

# Ispitivanje karakteristika termo-higrostatirane klimatske komore

---

**Subotić, Dora**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:235:798698>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-18**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Dora Subotić**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Danijel Šestan, dipl. ing.

Studentica:

Dora Subotić

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći se znanjima stečenima tijekom studija i navedenom literaturom.

Zahvaljujem doc. dr. sc. Danijelu Šestanu na pruženome mentorstvu i ugodnoj suradnji.

Zahvaljujem asistentu, mag. ing. Ivanu Matasu na neizostavnoj pomoći u izradi praktičnog dijela rada, kao i na korisnim savjetima.

Zahvaljujem roditeljima, obitelji i prijateljima koji su mi strpljivo i ustrajno pružali potporu tijekom studija.

Dora Subotić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dora Subotić** JMBAG: **0035211320**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ispitivanje karakteristika termo-higrostatirane klimatske komore**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Investigation of the performances of the thermo-hygrostated climatic chamber**

Opis zadatka:

Potrebno je definirati i provesti postupak ispitivanja karakteristika termo-higrostatirane komore Vötsch HC 0033, koja se nalazi u Laboratoriju za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje (FSB-LPM). Ispitivanjem će se obuhvatiti određivanje prostornih gradijenata i vremenske stabilnost temperature i relativne vlažnosti zraka unutar radnog volumena komore. Ispitivanje je potrebno provesti u mjernim točkama: 30 °C/35 % rv, 20 °C/70 % rv, 50 °C/90 % rv i 70 °C/50 % rv, pri čemu će se koristiti postojeća oprema u FSB-LPM-u.

U okviru izrade završnog rada potrebno je:

- Dati pregled teorijskih osnova vezanih uz ispitivanje termo-higrostatiranih komora.
- Definirati i opisati postupak ispitivanja karakteristika termo-higrostatirane komore Vötsch HC 0033, koja se nalazi u FSB-LPM-u.
- Prikazati shemu spajanja i dati opis mjernog sustava korištenog za predmetno ispitivanje.
- Sastaviti mjernu liniju i provesti ispitivanje koristeći postojeće uređaje i pomoćnu opremu koja je na raspolaganju u FSB-LPM-u.
- Prikazati rezultate ispitivanja komore u ispitnim točkama: 30 °C/35 % rv, 20 °C/70 % rv, 50 °C/90 % rv i 70 °C/50 % rv.
- Opisati postupak procjene i procijeniti utjecaj karakteristika komore na ukupnu nesigurnost umjeravanja mjerila relativne vlažnosti zraka, u slučaju kada se ispitana komora koristi u tu svrhu.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Danijel Šestan

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.  
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.  
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.  
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.  
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS DIJAGRAMA .....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD.....	1
1.1. Osnovni pojmovi.....	1
2. OPIS KORIŠTENE UPUTE.....	3
2.1. Načini umjeravanja klimatske komore .....	3
2.2. Zahtjevi za komoru prema DKD-R 5-7 uputi .....	3
3. KORIŠTENA OPREMA .....	5
3.1. Kupka .....	5
3.2. Otpornički termometri.....	6
3.3. Mjerna postaja.....	8
3.4. Higrometar točke rose .....	11
3.4.1. Princip rada higrometra .....	12
3.5. Termo-higrostatirana klimatska komora .....	12
3.6. Računalo.....	15
4. UMJERAVANJE TERMOMETARA.....	16
4.1. Rezultati umjeravanja .....	18
4.2. Izračun individualnih koeficijenata termometara .....	18
5. ISPITIVANJE TERMO-HIGROSTATIRANE KLIMATSKE KOMORE .....	20
5.1. Uvjeti rada klimatske komore .....	20
5.2. Postupak ispitivanja termo-higrostatirane klimatske komore .....	20
6. REZULTATI ISPITIVANJA TERMO-HIGROSTATIRANE KLIMATSKE KOMORE	25
6.1. Mjerna točka 20 °C, 70 %rv.....	25
6.1.1. Temperatura 20 °C .....	25
6.1.2. Relativna vlažnost 70 %rv.....	27
6.2. Rezultati u svakoj mjernoj točki .....	29
6.2.1. Osrednjene vrijednosti u svim točkama .....	29
6.2.2. Mjerna nesigurnost u svakoj mjernoj točki .....	30
7. ZAKLJUČAK .....	32

---

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Kupka Heto Calibration KB22-1 .....	6
Slika 2.	Regulator temperature, Heto Calibration CALCON 2000 .....	6
Slika 3.	Ilustracija otporničkog termometra .....	7
Slika 4.	Mjerna postaja .....	8
Slika 5.	Osjetnik higrometra D-2.....	11
Slika 6.	Higrometar Genreal Eastern M2 .....	11
Slika 7.	Klimatska komora Votsch HC 0033 .....	14
Slika 8.	Programsko sučelje „LabView“ .....	15
Slika 9.	Slaganje termometara u kupku .....	17
Slika 10.	Mjerna postaja s kupkom .....	17
Slika 11.	Raspored termometara u klimatskoj komori .....	21
Slika 12.	Mjerni uređaji postavljeni u komori .....	21
Slika 13.	Cijev higrometra omotana grijačem .....	22
Slika 14.	Shema spajanja mjerne linije.....	24

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Tehničke specifikacije kupke TEKUP11 01[3].....	5
Tablica 2. Oznake ulaznih kanala na multipleksoru i pripadnih termometara.....	7
Tablica 3. Dimenzije termometara .....	7
Tablica 4. Tehničke specifikacije multipleksora [3] .....	9
Tablica 5. Tehničke specifikacije višekanalne upravljačke jedinice [3] .....	9
Tablica 6. Tehničke specifikacije otporničkog mosta [3] .....	10
Tablica 7. Tehnički podatci higrometra [4].....	12
Tablica 8. Tehnički podatci klimatske komore, Votsch HC 0033 [5].....	13
Tablica 9. Osrednjene vrijednosti temperatura sa svakog termometra.....	18
Tablica 10. Koeficijenti termometara.....	19
Tablica 11. Ispitane točke.....	20
Tablica 12. Oznake.....	22
Tablica 13. Osrednjene vrijednosti temperature na mjernoj točki 20 °C .....	25
Tablica 14. Rezultati umjeravanja na temperaturi 20 °C .....	25
Tablica 15. Budžet nesigurnosti temperature .....	26
Tablica 16. Osrednjene vrijednosti vlažnosti na mjernoj točki 70 %rv .....	27
Tablica 17. Rezultati umjeravanja na temperaturi 20 °C i relativnoj vlažnosti 70 %rv.....	27
Tablica 18. Budžet nesigurnosti vlage .....	28
Tablica 19. Osrednjene temperature u svim mjernim točkama.....	29
Tablica 20. Osrednjena relativna vlažnost u svim mjernim točkama.....	29
Tablica 21. Mjerne nesigurnosti temperature .....	30
Tablica 22. Mjerne nesigurnosti relativne vlažnosti .....	31



---

**POPIS DIJAGRAMA**

Dijagram 1.	Prikaz ovisnosti otpora o temperaturi za termometar oznake „1“ .....	19
Dijagram 2.	Temperaturna nesigurnost .....	30
Dijagram 3.	Mjerna nesigurnost vlažnosti .....	31

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
$U$	mK, %rv	Proširena mjerna nesigurnost za $k = 2$ i $P = 95\%$ .
$t_{Std}$	°C	Temperatura izmjerena u referentnoj mjernoj točki komore.
$\delta t_{drift}$	°C	Drift higrometra.
$\delta t_{res}$	°C	Rezolucija regulatora temperature komore.
$dt_R$	°C, %rv	Gradijenti u komori.
$dt_v$	°C, %rv	Nestabilnost temperature/relativne vlažnosti zraka u komori.
$t_{dp}$	°C	Izmjereno rosište zraka u komori.
$dt_{dp,D}$	°C	Drift higrometra.
$dt_{dp,i}$	%rv	Rezolucija regulatora relativne vlažnosti komore.
%rv	-	Relativna vlažnost zraka u komori.

