

# Eksperimentalna analiza toplinskih karakteristika radiatora

---

Sinčić, Jakša

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:931692>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-18**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Jakša Sinčić**

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Jakša Sinčić

Zagreb, 2020.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Damiru Doviću na stručnoj pomoći pri izradi ovog rada. Također se zahvaljujem asistentu Petru Filipoviću, mag. ing. te laborantu gдинu. Željku Badžeku na pruženoj pomoći te korisnim savjetima tijekom mjerenja u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji na podršci tijekom studija.

Jakša Sinčić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Jakša Sinčić

Mat. br.: 0035199351

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Eksperimentalna analiza toplinskih karakteristika radijatora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Experimental analysis of radiator thermal characteristics**

Opis zadatka:

U sklopu završnog zadatka potrebno je provesti analizu toplinskih karakteristika dva člankasta radijatora različitih proizvođača. Za potrebe analize provest će se u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje ispitivanja toplinskog učina radijatora prema normi HRN EN 442-2 za tri različite temperature radnog medija.

Pri tome je potrebno dodatno provesti mjerenja brzina i temperatura zraka oko i između rebara radijatora te temperature prednjih ogrjevnih ploha radijatora. Ta mjerenja provesti pomoću anemometra sa žarnom niti i termoparova te dodatno pomoću termografske kamere.

Temeljem usporedbe toplinskih karakteristika dva ispitana radijatora dati preporuke za poboljšanje konstrukcije u pogledu povećanja toplinskog učina.


Potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
28. studenog 2019.

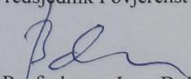
Datum predaje rada:  
**1. rok:** 21. veljače 2020.  
**2. rok (izvanredni):** 1. srpnja 2020.  
**3. rok:** 17. rujna 2020.

Predviđeni datumi obrane:  
**1. rok:** 24.2. – 28.2.2020.  
**2. rok (izvanredni):** 3.7.2020.  
**3. rok:** 21.9. - 25.9.2020.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr.sc. Damir Dović

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD.....	1
1.1. Radijatori.....	1
1.1.1. Člankasti radijatori.....	2
1.1.2. Pločasti radijatori .....	3
2. MJERNA LINIJA.....	4
3. MJERNA OPREMA.....	7
3.1. Termoparovi tip T .....	7
3.2. Termografska kamera .....	8
3.3. Anemometar sa žarnom niti .....	9
3.4. Pretvarač brzine strujanja – ultrazvučni protokomjer .....	9
3.5. Analogno – digitalni pretvarač.....	9
4. TESTIRANJE ISPRAVONSTI ULTRAVUČNOG.....	10
5. PROCEDURA MJERENJA PO HRN EN 442-2 [3] .....	12
5.1. Postupak mjerenja .....	13
6. OBRADA I ANALIZA REZULTATA MJERENJA.....	14
6.1. Rezultati mjerenja .....	14
6.1.1. Radijator 1 – Lipovica, Nadtemperatura 30°C .....	14
6.1.2. Radijator 1 – Lipovica, Nadtemperatura 50°C .....	15
6.1.3. Radijator 1 – Lipovica, Nadtemperatura 60°C.....	17
6.2. Karakteristična jednadžba radijatora Lipovica .....	18
6.3. Rezultati mjerenja radijatora 2 - Global.....	21
6.3.1. Radijator 2 – Global, Nadtemperatura 30°C .....	21
6.3.2. Radijator 2 – Global, Nadtemperatura 50°C .....	22
6.3.3. Radijator 2 – Global, Nadtemperatura 60°C .....	24
6.4. Karakteristična jednadžba radijatora Global.....	25
7. IZRAČUN KOEFICIJENTA PRIJELAZA TOPLINE $\alpha$ .....	28
7.1. Izračun koeficijenta prijelaza topline za radijator Lipovica režim 85/75 .....	28
7.1.1. Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule [4].....	29
7.1.2. Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline.....	29
7.2. Izračun koeficijenta prijelaza topline za radijator Lipovica režim 75/65 .....	31
7.2.1. Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule .....	32

---

7.2.2.	Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline.....	33
7.3.	Izračun koeficijenta prijelaza topline za radiator Lipovica režim 55/45 .....	34
7.3.1.	Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule .....	35
7.3.2.	Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline.....	36
7.4.	Izračun koeficijenta prijelaza topline za radiator Global režim 85/75.....	37
7.4.1.	Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule .....	38
7.4.2.	Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline.....	39
7.5.	Izračun koeficijenta prijelaza topline za radiator Global režim 75/65.....	40
7.5.1.	Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule .....	41
7.5.2.	Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline.....	42
7.6.	Izračun koeficijenta prijelaza topline za radiator Global režim 55/45.....	43
7.6.1.	Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule .....	44
7.6.2.	Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline.....	45
8.	USPOREDBA I ANALIZA REZULTATA 2 RADIJATORA.....	47
8.1.	Usporedba koeficijenata prijelaza topline.....	47
9.	ZAKLJUČAK.....	51
	LITERATURA.....	52

---

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Razdioba temperature po visini prostorije za različit položaj ogrjevnog tijela.....	2
Slika 2.	Raspored termoparova u sobi .....	4
Slika 3.	Skica mjerne linije.....	5
Slika 4.	Radijator i mjerna oprema .....	5
Slika 5.	Pozicije mjernih točaka na radijatoru .....	6
Slika 6.	Termografska kamera FLUKE Ti-25 .....	8
Slika 7.	Karakteristična jednadžba radijatora Lipovica.....	20
Slika 8.	Karakteristična jednadžba radijatora Global .....	27
Slika 9.	Termogram, radijator Lipovica, režim 85/75 .....	29
Slika 10.	Termogram, radijator Lipovica, režim 75/65 .....	32
Slika 11.	Termogram, radijator Lipovica, režim 55/45 .....	35
Slika 12.	Termogram, radijator Global, režim 85/75 .....	38
Slika 13.	Termogram, radijator Global, režim 75/65 .....	41
Slika 14.	Termogram, radijator Global, režim 55/45 .....	44
Slika 15.	Koeficijenti prijelaza topline izračunati Newtonovom metodom .....	47
Slika 16.	Koeficijenti prijelaza topline izračunati preko koeficijenta prolaza topline .....	47
Slika 17.	Temperature površine radijatora za režim 75/65.....	48
Slika 18.	Temperature zraka oko radijatora za 9 mjerenih točki za režim 75/65 .....	49



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrste i svojstva termoparova .....	7
Tablica 2. Karakteristike termografske kamere Fluke Ti-25 .....	8
Tablica 3. Mjerenje ispravnosti protokomjera za radijator 1, točka 85/75.....	10
Tablica 4. Mjerenje ispravnosti protokomjera za radijator 2,točka 85/75.....	11
Tablica 5. Temperature prostora za 30°C, radijator Lipovica .....	14
Tablica 6. Temperature polaza i povrata za 30 °C, radijator Lipovica .....	14
Tablica 7. Temperature uz pod i strop za 30 C, radijator Lipovica.....	14
Tablica 8. Temperature prostora za 50 °C,radijator Lipovica .....	15
Tablica 9. Temperature polaza i povrata za 50 °C,radijator Lipovica .....	15
Tablica 10. Temperature uz pod i strop za 50 °C, radijator Lipoviva.....	16
Tablica 11. Temperature prostora za 60 C, radijator Lipovica .....	17
Tablica 12. Temperature polaza i povrata za 60 °C, radijator Lipovica.....	17
Tablica 13. Temperature uz pod i strop za 60 °C, radijator Lipovica .....	17
Tablica 14. Rezultati mjerenja za radijator Lipovica .....	18
Tablica 15. Pomoćna tablica za izračun eksponenta n i Km .....	19
Tablica 16. Temperature prostora za 30 C, radijator Global.....	21
Tablica 17. Temperature polaza i povrata za 30 °C, radijator Global .....	21
Tablica 18. Temperature uz pod i strop za 30 °C, radijator Global.....	21
Tablica 19. Temperature prostora za 50°C, radijator Global.....	22
Tablica 20. Temperature polaza i povrata za 50 °C, radijator Global .....	23
Tablica 21. Temperature uz pod i strop za 50 °C, radijator Global.....	23
Tablica 22. Temperature prostora za 60°C, radijator Global.....	24
Tablica 23. Temperature polaza i povrata za 60 °C, radijator Global .....	24
Tablica 24. Temperature uz pod i strop za 60 °C, radijator Global.....	24
Tablica 25. Rezultati mjerenja za radijator Global.....	25
Tablica 26. Pomoćna tablica za izračun eksponenta n i Km .....	26
Tablica 27. Rezultati mjerenja temperature za režim 85/75, radijator Lipovica .....	28
Tablica 28. Podaci za vodu za temperaturni režim 85/75 .....	30
Tablica 29. Rezultati mjerenja temperature za režim 75/65, radijator Lipovica .....	31
Tablica 30. Podaci za vodu za temperaturni režim 75/65 .....	33
Tablica 31. Rezultati mjerenja temperature za režim 55/45, radijator Lipovica .....	34
Tablica 32. Podaci za vodu za temperaturni režim 55/45 .....	36
Tablica 33. Rezultati mjerenja temperature za režim 85/75, radijator Global .....	37
Tablica 34. Podaci za vodu za temperaturni režim 85/75 .....	39
Tablica 35. Rezultati mjerenja temperature za režim 75/65, radijator Global .....	40
Tablica 36. Podaci za vodu za temperaturni režim 75/65 .....	42
Tablica 37. Rezultati mjerenja temperature za režim 55/45, radijator Global .....	43
Tablica 38. Podaci za vodu za temperaturni režim 55/45 .....	45
Tablica 39. Brzine strujanja zraka između rebara sa prednje i donje strane radijatora .....	50

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\varepsilon$	-	emisivnost
$\vartheta_{w1}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura polaza vode
$\vartheta_{w2}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura povrata vode
$\vartheta_m$	$^{\circ}\text{C}$	srednja temperatura vode
$\rho_w$	$\text{kg}/\text{m}^3$	gustoća vode
$Q$	$\text{m}^3/\text{s}$	protok
$\Phi$	W	toplinski učin
$q_{m,w}$	$\text{kg}/\text{s}$	maseni protok vode
$h_{w,1}$	$\text{J}/\text{kg}$	ulazna entalpija vode
$h_{w,2}$	$\text{J}/\text{kg}$	izlazna entalpija vode
$K_m$	-	konstanta modela
$\Delta T, \Delta \vartheta$	$\text{K}, ^{\circ}\text{C}$	nadtemperatura
$n$	-	eksponent karakteristične jednadžbe
$c_w$	$\text{J}/\text{kgK}$	specifični toplinski kapacitet vode
$\vartheta_r$	$^{\circ}\text{C}$	referentna temperatura zraka
$\alpha$	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	koeficijent prijelaza topline
$\vartheta_{\text{rad}}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura radijatora
$\vartheta_{\text{zrak}}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura zraka
$\vartheta_{\text{rad,sred}}$	$^{\circ}\text{C}$	srednja temperatura radijatora
$\vartheta_{\text{zrak,sred}}$	$^{\circ}\text{C}$	srednja temperatura zraka
$A_{\text{rad}}$	$^{\circ}\text{C}$	ogrjevna površina radijatora
$\nu$	$\text{m}^2/\text{s}$	kinematska viskoznost vode
$d_v$	m	vanjski promjer cijevi
Pr	-	Prandtlov broj
$d_u$	m	unutarnji promjer cijevi
$\lambda_w$	$\text{W}/\text{mK}$	toplinska provodnost vode
w	$\text{m}/\text{s}$	brzina strujanja vode
Nu	-	Nusseltov broj
$\alpha_u$	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	koeficijent prijelaza topline na strani vode
k	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	koeficijent prolaza topline
$\delta$	m	debljina stijenke
$\lambda_{Al}$	$\text{W}/\text{mK}$	toplinska provodnost aluminijske stijenke

---

**SAŽETAK**

U sklopu ovog rada provedena je analiza toplinskih karakteristika 2 različita člankasta radijatora. Analizu je provedena u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje prema normi HN EN 442-2 za tri različite temperature ogrjevnog medija. Također bilo je potrebno provesti mjerenja brzina i temperatura zraka oko i između rebara radijatora te temperature prednjih ogrjevnih ploha radijatora.

Uvodno je dan opis, glavne karakteristike te osnovna podjela radijatora. Nadalje opisan je postupak ispitivanja iz norme HN EN 442-2. Dan je opis mjerne linije te samog mjerenja mjernom opremom koja se sastojala od anemometra sa žarnom niti, termoparova i termografske kamere. Rezultati mjerenja su podvrgnuti analizi te su korišteni za proračun koeficijenta prijelaza topline.

Na kraju je dana usporedba rezultata dobivenih eksperimentalno za dva različita radijatora.

Ključne riječi: radijator, toplinski učin, norma HRN EN 442-2

---

**SUMMARY**

In this work an analysis of the thermal characteristics of two different column radiators was conducted. Analysis was conducted in the Laboratory for heat and thermal devices according to norm HRN EN 442-2 for three different temperatures of working fluid. This work also contains measurements of velocities and temperatures of air around and inbetween radiator ribs and temperatures of front surfaces of radiators.

This project work begins with an introduction where the elements of the test room and the standard of HRN EN 442-2, measuring line and measuring devices which consisted of the hot-wire anemometer, thermocouples and thermographic camera are described. Results of the measurement were analysed and used in the calculation of the heat transfer coefficient.

In the end the experimental results for the two radiators are compared.

