

## Vježba T-10: MJERENJE TEMPERATURE

### 1. Svrha vježbe

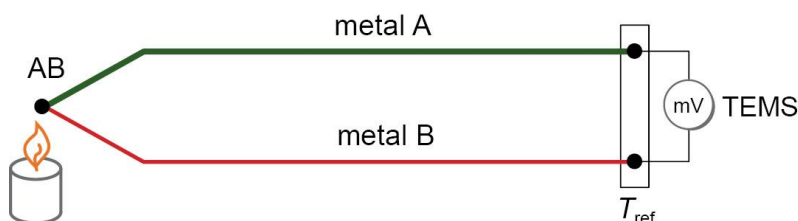
Upoznati metode mjerenja temperature primjenom termopara i otporničkog osjetila temperature. Upoznati spojeve mjernih pretvornika za mjerenje temperature. Usporediti dinamičko vladanje osjetila temperature.

### 2. Teorijske osnove

Načelo djelovanja na kojima se zasniva primjena termoparova i otporničkih osjetila temperature prikazani su u literaturi<sup>1,2</sup>. Ovdje ćemo prikazati bitno za provedbu vježbe.

#### 2.1 Termoparovi

Kad se dvije žice izrađene od različitih metala spoje na oba kraja, a ta su spojišta na različitim temperaturama, u tako sastavljenom krugu javlja se električna struja. Ovu pojavu otkrio je 1821. godine *Thomas Johann Seebeck*. Ako se ovaj krug prekine, napon otvorenog kruga (tzv. *Seebeckov napon* ili *termoelektromotorna sila- TEMS*), funkcija je razlike temperatura spojišta, a ovisi i o vrsti dvaju metala, slika 1.



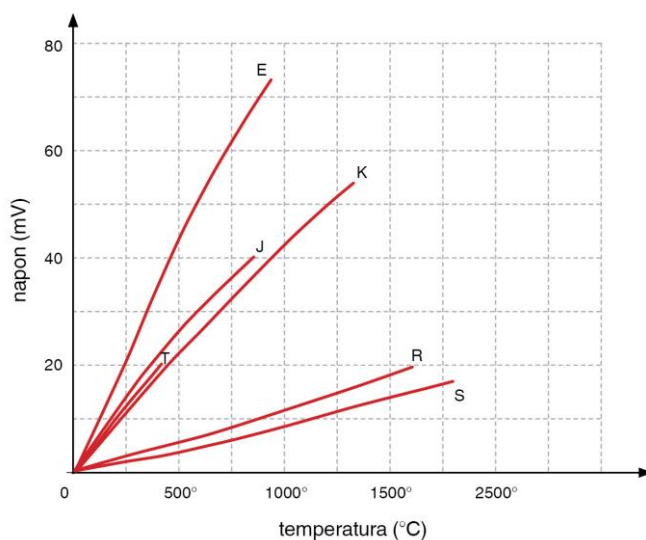
Slika 1 Seebeckov napon

Statičke karakteristike različitih vrsta termoparova prikazane su grafički na slici 2. Pri relativno malim promjenama temperature pretpostavlja da TEMS približno linearno ovisi o temperaturi:

$$TEMS = \alpha \cdot \Delta T = \alpha \cdot (T_{mjer.} - T_{ref.})$$

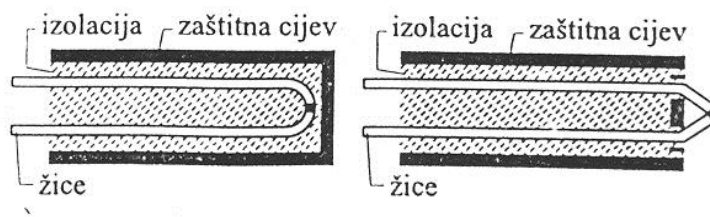
pri čemu je  $\alpha$  konstanta proporcionalnosti koja se naziva Seebeckov koeficijent.

Prilikom mjerenja, mjerno spojište, izlaže se mjerenoj temperaturi,  $T_{mjer.}$ , a referentno ili usporedbeno spojište na nekoj je usporedbenoj temperaturi,  $T_{ref.}$ , obično sobnoj temperaturi.



**Slika 2** Statička karakteristika različitih vrsta termopara prikazuje ovisnost termoelektromotorne sile (TEMS) o temperaturi

Termoparovi se izrađuju u obliku žica ili u obliku sondi. Žični su jeftini i imaju malu vremensku konstantu, što znači brzi odziv. Termopar u obliku sonde sa stijenkom izvodi se na tri načina: *uzemljen*, *neuzemljen* i *izložen*, slika 3. Na vrhu uzemljenog spoja, žice termopara su fizički spojene na unutarnju stranu stijenke sonde. Stoga je prijenos topline kroz stijenku sonde do spoja termopara dobar, ali podliježe problemu lutajućih struja i smetnji. Kod neuzemljene sonde spoj termopara je odvojen od stijenke izolacijom. Odziv je sporiji, no električki je izoliran. Izloženi oblik termopara viri iz stijenke. Ovaj tip ima najbrži odziv, ali je primjena ograničena na suhe i nekorozivne plinove, a tlak ne smije biti previsok.

