

# Ispitivanje termostatirane vodene kupke za visokotemperaturni generator vlažnosti

---

**Mustać, Marin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2014**

*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:235:971910>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Marin Mustać**

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Davor Zvizdić, dipl. ing.

Student:

Marin Mustać

Zagreb, 2014.

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

Zahvaljujem se voditelju rada prof. dr. sc. Davoru Zvizdiću na stručnim savjetima i pomoći tijekom izrade završnog rada.

Zahvaljujem se dipl. ing. Danijelu Šestanu na velikoj pomoći prilikom izvođenja praktičnog dijela završnog rada, savjetima i materijalima koje mi je ustupio.

Marin Mustać



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, brodogradnja i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

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

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marin Mustać** Mat. br.: 0035178774

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ispitivanje karakteristika termostatisane vodene kupke za visokotemperaturni generator vlažnosti**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Performance testing of thermostated water bath used for high-temperature dew-point generator**

Opis zadatka:

Za potrebe umjeravanja higrometara točke rose u području rosišta od +1 °C do +65 °C, potrebno je ispitati aksijalne i radijalne temperaturne gradijente vodene kupke koja se koristi za generiranje zraka visokih rosišta. Također je potrebno ispitati vrijeme stabilizacije i stalnost kupke. Dobiveni podaci koristiti će se za određivanje doprinosa kupke na ukupnu mjernu nesigurnost umjeravanja higrometara točke rose. Koristiti postojeću mjernu liniju i opremu u laboratoriju za procesna mjerenja FSB-a.

U radu je potrebno izraditi:

- Pregled teorijskih podloga za rad generatora točke rose s ciljem ispitivanja i umjeravanja higrometara točke rose.
- Opis postupka ispitivanja kupke.
- Shematski prikaz mjernog sustava za ispitivanje kupke.
- Tablični i grafički prikaz rezultata ispitivanja.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
11. studenog 2013.

Rok predaje rada:  
1. rok: 21. veljače 2014.  
2. rok: 12. rujna 2014.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 3., 4. i 5. ožujka 2014.  
2. rok: 22., 23. i 24. rujna 2014.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Davor Zvizdić

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
2. GENERATOR VLAŽNOSTI.....	2
2.1. Visokotemperaturni generator vlažnosti (HRS).....	3
3. ISPITIVANJE TERMOSTATIRANE VODENE KUPKE.....	5
3.1. Temperaturni gradijenti.....	5
3.2. Zone umjeravanja.....	6
3.2.1. Korištenjem izotermnog bloka.....	6
3.2.2. Bez korištenja izotermnog bloka.....	7
3.3. Postupak ispitivanja kupke.....	8
4. KORIŠTENA OPREMA .....	9
4.1. Kupka ( TEKUP11 ) .....	9
4.2. Kupka ( TEKUP02 ) .....	11
4.3. Oprema za mjerenje otpora termometara (EOMOS03/01, EOMOS03/02, EOMOS03/03, EOFIX06) .....	12
4.4. Termo regulator ( TERE02 ) .....	14
4.5. Otpornički termometri.....	15
4.6. Osobno računalo .....	15
5. UMJERAVANJE TERMOMETARA.....	16
5.1. Rezultati umjeravanja .....	17
5.2. Izračun koeficijenata .....	17
6. METODA ISPITIVANJA: ISPITIVANJE TERMOSTATIRANE VODENE KUPKE KORIŠTENJEM UMJERENIH TERMOMETARA .....	19
6.1. Temperature ispitivanja.....	19
6.2. Homogenost temperature .....	20
6.3. Stabilnost temperature.....	22
7. ISPITNI IZVJEŠTAJ.....	23
7.1. Linija za ispitivanje kupke .....	23
7.2. Izračun homogenosti temperature u horizontalnom ( radijalnom ) smjeru.....	24
7.3. Izračun homogenosti temperature u vertikalnom ( aksijalnom ) smjeru.....	25
7.4. Izračun stabilnosti temperature .....	31
7.5. Izračun ukupne standardne nesigurnosti zone .....	33
8. ZAKLJUČAK.....	34

---

LITERATURA.....	35
PRILOZI.....	36

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Apsolutna vlažnost zraka.....	2
Slika 2.	Shematski prikaz visokotemperaturnog generatora vlažnosti (HRS).....	4
Slika 3.	Prikaz temperaturnih gradijenata.....	5
Slika 4.	Prikaz tlocrta izotermnog bloka .....	7
Slika 5.	Prikaz uobičajenih razmještaja termometara unutar radnog volumena kupke, bez izotermnog bloka .....	7
Slika 6.	Heto Calibration KB 22 – 1 termostatorana kupka .....	10
Slika 7.	Calcon 2000 regulator temperature .....	10
Slika 8.	Kupka TEKUP02 .....	11
Slika 9.	Termometrijski otpornički most ( spojene sve navedene komponente ).....	14
Slika 10.	Termo regulator TERE02 .....	14
Slika 11.	Izotermalni blok za termostatorane kupke .....	16
Slika 12.	Grafički prikaz funkcije za WIKA 1103MKN9 termometar .....	18
Slika 13.	Prikaz razmještaja položaja termometara .....	20
Slika 14.	Shematski prikaz ispitne linije .....	23
Slika 15.	Stabilnost temperature ( 5°C, 30 min ).....	31
Slika 16.	Stabilnost temperature ( 20°C, 30 min ).....	32
Slika 17.	Stabilnost temperature ( 35°C, 30 min).....	32
Slika 18.	Stabilnost temperature ( 50°C, 30 min ).....	32
Slika 19.	Stabilnost temperature ( 65°C, 30 min).....	33



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije kupke TEKUP11 .....	9
Tablica 2. Specifikacije kupke TEKUP02 .....	11
Tablica 3. Specifikacije komponente EOMOS03/01 .....	12
Tablica 4. Specifikacije komponente EOMOS03/02 .....	13
Tablica 5. Specifikacije komponente EOMOS03/03 .....	13
Tablica 6. Ovisnost otpora pojedinog termometra o referentnoj temperaturi .....	17
Tablica 7. Vrijednosti koeficijenata <b>R0</b> , A i B.....	18
Tablica 8. Podaci o ispitivanju .....	23
Tablica 9. Horizontalna homogenost temperature ( h=20 mm) .....	24
Tablica 10. Vertikalna homogenost temperature ( 5°C ).....	25
Tablica 11. Vertikalna homogenost temperature ( 20°C ).....	26
Tablica 12. Vertikalna homogenost temperature ( 35°C ).....	27
Tablica 13. Vertikalna homogenost temperature (50°C ).....	28
Tablica 14. Vertikalna homogenost temperature (65°C ).....	29
Tablica 15. Vertikalna homogenost temperature .....	30
Tablica 16. Stabilnost temperature ( 30 minuta ) .....	31
Tablica 17. Ukupna standardna nesigurnost zone .....	33

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$\vartheta$	°C	temperatura
$\vartheta_{ref}$	°C	temperatura referentnog termometra
$u_{hor}$	mK	mjerna nesigurnost u horizontalnom smjeru
$u_{vert}$	mK	mjerna nesigurnost u vertikalnom smjeru
$u_{hom}$	mK	ukupan doprinos homogenosti na mjernu nesigurnost
$u_{stab}$	mK	ukupan doprinos stabilnosti na mjernu nesigurnost
$u_{zone}$	mK	mjerna nesigurnost zone
a	mK	poluinterval normalne razdiobe temperature
R	$\Omega$	otpor
A		koeficijent Callendar Van Dusen jednadžbe
B		koeficijent Callendar Van Dusen jednadžbe
C		koeficijent Callendar Van Dusen jednadžbe
n		broj termometara

## **SAŽETAK**

U radu je provedeno ispitivanje karakteristika termostatirane vodene kupke kakva se najčešće koristi za umjeravanje termometara, no u ovom slučaju koristi se kao izmjenjivački medij za kontrolu temperature visokotemperaturnog generatora vlažnosti. Opisane su karakteristike i način rada generatora vlažnosti za temperature od +1 °C do +65 °C. U svrhu što točnijih rezultata ispitivanja kupke, prethodno je bilo potrebno umjeriti termometre koji su se koristili u procesu. Termostatirane kupke ispituju se zbog utvrđivanja homogenosti (aksijalnih i radijalnih gradijenata) i stabilnosti temperature u njima, koji su ujedno i kriteriji kvalitete konstrukcije kupke. Prikazana je metoda provjere navedenih parametara. Na kraju rada, izloženi su rezultati ispitivanja popraćeni odgovarajućim grafovima i tablicama.

Ključne riječi: termostatirana vodena kupka, visokotemperaturni generator vlažnosti, umjeravanje termometara, homogenost temperature, stabilnost temperature

## **SUMMARY**

The work is about testing the characteristics of calibration bath, most commonly used for calibration of thermometers. In this case bath was used as thermally controlled environment for accommodation of the high-temperature dew-point generator. The characteristics and operating principle of the dew-point generator in temperature range from +1 °C to +65 °C are evaluated. For achieving the higher accuracy of the bath test results, thermometers used during testing were previously calibrated. Calibration baths are tested to determine the homogeneity (axial and radial gradients) and the stability of temperature, that are also quality indicators for calibration baths. A procedure for evaluation of these parameters is demonstrated. The test results are accompanied by corresponding graphs and tables at the end of the paper.