**SAŽETAK**

U ovom radu prikazano je ispitivanje karakteristika termo-higrostatirane klimatske komore u temperaturnom rasponu od 20 °C do 70 °C i rasponu vlažnosti od 35 %rv do 90 %rv radi određivanja utjecaja komore na ukupnu nesigurnost umjeravanja mjerila relativne vlažnosti zraka u toj komori. Prvom fazom ispitivanja obuhvaćeno je umjeravanje termometara u termostatiranoj vodenoj kupki u temperaturnom području od 10 °C do 70 °C i određivanje njihovih karakteristika, odnosno koeficijenta za Callendar-Van Dusen (CVD) jednadžbu. Ovi termometri korišteni su u drugoj fazi za ispitivanje termo-higrostatirane klimatske komore. Metode obiju faza mjerenja detaljno su opisane te su uz njih prikazani dobiveni rezultati i dijagrami. Također je opisana korištena oprema i objašnjena je korištena metoda umjeravanja klimatske komore. Na kraju su prikazani rezultati ispitivanja u zadanim točkama s određenim doprinosima komore ukupnoj mjernoj nesigurnosti.

---

**SUMMARY**

This bachelor thesis presents an examination of the characteristics of thermo-hygrostatic climatic chamber in the temperature range from 20 °C to 70 °C and relative humidity range from 35 %rh to 90 %rh in order to determine the influence of the chamber on the overall uncertainty of calibration of relative humidity meters in that chamber . The first phase of testing included calibration of thermometers in a thermostatic calibration bath, in the temperature range from 10 °C to 70 °C. Based on the calibration results, characteristics of thermometers were determined, i.e. coefficients for Callendar-Van Dusen (CVD) equation. These thermometers were used in the second phase to characterize the thermo-hygrostatic climatic chamber. The methods used in both phases of measurement are described in detail and the results are presented in tabular and graphical forms. The equipment and the method used for testing are also described and explained. Finally, the test results at the measurement points are presented with uncertainty contributions related to the chamber to the overall measurement uncertainty.

## 1. UVOD

Klimatske komore su uređaji koji se primjenjuju za ispitivanje učinaka okoliša na biološke supstance, industrijske proizvode, materijale, električne uređaje i komponente. U komorama se nastoje postići uvjeti što sličniji okolišnim uvjetima u kojima će se ispitivani predmeti nalaziti. Osim očekivanih uvjeta, ispituju se i ekstremni uvjeti kako bi se utvrdila izdržljivost ispitivanog predmeta. Klimatske komore imaju širok raspon simuliranja okolišnih uvjeta.

Kao i svi ostali mjerni uređaji, i klimatske se komore umjeravaju. Time se osigurava mjerna sljedivost i određuje mjerna nesigurnost. Umjeravanje se provodi izravnom usporedbom umjeravanog instrumenta s etalonima ili potvrđnim referentnim tvarima, a rezultat tog postupka je utvrđeno odstupanje ispitivanog mjernog instrumenta kao i pripadna mjerna nesigurnost. [1] Ispitivanje klimatske komore može se provoditi u skladu s dvije slične upute propisane od strane relevantnih institucija: EURAMET i DKD. EURAMET (eng. *The european association of national metrology institutes*) je europsko udruženje nacionalnih mjeriteljskih instituta država članica Europske unije kojima je cilj uspostavljanje ujednačene mjeriteljske infrastrukture. DKD, (njem. *Deutscher Kalibrierdienst*) je njemačka služba za umjeravanje. Ovisno o odabranoj uputi razlikovat će se metoda provođenja mjerenja. U ovom radu upotrebljavat će se uputa DKD-a.

Za ispitivanje karakteristika klimatske komore najprije je potrebno umjeriti termometre s kojima će se provoditi ispitivanje. Za potrebe ovog ispitivanja klimatske komore, metodom usporedbenog umjeravanja u termostatiranoj vodenoj kupki, umjereno je devet platinskih otporničkih termometara (PT100), koji su poslije korišteni za ispitivanje karakteristika klimatske komore.

### 1.1. Osnovni pojmovi

#### *Termo-higrostatirana komora*

Uređaj koji omogućuje odabir i postizanje željene temperature i vlažnosti zraka unutar zatvorenog radnog volumena, u granicama radnog područja uređaja. Radi smanjenja vremenske i prostorne nehomogenosti temperature zraka i relativne vlažnosti zraka, kao i odstupanja temperature i vlažnosti zraka koje su ostvarene u korisnom volumenu, od nazivnih vrijednosti, odnosno vrijednosti izmjerenih postavljenim mjernim uređajima, upotrebljavaju se tehnička sredstva kao što su toplinska izolacija, cirkulacija zraka, štitovi od zračenja itd. Područje unutar

komore omeđeno mjernim pozicijama definira se kao korisni volumen. Bitno je da izolacijske plohe komore nisu izravno dijelovi zgrade ili vozila, već da jasno pripadaju komori.

### ***Mjerna pozicija***

Mjesto unutar komore, tj. njezina korisnog volumena, na kojem je postavljen mjerni uređaj za mjerenje temperature i/ili relativne vlažnosti zraka.

### ***Korisni volumen***

Volumen unutar ukupnog volumena komore omeđen mjernim pozicijama. Mjerne pozicije svojim položajem označavaju granice korisnog volumena, stoga se korisni volumen razlikuje od ukupnog volumena komore i manji je od njega. Sve vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka izmjerene u komori valjane su samo za mjerenja unutar korisnog volumena, a sve veličine izmjerene izvan njega ne smatraju se valjanima.

### ***Referentna mjerna točka***

Referentna mjerna točka je mjerna pozicija u korisnom volumenu čije se izmjerene vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka uspoređuju s izmjerenim vrijednostima na ostalim mjerenim pozicijama. Položaj referentne mjerne točke najčešće je geometrijska sredina korisnog volumena, no to ne isključuje položaj referentne točke prema nekom drugom kriteriju.

[2]

## 2. OPIS KORIŠTENE UPUTE

Za ispitivanje karakteristika termo-higrostatirane klimatske komore u ovom završnom radu korištena je uputa „DKD-R 5-7, Calibration of Climatic Chambers“. Navedena uputa u skladu je s normom ISO 9000 i DIN EN ISO/IEC 10725:2005. DKD uputa opisuje tehničke i organizacijske procese služeći laboratorijima kao primjer postavljanja vlastitih uputa i pravila za provođenje procesa. Prema DKD uputi razvijena je metoda umjeravanja klimatskih komora, koja se upotrebljava u ovom završnom radu. Prije ispitivanja u klimatskoj komori potrebno je umjeriti termometre. Postupak umjeravanja termometara opisan je u poglavlju 3. „Umjeravanje termometara“. U ovom će poglavlju biti objašnjeni mogući načini umjeravanja klimatskih komora, prema uputi DKD-a.

### 2.1. Načini umjeravanja klimatske komore

Prema DKD uputi postoje tri načina umjeravanja klimatske komore: A, B i C. Umjeravanje na način A odnosi se na korisni volumen koji obuhvaća mjerna mjesta u praznoj klimatskoj komori. Način B se odnosi na korisni volumen koji obuhvaća mjerna mjesta u punoj klimatskoj komori. Pri umjeravanju na način C pojedinačna mjerna mjesta u klimatskoj komori ne obuhvaćaju korisni volumen već samo jednu poziciju unutar radnog volumena komore. U ovom ispitivanju korišten je način A koji obuhvaća:

- utvrđivanje korekcije ili odstupanja između vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka na referentnoj mjernoj lokaciji i vrijednosti zadane pomoću regulatora komore
- određivanje prostorne nehomogenosti u praznom korisnom volumenu
- određivanje vremenske nestabilnosti u praznom korisnom volumenu
- određivanje učinka zračenja (samo za mjerenje temperature zraka)
- određivanje utjecaja tereta na mjerne pozicije usporedbom napunjenog i praznog korisnog volumena (opcionarno, na zahtjev naručitelja; ispitivanje ove komponente nije obuhvaćeno završnim radom). [2]

### 2.2. Zahtjevi za komoru prema DKD-R 5-7 uputi

Korištenjem upute ispitivanje komore ne može se provesti ako nisu su zadovoljeni sljedeći zahtjevi:

- klimatska komora mora imati vlastite osjetnike za mjerenje temperature i relativne vlažnosti zraka

- klimatska komora mora imati vlastiti regulacijski sustav, odnosno upravljačku jedinicu kojom se postavljaju željene vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka
- za klimatsku komoru moraju biti dostupne tehničke specifikacije proizvođača
- klimatska komora mora imati tehničku dokumentaciju za vlastite osjetnike, kao i detaljna uputstva o njihovim pozicijama i svojstvima, karakteristikama izolacije te stabilizaciji temperature i relativne vlažnosti
- u korisnom volumenu komore mora biti osiguran atmosferski tlak
- za ispitivanje klimatske komore na jednoj temperaturi i relativnoj vlažnosti odgovarajuće referentne osjetnike potrebno je postaviti na najmanje tri mjerne pozicije
- u slučaju disipacijskih gubitaka u korisnom volumenu, njihov se učinak mora odrediti u vidu doprinosa mjernoj nesigurnosti učinka opterećenja. [2]



### 3. KORIŠTENA OPREMA

Za sva mjerenja provedena u praktičnom dijelu završnog rada korištena je laboratorijska oprema u Laboratoriju za procesna mjerenja na Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

#### 3.1. Kupka

Kupka interne laboratorijske oznake TEKUP11, korištena je za umjeravanje otporničkih termometara. Korišteni radni medij kupke bila je demineralizirana voda. Iako se inače pri umjeravanju termometara u kupki upotrebljava izotermalni blok, u ovom je slučaju zbog male duljine umjeranih termometara blok izostavljen.