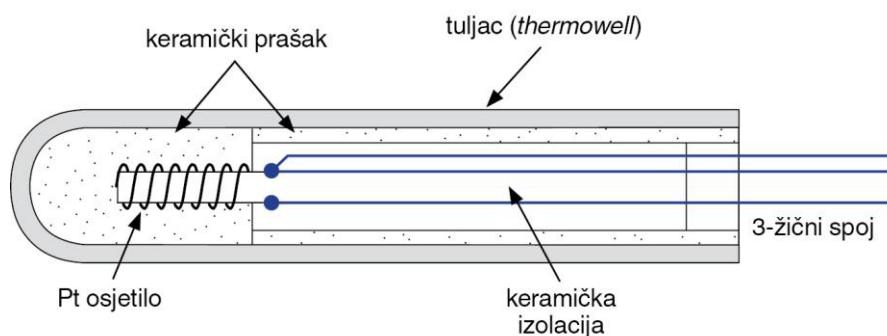


**Slika 3** Izvedbe termopara: Neuzemljeni i izloženi spoj

Za mjerenje nije dovoljno samo spojiti voltmetar jer bi tim spajanjem nastalo još jedno, neželjeno spojište termopara. Potrebno je provesti kompenzaciju referentnog (hladnog) spojišta (engl. *cold junction compensation*). To se obično ostvaruje primjenom tzv. dvožičnog (engl. *two-wire transmitter*) ili četverožičnog pretvornika<sup>1</sup>.

## 2.2 Otpornička osjetila temperature

Električni otpor metala mijenja se s promjenom temperature. *Otpornička osjetila temperature* (engl. *resistance temperature detector – RTD*) mjere temperaturu mjereći promjenu otpora. Većina otporničkih osjetila temperature izrađena je od komadića tanke žice koja je namotana oko keramičke staklene jezgre ili je nanosena kao tanki film na pločici. U većini slučajeva otpor raste s temperaturom pa se kaže da osjetilo ima pozitivni temperaturni koeficijent. Najčešće se susrećemo s *platinskim otporničkim osjetilom* temperature **Pt-100**, koji ima temperaturni koeficijent  $\alpha_{\text{Pt-100}} = 0,0039 \text{ } \Omega/\text{ }^\circ\text{C}$  i otpor  $100 \text{ } \Omega$  pri  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Osjetilo je, obično, smješteno unutar sonde kao što je prikazano na slici 4. Otpornička osjetila se spajaju u Wheatstoneov mjerni most pri čemu se formira strujni ili naponski signal proporcionalan promjeni temperature.



Slika 4 Presjek sonde otporničkog osjetila temperature

Karakteristika otporničkog osjetila temperature prikazana je na slici 5. Na užem temperaturnom rasponu svodi se na linearnu ovisnost:

$$R_T = R_0 [1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \dots + \alpha_n T^n + \dots] \cong R_0 [1 + \alpha_1 T]$$

pri čemu su:

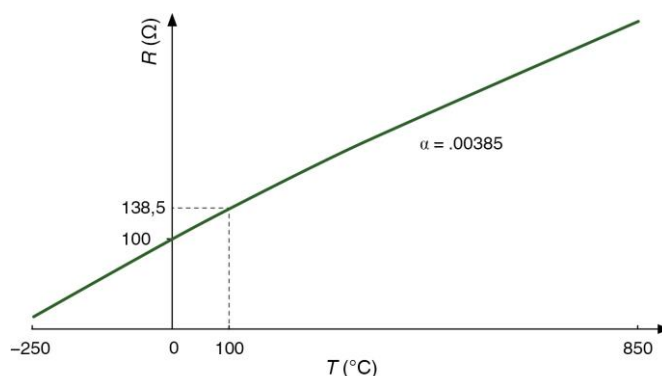
$R_T$  – otpor pri mjerenoj temperaturi [ $\Omega$ ]

$R_0$  – otpor pri referentnoj temperaturi (obično temperatura ledišta vode) [ $\Omega$ ]

$T$  – mjerena temperatura [K,  $^\circ\text{C}$ ]

$\alpha_i$  – temperaturni koeficijenti električnog otpora [ $\Omega \text{ K}^{-1}$ ]

Priključne žice unose dodatni otpor u mjernu granu mosta –  $R_{\text{ž}}$ . Što je udaljenost veća pogreška zbog promjene temperature okoline raste. Pogreška se u praksi uklanja dodavanjem treće i četvrte žice mosni mjerni spoj<sup>1</sup>.



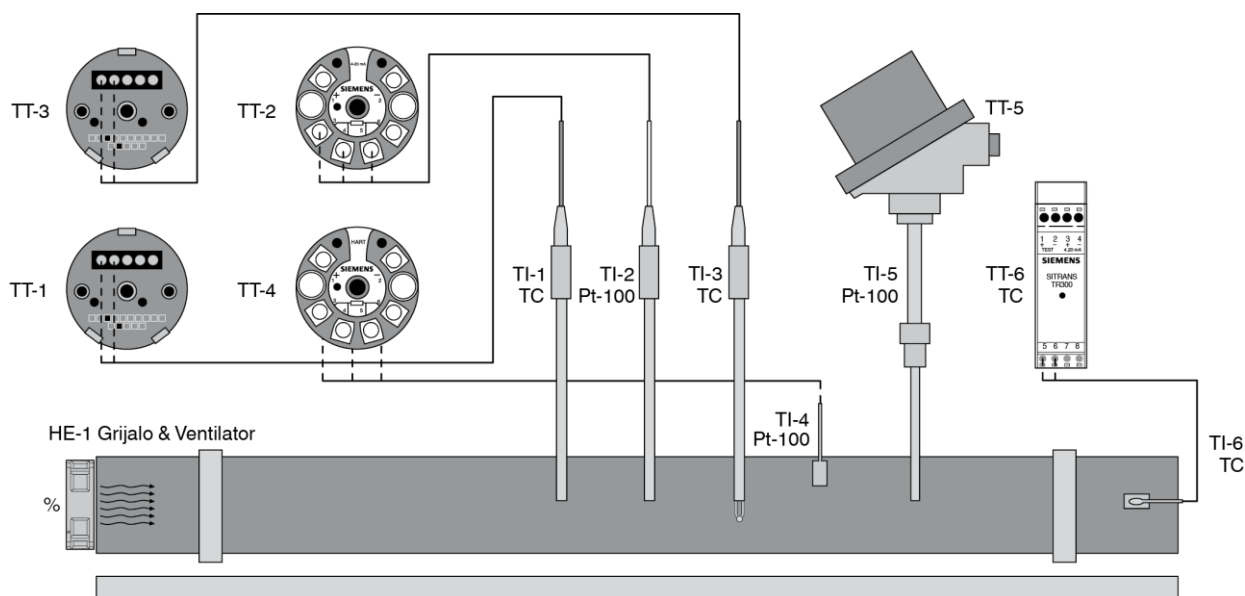
Slika 5 Karakteristika otporničkog osjetila temperature Pt-100

## OPIS VJEŽBE

Vježba obuhvaća pokuse s prethodno opisanim mjernim pretvornicima. Temperatura se mjeri u zračnom tunelu prikazanom na slici 6. Zrak se dobavlja i zagrijava protočnim električnim grijalom postavljenim na ulazu u cijev. Mjeri se temperatura zraka koji struji, a podešava se snaga električkog grijala,  $P$ , i protok zraka,  $q$ .

Na raspolaganju su termoparovi i otpornička osjetila Pt-100. Termoparovi su izvedeni u obliku sondi s izloženim spojem i s izoliranim spojem, kao i osjetilom temperature koje mjeri temperaturu površine. Izrađeni su od legura *Chromela* (90% Ni i 10% Cr) i *Alumela* (95% Ni, 2% Mn, 2% Al i 1% Si). Taj se termopar naziva **K tip**. Otpornička osjetila Pt-100 smještena su unutar dviju sondi. Jedna je manjih dimenzija, a druga je tipična industrijska sonda. Također postoji i minijaturna sonda.

Prati se dinamički odziv mjernog signala temperature pri čemu se razmatra i utjecaj izvedbe mjernih osjetila i spojeva na dinamički odziv, odnosno na brzinu odziva pojedinog osjetila.



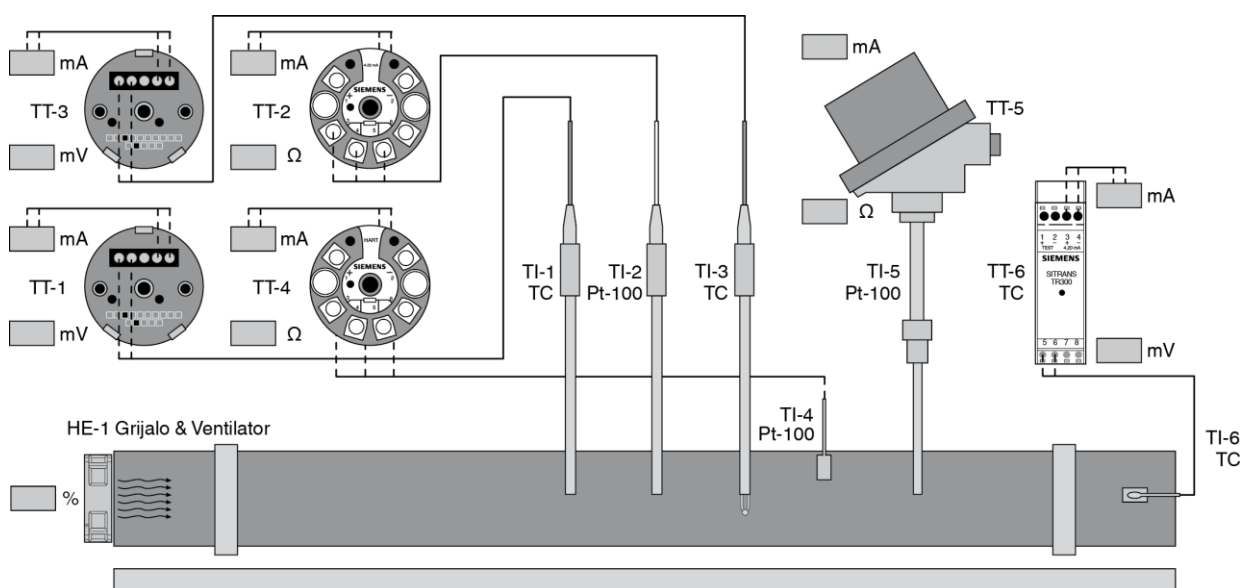
Slika 6. Prikaz procesa, mjernih osjetila i pretvornika

## POKUSI

- Na početku vježbe upoznajte se s eksperimentalnom postavom, uočite grijalo s ventilatorom, pojedine senzore, mjerne pretvornike i grafičko sučelje.
- Na računalu pokrenite eksperiment i započnite rad prema uputama asistenta ili demonstratora. Izvedite odgovarajuću promjenu snage grijala i pratite prijelazni odziv, odnosno dinamičko vladanje pretvornika na dijagramu  $T$  vs.  $t$ . Pričekajte dok se temperatura približno ne ustali na novoj višoj vrijednosti.
- Nakon toga isključite grijalo i pratite tijekom hlađenja. Pričekajte dok se temperatura približno ne ustali na temperaturi okoline.
- Pohranite datoteku s mjernim podacima.
- Iz grafičkih prikaza odredite dinamičke karakteristike (vremenska konstanta, mrtvo vrijeme) odziva pojedinih mjernih pretvornika na promjenu snage grijala.
- Izvedite zaključak o brzini temperaturnog odziva ovisno o izvedbi osjetila.

## OBRADA REZULTATA I IZVJEŠTAJ

Datoteku učitajte u jedan od tabličnih kalkulatora (npr. *Excel* ili *Matlab*). Mjerne rezultate prikazite grafički te iz grafičkih prikaza procijenite vremenske konstante i mrtva vremena dvaju termopara,  $\tau_p$  i dvaju otporničkih osjetila temperature  $\tau_{Pt-100}$  pri grijanju i hlađenju.



Slika 7. Računalno sučelje

## LITERATURA

1. N. Bolf, *Mjerenje temperature. Analiza dinamike procesa*. Predavanja iz kolegija *Mjerenja i vođenje procesa*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 2021.
2. J. Božičević, *Temelji automatike 2*, Školska knjiga, Zagreb 1992.
3. <https://www.ti.com/lit/an/sbaa274/sbaa274.pdf?ts=1616328539251>
4. <https://www.ti.com/lit/an/sbaa275/sbaa275.pdf?ts=1616266627612>

## Vježba T-10: MJERENJE TEMPERATURE REZULTATI

### POKUSI

- a) Na početku vježbe upoznajte se s eksperimentalnim postavom, uočite grijalo s ventilatorom, pojedine senzore, mjerne pretvornike i grafičko sučelje.
- b) Na računalu pokrenite eksperiment i započnite rad prema uputama asistenta ili demonstratora. Izvedite odgovarajuću promjenu snage grijala i pratite prijelazni odziv, odnosno dinamičko vladanje pretvornika na dijagramu  $T$  vs.  $t$ . Pričekajte dok se temperatura približno ne ustali na novoj višoj vrijednosti.
- c) Nakon toga isključite grijalo i pratite tijekom hlađenja. Pričekajte dok se temperatura približno ne ustali na temperaturi okoline.
- d) Pohranite datoteku s mjernim podacima.

### OBRADA REZULTATA

- a) Iz grafičkih prikaza odredite dinamičke karakteristike (vremenska konstanta, mrtvo vrijeme) odziva pojedinih mjernih pretvornika na promjenu snage grijala.
- b) Izvedite zaključak o brzini temperaturnog odziva ovisno o izvedbi osjetila.