Key words: thermo stated water bath, high-temperature dew-point generator, calibration of thermometers, temperature homogeneity, temperature stability

## 1. UVOD

Termostatirana kupka je uređaj koji se koristi kao zona kontrolirane temperature za širok spektar mjernih uređaja, najčešće prilikom umjeravanja termometara. Kupke se mogu razlikovati po konstrukciji, prvenstveno obliku i veličini tj. volumenu radnog medija. Kao radni medij, ovisno o zahtjevima i temperaturnim područjima u kojima rade, mogu koristiti vodu, silikonsko ulje, alkohol itd. Radna temperatura kupke održava se sustavom hlađenja i grijanja, koji mogu biti eksterni ili ugrađeni u kućište kupke. Rad navedenih sustava regulira kontrolni uređaj koji se brine da temperatura radnog medija ostane u željenom području. Također, važnu ulogu u održavanju što konstantnije temperature kupke čini izolacija. Većina kupki, posebice one većih dimenzija, ima ugrađenu mješalicu za cirkulaciju radnog medija.

U radu je ispitivana kupka namijenjena za regulaciju temperature visokotemperaturnog generatora vlažnosti. Kako će biti opisano kasnije, zbog potrebe izmjene topline dio generatora uronjen je u termostatiranu vodenu kupku. Preciznost i nesigurnost mjerenja izravno ovisi o konzistentnosti parametara kupke.

Podaci o stabilnosti i homogenosti temperature dani u katalogu proizvođača često nisu točno definirani i dovoljno pouzdani. Iz tog razloga laboratoriji za umjeravanja moraju provoditi svoja vlastita ispitivanja. Također, za očekivati je i da se tokom vremena i ovisno o ostatku opreme pojave mali pomaci od idealnog stanja i parametara kupke navedenih u brošuri. Iako postoji više metoda ispitivanja do sada niti jedna nije jednoglasno prihvaćena kao standardni postupak. Važno je napomenuti da bitnu ulogu tokom mjerenja čini i iskustvo mjeritelja i poznavanje opreme.

Uz pomoć pet prethodno umjerenih termometara vršilo se ispitivanje kupke na različitim dubinama, uz stalnu formaciju termometara u horizontalnoj ravnini. Metoda kao i rezultati mjerenja biti će detaljnije opisani i razrađeni u nastavku.

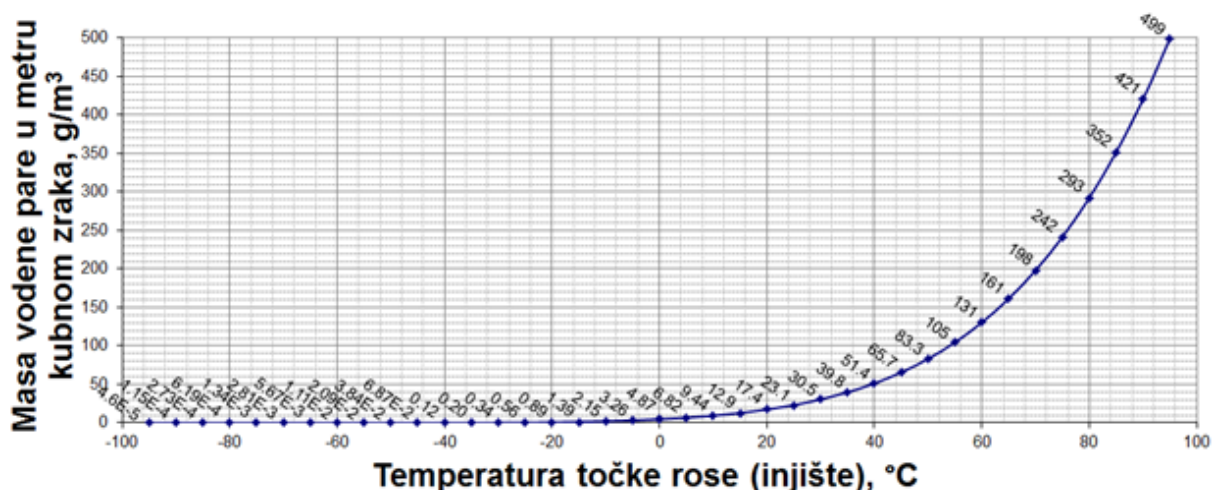
## 2. GENERATOR VLAŽNOSTI

Generator vlažnosti je instrument koji omogućava proizvodnju zraka s točno određenom točkom rose. Takav zasićeni zrak možemo koristiti u daljnjim ispitivanjima i mjerenjima. Zrak pri određenoj temperaturi može sadržati točno određenu maksimalnu količinu vodene pare, kako je prikazano u grafu na slici 1. Količinu vodene pare u zraku možemo odrediti pomoću parametra koji se naziva točka rose (rosište).

Ovisno o željenom radnom području, Laboratorij za procesna mjerenja koristi dva generatora vlažnosti:

- 1) Niskotemperaturni generator vlažnosti – za temperature od  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 2) Visokotemperaturni generator vlažnosti – za temperature od  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Generator vlažnosti sastoji se od ovlaživača, predsaturatora, saturatora, izmjenjivača topline i niza cijevi koje povezuju navedene dijelove. Također se pomoću dodatnih instrumenata prate temperature i tlakovi u procesu, a povremeno je potrebno kontrolirati i razine vode u kupki i saturatoru.



Slika 1. Apsolutna vlažnost zraka

## 2.1. Visokotemperaturni generator vlažnosti (HRS)

Prije ulaska u generator, zrak se suši i filtrira kako bi se izbjegla kontaminacija. Zrak se cijevima vodi u ovlaživač, gdje se ovlažuje na temperaturi značajno većoj od temperature saturatora i željene temperature injišta/rosišta na izlazu zraka iz generatora. To se radi kako bismo bili sigurni da je količina vodene pare u zraku (na izlazu iz ovlaživača) veća od količine koju želimo generirati, odnosno da je temperatura rosišta zraka viša od rosišta koje želimo postići na izlazu iz generatora. Ovlaživač se nalazi u prostoru iznad vodene kupke (u koju je donji dio generatora uronjen) i dodatno je grijan. Održavanje temperature kontrolirano je putem grijača, ventilatora, termometra i kontrolnog uređaja.

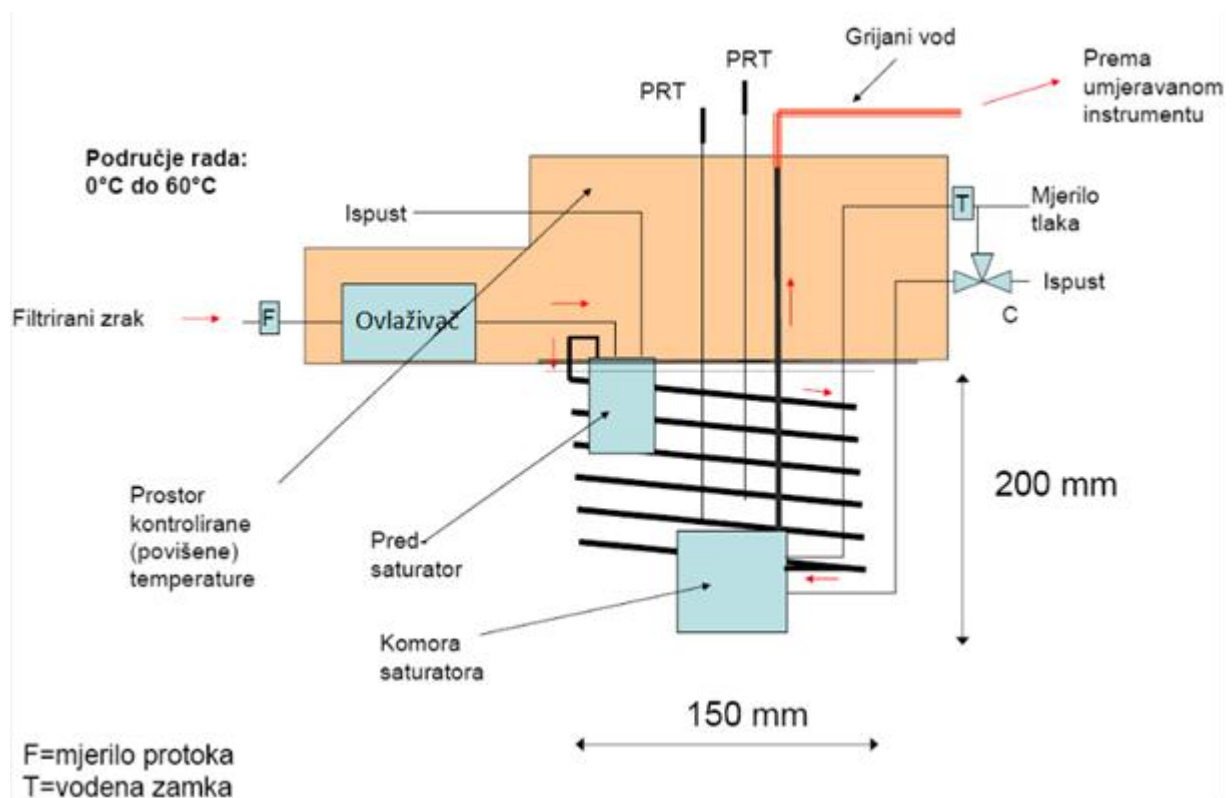
Nakon početnog ovlaživanja, zrak ulazi u predsaturator. Predsaturator je posuda cilindričnog oblika, djelomično ispunjena vodom i kompletno je uronjena u vodenu kupku u vertikalnom položaju. Razina vode održava se pomoću cijevčice za drenažu, a ispunjen je pročišćenom deioniziranom vodom. U predsaturatoru se zrak hladi, ispuštajući pritom višak vlage te se suši na temperaturu rosišta neznatno višu od temperature saturatora.