Tablica 1. Tehničke specifikacije kupke TEKUP11 01[3]

<b>Proizvođač</b>	Heto Calibration	
<b>Model</b>	KB 22 – 1	
<b>Radni medij</b>	voda	
<b>Temperaturno područje radnog medija</b>	od 5 °C do 90 °C	
<b>Kapacitet radnog medija</b>	8 litara	
<b>Dimenzije</b>	<b>visina</b>	1410 mm (960 mm)
	<b>širina</b>	450 mm
	<b>dužina</b>	415 mm
<b>Dimenzije unutrašnjosti kupke</b>	<b>promjer</b>	97 mm
	<b>dubina</b>	500 mm
<b>Masa</b>	115 kg	
<b>Snaga</b>	3 kW	
<b>Napajanje</b>	220 V, 50 Hz	



**Slika 1. Kupka Heto Calibration KB22-1**

Temperatura kupke namješta se pomoću regulatora temperature. To je odvojeni uređaj koji se povezuje s kupkom. Za ovo mjerenje korišten je regulator temperature proizvođača Heto Calibration, model CALCON 2000, laboratorijske oznake TEKUP11 02.



**Slika 2. Regulator temperature, Heto Calibration CALCON 2000**

### **3.2. Otpornički termometri**

Princip rada otporničkih termometara temelji se na činjenici da se otpor metalnih vodiča mijenja s promjenom temperature te su to trenutačno najtočnija mjerila temperature. Kao i kod

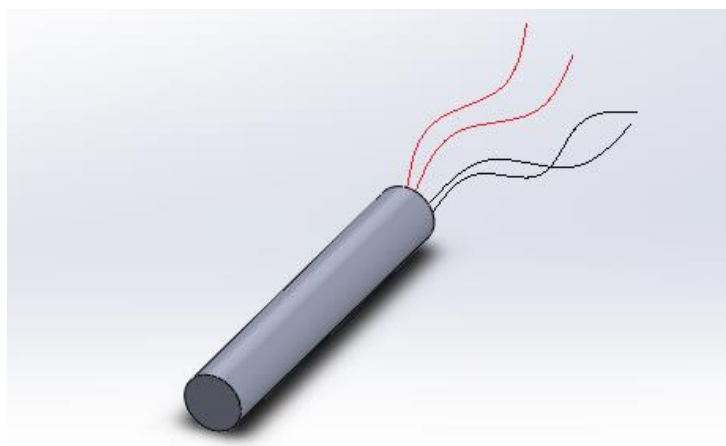
termometara korištenih u ovom ispitivanju, osjetnici otporničkih termometara najčešće se izrađuju od platine. Radi ispitivanja karakteristika termo-higrostatirane komore, termometri su najprije umjereni u vodenoj kupki, a zatim su korišteni za mjerenje temperature u komori. Mjerenja su provedena na temperaturnom rasponu od 10 °C do 70 °C, a ukupno je korišteno devet termometara s otporom od 100 Ω na temperaturi 0 °C (Pt100) i jedan etalonski otpornički termometar s otporom 25 Ω na temperaturi 0 °C (Pt25).

**Tablica 2. Oznake ulaznih kanala na multipleksoru i pripadnih termometara**

Ulazni kanal na multipleksoru	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9
Oznaka termometra	1	10	3	14	15	6	13	8	9

**Tablica 3. Dimenzije termometara**

Oznaka termometra	Duljina mm	Promjer mm
1	50	5
10	70	5
3	50	5
14	70	5
15	70	5
6	70	5
13	70	5
8	70	5
9	50	5



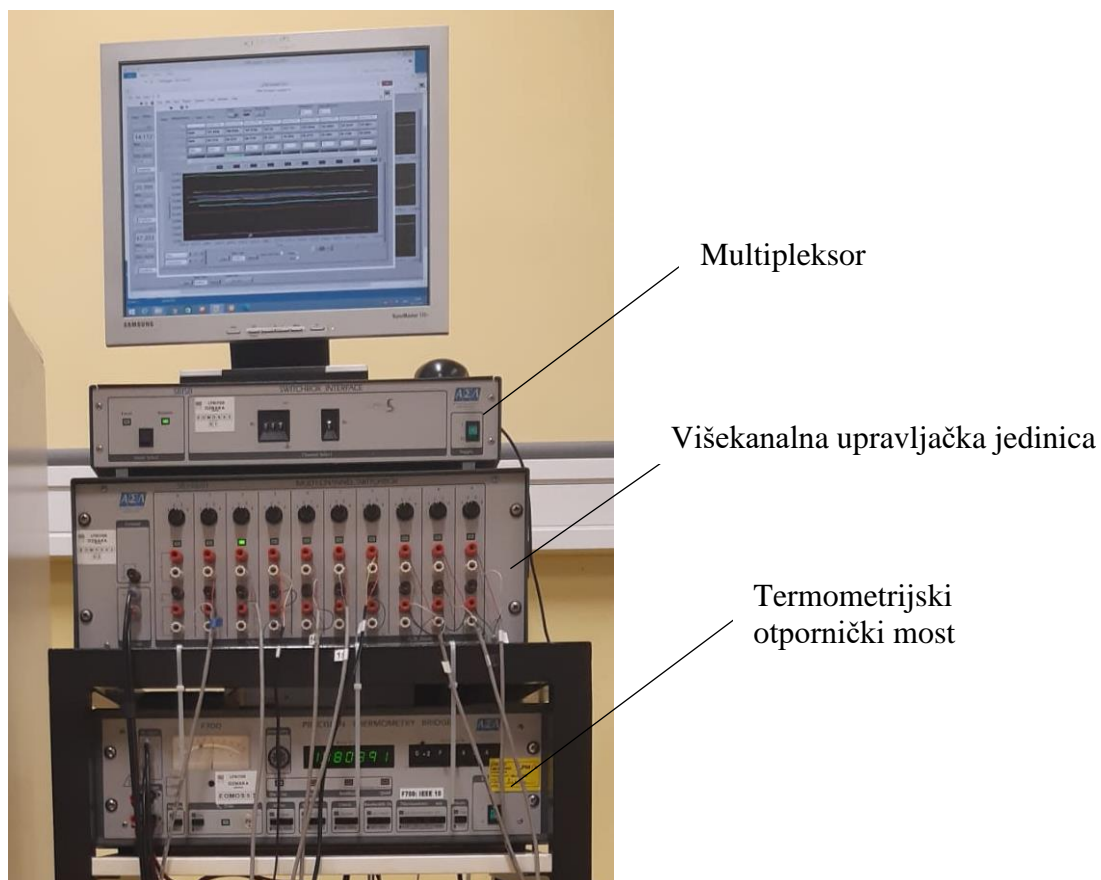
**Slika 3. Ilustracija otporničkog termometra**

### 3.3. Mjerna postaja

Mjerna postaja služi za mjerenje otpora termometara te se sastoji od:

- multipleksora (EOMOS03 01)
- višekanalne upravljačke jedinice (EOMOS03 02)
- termometrijskog otporničkog mosta (EOMOS03 03).

Termometri su pomoću četiri žice povezani na višekanalnu upravljačku jedinicu, a otpornički most mjeri njihov otpor. Kako bi otpornički most mogao mjeriti otpor svih termometara, upotrebljava se multipleksor. Multipleksor odabire jedan od ulaznih kanala na upravljačkoj jedinici te ga povezuje s otporničkim mostom kako bi se izmjerio otpor odabranog termometra. Multipleksor je također spojen na računalo na kojem se pomoću računalnog programa, izrađenog u alatu „LabView“, očitavaju vrijednosti s otporničkog mosta. Očitani otpor termometra računalo preračunava u njegovu temperaturu.