Key words: radiators, thermal power, standard HRN EN 442-2

# 1. UVOD

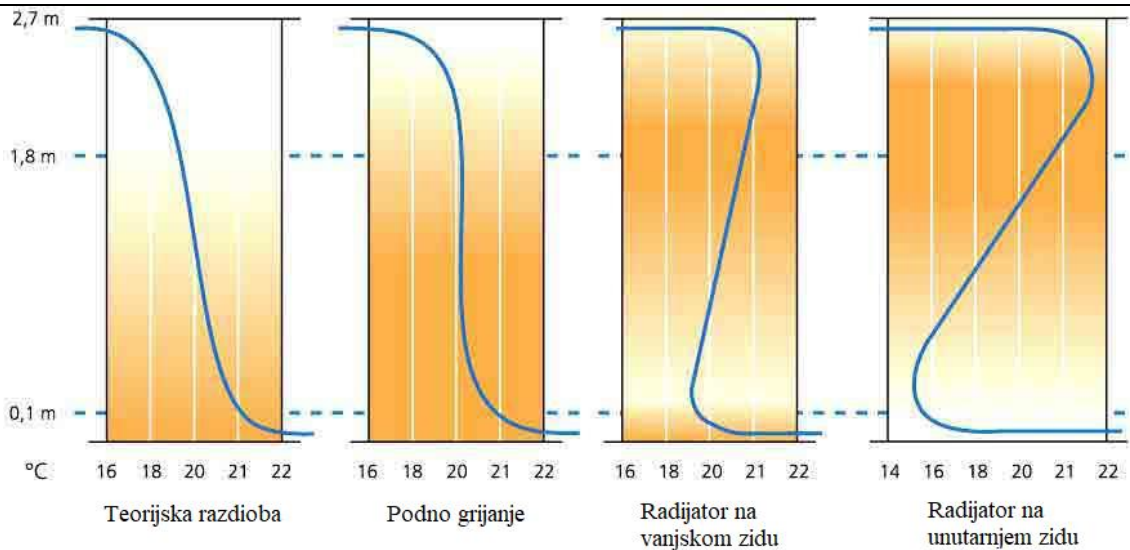
## 1.1. Radijatori

Radijatori su elementi sustava grijanja koji služe za zagrijavanje prostora. To su izmjenjivači topline kojima se toplina prenosi sa ogrjevnog medija (voda, para...) na zrak u prostoru. Građeni su od jedne ili više ogrjevnih ploha koje mogu biti različite izvedbe i veličine. Tijela radijatora korištena u centralnim sustavima grijanja su šuplja i kroz njih struji ogrjevni medij (topla ili vrela voda, para). Radijatori koji se koriste za lokalne sustave grijanja mogu imati tijelo punog poprečnog presjeka u koje su ugrađeni električni grijači. U većini slučajeva se misli na radijatore koji se koriste u sustavima centralnog grijanja. Osnovni je mehanizam izmjene topline konvekcija (70-85 %), dok se manji dio topline prenese zračenjem [1].

Podjela ogrjevnih tijela:

1. Člankasta ogrjevna tijela
2. Pločasta ogrjevna tijela
3. Konvektori
4. Cijevni grijači
5. Panelni grijači

Zahtjevi koji se od ogrjevnih tijela očekuju su ravnomjerna razdioba temperature po prostoru, visoka učinkovitost, postojanost na visok tlak, temperaturu i koroziju te mala masa i jednostavna ugradnja. Konvektivna se ogrjevna tijela obično smještaju uz vanjski zid ispod samog vanjskog prozora. Na taj se način kompenziraju toplinski gubici konvekcijom i zračenjem prema vanjskom prozoru. Utjecaj na toplinsku ugodnost ima i razdioba temperature po visini prostorije.



Slika 1. Razdioba temperature po visini prostorije za različit položaj ogrjevnog tijela

Iz Slika 1. vidljivo je da je podno grijanje najbliže idealnoj teorijskoj razdiobi temperature, dok je smještaj radijatora na unutarnjem zidu najdalje od idealne razdiobe.

### 1.1.1. Člankasti radijatori

Člankasti radijatori sastoje se od članaka od lijevanog željeza ili aluminijskih, ili su zavareni od čelika. Ogrjevni učin se izabire spajanjem članaka u "bateriju". Samo spajanje vrši se pomoću koničnih nazuvica, a iskustvena preporuka je maksimalno 30 članaka u jednoj bateriji. Za radijatore duljine veće od 2 m preporučuje se dijagonalno spajanje na cijevni razvod. Osnovni mehanizam izmjene topline je konvekcija (70-75 %), a najbolje ih je smjestiti uz vanjski zid ispod vanjskog prozora. Prilikom ugradnje iza maske toplinski se učin smanjuje za od 8 do oko 20 %. Montiraju se pomoću držača ili konzola. Na 12 članaka potrebna su 2 držača i 2 konzole, a nakon toga po 1 konzola i 1 držač za svakih 6 članaka. Nedostatak člankastog radijatora je to što pri visokim temperaturama ogrjevnog medija (kad površinska temperatura samog radijatora iznosi  $> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dolazi do pojave izgaranja prašine na njihovoj površini. Zbog toga ostaje "crni trag" na zidu iza radijatora.

### **1.1.2. Pločasti radijatori**

Pločasti radijatori sastoje se od zavarenih čeličnih ploča s ravnom i glatkom vanjskom površinom. Ploča je najvećim dijelom svoje unutrašnje površine u kontaktu s ogrjevnim medijem. Prednja ploča predstavlja jedinstvenu površinu, a moguće su izvedbe sa više ploča u dubinu. S prednje površine radijatora povećan je udio zračenja, a za povećanje izmjene topline konvekcijom na stražnjoj strani ploče se ugrađuju konvektorski limovi koji oblikuju okomite kanala za nastrojavanje zraka. Većine pločastih radijatora su većinom do 90 cm i duljine do 3 m. Ploče se uobičajeno postavljaju u više redova. Lamele se odabiru s obzirom na toplinski učin izražen po duljini. Prednosti ovog tipa radijatora u odnosu na člankaste radijatore su slijedeći :

- glatka površina za izmjenu topline omogućava lakše održavanje i čišćenje čime se postiže veća higijenska razina upotrebe
- relativno male ugradbene dimenzije ( prvenstveno dubina )
- lakši odabir, isporuka i ugradnja zbog kompaktne izvedbe

Na ogrjevni učin pločastih i člankastih radijatora utječu:

1. položaj ugradnje – otvoren/slobodan, ispod prozorskog parapeta, iza maske...
2. način priključenja – jednostrano, dvostrano, dijagonalno
3. temperaturni režim ogrjevnog medija
4. temperaturni režim u prostoriji
5. protok ogrjevnog medija kroz ogrjevno tijelo

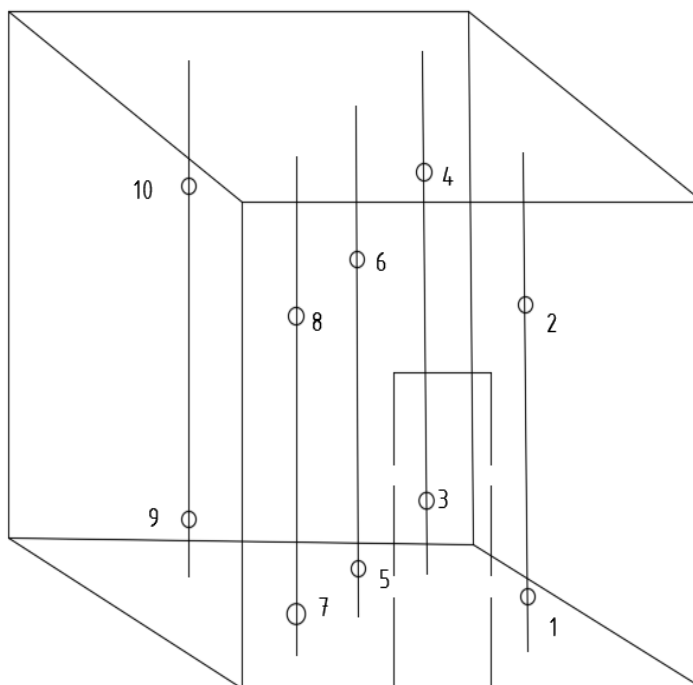
U nastavku rada prikazano je eksperimentalno ispitivanje toplinskih svojstava dva člankasta radijatora proizvođača Lipovica model Orion 600 i Global Vox 600.

## 2. MJERNA LINIJA

Mjerenje je provedeno u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu u siječnju 2020. godine. Mjerenje je izvedeno prema normi HRN-EN 442-2.

Radijatori su postavljeni u ispitnoj sobi koja je projektirana u skladu sa normom HRN-EN 442-2. Ispitna komora konstruirana je od sendvič panela hlađenih vodom. Unutarnja površina komore je glatka i izrađena od ravnih čeličnih ploča. Sami sendvič paneli sastoje se od čeličnih panela hlađenih vodom, izolacijske pjene ubrizgane između čeličnog panela i vanjske čelične ploče, te vanjske čelične ploče debljine 0,6 mm. Vodom hlađeni čelični paneli sastoje se od dvije zavarene čelične ploče. Debljina izolacijske pjene iznosi 80 mm. Minimalni toplinski otpor svake površine iznosi  $2,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ . Unutarnje površine ispitne komore prekrivene su bojom faktora emisivnosti  $\varepsilon = 0,9$ .

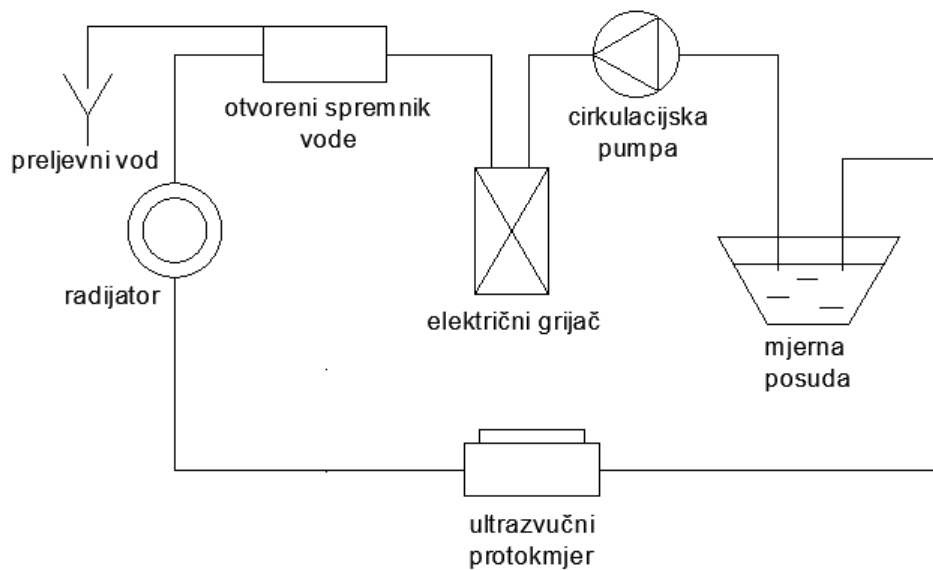
Sustav hlađenja vodom projektiran je tako da se toplinski tok konstantno odvodi te da su uvjeti u ispitnoj komori stacionarni. Unutar sobe postavljeno je deset termoparova prema zahtjevima norme.



Slika 2. Raspored termoparova u sobi



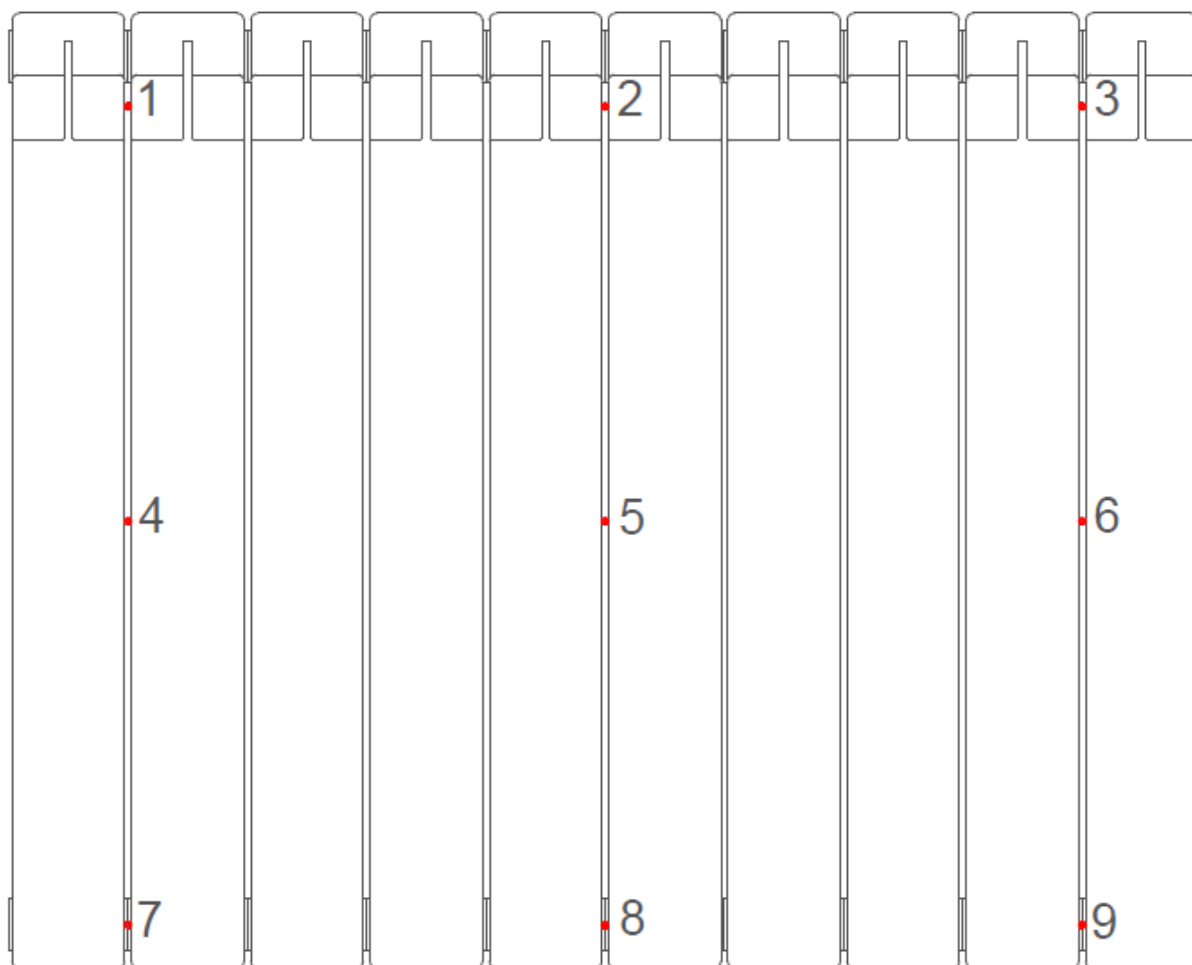
Voda se cirkulacijskom pumpom tjera kroz sustav. Zagrijava se pomoću grijača te prolazi kroz otvoreni spremnik na putu do radijatora. Nakon prolaska kroz radijator vrši se mjerenje protoka ultrazvučnim protokomjerom.