Prolaskom kroz izmjenjivač topline, uronjen također u termostatiranu vodenu kupku, na putu do saturatora, dolazi do male izmjene topline između zraka u cijevi i kupke, također djelujući tako na razinu vlažnosti zraka.

Zrak temperature rosišta približno jednake temperaturi saturatora, ulazi u saturator oblika kvadra, potpuno uronjenog u vodenu kupku, i dijelom ispunjenog vodom, gdje se vrši konačna izmjena i odvlaživanje zraka. Prisilnim strujanjem preko površine vode zrak dolazi na željeno stanje zasićenosti, pri temperaturi jednakoj temperaturi kupke. Određivanje točne temperature saturatora vrši se pomoću prosječnih očitavanja temperature dvaju termometara. Oba termometra uronjena su u kupku i postavljena u blizini komore saturatora. Termometri se u kupku postavljaju kroz provrte na kućištu generatora. Barometrom se mjeri tlak zraka u komori saturatora.

Tako ovlažen zrak izlazi iz saturatora kroz vertikalnu cijev, te se do umjeravanog higrometra vodi kroz grijani gornji dio generatora te kroz eksterne grijane cijevi. Grijanje je potrebno kako bi se osigurala viša temperatura okoline i tako spriječila bilo kakva dodatna kondenzacija vlage u slučaju dodira zasićenog zraka s hladnijom površinom. Zbog istog razloga grijana je i cijev u kojoj se zrak vodi van kućišta generatora. Cijevi od nehrđajućeg čelika su s unutarnje strane elektropolirane zbog smanjenja efekta cijevi na generirano rosište zraka (npr. smanjenje stabilnosti generiranog rosišta zbog efekta adsorpcije na unutarnjoj

površini cijevi). Jedina iznimka je izmjenjivač kod kojega grublja površina cijevi omogućava bolju izmjenu topline i kondenzaciju.



Slika 2. Shematski prikaz visokotemperaturnog generatora vlažnosti (HRS)

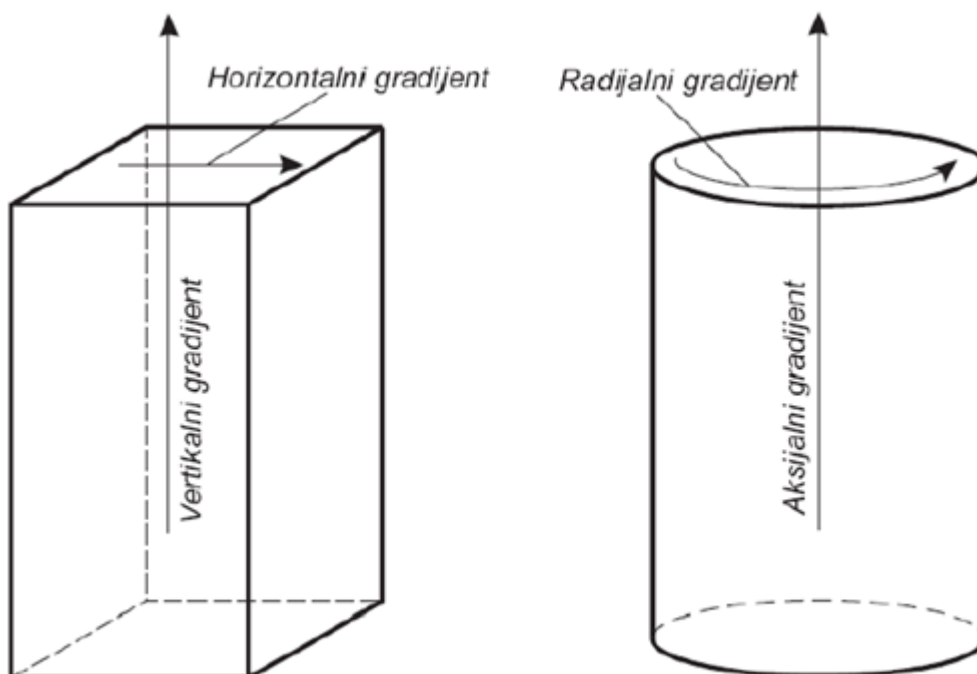


### 3. ISPITIVANJE TERMOSTATIRANE VODENE KUPKE

Svrha ispitivanja termostatiranih vodenih, a i onih kupki ispunjenih ostalim mogućim medijima, je utvrđivanje njihovih svojstava. Podaci o svojstvima kupke iz kataloga i tehničkih specifikacija proizvođača često nisu dovoljno precizni i pouzdani pa mjeriteljski laboratoriji provode vlastita ispitivanja. Problem leži u tome što još ne postoji standardizirani i opće prihvaćeni postupak ispitivanja, već mjeritelji sami na temelju potreba odabiru najpogodniju metodu.

Najvažnija svojstva kupke su temperaturna homogenost i vremenska stabilnost. Uz ova svojstva moguće je odrediti dinamiku zagrijanja i hlađenja. Ovisno o konstrukciji pojedine kupke, prvenstveno veličini, izolaciji i načinu cirkulacije medija vidljiva je međusobna razlika u homogenosti temperature. Važno je napomenuti da se neovisno o svemu navedenome prostorne razlike temperatura unutar medija uvijek pojavljuju (temperaturni gradijenti).

#### 3.1. Temperaturni gradijenti



Slika 3. Prikaz temperaturnih gradijenata

Temperaturni gradijent je vektor okomit na izotermnu plohu, s pozitivnim predznakom u smjeru povećanja temperature predstavljajući tako povećanje temperature u smjeru normale na izotermnu plohu. Numerički izražen glasi:

$$\text{grad } \vartheta = \vec{n}_0 * \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta \vartheta}{\Delta n} = \vec{n}_0 * \frac{\partial \vartheta}{\partial n}$$

$n_0$  - jedinični vektor okomit na izotermnu plohu i pozitivno je definiran u smjeru povećanja temperature

$\frac{\partial \vartheta}{\partial n}$  - skalarna veličina temperaturnog gradijenta izražena u K/m.

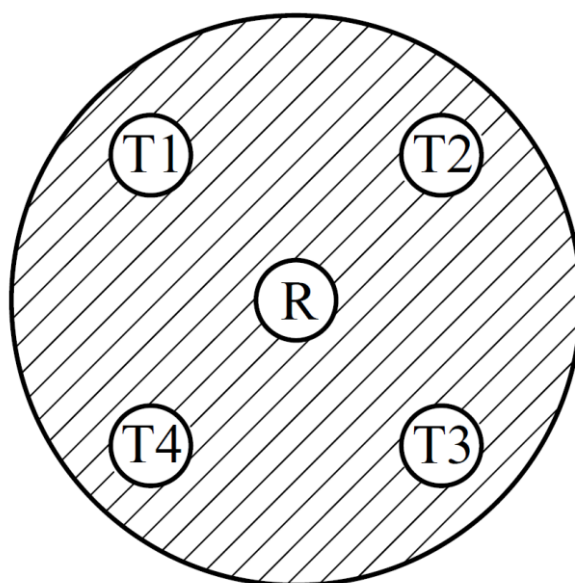
Temperaturni gradijenti mogu biti vertikalni i horizontalni, dok u slučaju kupki cilindričnih oblika govorimo o radijalnim i aksijalnim gradijentima.

### 3.2. Zone umjeravanja

Zona umjeravanja je neko odabrano radno područje unutar volumena kupke ispunjenog radnim medijem. Ne postoji idealan položaj za zonu umjeravanja, i na tom se području još vrše ispitivanja. Zonu definira prvenstveno razmještaj termometara za vrijeme umjeravanja u horizontalnoj ravnini kupke i po visini same zone u odnosu na dno kupke. Odabir položaja termometara unutar zona umjeravanja, kao i mnoge ranije spomenute pretpostavke, temelji se na iskustvu mjeritelja i poznavanju opreme kojom raspolaže. Unutar zone umjeravanja potrebno je odrediti homogenost temperature kupke. Dva su osnovna načina definiranja zone umjeravanja:

#### 3.2.1. Korištenjem izotermnog bloka

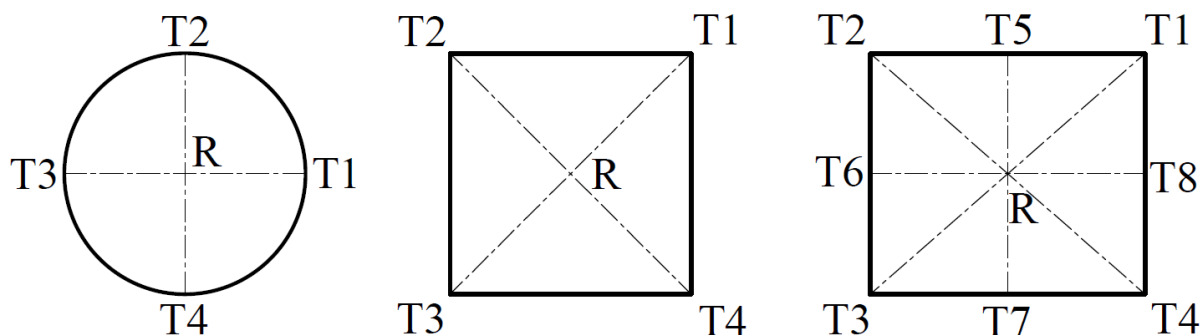
Izotermni blok metalna je konstrukcija kompaktnog oblika i dimenzija. Glavna značajka je da su provrti za umetanje termometara fiksni i unaprijed određeni, a visinu samog bloka unutar kupke moguće je podešavati. U izvještaju ispitivanja potrebno je prikazati podatke o materijalu bloka, visini bloka od dna, promjeru, promjeru pojedinih provrta, njihovom međusobnom položaju itd. Obavezno mora biti naznačeno koji je provrt korištena za pozicioniranje referentnog termometra.