Slika 4. Mjerna postaja

Tablica 4. Tehničke specifikacije multipleksora [3]

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

Tablica 5. Tehničke specifikacije višekanalne upravljačke jedinice [3]

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

**Tablica 6. Tehničke specifikacije otporniškog mosta [3]**

<b>Proizvođač</b>	ASL	
<b>Model</b>	F 700	
<b>Napajanje</b>	240/220/120/100 Vac	
<b>Frekvencija</b>	50 – 60 Hz	
<b>Dimenzije</b>	<b>visina</b>	155 mm
	<b>širina</b>	520 mm
	<b>duljina</b>	466 mm
<b>Masa</b>	15 kg	
<b>Radni uvjeti</b>	0 °C – 30 °C, 10 % - 90 % RH	
<b>Vrijeme balansiranja</b>	20 sekundi za potpuni balans	

### 3.4. Higrometar točke rose

Higrometar je uređaj kojim se mjeri relativna vlažnost zraka unutar korisnog volumena klimatske komore. U ovom ispitivanju korišten je higrometar General Eastern M2 s osjetnikom D-2. Ovaj optički kondenzacijski higrometar mjeri temperaturu zraka i rosište te pomoću njih izračunava postotak relativne vlažnosti zraka u ispitivanom volumenu. Higrometar General Eastern M2 se, u kombinaciji s odgovarajućim osjetnicima, može upotrebljavati u širokom rasponu rosišta (od  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Osjetnik vlažnosti se odabire prema očekivanim vrijednostima rosišta i temperatura u okolišu u kojima se provode mjerenja. Odabrani higrometar sastoji se od pokazne jedinice, osjetnika rosišta i osjetnika temperature, odnosno platinskog otporničkog termometra T-100E.



Slika 6. Higrometar Genreal Eastern M2



Slika 5. Osjetnik higrometra D-2

Tablica 7. Tehnički podatci higrometra [4]

Radno područje senzora D-2	
Rosište	d -40 °C do +85 °C
Temperatura okoliša	od -15 °C do +93 °C
Tlak	od 0 do 20 bar
Uvjeti okoliša za rad pokazne jedinice	
Temperatura	od 0°C do 50°C
Vlaga	od 0%rh do 85%rh

### 3.4.1. Princip rada higrometra

Svijetleća dioda (LED) osvjetljava zrcalo za detekciju, a fotodetektor mjeri intenzitet svjetlosti koja se reflektira od zrcala. Higrometar je opremljen i dodatnom LED diodom i fotodetektorom, između kojih nema zrcala, a koji se upotrebljavaju za kompenzaciju mjerenja intenziteta svjetlosti zbog utjecaja toplinskih promjena u optičkim komponentama. Fotodetektori su povezani u električnom mostu tako da je zrcalni detektor potpuno osvjetljen kad na zrcalu nema vlage. Promjena intenziteta svjetlosti na fotodetektoru uzrokuje veliku izlaznu struju mosta kad god je zrcalo suho, odnosno kad na njemu nema sloja kondenzata. Izlazna vrijednost mosta se pojačava i upotrebljava za kontrolu istosmjernje struje do termo-električnog hladnjaka, uzrokujući hlađenje zrcala prema točki rosišta. Kad se na zrcalu pojavi kondenzat, optički most se pomiče prema svojoj točki ravnoteže, uzrokujući smanjenje intenziteta svjetlosti reflektirane sa zrcala. To uzrokuje smanjenje izlazne snage mosta i smanjenje struje hlađenja. Petlja s povratnom spregom unutar pojačala osigurava brzu stabilizaciju temperature zrcala do stanja u kojem se na njegovoj površini održava tanak sloj kondenzata/inja, što bi bila točka rošenja/mraza. Precizni termometar ugrađen u zrcalo izravno mjeri ovu temperaturu. [4]

### 3.5. Termo-higrostatirana klimatska komora

Termo-higrostatirana klimatska komora omogućuje postizanje različitih radnih točaka s obzirom na temperaturu i vlažnost. U sklopu ovog rada ispitivana je komora HC 0033 proizvođača Votsch. Tehničke specifikacije komore navedene su u sljedećoj tablici.



Tablica 8. Tehnički podatci klimatske komore, Votsch HC 0033 [5]

<b>Proizvođač</b>	Votsch	
<b>Model</b>	HC 0033	
<b>Vanjske dimenzije</b>	<b>visina [mm]</b>	1840
	<b>širina [mm]</b>	930
	<b>duljina [mm]</b>	1365
<b>Dimenzije radnog prostora</b>	<b>visina [mm]</b>	745
	<b>širina [mm]</b>	675
	<b>duljina [mm]</b>	650
<b>Volumen radnog prostora, m<sup>3</sup></b>	0,213	
<b>Temperaturno radno područje</b>	od 10 °C do 90 °C	
<b>Radno područje vlage</b>	od 30 %rh do 95 %rh	

Za pravilan rad komore u prostoriji je potrebno osigurati temperaturu zraka u rasponu od 15 °C do 35 °C te relativnu vlažnost zraka nižu od 75% [5]. U komoru se postavljaju ispitivani predmeti ili uređaji te se zatim na pokaznoj jedinici odabiru željene vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka. Komora se zatim pušta u pogon.

Komora radi tako da se zrak uvlači u prostor za klimatizaciju na sredini stražnje ploče i ulazi u ispitni prostor preko ploča za vođenje zraka na stropu i na podu. Velika brzina strujanja zraka osigurava njegovu ravnomjernu raspodjelu unutar ispitnog prostora. To jamči brzo postizanje očekivanih termodinamičkih stanja u ispitivanom uzorku.

Komora ima vlastite sustave za grijanje i hlađenje, kao i sustav za ovlaživanje ili isušivanje zraka. Radnom prostoru pristupa se s prednje strane komore, a obložen je limovima od visoko kvalitetnog čelika. Sa stražnje strane radnog prostora nalazi se ventilator za miješanje zraka, kojim se nastoji ostvariti što homogenija raspodjela temperature unutar prostora.

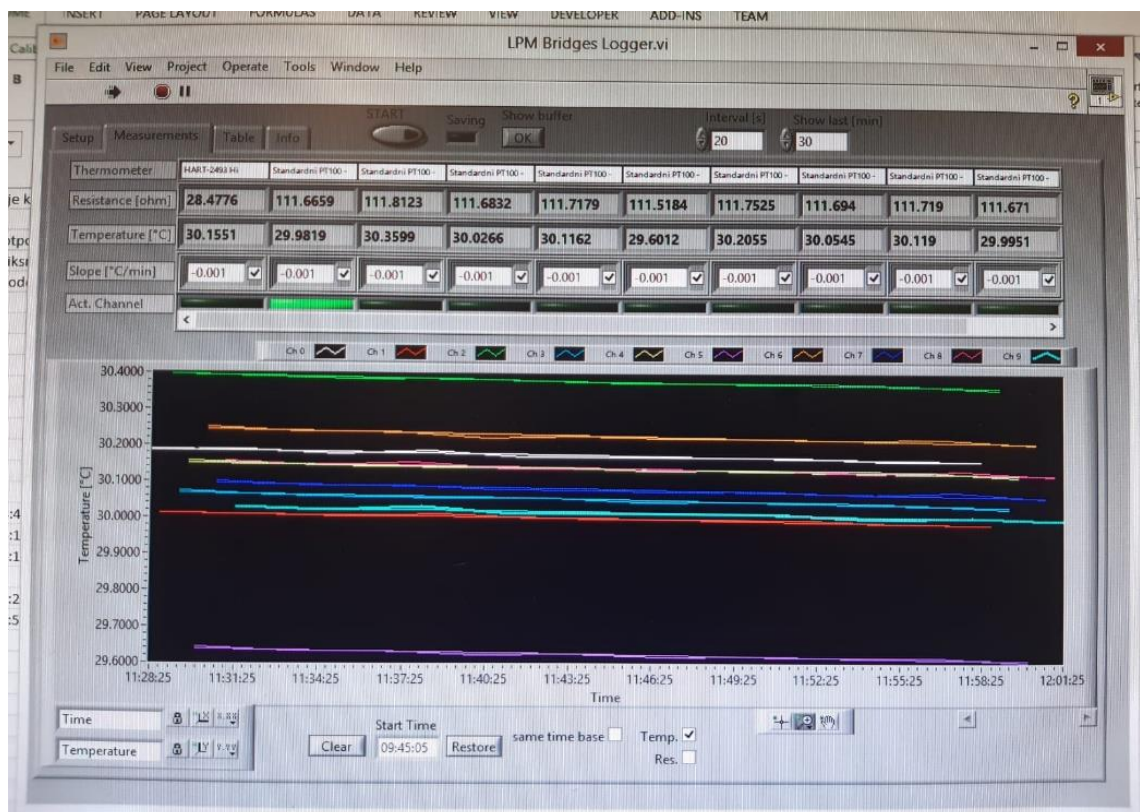
Sustav upravljanja sastoji se od mikrokontrolera i pokazne jedinice. Na pokaznoj jedinici mogu se postaviti željena temperatura i relativna vlažnost zraka, kao i pratiti aktualno stanje u komori. Sustav se može namjestiti kako bi radio u automatskom ili ručnom načinu rada, te nam također omogućava unošenje temperaturnih granica unutar kojih želimo da temperatura fluktuiraju.