Slika 3. Skica mjerne linije



Slika 4. Radijator i mjerna oprema



Slika 5. Pozicije mjernih točaka na radijatoru

### 3. MJERNA OPREMA

#### 3.1. Termoparovi tip T

Termopar je temperaturni senzor koji se sastoji od dvije žice različitih metala ili legura spojenih na jednom kraju. Princip rada zasniva se na termoelektičnom efektu pojave napona pri izlaganju metala temperaturnom gradijentu.

Termoparovima tipa T mjerili smo temperaturu u 10 referentnih točaka prostorije kako je prikazano na slici 2. te temperaturu zraka na 9 točaka radiatora kako je prikazano na slici 5.

Tip T se odlikuje visokom točnošću od  $\pm 1$  °C do temperature od 100 °C.

Tablica 1. Vrste i svojstva termoparova

Tip	Legura	Opseg u ° C
J	Fe, Cu-Ni	-210 do 760
K	Ni-Cr, Ni-Al	-270 do 1372
T	Cu, Cu-Ni	-27 do 400
E	Ni-Cr, Cu-Ni	-270 do 1000
R	Pt-13 % Rh, Pt	0 do 1768
S	Pt-10 % Rh, Pt	0 do 1768
N	Ni-14,2 % Cr-1,4 % Si, Ni-4,4 % Si-0,1 % Mg	-270 do 1300

### 3.2. Termografska kamera

Termografska kamera koristi se kako bi se infracrvenom termografijom snimilo infracrveno zračenje koje emitira objekt, a zatim se zračenje obrađuje te se dobiva vidljiva slika, termogram. Cjelokupno zračenje sastoji se propuštenog, reflektiranog i vlastitog emitiranog zračenja. Termografskom kamerom pokušava se utvrditi vlastito emitirano zračenje. Kako bi se eliminiralo ostala zračenja smanjuje se ukupno zračenje pomoću koeficijenta emisijskog faktora  $\epsilon$ .

Tablica 2. Karakteristike termografske kamere Fluke Ti-25

Temperaturni raspon	-20 do 350 °C
Točnost	± 2 °C ili 2 %
Vidno polje	23 ° x 17 °
Prostorna razlučivost	2.5 mRad
Toplinska osjetljivost	≤ 0.1 °C pri 30 °C (100 mK)



Slika 6. Termografska kamera FLUKE Ti-25

### **3.3. Anemometar sa žarnom niti**

Anemometar sa žarnom niti mjeri brzinu strujanja zraka opažanjem odvođenja topline zbog strujanja zraka. Glavni element uređaja je senzor žarne niti kojoj se mijenja otpor odvođenja u ovisnosti od brzine vjetra. Žica je od platine i ima dobar temperaturni koeficijent (0.003 °). Dimenzije žice su od 4 do 10 μm u promjeru i duljine do 1 mm.

### **3.4. Pretvarač brzine strujanja – ultrazvučni protokomjer**

Ultrazvučni protokomjer služi za mjerenje protoka čistih kapljevina. Ultrazvučni val rasprostire se brže niz struju nego uz struju. Uređajem se mjeri razlika vremena prostiranja ultrazvuka niz struju i uz struju.

### **3.5. Analogno – digitalni pretvarač**

Ultrazvučni protokomjer i termoparovi povezani su preko A/D pretvarača s računalom pomoću softvera. Softver nam omogućuje praćenje promjena temperature i brzine strujanja u zadanom vremenskom periodu.

## 4. TESTIRANJE ISPRAVNOSTI ULTRAVUČNOG

### PROTOKOMJERA

Testiranje smo vršili za tri različite temperature ogrjevnog medija za oba ispitivana radijatora. Postupak se provodio pomoću vage, štoperice i cijevi. Vagu smo resetirali na 0 kg, te nakon toga istovremeno stavili crijevo iz protokomjera u bačvu i pokrenuli štopericu. Mjerenje smo bilježili u 4 etape. Ispitivanje smo proveli za slijedeće vrijednosti [2] :

$$\vartheta_{w1} = 85,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{w2} = 74,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_{w1} + \vartheta_{w2}}{2} = \frac{85,5 \text{ }^{\circ}\text{C} + 74,1 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2} = 79,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{79,8} = 971,91 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{protok } Q = 0,138 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tablica 3. Mjerenje ispravnosti protokomjera za radijator 1, točka 85/75

Masa	Vrijeme	Rezultat	Relativna pogreška
1,06 kg	30 s	0,131 m <sup>3</sup> /h	5,07 %
2,12 kg	60 s	0,131 m <sup>3</sup> /h	5,07 %
3,21 kg	90 s	0,132 m <sup>3</sup> /h	4,54 %
4,26 kg	120 s	0,132 m <sup>3</sup> /h	4,54 %

## Mjerenje ispravnosti protokomjera za radiator 2, točka 85/75

$$\vartheta_{w1} = 85,89 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{w2} = 74,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_{w1} + \vartheta_{w2}}{2} = \frac{85,89 \text{ }^{\circ}\text{C} + 74,2 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2} = 80,045 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{80,045} = 971,89 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{protok } Q = 0,138 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tablica 4. Mjerenje ispravnosti protokomjera za radiator 2, točka 85/75

Masa	Vrijeme	Rezultat	Relativna pogreška
4,25 kg	120 s	0,132 m <sup>3</sup> /h	4,54 %

Analizom smo ustvrdili da je odstupanje protoka na ultrazvučnom protokomjeru 4,54 % te s obzirom na to u proračune izmjene topline ulazimo sa korigiranom vrijednošću.

## 5. PROCEDURA MJERENJA PO HRN EN 442-2 [3]

Radi utvrđivanja karakteristične jednadžbe radijatora potrebno je odrediti sami toplinski učin radijatora. Toplinski učin ne može se mjeriti direktno te stoga postoje dvije metode njegovog utvrđivanja:

- Metoda vaganja – mjeri se protok vode kroz ogrjevno tijelo, te se toplinski učin određuje utvrđivanjem razlike entalpije polazne i povratne struje ogrijevnog medija
- Električna metoda – mjeri se razlika između snage  $P_{el}$  grijača i od nje se oduzima toplina izgubljena u potrošačima i cijevima. U proračun ulazi i snaga pumpe.

Topinski učin dobiven metodom vaganja određuje se iz slijedećeg izraza:

$$\Phi = q_{m,w}(h_{w,1} - h_{w,2})$$

Karakteristična jednadžba glasi:

$$\Phi = K_m \cdot \Delta T^n$$

gdje je:

- $\Phi$  – toplinski učin
- $K_m$  – konstanta modela
- $\Delta T^n$  – nadtemperatura
- $n$  – eksponent karakteristične jednadžbe

Nadtemperatura se određuje kao razlika između srednje temperature vode i referentne temperature prostorije prema izrazu:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_m - \vartheta_r$$

gdje je srednja temperatura vode dana izrazom:

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_{w,1} + \vartheta_{w,2}}{2}$$

Referentna temperatura za potrebe ovog rada dobila se osrednjavanjem temperatura izmjerenih u prethodno spomenutih 9 točaka prostorije.

Konstanta modela te eksponent karakteristične jednadžbe dobivaju se primjenom metode najmanjih kvadrata prema izrazima:



$$\log K_m = \frac{\sum(\log \Phi) \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - \sum(\log \Delta T \cdot \log \Phi) \cdot \sum(\log \Delta T)}{N \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - (\sum(\log \Delta T))^2}$$

$$n = \frac{N \cdot \sum(\log \Delta T \cdot \log \Phi) - \sum(\log \Delta T) \cdot \sum(\log \Phi)}{N \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - (\sum(\log \Delta T))^2}$$

gdje je :

- N – broj mjernih točaka

Kako bi se odredila karakteristična jednadžba provodi se mjerenje u barem tri mjerne točke pri konstantnom protoku i nadtemperaturama od:

$$\Delta T = (30 \pm 2,5) \text{ K}$$

$$\Delta T = (50 \pm 2,5) \text{ K}$$

$$\Delta T = (60 \pm 2,5) \text{ K}$$

Prilikom određivanja karakteristične jednadžbe referentna temperatura zraka mora se održavati u rasponu od  $\pm 1$  K između mjerenja. Protok vode smije imati dopušteno odstupanje od  $\pm 1$  % tijekom samog mjerenja. Između mjerenja različitih točaka protok smije varirati u iznosu od  $\pm 5$  %.

### 5.1. Postupak mjerenja

Ispitna je prostorija posebnim sustavom hlađena zrakom kako bi se temperatura u prostoriji održavala relativno konstantnom.

Mjerenje započinje pokretanjem cirkulacijske pumpe čime se osigurava protok vode kroz radijator. Zatim se podešava električni grijač sa regulacijom na određenu temperaturu kako bi se dobilo traženu temperaturu polaza vode. Nakon toga protok se vode regulira zapornim ventilima kako bi se osiguralo traženu temperaturnu razliku polaza i povrata vode.

Kada se u prostoriji postigne stacionarno stanje pristupa se samom mjerenju. Termoparove i anemometar postavlja se na pozicije utvrđene Slika 5 čime se mjere temperatura i brzina strujanja zraka ispred samog radijatora. Ultrazvučni protokomjer spaja se na A/D pretvarač kako bi se na računalu moglo pratiti i iznose protoka vode. Također mjere se i temperature 9 točaka prostorije prema normi HRN EN 442-2 te temperature polaza i povrata vode. Dodatno se ručno izmjerilo temperature zraka između rebara na samom vrhu i dnu radijatora te se temperaturnu raspodjelu snimilo termografskom kamerom.

Postupak se izvršio za oba radijatora za 3 karakteristične točke prema normi HRN EN 442-2.

## 6. OBRADA I ANALIZA REZULTATA MJERENJA

### 6.1. Rezultati mjerenja

Rezultati mjerenja prikazani su tablično za pojedini iznos  $\Delta T$ .

#### 6.1.1. Radijator 1 – Lipovica, Nadtemperatura 30°C

Tablica 5. Temperature prostora za 30°C, radijator Lipovica

<b>Temperatura termopara: pozicija 1</b>	17,689
<b>Temperatura termopara: pozicija 2</b>	19,806
<b>Temperatura termopara: pozicija 3</b>	17,235
<b>Temperatura termopara: pozicija 4</b>	19,387
<b>Temperatura termopara: pozicija 5</b>	17,637
<b>Temperatura termopara: pozicija 6</b>	19,95
<b>Temperatura termopara: pozicija 7</b>	17,583
<b>Temperatura termopara: pozicija 8</b>	19,8
<b>Temperatura termopara: pozicija 9</b>	16,937
<b>Temperatura termopara: pozicija 10</b>	19,557
<b>Srednja temperatura prostora</b>	18,558

Tablica 6. Temperature polaza i povrata za 30 °C, radijator Lipovica

Temperatura polaza vode	55,228
Temperatura povrata vode	49,492
Protok	2,276 = 0,129

Tablica 7. Temperature uz pod i strop za 30 C, radijator Lipovica

Temperatura poda	11,082
Temperatura stropa	20,687

Svojstva za srednju temperaturu 52,36 °C prema [4] iznose:

$$\rho_w = 986,907 \text{ kg/m}^3$$

$$c_w = 4180,355 \text{ J/kgK}$$

$$q_{mw} = q_{vw} \cdot \rho_w = 3,56 \cdot 10^{-5} \cdot 986,907 = 0,0351 \text{ kg/s}$$

Toplinski učin na strani vode iznosi:

$$\Phi = q_{mw} \cdot (h_{w1} - h_{w2}) = q_{mw} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{w1} - \vartheta_{w2})$$

$$\Phi = 0,0351 \cdot 4180,355 \cdot (55,228 - 49,492) = 841,41 \text{ W}$$

### 6.1.2. Radijator 1 – Lipovica, Nadtemperatura 50°C

Tablica 8. Temperature prostora za 50 °C, radijator Lipovica

<b>Temperatura termopara: pozicija 1</b>	18,902
<b>Temperatura termopara: pozicija 2</b>	21,81
<b>Temperatura termopara: pozicija 3</b>	18,133
<b>Temperatura termopara: pozicija 4</b>	21,313
<b>Temperatura termopara: pozicija 5</b>	18,81
<b>Temperatura termopara: pozicija 6</b>	22,176
<b>Temperatura termopara: pozicija 7</b>	18,702
<b>Temperatura termopara: pozicija 8</b>	21,79
<b>Temperatura termopara: pozicija 9</b>	17,855
<b>Temperatura termopara: pozicija 10</b>	21,608
<b>Srednja temperatura prostora</b>	20,109

Tablica 9. Temperature polaza i povrata za 50 °C, radijator Lipovica

Temperatura polaza vode	75,581
Temperatura povrata vode	65,619
Protok	2,281 = 0,1294

Tablica 10. Temperature uz pod i strop za 50 °C, radiator Lipoviva

Temperatura poda	9,793
Temperatura stropa	21,838

Svojstva za srednju temperaturu 70,6 °C prema [4] iznose:

$$\rho_w = 977,42 \text{ kg/m}^3$$

$$c_w = 4188,5 \text{ J/kgK}$$

$$q_{mw} = q_{vw} \cdot \rho_w = 3,56 \cdot 10^{-5} \cdot 977,42 = 0,0348 \text{ kg/s}$$