Slika 4. Prikaz tlocrta izotermnog bloka

### 3.2.2. Bez korištenja izotermnog bloka

Korištenjem izotermnog bloka imamo unaprijed definirane položaje za termometre, dok bez korištenja bloka mjeritelj ima mogućnost postaviti termometre na način kakav želi i smatra da je najbolji za pojedino mjerenje. Međusobni položaj termometara odabire se ovisno o dimenzijama kupke i oblika je nekog pravilnog geometrijskog tijela. U izvještaju ispitivanja potrebno je navesti visinu ispitivanja od dna kupke, i međusobnu udaljenost termometara, tj. duljinu i širinu, ili promjer tijela kojeg je oblika formacija termometara. Također, potrebno je navesti koji je termometar korišten kao referentni, a on se najčešće postavlja u središte kupke.



Slika 5. Prikaz uobičajenih razmještaja termometara unutar radnog volumena kupke, bez izotermnog bloka

### 3.3. Postupak ispitivanja kupke

Radni medij zagrijava se ili hladi od sobne temperature do temperature prve točke mjerenja. Prati se rast ili pad temperature sve dok ne dođe do ustaljenja na mjernoj točki. Kod postignute i ustaljene temperature točke mjerenja određuju se prostorni gradijenti temperature (homogenost) i stabilnost. Daljnjim zagrijavanjem ili hlađenjem, uz bilježenje promjena temperature, nakon stabilizacije ponovo određujemo homogenost i stabilnost u novoj mjernoj točki. Ovisno o rasponu temperature i određenom broju mjerenja ponavlja se navedeni postupak.

Kako bi se pripremio za provedbu mjerenja mjeritelj mora:

- 1) u okoliš termostatisirane kupke postaviti uređaje za praćenje uvjeta okoliša i pričekati otprilike 15 minuta da se stabiliziraju
- 2) pregledati kupku predviđenu za ispitivanje i ukoliko se ustanovi da je nemoguće provesti ispitivanje ono se zaustavlja, jednako se postupa ako se u toku mjerenja dogodi ili utvrdi nešto zbog čega ispitivanje postaje nemoguće ili opasno
- 3) odrediti temperaturne točke ispitivanja (obično su ove točke jednoliki rasporedene unutar temperaturnog raspona unutar kojeg se kupka koristi)
- 4) skicirati raspored prostornih točaka (mjesto) unutar kupke u kojima će se mjerenje vršiti (raspoloživi termometri moraju biti jednoliki raspoređeni unutar radnog volumena kupke)
- 5) pripremiti termometre i ostalu opremu za rad

Da bi postupak smatrali ispravnim potrebno je zadovoljiti propisane uvjete okoliša:

- 1) temperatura zraka mora biti u rasponu od +15 °C do +35 °C s varijacijama manjim od 3 °C tijekom čitavog mjerenja
- 2) relativna vlažnost zraka mora biti u rasponu od 25 %RH i 75 %RH

## 4. KORIŠTENA OPREMA

Korišteni nazivi u naslovima odjeljaka su interne oznake pojedinih dijelova opreme u Laboratoriju za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

### 4.1. Kupka ( TEKUP11 )

Ova termostatirana kupka korištena je prilikom umjeravanja termometara. Karakteristike same kupke prethodno su utvrđene ispitivanjem. Tehničke specifikacije kupke prikazane su slijedećom tablicom:

Proizvođač	Heto Calibration	
Model	KB 22 – 1	
Temperaturno područje	alkohol	-90 °C do 5 °C
	voda	5 °C do 90 °C
	silikonsko ulje	90 °C do 300 °C
Kapacitet radnog medija	8 litara	
Dimenzije	visina	1410 mm (960 mm)
	širina	450 mm
	dužina	415 mm
Dimenzije unutrašnjosti kupke	promjer	97 mm
	dubina	500 mm
Težina	115 kg	
Snaga	3 kW	
Napajanje	220 V; 50 Hz	

**Tablica 1. Specifikacije kupke TEKUP11**

Heto KB 22-1 je kupka visoke temperaturne stalnosti i homogenosti, sa ugrađenom jedinicom za grijanje i hlađenje. Deklarirana temperaturna stalnost kupke u čitavom njenom radnom području iznosi od  $\pm 0,1$  °C do  $\pm 0,001$  °C. Opremljena je Calcon 2000 regulatorom

temperature visokih performansi sa mikroprocesorom i PID regulacijom. Ovim regulatorom istog proizvođača moguće je podesiti parametre poput radne temperature i upozorenja za maksimalnu i minimalnu temperaturu. Minimalni korak kod odabira radne temperature iznosi 0,1 °C.



**Slika 6. Heto Calibration KB 22 – 1 termostatorirana kupka**



**Slika 7. Calcon 2000 regulator temperature**

#### 4.2. Kupka ( TEKUP02 )

Termostatisirana vodena kupka TEKUP02 predmet je ispitivanja ovog završnog rada. Opis ispitivanja i vrijednosti mjerne nesigurnosti biti će obrađeni u nastavku. Tehničke specifikacije prikazane su u tablici:

Proizvođač	INKA	
Kapacitet radnog medija	40 litara	
Dimenzije	visina	1100 mm
	širina	600 mm
	dužina	350 mm
Dimenzije unutrašnjosti	širina	220 mm
	dužina	440 mm
	dubina	450 mm

Tablica 2. Specifikacije kupke TEKUP02



Slika 8. Kupka TEKUP02

Kupka je opremljena ugrađenim grijačem i propelerom za miješanje radnog medija. Također ima predviđen ulazni i izlazni vod za pristup izmjenjivačkoj petlji vanjskog medija za hlađenje kod ispitivanja pri nižim temperaturama. Kupka nema ugrađen regulator temperature pa ga je potrebno naknadno priključiti. Tokom ispitivanja koristili smo regulator proizvođača Eurotherm, interne LPM oznake TERE02.

#### 4.3. Oprema za mjerenje otpora termometara (EOMOS03/01, EOMOS03/02, EOMOS03/03, EOFIX06)

Oprema za mjerenje otpora termometara, korištena u ispitivanju, sastavljena je od slijedećih komponenti:

- ASL 158 (EOMOS03/01 - multipleksor),
- ASL 148 (EOMOS03/02 – komunikacijska i upravljačka jedinica multipleksora),
- ASL F700 (EOMOS03/03 – termometrijski otpornički most) i
- Tinsley 5685A (EOFIX06 – etalonski fiksni otpornik nazivnog otpora 100  $\Omega$ ).

Most u kombinaciji s multipleksorom i etalonskim fiksnim otporom služi za mjerenje otpora termometara. Most je povezan s računalom pomoću GPIB komunikacijskog sučelja. Na računalu je instaliran LabView program koji kontrolira rad multipleksora te očitava otpor s mosta i preračunava ga u pripadajuću temperaturu. Karakteristike komponenti i izgled kompletnog mosta prikazane su tablicama i slikom.

Proizvođač	ASL	
Model	SB 158	
Napajanje	220/240 Vac	
Frekvencija	47 – 63 Vac	
Max Va	60 Va	
Dimenzije	visina	88 mm
	dužina	295 mm
	širina	442 mm
Težina	7 kg	

**Tablica 3. Specifikacije komponente EOMOS03/01**



Proizvođač	ASL	
Model	SB 148	
Napajanje	220/240 Vac	
Frekvencija	47 – 63 Vac	
Dimenzije	visina	133 mm
	dužina	295 mm
	širina	442 mm
Težina	7 kg	

**Tablica 4. Specifikacije komponente EOMOS03/02**

Multipleksor ASL SB 148 (EOMOS03/02) i ASL 158 (EOMOS03/01) omogućava proširenje mjernih mjesta na ukupno 10 kanala. Na svaki kanal može se spojiti po jedan termometar. ASL F700 (EOMOS03/03) omogućava izvođenje vrlo preciznih mjerenja. Jedan je od najzastupljenijih otporničkih termometrijskih mostova u laboratorijima za umjeravanje na svijetu.

Proizvođač	ASL	
Model	F 700	
Napajanje	240/220/120/100 Vac	
Frekvencija	50 – 60 Hz	
Dimenzije	visina	155 mm
	širina	520 mm
	dužina	466 mm
Težina	15 kg	
Radni uvjeti	0°C - 30°C, 10% - 90% RH	
Vrijeme mjerenja	10 sekundi za potpuni balans	
Linearnost	< ±1 zadnja decimala	
Točnost	0,25 mK puni raspon/ 6 mK do 1064°C ovisno o otporu	

**Tablica 5. Specifikacije komponente EOMOS03/03**



Slika 9. Termometrijski otpornički most ( spojene sve navedene komponente )

#### 4.4. Termo regulator ( TERE02 )

Termo regulator proizvođača Eurotherm koristili smo za postizanje i održavanje željene temperature kupke. Opremljen je PID sustavom regulacije. Funkcionira na način da obradom podataka o temperaturi kupke regulira snagu rada zagrijača kupke, postizući tako nakon određenog vremena stabilizacije (cca 20 minuta pri nižim temperaturama) približno konstantnu temperaturu radnog medija.