**Slika 7. Klimatska komora Vötsch HC 0033**

### 3.6. Računalo

Na računalo je instaliran računalni program „LPM Bridges Logger“, koji je izrađen unutar programskog sučelja „LabView“. Program očitava vrijednosti otpora s otporničkog mosta i izračunava temperature pripadnih osjetnika. Program za akviziciju razvijen je u Laboratoriju za procesna mjerenja, a očitane podatke sprema u obliku Excel dokumenta.



Slika 8. Programsko sučelje „LabView“

#### 4. UMJERAVANJE TERMOMETARA

Prije nego li se upotrijebe za ispitivanje karakteristika termo-higrostatirane klimatske komore, potrebno ih je umjeriti. Umjeravanje termometara postupak je kojim se želi osigurati sljedivost mjerenja temperature do primarnih etalona temperature. Cilj umjeravanja je određivanje individualnih koeficijenata za CVD polinome platinskih otporničkih termometara s kojima će se iz izmjerenog otpora računati njihove temperature.

Umjeravanje devet platinskih otporničkih termometara provedeno je pomoću etalonskog termometra, termometrijske vodene kupke, otporničkog mosta i računala. Termometri su umjeravani u temperaturnim točkama: 10 °C, 30 °C, 50 °C i 70 °C. Postupak umjeravanja slijedi tako da se sve osjetnike temperature najprije međusobno povezuje na način da su im svi krajevi u istoj ravnini s etalonskim termometrom u sredini. Ovakvim načinom slaganja osjetnika nastoje se osigurati što manje razlike njihovih temperatura, odnosno što manji temperaturni gradijenti između pozicija na kojima se termometri nalaze. Potom se termometri postavljaju u kupku, a voda se zagrijava na željenu temperaturu. Kad se kupka stabilizira na željenoj temperaturi, termometre se ostavlja u vodi barem dodatnih pola sata, kako bi se osiguralo umjeravanje na stabilnoj temperaturi. Svaki je termometar četverožilno spojen na termometrijski otpornički most preko individualnog ulaza na višekanalnoj upravljačkoj jedinici. Na mostu se očitava otpor te se na računalu, u računalnom programu „LPM Bridges Logger“, otpor preračunava u temperaturu. Otpornički most detaljno je opisan u poglavlju 3.4. „Oprema“. Opisani postupak proveden je na svakoj umjernoj temperaturi. Svi očitani otpori osjetnika i pripadne temperature spremaju se na računalo u obliku Excel dokumenta. To je bitno za daljnja mjerenja jer nam omogućuje jednostavniju obradu podataka dobivenih mjerenjem.



**Slika 9. Slaganje termometara u kupku**



**Slika 10. Mjerna postaja s kupkom**

#### 4.1. Rezultati umjeravanja

Na svakoj umjernoj temperaturi u obzir su uzete vrijednosti otpora osjetnika temperature unutar posljednjih 30 minuta. Te vrijednosti su osrednjene u promatranom vremenskom rasponu u svakoj umjernoj temperaturnoj točki. Sljedeća tablica prikazuje srednje vrijednosti temperatura za svaki termometar u umjeranim točkama u promatranom vremenu.

**Tablica 9. Osrednjene vrijednosti temperatura sa svakog termometra**

Oznaka termometra	1	10	3	14	15	6	13	8	9
Umjerna temperatura	<b>OSREDNJENA TEMPERATURA</b>								
10 °C	9.910	10.237	9.905	10.203	9.491	10.005	10.109	10.026	9.959
30 °C	29.989	30.371	30.039	30.127	29.611	30.215	30.067	30.127	30.002
50 °C	50.004	50.432	50.100	49.997	49.662	50.352	49.959	50.169	49.969
70 °C	70.229	70.695	70.364	70.079	69.925	70.685	69.986	70.337	70.089

#### 4.2. Izračun individualnih koeficijenata termometara

Za izražavanje odnosa temperature i otpora kod platinskih otporničkih termometara, upotrebljava se Callendar Van – Dusenova jednadžba. Spomenuta jednadžba također služi kao interpolacijski polinom između diskretnih točaka i piše se na sljedeći način:

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

gdje su:

- $R_0$  – otpor termometra na 0 °C
- $T$  – temperatura termometra
- $A, B, C$  – individualni koeficijenti termometara

Prema normi IEC 60751 za temperaturne vrijednosti od -200 °C do 0 °C vrijedi gore navedena matematička jednadžba (1). Međutim kad su temperaturne vrijednosti između 0 °C i 660 °C, tada se zanemaruje kubni dio jednadžbe te novi izraz glasi:

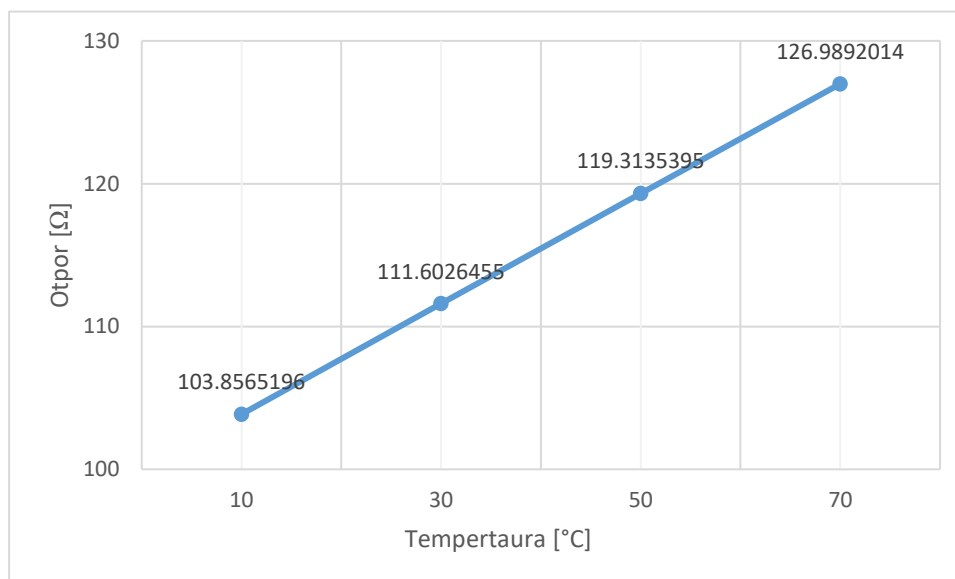
$$R(T) = R_0 * [1 + A * T + B * T^2] \quad (2)$$

Budući da se mjerene temperature u ovom ispitivanju nalaze u rasponu između 0 °C i 660 °C, za izračun individualnih koeficijenata termometara korišten je izraz (2). Za rješavanje navedene jednadžbe upotrebljava se metoda najmanjih kvadrata u računalnom programu razvijenom u

Laboratoriju za procesna mjerenja. Izračunate vrijednosti otpora termometara  $R_0$  te koeficijenta  $A$  i  $B$  dane su u tablici:

**Tablica 10. Koeficijenti termometara**

Oznaka termometra	$R_0$	$A$	$B$
<b>1 (CH 1)</b>	99,97024	0,003892	-4,41E-07
<b>10 (CH 2)</b>	100,0858	0,003899	-4,85E-07
<b>3 (CH 3)</b>	99,95664	0,003904	-4,80E-07
<b>14 (CH 4)</b>	100,1154	0,003855	-4,01E-07
<b>15(CH 5)</b>	99,7984	0,003907	-4,52E-07
<b>6 (CH 6)</b>	99,97969	0,003919	-5,03E-07
<b>13 (CH 7)</b>	100,0618	0,003875	-6,15E-07
<b>8 (CH 8)</b>	100,0006	0,003906	-6,28E-07
<b>9 (CH 9)</b>	99,98908	0,003892	-5,99E-07



**Dijagram 1. Prikaz ovisnosti otpora o temperaturi za termometar oznake „1“**

## 5. ISPITIVANJE TERMO-HIGROSTATIRANE KLIMATSKE KOMORE

Ispitivanje klimatske komore služi određivanju odstupanja temperature i relativne vlažnosti zraka u mjernim pozicijama unutar njezinog korisnog volumena, od vrijednosti koje su prikazane na pokaznoj jedinici komore. Postavljanjem termometara u komori se definira njezin korisni volumen te će se dobivene rezultate moći primijeniti samo na taj volumen.