Toplinski učin na strani vode iznosi:

$$\Phi = q_{mw} \cdot (h_{w1} - h_{w2}) = q_{mw} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{w1} - \vartheta_{w2})$$

$$\Phi = 0,0348 \cdot 4188,5 \cdot (75,581 - 65,619) = 1450,09 \text{ W}$$

### 6.1.3. Radijator 1 – Lipovica, Nadtemperatura 60°C

Tablica 11. Temperature prostora za 60 C, radijator Lipovica

<b>Temperatura termopara: pozicija 1</b>	24,497
<b>Temperatura termopara: pozicija 2</b>	21,325
<b>Temperatura termopara: pozicija 3</b>	20,484
<b>Temperatura termopara: pozicija 4</b>	23,981
<b>Temperatura termopara: pozicija 5</b>	21,205
<b>Temperatura termopara: pozicija 6</b>	24,95
<b>Temperatura termopara: pozicija 7</b>	21,103
<b>Temperatura termopara: pozicija 8</b>	24,561
<b>Temperatura termopara: pozicija 9</b>	20,15
<b>Temperatura termopara: pozicija 10</b>	24,329
<b>Srednja temperatura prostora</b>	22,659

Tablica 12. Temperature polaza i povrata za 60 °C, radijator Lipovica

Temperatura polaza vode	85,909
Temperatura povrata vode	74,21
Protok	2,282 = 0,1294

Tablica 13. Temperature uz pod i strop za 60 °C, radijator Lipovica

Temperatura poda	11,841
Temperatura stropa	24,487

Svojstva za srednju temperaturu 80,06 °C prema [4] iznose:

$$\rho_w = 971,76 \text{ kg/m}^3$$

$$c_w = 4195,5 \text{ J/kgK}$$

$$q_{mw} = q_{vw} \cdot \rho_w = 3,56 \cdot 10^{-5} \cdot 971,76 = 0,0346 \text{ kg/s}$$

Toplinski učin na strani vode iznosi:

$$\Phi = q_{mw} \cdot (h_{w1} - h_{w2}) = q_{mw} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{w1} - \vartheta_{w2})$$

$$\Phi = 0,0346 \cdot 4195,5 \cdot (85,909 - 74,21) = 1695,89 \text{ W}$$

## 6.2. Karakteristična jednadžba radijatora Lipovica

Nadtemperatura 30 °C

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_{w,1} + \vartheta_{w,2}}{2} - \vartheta_r = \frac{55,228 + 49,492}{2} - 18,558 = 33,802 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nadtemperatura 50 °C

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_{w,1} + \vartheta_{w,2}}{2} - \vartheta_r = \frac{75,581 + 65,619}{2} - 20,109 = 50,491 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nadtemperatura 60 °C

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_{w,1} + \vartheta_{w,2}}{2} - \vartheta_r = \frac{85,909 + 74,21}{2} - 22,659 = 57,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tablica 14. Rezultati mjerenja za radijator Lipovica

Temperaturni režim °C	55,23/49,49	75,581/65,619	58,909/74,21
Temperatura prostorije, °C	18,56	20,11	22,66
Nadtemperatura, °C	33,8	50,49	57,5
Toplinski učin $\Phi$ , W	841,41	1450,09	1695,89

Karakteristična jednadžba glasi:

$$\Phi = K_m \cdot \Delta T^n$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_m - \vartheta_r$$

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_{w,1} + \vartheta_{w,2}}{2}$$

Referentna se temperatura dobije osrednjavanjem temperature izmjerene u 10 točaka prostorije. Konstanta modela te eksponent karakteristične jednadžbe dobivaju se primjenom metode najmanjih kvadrata prema izrazima iz [4]

$$\log K_m = \frac{\sum(\log \Phi) \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - \sum(\log \Delta T \cdot \log \Phi) \cdot \sum(\log \Delta T)}{N \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - (\sum(\log \Delta T))^2}$$

$$n = \frac{N \cdot \sum(\log \Delta T \cdot \log \Phi) - \sum(\log \Delta T) \cdot \sum(\log \Phi)}{N \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - (\sum(\log \Delta T))^2}$$

gdje je N – broj mjernih točaka

Tablica 15. Pomoćna tablica za izračun eksponenta n i Km

Nadtemperatura	33,802	50,491	57,5
log ΔT	1,529	1,703	1,76
Φ	841,41	1450,09	1695,89
log Φ	2,925	3,161	3,229
Σ log ΔT	4,992		
Σ log Φ	9,315		
log ΔT* log Φ	4,472	5,383	5,683
Σ log ΔT* log Φ	15,539		
(log ΔT) <sup>2</sup>	2,338	2,9	3,098
Σ((log ΔT) <sup>2</sup> )	8,336		
(Σ(log ΔT)) <sup>2</sup>	24,92		

Uvrštavanjem u prethodno prikazane jednadžbe dobivamo:

$$\log K_m = \frac{\sum(\log \Phi) \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - \sum(\log \Delta T \cdot \log \Phi) \cdot \sum(\log \Delta T)}{N \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - (\sum(\log \Delta T))^2}$$

$$\log K_m = \frac{9,315 \cdot 8,336 - 15,539 \cdot 4,992}{3 \cdot 8,336 - 24,92}$$

$$\log K_m = 0,8995$$

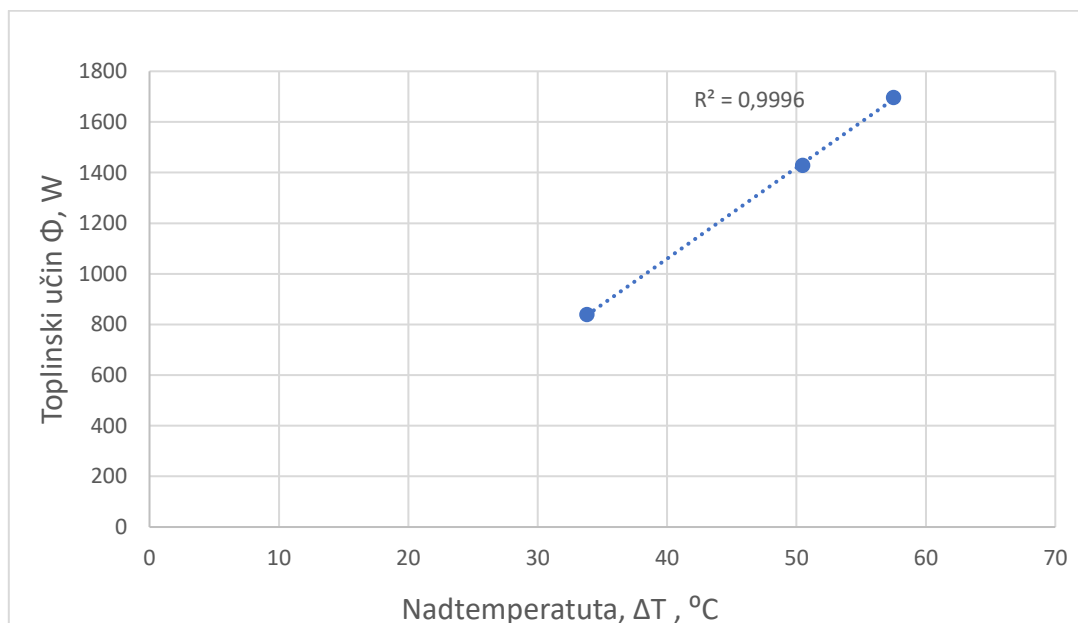
$$K_m = 7,934$$

$$n = \frac{N \cdot \sum(\log \Delta T \cdot \log \Phi) - \sum(\log \Delta T) \cdot \sum(\log \Phi)}{N \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - (\sum(\log \Delta T))^2}$$

$$n = 1,3241$$

Iz toga slijedi karakteristična jednadžba toplinskog učina radijatora:

$$\Phi = 7,934 \cdot \Delta T^{1,3241}$$



Slika 7. Karakteristična jednadžba radijatora Lipovica



### 6.3. Rezultati mjerenja radijatora 2 - Global

Rezultati mjerenja prikazani su tablično za pojedini iznos  $\Delta T$ .

#### 6.3.1. Radijator 2 – Global, Nadtemperatura 30°C

Tablica 16. Temperature prostora za 30 C, radijator Global

<b>Temperatura termopara: pozicija 1</b>	18,182
<b>Temperatura termopara: pozicija 2</b>	20,395
<b>Temperatura termopara: pozicija 3</b>	17,727
<b>Temperatura termopara: pozicija 4</b>	19,941
<b>Temperatura termopara: pozicija 5</b>	18,138
<b>Temperatura termopara: pozicija 6</b>	20,434
<b>Temperatura termopara: pozicija 7</b>	18,085
<b>Temperatura termopara: pozicija 8</b>	20,305
<b>Temperatura termopara: pozicija 9</b>	17,427
<b>Temperatura termopara: pozicija 10</b>	19,987
<b>Srednja temperatura prostora</b>	19,062

Tablica 17. Temperature polaza i povrata za 30 °C, radijator Global

Temperatura polaza vode	55,294
Temperatura povrata vode	49,395
Protok	2,331 = 0,132

Tablica 18. Temperature uz pod i strop za 30 °C, radijator Global

Temperatura poda	11,925
Temperatura stropa	20,922

Svojstva za srednju temperaturu 52,35 °C prema [4] iznose:

$$\rho_w = 986,906 \text{ kg/m}^3$$

$$c_w = 4180,355 \text{ J/kgK}$$

$$q_{mw} = q_{vw} \cdot \rho_w = 3,632 \cdot 10^{-5} \cdot 989,1347 = 0,0359 \text{ kg/s}$$

Toplinski učin na strani vode iznosi:

$$\Phi = q_{mw} \cdot (h_{w1} - h_{w2}) = q_{mw} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{w1} - \vartheta_{w2})$$

$$\Phi = 0,0359 \cdot 4180,355 \cdot (55,294 - 49,395) = 883,83 \text{ W}$$

### 6.3.2. Radijator 2 – Global, Nadtemperatura 50°C

Tablica 19. Temperature prostora za 50°C, radijator Global

<b>Temperatura termopara: pozicija 1</b>	20,701
<b>Temperatura termopara: pozicija 2</b>	23,847
<b>Temperatura termopara: pozicija 3</b>	19,966
<b>Temperatura termopara: pozicija 4</b>	23,286
<b>Temperatura termopara: pozicija 5</b>	20,584
<b>Temperatura termopara: pozicija 6</b>	24,057
<b>Temperatura termopara: pozicija 7</b>	20,45
<b>Temperatura termopara: pozicija 8</b>	23,751
<b>Temperatura termopara: pozicija 9</b>	19,62
<b>Temperatura termopara: pozicija 10</b>	23,558
<b>Srednja temperatura prostora</b>	21,982

Tablica 20. Temperature polaza i povrata za 50 °C, radiator Global

Temperatura polaza vode	75,499
Temperatura povrata vode	65,431
Protok	0,132

Tablica 21. Temperature uz pod i strop za 50 °C, radiator Global

Temperatura poda	11,905
Temperatura stropa	24,122

Svojstva za srednju temperaturu 70,47°C prema [4] iznose:

$$\rho_w = 977,502 \text{ kg/m}^3$$

$$c_w = 4188,44 \text{ J/kgK}$$

$$q_{mw} = q_{vw} \cdot \rho_w = 3,63 \cdot 10^{-5} \cdot 977,502 = 0,0355 \text{ kg/s}$$

Toplinski učin na strani vode iznosi:

$$\Phi = q_{mw} \cdot (h_{w1} - h_{w2}) = q_{mw} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{w1} - \vartheta_{w2})$$

$$\Phi = 0,0355 \cdot 4188,44 \cdot (75,499 - 65,431) = 1496,99 \text{ W}$$

### 6.3.3. Radijator 2 – Global, Nadtemperatura 60°C

Tablica 22. Temperature prostora za 60°C, radijator Global

<b>Temperatura termopara: pozicija 1</b>	21,456
<b>Temperatura termopara: pozicija 2</b>	25,12
<b>Temperatura termopara: pozicija 3</b>	21,737
<b>Temperatura termopara: pozicija 4</b>	25,175
<b>Temperatura termopara: pozicija 5</b>	21,598
<b>Temperatura termopara: pozicija 6</b>	25,44
<b>Temperatura termopara: pozicija 7</b>	20,524
<b>Temperatura termopara: pozicija 8</b>	24,485
<b>Temperatura termopara: pozicija 9</b>	24,604
<b>Temperatura termopara: pozicija 10</b>	20,872
<b>Srednja temperatura prostora</b>	23,101

Tablica 23. Temperature polaza i povrata za 60 °C, radijator Global

Temperatura polaza vode	85,67
Temperatura povrata vode	73,369
Protok	2,332 = 0,1323

Tablica 24. Temperature uz pod i strop za 60 °C, radijator Global

Temperatura poda	12,204
Temperatura stropa	24,967

Svojstva za srednju temperaturu 79,519°C prema [4] iznose:

$$\rho_w = 972,087 \text{ kg/m}^3$$

$$c_w = 4198,95 \text{ J/kgK}$$

$$q_{mw} = q_{vw} \cdot \rho_w = 3,632 \cdot 10^{-5} \cdot 972,087 = 0,0353 \text{ kg/s}$$

Toplinski učin na strani vode iznosi:

$$\Phi = q_{mw} \cdot (h_{w1} - h_{w2}) = q_{mw} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{w1} - \vartheta_{w2})$$

$$\Phi = 0,0353 \cdot 4198,95 \cdot (85,67 - 73,369) = 1823,44 \text{ W}$$

#### 6.4. Karakteristična jednačba radijatora Global

Nadtemperatura 30 °C

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_{w,1} + \vartheta_{w,2}}{2} - \vartheta_r = \frac{55,294 + 49,395}{2} - 19,062 = 33,2825 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nadtemperatura 50 °C

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_{w,1} + \vartheta_{w,2}}{2} - \vartheta_r = \frac{75,499 + 65,431}{2} - 21,982 = 48,48 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nadtemperatura 60 °C

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_{w,1} + \vartheta_{w,2}}{2} - \vartheta_r = \frac{85,67 + 73,369}{2} - 23,101 = 56,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tablica 25. Rezultati mjerenja za radijator Global

Temperaturni režim °C	55,294/49,395	75,499/65,431	85,67/73,369
Temperatura prostorije, °C	19,062	21,982	23,101
Nadtemperatura, °C	33,28	48,48	56,52
Toplinski učin $\Phi$ , W	883,83	1496,99	1823,44

Tablica 26. Pomoćna tablica za izračun eksponenta n i Km

Nadtemperatura	33,2825	48,48	56,52
log ΔT	1,522	1,686	1,752
Φ	883,83	1496,99	1823,44
log Φ	2,946	3,175	3,261
Σ log ΔT	4,96		
Σ log Φ	9,382		
log ΔT* log Φ	4,484	5,353	5,713
Σ log ΔT* log Φ	15,55		
(log ΔT) <sup>2</sup>	2,316	2,843	3,07
Σ((log ΔT) <sup>2</sup> )	8,229		
(Σ(log ΔT)) <sup>2</sup>	24,602		

Uvrštavanjem u prethodno prikazane jednadžbe dobivamo:

$$\log K_m = \frac{\sum(\log \Phi) \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - \sum(\log \Delta T \cdot \log \Phi) \cdot \sum(\log \Delta T)}{N \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - (\sum(\log \Delta T))^2}$$

$$\log K_m = \frac{9,382 \cdot 8,229 - 15,55 \cdot 4,96}{3 \cdot 8,229 - 24,602}$$

$$\log K_m = 0,8997$$

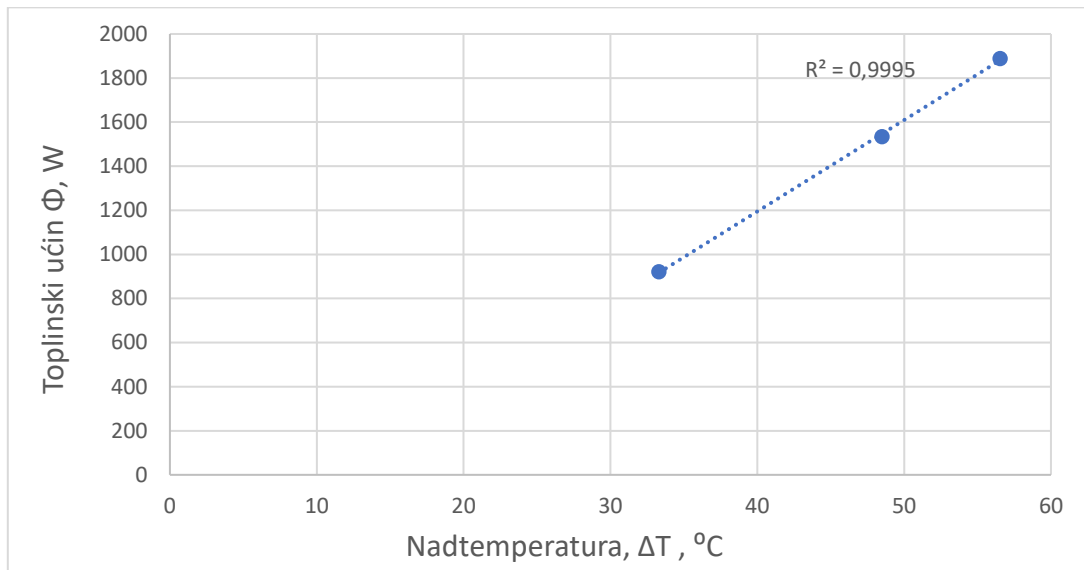
$$K_m = 7,938$$

$$n = \frac{N \cdot \sum(\log \Delta T \cdot \log \Phi) - \sum(\log \Delta T) \cdot \sum(\log \Phi)}{N \cdot \sum[(\log \Delta T)^2] - (\sum(\log \Delta T))^2}$$

$$n = 1,3498$$

Iz toga slijedi karakteristična jednadžba toplinskog učina radijatora:

$$\Phi = 7,938 \cdot \Delta T^{1,3498}$$



Slika 8. Karakteristična jednadžba radijatora Global

## 7. IZRAČUN KOEFICIJENTA PRIJELAZA TOPLINE $\alpha$

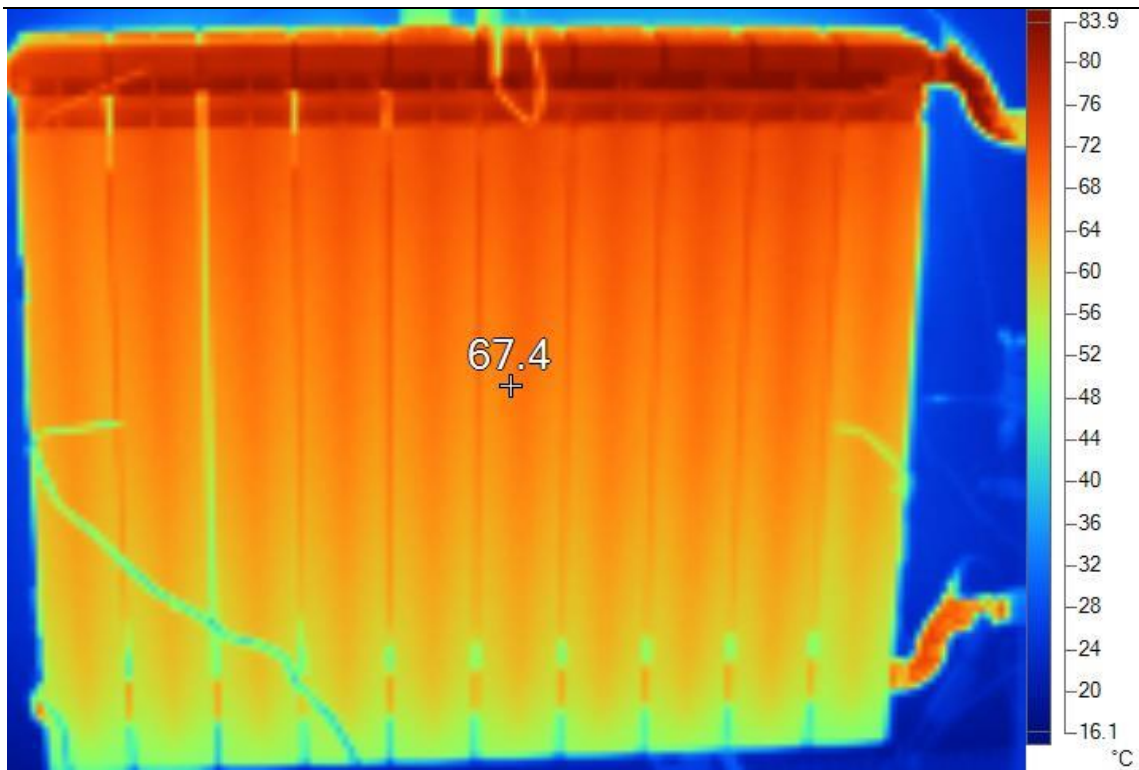
Za izračun koeficijenta prijelaza topline sa prednje strane radijatora termoparove smo postavili na 9 točaka uz radijator kako je prikazano na Slika 5. Temperatura površine radijatora snimljena je termografskom kamerom. Dodatno je ručno izmjerena temperatura zraka s gornje i donje strane između rebara radijatora te brzina strujanja zraka na istim mjestima.

### 7.1. Izračun koeficijenta prijelaza topline za radijator Lipovica režim 85/75

Tablica 27. Rezultati mjerenja temperature za režim 85/75, radijator Lipovica

Broj točke	$\vartheta_{\text{rad}}$	$\vartheta_{\text{zrak}}$	$\Delta \vartheta$
1	77,5	50,9	26,6
2	76,9	51,1	25,8
3	79,5	51,5	28
4	64,5	25,2	39,3
5	65,2	23,2	42
6	64,8	23,4	41,4
7	55,8	21,9	33,9
8	56,1	21,5	34,6
9	54,4	20,8	33,6





Slika 9. Termogram, radiator Lipovica, režim 85/75

### 7.1.1. Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule [4]

$$\vartheta_{rad, sred} = 66,07 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{zrak, sred} = 32,167 \text{ °C}$$

Ogrjevna površina radijatora

$$A_{rad} = 6,1 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 1695,89 \text{ W}$$

$$\alpha, sred = \frac{\Phi}{A_{rad} \cdot (\vartheta_{rad, sred} - \vartheta_{zrak, sred})} = \frac{1695,89}{6,1 \cdot (66,07 - 32,167)}$$

$$\alpha, sred = 8,198 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

### 7.1.2. Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline

Radi jednostavnosti prolaz topline kroz radiator modeliramo kao ravnu stijenu [4]. Koeficijent prijelaza topline sa unutarnje strane radijatora (na strani vode) modeliramo kao strujanje vode kroz cijev [5].

Tablica 28. Podaci za vodu za temperaturni režim 85/75

Vanjski promjer cijevi, $d_v$	25,4 mm
Prandtllov broj, $Pr$	2,2188
Gustoća vode, $\rho$	971,8 kg/m <sup>3</sup>
Specifični toplinski kapacitet vode, $c_p$	4,1955 kJ/kgK
Viskoznost, $\nu$	3,65*10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
Unutarnji promjer cijevi, $d_u$	21,4 mm
Toplinska provodnost vode, $\lambda$	0,67 W/mK

Brzina strujanja vode u radijatoru svedena na jedan članak radijatora:

$$w = \frac{4 \cdot q_{m,w}}{\rho \cdot d_u^2 \cdot \pi} = 0,00989 \text{ m/s}$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} = \frac{0,00989 \cdot 0,0214}{3,65 \cdot 10^{-7}} = 580,95$$

Nusseltov broj:

$$Nu = 1,86 \cdot \left[ \left( \frac{d_u}{L} \right) \cdot Re \cdot Pr \right]^{\frac{1}{3}} = 1,86 \left[ \left( \frac{0,0214}{0,68} \right) \cdot 580,95 \cdot 2,218 \right]^{\frac{1}{3}} = 6,64$$

Koeficijent prijelaza topline sa unutarnje strane:

$$\alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \frac{6,64 \cdot 0,67}{0,0214} = 200,103 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Srednja logaritamska razlika temperatura:

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov}}{\ln \left( \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{zrak}}{\vartheta_{pov} - \vartheta_{zrak}} \right)} = \frac{85,909 - 74,21}{\ln \left( \frac{85,909 - 32,67}{74,21 - 32,67} \right)} = 47,15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Koeficijent prolaza topline sveden na jedan članak:

$$k = \frac{\Phi}{A \cdot \Delta\vartheta_m} = \frac{169,589}{0,61 \cdot 47,15} = 5,89 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Koeficijent prijelaza topline sa vanjske strane:

$$\frac{1}{\alpha_v} = \frac{1}{k} + \frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta}{\lambda_{Al}} = \frac{1}{5,89} + \frac{1}{200,103} + \frac{4 \cdot 10^{-3}}{209} = 0,1645 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\alpha_v = 6,07 \text{ W/m}^2\text{K}$$

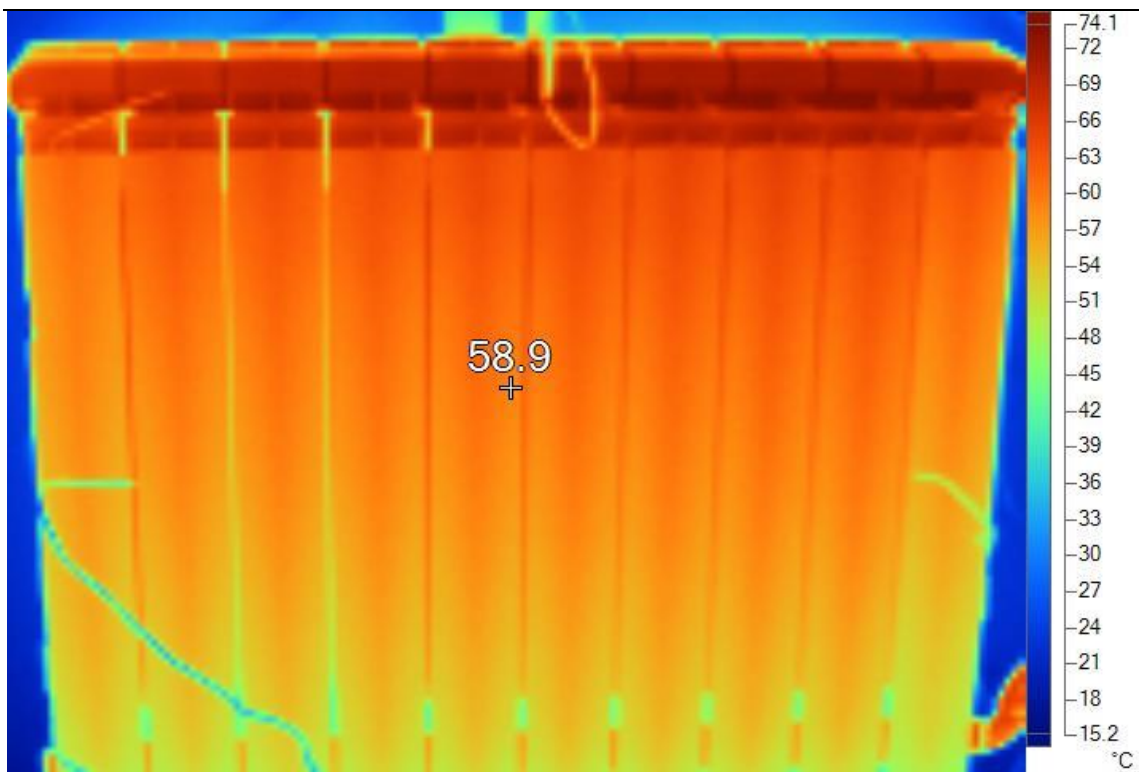
gdje je:

- $\lambda_{Al}$  – toplinska provodnost Aluminiija
- $\delta$  – debljina rebra radijatora

## 7.2. Izračun koeficijenta prijelaza topline za radijator Lipovica režim 75/65

Tablica 29. Rezultati mjerenja temperature za režim 75/65, radijator Lipovica

Broj točke	θrad	θzrak	Δ θ
1	66,8	44,2	22,6
2	67,1	44,5	22,6
3	66,7	45,1	21,6
4	57	22,2	34,8
5	58,2	20,67	37,53
6	56,6	20,99	35,61
7	49,4	18,5	30,9
8	45,6	18,9	26,7
9	48,2	18,8	29,4



Slika 10. Termogram, radiator Lipovica, režim 75/65

### 7.2.1. Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule

$$\vartheta_{rad, sred} = 57,228 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{zrak, sred} = 28,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Ogrjevna površina radijatora

$$A_{rad} = 6,1 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 1450,09 \text{ W}$$

$$\alpha, sred = \frac{\Phi}{A_{rad} \cdot (\vartheta_{rad, sred} - \vartheta_{zrak, sred})} = \frac{1450,09}{6,1 \cdot (57,228 - 28,2)}$$

$$\alpha, sred = 8,17 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 7.2.2. Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline

Tablica 30. Podaci za vodu za temperaturni režim 75/65

Vanjski promjer cijevi, $d_v$	25,4 mm
Prandtlov broj, $Pr$	2,5509
Gustoća vode, $\rho$	977,78 kg/m <sup>3</sup>
Specifični toplinski kapacitet vode, $c_p$	4,1881 kJ/kgK
Viskoznost, $\nu$	4,13*10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
Unutarnji promjer cijevi, $d_u$	21,4 mm
Toplinska provodnost vode, $\lambda$	0,66314 W/mK

Brzina strujanja vode u radiatoru svedena na jedan članak radijatora:

$$w = \frac{4 \cdot q_{m,w}}{\rho \cdot d_u^2 \cdot \pi} = 0,0098 \text{ m/s}$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} = \frac{0,00989 \cdot 0,0214}{4,13 \cdot 10^{-7}} = 512,67$$

Nusseltov broj:

$$Nu = 1,86 \cdot \left[ \left( \frac{d_u}{L} \right) \cdot Re \cdot Pr \right]^{\frac{1}{3}} = 1,86 \left[ \left( \frac{0,0214}{0,68} \right) \cdot 512,67 \cdot 2,5509 \right]^{\frac{1}{3}} = 6,42$$

Koeficijent prijelaza topline sa unutarnje strane:

$$\alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \frac{6,42 \cdot 0,66314}{0,0214} = 198,99 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Srednja logaritamska razlika temperatura:

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov}}{\ln \left( \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{zrak}}{\vartheta_{pov} - \vartheta_{zrak}} \right)} = \frac{75,581 - 65,619}{\ln \left( \frac{75,581 - 28,3}{65,619 - 28,3} \right)} = 42,55 \text{ }^\circ\text{C}$$

Koeficijent prolaza topline sveden na jedan članak:

$$k = \frac{\Phi}{A \cdot \Delta\vartheta_m} = \frac{145,009}{0,61 \cdot 42,55} = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Koeficijent prijelaza topline sa vanjske strane sveden na površinu vanjske plohe:

$$\frac{1}{\alpha_v} = \frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_u} - \frac{\delta}{\lambda_{Al}} = \frac{1}{5,59} - \frac{1}{198,99} - \frac{4 \cdot 10^{-3}}{209} = 0,173 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\alpha_v = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

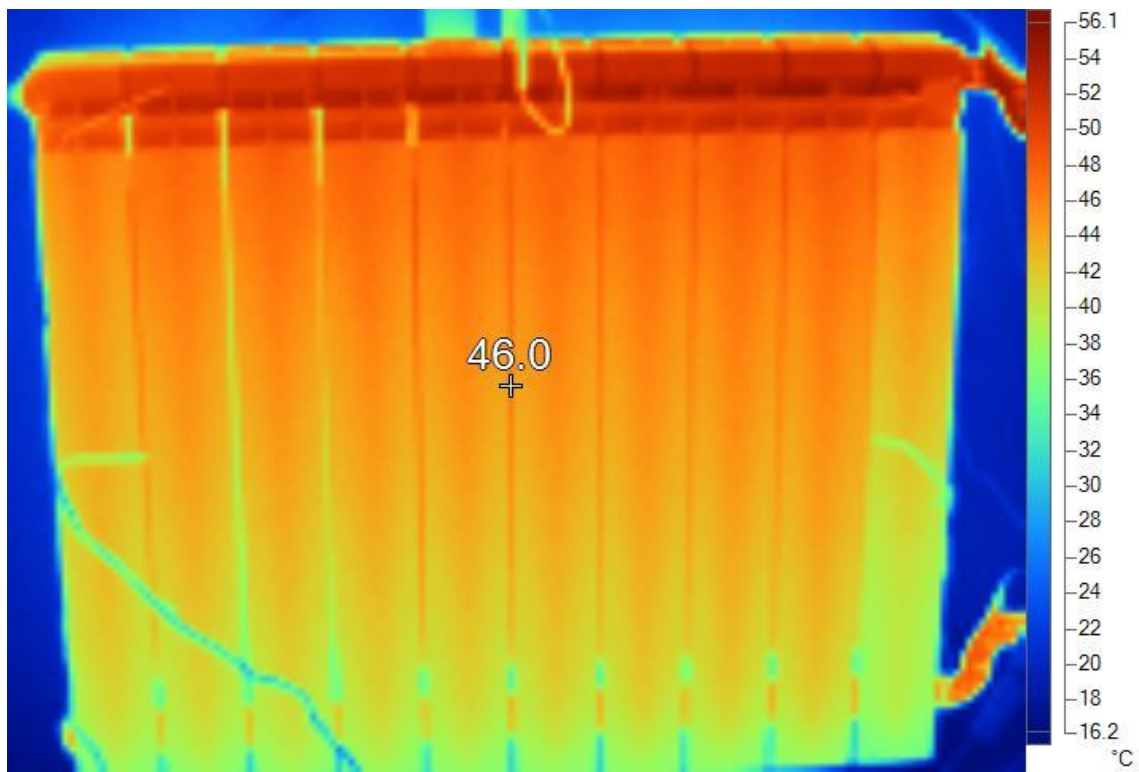
gdje je:

- $\lambda_{Al}$  – toplinska provodnost Aluminijske legure
- $\delta$  – debljina rebra radijatora

### 7.3. Izračun koeficijenta prijelaza topline za radijator Lipovica režim 55/45

Tablica 31. Rezultati mjerenja temperature za režim 55/45, radijator Lipovica

Broj točke	ϑrad	ϑzrak	Δ ϑ
1	50,8	35,2	15,6
2	47,4	35,8	11,6
3	50,7	36,1	14,6
4	43,9	19,7	24,2
5	43,5	18,8	24,7
6	42,8	18,9	23,9
7	39,1	16,7	22,4
8	39,3	16,8	22,5
9	39	16,5	22,5



Slika 11. Termogram, radiator Lipovica, režim 55/45

### 7.3.1. Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule

$$\vartheta_{rad, sred} = 44,056 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{zrak, sred} = 23,83 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Ogrjevna površina radijatora

$$A_{rad} = 6,1 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 841,41 \text{ W}$$

$$\alpha, sred = \frac{\Phi}{A_{rad} \cdot (\vartheta_{rad, sred} - \vartheta_{zrak, sred})} = \frac{841,41}{6,1 \cdot (44,056 - 23,83)}$$

$$\alpha, sred = 6,83 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 7.3.2. Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline

Tablica 32. Podaci za vodu za temperaturni režim 55/45

Vanjski promjer cijevi, $d_v$	25,4 mm
Prandtlov broj, $Pr$	3,5512
Gustoća vode, $\rho$	988,05 kg/m <sup>3</sup>
Specifični toplinski kapacitet vode, $c_p$	4,1828 kJ/kgK
Viskoznost, $\nu$	5,53*10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
Unutarnji promjer cijevi, $d_u$	21,4 mm
Toplinska provodnost vode, $\lambda$	0,6436 W/mK

Brzina strujanja vode u radiatoru svedena na jedan članak:

$$w = \frac{4 \cdot q_{m.w}}{\rho \cdot d_u^2 \cdot \pi} = 0,0097 \text{ m/s}$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} = \frac{0,0097 \cdot 0,0214}{5,53 \cdot 10^{-7}} = 376,44$$

Nusseltov broj:

$$Nu = 1,86 \cdot \left[ \left( \frac{d_u}{L} \right) \cdot Re \cdot Pr \right]^{\frac{1}{3}} = 1,86 \left[ \left( \frac{0,0214}{0,68} \right) \cdot 376,44 \cdot 3,55 \right]^{\frac{1}{3}} = 6,47$$

Koeficijent prijelaza topline sa unutarnje strane:

$$\alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \frac{6,47 \cdot 0,6436}{0,0214} = 194,55 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Srednja logaritamska razlika temperatura:

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov}}{\ln \left( \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{zrak}}{\vartheta_{pov} - \vartheta_{zrak}} \right)} = \frac{55,228 - 49,492}{\ln \left( \frac{55,228 - 23,87}{49,492 - 23,87} \right)} = 28,42 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Koeficijent prolaza topline:

$$k = \frac{\Phi}{A \cdot \Delta \vartheta_m} = \frac{84,141}{0,61 \cdot 28,42} = 4,85 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Koeficijent prijelaza topline sa vanjske strane:

$$\frac{1}{\alpha_v} = \frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_u} - \frac{\delta}{\lambda_{Al}} = \frac{1}{4,85} - \frac{1}{194,55} - \frac{4 \cdot 10^{-3}}{209} = 0,2 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$\alpha_v = 4,97 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

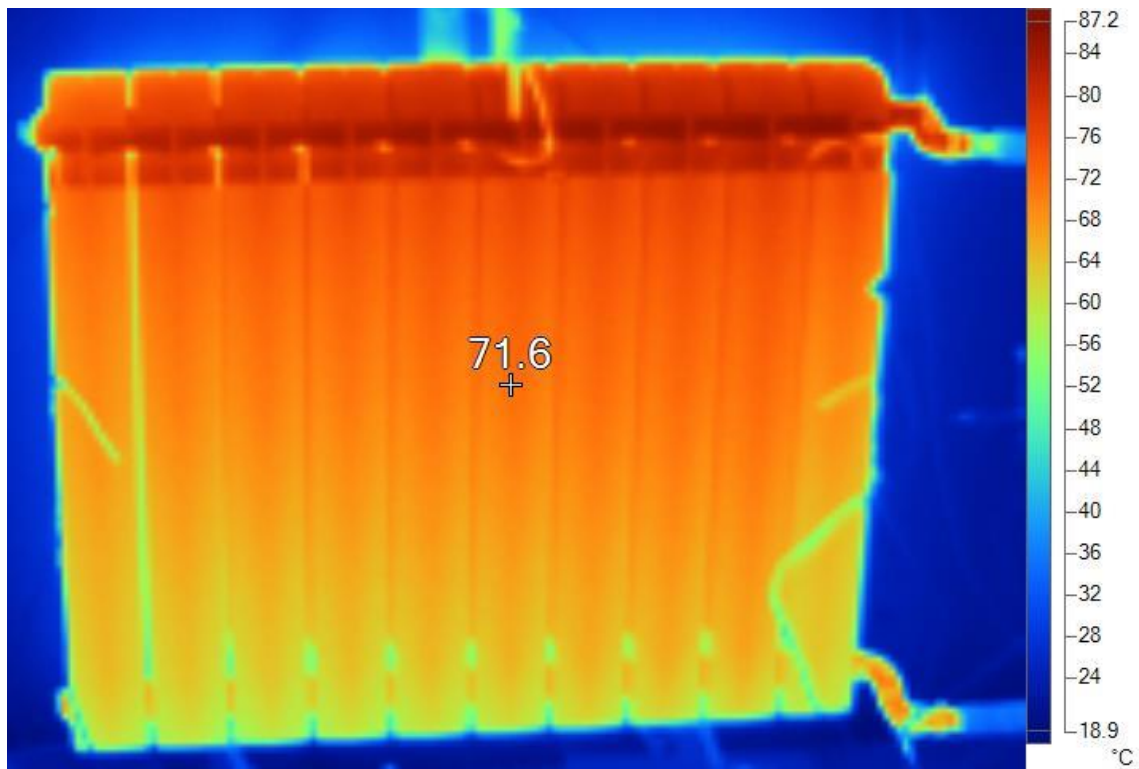
gdje je:

- $\lambda_{Al}$  – toplinska provodnost Aluminiija
- $\delta$  – debljina rebra radijatora

#### 7.4. Izračun koeficijenta prijelaza topline za radijator Global režim 85/75

Tablica 33. Rezultati mjerenja temperature za režim 85/75, radijator Global

Broj točke	ϑrad	ϑzrak	Δ ϑ
1	72,1	53,9	18,2
2	75,3	54,1	21,2
3	72,7	54,9	17,8
4	65,9	24,5	40,9
5	69,6	23,4	46,1
6	67,4	25,4	41,9
7	61,4	19,9	41,5
8	61,4	20,4	40,9
9	58,7	20	38,7



Slika 12. Termogram, radiator Global, režim 85/75

#### 7.4.1. Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule

$$\vartheta_{rad, sred} = 67,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{zrak, sred} = 33,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Ogrjevna površina radijatora

$$A_{rad} = 6,22 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 1823,44 \text{ W}$$

$$\alpha, sred = \frac{\Phi}{A_{rad} \cdot (\vartheta_{rad, sred} - \vartheta_{zrak, sred})} = \frac{1823,44}{6,22 \cdot (67,2 - 33,1)}$$

$$\alpha, sred = 8,578 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 7.4.2. Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline

Tablica 34. Podaci za vodu za temperaturni režim 85/75

Vanjski promjer cijevi, $d_v$	25,4 mm
Prandtlov broj, $Pr$	2,2188
Gustoća vode, $\rho$	971,8 kg/m <sup>3</sup>
Specifični toplinski kapacitet vode, $c_p$	4,1955 kJ/kgK
Viskoznost, $\nu$	3,65*10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
Unutarnji promjer cijevi, $d_u$	21,4 mm
Toplinska provodnost vode, $\lambda$	0,67 W/mK

Brzina strujanja vode u radiatoru svedena na jedan članak radijatora:

$$w = \frac{4 \cdot q_{m,w}}{\rho \cdot d_u^2 \cdot \pi} = 0,0102 \text{ m/s}$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} = \frac{0,0102 \cdot 0,0214}{3,65 \cdot 10^{-7}} = 592,705$$

Nusseltov broj:

$$Nu = 1,86 \cdot \left[ \left( \frac{d_u}{L} \right) \cdot Re \cdot Pr \right]^{\frac{1}{3}} = 1,86 \left[ \left( \frac{0,0214}{0,69} \right) \cdot 592,705 \cdot 2,2188 \right]^{\frac{1}{3}} = 6,434$$

Koeficijent prijelaza topline sa unutarnje strane:

$$\alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \frac{6,434 \cdot 0,67}{0,0214} = 201,44 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Srednja logaritamska razlika temperatura:

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov}}{\ln \left( \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{zrak}}{\vartheta_{pov} - \vartheta_{zrak}} \right)} = \frac{85,67 - 73,369}{\ln \left( \frac{85,67 - 32,76}{73,369 - 32,76} \right)} = 46,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

Koeficijent prolaza topline:

$$k = \frac{\Phi}{A \cdot \Delta\vartheta_m} = \frac{182,344}{0,622 \cdot 46,48} = 6,304 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Koeficijent prijelaza topline sa vanjske strane:

$$\frac{1}{\alpha_v} = \frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_u} - \frac{\delta}{\lambda_{Al}} = \frac{1}{6,304} - \frac{1}{201,44} - \frac{4 \cdot 10^{-3}}{209} = 0,1536 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\alpha_v = 6,509 \text{ W/m}^2\text{K}$$

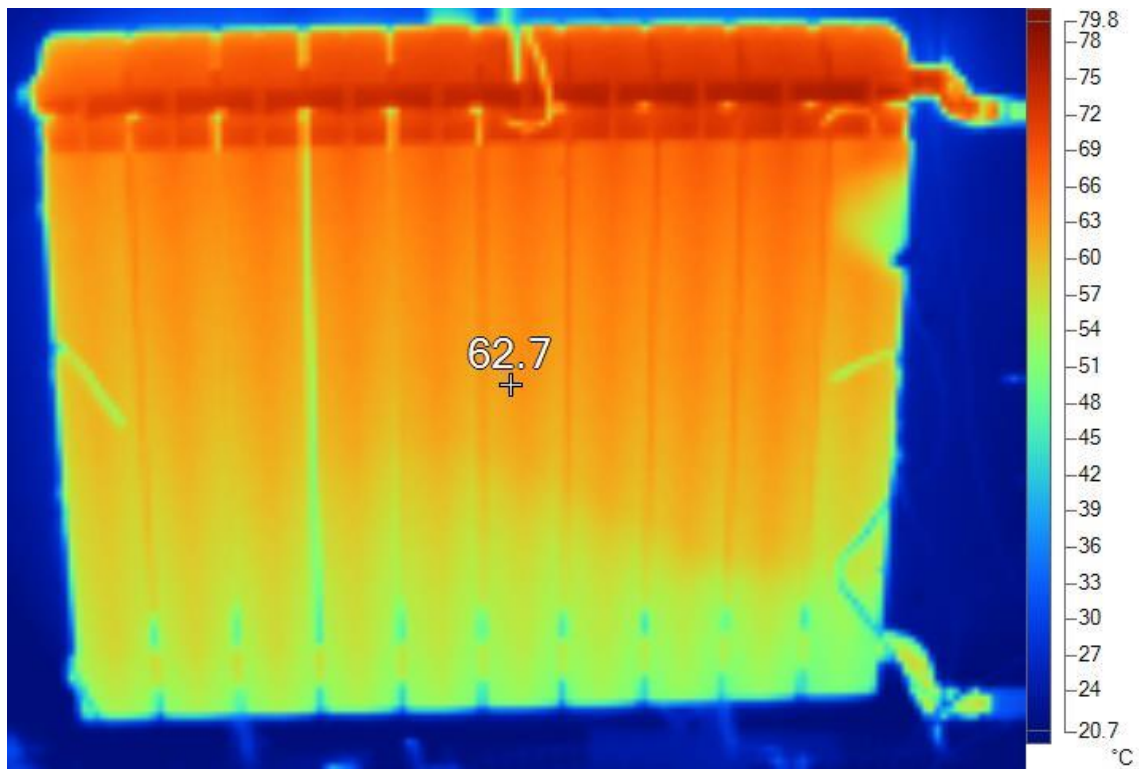
gdje je:

- $\lambda_{Al}$  – toplinska provodnost Aluminiija
- $\delta$  – debljina rebra radijatora

## 7.5. Izračun koeficijenta prijelaza topline za radijator Global režim 75/65

Tablica 35. Rezultati mjerenja temperature za režim 75/65, radijator Global

Broj točke	ϑrad	ϑzrak	Δ ϑ
1	64,5	48,5	16
2	67,2	49	18,2
3	63,2	49,7	13,5
4	58,9	23,8	35,1
5	62,5	22,1	40,4
6	59,9	23,8	36,1
7	55,9	18,9	37
8	53,8	19,4	34,4
9	51,1	18,9	32,2



Slika 13. Termogram, radiator Global, režim 75/65

### 7.5.1. Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule

$$\vartheta_{rad, sred} = 59,67 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{zrak, sred} = 30,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Ogrjevna površina radijatora

$$A_{rad} = 6,22 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 1496,99 \text{ W}$$

$$\alpha, sred = \frac{\Phi}{A_{rad} \cdot (\vartheta_{rad, sred} - \vartheta_{zrak, sred})} = \frac{1496,99}{6,22 \cdot (59,67 - 30,5)}$$

$$\alpha, sred = 8,24 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 7.5.2. Izračun $\alpha$ preko koeficijenta prolaza topline

Tablica 36. Podaci za vodu za temperaturni režim 75/65

Vanjski promjer cijevi, $d_v$	25,4 mm
Prandtlov broj, $Pr$	2,5509
Gustoća vode, $\rho$	977,78 kg/m <sup>3</sup>
Specifični toplinski kapacitet vode, $c_p$	4,1881 kJ/kgK
Viskoznost, $\nu$	4,13*10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
Unutarnji promjer cijevi, $d_u$	21,4 mm
Toplinska provodnost vode, $\lambda$	0,66314 W/mK

Brzina strujanja vode u radiatoru svedena na jedan članak:

$$w = \frac{4 \cdot q_{m,w}}{\rho \cdot d_u^2 \cdot \pi} = 0,01 \text{ m/s}$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} = \frac{0,01 \cdot 0,0214}{4,13 \cdot 10^{-7}} = 522,538$$

Nusseltov broj:

$$Nu = 1,86 \cdot \left[ \left( \frac{d_u}{L} \right) \cdot Re \cdot Pr \right]^{\frac{1}{3}} = 1,86 \left[ \left( \frac{0,0214}{0,69} \right) \cdot 522,538 \cdot 2,5509 \right]^{\frac{1}{3}} = 6,464$$

Koeficijent prijelaza topline sa unutarnje strane:

$$\alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \frac{6,464 \cdot 0,66314}{0,0214} = 200,31 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Srednja logaritamska razlika temperatura:

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov}}{\ln \left( \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{zrak}}{\vartheta_{pov} - \vartheta_{zrak}} \right)} = \frac{75,499 - 65,431}{\ln \left( \frac{75,499 - 30,4}{65,431 - 30,4} \right)} = 39,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Koeficijent prolaza topline:

$$k = \frac{\Phi}{A \cdot \Delta\vartheta_m} = \frac{149,699}{0,622 \cdot 39,85} = 6,035 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Koeficijent prijelaza topline sa vanjske strane:

$$\frac{1}{\alpha_v} = \frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_u} - \frac{\delta}{\lambda_{Al}} = \frac{1}{6,035} - \frac{1}{200,31} - \frac{4 \cdot 10^{-3}}{209} = 0,1606 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\alpha_v = 6,224 \text{ W/m}^2\text{K}$$

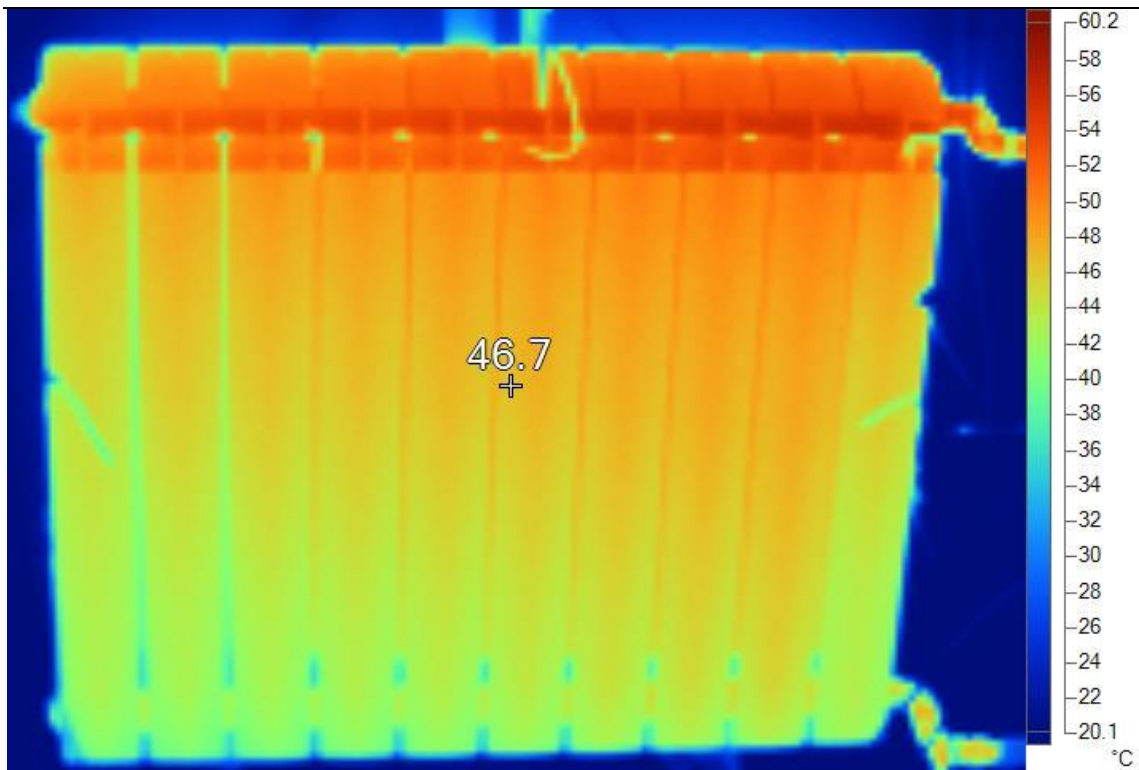
gdje je:

- $\lambda_{Al}$  – toplinska provodnost Aluminija
- $\delta$  – debljina rebra radijatora

## 7.6. Izračun koeficijenta prijelaza topline za radijator Global režim 55/45

Tablica 37. Rezultati mjerenja temperature za režim 55/45, radijator Global

Broj točke	$\vartheta_{rad}$	$\vartheta_{zrak}$	$\Delta \vartheta$
1	48,6	38,2	10,4
2	50,2	38,7	11,5
3	50	39,2	10,8
4	43,5	20,3	23,2
5	46,3	19,2	27,1
6	44,6	20,2	24,4
7	41,8	17,3	24,5
8	42,1	17,7	24,4
9	42,1	17,4	24,7



Slika 14. Termogram, radiator Global, režim 55/45

### 7.6.1. Izračun $\alpha$ putem Newtonove formule

$$\vartheta_{rad, sred} = 45,47 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{zrak, sred} = 25,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Ogrjevna površina radijatora

$$A_{rad} = 6,22 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 883,73 \text{ W}$$

$$\alpha, sred = \frac{\Phi}{A_{rad} \cdot (\vartheta_{rad, sred} - \vartheta_{zrak, sred})} = \frac{883,73}{6,22 \cdot (45,47 - 25,35)}$$

$$\alpha, sred = 7,079 \text{ W/m}^2\text{K}$$



7.6.2. Izračun  $\alpha$  preko koeficijenta prolaza topline

Tablica 38. Podaci za vodu za temperaturni režim 55/45

Vanjski promjer cijevi, $d_v$	25,4 mm
Prandtlov broj, $Pr$	3,5512
Gustoća vode, $\rho$	988,05 kg/m <sup>3</sup>
Specifični toplinski kapacitet vode, $c_p$	4,1828 kJ/kgK
Viskoznost, $\nu$	5,53*10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
Unutarnji promjer cijevi, $d_u$	21,4 mm
Toplinska provodnost vode, $\lambda$	0,6436 W/mK

Brzina strujanja vode u radijatoru svedena na jedan članak radijatora:

$$w = \frac{4 \cdot q_{m,w}}{\rho \cdot d_u^2 \cdot \pi} = 0,0101 \text{ m/s}$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} = \frac{0,0101 \cdot 0,0214}{5,53 \cdot 10^{-7}} = 390,59$$

Nusseltov broj:

$$Nu = 1,86 \cdot \left[ \left( \frac{d_u}{L} \right) \cdot Re \cdot Pr \right]^{\frac{1}{3}} = 1,86 \cdot \left[ \left( \frac{0,0214}{0,69} \right) \cdot 390,59 \cdot 3,55 \right]^{\frac{1}{3}} = 6,549$$

Koeficijent prijelaza topline sa unutarnje strane:

$$\alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \frac{6,549 \cdot 0,6436}{0,0214} = 196,96 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Srednja logaritamska razlika temperatura:

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{pov}}{\ln \left( \frac{\vartheta_{pol} - \vartheta_{zrak}}{\vartheta_{pov} - \vartheta_{zrak}} \right)} = \frac{55,228 - 49,492}{\ln \left( \frac{55,228 - 24,209}{49,492 - 24,209} \right)} = 26,88 \text{ }^\circ\text{C}$$

Koeficijent prolaza topline:

$$k = \frac{\Phi}{A \cdot \Delta\vartheta_m} = \frac{88,383}{0,622 \cdot 26,88} = 5,278 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Koeficijent prijelaza topline sa vanjske strane:

$$\frac{1}{\alpha_v} = \frac{1}{k} - \frac{1}{\alpha_u} - \frac{\delta}{\lambda_{Al}} = \frac{1}{5,278} - \frac{1}{196,96} - \frac{4 \cdot 10^{-3}}{209} = 0,184 \text{ m}^2\text{K/W}$$

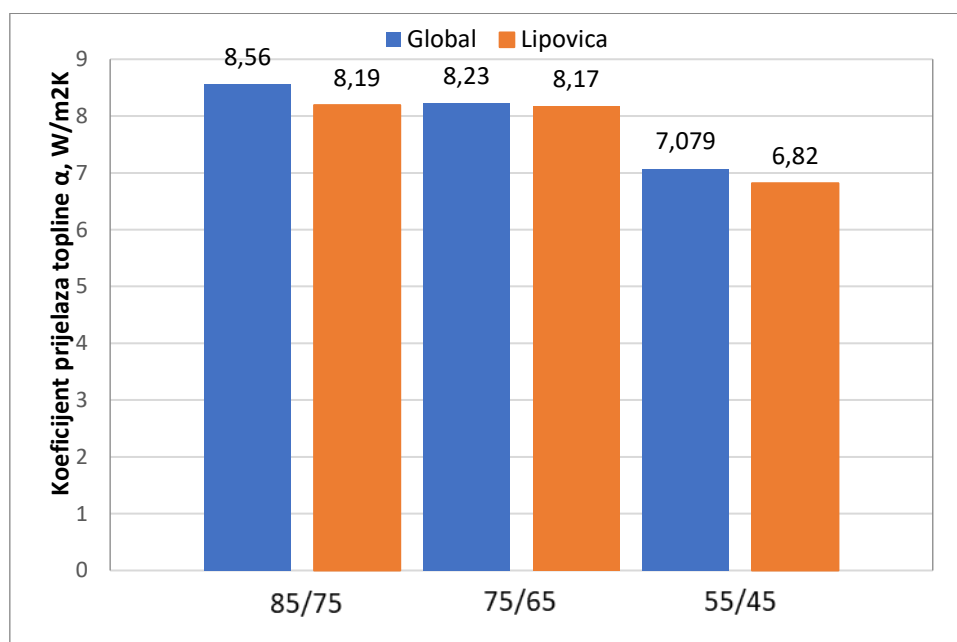
$$\alpha_v = 5,42 \text{ W/m}^2\text{K}$$

gdje je:

- $\lambda_{Al}$  – toplinska provodnost Aluminija
- $\delta$  – debljina rebra radijatora

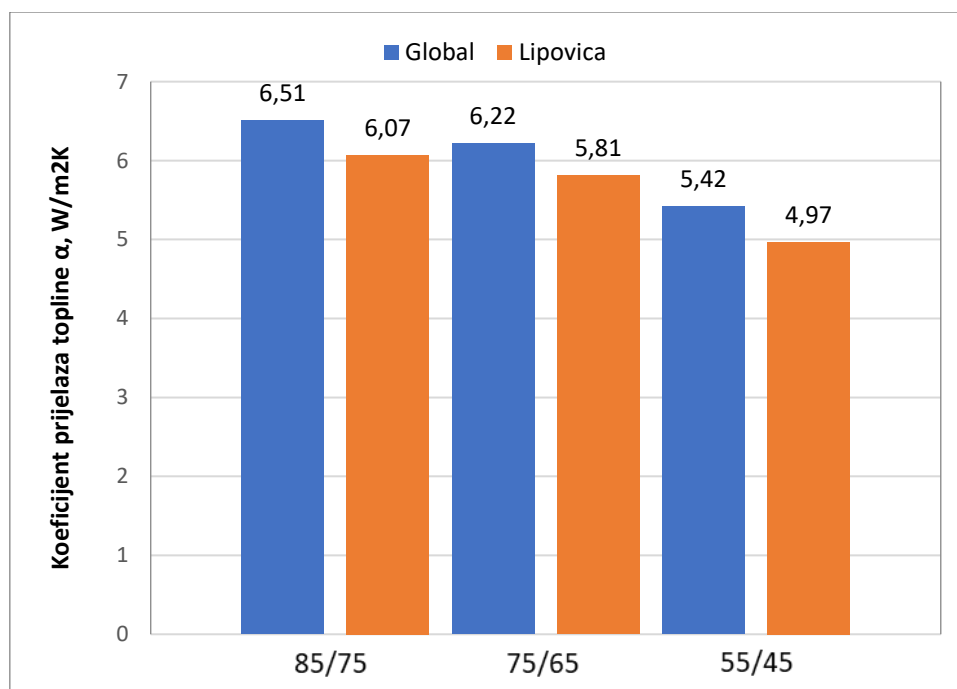
## 8. USPOREDBA I ANALIZA REZULTATA 2 RADIJATORA

### 8.1. Usporedba koeficijenta prijelaza topline



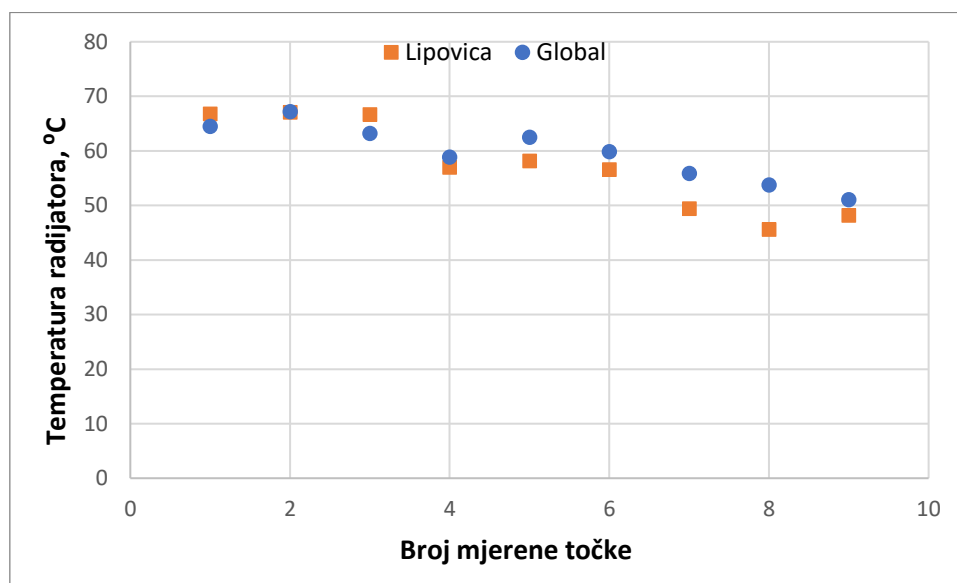
Slika 15. Koeficijenti prijelaza topline izračunati Newtonovom metodom

Iz provednih mjerenja i proračuna zaključujemo da radiator marke Global ima bolji koeficijent prijelaza topline iako je razlika vrlo mala.



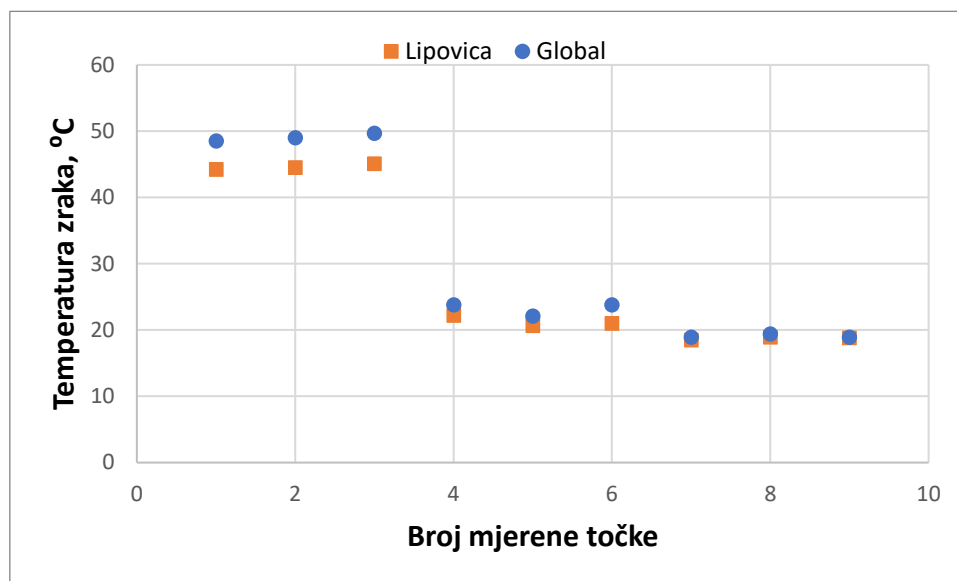
Slika 16. Koeficijenti prijelaza topline izračunati preko koeficijenta prolaza topline

Iz priložene Slika 16 kao i iz proračuna vidljivo je da i putem ove metode izračuna radijator marke Global ima bolji koeficijent prijelaza topline sa prednje strane od radijatora marke Lipovica. Problem koji se ovdje javlja je u tome što se rezultati između ova dva proračuna dosta razlikuju. Rezultati za radijator Global razlikuju se do 24%, a za marku Lipovica do 26% što proizlazi iz znatnog pojednostavljanja modela prijelaza topline.



Slika 17. Temperature površine radijatora za režim 75/65

Temperature površine radijatora izmjerene su termografskom kamerom i obrađene u softveru Smart View. Same temperature površina poprilično su slične. Rezultati mjerenja pokazuju približno iste dijagrame i za ostala dva temperaturna režima za koji su se radijatori ispitivali.



Slika 18. Temperature zraka oko radijatora za 9 mjerenih točki za režim 75/65

Zbog vrlo velike razlike u izmjerenim temperaturama između početne tri točke radijatora Lipovica i početne tri točke radijatora Global, a koje su mjerile temperature zraka neposredno ispred radijatora, u dijagramu su prikazane ručno izmjerene temperature za prvi tri točke oba radijatora koje su izmjerene sa gornje strane između rebara. One su puno bliže vrijednosti jedne drugima te su iskorištene i u proračunu koeficijenta prijelaza topline oba radijatora. Iz mjerenja se vidi da se kod radijatora Global postižu više temperature između rebara dok se ostalih 6 točaka približno poklapaju.

Tablica 39. Brzine strujanja zraka između rebara sa prednje i donje strane radijatora

	Lipovica			Global		
	75/65	55/45	85/75	75/65	55/45	85/75
v1, m/s	0,53	0,42	0,55	0,47	0,41	0,58
v2, m/s	0,45	0,41	0,56	0,48	0,42	0,56
v3, m/s	0,52	0,46	0,56	0,52	0,40	0,59
v7, m/s	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08
v8, m/s	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08
v9, m/s	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08	manje od 0,08

Brzine strujanja zraka između rebara radijatora sa gornje strane radijatora približno su jednake za oba radijatora. Primjećuje se trend porasta brzine strujanja sa povećanjem temperature ogrjevnog medija. Što se tiče donje strane radijatora, brzine strujanja zraka su premale te se nisu mogle izmjeriti anemometrom sa žarnom niti.

---

## 9. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja za dva radijatora različitih proizvođača prema normi HRN-EN 442-2. Uz to provedena su i mjerenja temperatura i brzina strujanja zraka oko i između rebara radijatora te temperature prednjih ogrjevnih ploha.

Dobiveni rezultati toplinskog učina na strani vode u tri točke nadtemperatura bili su ulazni podaci za dobivanje karakterističnih jednadžbi radijatora. Rezultati za oba radijatora su realni jer spadaju u očekivani raspon eksponenta  $n$  između 1,25 i 1,35.

Izračun koeficijenta prijelaza topline sa prednje strane radijatora provedeni su na dva načina. U prvom načinu je putem Newtonove formule i srednjih temperatura zraka i prednje plohe radijatora izračunat koeficijent prijelaza topline. Rezultati su pokazali da je radijator Global ima bolji koeficijent prijelaza topline od radijatora Lipovica. Drugi način kojim su proračunati koeficijenti prijelaza topline, a koji također pokazuju isti zaključak su izračuni preko koeficijenta prolaza topline. Ovaj način proračuna međutim znatno odstupa od Newtonove formule što možemo pripisati znatnom pojednostavljenju modela prijelaza topline sa radijatora na zrak.

---

## LITERATURA

- [1] - Prof. dr. sc. Balen I. – podloge za predavanja iz kolegija „Grijanje“
- [2] - Halasz B., Galović A., Boras I. : Toplinske tablice, FSB, Zagreb, 2010
- [3] - EN 442-2: Radiators and convectors – Part 2: Test methods and rating, 2014
- [4] - Galović A., : Termodinamika 2, FSB, Zagreb, 2014
- [5] - Boras I., Švaić S., : Formule za izračunavanje koeficijenta prijelaza topline, FSB