Slika 10. Termo regulator TERE02

#### **4.5. Otpornički termometri**

U ispitivanju smo koristili otporničke termometre (PRT) proizvođača Wika i Hart. Oblikom su predviđeni za umetanje u radni fluid ili u provrt u krutom tijelu. U slučaju mjerenja u provrtu zračnost ne smije iznositi više od 1 mm. Promjer navedenih termometara iznosi 3 mm, a duljina 500 mm. Na vrhu tijela termometra nalazi se senzor od nehrđajućeg čelika duljine 60 mm, sposoban mjeriti temperature u rasponu od -200 °C do +600 °C. Povezuje se sa termometrijskim otporničkim mostom pomoću dvije žice.

#### **4.6. Osobno računalo**

Računalo smo koristili za kontrolu rada multipleksora i mosta, za očitavanja otpora s mosta i preračunavanje istih u pripadajuće temperature te za spremanje i obradu očitanih podataka.

## 5. UMJERAVANJE TERMOMETARA

Kako bi ispitivanje karakteristika termostatirane vodene kupke bilo što pouzdanije prethodno je bilo potrebno umjeriti termometre koji će se koristiti tijekom ispitivanja. Rezultatima umjeravanja, dobiveni su podaci o odstupanju svakog termometra što je uzeto u obzir prilikom ispitivanja kupke. Umjeravanje termometara vršili smo u kupki manjeg volumena, proizvođača Heto Calibration (LPM ime: TEKUP11) čije smo karakteristike na temelju ispitivanja i iskustva smatrali pouzdanima i provjerenima. Dva etalonska otpornička termometra tipa Pt25.5 poznatih karakteristika korišteni su kao referentni u postupku umjeravanja.

Kako bi maksimalno smanjili nesigurnost zbog postojanja gradijenata i zbog temperaturne nestabilnosti kupke, termometre smo smjestili u izotermalni blok prikazan na slici 11.



**Slika 11. Izotermalni blok za termostatirane kupke**

Ispitivanje kupke vršili smo u rasponu radnih temperatura visokotemperaturnog generatora vlažnosti, tj. od  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperature i razlike pojedinih temperatura u rasponu odabrane su kako bi bile što vjerodostojnije za kasnije umjeravanje kupke. Prema tim podacima izabrane su temperature umjeravanja termometara. Temperaturu postignutu u kupki odredili smo s dva etalonska termometra, a pri toj temperaturi očitani smo otpore umjeranih termometara. Referentne temperature i očitani otpori pojedinih termometara prikazani su tablicom 6. U obzir je uzeta i histereza umjeranih termometara pa je provedeno mjerenje pri ohlađivanju kupke. Podaci u tablici su prosječne vrijednosti temeljene na dužem periodu ispitivanja (cca 30 minuta za pojedinu točku).

## 5.1. Rezultati umjeravanja

Oznaka termometra	WIKA 1103MKN9	WIKA 1103MKN8	WIKA 110529CP	WIKA 1103MKN7
Temperatura, °C	Otpor, Ω			
5,141	102,055	102,053	101,982	102,054
20,131	107,912	107,908	107,819	107,908
35,143	113,743	113,754	113,642	113,755
50,202	119,564	119,562	119,452	119,563
65,805	125,566	125,561	125,446	125,564

Tablica 6. Ovisnost otpora pojedinog termometra o referentnoj temperaturi

Ovisno o izmjerenim otporima termometara na poznatim referentnim temperaturama moguće je metodom najmanjih kvadrata odrediti karakteristike termometara i prikazati ih jednadžbom gdje je otpor funkcija temperature i obrnuto. Pomoću dobivene jednadžbe za bilo koji očitani otpor termometra možemo saznati njegovu trenutnu temperaturu.

## 5.2. Izračun koeficijenata

Odnos temperature i otpora za platinske otporničke termometre (PRT), funkcijski se obično izražava Callendar - Van Dusen jednadžbom koja aproksimira točke dobivene mjerenjem, a služi i kao interpolacijski polinom između diskretnih točaka.

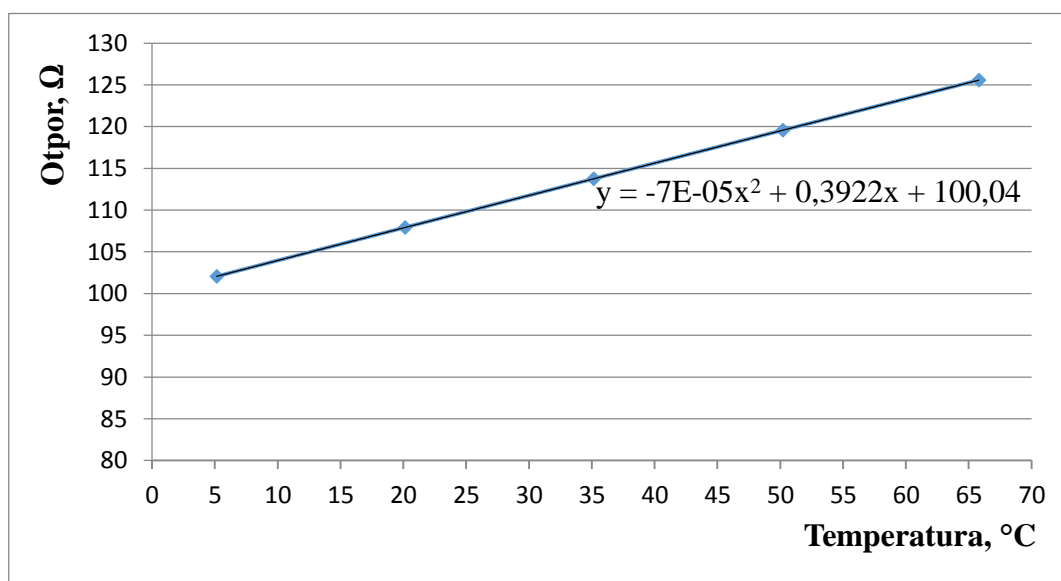
$$R(t) = R_0 * [1 + A * t + B * t^2 + C * (t - 100) * t^3]$$

Kako je područje ispitivanja kupke za visokotemperaturni generator točke rose na temperaturama većim od 0 °C iz jednadžbe se izostavlja koeficijent C te izraz poprima jednostavniji oblik:

$$R(t) = R_0 * [1 + A * t + B * t^2]$$

Izračunate vrijednosti koeficijenata A i B su kako slijedi:

Termometar	Koeficijenti		
	$R_0$	A	B
WIKA 1103MKN9	100,04	$3,920431827 * 10^{-3}$	$-6,99720112 * 10^{-7}$
WIKA 1103MKN8	100,03	$3,927821654 * 10^{-3}$	$-7,99760072 * 10^{-7}$
WIKA 110529CP	99,97	$3,911055985 * 10^{-3}$	$-6,001620438 * 10^{-7}$
WIKA 1103MKN7	100,04	$3,926429428 * 10^{-3}$	$-6,99720112 * 10^{-7}$

Tablica 7. Vrijednosti koeficijenata  $R_0$ , A i B

Slika 12. Grafički prikaz funkcije za WIKA 1103MKN9 termometar

## 6. METODA ISPITIVANJA: ISPITIVANJE TERMOSTATIRANE VODENE KUPKE KORIŠTENJEM UMJERENIH TERMOMETARA

Korištena metoda prilikom izrade ovog završnog rada izabrana je prema preporuci mentora, a temelji se na članku Drnovšek J., Bojkovski J., Pušnik I.: A general procedure for evaluation of calibration baths in precision temperature measurements.

Metoda je prilagođena potrebama našeg ispitivanja, a svrha je ispitivanje homogenosti i stalnosti temperature kupke.

### 6.1. Temperature ispitivanja

Prilikom ispitivanja, važno je unaprijed odabrati temperature ispitivanja koje će najbolje opisati karakteristike ispitivane kupke. Kada je raspon temperatura ispitivanja veći od 300 °C preporučeno je provesti ispitivanje svakih 100 °C, a inače u najmanje četiri točke, najnižoj i najvišoj u rasponu te dvije unutar raspona odabrane po volji.

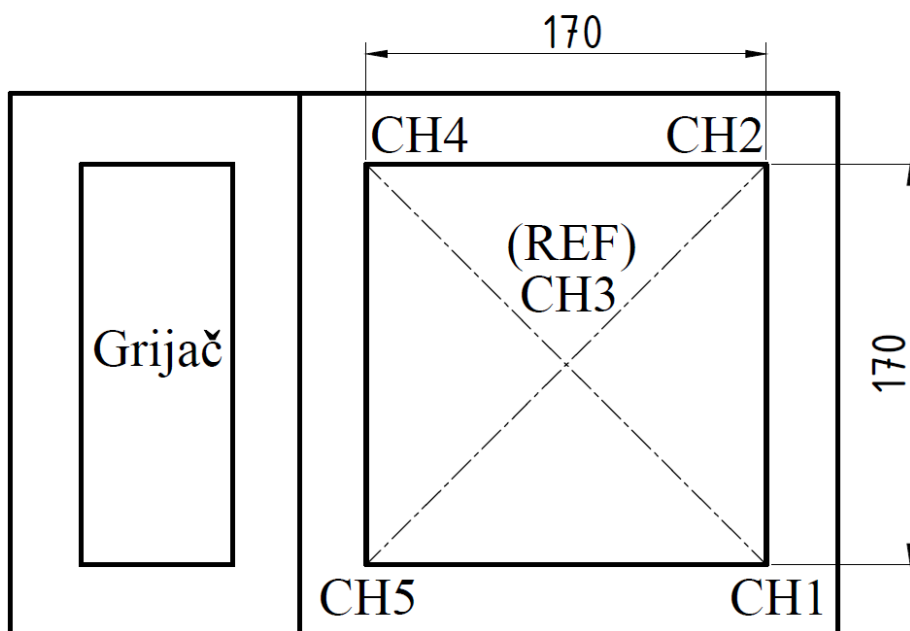
Kako je zadan raspon temperatura umjeravanja kupke od +1 °C do +65 °C, radi veće pouzdanosti podataka odabran je veći broj mjerenja. Točke smo jednoliko rasporedili unutar granica temperature radnog područja, a temperature ispitivanja odabrane su kako slijedi:

- 1) +5 °C
- 2) +20 °C
- 3) +35 °C
- 4) +50 °C
- 5) +65 °C

Ispitivanja su provedena na svakoj od odabranih točaka u trajanju od najmanje pola sata kako bismo bili sigurni da su obuhvaćene oscilacije temperature karakteristične za ispitivanu kupku.