Radi ovog završnog rada klimatska je komora ispitana u četiri točke, koje su navedene u Tablici 11.

**Tablica 11. Ispitane točke**

TEMPERATURA	RELATIVNA VLAŽNOST
20°C	70%
30°C	35%
50°C	90%
70°C	50%

### 5.1. Uvjeti rada klimatske komore

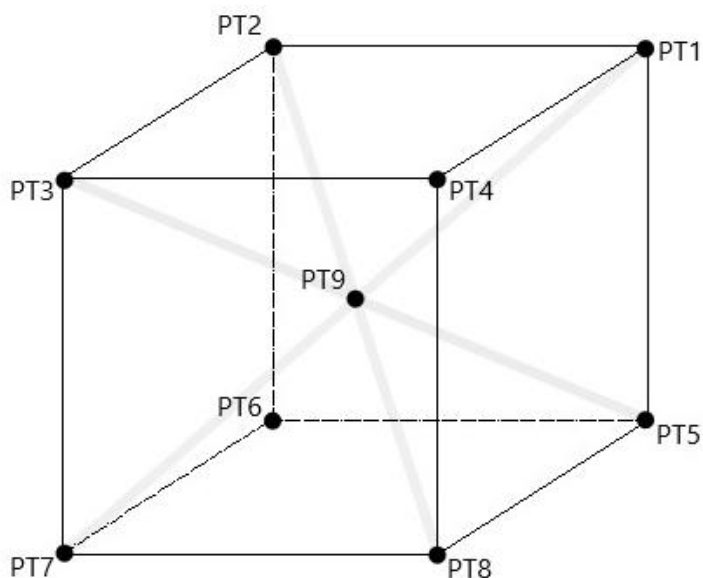
Votsch HC 0033 je klimatska komora s cirkulacijom zraka. Smjernice DKD-a primjenjive su za ispitivanje komora u temperaturnom rasponu od -90 °C do 500 °C. Prema ovim smjernicama, ispitivanje komora s korisnim volumenom manjim od 2000 l potrebno je provesti s osjetnicima temperature istodobno postavljenim u najmanje devet mjernih pozicija. Također je potrebno da se ukupni volumen zraka u komori izmijeni unutar 30 minuta. [1]

### 5.2. Postupak ispitivanja termo-higrostatirane klimatske komore

U radni prostor termo-higrostatirane klimatske komore u kojem cirkulira zrak, postavlja se metalna konstrukcija pravokutnog oblika koja služi za postavljanje osjetnika temperature na željene pozicije u prostoru, tako da su od stijenki komore udaljeni otprilike 5 cm. Dimenzije metalne konstrukcije su 46 cm × 40 cm × 70 cm. U radni volumen ispitivane komore postavljeno je 9 umjerenih platinskih otporničkih osjetnika temperature. Osjetnici su plastičnim vezicama pričvršćeni za vrhove metalne rešetke. Uz osjetnik temperature u sredinu radnog



volumena komore postavljen je i osjetnik vlažnosti higrometra. Sredina radnog volumena komore smatrat će se referentnom točkom. Raspored termometara prikazan je na Slici 11:



**Slika 11. Raspored termometara u klimatskoj komori**

Na desnoj stijenci komore nalazi se otvor kroz koji se osjetnici postavljeni u korisni volumen komore povezuju s pripadnim pokaznim jedinicama.



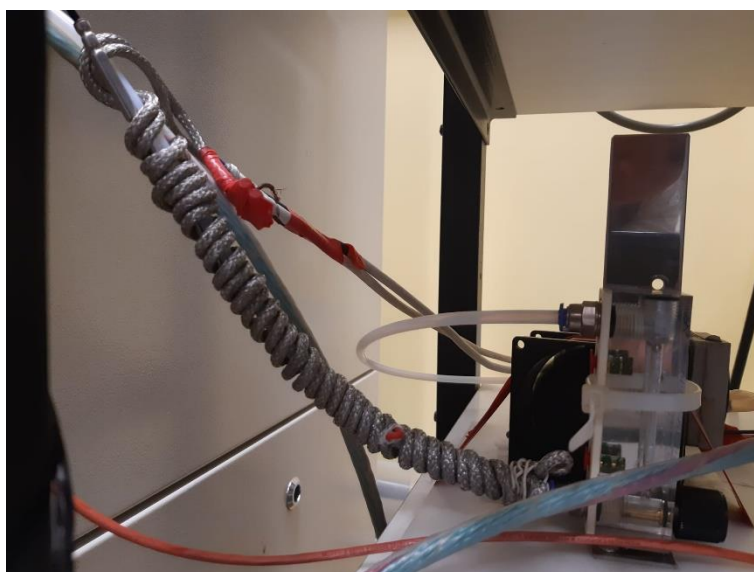
**Slika 12. Mjerni uređaji postavljeni u komori**

Svaki osjetnik temperature u komori spojen je na termometrijski otpornički most preko individualnog ulaza na višekanalnoj upravljačkoj jedinici. Na mostu se očitava otpor te se na računalu otpor preračunava u temperaturu.

**Tablica 12. Oznake**

Oznaka osjetnika temperature	Ulazni kanal na multipleksoru	Oznaka pozicije u komori
1	CH 1	PT 1
10	CH 2	PT 2
3	CH 3	PT 3
14	CH 4	PT 4
15	CH 5	PT 5
6	CH 6	PT 6
13	CH 7	PT 7
8	CH 8	PT 8
9	CH 9	PT 9

Higrometar je izvan komore povezan s higrometrom točke rose General Eastern HYGRO-M2. Očitane vrijednosti rosišta bilježe se u Excel dokumentu. Kako bismo spriječili kondenzaciju vode unutar cijevi za uzorkovanje zraka iz komore, cijev smo omotali grijačem, kao što je prikazano na sljedećoj slici.

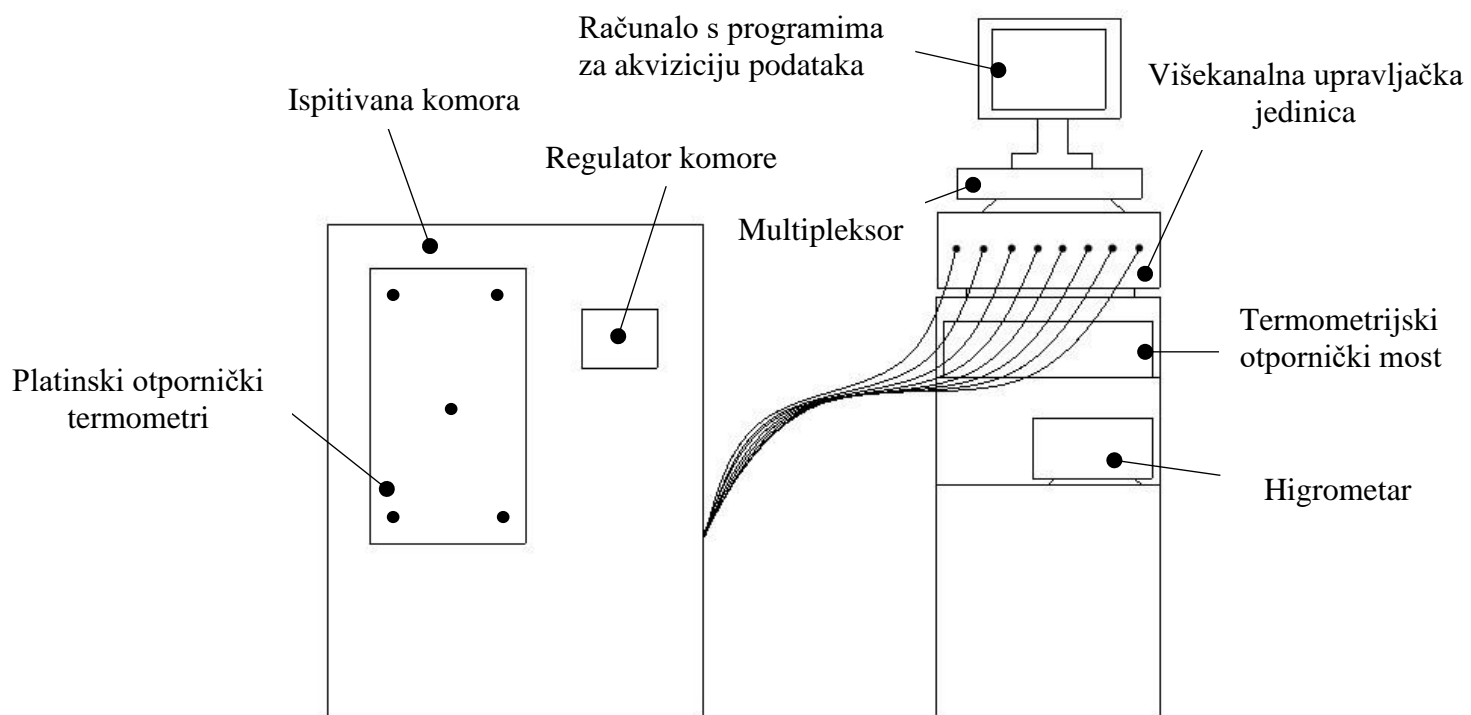


**Slika 13. Cijev higrometra omotana grijačem**

Nakon postavljanja ispitne linije, preko regulatora komore unose se željene ispitivane vrijednosti temperature i relativne vlažnosti te se komora pušta u pogon. Na monitoru računala očitavaju se izmjerene vrijednosti temperature i vlažnosti zraka te se prati stabilizacija promatranih veličina u komori. Nakon stabilizacije temperature i relativne vlažnosti, rad komore promatra se sljedećih 30 minuta.



**Slika 14. Sastavljena mjerna linija**



Slika 14. Shema spajanja mjerne linije

## 6. REZULTATI ISPITIVANJA TERMO-HIGROSTATIRANE KLIMATSKE KOMORE

Rezultati provedenih mjerenja, koja su opisana u prethodnom tekstu ovog rada, prikazani su u ovom poglavlju. Predstavljene su osrednjene vrijednosti temperature i mjerne nesigurnosti temperature i relativne vlažnosti zraka. Svi rezultati mjerenja zabilježeni su za vremensko razdoblje od 30 minuta nakon stabilizacije uvjeta u klimatskoj komori.

### 6.1. Mjerna točka 20 °C, 70 %rv

Postupak izračuna mjerne nesigurnosti prikazan je na primjeru mjerne točke 20 °C, 70 %rv. Prikazani rezultati uključuju: temperaturna odstupanja, stabilnosti temperature i relativne vlažnosti, gradijente, budžet nesigurnosti i ukupnu nesigurnost. Također su prikazani osrednjeni rezultati mjerenja pri 20 °C. Rezultati mjerenja temperature zraka u klimatskoj komori u vremenskom su rasponu od 30 minuta.

#### 6.1.1. Temperatura 20 °C

Tablica 13. Osrednjene vrijednosti temperature na mjernoj točki 20 °C

Oznaka pozicije	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9
Osrednjena temperatura [°C]	20,251	20,351	20,365	20,199	20,281	20,340	20,285	20,264	20,279

Tablica 14. Rezultati umjeravanja na temperaturi 20 °C

Oznaka pozicije	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9
Odstupanje u odnosu na temperaturu u centru komore, °C	-0,027	0,073	0,086	-0,080	0,002	0,061	0,006	-0,015	0,000
Stabilnost za vrijeme umjeravanja, 30 min - preko poluintervalu, °C	0,022	0,042	0,039	0,045	0,032	0,049	0,044	0,034	0,041
Stabilnost za vrijeme umjeravanja, 30 min - preko stdev, °C	0,008	0,013	0,013	0,014	0,009	0,013	0,012	0,009	0,012
Tip A	0,014								
Gradijenti u budžetu, °C	0,167								
Stabilnost u budžetu preko poluintervalu	0,049		0,014						
SP, °C	20,0								
Odstupanje u odnosu na SP, °C:	0,279								

Tablica 15. Budžet nesigurnosti temperature

BUDŽET NESIGURNOSTI TEMPERATURE											
Tip	Opis	Oznaka	Procjena		Nesigurnost		Razdioba	Koeficijent		Doprinos	
A	Standardna temperatura	$t_{std}$	20,279	°C	0,012	°C	normalna (1s)	1,0	[ - ]	12,1	mK
B	Umjeravanje etalonskog termometra		0,00	°C	0,030	°C	normalna (2s)	1,0	[ - ]	15,0	mK
	Drift etalona	$\delta t_{drift}$	0,00	°C	0,010	°C	pravokutna	1,0	[ - ]	5,8	mK
	Interpolacija etalonskog termometra		0,00	°C	0,011	°C	normalna (1s)	1,0	[ - ]	11,0	mK
	Rezolucija namještanja temperature na komori	$\delta t_{res}$	0,00	°C	0,001	°C	pravokutna	1,0	[ - ]	0,3	mK
	Rezolucija komore		0,00	°C	0,100	°C	pravokutna	1,0	[ - ]	28,9	mK
	Gradijenti u komori	$\delta t_R$	0,00	°C	0,167	°C	pravokutna	1,0	[ - ]	96,2	mK
	Temperaturna nestabilnost	$\delta t_v$	0,00	°C	0,049	°C	pravokutna	1,0	[ - ]	14,3	mK
A&B	Temperature	$t_x$	20,279					$U_k = 1$		104,0 mK	
								$U_k = 2$		207,940 mK	

**6.1.2. Relativna vlažnost 70 %rv****Tablica 16. Osrednjene vrijednosti vlažnosti na mjernoj točki 70 %rv**

Pozicija termometra	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9
Vrijednosti relativne vlažnosti [% rv]	68,79	68,36	68,31	69,02	68,66	68,41	68,64	68,73	68,66

**Tablica 17. Rezultati umjeravanja na temperaturi 20 °C i relativnoj vlažnosti 70 %rv**

Oznaka pozicije	PT 1	PT 2	PT 3	PT 4	PT 5	PT 6	PT 7	PT 8	PT 9
Odstupanje u odnosu na RH u centru komore, %RV	0,13	-0,30	-0,36	0,36	-0,00	-0,26	-0,02	0,07	0,00
Stabilnost za vrijeme umjeravanja, 30 minuta - preko poluintervalu, %RV	0,09	0,18	0,17	0,19	0,14	0,21	0,19	0,12	0,13
Stabilnost za vrijeme umjeravanja, 30 minuta - preko stdev, %RV	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04	0,04
Tip A	0,06								
Gradijenti u budžetu, %RV	0,72								
Stabilnost u budžetu preko poluintervalu	0,21	0,06							
SP, %RV	70,0								
Odstupanje:	-1,34								

Tablica 18. Budžet nesigurnosti vlage

BUDŽET NESIGURNOSTI RELATIVNE VLAŽNOSTI											
Tip	Opis	Oznaka	Procjena		Nesigurnost		Razdioba	Koeficijent		Doprinos	
A	Standardna temperatura	$t_{dp}$	14,21	°C	0,01	°C	normalna (1s)	4,42	%rv/°C	0,05	%rv
B	Umjeravanje higrometra		0,00	°C	0,07	°C	normalna (2s)	4,42	%rv/°C	0,15	%rv
	Drift higrometra	$dt_{dp,D}$	0,00	°C	0,04	°C	pravokutna	4,42	%rv/°C	0,10	%rv
	Rezolucija higrometra		0,00	°C	0,01	°C	pravokutna	4,42	%rv/°C	0,01	%rv
	Interpolacija $t_{dp}$		0,00	°C	0,02	°C	normalna (1s)	4,42	%rv/°C	0,08	%rv
	Rezolucija komore	$dt_{dp,i}$	0,00	%rv	0,1	%rv	pravokutna	1,00	[ - ]	0,03	%rv
	Gradijenti u komori	$dt_R$	0,00	%rv	0,72	%rv	pravokutna	1,00	[ - ]	0,41	%rv
	Nestabilnost vlage	$dt_v$	0,00	%rv	0,21	%rv	pravokutna	1,00	[ - ]	0,06	%rv
	Utjecaj nesigurnosti mjerenja $T_a$		0,00	°C	0,023	°C	normalna (1s)	-4,2119	%rv/°C	0,10	%rv
A&B	Temperatura	$t_x$	14,21						$U_k = 1$	0,478 %rv	
									$U_k = 2$	0,956 %rv	



## 6.2. Rezultati u svakoj mjernoj točki

Radi ovog završnog rada bilo je potrebno izdvojiti osrednjene rezultate mjerenja te izračunate nesigurnosti. Vrijednosti mjerene nesigurnosti prikazane su grafički za svaku mjernu točku.

### 6.2.1. Osrednjene vrijednosti u svim točkama

**Tablica 19. Osrednjene temperature u svim mjernim točkama**

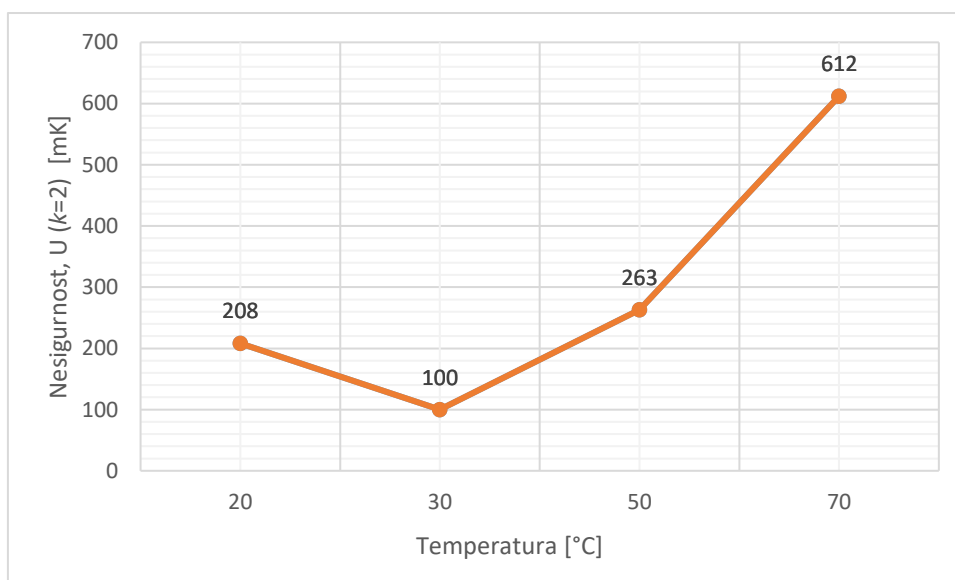
Pozicija termometra	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9
Temperatura [20 °C]	20,251	20,351	20,365	20,199	20,281	20,340	20,285	20,264	20,279
Temperatura [30 °C]	30,129	30,135	30,123	30,128	30,160	30,183	30,161	30,133	30,142
Temperatura [50 °C]	49,925	49,992	50,003	50,066	49,930	49,995	50,145	49,981	50,073
Temperatura [70 °C]	69,559	69,392	69,168	69,610	69,557	69,501	69,694	69,614	69,669

**Tablica 20. Osrednjena relativna vlažnost u svim mjernim točkama**

Pozicija termometra	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9
Vlažnost [70 %]	68,79	68,36	68,31	69,02	68,66	68,41	68,64	68,73	68,66
Vlažnost [35 %]	36,71	36,69	36,72	36,71	36,64	36,59	36,64	36,69	36,68
Vlažnost [90 %]	87,93	87,64	87,59	87,32	87,91	87,63	86,98	87,69	87,29
Vlažnost [50 %]	51,39	51,76	52,27	51,27	51,39	51,52	51,09	51,27	51,14

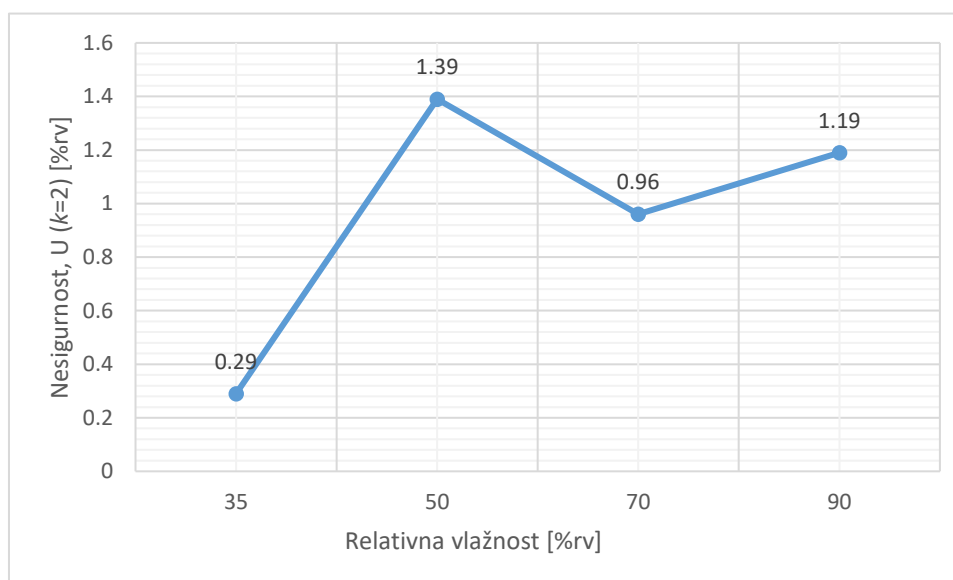
**6.2.2. Mjerna nesigurnost u svakoj mjernoj točki****Tablica 21. Mjerne nesigurnosti temperature**

MJERNA TOČKA TEMPERATURE	MJERNA NESIGURNOST, $U(k=2)$
20 °C	208 mK
30 °C	100 mK
50 °C	263 mK
70 °C	612 mK

**Dijagram 2. Temperaturna nesigurnost**

**Tablica 22. Mjerne nesigurnosti relativne vlažnosti**

<b>MJERNA TOČKA RELATIVNE VLAŽNOSTI</b>	<b>NESIGURNOST, U(k=2)</b>
70 %rv	0,96 %rv
35 %rv	0,29 %rv
90 %rv	1,19 %rv
50 %rv	1,39 %rv

**Dijagram 3. Mjerna nesigurnost vlažnosti**

---

## 7. ZAKLJUČAK

Ispitivanje karakteristika termo-higrostatirane klimatske komore provodi se radi utvrđivanja njenih svojstava i ponašanja u zadanim uvjetima, kako bi se što pouzdanije mogla upotrebljavati za buduća mjerenja u Laboratoriju za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Ispitivanje je uspješno provedeno u četiri mjerne točke: 30 °C/35 %rv, 20 °C/70 %rv, 50 °C/90 %rv, 70 °C/50 %rv. Cilj ispitivanja bio je odrediti karakteristike i mjernu nesigurnost klimatske komore. Odstupanja u komori utvrđenih vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka nalaze se unutar tolerancijskih granica koje je propisao proizvođač komore. Utvrđena mjerna nesigurnost ispitane klimatske komore iznosi 208 mK na temperaturi 20 °C, 100 mK na temperaturi 30 °C, 263 mK na temperaturi 50 °C i 612 mK na temperaturi 70 °C, Također je određena nesigurnost relativne vlažnosti klimatske komore te iznosi 0,29 %rv na 35 %rv, 2,02 %rv na 50 %rv, 0,96 %rv na 70 %rv i 1,19 %rv na 90 %rv. Analizom rezultata utvrđeno je da je temperaturna nesigurnost najveća pri temperaturi 50 °C, te da je nesigurnost relativne vlažnosti najveća pri 90 %rv. Iz dobivenih rezultata zaključuje se da porastom temperature i relativne vlažnosti zraka raste i mjerna nesigurnost u klimatskoj komori.

---

**LITERATURA**

- [1] Materijali s predavanja iz kolegija Mjerenje u energetici
- [2] Deutscher Kalibrierdienst, Guideline DKD-R 5-7 Calibration of Climatic Chambers, 2009.
- [3] Miškić J. Ispitivanje karakteristika higrostatirane komore [završni rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020.
- [4] General Eastern instruments, Humidity handbook, Woburn, 1993.
- [5] HERAEUS INDUSTRIE-TECHNIK, Operating instructions Climatic Test Chamber HC 0020, HC 0033, HC0057, 1996.