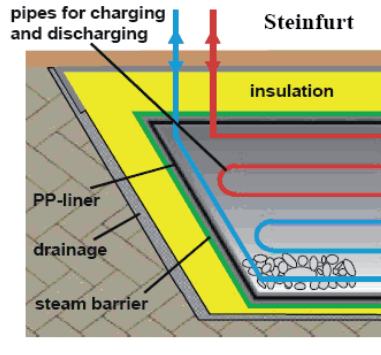
Sustav ulaza i izlaza radnog medija (vode) kod starijih je spremnika izveden na vrhu i na dnu (vidi sl.3a), dok se u novije vrijeme izvodi i treći pojni sustav postavljen ispod gornje trećine volumena (vidi sl. 3b) s namjerom boljeg optimiranja temperaturne slojevitosti spremnika. Na taj se način, naime, u spremnik može dovesti voda niže temperature bez miješanja sa slojevima više temperature u gornjem dijelu SST.



Slika 3. SST s vrućom vodom (a – prvotno, i b – unaprijeđeno rješenje)

### 3.2. SST SA ŠLJUNKOM I VODOM

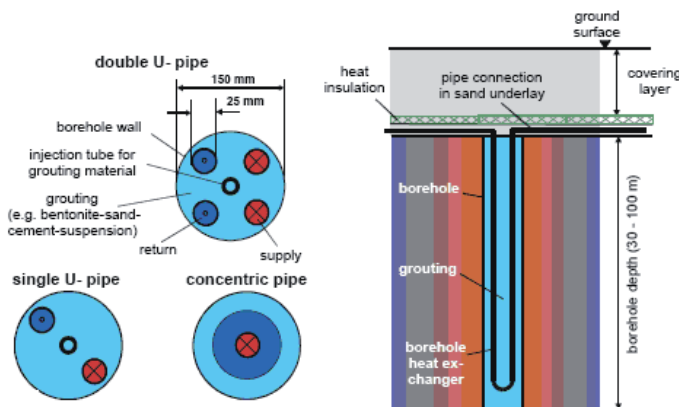
Medij za akumulaciju topline u ovom spremniku je smjesa šljunka i vode, ali to također može biti i smjesa pijeska i vode ili zemlje i vode. S obzirom na smanjeni toplinski kapacitet radnog medija, volumen ovog spremnika mora biti oko 50 % veći u usporedbi sa SST s vrućom vodom (za istu količinu topline na istim temperaturnim razinama). Punjenje i pražnjenje ovog spremnika može se odvijati izravnom izmjenom tekućeg dijela radnog medija (vode) ili izmjenom topline preko plastičnih cijevi (vidi sl. 4) kroz koje odvojeno struji medij prijenosnik topline (najčešće također voda). Temperaturnu slojevitost osigurava uređaj za punjenje. Bočni zidovi i pokrov spremnika su toplinski izolirani, a izolacija dna izvodi se ovisno o veličini i obliku spremnika.



Slika 4. SST sa šljunkom i vodom

### 3.3. SST SA SONDAMA U TLU

Ovaj SST nema izgrađen odvojeni spremnik, već koristi tlo kao toplinski medij za pohranjivanje energije. U tlu se instalira više vertikalnih sondi (vidi sl. 5) s U-cijevima kao izmjenjivačima topline, na dubinama od 30 – 100 m, poredanih kružno i radialno oko središnjeg dijela na međusobnoj udaljenosti oko 1.5 – 3 m. Prijenosnik topline je radni medij koji struji kroz U-cijevi. Toplinska izolacija stavlja se samo na vrhu spremnika.



Slika 5. SST s vertikalnim sondama

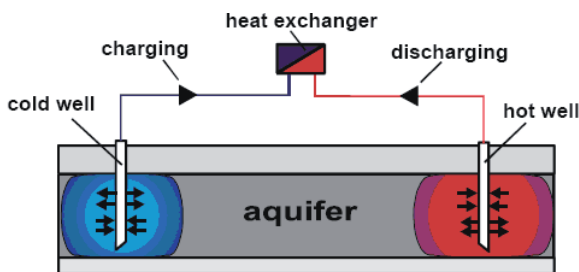
U ovim spremnicima topline ne postoji vertikalna, nego horizontalna raspodjela temperature, i to radialno od sredine prema rubovima. Razlog tome je mehanizam prijenosa topline u tlu (kondukcija, a ne konvekcija). Zbog toplinskih gubitaka u okolinu temperatura se prema rubovima smanjuje. Vodoravna raspodjela temperature podržana je povezivanjem opskrbnih cijevi u središtu spremnika i povratnih cijevi na rubovima spremnika.

Za ovaj spremnik topline povoljna su glinena i kamenita tla koja su dovoljno zbijena da spriječe protok podzemne vode i koja imaju relativno dobar toplinski kapacitet. No, u usporedbi sa SST s vrućom vodom, ovaj spremnik topline mora biti veći tri do pet puta za istu količinu topline (manji toplinski kapacitet tla od vode, ali i manji intenzitet punjenja i pražnjenja). Često je potreban i dodatni međuspremnik. Prednost SST sa sondama u tlu svakako su manji troškovi izgradnje u usporedbi prema SST s vrućom vodom ili SST sa šljunkom i vodom.

### 3.4. SST S AKUMULACIJOM VODE U PODZEMLJU (VODONOSNIK)

S obzirom na geološki sastav i vrstu tla može se razlikovati više vrsta vodonosnika: u pijesku ili šljunku, razlomljeni vodonosnici u vapnencu, pješčenjaku, magmatskim ili metamorfnim stijenama. Da bi vodonosnik bio prikladan za spremanje topline hidraulička mu propusnost mora biti relativno velika ( $>1 \cdot 10^{-5}$  m/s) i u njemu ne smije biti nikakvih podzemnih tokova vode. S nepropusnim slojevima ispod i iznad vodonosnika, on se može koristiti kao spremnik topline bušenjem dviju ili više bušotina. Kao toplinski medij za spremanje i prijenos topline koriste se podzemne vode. U periodu punjenja hladna podzemna voda se crpi iz hladne bušotine, grije se preko izmjenjivača topline i ubrizgava se u toplu bušotinu. U periodu pražnjenja, smjer protoka vode se mijenja. Zbog različitih smjerova protoka, i topla i hladna bušotina moraju biti opremljene ne samo pumpama nego i injeckijskim cijevima.

Za ovu vrstu spremnika nije moguća nikakva toplinska izolacija. Da bi toplinski gubici za primjenu pri višim temperaturama bili u prihvatljivim granicama, omjer površina/volumen mora biti malen, a to se postiže kod spremnika velikog volumena (većeg od 100 000 m<sup>3</sup>). Za spremnike s visokom temperaturom vode potrebna su znanja iz mineralogije, geokemije i mikrobiologije kako bi se spriječilo oštećenje podzemnih sustava.



Slika 6. SST s akumulacijom vode u podzemlju

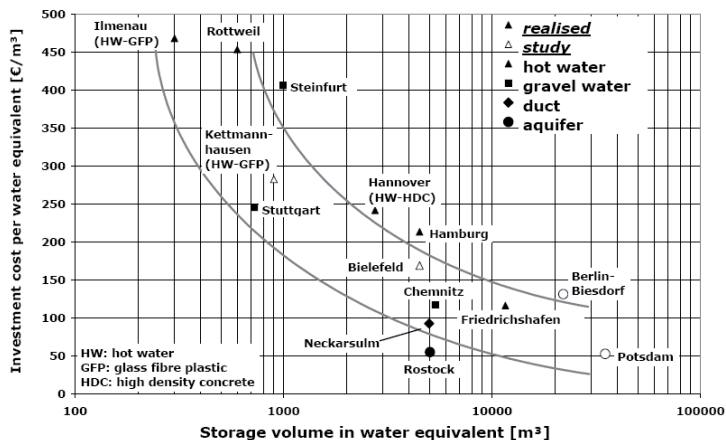
### 3.5. USPOREDBA IZVEDBENIH RJEŠENJA (TIPOVA) SST

U nastavku su ukratko uspoređena sva četiri različita izvedbena rješenja SST na temelju stranih iskustava s izgradnjom i pogonom (prema dostupnoj literaturi). Uspoređeni su specifični toplinski kapaciteti preko gustoće energije u kWh/m<sup>3</sup>, odnosno preko specifičnog volumena pohranjivanja energije u m<sup>3</sup> po m<sup>3</sup> vodenog ekvivalenta (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>EV) (Tablica 1). Vodeni ekvivalent ili ekvivalentni volumen definiran je preko odgovarajuće količine toplinske energije

koja se može pohraniti u volumenu od 1 m<sup>3</sup> vode u SST s vrućom vodom. Osim toga u Tablici 1 navedeni su i geološki zahtjevi za pojedine tipove SST.

Tablica 1. Usporedba izvedbenih rješenja (tipova) SST

hot-water	gravel-water	duct	aquifer
storage medium			
water	gravel-water	ground material (soil / rock)	ground material (sand/gravel...-water)
heat capacity in kWh/m <sup>3</sup>			
60 - 80	30 - 50	15 - 30	30 - 40
storage volume for 1 m <sup>3</sup> water equivalent			
1 m <sup>2</sup>	1.3 - 2 m <sup>2</sup>	3 - 5 m <sup>2</sup>	2 - 3 m <sup>2</sup>
geological requirements			
<ul style="list-style-type: none"> <li>stable ground conditions</li> <li>preferably no groundwater</li> <li>5 - 15 m deep</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>stable ground conditions</li> <li>preferably no groundwater</li> <li>5 - 15 m deep</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>drillable ground</li> <li>groundwater favourable</li> <li>high heat capacity</li> <li>high thermal conductivity</li> <li>low hydraulic conductivity (<math>k_f &lt; 1 \cdot 10^{-10}</math> m/s)</li> <li>natural ground-water flow &lt; 1 m/a</li> <li>30 - 100 m deep</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>natural aquifer layer with high hydraulic conductivity (<math>k_f &gt; 1 \cdot 10^{-5}</math> m/s)</li> <li>confining layers on top and below</li> <li>no or low natural groundwater flow</li> <li>suitable water chemistry at high temperatures</li> <li>aquifer thickness 20 - 50 m</li> </ul>



Slika 7. Specifični investicijski troškovi realiziranih i projektiranih SST (bez PDV-a)

Drugi važan parametar za usporedbu pojedinih koncepata SST su troškovi gradnje koji se također trebaju dati kao specifični troškovi u €/m<sup>3</sup>EV. Ova je usporedba prema [3] dana na slici 7 u ovisnosti o ekvivalentnoj veličini SST (u m<sup>3</sup>EV). Drugim riječima sve su izvedbe na neki način normalizirane prema referentnom SST s vrućom vodom. Iz slike se može zaključiti da se dosad izvedeni ili projektirani spremnici nalaze unutar raspona između 300 i 35000 m<sup>3</sup>EV, s najvećom učestalošću oko 5000 m<sup>3</sup>EV. Unutar čitavog raspona, investicijski troškovi variraju između 50 i 460 €/m<sup>3</sup>EV, pri čemu relativni investicijski troškovi padaju s porastom veličine spremnika. Općenito se također može zaključiti da su specifično najskuplji SST s vrućom vodom, iza čega slijede redom SST sa šljunkom i vodom, SST sa sondama i SST s vodonosnikom.

S druge strane SST s vrućom vodom pokazuju najbolje termodinamičko ponašanje i mogu biti izgrađeni gotovo svugdje. Najmanje investicijske troškove imaju SST s akumulacijom vode u podzemlju te SST sa sondama u zemlji, no oni često zahtijevaju dodatnu opremu i imaju najstrože geološke zahtjeve.

Na žalost u literaturi se rijetko nalaze podaci o specifičnim gubicima energije odnosno o stupnju povrata pohranjene toplinske energije, a što je također jedan od vrlo važnih parametara za usporedbu koncepata SST.

#### 4. PRIMJERI REALIZIRANIH SST

Izvedena postrojenja u Njemačkoj s osnovnim pokazateljima prikazana su u Tablici 2, a više podataka o ovim sustavima dano je u Tablicama 3 i 4. Može se uočiti da se SST uglavnom primjenjuju kao solarna potpora za grijanje i pripremu tople vode većih objekata ili čitavih naselja (vidi na sl. 8).

Tablica 2. Izvedeni SST u Njemačkoj

R.br.	Lokacija	Tip SST	Veličina [m <sup>3</sup> ]	Početak rada
1.1	Rottweil <sup>1)</sup>	vruća voda (beton)	600	1995
1.2	Friedrichshafen	vruća voda (beton)	12 000	1996
1.3	Hamburg	vruća voda (beton)	4 500	1996
1.4	Ilmenau <sup>1)</sup>	vruća voda (GFP)	300	1997 / 1998
1.5	Hannover	vruća voda,(HDC)	2 750	2000
2.1	Stuttgart <sup>2)</sup>	šljunak - voda	1 050	1985
2.2	Chemnitz	šljunak - voda	8 000	1995 / 2000
2.3	Augsburg <sup>2)</sup>	šljunak - voda	6 500	1997
2.4	Steinfurt	šljunak - voda	1 500	1999
3	Neckarsulm	sonde u tlu	63 360	1997/98 / 2001
4.1	Berlin <sup>2)</sup>	vodonosnik	-	1999
4.2	Rostock	vodonosnik	20 000	2000
5	Attenkirchen	vruća voda / sonde	9 850	2002

<sup>1)</sup> : pilot postojenje, nije sezonsko

<sup>2)</sup> : nije u sklopu "Solarthermie-2000"

GFP : plastika ojačana staklenim vlaknima (glass fibre reinforced plastics)

HDC: beton veće gustoće (high density concrete)



Tablica 3. Osnovni tehnički podaci za prvu generaciju velikih solarnih toplinskih sustava sa SST u Njemačkoj

Technical data of the first generation CSH PSS systems in Germany					
	Hamburg	Friedrichshafen	Chemnitz <sup>1</sup> 1. PoC	Neckarsulm	Hannover <sup>2</sup>
Year of initial operation	1996	1996	2000	1997/2001	2000
Supply area	124 AU	final stage: 570 AU	office building	140 AU, school, residential home, commercial centre	106 AU
Heated living area in m <sup>2</sup>	14,800	39,500	4,680	n.s.	7,365
Solar plant (design values)					
• Collector area in m <sup>2</sup>	3,000	5,600	540 VT	6,500	1,350
• Store type	hot water	hot water	gravel/water	duct	hot water
• Heated store volume in m <sup>3</sup>	4,500	12,000	8,000	63,300	2,750
Total heat demand at heating central in MWh/a	1,610	4,106	1. PoC: 573	3,960	694
Heat delivery of the solar system in MWh/a	789*	1,915*	1. PoC: 169*	2,018*	269*
Solar fraction in %	49*	47*	1. PoC: 30*	50*	39*
Cost of the solar system in Mio. Euros	2.2	3.2	1. + 2. PoC: 1.4	n.s.	1.2
Solar heat cost in EuroCt/kWh (excluding financial subsidies and VAT, including planning)	25.7	15.9	1. + 2. PoC: 24.0	17.2	41.4
PoC: Phase of construction, VT: vacuum tube, AU: accommodation unit, *: values for long-term operation (calculated with TRNSYS), <sup>1</sup> : specifications TU Chemnitz, <sup>2</sup> : specifications IGS, Uni Braunschweig, n.s.: not specified					

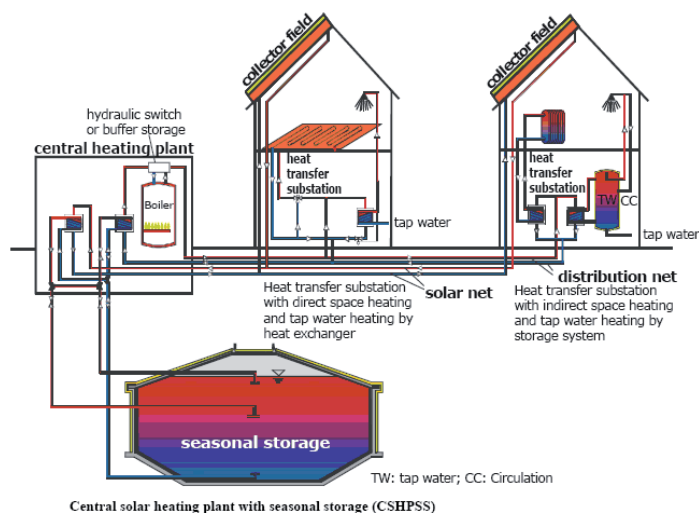
Tablica 4. Osnovni tehnički podaci za drugu i treću generaciju velikih solarnih toplinskih sustava sa SST u Njemačkoj

Technical data of the second and third generation CSH PSS systems in Germany				
	Steinfurt	Rostock <sup>3</sup>	Attenkirchen <sup>4</sup>	München <sup>4</sup>
Year of initial operation	1998	1999	2002	2004 <sup>#</sup>
Supply area	42 AU	108 AU	30 AU	272 AU
Heated living area in m <sup>2</sup>	3,800	7,000	6,200	22,610
Solar plant (design values)				
• Collector areas in m <sup>2</sup>	510	1,000	800	2,700
• Store type	gravel/water	aquifer	hybrid	n.s.
• Heated store volume in m <sup>3</sup>	1,500	20,000	500 + 9,350	~ 5,700
Total heat demand at heating central in MWh/a	325	497	487	1,976
Heat delivery of the solar system in MWh/a	110*	307	415	988*
Solar fraction in %	34*	62	55 <sup>§</sup>	50*
Cost of the solar system in Mio. Euros	0.5	0.7	0.26	1.7 <sup>#</sup>
Solar heat cost in EuroCt/kWh (excluding financial subsidies and VAT, including planning)	42.3	25.5	17.0	16.0 <sup>#</sup>
AU: accommodation unit, *: values for long-term operation (calculated with TRNSYS), <sup>3</sup> : specifications GTN, Neubrandenburg, <sup>4</sup> : specifications ZAE Bayern, Garching, n.s.: not specified, <sup>§</sup> primary energy savings, <sup>#</sup> : present design values				



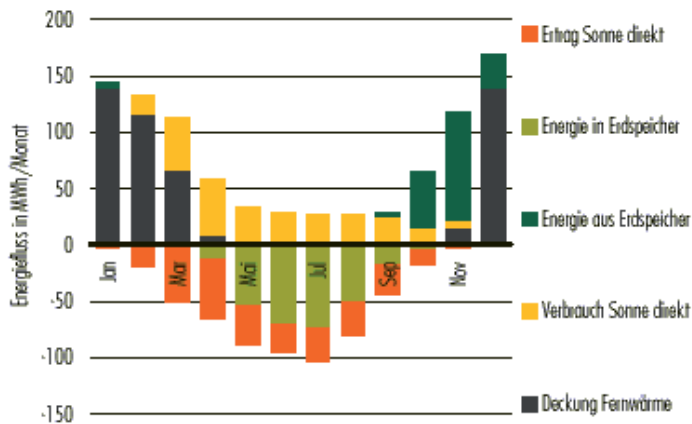
Slika 8. Fotografije nekoliko izvedenih velikih solarnih sustava sa SST u Njemačkoj

U ovim se sustavima Sunčeva toplinska energija ne koristi samostalno, već uvijek s nekim dodatnim izvorom toplinske energije, obnovljivim ili neodnovljivim, kako je to shematski prikazano na slici 9. Umjesto kotla na fosilna goriva dodatni izvor topline kod manjih energetski učinkovitih sustava može biti i geotermalna dizalica topline [5].

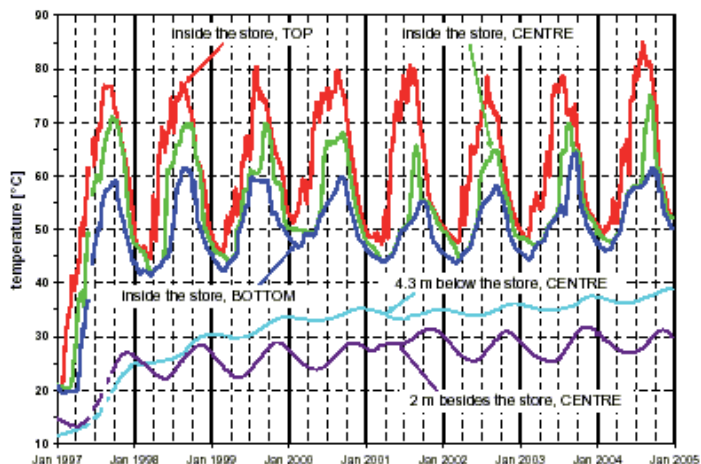


Slika 9. SST u sustavu sa solarnim toplinskim kolektorima i plinskim bojlernom

Na slici 10 prikazana je toplinska bilanca jednog velikog solarnog sustava sa SST po mjesecima za jednu kalendarsku godinu. Mogu se vidjeti razdvojene faza pohranjivanja viškova Sunčeve energije u SST (praktički od ožujka do rujna, ali djelomično i u veljači i listopadu) i faza vraćanja energije u sustav potrošnje (praktički od listopada do siječnja). Ako se kao radni medij koji akumulira toplinsku energiju u SST koristi voda (što je najčešći slučaj u praksi) njezina se temperatura mijenja tijekom rada SST na način prikazan na slici 11. Ovdje se također na temelju višegodišnjeg praćenja temperaturnog profila lijepo mogu uočiti ljetni i zimski režimi rada SST.



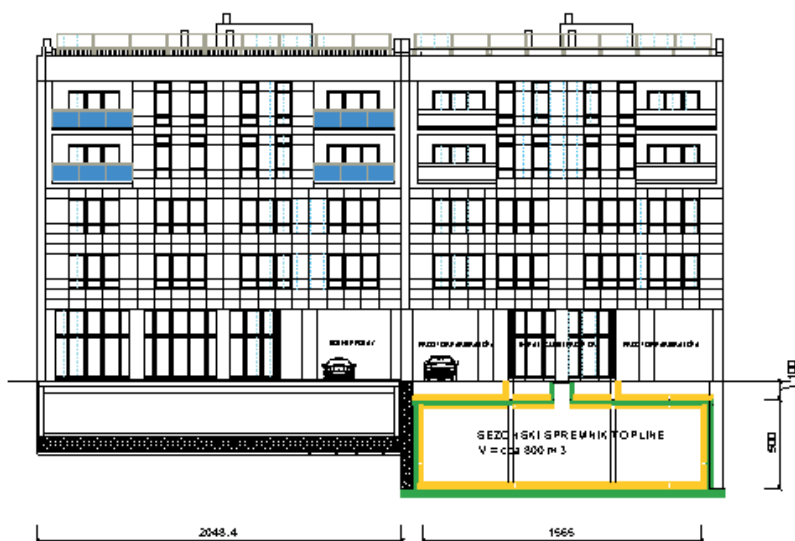
Slika 10. Toplinska bilanca za jedan veliki solarni sustav sa SST u Švicarskoj [6]



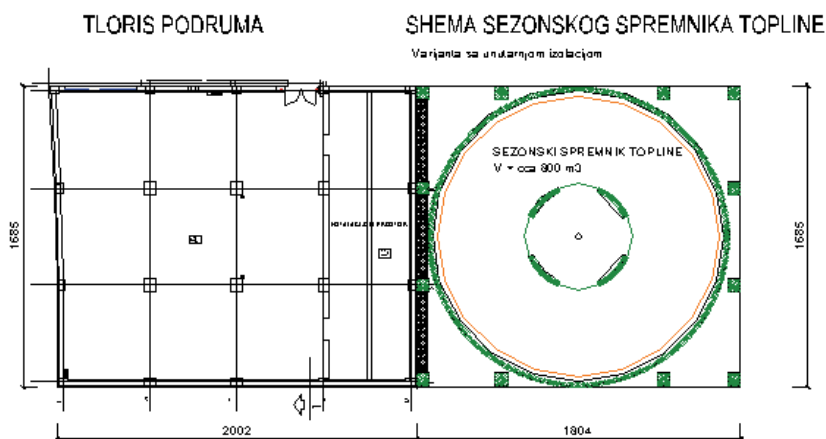
Slika 11. Višegodišnji mjereni temperaturni profili u SST (Friedrichshafen [7])

## 5. PRVI PROJEKT SST U HRVATSKOJ

Prve analize SST provedene su u Hrvatskoj 2006/07. u okviru projekta energetske učinkovite zgrade u Osijeku [5]. Projektno rješenje prikazano je na slikama 12 (nacrtni presjek) i 13 (tlocrt).

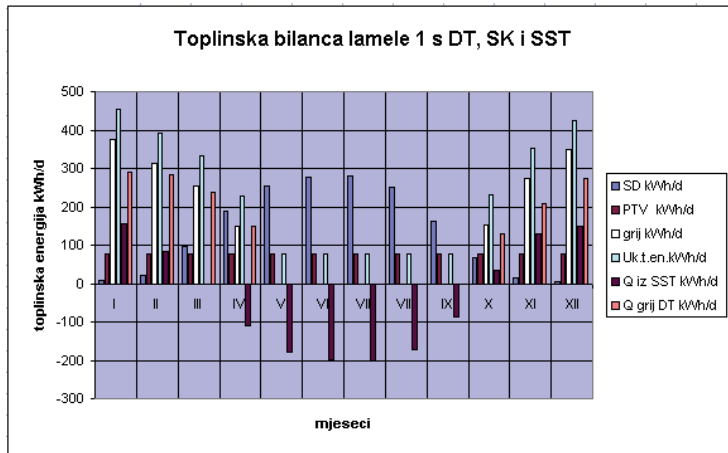


Slika 12. Projektno rješenje SST s vrućom vodom (nacrtni presjek)

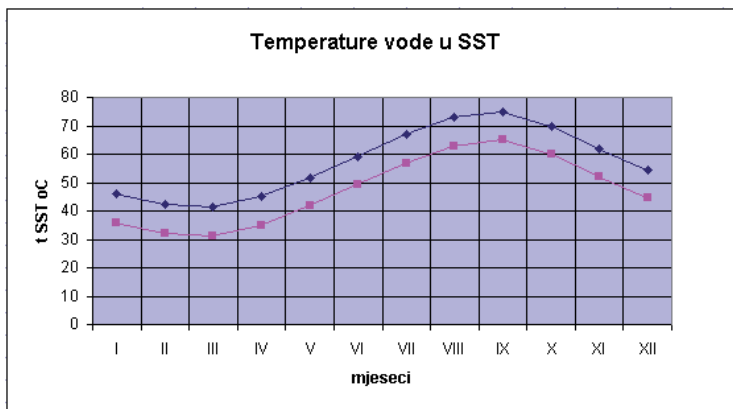


Slika 13. Shematski prikaz SST u tlocrtu

Razmatrani SST koristio bi se u sustavu s obnovljivim izvorima energije (bez primjene fosilnih goriva) kako za potrebe grijanja prostora tako i za toplu vodu. Toplinska energija Sunca dobiva se pomoću toplinskih solarnih kolektora (SK), a ostatak potrebne toplinske energije pokriva geotermalna dizalica topline (DT) s vertikalnim dubinskim sondama (sustav po prvi puta izveden u Hrvatskoj). Jedna od varijanti toplinske bilance za navedenu zgradu prikazana je na slici 14. SST pohranjuje viškove solarne toplinske energije od travnja do rujna, a energiju vraća u sustav od listopada do veljače. Temperaturni slijed vode koja je predviđena kao radni medij za akumulaciju topline prikazan je na slici 15.



Slika 14. Toplinska bilanca za SST, dizalicu topline DT i solarne kolektore SK



Slika 15. Kretanje temperature vode u SST tijekom jedne godine

Značenje SST u promatranom sustavu je vrlo veliko jer SST pomaže aktivnom dijelu tog sustava (dizalici topline) u nadoknađivanju potreba za toplinskom energijom u najopterećenijem

dijelu godine (prosinac i siječanj te studeni i veljača). Na taj način dizalica topline može raditi sa smanjenim kapacitetom, odnosno moguće je ugraditi dizalicu manjeg kapaciteta, odnosno manje toplinske snage. U konkretnom slučaju DT treba pokrivati svega 2/3 potreba za toplinskom energijom dok se 1/3 dobiva iz SST. SST se može koristiti sve dok je temperatura u njegovim gornjim slojevima (odakle se uzima voda za grijanje) viša od temperature povratnog voda grijanja. Kod niskotemperaturnih sustava to je čak ispod 30 °C. Odatle slijedi da je iskoristivost SST znatno veća pri niskotemperaturnim sustavima te se oni tamo i preferiraju. S druge strane to je povoljno i za sam rad SST budući da on konstantno radi na nižem temperaturnom nivou pa su i sami gubici topline manji. Također, moguće je pri tom i da SST akumulira veću količinu toplinske energije jer razlika maksimalne i minimalne temperature vode u SST može biti veća. U ovom konkretnom primjeru prema slici 14 postignut je stupanj solarnog pokrivača ukupne toplinske energije za cijelu zgradu (grijanje i topla voda) od oko 45%.

## 6. ZAKLJUČAK

Sezonski spremnici topline (SST) su relativno nove tehnologije koje su se u sjevernoj i srednjoj Europi počele primjenjivati pred 30-tak godina. Oni omogućavaju dodatno korištenje toplinske energije Sunca spremanjem ljetnih viškova za korištenje tijekom zimskih mjeseci. Opisan je način rada i dan je pregled četiri izvedbena rješenja SST koja su razvijena i koja se uspješno primjenjuju u Europi. Svako je rješenje kratko opisano s najvažnijim specifičnostima i na kraju je dana usporedba koncepcija prema specifičnom volumenu spremnika, gustoći energije i specifičnim troškovima gradnje. SST s vrućom vodom pokazuju prednosti prema više različitih kriterija te su vrlo često u primjeni premda su njihovi specifični investicijski troškovi najveći. U nastavku je dan pregled desetak izvedenih postrojenja u Njemačkoj s njihovim najvažnijim tehničkim podacima i nekim iskustvima proizašlima iz višegodišnjeg praćenja pojedinih SST u eksploataciji. Realizirani projekti SST najčešće su korišteni u velikim solarnim sustavima za grijanje velikih objekata ili čitavih naselja grijane površine oko 4000 do 40000 m<sup>2</sup>.

Na kraju je ukratko prezentiran prvi domaći projekt SST analiziran za potrebe jedne energetske učinkovite zgrade koja se opskrbljuje toplinskom energijom isključivo iz obnovljivih izvora. Osim toplinske energije Sunca uz pomoć solarnih toplinskih kolektora zgrada koristi geotermalnu dizalicu topline s dubinskim vertikalnim sondama, kao još jednom novinom za Hrvatske prilike. Na temelju prikaza toplinske bilance zgrade po mjesecima za čitavu godinu istaknuto je veliko značenje SST u takvim sustavima. Oni omogućavaju sniženje kapaciteta, odnosno snage aktivnih dijelova sustava (u konkretnom slučaju geotermalne dizalice topline). Primjena SST omogućava i relativno visok stupanj solarnog pokrivača ukupne potrebne toplinske energije zgrade. Na temelju prikazanog kretanja temperature vode u SST s toplom vodom naglašene su prednosti takvih spremnika topline posebno u sustavima niskotemperaturnog grijanja. Vjerujemo da će ovako iscrpan prikaz tehnologija SST potaknuti gradnju ovih sustava i u Hrvatskoj, a što je bila i nakana ovog rada.

## 7. LITERATURA

1. Z. Matić, *Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske*, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2007.

2. K. Roth, J. Brodrick, *Seasonal Energy Storage*, ASHRAE Journal ( page 41 - 43), 2009.
3. T. Schmidt, D. Mangold, H. Müller-Steinhagen, *Seasonal thermal Energy Storage in Germany*, ISES Solar World Congress, Göteborg, Sweden, 2003.
4. D. Mangold, F. A. Preuser, *Solarthermie-2000: 10 Years of Research and Development in Large Solar Heating Systems in Germany*. ISES Solar World Congress, Göteborg, Sweden, 2003.
5. V. Filipan, T. Dörig, M. Sesartić, A. Jukić, *Primjena obnovljivih izvora energije i strojarsko energetske tehnologije u Studiji izvodljivosti Primjena tehnologija energetske učinkovitosti na stambeno – poslovnoj građevini „Agria“ Osijek*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.
6. P. Hartmann, H. Juzi, *Solare Wärmeversorgung mit saisonalem Speicher für die Wohnsiedlung Heumatt, Zürich Seebach*, Lemon Consult, Zürich 2003.
7. W. Heidemann, *Solare Nahwärme und saisonale Speicherung*, FVS- LZE Themen 2005.

## THE POSSIBILITIES OF IMPROVED SOLAR HEAT USING BY SESONAL THERMAL ENERGY STORAGE

**Marina Vukoje, Prof. dr. sc. Veljko Filipan**

**Faculty of Chemical Engineering and Technology, University of Zagreb  
Zagreb, Savska cesta 16, Croatia**

### ABSTRACT

The seasonal thermal energy storage (STES) as a relatively new technology that makes possible additional using of solar heat are analyzed in the paper. The operation of STES is described and the systems developed and used in North and Central Europe are described. The comparison of all four concepts of STES is made on the basis of foreign experience with the systems in operation. For example some of STES systems installed in Germany are shown with the main technical data, and only project of a STES system in Croatia is also presented. That system is applied in an energy efficient building supplied by thermal energy exclusively from renewable energy sources (solar energy by using of solar thermal collectors and geothermal energy by using geothermal heat pump with vertical borehole ducts). Building thermal energy balance shows that STES has great significance in such a system – it can reduce the capacity and power of active parts of the system. Also, the application of STES results with relatively high solar fraction in total building thermal energy demand. It is pointed out that STES has special advantages in low-temperature heating systems.

**KLJUČNE RIJEČI:** Solar heat energy, seasonal heat energy storage, building heat balance, low-temperature systems, energy efficiency, geothermal heat pump

## GEOTERMALNE DIZALICE TOPLINE

Ivana Valek<sup>1</sup>, Karlo Filipan<sup>2</sup>, Prof. dr. sc. Veljko Filipan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu  
10000 Zagreb, Savska cesta 16, Hrvatska

<sup>2</sup>Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu  
10000 Zagreb, Unska 3, Hrvatska

### SAŽETAK

U članku su ukratko opisane termodinamičke osnove rada kompresijskih dizalica topline, s posebnim osvrtom na geotermalne dizalice topline (GDT) koje se u razvijenim zapadnim zemljama već jako puno koriste i koje posljednjih godina imaju izrazito veliki trend porasta. Na žalost primjena u Hrvatskoj je tek na samom početku te je nakana ovog rada poticanje većeg korištenja ove napredne, energetske vrlo efikasne, tehnologije iskorištavanja obnovljivih izvora energije. Zbog toga je u radu ukratko prezentiran i prvi domaći primjer primjene GDT s vertikalnim dubinskim sondama za potrebe grijanja i hlađenja jedne stambeno poslovne, energetske vrlo učinkovite zgrade, čije se ukupne toplinske potrebe pokrivaju isključivo iz obnovljivih izvora energije. Posebno su istaknute prednosti primjene GDT u niskotemperaturnim sustavima. To je potkrijepljeno analizom utjecaja temperature radnog medija u GDT na njen termodinamički stupanj iskorištenja, odnosno faktor grijanja (COP). Istražen je i utjecaj svojstava realnog radnog medija i parametara nepovratljivih realnih procesa, kao što su konačna temperaturna razlika za izmjenu topline u isparivaču i kondenzatoru te stupanj korisnosti kompresora. Dane su usporedbe realnih procesa s teorijskim, termodinamički najpovoljnijim, ljevokretnim povratljivim Carnotovim procesom. Namjera rada je pomoći boljem razumijevanju ove vrlo prosperitetne tehnologije i potaknuti razvoj, proizvodnju i veću primjenu GDT u Hrvatskoj.

**KLJUČNE RIJEČI:** dizalica topline, geotermalna dizalica topline, faktor grijanja (COP), djelatne tvari (radni mediji), konačna temperaturna razlika, stupanj korisnosti kompresora, niskotemperaturni sustavi grijanja i hlađenja

### 1. UVOD

Dizalica topline (DT) (toplinska pumpa ili toplinska crpka) [1] je uređaj koji omogućava prijenos („dizanje“) topline iz sustava niže temperaturne razine u sustav više temperaturne razine. U skladu s 2. glavnim stavkom termodinamike ovo je moguće samo uz određenu kompenzaciju, tj. uz utrošak mehaničkog rada, a stvarno se može provoditi pomoću prikladne djelatne tvari (radnog medija) u nekom ljevokretnom kružnom procesu [2]. DT omogućavaju iskorištavanje energije izvora relativno niske temperature (npr. okolni zrak, površinske vode iz rijeka, jezera ili mora, podzemne vode, slojevi tla ispod površine Zemlje, otpadne topline iz raznih procesa). Budući da većina ovih izvora spada u obnovljive izvore topline DT se najčešće spominju u okviru tehnologija za iskorištavanje obnovljivih izvora energije. Danas se DT primjenjuju u sustavima grijanja, hlađenja, klimatizacije, ventilacije i pripremi sanitarne tople vode u zgradarstvu, ali i za razne druge toplinske potrebe [1].

Geotermalna dizalica topline (GDT) je naziv za DT koja koristi toplinsku energiju iz Zemlje (energiju akumuliranu u tlu ispod površine ili energiju podzemnih voda), no najčešće



se misli na DT s tlom kao izvorom topline, ili još specifičnije na DT koja koristi toplinsku energiju dubljih slojeva tla pomoću vertikalnih dubinskih sondi (do ~100 m dubine). Zahvaljujući velikoj energetskoj učinkovitosti primjena GDT u sustavima grijanja i hlađenja zgrada u stalnom je porastu u razvijenim zemljama svijeta (zapadna Europa, Amerika, Japan). Hrvatska je pri tom tek na samom početku i, koliko je nama poznato, za sada jedina GDT s dubinskim sondama instalirana je u jednoj poslovno-stambenoj zgradi u Osijeku [3], te je ovaj primjer ukratko opisan u radu.

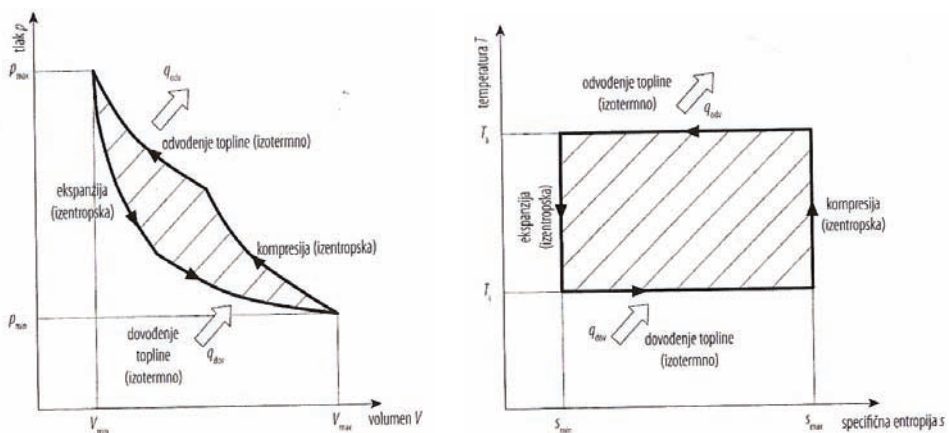
U radu se razmatraju termodinamičke osnove rada kompresijskih dizalica topline koje se najčešće primjenjuju u sustavima s GDT. Za kompresijski tip dizalica topline provedene su detaljne analize utjecaja pojedinih parametara na njezine energetske značajke. Zaključno su na temeljnu rezultata istraživanja istaknute prednosti primjene GDT u niskotemperaturnim energetski učinkovitim sustavima.

## 2. OSNOVE RADA KOMPRESIJSKE DT

### 2.1. Teorijski proces

Rad kompresijske DT zasniva se na ljevokretnom kružnom procesu. To je ciklički proces u kojem djelatna tvar prolazi kroz niz različitih termodinamičkih stanja i opet se vraća u početno stanje pri čemu se referentni ciklus može stalno ponavljati omogućavajući trajno odvijanje procesa. Jedan ciklus sljednih stanja djelatne tvari prikazan u termodinamičkim dijagramima ( $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$ , i dr.) opisuje zatvorenu krivulju promjene stanja s lijevim obilježnjem (obilježnjem u smislu suprotnom kretanju kazaljke na satu).

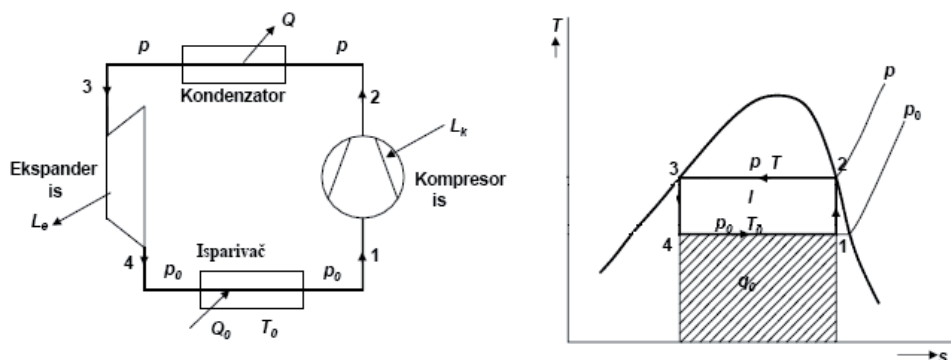
Termodinamički najbolji proces je ljevokretni povratljivi Carnotov proces prikazan u  $p$ - $V$  i  $T$ - $s$  dijagramima na slici 1. Proces se sastoji od četiri promjene stanja djelatne tvari s 2 izentrope (kompresija i ekspanzija pri  $s=\text{konst.}$ ) i 2 izoterme (dovod i odvod topline pri  $T=\text{konst.}$ ). Za prebacivanje topline iz spremnika niže temperature u spremnik više temperature potrebna je određena kompenzacija u obliku izvana dovedenog mehaničkog rada (rad kompresije je veći od rada ekspanzije, vidi šrafiranu površinu u  $p$ - $V$  dijagramu). Ovakav se proces u stvarnosti na žalost ne može realizirati, ali zato može poslužiti kao usporedbeni za ocjenu dobrote svakog drugog stvarno provedivog procesa.



Slika 1. Ljevokretni povratljivi Carnotov proces u  $p$ - $V$  i  $T$ - $s$  dijagramima [1]

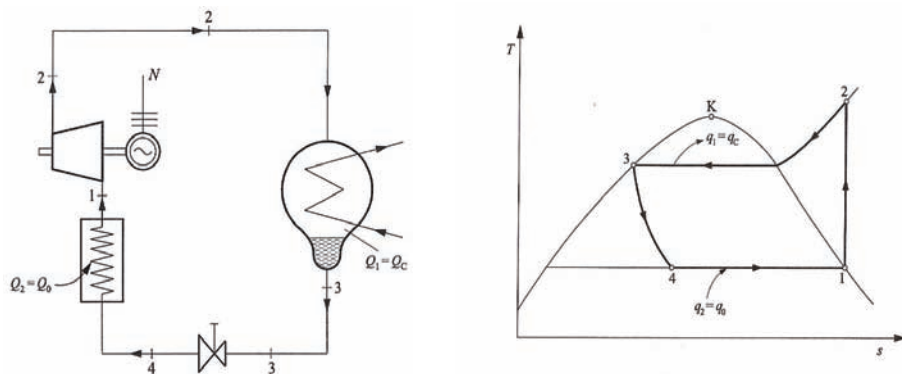
## 2.2. Stvarni proces

Carnotov bi se proces mogao postići s jednokomponentnom realnom djelatnom tvari u mokrom području na način prikazan na slici 2 (shema procesa i njegov  $T,s$  dijagram). Na žalost, provođenje izentropskih procesa ekspanzije i kompresije uz ovako definirane realne uvjete postaje tehnički neizvedivo prvenstveno zbog izrazito velike promjene volumena djelatne tvari i moguće pojave hidrauličkih udara.



Slika 2. Carnotov proces s jednokomponentnom djelatnom tvari u mokrom području [4]

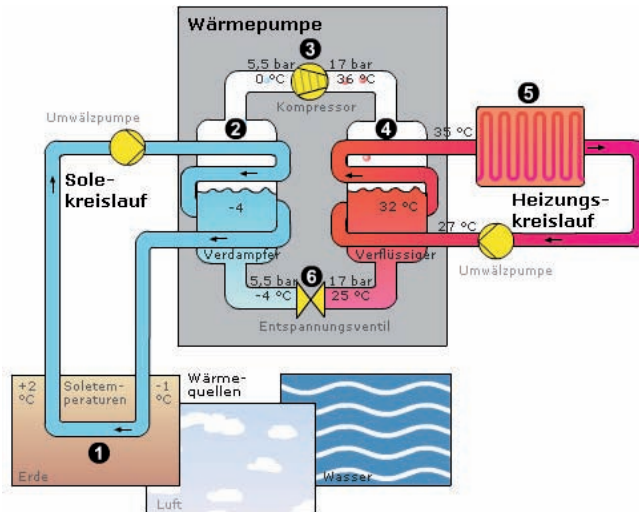
Da bi proces postao stvarno provediv u realnim uvjetima su provedene neke njegove modifikacije (slika 3). Proces izentropske ekspanzije zamijenjen je procesom prigušivanja (uz  $h=\text{konst.}$ ), dok je proces izentropske kompresije pomaknut iz mokrog područja u pregrijano područje. Izotermni dovod i odvod topline ostvaruju se u procesima isparavanja i kondenzacije realne djelatne tvari, no isparavanje se provodi u potpunosti (točka 1 na desnoj graničnoj krivulji). Radi boljeg vođenja procesa u stvarnosti se još uvodi pothlađivanje kondenzata ( $T_3 < T_3'$ ) i pregrijavanje suhozasićene pare prije kompresije ( $T_1 > T_1'$ ).



Slika 3. Modificirani stvarni proces - shema i  $T,s$  dijagram

Dijelovi stvarne kompresijske dizalice topline (kompresor, ekspanzijski - prigušni ventil, isparivač, kondenzator) obično se smještaju u isto kućište i čine jedinstveni uređaj (slika 4).

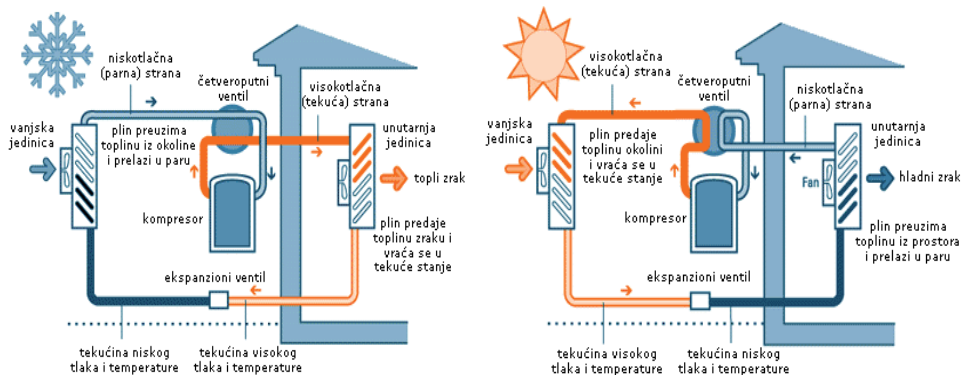
Za povišenje energetske razine djelatne tvari, odnosno za omogućavanje kružnog procesa koristi se mehanički rad kompresora, najčešće s elektromotornim pogonom. Da bi DT mogla raditi u sustavu grijanja, pripreme PTV (ili nekom drugom), potrebni su spojevi za dovod, odvod i razvod sekundarnih djelatnih tvari - prijenosnika energije (u sustavu grijanja i prema toplinskom izvoru), priključak na električnu mrežu, sustav automatske regulacije itd. (sl. 4).



Glen Dimplex Deutschland

Slika 4. Shematski prikaz rada i dijelova GDT [5]

DT u toplinskim sustavima zgrada obično se koristi za grijanje zimi i hlađenje ljeti pa mora imati mogućnost rada u dva različita režima. Prijelaz iz jednoga u drugi režim postiže se prekretnim ventilom koji okreće smjer strujanja djelatne tvari u uređaju. Shematski prikaz zimskog (grijanje) i ljetnog režima rada (hlađenje) prikazan je na slici 5 na primjeru DT koja koristi vanjski okolni zrak iz neposredne blizine objekta kao jedan od toplinskih spremnika. Pri promjeni režima vanjski i unutarnji izmjenjivač zamijene uloge kondenzatora i isparivača.



Slika 5. Shematski prikaz rada dizalice topline u zimskom i ljetnom režimu [6]

### 2.3. Djelatne tvari

Proces u DT može se ostvariti samo uz određenu primarnu djelatnu tvar koja omogućuje rad u definiranom temperaturnom području. Na primarne djelatne tvari postavljaju se određeni zahtjevi kao što su:

- 1) dobra termodinamička i fizikalna svojstva (niska temperatura sustava, niska kritična temperatura no viša od temperature okoliša, mala viskoznost, velika latentna toplina isparavanja, visoka toplinska vodljivost, ne smije biti zapaljiva ni eksplozivna),
- 2) kompatibilnost sa sustavom (kemijska stabilnost, nekoroziivnost),
- 3) visoka ekonomičnost (što niža specifična cijena, kako po masi, kn/kg, tako i po jediničnoj latentnoj toplini, kn/(kJ/kg)) i
- 4) što manji utjecaj na okoliš (ne smije uništavati ozonski omotač ni doprinositi efektu staklenika, jednostavna detekcija pri kvaru, jednostavno uklanjanje, neotrovnost).

Kao primarne djelatne tvari u DT mogu se primjenjivati tvari različitog porijekla (anorganske tvari: voda - R718, amonijak - R717, CO<sub>2</sub> - R744, zrak - R729, sumporni dioksid - R764; čisti ugljikovodici: metan, etan, izo-butan - R600a; halogenirani ugljikovodici, tzv. freoni – R11, R12, R13, R22 itd.) [4]. Svaka realna djelatna tvar ima određena svojstva koja je čine prikladnom za određenu primjenu. Neke ranije često korištene djelatne tvari (npr. freoni halogenirani klorom) povučene su iz optičaja zbog vrlo nepovoljnog utjecaja na okoliš ili drugih nepovoljnih utjecaja..

Treba ovdje istaknuti da se osim primarnih djelatnih tvari koje sudjeluju u termodinamičkim promjenama stanja u DT (kompresija, kondenzacija, prigušivanje, isparavanje) pri radu sustava mogu koristiti i sekundarne djelatne tvari koje služe za prijenos topline između DT i ogrjevnog i rashladnog spremnika (vidi sl. 4).

### 2.4. Pokazatelji učinkovitosti DT

Učinkovitost stvarnog procesa u DT opisuje nekoliko koeficijenata čije su definicije i izrazi kratko navedeni u nastavku. Za režim grijanja najčešće se definira koeficijent grijanja (toplinski koeficijent, faktor grijanja, toplinski množitelj, ili eng. Coefficient of Performance COP), dok se za režim hlađenja definira koeficijent hlađenja (rashladni koeficijent, rashladni množitelj, faktor hlađenja, ili eng. Energy Efficiency Ratio EER).

COP ( $\varepsilon_{DT}$ ) je osnovni pokazatelj učinkovitosti rada DT u režimu grijanja i definiran je kao omjer toplinske energije koju je dizalica topline dovela nekom prostoru ili mediju  $Q_{dov}$  i pogonske energije kojom se ostvaruje proces  $E_{pog}$ , tj. omjer toplinskog učinka  $\Phi_{DT}$  koji dizalica preko kondenzatora predaje prostoru ili mediju koji treba grijati i električne snage elektromotora  $P_{el}$  koji pokreće kompresor :

$$COP = \varepsilon_{DT} = \frac{Q_{dov}}{E_{pog}} = \frac{\Phi_{DT}}{P_{el}} \quad (1)$$

EER ( $\varepsilon_{RU}$ ) je osnovni pokazatelj učinkovitosti rada DT u režimu hlađenja (ili rashladnih uređaja općenito) i definiran je kao omjer toplinske energije koju je rashladni uređaj odveo iz nekog prostora ili medija  $Q_{odv}$  i pogonske energije kojom se ostvaruje proces u njemu  $E_{pog}$ , tj. omjer rashladnog učina  $\Phi_{RU}$  koji rashladni uređaj preko isparivača uzima iz prostora ili medija koji treba hladiti i električne snage elektromotora  $P_{el}$  koji pokreće kompresor:

$$EER = \varepsilon_{RU} = \frac{Q_{odv}}{E_{pog}} = \frac{\Phi_{RU}}{P_{el}} = \varepsilon_{DT} - 1 \quad (2)$$

Osim COP i EER za praćenje DT u eksploataciji mogu se definirati i dodatni pokazatelji, kao na pr. sezonski faktor grijanja ili stvarni faktor grijanja.

Sezonski faktor grijanja je pokazatelj učinkovitosti rada dizalice topline tijekom duljeg vremenskog razdoblja, a definiran je kao:

$$\varepsilon_{DT,sez} = \frac{\sum Q_{dov}}{\sum E_{pog}} \quad (3)$$

Stvarni faktor grijanja uzima u obzir sve gubitke u cijelom sustavu, odnosno uređaju (gubitke cjevovoda, kompresora, mehaničke i električne gubitke u elektromotoru, odstupanje svojstva rashladnog medija od idealnih, itd.) te se može odrediti prema izrazu:

$$\varepsilon_{sDT} = \varepsilon_{DT} \cdot \eta_u \quad (4)$$

gdje je  $\eta_u$  ukupni stupanj djelovanja dizalice topline koji se ovisno o izvedbi kreće u vrlo širokom rasponu od 25% do 75% [7].

### 3. UTJECAJ POJEDINIH PARAMETARA NA RAD I ZNAČAJKE DT

#### 3.1. Utjecajni parametri i razine koje se razmatraju

U ovom su poglavlju provedene preliminarne analize utjecaja pojedinih parametara na rad i pogonske značajke, posebno COP, kompresijskih dizalica topline. Istraživanje je provedeno za konkretnu geotermalnu dizalicu topline GTD s vertikalnim dubinskim sondama. Temperatura izvora (tla) u svim je analizama uzeta konstantna i iznosi  $t_0=10^{\circ}\text{C}$  ( $T_0=283\text{K}$ ). Temperatura spremnika više temperaturne razine ( $T$ ) u koji se toplina dovodi (temperatura ogrjevnog medija za grijanje prostora ili temperatura na koju se grije sanitarna topla voda) kao prvi utjecajni parametar varirana je u širokim granicama od  $20^{\circ}\text{C}$  do  $100^{\circ}\text{C}$  ( $T=293\text{K}$  do  $T=373\text{K}$ ) s korakom od 5K. Dalje je istražen utjecaj svojstava djelatnih tvari provođenjem konkretnih termodinamičkih proračuna za dvije realne tvari, amonijak (R717) i halogenirani ugljikovodik (R12). Svojstva realnih djelatnih tvari očitana su iz adekvatnih  $T,s$  dijagrama prema literaturi [2]. Nepovratljivost u procesu kompresije razmatrana je preko stupnja iskorištenja stvarnog kompresora ( $\eta_k$ ). Proračuni su provedeni za tri nivoa: najprije za idealizirani proces kompresije (povratljivi adijabatski uz  $\eta_k=1$ ) i zatim za dva nepovratljiva (realna politropska) procesa s  $\eta_k=0.8$  i  $\eta_k=0.6$ . Osim toga, u stvarnom nepovratljivom procesu temperatura toplijeg medija na kojeg se prenosi toplina mora biti nekoliko stupnjeva niža od temperature kondenzacije primarne djelatne tvari u kondenzatoru, a temperatura hladnijeg medija od kojeg se uzima toplina mora biti nekoliko stupnjeva viša od temperature isparavanja primarne djelatne tvari u isparivaču. Ove konačne temperaturne razlike, potrebne za izmjenu topline u realnim procesima, uzete su u obzir tako da je u jednoj varijanti proračun proveden za  $\Delta T_i=5\text{K}$  i  $\Delta T_c=5\text{K}$ .

#### 3.2. Termodinamički proračuni

Kao baza za termodinamičke proračune za osnovnu usporedbenu varijantu korišten je idealizirani proces prema  $T,s$  dijagramu prikazanom na slici 3. Tijek proračuna je sljedeći:

1) za temperature  $T_i = T_0$  i  $T_c = T$  skicira se proces prema sl. 3 u adekvatnom dijagramu realnog radnog medija (R717 ili R12) i tada se iz dijagrama očitaju veličine stanja potrebne za analizu procesa i daljnji proračun (tlakovi u isparivaču  $p_i$  i kondenzatoru  $p_c$ , temperatura na kraju izentropske kompresije  $t_2$  i entalpije u karakterističnim točkama  $h_1, h_2$  i  $h_3=h_4$ )

2) koristeći očitane vrijednosti idealiziranog povratljivog procesa ( $\eta_K=1$ ,  $\Delta T_i=\Delta T_c=0K$ ) izračunaju se:

- toplinska energija koju DT dovodi spremniku više temperature pri  $T=\text{konst.}$

$$q_{dov,1} = h_2 - h_3 \quad (5)$$

- toplinska energija koju DT odvodi od spremnika niže temperature pri  $T_0=\text{konst.}$

$$q_{odv,1} = h_1 - h_4 \quad (6)$$

- mehanički rad (pogonska energija) koju treba dovesti za izentropsku kompresiju od  $p_i$  na  $p_c$

$$e_{pog,1} = h_2 - h_1 \quad (7)$$

- faktor grijanja(COP) teorijskog Carnotovog procesa između temperatura  $T_0$  i  $T$

$$COP_C = T / (T - T_0) = 1 / (1 - T_0/T) \quad (8)$$

- faktor grijanja(COP) idealiziranog povratljivog procesa ( $\eta_K=1$ ,  $\Delta T_i=\Delta T_c=0K$ )

$$COP_I = q_{dov,1} / e_{pog,1} \quad (9)$$

3) za nepovratljivi proces u kojem se uzima u račun realni proces kompresije s  $\eta_K \neq 1$ , ali se ne uzima u obzir potrebna realna temperaturna razlika u izmjenjivačima ( $\Delta T_i=\Delta T_c=0K$ ) izračuna se:

- stvarni rad kompresora:

$$e_{pog,\eta} = (h_2 - h_1) / \eta_K \quad (10)$$

- entalpija na kraju nepovratljive kompresije:

$$h_{2,\eta} = h_1 + e_{pog,\eta} \quad (11)$$

- stvarno dovedena toplina u spremnik više temperaturne razine:

$$q_{dov,\eta} = h_{2,\eta} - h_3 \quad (12)$$

- faktor grijanja(COP) nepovratljivog procesa ( $\eta_K \neq 1$ ,  $\Delta T_i=\Delta T_c=0K$ )

$$COP_\eta = q_{dov,\eta} / e_{pog,\eta} \quad (13)$$

a u  $T,s$  dijagramu odredi se stvarna točka završetka kompresije i očita se temperatura  $T_{2,\eta}$ .

Na ovaj način određene su vrijednosti za dvije razine veličine  $\eta_K$  ( $\eta_K=0.8$  i  $\eta_K=0.6$ ).

4) čitav postupak (prethodne točke 1 do 3) ponovi se uzimanjem u obzir realne temperaturne razlike potrebne za izmjenu topline u isparivaču i kondenzatoru ( $\Delta T_i \neq 0$  i  $\Delta T_c \neq 0$ ). Ovaj je parametar uzet u obzir samo na jednoj dodatnoj razini i to za  $\Delta T_i=5K$  i  $\Delta T_c=5K$ . U ovom slučaju temperatura isparavanja primarne djelatne tvari u isparivaču pri temperaturi izvora toplinske energije u tlu  $T_0=283K$  iznosi:

$$T_{i,\Delta T} = T_0 - \Delta T_i = 283 - 5 = 278 K \quad (14)$$

i zadržana je konstantnom za sve varijante sljednih proračuna, dok se temperatura kondenzacije primarne djelatne tvari u kondenzatoru određuje prema izrazu:

$$T_{c,\Delta T} = T + \Delta T_c \quad (15)$$

i ispitat će se sve vrijednosti u gore definiranom rasponu temperatura  $T$  (293K do 373K).

Ovi utjecajni faktori i njihove razine uzeti su samo za potrebe analize utjecajnosti u ovom radu, dok bi za konkretne termodinamičke proračune GDT trebalo poznavati sve temperature primarnih i sekundarnih medija u svakom od izmjenjivača (temperature oba medija na ulazu i izlazu iz isparivača te temperature oba medija na ulazu i izlazu iz kondenzatora).

### 3.3. Rezultati i diskusija

#### 3.3.1 Utjecaj temperature $T$ i svojstava realnih djelatnih tvari

Rezultati termodinamičkih proračuna za idealizirani proces prema slici 3 za dvije djelatne tvari i definirani raspon temperature  $T$  su dani u tablicama 1 (amonijak, R717) i 2 (freon R12).

Tablica 1. Rezultati termodinamičkih proračuna za R717,  $\eta_K=1$ ,  $\Delta T_i=\Delta T_c=0\text{K}$ ,  $T_0=283\text{K}$

Točka broj	$t_i$ °C	$p_i$ bar	$t_c$ °C	$p_c$ bar	$t_2$ °C	$COP_I$ -	$COP_C$ -	$\Delta COP$ R717-C
1.	10	6,2	20	8,6	35	20,246	29,300	-0,309
2.	10	6,2	25	10,1	42	15,185	19,867	-0,236
3.	10	6,2	30	12	53	11,651	15,150	-0,231
4.	10	6,2	35	13,5	60	9,762	12,320	-0,208
5.	10	6,2	40	15,5	76	8,146	10,433	-0,219
6.	10	6,2	45	17,8	91	6,667	9,086	-0,266
7.	10	6,2	50	20	98	6,119	8,075	-0,242
8.	10	6,2	55	23	109	5,758	7,289	-0,210
9.	10	6,2	60	26	115	5,238	6,660	-0,214
10.	10	6,2	65	29	130	4,801	6,145	-0,219
11.	10	6,2	70	33	140	4,288	5,717	-0,250
12.	10	6,2	75	37	150	3,987	5,354	-0,255
13.	10	6,2	80	42	170	3,586	5,043	-0,289
14.	10	6,2	85	46	178	3,390	4,773	-0,290
15.	10	6,2	90	52	188	3,181	4,538	-0,299
16.	10	6,2	95	57	200	3,018	4,329	-0,303
17.	10	6,2	100	63	210	2,845	4,144	-0,314

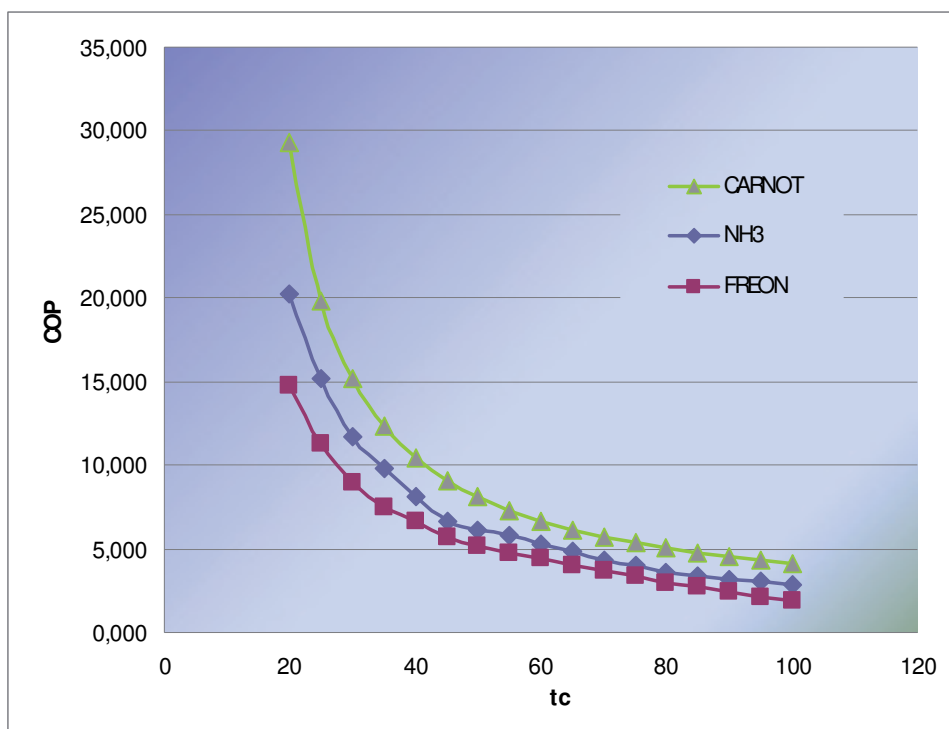
Tablica 2. Rezultati termodinamičkih proračuna za R12,  $\eta_K=1$ ,  $\Delta T_i=\Delta T_c=0\text{K}$ ,  $T_0=283\text{K}$

Točka broj	$t_i$ °C	$p_i$ bar	$t_c$ °C	$p_c$ bar	$t_2$ °C	$COP_I$ -	$COP_C$ -	$\Delta COP$ R12-C	$\Delta COP$ R12-R717
1.	10	4,15	20	5,8	25	14,800	29,300	-0,495	-0,269
2.	10	4,15	25	6,6	28	11,231	19,867	-0,435	-0,260
3.	10	4,15	30	7,6	35	9,000	15,150	-0,406	-0,228
4.	10	4,15	35	8,7	41	7,474	12,320	-0,393	-0,234
5.	10	4,15	40	9,9	46	6,619	10,433	-0,366	-0,187
6.	10	4,15	45	11,1	55	5,708	9,086	-0,372	-0,144
7.	10	4,15	50	12,4	60	5,154	8,075	-0,362	-0,158
8.	10	4,15	55	13,7	63	4,778	7,289	-0,345	-0,170
9.	10	4,15	60	15,5	66	4,429	6,660	-0,335	-0,155
10.	10	4,15	65	17,1	75	4,033	6,145	-0,344	-0,160
11.	10	4,15	70	19	80	3,656	5,717	-0,360	-0,147
12.	10	4,15	75	21	85	3,324	5,354	-0,379	-0,166
13.	10	4,15	80	23,5	90	2,973	5,043	-0,411	-0,171
14.	10	4,15	85	25,5	100	2,718	4,773	-0,431	-0,198
15.	10	4,15	90	28,5	108	2,429	4,538	-0,465	-0,236
16.	10	4,15	95	31	128	2,102	4,329	-0,514	-0,304
17.	10	4,15	100	33,5	135	1,922	4,144	-0,536	-0,325

Na temelju rezultata u tablicama 1 i 2 dijagramski je na slici 6 prikazana ovisnost COP o temperaturi medija na kojeg se toplina prenosi u kondenzatoru ( $T$ ) i svojstvima realnih djelatnih tvari. Za usporedbu prikazan je i COP teorijskog Carnotovog procesa. Može se uočiti značajno smanjenje efikasnosti procesa s porastom temperature  $T$ , odnosno temperaturne razlike ( $T-T_0$ ) ili temperaturnog omjera ( $T/T_0$ ). Znači da je GDT puno efikasnija pri nižim temperaturama  $T$  te se preporuča njena primjena u niskotemperaturnim sustavima grijanja i hlađenja (za podna i/ili stropna grijanja i hlađenja, umjesto radijatorskih sustava).

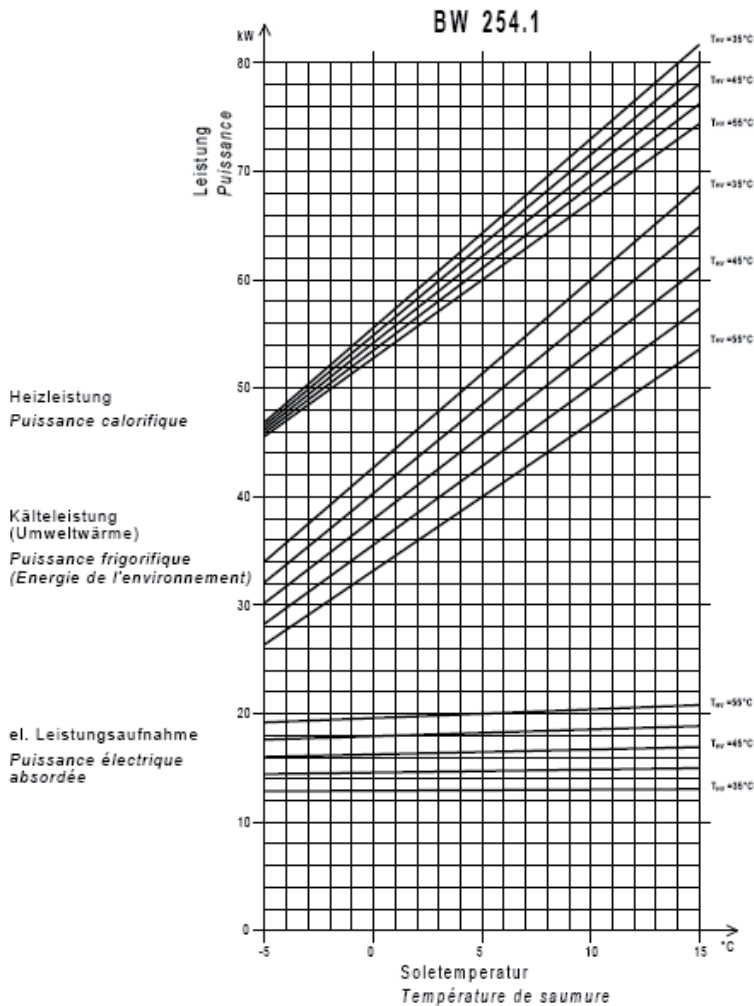
Također, na slici 6 i tablicama 1 i 2 može se uočiti da je efikasnost GDT u velikoj mjeri ovisna i o svojstvima primijenjene djelatne tvari. Tako je npr. COP za rad s R717 20-tak % bolji od COP pri radu s R12. Smanjenje COP realnih procesa u odnosu na teorijski Carnotov proces kreće se u granicama 20%-30% za rad s R717, odnosno 35%-50% pri radu s R12. S druge strane, rad s R12 odvija pri manjim prirastima tlaka u sustavu, odn. s manjim konačnim tlakom što je povoljnije u odnosu prema radu s R717. Još je jedan parametar procesa povoljniji pri radu s R12 u odnosu na R717, a to je dosta niža maksimalna temperatura ( $t_2$ ).

Rezultati proračuna za temperature  $T$  više od 60-tak  $^{\circ}\text{C}$  ( $T > 333\text{K}$ ) trebaju se uzeti s određenom rezervom jer bi u tim slučajevima u stvarnosti bilo probitačno proces kompresije provoditi u dva stupnja s međuhlađenjem. Možda je i to jedan od razloga što proizvođači GDT također preporučuju njihovu primjenu u niskotemperaturnim sustavima i deklariraju radne značajke svojih proizvoda u području do  $55^{\circ}\text{C}$  (vidi sl. 7).



Slika 6. Utjecaj svojstava djelatne tvari i temperature  $T_c$  na COP GDT





Toleranz Leistungswerte 5% /  
Technische Änderungen vorbehalten /

Tolerance power values 5%  
Technical specifications subject to change

Slika 7: Tehničke specifikacije komercijalne DT tipa BW 254 [8]

### 3.3.2 Utjecaj stupnja korisnosti kompresora

Realni uvjeti odvijanja procesa kompresije uzeti su u obzir preko stupnja korisnosti kompresora, a rezultati provedenih termodinamičkih proračuna za  $\eta_K=1$ ,  $\eta_K=0.8$  i  $\eta_K=0.6$  za obje razmatrane djelatne tvari dani su u tablici 3 (za amonijak, R717) i tablici 4 (za freon, R12). Dijagramski prikaz rezultata dan je na slici 8 za R717 i na slici 9 za R12, gdje su uspoređena tri nivoa parametra  $\eta_K$  ( $\eta_K=1$ ,  $\eta_K=0.8$  i  $\eta_K=0.6$ ). Na slikama 10 i 11 prikazana je ovisnost rezultata o temperaturi nakon kompresije  $t_2$ . Kod obje djelatne tvari može se uočiti da

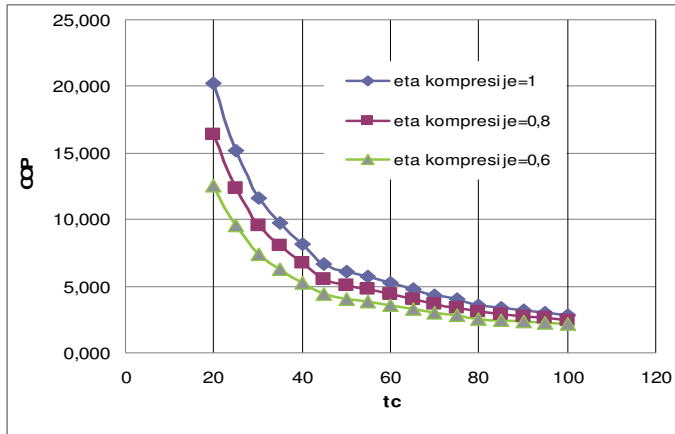
svi rezultati padaju u istu krivulju, no treba obratiti pažnju na iznos konačne temperature u procesu (kao važnog procesnog parametra), kako ovisno o stupnju korisnosti kompresora ( $\eta_K$ ) tako i u ovisnosti o izboru realne djelatne tvari (R717, odn. R12). Temperatura  $t_2$  raste sa smanjenjem stupnja korisnosti, a to je nepovoljno za praktično odvijanje procesa.

Tablica 3. Rezultati proračuna za R717,  $\eta_K=1$ ,  $\eta_K=0.8$  i  $\eta_K=0.6$ ,  $\Delta T_i=\Delta T_c=0K$

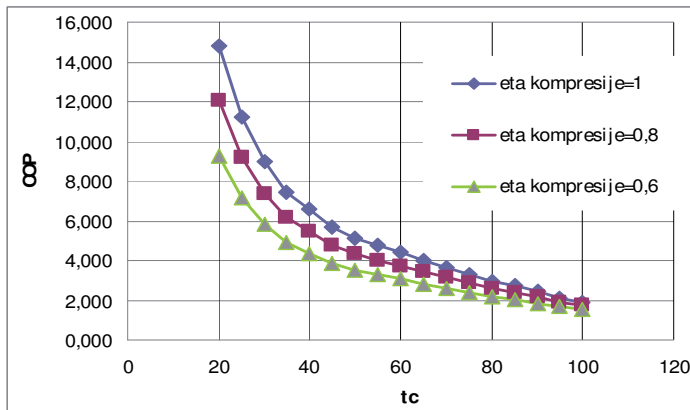
Točka broj	$t_i$ °C	$t_c$ °C	$t_{2,1.0}$ °C	$COP_{1.0}$ -	$t_{2,0.8}$ °C	$COP_{0.8}$ -	$t_{2,0.6}$ °C	$COP_{0.6}$ -
1.	10	20	35	20,246	38	16,397	49	12,548
2.	10	25	42	15,185	51	12,348	62	9,511
3.	10	30	53	11,651	62	9,521	78	7,391
4.	10	35	60	9,762	75	8,010	97	6,257
5.	10	40	76	8,146	91	6,717	113	5,287
6.	10	45	91	6,667	109	5,533	137	4,400
7.	10	50	98	6,119	122	5,096	152	4,072
8.	10	55	109	5,758	130	4,807	163	3,855
9.	10	60	115	5,238	140	4,390	177	3,543
10.	10	65	130	4,801	152	4,041	191	3,280
11.	10	70	140	4,288	170	3,631	211	2,973
12.	10	75	150	3,987	185	3,389	227	2,792
13.	10	80	170	3,586	205	3,069	249	2,552
14.	10	85	178	3,390	217	2,912	267	2,434
15.	10	90	188	3,181	229	2,744	274	2,308
16.	10	95	200	3,018	239	2,615	288	2,211
17.	10	100	210	2,845	245	2,476	305	2,107

Tablica 4. Rezultati proračuna za R12,  $\eta_K=1$ ,  $\eta_K=0.8$  i  $\eta_K=0.6$ ,  $\Delta T_i=\Delta T_c=0K$ ,  $T_0=283K$

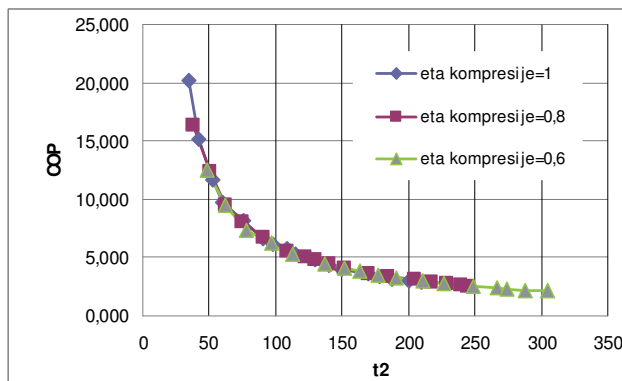
Točka broj	$t_i$ °C	$t_c$ °C	$t_{2,1.0}$ °C	$COP_{1.0}$ -	$t_{2,0.8}$ °C	$COP_{0.8}$ -	$t_{2,0.6}$ °C	$COP_{0.6}$ -
1.	10	20	25	14,800	28	12,040	32	9,280
2.	10	25	28	11,231	34	9,185	44	7,138
3.	10	30	35	9,000	44	7,400	50	5,800
4.	10	35	41	7,474	52	6,179	59	4,884
5.	10	40	46	6,619	57	5,495	70	4,371
6.	10	45	55	5,708	66	4,767	77	3,825
7.	10	50	60	5,154	70	4,323	86	3,492
8.	10	55	63	4,778	72	4,022	92	3,267
9.	10	60	66	4,429	77	3,743	97	3,057
10.	10	65	75	4,033	80	3,427	106	2,820
11.	10	70	80	3,656	89	3,125	112	2,594
12.	10	75	85	3,324	96	2,859	117	2,394
13.	10	80	90	2,973	104	2,578	126	2,184
14.	10	85	100	2,718	114	2,374	132	2,031
15.	10	90	108	2,429	126	2,143	141	1,857
16.	10	95	128	2,102	137	1,882	149	1,661
17.	10	100	135	1,922	145	1,737	158	1,553



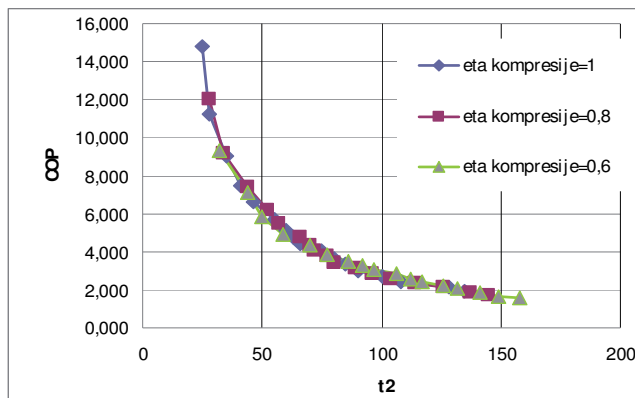
Slika 8. Utjecaj stupnja djelovanja kompresora i temperature  $T_c$  pri radu s R717



Slika 9. Utjecaj stupnja djelovanja kompresora i temperature  $T_c$  pri radu s R12



Slika 10. Rezultati za GDT s R717 u ovisnosti o temperaturi  $t_2$



Slika 11. Rezultati za GDT s freonom R12 u ovisnosti o temperaturi  $t_2$

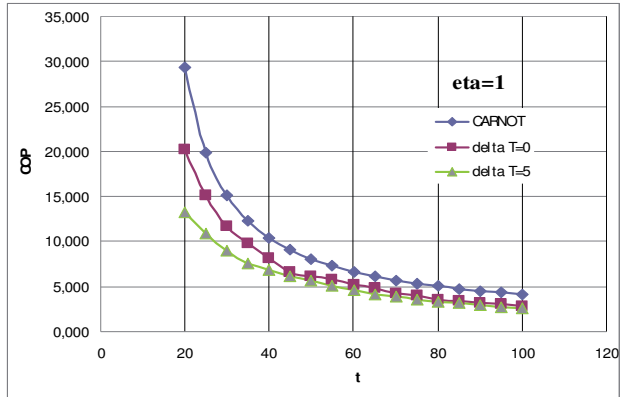
### 3.3.3 Utjecaj realne razlike temperatura u isparivaču i kondenzatoru

Tablica 5. Rezultati proračuna za R717,  $\Delta T_i = \Delta T_c = 5K$ ,  $\eta_K = 1, 0,8$  i  $0,6$ ,  $T_0 = 283K$

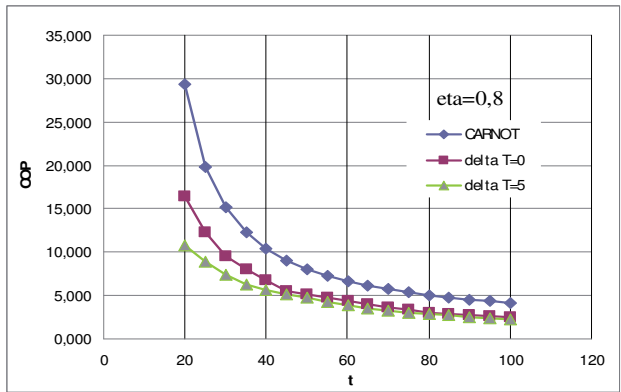
Točka broj	$t_0$ °C	$t_{i,R}$ °C	$p_{i,R}$ bar	$t$ °C	$t_{c,R}$ °C	$p_{c,R}$ bar	$t_{2,R,1.0}$ °C	$COP_{R,1.0}$ -	$t_{2,R,0.8}$ °C	$COP_{R,0.8}$ -	$t_{2,R,0.6}$ °C	$COP_{R,0.6}$ -
1.	10	5	5,2	20	25	10,1	46	13,280	60	10,824	74	8,368
2.	10	5	5,2	25	30	12	56	10,929	71	8,943	97	6,958
3.	10	5	5,2	30	35	13,5	67	8,949	86	7,359	118	5,770
4.	10	5	5,2	35	40	15,5	76	7,577	99	6,261	139	4,946
5.	10	5	5,2	40	45	17,8	91	6,882	111	5,706	147	4,529
6.	10	5	5,2	45	50	20	100	6,162	122	5,129	166	4,097
7.	10	5	5,2	50	55	23	109	5,681	136	4,745	174	3,808
8.	10	5	5,2	55	60	26	121	5,084	148	4,267	208	3,450
9.	10	5	5,2	60	65	29	130	4,601	163	3,881	222	3,160
10.	10	5	5,2	65	70	33	142	4,184	177	3,547	241	2,910
11.	10	5	5,2	70	75	37	153	3,850	192	3,280	260	2,710
12.	10	5	5,2	75	80	42	168	3,550	213	3,040	277	2,530
13.	10	5	5,2	80	85	46	178	3,324	226	2,859	298	2,394
14.	10	5	5,2	85	90	52	190	3,150	234	2,720	321	2,290
15.	10	5	5,2	90	95	57	202	2,940	250	2,552	347	2,164
16.	10	5	5,2	95	100	63	214	2,775	261	2,420	368	2,065
17.	10	5	5,2	100	105	69,5	224	2,614	270	2,291	389	1,968

Utjecaj realne temperaturne razlike u isparivaču i kondenzatoru ovdje je ispitan samo na jednoj dodatnoj razini ( $\Delta T_i = 5K$  i  $\Delta T_c = 5K$ ) te bi se on trebao još dodatno istražiti posebno za  $\Delta T_i$  i posebno za  $\Delta T_c$ . No, već i ovi rezultati pokazuju da  $\Delta T$  vrlo nepovoljno utječe na energetska efikasnost GDT i da stoga u realnim uvjetima treba nastojati da se postigne što niži  $\Delta T$ , kako u isparivaču, tako i u kondenzatoru. Budući da  $\Delta T$  utječe i na potrebnu veličinu površine za izmjenu topline, treba se provesti optimiranje s obzirom na oba utjecajna faktora.

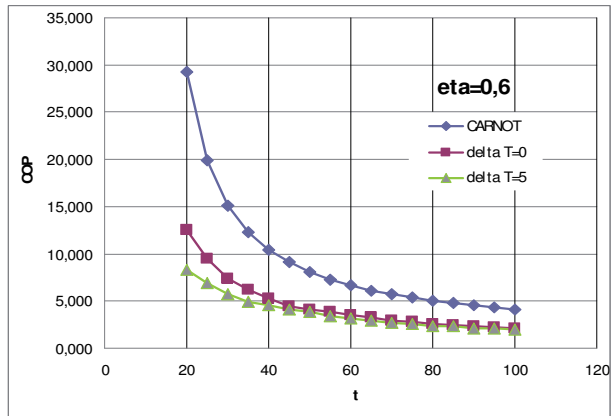
Rezultati ovdje provedenih proračuna dani su u tablici 5 i na slikama 12 do 14.



Slika 12. Utjecaj  $\Delta T_i$  i  $\Delta T_c$  na COP GDT s R717 za  $\eta_K=1$



Slika 13. Utjecaj  $\Delta T_i$  i  $\Delta T_c$  na COP GDT s R717 za  $\eta_K=0.8$

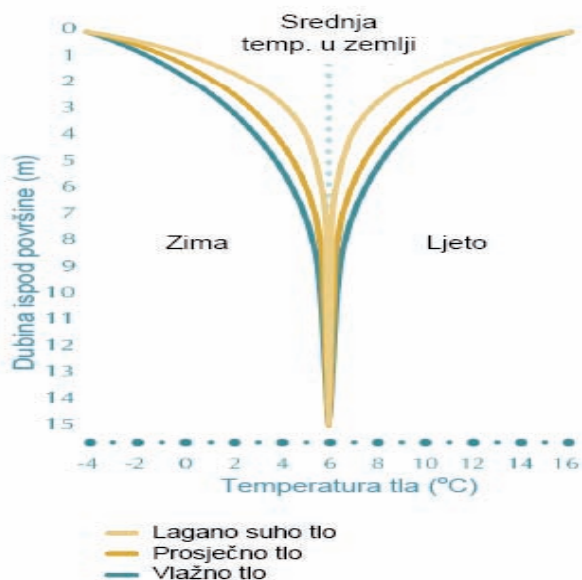


Slika 14. Utjecaj  $\Delta T_i$  i  $\Delta T_c$  na COP GDT s R717 za  $\eta_K=0.6$

## 4. GDT S VERTIKALNIM DUBINSKIM SONDAMA

### 4.1. Tlo kao toplinski izvor

Kako je već istaknuto u Uvodu, GDT su DT koje koriste toplinsku energiju iz unutrašnjosti Zemlje, posebno energiju akumuliranu u tlu. Tlo je prirodni akumulator topline koja jednim dijelom potječe od Sunčeve energije, a drugim dijelom od toplinskog toka zbog geoloških aktivnosti Zemlje. Geotermalna energija je posljedica raznih procesa koji se zbivaju u dubinama Zemlje (raspadanja izotopa i sl), gdje temperatura iznosi više od 4000 °C, a nastala se toplina kroz slojeve Zemljine kore odvodi prema površini. Geotermalni gradijent tla u Europi prosječno iznosi 0,03 °C/m, dok su u Hrvatskoj uobičajene vrijednosti u području Dinarida 0,015 do 0,025 °C/m, a u Panonskom području oko 0,04 °C/m [9]. Ispitivanjima je utvrđeno da se temperatura tla do oko 10 m dubine mijenja zbog atmosferskih utjecaja, a na većim dubinama je razmjerno stalna tijekom čitave godine (slika 15). Na dubini 10-tak m tlo je i zimi i ljeti podjednako toplo (od 8° do 12°C) pa se ono može iskoristiti kao izvor topline za grijanje zimi, odnosno kao izvor hladnoće pri hlađenju ljeti.



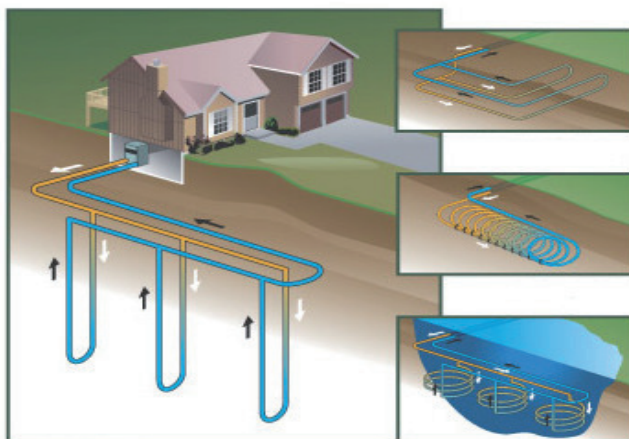
Slika 15. Temperature tla po dubini u ovisnosti o sezoni i vrsti tla

Osnovna značajka tla kao toplinskog izvora je sposobnost pohrane toplinske energije tokom cijele godine. Izmjena topline s tlom ovisi o gustoći, sastavu, koeficijentu toplinske vodljivosti tla, te specifičnom odavanju topline. Toplinska svojstva tla prije svega ovise o vlažnosti i o zračnim prostorima u samim slojevima. Akumulacijska sposobnost zemlje najveća je u vrlo vlažnim tlima s velikim udjelom mineralnih tvari i s malo pora.

### 4.2. Izvedbena rješenja GDT i njihove osnovne značajke

Za iskorištavanje topline tla postavlja se odgovarajući izmjenjivač topline kojim se djelatna tvar dovodi do DT, a s obzirom na način polaganja cijevi u zemlji razlikuju se dvije

osnovne skupine: 1) s horizontalnim (vodoravnim) izmjenjivačem, kao kolektorsko polje cijevi, i 2) s vertikalnim izmjenjivačem, kao dubinske sonde (slika 16). Kao radni medij za izmjenjivače u zemlji najčešće se koristi rasolina (smjesa etilenglikola ili propilenglikola i vode) čija temperatura u uvjetima punog opterećenja (neprekidan rad tijekom više hladnih zimskih dana) ne bi smjela pasti ispod  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Slika 16. Shema mogućih izvedbi izmjenjivača topline u tlu

Kolektorsko polje cijevi u zemlju se polaže u jednom ili više slojeva na dubini 1,5 do 2 m s razmakom između cijevi 0,8 do 1,2m, te s duljinom pojedinačne cijevi do 100 m. Mogućnost oduzimanja topline iz zemlje ovisi o brojnim čimbenicima i iznosi prosječno 15 do  $40\text{ W/m}^2$ . To znači da je za 1 kW toplinske snage potrebno 20 do  $40\text{ m}^2$  horizontalne plohe. Približno vrijedi da za svaki zagrijavani  $\text{m}^2$  prostora treba postaviti od 1,5 do 2 m cijevi pa slijedi da se kolektorska polja mogu ugrađivati prvenstveno tamo gdje su na raspolaganju veće površine zemljišta. Da bi se veličina potrebne površine terena za ugradnju podzemnih izmjenjivača smanjila razvijene su posebne konstrukcije izmjenjivača (slike 16 i 17).



Slika 17 Posebne izvedbe horizontalno položenih izmjenjivača (kolektorska polja)

Vertikalni izmjenjivači s dubinskim toplinskim sondama postavljaju se u slučajevima kada ne postoji dovoljno velika površina za kolektorsko polje, odnosno kada se želi iskorištavati geotermalna energija dubljih slojeva konstantne temperature tijekom cijele godine (sl. 15 i 16). Kod ovog sustava primarni je toplinski tok Zemljine kore, a ne direktno Sunčevo zračenje kao kod horizontalnih izmjenjivača. Prilikom izrade sustava sa sondama izvodi se vertikalno bušenje tla, a u bušotinu se polažu izmjenjivači topline najčešće kao dvostruke U-cijevi izrađene od polietilena. Dubina bušotine ovisi o površini stambenog prostora, no najčešće se ipak izvode sonde s dubinama 60 - 100 m. Ako struktura tla onemogućuje izvedbu dubokih bušotina, problem se rješava bušenjem nekoliko plićih (npr. do 50, 30 ili 20 m) tako da njihova ukupna duljina omogućuje prikupljanje potrebne količine topline. Prosječni godišnji toplinski učin kreće se od 35 - 100 W/m. Kao okvirna proračunska veličina može se uzeti 50 W/m. Promjer bušenja ovisi o sastavu tla i promjeru cijevi izmjenjivača. Uobičajeno se koriste cijevi promjera 32 ili 40 mm a promjer bušotine pri tom je 140 - 165 mm. Međuprostor bušotine i cijevi ispunjava se suspenzijom bentonit+cement+voda prema točno određenom omjeru. Punjenje suspenzijom potrebno je kako bi se ostvario kvalitetni prijenos topline od zemlje na sondu. U cijevima se nalazi mješavina etilenglikola i vode kao osiguranje od smrzavanja pri niskim temperaturama. Prijenos topline od zemlje do dizalice topline obavlja se cirkulacijom sekundarne djelatne tvari kroz sonde (sl. 4) pomoću cirkulacijske pumpe koja se nalazi u toplinskoj stanici. Toplinske sonde imaju vijek trajanja 100 i više godina, a kod procjene ulaganju i ovo može biti jedan od odlučujućih faktora. Sustav sa sondama ne traži veliku raspoloživu površinu. Površina iznad zemljanih sondi može se asfaltirati i bez posebnih je ograničenja. Sustav je stabilan i kao takav najčešće je korišten sustav DT u Europi. Osnovno i jedino ograničenje primjene je povećano investicijsko ulaganje, pri čemu je velika stavka samo bušenje.

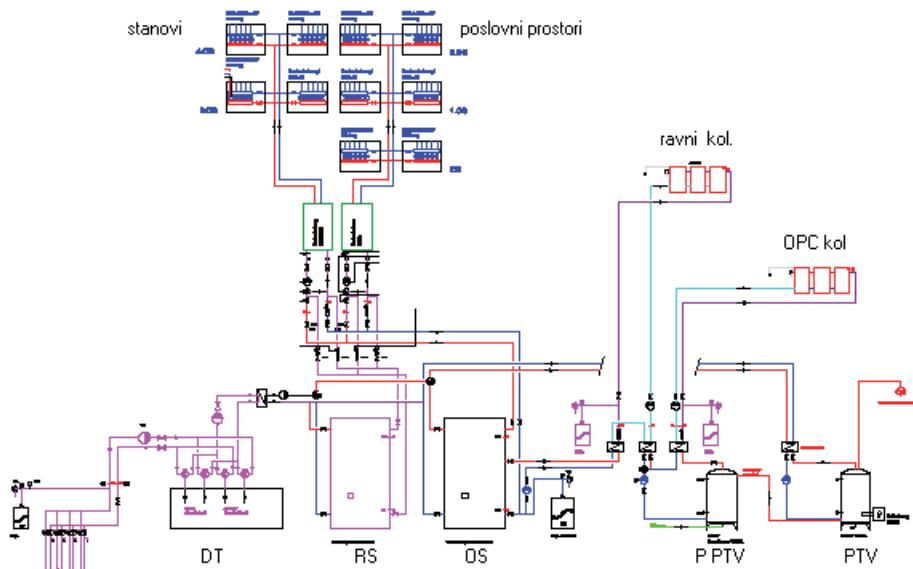
Dubinske su sonde manje osjetljive na vanjske klimatske promjene pa predstavljaju najpouzdaniji trajni izvor topline. U našoj zemlji postoje područja s povoljnijim temperaturnim gradijentom, najčešće u blizini poznatih geotermalnih izvora, gdje već u dubini od nekoliko metara temperatura raste iznad prosječnih vrijednosti. Tu se ugradnjom sondi (i podzemnih kolektora) postižu izvanredni rezultati pa se grijanjem stambenog prostora i sanitarne tople vode može ostvariti natprosječna godišnja ušteda energije. Mnoga područja u Hrvatskoj imaju i relativno visoku razinu podzemnih voda koja također ima konstantnu temperaturu od 7° do 12°C. Tu se može primijeniti poseban tip sondi u paru, gdje jedna crpi podzemnu vodu i dovodi je do DT, a potom druga vraća ohlađenu vodu u tlo. Primjena GDT najekonomičnija je u dobro izoliranim kućama s niskotemperaturnim podnim grijanjem (22°-25°C) gdje temperature polaznog voda ( $\leq 35^{\circ}\text{C}$ ) i povratnog voda ( $\leq 30^{\circ}\text{C}$ ) omogućuju visoku ekonomičnost i potpunu udobnost.

Cijena investicije u sustave s GDT ovisi o brojnim čimbenicima od lokacije, veličine i izoliranosti kuće, do geološkog sastava tla. Međutim, dosadašnja njemačka iskustva, na uzorku od 30.000 do 40.000 ugrađenih sustava godišnje, pokazuju da cijela instalacija grijanja s GDT ne košta više od kvalitetnijeg konvencionalnog centralnog grijanja. Cijena dizalice topline može se usporediti s cijenom visokokvalitetnog kotla za centralno grijanje, no troškovima treba nužno pribrojiti spremnike tople vode, dodatni spremnik s izmjenjivačem i dodatnim električnim grijačem, uređaje za automatsku regulaciju, senzore, PE-X-cijevi i pripremu tla za ugradnju sonde ili podzemnog kolektora. Uz izvedbu podnog grijanja prosječni sustav s GDT košta 10.000 do 20.000 EUR. Pri tom valja imati na umu da tijekom upotrebe nema dodatnih troškova za kupnju energenata osim struje za pogon kompresora, a svakako treba uzeti u obzir i ekološke pogodnosti i dugoročnu isplativost sustava GDT.



#### 4.3. Primjer prve GDT s vertikalnim sondama u Hrvatskoj

Za ilustraciju u nastavku su ukratko opisane neki aspekti primjene GTD s vertikalnim dubinskim sondama za grijanje i hlađenje energetski visoko učinkovite poslovno stambene zgrade u Osijeku [3]. Zgrada se opskrbljuje toplinskom energijom isključivo iz obnovljivih izvora. Osnovni element sustava opskrbe potrebnom energijom za grijanje i hlađenje te pripremu sanitarne tople vode (PTV) je DT koja je dodatno potpomognuta s grupom solarnih pločastih toplinskih kolektora smještenih na krovu zgrade. U planu je bila i ugradnja dodatnih vakuumsko-cijevnih (OPC) solarnih toplinskih kolektora na južnoj fasadi zgrade i na ogradama balkona i izrada sezonskog spremnika topline s vrućom vodom ukopanog u zemlju ispod buduće lamele 4, no od toga se odustalo u ovoj fazi. U sustavu se nalaze spremnici topline, tzv. dnevni spremnici topline, koji na određeni način uravnotežuju neravnomjernu i neistovremenu potražnju i proizvodnju energije. Pri tom su predviđena dva spremnika za PTV volumena od po 1000 l i dva veća spremnika od po 3000 l, jedan za potrebe grijanja (ogrjevni spremnik OS) i jedan za potrebe hlađenja (rashladni spremnik RS). Konceptija sustava dana je na toplinskoj shemi na slici 18.



Slika 18. Shema sustava grijanja i hlađenja te pripreme PTV [3]

U sustavu niske temperature grijanja i hlađenja (podno i/ili stropno grijanje/hlađenje) koristi se voda (temperature polaznog voda nisu niže od  $15^{\circ}\text{C}$  pa nema opasnosti od smrzavanja). U DT i solarnim spremnicima nalazi se tekućina otporna na smrzavanje. Svugdje gdje se prenosi toplina s jednog (vode) na drugi (nesmrzavajući) medij i obrnuto koriste se izmjenjivači topline, a strujanje medija kroz izmjenjivače osiguravaju pumpe. U dijelu potrošnje razdvojen je sustav grijanja/hlađenja poslovnih prostora od sustava grijanja/hlađenja stanova. Pri tom svaka zasebna jedinica ima samo po jedan dovodni i odvodni cjevovod za ogrjevno-rashladni medij s individualnim mjerenjem potrošnje toplinske i rashladne energije te po jedan dovodni cjevovod za PTV i hladnu vodu na koje je također

moguće postaviti mjerace protoka za registraciju i naplatu potrošnje. S obzirom na široke mogućnosti i različite moduse rada sustava postavljeni su troputni ventili koji omogućavaju hidrauličko prespajanje iz jednog u drugi radni režim. U sustavu se zbog razloga sigurnosti nalaze ekspanzijske posude i sigurnosni ventili koji sprječavaju neželjena povećanja tlaka i oštećenja cjevovoda, spremnika i ostalih elemenata sustava (solarni kolektori, GDT, pumpe, izmjenjivači topline). Pri tom sustav (nekompletan sustav bez druge grupe solarnih kolektora i SST) može raditi na sljedeće načine:

- grijanje zimi korištenjem DT preko OS
- grijanje PTV energijom solarnih kolektora
- dogrijavanje PTV pomoću DT
- hlađenje ljeti bez DT (pasivno hlađenje, free cooling)
- hlađenje ljeti s DT preko RS (aktivno hlađenje)

Kompletan sustav sa svim elementima (DT, OPC kolektori, OS, RS, spremnici PTV, ravni kolektori, SST) osim gore spomenutim modusa omogućava dodatno sljedeće načine rada:

- grijanje zimi korištenjem DT potpomognuto sa SST
- grijanje zimi korištenjem DT potpomognuto sa SST i solarnim OPC kolektorima
- grijanje u prijelaznim režimima samo pomoću SST i/ili solarnih spremnika
- spremanje viškova toplinske energije solarnih kolektora u bilo kojem periodu u SST

Da bi se ovi modusi rada mogli odvijati ponekad i istovremeno pojedini dijelovi sustava rade autonomno, a akumulacijski spremnici im to omogućavaju.



Slika 19. Bušenje vertikalnih bušotina za postavljanje U-cijevi izmjenjivača (2008. godine)

Dizalica topline DT smještena je u podrumskom prostoru i s jedne strane hidraulički povezana posredstvom nesmrzavajućeg medija s 10 vertikalnih sondi dubine po 105 m. (Izrada bušotina u dvorištu zgrade za postavljanje U cijevi izmjenjivača topline prikazana je na slici 19.) DT je s druge strane preko izmjenjivača topline povezan s ogrjevnim i/ili rashladnim spremnikom i ovdje se koristi voda kao prijenosnik topline kako za grijanje, tako i

za hlađenje. DT je dimenzionirana tako da temperatura u isparivaču nikad ne dosegne temperaturu ispod 0°C. Preko DT zagrijava se ogrjevni spremnik za vodu, volumena 3000 l, odnosno alternativno se zagrijava spremnik za PTV.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su opisane termodinamičke osnove kompresijskih dizalica topline, s posebnim osvrtom na geotermalne dizalice topline (GDT) koje se u razvijenim zapadnim zemljama već izrazito puno koriste. Na žalost primjena u Hrvatskoj je tek na samom početku te je nakana ovog rada poticanje većeg korištenja ove napredne, energetske vrlo efikasne, tehnologije iskorištavanja obnovljivih izvora energije. Dan je prikaz mogućih sustava GDT s njihovim najznačajnijim tehničkim detaljima te je ukratko prezentiran i prvi domaći primjer primjene GDT. Ovaj je sustav izveden s 10 vertikalnih sondi dubine 105 m, a koristi se za potrebe grijanja i hlađenja jedne stambeno poslovne, energetske vrlo učinkovite zgrade, čije se ukupne toplinske potrebe pokrivaju isključivo iz obnovljivih izvora energije.

Provedene su analize utjecaja temperature radnog medija u GDT na rad i termodinamički stupanj iskorištenja, odnosno faktor grijanja (COP). Istražen je i utjecaj svojstava realnog radnog medija i parametara nepovratljivih realnih procesa, kao što su konačna temperaturna razlika za izmjenu topline u isparivaču i kondenzatoru te stupanj korisnosti kompresora. Dane su usporedbe realnih procesa s teorijskim, termodinamički najpovoljnijim, ljevokretnim povratljivim Carnotovim procesom. Rezultati opsežnih termodinamičkih proračuna prikazani su tablično i dijagramski. Posebno su istaknute i rezultatima potvrđene prednosti primjene GDT u niskotemperaturnim sustavima.

## 6. LITERATURA

1. B. Labudović, *Osnove primjene dizalica topline*, Energetika marketing, Zagreb, 2009.
2. R. Budin, A. Mihelić-Bogdanić, *Osnove tehničke termodinamike*, Školska knjiga, Zagreb, 2002.
3. V. Filipan, T. Dörig, M. Sesartić, A. Jukić, *Primjena obnovljivih izvora energije i strojarstvo energetske tehnologije* u Studiji izvodljivosti *Primjena tehnologija energetske učinkovitosti na stambeno – poslovnoj građevini „Agria“ Osijek*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2007.
4. B. Pavković, *Radni procesi i toplinski izvori za dizalice topline*, Tehnički fakultet u Rijeci, Rijeka, 2006.
5. [http://frigan.hr/toplinske\\_pumpe.htm](http://frigan.hr/toplinske_pumpe.htm)
6. <http://mcsolar.hr/toplinske-pumpe.php>
7. <http://energetika-net.hr>
8. <http://www.viessmann.hr/>
9. G. Granić (ur), *Nacionalni energetske programi. GEOEN – program korištenja geotermalne energije*. Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 1998.
10. <http://www.eihp.hr>

## GEOTHERMAL HEAT PUMPS

Ivana Valek<sup>1</sup>, Karlo Filipan<sup>2</sup>, Prof. dr. sc. Veljko Filipan<sup>1</sup>


<sup>1</sup>Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb  
10000 Zagreb, Savska 16, Croatia

<sup>2</sup>Faculty of Electrical Engineering and Computing University of Zagreb  
10000 Zagreb, Unska 3, Croatia

### ABSTRACT

The thermodynamic aspect of heat pump operation is briefly described at the beginning of the paper, and then special attention is given to geothermal heat pumps (GHP). Although the application of GHP has an increasing trend in the world, their use in Croatia is still in the starting phase. The aim of this article is therefore to encourage the domestic application of GHP as an advanced technology of renewable energy use. With the same aim the example of the first domestic application of GHP concept with vertical borehole ducts is also included in the paper. This GHP is applied for the purpose of heating and cooling of an energy efficient business and residential building whose total thermal energy demands are covered exclusively from renewable energy sources. The advantages of GHP applications in low-temperature systems are stressed. They are documented by the investigation of the influence of GHP working media temperatures on its coefficient of performance (COP). The impact of real working media properties and other parameters of real processes (e.g. the temperature difference needed for the real heat exchange in evaporators and condensers, as well as the compressor efficiency) is analyzed and the comparison of real thermodynamic processes to the thermodynamically most favorable Carnot process is made. The intension of the paper is to help better understanding of this very prosperous technology, and to encourage the development, production and also to increase the applications of GHP in Croatia.

**KEW WORDS:** heat pump, geothermal heat pump, coefficient of performance (COP), working media, real temperature difference, compressor efficiency, low-temperature heating and cooling systems


 HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.

## INDIVIDUALNO MJERENJE TOPLINSKE ENERGIJE, ZAKONSKA REGULATIVA I OSTVARENE UŠTEDE

Robert Krklec, dipl. ing.

INTERKLIMA 2009  
Međunarodni simpozij  
Zagreb, 23.i 24. travnja 2009.

24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 1

 HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.

### DJELATNOSTI PROIZVODNJE, DISTRIBUCIJE I OPSKRBE TOPLINSKOM ENERGIJOM U HEP GRUPI

HEP – PROIZVODNJA d.o.o.  
- proizvodnja

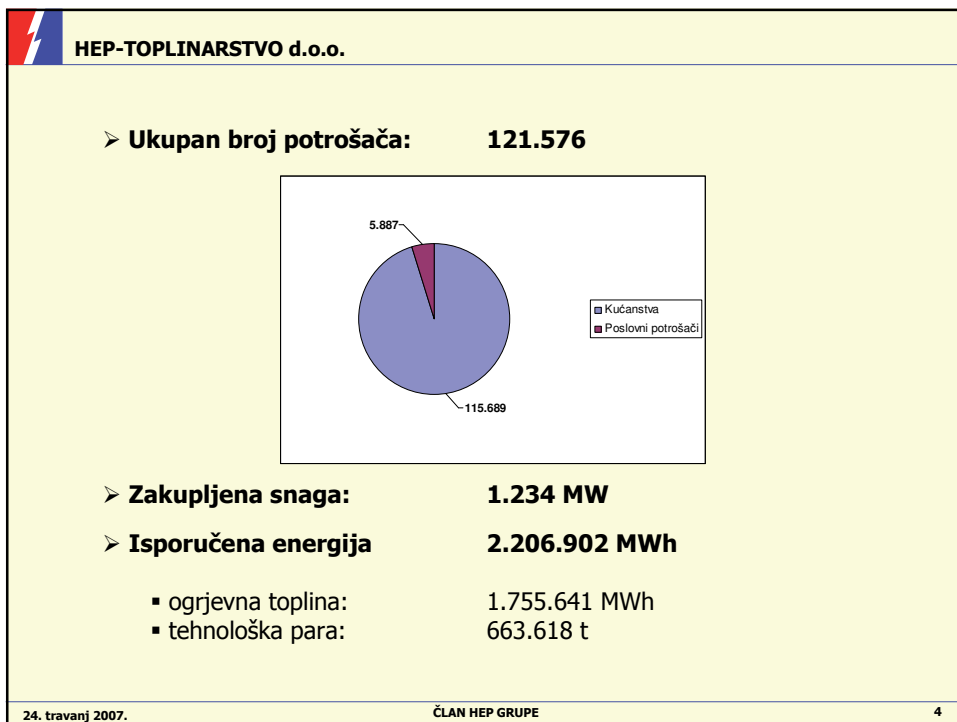
HEP – TOPLINARSTVO d.o.o.  
- proizvodnja  
- distribucija  
- opskrba

*Dobivene energetske  
dozvole od VRED-a na rok  
od 15 godina!*



**U HEP TOPLINARSTVU d.o.o. obavljaju se sljedeći poslovi:**

- Proizvodnja ogrjevne topline
- Distribucija ogrjevne topline i tehnološke pare
- Razvoj i izgradnja toplinskih postrojenja i mreža
- Ekonomski, financijski, pravni poslovi i poslovi informatičke potpore

24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 2



**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

- osnovni problem poslovanja i razvoja toplinske djelatnosti predstavlja nerealan odnos cijena goriva (loživo ulje i zemni plin) kao glavnog ulaznog troška proizvodnje toplinske energije u kogenerativnim procesima i zasebnim kotlovnica (te se cijene tržišno formiraju i/ili su na razini maloprodajnih cijena), te prodajnih cijena toplinske energije
- prodajne cijene toplinske energije su donedavno bile pod kontrolom jedinica lokalne samouprave, a sada Vlade, te su pod snažnim pritiskom socijalne politike ali bez subvencije iz budžeta
- navedeni problem je osim u HEP - TOPLINARSTVU d.o.o. prisutan i u svim ostalim energetske subjektima koje se bave proizvodnjom, distribucijom i opskrbom toplinske energije (Varaždin, Karlovac, Rijeka, Slavonski Brod, Vukovar, Vinkovci, Koprivnica, Virovitica, Split i dr.).
- svi ili najveća većina ovih energetske subjekata ~~posluje~~  s gubitcima i ponegdje je u potpunom tehnološkom kolapsu ~~ima~~  mogućnosti investiranja u zamjenu postojeće tehnologije samostojećih kotlovnica koja je nužna iz slijedećih razloga:

24. travanj 2007.

ČLAN HEP GRUPE

5

**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

- prosječna starost malih toplana i kotlovnica - preko 20 godina
- niska efikasnost iskorištenja goriva (oko 70% zbog rada kod tehničkog minimuma)
- visoki troškovi održavanja
- loš utjecaj na okoliš
- rješenje ovih problema definitivno je započelo uređenjem sustava, odnosno donošenjem odgovarajućeg zakona i podzakonskih akata, što predstavlja pozitivnu prekretnicu za djelatnost toplinarstva
- donošenjem svih podzakonskih akata provesti će se reforma energetske djelatnosti toplinarstva i definirati pravni okvir za obavljanje energetske djelatnosti proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom usklađen sa propisima EU, što će u konačnici rezultirati značajnijim razvojem toplinske djelatnosti na cijelom području RH, a što osobito znači: uređenje odnosa u obavljanju reguliranih djelatnosti, osobito javne usluge distribucije toplinske energije putem ugovora o koncesiji, poticanje izgradnje kogeneracijskih objekata, ozakonjenje mjerenja toplinske energije (po stanovima u postojećim zgradama), **uspostavu tržišnih odnosa između utrošenih energenata i proizvedene energije (!?)**

24. travanj 2007.

ČLAN HEP GRUPE

6

**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

### SWOT analiza

<p><b>Unutarnje snage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ viši standard pružanja usluga</li> <li>▪ mogućnost pružanja energetske (ESCO) usluga i uvođenje mjerenja i regulacije</li> <li>▪ učinkovito korištenje prirodnog plina (energetska strategija)</li> <li>▪ smanjenje emisije u okoliš</li> <li>▪ sigurnost opskrbe</li> </ul>	<p><b>Vanjske prilike</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ novi, posebno veliki potrošači</li> <li>▪ uštede kroz obnovu mreže</li> <li>▪ novi sustavi na obnovljive izvore</li> <li>▪ JPP</li> <li>▪ sredstva iz pretpripravnih i sličnih fondova</li> </ul>
<p><b>Unutarnje slabosti</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dotrajalost opreme i infrastrukture</li> <li>▪ cijena goriva – način određivanja cijena</li> <li>▪ nedovoljna usmjerenost na potrošače</li> <li>▪ marketing</li> <li>▪ naplata</li> <li>▪ upravljanje ljudskim resursima (HRM)</li> </ul>	<p><b>Vanjske prijetnje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nedovoljna regulativa za energetske učinkovitost</li> <li>▪ niži životni standard</li> <li>▪ niska razina lokalnog planiranja</li> <li>▪ ne postoje ekonomski poticaji za štednju energije kod krajnjih potrošača</li> <li>▪ razvoj etažnog grijanja na plin</li> <li>▪ loša percepcija kod potrošača</li> </ul>

24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 7

**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

### Važnost energetske učinkovitosti u stambenom sektoru

**Oko 80% potrošnje energije u sektoru zgradarstva otpada na grijanje/hlađenje!**

**Oko 85% postojećih objekata ne zadovoljava sadašnje propise o toplinskoj zaštiti!**


- veliki potencijal za moguće uštede energije
- vidljivost – energetska iskaznica
- isplativost ulaganja - prosječno 5 –8 godina
- politička i socijalna osjetljivost
- zaštita okoliša – redukcija emisija CO<sub>2</sub> – Kyoto Protocol

**Dogovoreni europski ciljevi (3x20)...**

- Smanjiti emisiju CO<sub>2</sub> za 20 ili čak 30% do 2020
- Reducirati potrošnju primarne energije za 20% do 2020
- Povećati proizvodnju energije iz OİE do 2020 za 20%

24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 8




 HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.

### ZAKONSKA REGULATIVA

**Zakon o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom (NN 42/05)**

- stupio na snagu 8. travnja 2005.




**Zakon usklađen sa:**

- **SMJERNICAMA I DIREKTIVAMA EUROPSKE UNIJE (Direktiva 2004/8/EZ)**
- **ZAKONOM O ENERGIJI (NN 68/01 i 177/04) i ostalim energetskekim Zakonima**

**Danom stupanja na snagu ZPDATE djelatnost opskrbe toplinskom energijom izuzeta iz Zakona o komunalnom gospodarstvu.**

24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 9

 HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.

### ŠTO DONOSI ZAKONSKA REGULATIVA?




- **ZAKONODAVNI OKVIR ZA FUNKCIONIRANJE I RAZVOJ TOPLINSKE DJELATNOSTI U REPUBLICI HRVATSKOJ**
- **MOGUĆNOST OTVARANJA TRŽIŠTA TOPLINSKE ENERGIJE**
- **OBVEZU RAZVIDNOSTI U POSLOVANJU ENERGETSKIH SUBJEKATA**
- **JEDINSTVENI TARIFNI SUSTAV ZA CIJELO PODRUČJE REPUBLIKE HRVATSKE**
- **OBVEZE ENERGETSKIH SUBJEKATA I KUPACA U POŠTIVANJU TEHNIČKIH PROPISA I POSEBNIH UVJETA**
- **JEDNOZNAČNU PRIMJENU PODZAKONSKIH AKATA ZA CIJELO PODRUČJE RH**

24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 10

**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

**PODZAKONSKI AKTI**  
**za provedbu Zakona o proizvodnji, distribuciji**  
**i opskrbi toplinskom energijom**

- 1. ZAKON O ENERGIJI (NN 68/01 i 177/04)**
  1. Opći uvjeti za opskrbu toplinskom energijom (NN 129/06 )
  2. Pravilnik o naknadi za priključenje na termoenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage (nije donešen)
- 2. ZAKON O REGULACIJI ENERGETSKIH DJELATNOSTI (NN 177/04)**  
 Tarifni sustav za usluge energetske djelatnosti proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom (NN 65/07 i 154/08)
- 3. ZAKON O PROIZVODNJI, DISTRIBUCIJI I OPSKRBI TOPLINSKOM ENERGIJOM (NN 42/05)**
  1. Pravilnik o tehničkim uvjetima za energetske objekte za proizvodnju toplinske energije (nije donešen)
  2. Pravilnik o uvjetima za stjecanje statusa povlaštenog proizvođača toplinske energije (nije donešen)
  3. Uredba o parametrima za utvrđivanje udjela povlaštenog proizvođača toplinske energije u energetske sustavu Republike Hrvatske te o izvorima i iznosu financijske potpore za energetske objekte povlaštenog proizvođača toplinske energije (nije donešena)
  - 4. Pravilnik o načinu raspodjele i obračunu troškova za isporučenu toplinsku energiju (NN 139/08 i 18/09)**




24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 11

**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

**STRATEGIJA RAZVOJA SEKTORA TOPLINARSTVA U RH**  
**Tehno-ekonomске osnove za uvođenje sustava upravljanja**  
**potrošnjom toplinske energije**

- Osnovni razlozi uvođenja
  - gospodarski razvoj uz učinkovitije korištenje energije je nacionalni strateški cilj Hrvatske, a upravljanje potrošnjom (*engl. Demand Side Management - DSM*) je jedna od metoda za ostvarenje ovog cilja
  - izravnavanje krivulje opterećenja (*engl. Load Management*) i
  - uštede energije kod potrošača (kupaca)
- Osvrt na postojeće stanje
  - analize mogućnosti primjene mjera uštede energije kod potrošača i testiranje sustava provedeni su tek u većim sustavima (npr. pilot-projekt ugradnje razdjelnika utrošene toplinske energije kod potrošača na zajedničkom mjerilu u zagrebačkom naselju Vrbik, ugradnja razdjelnika u Sl. Brodu i Rijeci)
  - situacija u manjim sustavima: zastarjeli proizvodni pogoni i dotrajali cjevovodi, prihodi od prodaje topline ne pokrivaju troškove proizvodnje, poteškoće s naplatom - upravljanje potrošnjom nije prioritet


24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 12

 HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.

### STRATEGIJA RAZVOJA SEKTORA TOPLINARSTVA U RH Tehno-ekonomske osnove za uvođenje sustava upravljanja potrošnjom toplinske energije

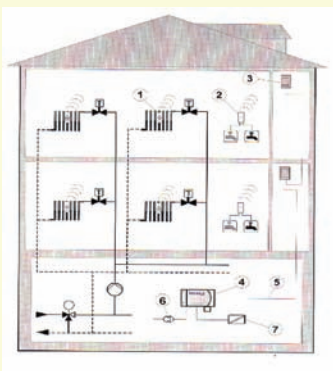
- Opravdanost ugradnje termostatskih ventila i razdjelnika utroška toplinske energije na ogrjevna tijela
  - isplativost ovisi o nizu parametara i to prije svega o ostvarenim uštedama toplinske energije, vrijednosti i vijeku trajanja ugrađene opreme, dogovorenom "ključu obračuna", načinu i uvjetima financiranja, ali i o specifičnostima samog objekta
  - rezultati dosadašnjih analiza ukazuju na relativno nisku internu stopu povrata uloženi sredstava s aspekta potrošača
- Koristi s gledišta zaštite okoliša
  - smanjenje potrošnje fosilnih goriva i emisije štetnih plinova u okoliš

24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 13

 HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.

### HEP – TOPLINARSTVO d.o.o. Mogućnosti individualnog mjerenja potrošnje toplinske energije po stanovima

- ugradnja individualnih toplinskih stanica (IPTS) za pojedinačne stanove **u novim zgradama** – ovi uređaji omogućavaju potpunu individualizaciju potreba za grijanjem i pripremom potrošne tople vode, te potpunu kontrolu potrošnje toplinske energije, a time i troškova za svakog potrošača zasebno
- uvođenje elektroničkih razdjelnika topline po stanu **u postojećim zgradama** kao nužnog elementa koji potiče racionalno korištenje toplinske energije




24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 14

**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

### Pilot projekt Kninski trg 4-5 (1998.)

#### Priprema za uvođenje obračuna izmjerene toplinske energije pomoću razdjelnika

- Proučavanje prakse drugih zemalja u radu sa obračunom toplinske energije izmjerene na zajedničkom mjerilu toplinske energije
- Odabir tehničkog rješenja (isparnički ili elektronski razdjelnici)
- Provođenje pilot projekta u cilju potpunog ovladavanja sustavom
- Obuka djelatnika za svakodnevni rada sa sustavom
- Definiranje pravnog okvira (suglasnosti suvlasnika, izmjena ugovora sa SZ)
- Priprema za implementaciju obračuna pomoću razdjelnika
  - Točno definiranje načina obračuna kroz matematički model
  - Kreiranje izgleda mjesečnog računa za toplinsku energiju
  - Implementacija obračuna u bazu podataka potrošača HEP-Toplinarstva



24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 15

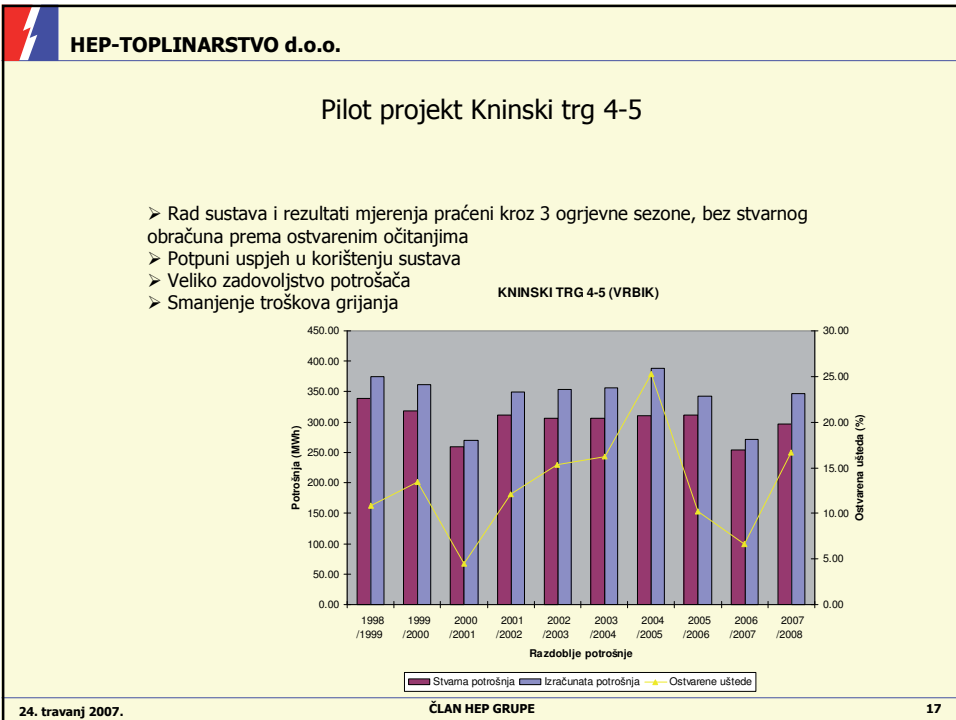
**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

### Pilot projekt Kninski trg 4-5

- Objekt odabran prema nekoliko kriterija (starost, dobna skupina potrošača, uredno podmirivanje računa)
- Ugradnja razdjelnika u prvi objekt na CTS-u (projekt i ugradnja startali u 09/1998)
- Ugrađena oprema Landis&Staefa (razdjelnici WHE22, centralna jedinica OZW20), elektronski razdjelnici sa radio sustavom očitavanja bez potrebe ulaska u stanove, sa centralnom jedinicom kojom je moguće očitavanje na licu mjesta ili telefonskom linijom (uspostavljena)
- Prva ogrjevnja sezona u kojoj je sustav individualnog mjerenja funkcionirao – 1998/1999
- Potrošači nisu u prve tri sezone plaćali prema očitavanjima ugrađenih razdjelnika





24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 16



**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

### Projekt ugradnje razdjelnika toplinske energije u druge stambene objekte u gradu Zagrebu

- Nastavak Pilot projekta temeljen na dobrim iskustvima s Kninskog trga
- Organizacija projekta
  - Javni natječaj za nabavu i ugradnju opreme za mjerenje i regulaciju
  - Medijski istupi i privlačenje pozornosti potrošača
  - Prezentiranje prednosti sustava potrošačima
- Financijska organizacija projekta
  - HEP – Toplinarstvo d.o.o. (dobava i ugradnja zajedničke opreme van stana)
  - Potrošači (dobava i ugradnja opreme u stanu)

24. travanj 2007. **ČLAN HEP GRUPE** 18

**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

## Projekt ugradnje individualnog mjerenja u druge stambene objekte u gradu Zagrebu

- U ljeto 2002. godine oprema ugrađena u 4 stambena objekta
  - Zeleni trg 3 (123 stana)
  - Poljička 4-8 (52 stanova)
  - Poljička 23 (10 stanova)
  - Erlichova 3 (69 stanova)
- U ljeto 2003. godine oprema ugrađena u 1 stambenom objektu
  - Fancevljev prilaz 6-8 (31 stan)
- U ljetima 2004-2008. godine oprema ugrađena u 4 stambena objekta
  - A.Dolenca 10-12 (48 stanova)
  - J.Vogrincina 2a (12 stanova)
  - Haviđićeva 28 (27 stanova)
  - H.Wurtha 12-14 (66 stanova)
- Obračun utrošene energije se vrši u sljedećem omjeru:
  - 60% energije očitane na mjerilu topline prema razdjelnicima
  - 40% energije očitane na mjerilu topline prema udjelu površine
- Način obračuna potrošača na mjernom mjestu koji nisu ugradili razdjelnike
  - Model obračuna
  - Način obračuna na osnovi SDG-a




24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 19

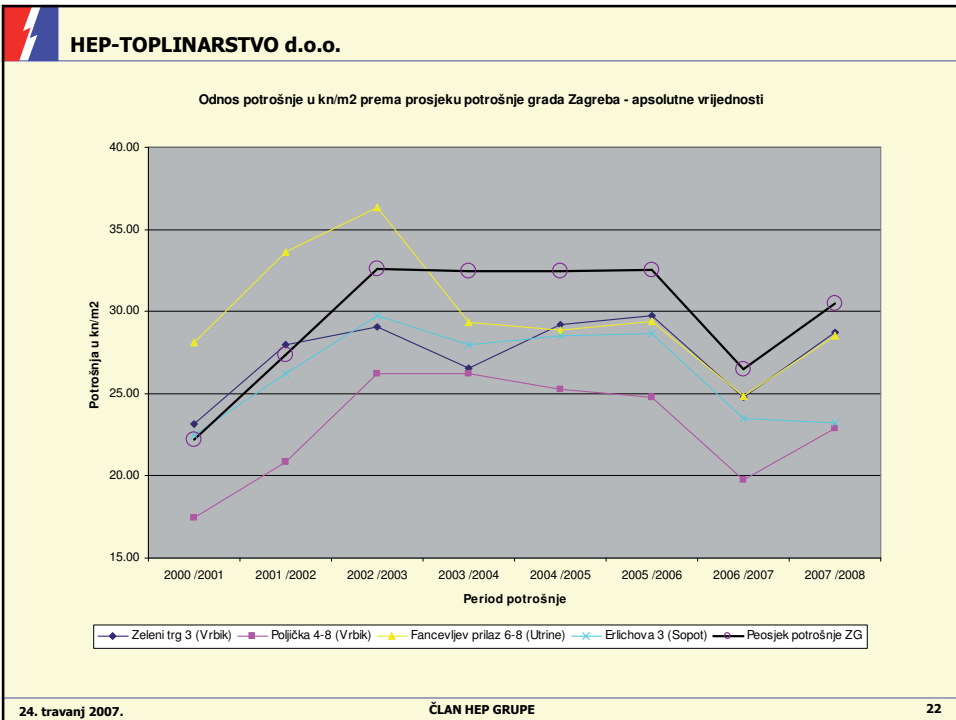
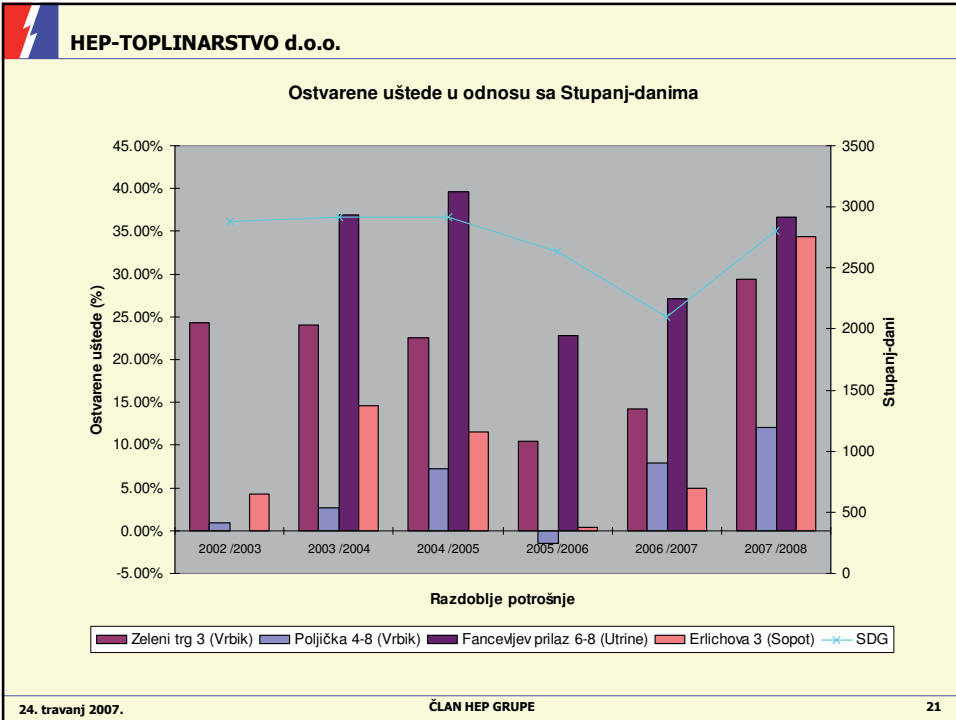
**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

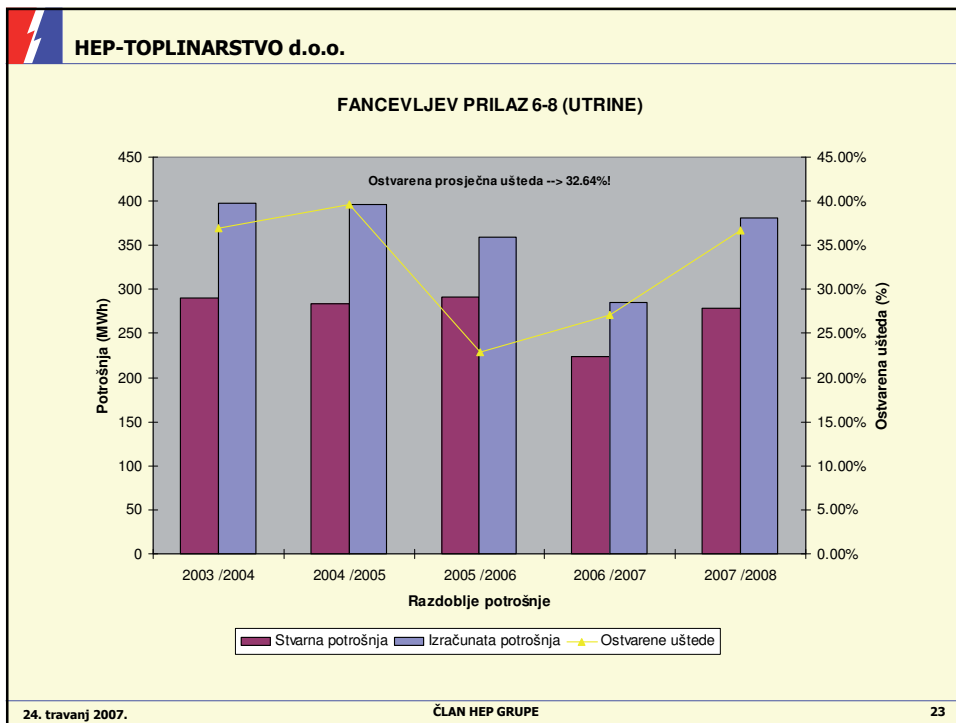
## Postignute uštede u objektima koji su ugradili razdjelnike toplinske energije

- Analiza potrošnje energije usporedbom preko stupanj-dana grijanja
  - Analizom se uspoređuje ogrjevna sezona u kojoj razdjelnici toplinske energije nisu bili ugrađeni sa sezonama kada su potrošači mogli kontrolirati potrošnju
  - svedeno pod zajednički nazivnik preko stupanj-dana grijanja
- Analiza izdanih računa u kn svedenih na kvadratni metar stambenog prostora
  - Pokazatelj koji u sebi sadrži sve troškove (fiksni i varijabilni)
  - Usporedba sa prosječnim pokazateljem svih potrošača u Zagrebu
  - Zbog velikog broja potrošača različitih karakteristika vrlo dobar pokazatelj
- Analiza potrošnje energije svedene na vršne sate
  - Slično kao i analiza preko kn/m2 ali bez fiksnih troškova – samo energija




24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 20





**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

**Neke konstatacije...**



- Sa razdjelnicima je do sada opremljeno cca. 0.5% CTS-a grada Zagreba:
  - 10 stambenih zgrada
  - 477 stanova
  - Ugrađeno 1600 razdjelnika
- Problemi zbog kojih je izostala masovnija implementacija sustava:
  - Potreba za ugradnjom u sve stanove spojene na zajedničko mjerilo toplinske energije – suglasnost svih potrošača na jednom mjernom mjestu
  - Nepostojanje financijskog okvira pokrivanja troškova (procijenjeni trošak ugradnje u sve stanove u gradu Zagrebu spojene na CTS – 300,000,000.00kn)
  - Potrošači nisu spremni djelomično snositi troškove ugradnje sustava

24. travanj 2007. ČLAN HEP GRUPE 24





HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.

**Pravilnik o načinu raspodjele i obračunu troškova za isporučenu toplinsku energiju (NN 139/08 i 18/09)**

- stupio na snagu krajem 2008 godine
- propisuje ugradnju uređaja za lokalnu razdiobu isporučene toplinske energije, uređaja za regulaciju odavanja topline i uređaja za mjerenje potrošnje toplinske energije u objektima izgrađenim prije stupanja na snagu Zakona o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom
- propisuje i modele raspodjele i obračuna troškova za isporučenu toplinsku energiju na zajedničkom mjerilu toplinske energije kupcima toplinske energije koji su vlasnici posebnih dijelova objekta koji predstavljaju samostalne uporabne cjeline, a toplinsku energiju registriraju putem uređaja za lokalnu razdiobu isporučene toplinske energije ili mjere putem zasebnog uređaja za mjerenje potrošnje toplinske energije

24. travanj 2007.

ČLAN HEP GRUPE

25



HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.


**Pravilnik o načinu raspodjele i obračunu troškova za isporučenu toplinsku energiju (NN 139/08 i 18/09)**

- odluku o ugradnji uređaja za mjerenje potrošnje toplinske energije donose vlasnici posebnih dijelova objekta koji predstavljaju samostalnu uporabnu cjelinu, uz suglasnost distributera toplinske energije (najmanje 50% svih samostalnih uporabnih cjelina mora biti opremljeno uređajima za lokalnu razdiobu isporučene toplinske energije)
- vlasnici posebnih dijelova objekta koji predstavljaju samostalnu uporabnu cjelinu dužni su osigurati financijska sredstva za nabavu, ugradnju, održavanje i odčitavanje uređaja za lokalnu razdiobu isporučene toplinske energije
- uređaji za lokalnu razdiobu isporučene toplinske energije moraju udovoljavati uvjetima koji su propisani normom HRN EN 834, Razdjelnici troškova za utvrđivanje potrošnje radijatora za grijanje prostorija

24. travanj 2007.

ČLAN HEP GRUPE


26

 **HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

### Pravilnik o načinu raspodjele i obračunu troškova za isporučenu toplinsku energiju (NN 139/08 i 18/09)

- distributer toplinske energije dužan je dati suglasnost na odluku vlasnika ako su ispunjeni sljedeći uvjeti:
  - uređaji za lokalnu razdiobu isporučene toplinske energije na zajedničkom mjerilu toplinske energije udovoljavaju normama iz ovoga Pravilnika,
  - sukladnost formata elektroničkog oblika za dostavu podataka o potrošnji svih uređaja za lokalnu razdiobu isporučene toplinske energije na zajedničkom mjerilu toplinske energije u obračunskom razdoblju s formatom baze podataka distributera toplinske energije
- uređaj za mjerenje potrošnje toplinske energije ispred vlasnika posebnih dijelova objekta koji predstavljaju samostalnu uporabnu cjelinu očitava predstavnik suvlasnika odnosno upravitelj ili druga pravna ili fizička osoba kojoj su suvlasnici povjerali obavljanje tih poslova (u daljnjem tekstu: predstavnik suvlasnika).

24. travanj 2007.
ČLAN HEP GRUPE
27

 **HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

### Može se zaključiti...

- Individualno mjerenje po stanovima nezaobilazni je dio razvoja sektora toplinarstva
- Prednosti:
  - Potrošač
    - ❖ davanje mogućnosti potrošaču u potpuni uvid i kontrolu troškova grijanja ("koliko potrošiš – toliko ćeš i platiti")
    - ❖ motivacija za racionalno korištenje energije
    - ❖ manji troškovi za utrošak toplinske energije
    - ❖ kontrola troškova
    - ❖ veće povjerenje prema isporučiocu toplinske energije
  - Distributer/Opkrbljivač
    - ❖ manji broj reklamacija
    - ❖ pravedniji pristup u radu s potrošačima
    - ❖ ušteda energije

24. travanj 2007.
ČLAN HEP GRUPE
28

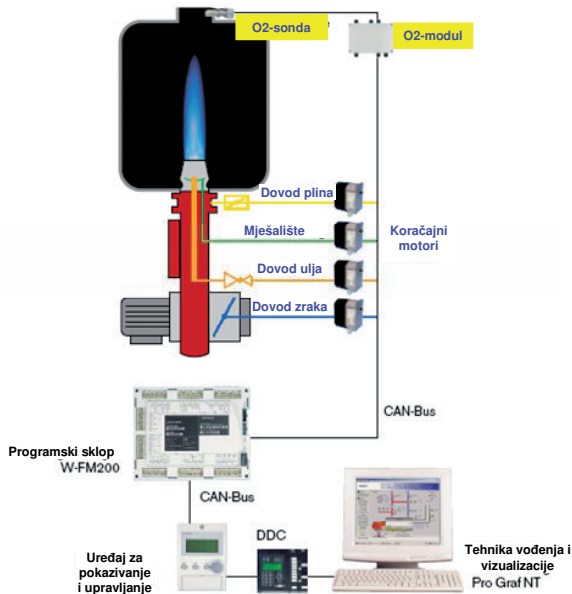
-weishaupt-

## EKONOMIKA – EKOLOGIJA – ZAŠTITA OKOLIŠA

20. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ I IZLOŽBA O GRIJANJU, HLADENJU I KLIMATIZACIJI  
 INTERKLIMA 2009 ZAGREB (Vladimir Bizjak Weishaupt-Zagreb)



### Princip funkcioniranja O<sub>2</sub>-regulacije



-weishaupt-

Digitalno  
 upravljanje  
 izgaranjem

Folie 5

September 2004  
 Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D - 88475 Schwend



## Uštede primjenom digitalne tehnike

### Vrijednosti od utjecaja na O<sub>2</sub>



•Promjena temperature zraka za izgaranje –10 do +30 °C, promjena sadržaja O<sub>2</sub> 0,3 do 0,6% na svakih 10 °C

•Tlak zraka  
Na svakih 10mbar promjena O<sub>2</sub> = 0,2%

•Promjene tlaka u ložištu



•Oscilacije toplinske vrijednosti



Dopustivi okviri do 7,5% (na pr G260) uzrokuju promjenu O<sub>2</sub> za 1,5%



•Promjene tlaka plina za +10% uzrokuje promjenu toplinske snage plamenika do 7%

-weishaupt-

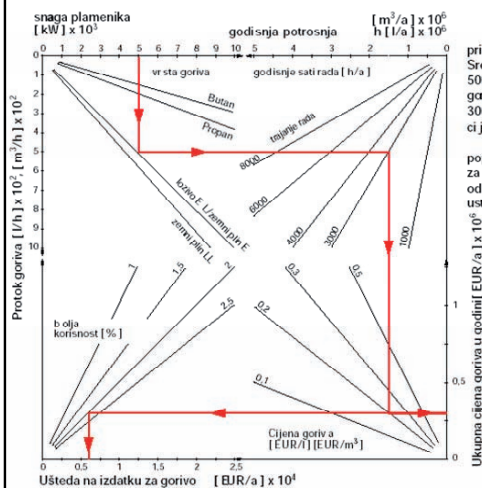
Digitalna tehnika

•Preko sonde i modula za O<sub>2</sub> održava se pretičak zraka u zadanim granicama uz korekture količine zraka u slučaju nastanka bilo koje promjene

Slika 6

Bilbao 2004  
Copyright © by WEISHAUPT-ZAGREB d.d.o.o., H - 10000 Zagreb

## Uštede primjenom digitalne tehnike



-weishaupt-

Digitalna tehnika

•Ušteda goriva primjenom O<sub>2</sub> regulacije

•Uspješnost uštede ovisi o postavljenim kriterijima

Slika 7

Bilbao 2004  
Copyright © by WEISHAUPT-ZAGREB d.d.o.o., H - 10000 Zagreb

### Princip funkcioniranja upravljanjem brojem okretaja

**-weishaupt-**

**Digitalno upravljanje izgaranjem**

Folie 8

September 2004  
Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D - 88475 Schwand

### Ušteda električne energije kroz upravljanjem brojem

**Primjer:**  
 Snaga kotla 10,0 MW  
 Plamenik G 70/2 NR snaga motora 21kW  
 Jedinična snaga 6000 kW, 4000 h/g,  
 Cijena struje 0,095 € / kWh  
**Ušteda ca. 4.000,- €/g.**

**-weishaupt-**

**Digitalno upravljanje izgaranjem**

Folie 9

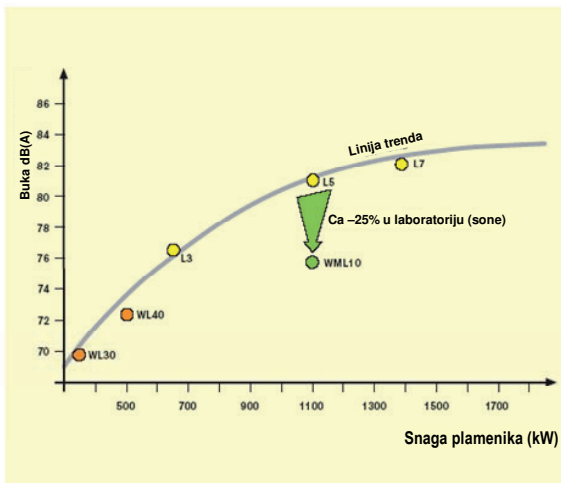
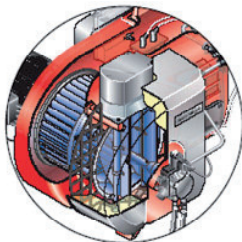
September 2004  
Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D - 88475 Schwand

Weishaupt monarch® - plamenik WM 10

Folie 10

-weishaupt-

Smanjenje emisije buke prigušenjem usisa kod goriva ulja i plina

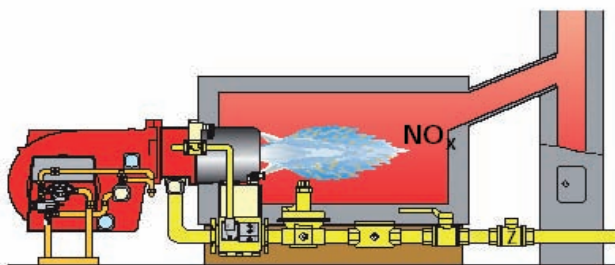


Micro 2005  
Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D - 88475 Schwend



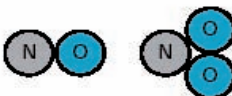
Osnova za oblikovanje NOx spojeva

-weishaupt-



Očuvanje  
okoliša

NO<sub>x</sub>: zbroj NO i NO<sub>2</sub>

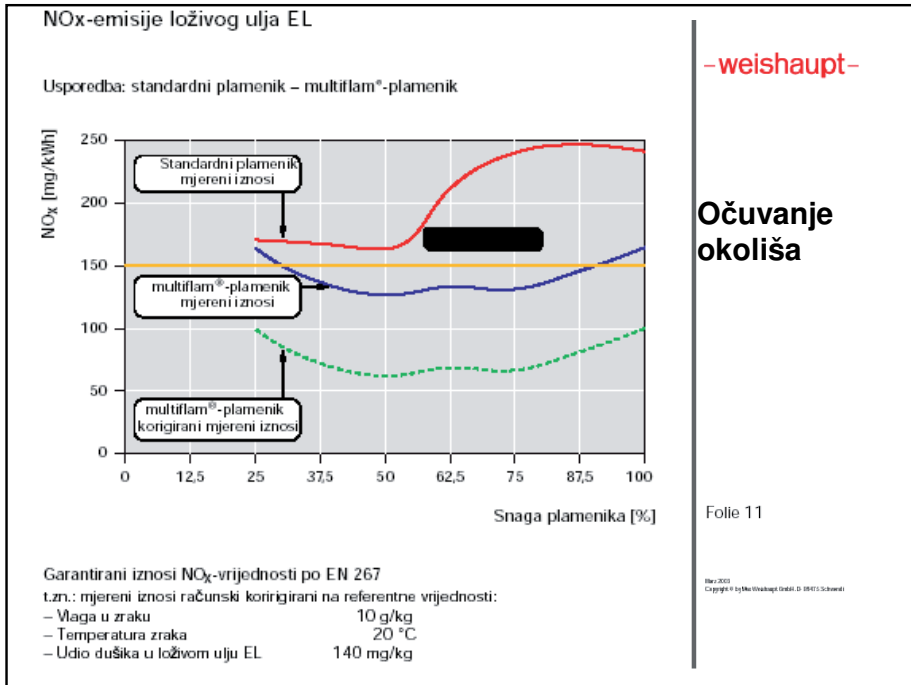


Izgaranje: NO (95%) i NO<sub>2</sub> (5%)

Atmosfera: NO prelazi u NO<sub>2</sub>

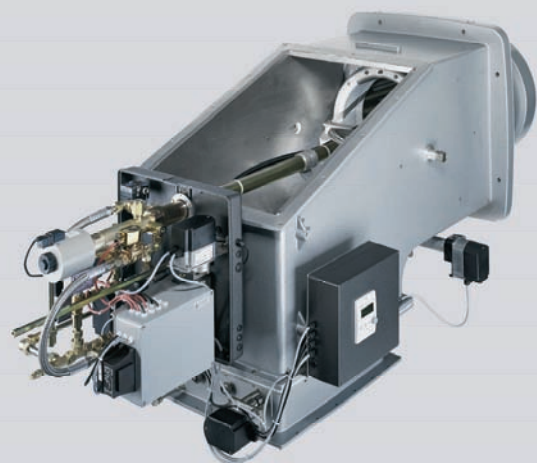
Folie 14

Micro 2005  
Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D - 88475 Schwend



-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini



Smanjen otpor plamenika, elektronska povezanost postavnih sklopova

**Posljedica:**

potreban ventilator manjeg potiska za istu toplinsku snagu, jednostavniji nadzor i upravljanje

**Rezultat:** manja potrošnja el. energije, bolje mogućnosti podešavanja. Manje zagađivanje okoliša.

Plamenici serije **WK**..raspona snage od 450 ....22000 kW (prije do 17500 kW)

Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwendi

Strana 11

-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini



Smanjena buka plamenika

**Posljedica:**

tiši rad, veći regulacijski opseg. Digitalnom tehnikom ostvaruju se pouzdaniji i sigurniji odnosi zraka i goriva.

**Rezultat:** manja potrošnja el. energije. Bolje mogućnosti podešavanja. Manje zagađivanje okoliša

Plamenici serije **WM 30**.. raspona snage od 350 do 5200 kW (prije do 2600kW)

Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwendi

Strana 12



-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini



Smanjena emisija štetnih plinova  
uz primjenu digitalne tehnike  
upravljanja i nadzora

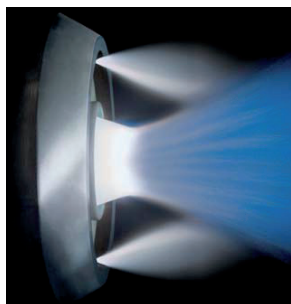
Plamenici serije **WM10** sa multiflam miješalištem  
raspona snage od 125 do 900kW

Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwendi

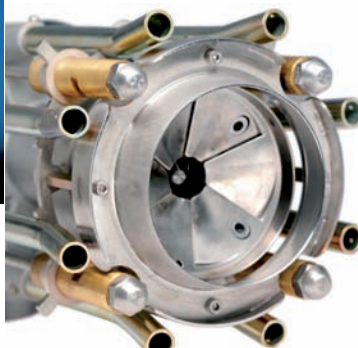
Strana 13

-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini



Smanjena emisija štetnih plinova  
uz primjenu digitalne tehnike  
upravljanja i nadzora



Plamenici serije **WM10** sa multiflam miješalištem  
raspona snage od 125 do 900kW

Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwendi

Strana 14

-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini



Kompaktna izvedba uz primjenu digitalne tehnike upravljanja i nadzora

Kompaktni plamenik serije **WGL30** raspona snage od 70 do 340kW

Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwendi

Strana 15

-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini



Uz primjenu digitalne tehnike upravljanja i nadzora pojednostavljeno podešavanje i rukovanje.

Jednostavna promjena vrste goriva.

Na loživo ulje dvo stupanjka regulacija.

Na plin moguća je klizno dvo stupanjka ili modulirajuća regulacija snage.

Daljinski nadzor i upravljanje



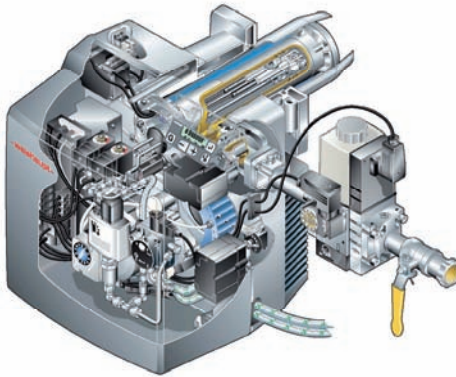
Kompaktni plamenik serije **WGL30** raspona snage od 70 do 340kW

Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwendi

Strana 16

-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini



Smanjena emisija štetnih plinova uz primjenu digitalne tehnike upravljanja i nadzora

Poseban motor za pogon crpke ulja, i poseban motor za pogon ventilatora

Integrirana automatska kontrola nepropusnosti plinskih magnetnih ventila

Kompaktni plamenik serije **WGL30** raspona snage od 70 do 340kW

Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwendi

Strana 17

-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini



Smanjena emisija štetnih plinova uz primjenu digitalne tehnike upravljanja i nadzora.

Visoki stupanj korisnosti.

Male dimenzije uz široke mogućnosti primjene.

Bogata ponuda opreme za kompletiranje postrojenja

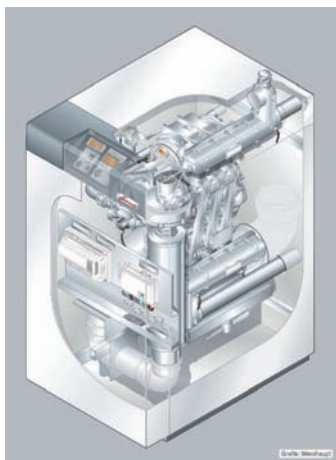
Podni (stojeći) kondenzacijski kotlovi raspona snage od 120 do 300kW- u kaskadi i do 1200 kW

Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwendi

Strana 18

-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini



Jednostavnost montaže.

Dovrtljiva rješenja za transport.

Mogućnost primjene na visokim zgradama zbog relativno velikog uzgonskog tlaka ventilatora plamenika.

Jednostavan odvod dimnih plinova i odvoda kondenzata sa uvjetnim nadzorom

Sustavno rješenje odvoda dimnih plinova i u kaskadi

Podni (stojeći) kondenzacijski kotlovi  
raspona snage od 120 do 300kW- u kaskadi i do 1200 kW

Copyright © by Max Weishaupt GmbH, D-88475 Schwend

Strana 19

-weishaupt-



IZVEDEN PROJEKAT

Prva kotlovnica u funkciji  
od početka 2009

Kaskada 2x WTC-GB 250

-weishaupt-

## Novosti u 2009 godini

Nova rješenja za kompletiranje solarnih postrojenja.

Proširenje i poboljšanje softverskih programa upravljanja i regulacije na plamenicima i sustavima grijanja.

Poboljšana izrada prateće tehničke dokumentacije.

Specijalističko školovanje za pojedine proizvode sa praktičnim vježbama

Potpora i savjeti kod odabira, montaže i korištenja - to je **Weishaupt pouzdanost**



**HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.**

Miševčka 15a, 10000 Zagreb

ČLAN HEP GRUPE

tel: 01/ 600 95 55

faks: 01/ 613 19 78

e-mail: toplinarstvo@hep.hr

[www.hep.hr](http://www.hep.hr)

Pogon toplinske mreže  
Pogon posebne toplane  
Pogon Osijek  
Pogon Sisak

[www.hepesco.hr](http://www.hepesco.hr)

PROJEKTI ENERGETSKE UČINKOVITOSTI S OTPLATOM KROZ UŠTEDE



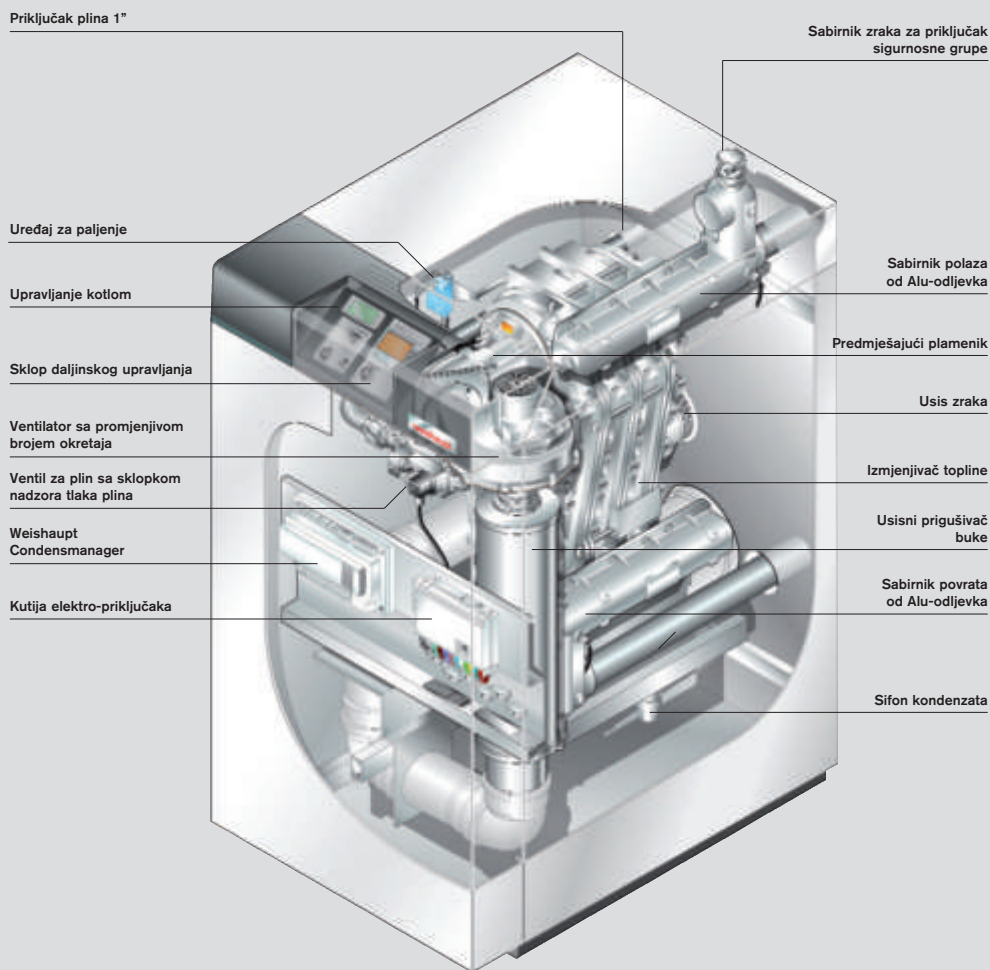
JAVNA RASVJETA • ZGRADARSTVO • SUSTAVI OPSKRBE ENERGIJOM • INDUSTRIJA



– weishaupt –

**NOVO!**

Plinski  
kondenzacijski kotlovi  
WTC-GB do 1200 kW



Snaga u kompaktnom obliku



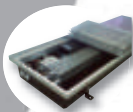
#### KLIMA PROGRAM:

- elementi distribucije zraka
- protupožarne i dimoodvodne zaklopke
- prigušivači buke
- kuhinjske nape



#### ENERGETIKA - QUANT LINE:

- zračne zavjese
- podni konvektori



#### TEHNIKA ČISTIH PROSTORA:

- laminarni flow uređaji
- čiste sobe
- operacijske dvorane
- filtracija



#### KOMERCIJALNI PROGRAM:

- ventilatori
- fleksibilne cijevi
- montažni pribor



**klimaoprema**

Klimaoprema d.d., Gradna 78A, 10430 Samobor, Hrvatska  
Tel.: + 385 | 33 62 513, Fax: + 385 | 33 62 905  
info@klimaoprema.hr, www.klimaoprema.hr

### WOEHLER BC 21 (blower cek 21)

MJERENJE NEPROPUSNOSTI ZRAKA OVOJNICE  
ZGRADA PREMA EN 13829, ENEV 2002  
PROPISU O UŠTEDI ENERGIJE I MINIMALNOJ  
IZMJENI ZRAKA TE PROPISU O GRANIČNIM  
VRIJEDNOSTIMA PREMA DIN 4108-07

- ustanovljavanje mjesta propuštanja na ovojnici zgrade
- dokaz kvalitete građenja
- integrirano mjerenje vanjske i unutarnje temperature zraka
- kontinuirani prikaz volumena strujanja zraka u m<sup>3</sup>/h
- mjerenje nadtlaka i podtlaka pritiskom na tipku
- brza ugradba na prozor sa sustavom pričvršćivanja
- pritiskom na dugme očituje n50 vrijednosti, što omogućuje postupak u praktičnoj uporabi analize kritičnih točaka i ustanovljavanje građevinskih nedostataka
- automatski ispisuje zakonski tražene rezultate mjerenja propuštanja sukladno propisima EU na 7 stranica izvješća.



**Sturm d.o.o.**  
HR-51 215 Kastav  
tel: 051/ 225 073, 098 292 334  
faks: 051/ 224 631  
www.sturmgrijanja.hr