## 6.2. Homogenost temperature

U odjeljku 3.2. navedene su vrste zona umjeravanja, tj. načini pozicioniranja termometara unutar radnog volumena ispitivanog objekta, u ovom slučaju kupke. Koristili smo način bez izotermalnog bloka, ukupno pet termometara, etalonski TEPOT19 na središnjoj poziciji, te četiri industrijska termometra proizvođača Wika na ostalim pozicijama u formaciji prikazanoj slijedećom slikom, a koja je proizvoljno odabrana prema dimenzijama kupke.



Slika 13. Prikaz razmještaja položaja termometara

Etalonski termometar postavlja se pri samom dnu kupke te se s te pozicije ne pomiče u kasnijem tijeku ispitivanja. Ostala četiri termometra u početku mjerenja nalaze se u istoj ravnini kao i etalonski, nakon čega se pomiču vertikalno prema vrhu kupke u odabranom koraku. U ovom ispitivanju središnji termometar smješten je na udaljenosti 20 milimetara od dna kupke i sa te pozicije se u daljnjem tijeku mjerenja nije pomicao. Ostala četiri termometra pomicali smo u koraku od 80 milimetara na ukupno četiri pozicije (100 mm, 180 mm, 260 mm i 340 mm od dna kupke). Isti postupak smo ponovili i prilikom mjerenja na ostalim odabranim temperaturama.

Obzirom da se parametri temperature kupke neprestano mijenjaju i da je nemoguće istovremeno mjeriti na svim visinama u rasponu, rezultati pomičnih termometara se korigiraju u odnosu na promjenu očitavanja referentnog termometra. Nakon korekcije, prosječne vrijednosti temperatura mogu se prikazati tablično i grafički.



Doprinos mjernoj nesigurnosti zbog horizontalnih gradijenta izračunava se pomoću jednadžbe:

$$u_{hor} = \frac{\max(\vartheta_i - \vartheta_j)}{\sqrt{3}}; \quad i, j = 1 \text{ do } n$$

gdje  $n$  predstavlja broj termometra, a  $\vartheta_i$  i  $\vartheta_j$  temperature termometara. Brojnik gore navedene jednadžbe predstavlja poluinterval pravokutne razdiobe i označava se s  $a$ . Gradijent se prema tome računa uzimajući u obzir najveću temperaturnu razliku dvaju termometara postavljenih u istoj ravnini. Izračun je potrebno ponoviti u svim ispitivanim ravninama i kao konačan rezultat iskazati najveću dobivenu vrijednost.

Doprinos mjernoj nesigurnosti vertikalnog gradijenta također je određen maksimalnom razlikom temperature referentnog i pomičnih termometara, dok je referentni u početnom položaju, a ostali na različitim visinama. Moguće ga je izraziti jednadžbom:

$$u_{vert} = \frac{\max(\vartheta_{ref} - \vartheta_{i,h})}{\sqrt{3}}; \quad h = 0 \text{ do } 340 \text{ mm}$$

Ukupan doprinos homogenosti mjernoj nesigurnosti temperature izražava se jednadžbom:

$$u_{hom} = \sqrt{u_{hor}^2 + u_{vert}^2}$$

### 6.3. Stabilnost temperature

Stabilnost temperature medija kupke slijedeća je važna karakteristika. Ovisi o vrsti regulacijske opreme i protoku medija kroz radni volumen kupke. Za ocijenu vremenske stabilnosti kupke, u obzir se uzimaju samo oscilacije temperature referentnog termometra. Rezultate je moguće prikazati tablično i grafički. Kao relevantnu vrijednost uzimamo najveću uočenu razliku u očitavanju termometra, a izračunava se prema slijedećoj jednadžbi:

$$u_{stab} = \frac{\max(\vartheta_{ref,max} - \vartheta_{ref,min})}{\sqrt{3}}$$

Ukupan doprinos mjernoj nesigurnosti temperature homogenosti i stabilnosti izražava se slijedećom jednadžbom:

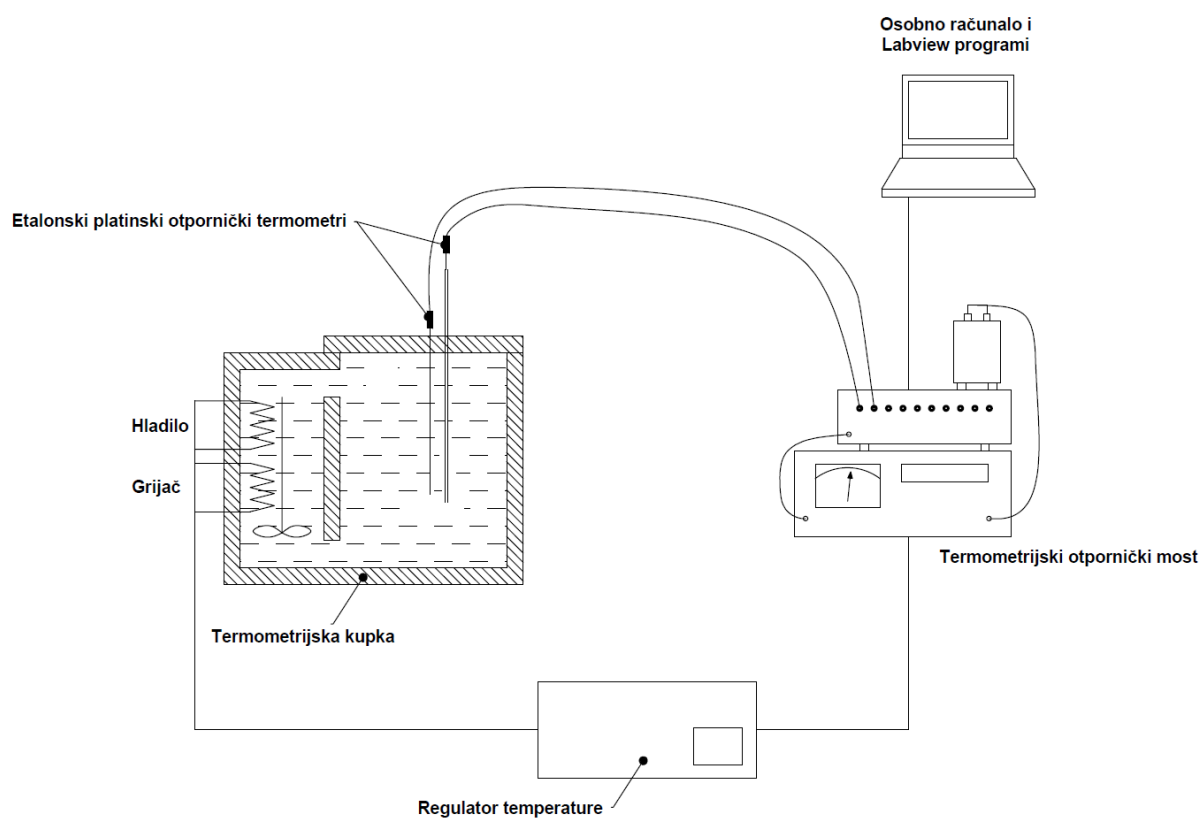
$$u_{zone} = \sqrt{u_{hom}^2 + u_{stab}^2}$$

## 7. ISPITNI IZVJEŠTAJ

Ispitivani objekt	TEKUP02
Datum ispitivanja	14.02.2014. - 20.02.2014.
Radni medij	voda

Tablica 8. Podaci o ispitivanju

### 7.1. Linija za ispitivanje kupke



Slika 14. Shematski prikaz ispitne linije

**7.2. Izračun homogenosti temperature u horizontalnom ( radijalnom ) smjeru**

Okolišna temperatura	25 °C ( ±3 °C )					
Termometar	položaj	naziv				
	CH 1	WIKA MKN9				
	CH 2	WIKA MKN8				
	CH 4	WIKA 29CP				
	CH 5	WIKA MKN7				
Nominalna temperatura, °C	CH 1, °C	CH 2, °C	CH 4, °C	CH 5, °C	A, mK	U, mK
5	5,041	5,0379	5,044	5,036	3,9	2,2
20	20,077	20,076	20,086	20,077	4,9	2,8
35	34,960	34,961	34,972	34,959	6,6	3,8
50	49,951	49,955	49,954	49,960	4,2	2,4
65	64,926	64,944	64,932	64,925	9,6	5,5

**Tablica 9. Horizontalna homogenost temperature ( h=20 mm)**

**7.3. Izračun homogenosti temperature u vertikalnom ( aksijalnom ) smjeru**

Okolišna temperatura		25 °C ( ±3 °C )			
Termometar	položaj	naziv			
	CH 1	WIKA MKN9			
	CH 2	WIKA MKN8			
	CH 3 ( REF )	HART 2490 Hi			
	CH 4	WIKA 29CP			
	CH 5	WIKA MKN7			
Temperaturna točka		5 °C			
Visina, mm	REF, °C	CH 1, °C	CH 2, °C	CH 4, °C	CH 5, °C
20	5,037	5,041	5,038	5,045	5,037
100	5,031	5,033	5,032	5,039	5,031
180	5,039	5,041	5,039	5,047	5,038
260	5,028	5,029	5,029	5,036	5,027
340	5,015	5,017	5,016	5,022	5,015
		REF – CH 1	REF – CH 2	REF – CH 4	REF – CH 5
20		-0,00426	-0,00128	-0,00796	-0,0095
100		-0,00206	-0,00723	-0,00808	0,00398
180		-0,00188	-0,00756	-0,00786	0,00633
260		-0,00130	-0,00574	-0,00789	0,00121
340		-0,00167	-0,00109	-0,00677	0,00617
max – min, °C		0,00296	0,00647	0,00131	0,01583
a, mK		1,5	3,2	0,6	7,9
u, mK		0,9	1,8	0,3	4,6

**Tablica 10. Vertikalna homogenost temperature ( 5°C )**

Okolišna temperatura		25 °C ( ±3 °C )			
Termometar	položaj	naziv			
	CH 1	WIKA MKN9			
	CH 2	WIKA MKN8			
	CH 3 ( REF )	HART 2490 Hi			
	CH 4	WIKA 29CP			
	CH 5	WIKA MKN7			
Temperaturna točka		20 °C			
Visina, mm	REF, °C	CH 1, °C	CH 2, °C	CH 4, °C	CH 5, °C
20	20,078	20,077	20,076	20,086	20,077
100	20,091	20,089	20,089	20,098	20,090
180	20,094	20,094	20,092	20,102	20,093
260	20,093	20,094	20,092	20,102	20,093
340	20,091	20,092	20,089	20,101	20,091
		REF – CH 1	REF – CH 2	REF – CH 4	REF – CH 5
20		0,00079	0,00190	-0,00802	0,00049
100		0,00100	0,00203	-0,00813	0,00053
180		0,00007	0,00196	-0,00819	0,00054
260		-0,00001	0,00173	-0,00836	0,00059
340		-0,0038	0,00175	-0,00867	0,00008
max – min, °C		0,0048	0,0003	0,00065	0,00051
a, mK		2,4	0,2	0,3	0,3
u, mK		1,4	0,1	0,2	0,2

**Tablica 11. Vertikalna homogenost temperature ( 20°C )**

Okolišna temperatura		25 °C ( ±3 °C )			
Termometar	položaj	naziv			
	CH 1	WIKA MKN9			
	CH 2	WIKA MKN8			
	CH 3 ( REF )	HART 2490 Hi			
	CH 4	WIKA 29CP			
	CH 5	WIKA MKN7			
Temperaturna točka		35 °C			
Visina, mm	REF, °C	CH 1, °C	CH 2, °C	CH 4, °C	CH 5, °C
20	34,962	34,959	34,961	34,972	34,959
100	34,967	34,968	34,967	34,977	34,965
180	34,965	34,966	34,965	34,975	34,963
260	34,964	34,964	34,963	34,973	34,961
340	34,963	34,961	34,961	34,971	34,959
		REF – CH 1	REF – CH 2	REF – CH 4	REF – CH 5
20		0,00244	0,00127	-0,01007	0,00313
100		0,00014	0,00058	-0,00956	0,00291
180		0,00014	0,00087	-0,00939	0,0031
260		0,00054	0,00096	-0,00895	0,00354
340		0,00189	0,00264	-0,00854	0,00389
max – min, °C		0,0023	0,00206	0,00153	0,00063
a, mK		1,1	1	0,8	0,3
u, mK		0,6	0,6	0,5	0,2

**Tablica 12. Vertikalna homogenost temperature ( 35°C )**

Okolišna temperatura		25 °C ( ±3 °C )			
Termometar	položaj	naziv			
	CH 1	WIKA MKN9			
	CH 2	WIKA MKN8			
	CH 3 ( REF )	HART 2490 Hi			
	CH 4	WIKA 29CP			
	CH 5	WIKA MKN7			
Temperaturna točka		50 °C			
Visina, mm	REF, °C	CH 1, °C	CH 2, °C	CH 4, °C	CH 5, °C
20	49,953	49,950	49,954	49,959	49,950
100	49,952	49,953	49,954	49,956	49,948
180	49,957	49,958	49,958	49,960	49,954
260	49,955	49,955	49,954	49,958	49,952
340	49,954	49,954	49,952	49,956	49,950
		REF – CH 1	REF – CH 2	REF – CH 4	REF – CH 5
20		0,00265	-0,00062	-0,00577	0,00327
100		-0,00091	-0,00114	-0,00335	0,00412
180		-0,00084	-0,00087	-0,00308	0,00324
260		0,00013	0,00114	-0,00272	0,00333
340		-0,00023	0,00249	-0,00182	0,00375
max – min, °C		0,00356	0,00363	0,00395	0,00088
a, mK		1,8	1,8	1,9	0,4
u, mK		1	1	1,1	0,2

**Tablica 13. Vertikalna homogenost temperature (50°C )**



Okolišna temperatura		25 °C ( ±3 °C )			
Termometar	položaj	naziv			
	CH 1	WIKA MKN9			
	CH 2	WIKA MKN8			
	CH 3 ( REF )	HART 2490 Hi			
	CH 4	WIKA 29CP			
	CH 5	WIKA MKN7			
Temperaturna točka		65 °C			
Visina, mm	REF, °C	CH 1, °C	CH 2, °C	CH 4, °C	CH 5, °C
20	64,930	64,925	64,944	64,933	64,925
100	64,932	64,933	64,946	64,934	64,931
180	64,929	64,930	64,941	64,931	64,926
260	64,930	64,930	64,940	64,930	64,926
340	64,928	64,930	64,934	64,928	64,928
		REF – CH 1	REF – CH 2	REF – CH 4	REF – CH 5
20		0,00487	-0,01342	-0,00259	0,00562
100		-0,00064	-0,01329	-0,00201	0,00105
180		-0,00098	-0,01202	-0,00141	0,0029
260		-0,00078	-0,01015	-0,00036	0,00324
340		-0,00241	-0,00582	0,0003	0,00078
max – min, °C		0,00728	0,00747	0,00289	0,00484
a, mK		3,6	3,7	1,4	2,4
u, mK		2,1	2,1	0,8	1,4

**Tablica 14. Vertikalna homogenost temperature (65°C )**

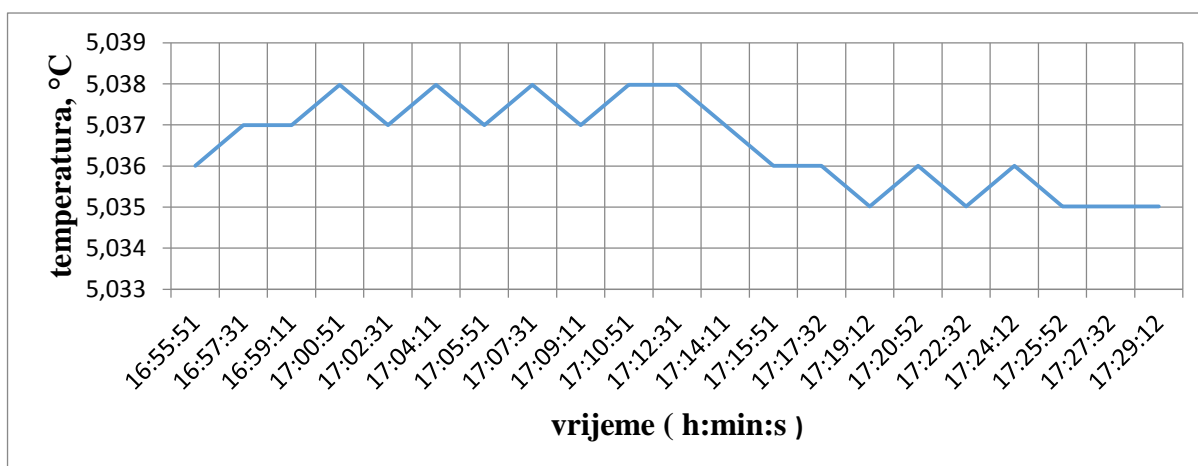
Nominalna temperatura, °C	Poluinterval normalne razdiobe a, mK	Standardna mjerna nesigurnost u, mK
5	7,9	4,6
20	2,4	1,4
35	1,1	0,6
50	1,9	1,1
65	3,7	2,1

**Tablica 15. Vertikalna homogenost temperature**

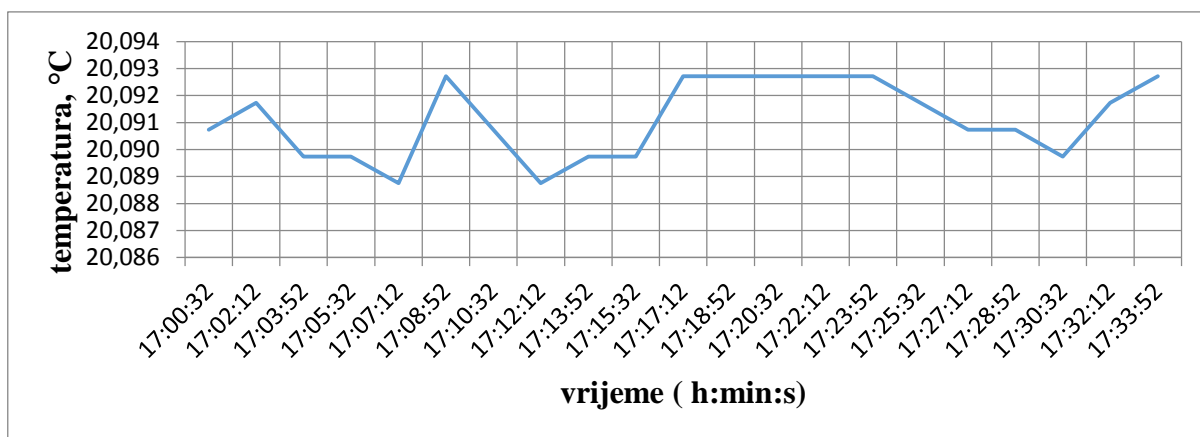
## 7.4. Izračun stabilnosti temperature

Okolišna temperatura	25 °C ( ±3 °C )	
Termometar	položaj	naziv
	CH 3	HART 2490 Hi
Nominalna temperatura, °C	a, mK	u, mK
5	2,9	1,7
20	3,9	2,2
35	4	2,3
50	6,9	4
65	7	4

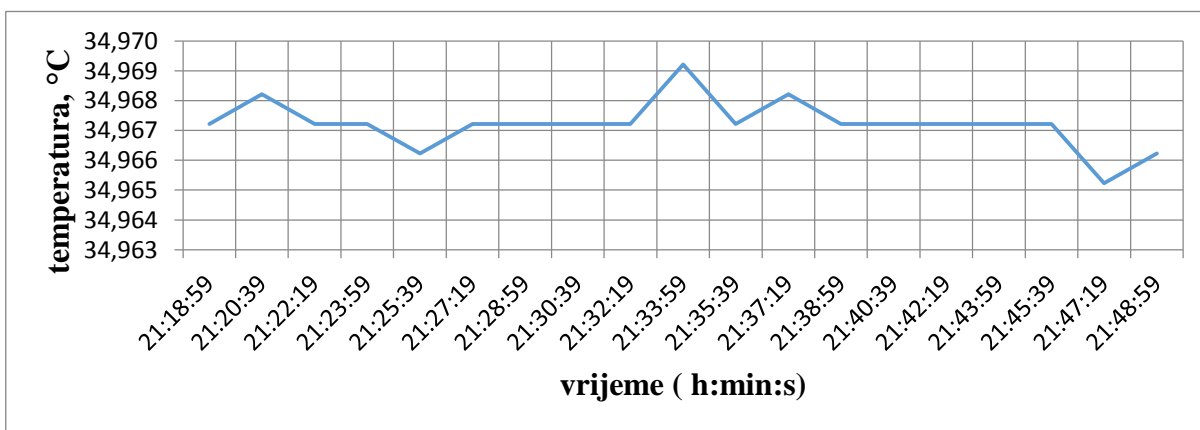
Tablica 16. Stabilnost temperature ( 30 minuta )



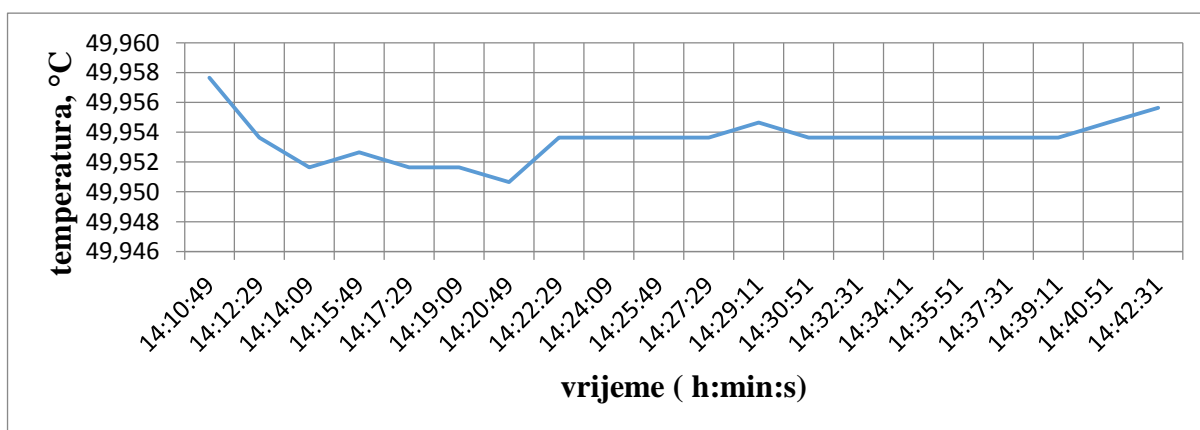
Slika 15. Stabilnost temperature ( 5°C, 30 min )



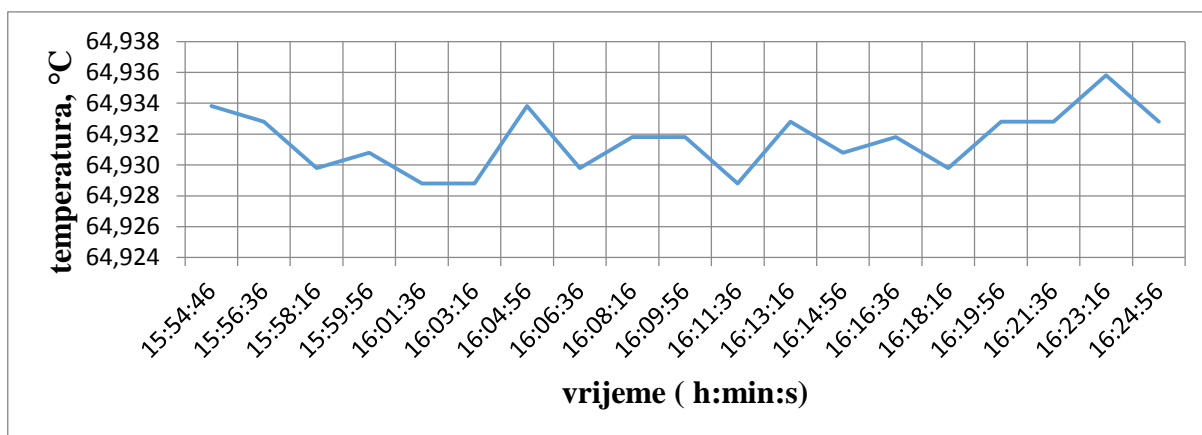
Slika 16. Stabilnost temperature ( 20°C, 30 min )



Slika 17. Stabilnost temperature ( 35°C, 30 min)



Slika 18. Stabilnost temperature ( 50°C, 30 min )



Slika 19. Stabilnost temperature ( 65°C, 30 min)

### 7.5. Izračun ukupne standardne nesigurnosti zone

Nominalna temperatura °C	Horizontalni gradijenti		Vertikalni gradijenti		stabilnost		Ukupna standardna nesigurnost zone	
	a, mK	u, mK	a, mK	u, mK	a, mK	u, mK	a, mK	u, mK
5	3,9	2,2	7,9	4,6	2,9	1,7	9,3	5,4
20	4,9	2,8	2,4	1,4	3,9	2,2	6,7	3,9
35	6,6	3,8	1,1	0,6	4	2,3	7,8	4,5
50	4,2	2,4	1,9	1,1	6,9	4	8,3	4,8
65	9,6	5,5	3,7	2,1	7	4	12,4	7,2

Tablica 17. Ukupna standardna nesigurnost zone

## 8. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitivana je kupka za visokotemperaturni generator vlažnosti. Nakon mjerenja temperature pri različitim nominalnim temperaturama i pozicijama unutar radnog volumena kupke, dobivene podatke smo obradili i dobili konačne vrijednosti ukupne standardne nesigurnosti zone prikazane tablicom 17. Mjerna nesigurnost prikazuje s kolikom pouzdanosti možemo tvrditi da je temperatura medija kupke jednolika u čitavom radnom volumenu.

Oprema i uvjeti ispitivanja utječu na konačnu mjernu nesigurnost. Korištenjem preciznije opreme, prvenstveno za regulaciju grijanja i hlađenja radnog medija, također i održavanjem parametara temperature i vlažnosti u laboratoriju konstantnima mogli bismo očekivati manju konačnu mjernu nesigurnost zone ispitivane kupke. Ispitivanje smo vršili u uvjetima u kojima se ova kupka i inače koristi, pa su dobiveni podaci dovoljno precizni i mjerodavni.

Svrha ispitivanja je dobivanje točnog uvida u karakteristike kupke. Čestim korištenjem, održavanjem, i protokom vremena kupka mijenja svojstva, a karakteristike dane od proizvođača često nisu dovoljno pouzdane.

**LITERATURA**

- [1] Drnovšek, J., Bojkovski, J., Pušnik, I.: A general procedure for evaluation of calibration baths in precision temperature measurements, IEEE Xplore, 2008.
- [2] Zvizdić, D., Heinonen, M., Šestan, D.: Primary dew-point generation between 1 °C and 60 °C at LPM, XX IMEKO, 2012.
- [3] Calibration of dew point hygrometers, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
- [4] Galović, A.: Termodinamika II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [5] [http://www.aslus.com/uploads/ASL\\_SB148\\_SB158\\_Manual\\_Iss\\_5.pdf](http://www.aslus.com/uploads/ASL_SB148_SB158_Manual_Iss_5.pdf), UK, 2010.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc