

# Ugradnja štapnog mjernog člana razine tekućine

---

Klaić, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:082995>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-23**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU FAKULTET  
ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**Ugradnja štapnog mjernog člana razine tekućine**

**Završni rad**

**Vedran Klaić**

**Osijek, 2021. Godine**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 12.10.2021.

Ime i prezime studenta:

Vedran Klaić

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

Mat. br. studenta, godina upisa:

2762, 04.11.2013.

Turnitin podudaranje [%]:

17

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Ugradnja štapnog mjernog člana razine tekućine**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Dražen Slišković

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.  
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 22.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit  
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Vedran Klaić
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	2762, 04.11.2013.
OIB studenta:	29178136002
Mentor:	Prof.dr.sc. Dražen Slišković
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv.prof.dr.sc. Ratko Grbić
Član Povjerenstva 1:	Prof.dr.sc. Dražen Slišković
Član Povjerenstva 2:	Izv. prof. dr. sc. Emmanuel-Karlo Nyarko
Naslov završnog rada:	Ugradnja štapnog mjernog člana razine tekućine
Znanstvena grana rada:	<b>Automatika (zn. polje temeljne tehničke znanosti)</b>

Zadatak završnog rada	Na laboratorijskom postrojenju za transport i uskladištenje tekućine potrebno je zamijeniti postojeći neispravni kapacitivni mjerni član tekućine. Na raspolaganju je novi mjerni član, ali od drugog proizvođača i nepoznatih karakteristika. Potrebno je proučiti raspoloživi mjerni član razine te ga staviti u rad. Nakon toga potrebno je snimiti njegovu statičku i dinamičku karakteristiku. Za postavljanje u rad mjernog člana te za snimanje njegovih karakteristika potrebno je koristiti raspoloživu opremu u Laboratoriju za procesnu automatizaciju i robotiku.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	22.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis: Datum:

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	4
2. MJERENJE RAZINE TEKUĆINE.....	5
2.1. Karakteristike mjernih pretvornika razine.....	5
2.2. Statička karakteristika.....	6
2.3. Dinamička karakteristika.....	7
2.4. Kapacitivno mjerenje razine.....	8
2.5. Mjerenje razine magnetostrikcijom.....	9
3. MJERNI ČLAN TEMPOSONICS RH.....	11
3.1. Načelo rada i konstrukcija sustava.....	11
3.2. Modularna mehanička i elektronička konstrukcija.....	12
3.3. Analogni mjerni sustav.....	12
3.4. Mjerni opseg i magneti.....	13
3.5. Povezivost.....	14
3.6. Kalibracija.....	16
4. SNIMANJE KARAKTERISTIKA MJERNOG ČLANA I ANALIZA MJERNIH REZULTATA.....	20
4.1. Metodologija snimanja karakteristika mjernog člana.....	20
4.2. Snimanje parametara statičke radne karakteristike.....	21
4.3. Snimanje parametara dinamičke radne karakteristike.....	22
4.4. Statička radna karakteristika.....	24
4.5. Dinamička radna karakteristika.....	25
5. ZAKLJUČAK.....	27
LITERATURA.....	28
PRILOG 1 – FOTOGRAFIJE POSTROJENJA ZA USKLADIŠTENJE TEKUĆINE S MJERNIM ČLANOM.....	31

## 1. UVOD

U laboratoriju za procesnu automatiku fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija uređaj za mjerenje razine je zbog kvara postao neupotrebljiv te ga je bilo potrebno zamjeniti mjernim članom sličnih karakteristika. Ovaj mjerni član je štapnog oblika pa je važno da zamjenski mjerni član bude takvog ili vrlo sličnog oblika kako bi se mogao montirati u postrojenju. U laboratoriju je na raspolaganju bio mjerni član Temposonics RH.

Mjerni član nije imao nikakvu dokumentaciju osim osnovnih oznaka. Iz pronađene dokumentacije na internetu izdvojene su tehničke karakteristike koje su poslužile kao osnova za osposobljavanje i integraciju te naknadno prilagođavanje ukoliko bude potrebe. Nabavljeni su potrebni dijelovi i tehnička oprema nakon čega se pristupilo mjerenju karakteristika.

Rad se sastoji od 5 poglavlja. U drugom poglavlju je opisan problem mjerenja razine tekućine te metode i principi mjerenja. Treće poglavlje sadrži tehničke karakteristike mjernog člana. Četvrto poglavlje prikazuje metodologije snimanja karakteristika, mjerne rezultate te je iznesena odgovarajuća rasprava oko postignutih rezultata. Kratak osvrt na odrađeni dio i postignute rezultate rada prikazan je u zaključku koji čini peto poglavlje.

## 2. MJERENJE RAZINE TEKUĆINE

Razina se definira kao visina stupca kapljevine u nekom spremniku, reaktoru ili nekoj drugoj procesnoj jedinici. Uobičajena oznaka za razinu je  $h$  i označava se u metrima. Mjerenje razine kapljevina u spremnicima i posudama služi u osnovi kao mjera njihova volumena i mase te je sastavni dio procesne kontrole i može se koristiti u mnogim industrijskim granama [7].

### 2.1. Karakteristike mjernih pretvornika razine

Mjerenje karakterizira mjerno područje i mjerni opseg, dinamika (brzina odziva), točnost, preciznost i osjetljivost.

Značajke mjernih pretvornika se mogu podijeliti na:

- ulazne,
- izlazne,
- i prijenosne.

Ulazne značajke su definirane veličinom koja se mjeri, mjernim područjem i mjernim rasponom koji predstavlja razliku između najveće i najmanje vrijednosti koja se mjeri.

Izlazne značajke definirane su vrstom mjernog signala (tipično strujni, naponski, pneumatski, analogni/ digitalni), područjem mjernog signala (npr. 4 – 20 mA, 1 – 5 V, 20 – 100 kPa) i još nekim karakteristikama bitnim za prijenos signala (kao što su ulazni i izlazni otpor, mjerni šum, brzina uzorkovanja itd.).

Najvažnije su prijenosne značajke. One karakteriziraju kvalitetu pretvorbe veličine koja se mjeri u mjerni signal. U njih spada:

- statička karakteristika,
- dinamička karakteristika [1].

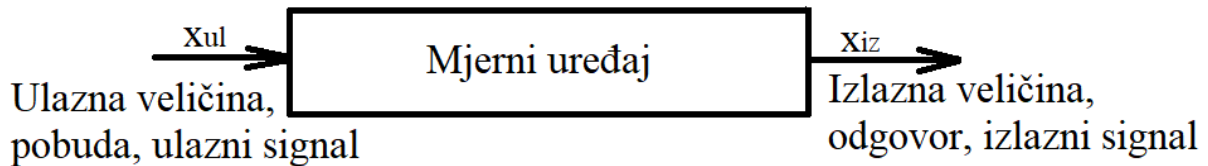
## 2.2. Statička karakteristika

Statička prijenosna svojstva (svojstva u stanju ravnoteže) određuju točnost mjernog uređaja i izražavaju se:

- karakteristikom mjernog uređaja  $x_{iz} = f(x_{ul})$ ,
- osjetljivošću mjernog uređaja  $s$ .

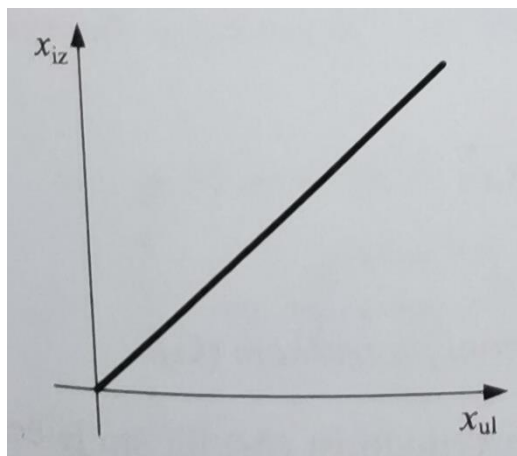
Točnost mjernog uređaja definira se kao najveće dozvoljeno, deklarirano i ujedno garantirano odstupanje od izmjerene vrijednosti uvjetovano izabranim mjernim postupkom i nesavršenošću tehničke izvedbe.

Kod svakog mjernog uređaja razlikuje se ulazna veličina ili pobuda  $x_{ul}$  i izlazna veličina ili odgovor  $x_{iz}$  (slika 2.1.).



**Slika 2.1.** Mjerni uređaj kao prijenosni član.

Karakteristika mjernog uređaja  $x_{iz} = f(x_{ul})$  normalno je linearna i polazi iz ishodišta koordinatnog sustava (slika 2.2.). Teorijska karakteristika mjernog uređaja naziva se idealnom. Stvarna ili realna statička karakteristika pojedinačnog mjernog uređaja dobiva se umjeravanjem i naziva se njegovom krivuljom umjeravanja [10].



**Slika 2.2.** Linearna karakteristika mjernog uređaja.



### 2.3. Dinamička karakteristika

Dinamička karakteristika je vremenski odziv izlazne veličine na neku od standardnih pobuda. Najčešće se kao standardna pobuda koristi skokovita, tzv. step funkcija, a odziv na step funkciju u kontekstu mjernih članova često se naziva i prijelazna karakteristika. Kako u prirodi, tako i u sustavima automatske regulacije, svaka promjena količine ili oblika energije ne može se dogoditi trenutno.

Za bilo kakvu promjenu energije treba proći neko vrijeme, što je posljedica postojanja spremnika energije ili nakupljanja materije u sustavu. Na temelju snimljene prijelazne funkcije mogu se odrediti parametri prijenosne funkcije sustava (parametarskog matematičkog modela sustava). Parametri prijenosne funkcije promatranog sustava (mjernog člana) su vremenske konstante i pojačanje.

Dinamika članova regulacijskog kruga, pa i industrijskih procesa, mogu se aproksimirati prijenosnom funkcijom s čistim aperiodskim vladanjem, tj. njihovo vladanje može se dobro opisati pomoću  $PT_1T_t$ -člana. Prijenosna funkcija  $PT_1T_t$ -člana glasi [5]:

$$G(s) = K \cdot \frac{1}{1 + sT_1} \cdot e^{-sT_t}, \quad (2-1)$$

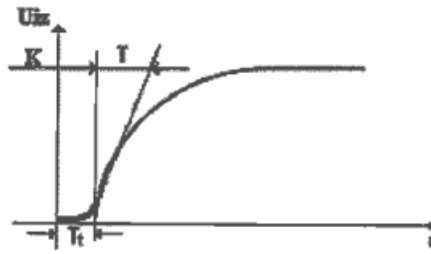
gdje je:

$K$  – pojačanje,

$T_1$  – vremenska konstanta,

$T_t$  – transportno vrijeme kašnjenja.

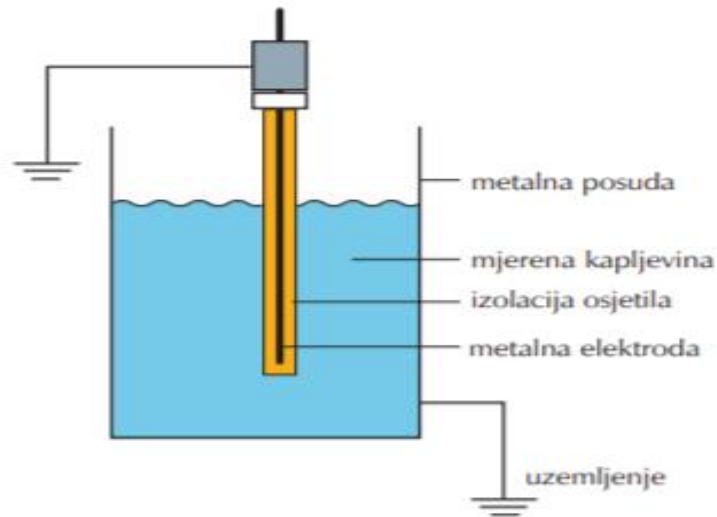
Odziv člana  $PT_1T_t$ - vladanjem na step pobudu prikazan je na slici 2.3.



**Slika 2.3.** Odziv člana s PT1Tt – vladanjem na step pobudu i određivanje vremenske konstante.

## 2.7. Kapacitivno mjerenje razine

U postrojenju je bio instaliran štapni mjerač razine koji je radio na kapacitivnom načelu. Kapacitivno mjerenje razine temelji se na razlici relativnih dielektričnosti motrene kapljevine i zraka ili plina iznad te kapljevine. Pri mjerenju se u posudu s kapljevinom stavlja jedna ili slog dviju elektroda tako da one tvore kondenzator, odnosno kapacitivno osjetilo razine. Dielektrik tog osjetila jednim je dijelom kapljevina, a drugim dijelom zrak ili plin. Njihov odnos ovisi o razini, stoga i kapacitet tako dizajniranog osjetila ovisi o razini. Stavi li se osjetilo u prikladan mjerni spoj, tvorit će kapacitivni pretvornik, slika (2.4.). Sonda ugrađena u spremnik s kapljevinom osjeća promjenu razine, a te promjene se elektronički pretvaraju u kapacitet i vrijednost otpora, pa se dalje procesiraju i pretvaraju u analogni signal. Sonda i stijenka posude čine dvije ploče kondenzatora, s kapljevinom koja ima ulogu dielektrika. Ako stjenka spremnika nije vodljiva, uzimaju se dvije sonde ili se rabi vodljiva vrpca.



Slika 2.4. Kapacitivno mjerenje razine.

U praksi se obično primjenjuje osjetilo s pločama ili koncentričnim elektrodama. Kapacitet kondenzatora s usporednim pločama jest:

$$C_p = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d} , \quad (2-4)$$

pri čemu su  $\epsilon_r$  relativna dielektričnost, a  $\epsilon_0$  dielektričnost vakuuma ( $8,8542 \cdot 10^{-12}$  As/Vm), a  $d$  udaljenost između elektroda [2].

## 2.8. Mjerenje razine magnetostrikcijom

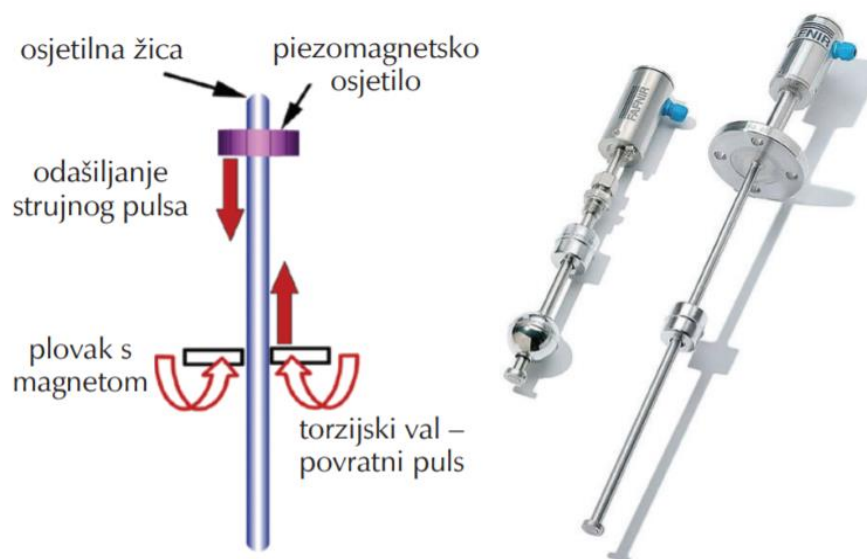
Prednosti korištenja magneta koji sadrži plovak za određivanje razine tekućine već su utvrđene, a magnetostrikcija je provjerena tehnologija za vrlo precizno očitavanje lokacije plovka. Umjesto mehaničkih veza, magnetostrikcijski odašiljači koriste brzinu torzijskog vala duž žice kako bi pronašli plovak i izvijestili o njegovom položaju (slika 2.5.).

U magnetostrikcijskom sustavu plovak nosi niz trajnih magneta. Žica senzora je spojena na piezokeramičko osjetilo na odašiljaču, a s druge strane je pričvršćena na suprotni kraj cijevi osjetnika.

Cijev ili prolazi kroz rupu u središtu plovka ili je u blizini plovka izvan nemagnetske komore s plovkom.

Da bi locirao plovak, odašiljač šalje kratki strujni impuls niz senzorsku žicu, postavljajući magnetsko polje po cijeloj dužini. Istodobno, vremenski krug se aktivira. Polje odmah stupa u interakciju s poljem koje stvaraju magneti u plovku. Cjelokupni učinak je da tijekom kratkog vremena struja teče, u žici se stvara torzijska sila, slično kao ultrazvučna vibracija ili val. Ova sila putuje natrag do piezokeramičkog senzora karakterističnom brzinom.

Kad sensor detektira torzijski val, on proizvodi električni signal koji obavještava vremenski krug da je val stigao i zaustavlja vremenski krug. Vremenski krug mjeri vremenski interval (TOF) između početka trenutnog impulsa i dolaska vala. [9].



**Slika 2.5.** Načelo djelovanja magnetostruktivnih pretvornika razine.

### 3. MJERNI ČLAN TEMPOSONICS RH

Senzori položaja Temposonics® koriste se za mjerenje i pretvorbu varijable dužine (položaja) u poljima automatiziranih sustava i strojarstvu.

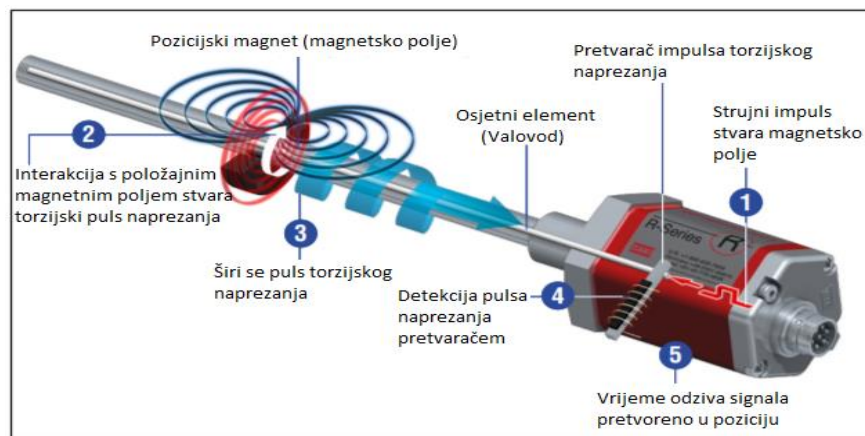
#### 3.1. Načelo rada i konstrukcija sustava

Apsolutni, linearni senzori položaja koje pružaju MTS senzori oslanjaju se na vlastitu Temposonics® magnetostruktivnu tehnologiju tvrtke koja može odrediti položaj s visokom razinom preciznosti i robusnosti.

Svaki senzor položaja Temposonics® sastoji se od feromagnetskog valovoda, položajnog magneta, pretvarača impulsa naprezanja i prateće elektronike. Magnet, povezan s objektom u kretanju u aplikaciji, stvara magnetsko polje na svom mjestu na valovodu.

Koristi se kratki strujni impuls na valovod. To stvara trenutno radijalno magnetsko polje i torzijsko naprezanje na valovodu. Trenutačna interakcija magnetskog polja oslobađa torzijski puls naprezanja koji širi duljinu valovoda.

Kad ultrazvučni val dosegne kraj valovoda pretvara se u električni signal. Budući da je brzina ultrazvučnog vala u valovodu točno poznata, vrijeme potrebno za primanje povratnog signala može se pretvoriti u linearno mjerenje položaja s velikom točnošću i ponovljivošću (slika 3.1.) [4].



Slika 3.1. Vremenski baziran magnetostruktivni princip osjetljivosti položaja.

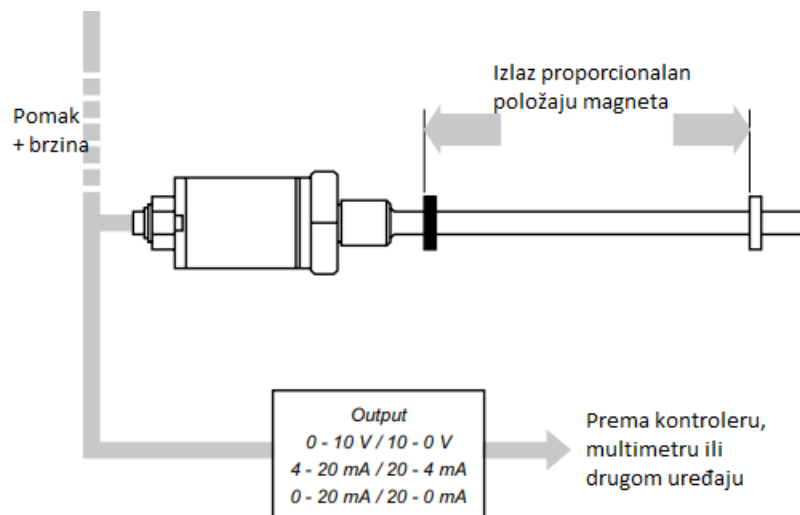
### 3.2. Modularna mehanička i elektronička konstrukcija

Temposonics RH sastoji se od slijedećih mehaničkih i elektroničkih dijelova:

- Šipka ili profil senzora štite unutarnji element senzora.
- Kućište elektronike senzora, robusna aluminijska konstrukcija, sadrži kompletno elektroničko sučelje s aktivnim signalom uvjetovanosti. Dvostruka zaštita osigurava visoku sigurnost rada i optimalnu elektromagnetsku kompatibilnost.
- Vanjski položajni magnet je trajni magnet. Montiran na pokretni stroj, putuje duž senzorske šipke ili profila i pokreće mjerenje kroz zid štapa senzora.
- Senzor se može izravno povezati s upravljačkim sustavom. Njegova elektronika generira strogi položaj – proporcionalni izlaz signala između početnog i krajnjeg položaja [4].

### 3.3. Analogni mjerni sustav

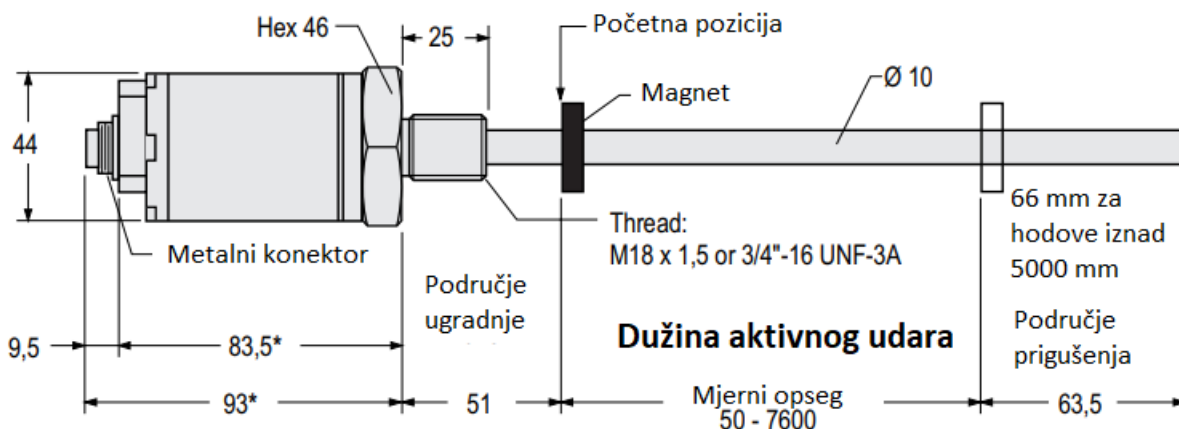
Vrijednosti mjerenja su apsolutne i dostupne bez pogrešaka odmah bez referentnog mjerenja čak i nakon ponovnog pokretanja uređaja. Mjerenje položaja je beskontaktno preko pozicijskog magneta koji ne treba biti pod naponom. Funkcija senzora bez habanja kombinira visoku sigurnost u radu i duži vijeka trajanja (slika 3.2.) [4].



Slika 3.2. Analogni mjerni sustav.

### 3.4. Mjerni opseg i magneti

Kod senzora opisanog u ovim uputama za uporabu, područja lijevo i desno od duljine hoda neaktivna su (područje ugradnje, prigušivanje) i ne smiju se koristiti za mjerenje. Ipak, duljina hoda može se pretjerati (slika 3.3.) [4].

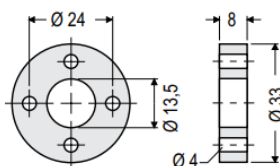


Slika 3.3. Temposonics RP/ Mjerni opseg: 50-7600mm.

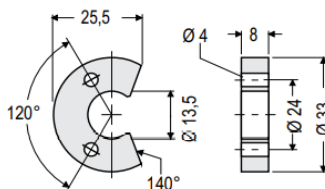
Izvedbe magneti koji se mogu koristiti (slika 3.4.):

- Prstenasti magnet sa otvorima za ugradnju (standardni),
- Otvoreni magnet ili takozvani plutajući,
- Prstenasti magnet bez otvora za ugradnju.

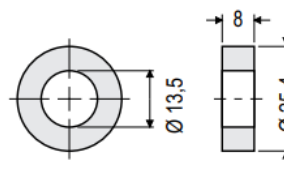
Prstenasti magnet br **201 542** (Standard)



Otvoreni magnet br **251 416**



Prstenasti magnet br **400 533**

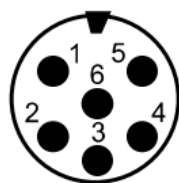
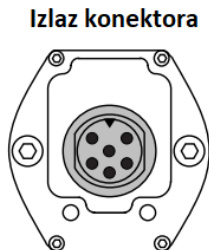


Slika 3.4. Izvedbe magneti mjernog člana Temposonics RH.

### 3.5. Povezivost

Za siguran pristup korištenju Temposonics RH postoje uvjeti koje je potrebno ispuniti. Najbitniji od njih su:

- Prilikom ugradnje pretvarača neophodno je ispravno spojiti pinove (slika 3.6.).
- Prije uključivanja provjeriti je li senzor povezan ispravno redom kako bi se spriječilo pregaranje elektronike senzora vršnim naponom ili neispravno spojenim rasporedom pinova.
- Ovisno o verziji senzor mora biti spojen putem 6-pinskog konektora ili integriranog kabela (slika 3.5.) [4].



Prednja strana  
umetka  
ili stražnji dio (oznaka  
za lemljenje) kabela  
ženski umetak  
konektora

**Slika 3.5.** 6 pinski muški konektor, metalni.

**Slika 3.6.** raspored pinova konektora.

Postoje tri načina mjerenja:

- Mjerenje pozicije (s jednim magnetom),
- Mjerenje pozicije (s dva magneta),
- Mjerenje brzine (s jednim magnetom).

Za svaki od načina dodjeljen je određeni raspored spajanja pinova (tablica 3.1.).



**Tablica 3.1.** Raspored pinova ovisno o načinu mjerenja.

<b>Pin</b>	<b>Cable</b>	<b>Function</b>
1	gray	<b>Output No. 1: Position</b>
		0 - 10 V / 10 - 0 V
		4 - 20 mA / 20 - 4 mA
		0 - 20 mA / 20 - 0 mA
2	pink	DC Ground / Return
3	yellow	<b>Output No. 2: Position or Velocity</b>
		0 - 10 V / 10 - 0 V
		4 - 20 mA / 20 - 4 mA
		0 - 20 mA / 20 - 0 mA
4	green	DC Ground / Return
5	brown	+24 Vdc (-15%/+20%)
6	white	DC Ground (0 V)

Izlazne vrijednosti mogu biti:

- U obliku napona 0-10V,
- U obliku struje 0-20mA,
- U obliku struje 4-20mA.

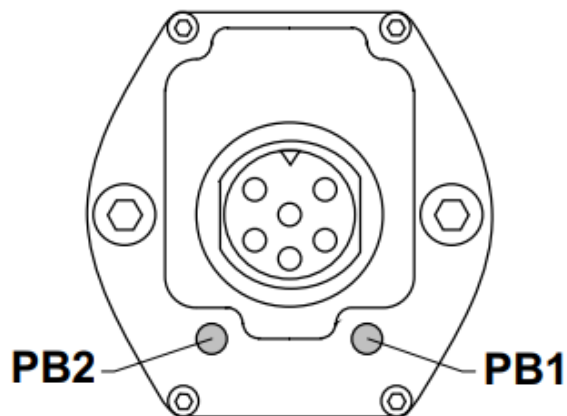
Izvor napajanja je +24V DC za sve senzore ove skupine.

Senzor će se tvornički prilagoditi prema specifikacijama narudžbe i isporučiti sa:

- Jednim strujnim izlazom,
- Jednim naponskim izlazom,
- Dva strujna izlaza,
- Dva naponska izlaza.

### 3.6. Kalibracija

Svi MTS senzori dolaze prethodno kalibrirani. Međutim, ukoliko je u sustavu potrebno promjeniti postavke početne pozicije ili raspona, to je moguće učiniti putem dva tipkala koji se nalaze ispod vijaka koje je potrebno prethodno odvrnuti (slika 3.7.).



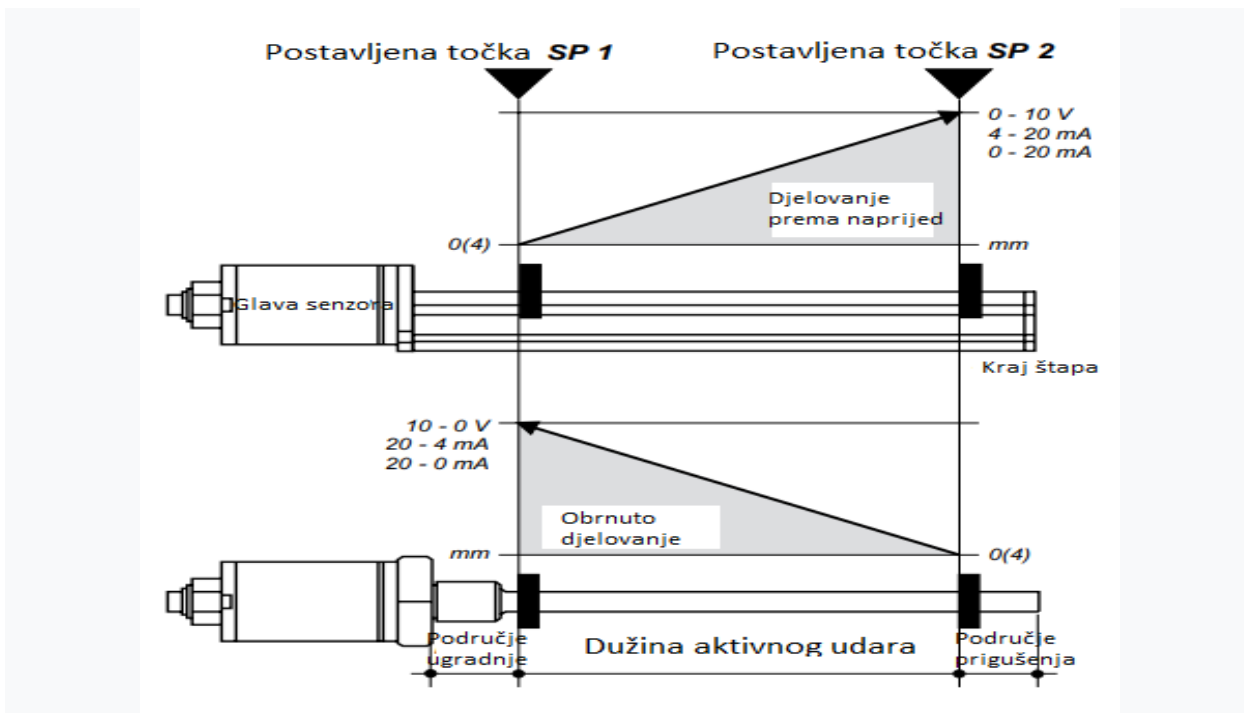
**Slika 3.7.** Tipkala za kalibraciju senzora.

Neovisno o smjeru mjerenja, mjesto postavljenih točaka je uvijek:

SP1 na glavi senzora,

SP2 na kraju šipke.

Pri programiranju senzora, pobrinuti se da su zadane vrijednosti unutar aktivne duljine hoda senzora (slika 3.8.).



**Slika 3.8.** Raspon mjerenja mjernog pretvornika.

Senzor podržava tri dostupna načina rada. Određene vrijednosti izlaza povezanog multimetra potvrđuju postavku željenog načina rada.

Način rada 1: Izlaz položaja (jednostruki magnet) Zaslon: približno 5,5 V ili 11,0 mA,

Način rada 2: Izlaz položaja 1 + 2 (dvostruki magnet) Zaslon: približno 3,0 V ili 6,8 mA,

Način rada 3: Položaj + izlaz brzine (jedan magnet) Zaslon: oko 8,0 V or 15,5 mA.

Način rada 1: Mjerenje pomaka (jedan magnet) Smjer mjerenja: Djelovanje naprijed (tablica 3.2.).

Izlaz: 0-10V /4-20mA / 0-20mA.

**Tablica 3.2.** Mjerenje pomaka - djelovanje naprijed.

	<b>Action</b>	<b>Display Output</b> • Connector Pin: 1 and 2 • Cable Color: gray and pink	<b>Note</b>
	1) Remove screws to access push-buttons PB1 and PB2		
	2) Connect a multimeter (V/A) across <b>Output 1</b> (see page 6)		
	3) Turn the power ON		<b>Attention!</b> Switch on sensor approx. 5 minutes before programming.
<b>Operation Mode Selection</b> Display: 5.5 V / 11.0 mA	4) Move the magnet to desired set point <b>SP2</b> (towards rod end)		<b>Important!</b> Do not move the magnet anymore.
	5) Press and release <b>PB1</b>	jumps to appx. <b>5.5 V (11.0 mA)</b>	Shows displacement measurement »forward acting« mode is selected.
	6) Press and release <b>PB2</b>	jumps to appx. <b>10.5 V (20.0 mA)</b>	
	7) Press and release <b>PB2</b>	remains at appx. <b>10.5 V (20.0 mA)</b>	Confirms selected operating mode.
<b>Setpoint SP2 Adjustment</b>	8) Press <b>PB1</b> (increase) or <b>PB2</b> (decrease) for setting	<b>10.000 V (20.000 mA)</b> or the desired <b>Output Value</b>	Velocity of setting values increase after approx. 10 seconds.
	9) Move the magnet to desired set point <b>SP1</b> (towards sensor head) <b>Alternative:</b> Press <b>PB1 + PB2</b> together	jumps to appx. <b>1.000 V (2.000 mA)</b>	<b>Attention!</b> <b>Needs a minimum magnet speed of approx. 3.5 mm/sec.</b>
<b>Setpoint SP1 Adjustment</b>	10) Press <b>PB1</b> (increase) or <b>PB2</b> (decrease) for setting	<b>0.050 V, 4.000 mA, 0.050 mA</b> or the desired <b>Output Value</b>	Velocity of displayed values increase after approx. 10 seconds.
	11) Move the magnet towards <b>SP2</b> (rod end) <b>Alternative:</b> Press <b>PB1 + PB2</b> together	<b>10.000 V (20.000 mA)</b> or adjusted <b>Output Value</b>	<b>Attention!</b> <b>Needs a minimum magnet speed of appx. 3.5 mm/sec.</b>  Moving the magnet automatically exits programming and puts the sensor in operating mode.
<b>Checkup</b>	12) Move the magnet towards <b>SP1</b> (sensor head)	<b>0.050 V, 4.000 mA, 0.050 mA</b> or adjusted <b>Output Value</b>	
	13) Place the magnet at the <b>middle</b> of the measuring range	<b>5.025 V, 12.000 mA</b> or <b>10.025 mA</b>	Valid only for standard adjustment.
	14) Move the magnet inside the <b>active stroke</b>		Output values must be displayed continuously.
<b>Programming of »forward acting« is complete</b>			
	15) Screw in the protective screws with Loctite 243		

Način rada 1: Mjerenje pomaka (jedan magnet) Smjer mjerenja: Obrnuto djelovanje (tablica 3.3.).

Izlaz: 0-10V /4-20mA / 0-20mA.

**Tablica 3.3.** Mjerenje pomaka – obrnuto djelovanje.

	<b>Action</b>	<b>Display Output</b> • Connector Pin: 1 and 2 • Cable Color: gray and pink	<b>Note</b>
	1) Remove screws to access push-buttons PB1 and PB2		
	2) Connect a multimeter (V/A) across <b>Output 1</b> (see page 6)		
	3) Turn the power ON		<b>Attention!</b> Switch on sensor approx. 5 minutes before programming.
<b>Operation Mode Selection</b> Display: 5.5 V / 11.0 mA	4) Move the magnet to desired set point <b>SP2</b> (towards rod end)		<b>Important!</b> Do not move the magnet anymore.
	5) Press and release <b>PB1</b>	jumps to appx. <b>5.5 V (11.0 mA)</b>	Shows displacement measurement »revers acting« mode is selected.
	6) Press and release <b>PB2</b>	jumps to appx. <b>10.5 V (20.0 mA)</b>	
	7) Press and release <b>PB1</b>	jumps to appx. <b>0.5 V (1.5 mA)</b>	
	8) Press and release <b>PB2</b>	remains at appx. <b>0.5 V (1.5 mA)</b>	Confirms selected operating mode
<b>Setpoint SP2 Adjustment</b>	9) Press <b>PB1</b> (decrease) or <b>PB2</b> (increase) for setting	<b>0.050 V, 4.000 mA, 0.050 mA</b> or the desired <b>Output Value</b>	Velocity of setting values increase after approx. 10 seconds
	10) Move the magnet to desired set point <b>SP1</b> (towards sensor head)  <b>Alternative:</b> Press <b>PB1 + PB2</b> together	jumps to appx. <b>10.0 V (20.0 mA)</b>	<b>Attention! Needs a minimum magnet speed of approx. 3.5 mm/sec.</b>
<b>Setpoint SP1 Adjustment</b>	11) Press <b>PB1</b> (decrease) or <b>PB2</b> (increase) for setting	<b>10.000 V (4.000 mA)</b> or the desired <b>Output Value</b>	Velocity of displayed values increase after approx. 10 seconds.
	12) Move the magnet towards <b>SP2</b> (rod end)  <b>Alternative:</b> Press <b>PB1 + PB2</b> together	<b>0.050 V, 4.000 mA, 0.050 mA</b> or adjusted <b>Output Value</b>	<b>Attention! Needs a minimum magnet speed of appx. 3.5 mm/sec.</b> Moving the magnet automatically exits programming and puts the sensor in operating mode.
<b>Checkup</b>	13) Move the magnet towards <b>SP1</b> (sensor head)	<b>10.000 V (20.000 mA)</b> or adjusted <b>Output Value</b>	
	14) Place the magnet at the <b>middle</b> of the measuring range	<b>5.025 V, 12.000 mA</b> or <b>10.025 mA</b>	Valid only for standard adjustment.
	15) Move the magnet inside the <b>active stroke</b>		Output values must be displayed continuously.
<b>Programming of »reverse acting« is complete</b>			
	16) Screw in the protective screws with Loctite 243		

Načine rada 2 i 3 nije moguće ručno programirati te je potrebno naknadno slanje kod proizvođača [4].

## **4. SNIMANJE KARAKTERISTIKA MJERNOG ČLANA I ANALIZA MJERNIH REZULTATA**

Da bi se utvrdile karakteristike mjernog člana potrebno je provesti mjerenja i analizu. Analiza mjernih rezultata prikazuje detaljne informacije o specifikacijama i ponašanju mjernog člana u sustavu. Razmatraju se statička i dinamička radna točka.

### **4.1. Metodologija snimanja karakteristika mjernog člana**

Početni korak pri snimanju karakteristika sastojao se od utvrđivanja i nabave potrebne opreme koja se sastoji od:

- Izvora napajanja (Focus DC Power supply model HY3005D-2),
- Multimetra (UNI-T UT60C),
- Mjernog senzora (MTS Temposonics RH sa pripadajućim magnetom),
- Osciloskopa (RIGOL DS1054Z),
- DIN 6 pinskog konektora (ženski) proizvođača HIRSCHMANN,
- USB Stick,
- Metra,
- Komada stiropora.

RIGOL DS1054Z specifikacije:

- Analogna propusnost 50 MHz,
- Ukupno 4 analogna kanala,
- Maksimalna brzina snimanja valnog oblika do 30 000 wfms/s,
- Stopa uzorkovanja u stvarnom vremenu: -1 GSa/s (jednokanalni),  
-500 MSa/s (dvokanalni),  
-250 MSa/s (četverokanalni),
- Najviša rezolucija: 12bit,

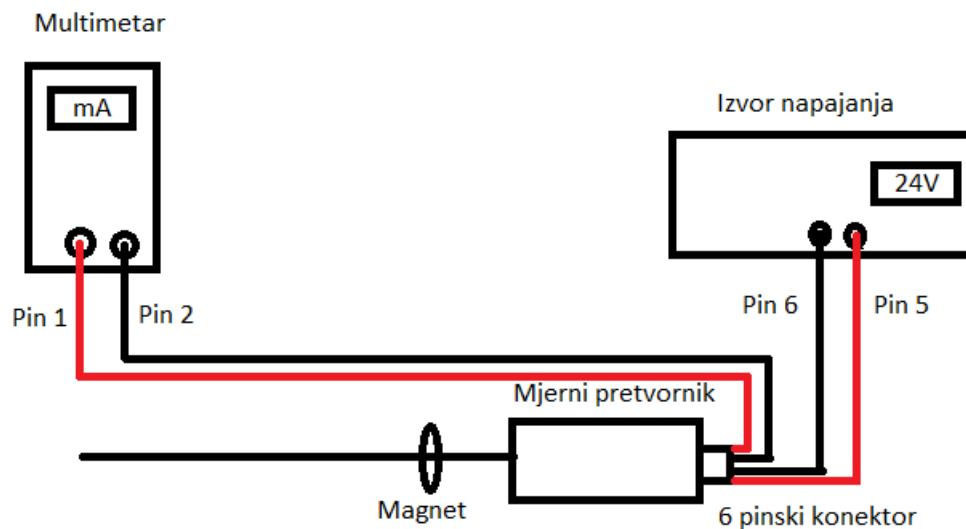
- Snimanje valnog oblika u stvarnom vremenu, funkcija ponavljanja i analize: Do 60 000 slika,
- Skala vremenske baze: Horizontalno 5 ns/podjeljak do 50 s/podjeljak,
- Vertikalna skala: 1 mV/podjeljak do 10 V/podjeljak [6].

Na konektor su nalemljene žice slijedećim rasporedom:

- Pin 1 za Output 4-20mA,
- Pin 2 za DC Ground/ Return,
- Pin 5 za +24V DC,
- Pin 6 za DC Ground (0V).

## 4.2. Snimanje parametara statičke radne karakteristike

Na štapa je određeno 19 mjernih točaka s međusobnim razmakom 2.5cm unutar aktivnog dijela štapa te su spojeni uređaji kao što je prikazano na slici 4.1.



**Slika 4.1.** Shema mjernog spoja za snimanje statičke karakteristike.

Izvor napajanja je podešen na 24V DC.

Pomicanjem magneta na svaku točku dobivena je izlazna vrijednost struje na multimetru (slika 4.2.).



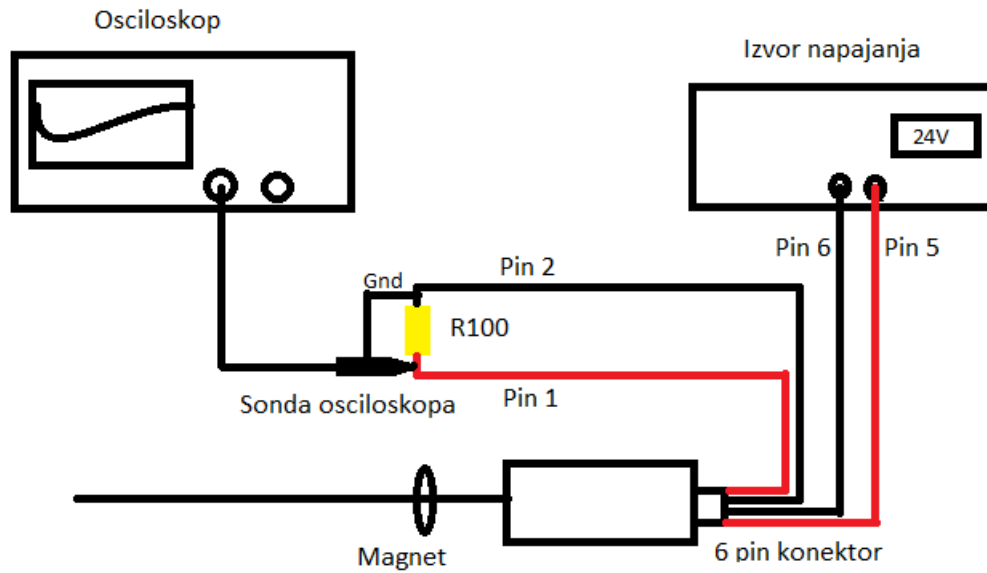
Slika 4.2. Mjerenje izlazne vrijednosti struje pomicanjem magnetnog prstena.

### 4.3. Snimanje parametara dinamičke radne karakteristike

Umjesto multimetra, korišten je osciloskop kako bi prikazao step funkciju. S obzirom da je izlazna veličina mjernog pretvornika u mA, u paralelu je dodan otpornik  $100\Omega$  kako bi se dobila naponska izlazna veličina te prilagodilo osciloskopu što je prikazano na slici 4.3.

Početna ideja je bila ugradnja otpornika  $1k\Omega$  no ustanovljeno je da mjerni pretvornik ima ograničenu izlaznu vrijednost na 15V te je korišten otpornik od  $100\Omega$  kako bi izlazna veličina bila u odgovarajućem rasponu.



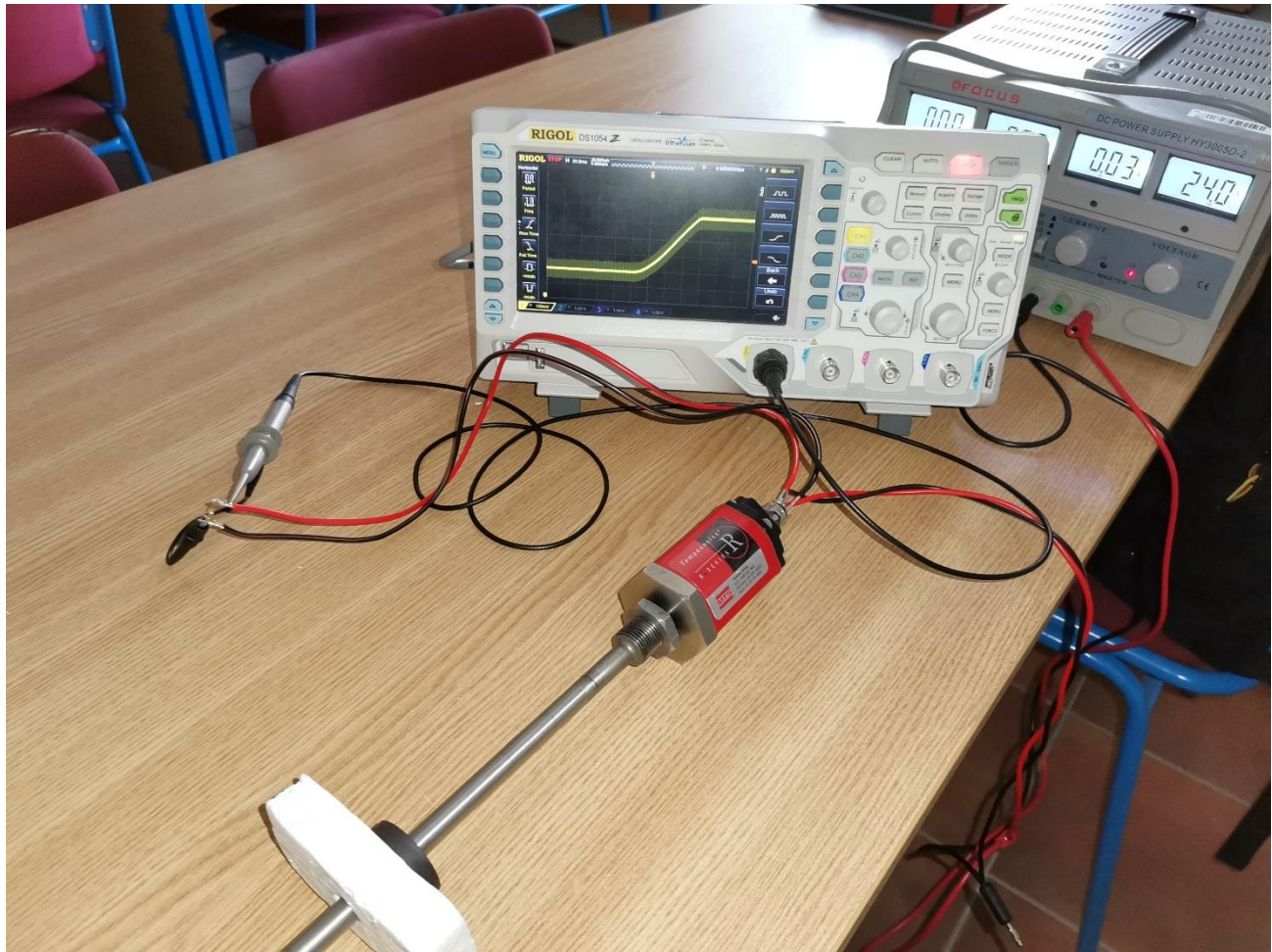


**Slika 4.3.** Shema mjernog spoja za snimanje dinamičke karakteristike.

Za snimanje dinamičke karakteristike određena su tri područja po 10 cm aktivnog dijela štapa s postavljenim stiroporom kao graničnikom. Pri mjerenju se pojavio šum koji je djelomično atenuiran uplitanjem vodiča te odmicanjem jedne od druge skupine istih.

Magnet je pomican unutar područja 10cm što je bilo moguće većom brzinom kako bi se dobila step pobuda prikazana na osciloskopu (slika 4.4.). Prikazana krivulja je potom snimana na USB stick.

S obzirom da je za sva tri područja krivulja identična, u analizi će biti predstavljena samo jedna.

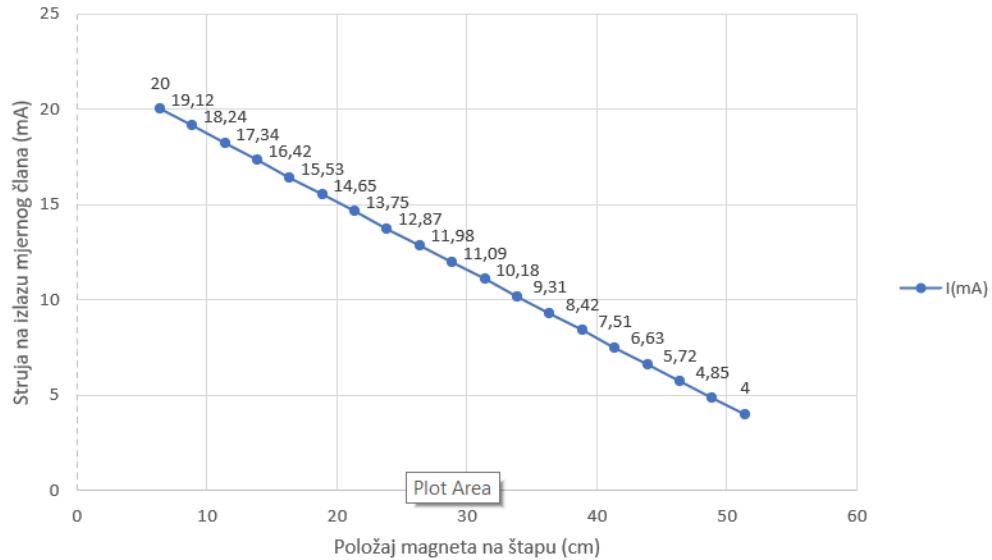


Slika 4.4. Mjerni postav.

#### 4.4. Statička radna karakteristika

Pri mjerenju na mjernom članu promatra se ovisnost promjene izlazne struje o položaju magneta na štapu. Izmjereno je 19 točaka kako bi rezultat bio vjerniji.

Izmjerene vrijednosti obrađene su u Microsoft Excelu. Slika 4.5. prikazuje statičku karakteristiku mjernog člana gdje se uočava dobro poklapanje izmjerenih vrijednosti s linearnom karakteristikom što znači da je linearizacija statičke karakteristike provedena u mjernom pretvorniku koji je sastavni dio mjernog člana (elektronički sklop). Minimalno odstupanje je posljedica pogreške pri mjerenju. Radi se o pomacima magneta od 1mm pri pozicioniranju na štapu.

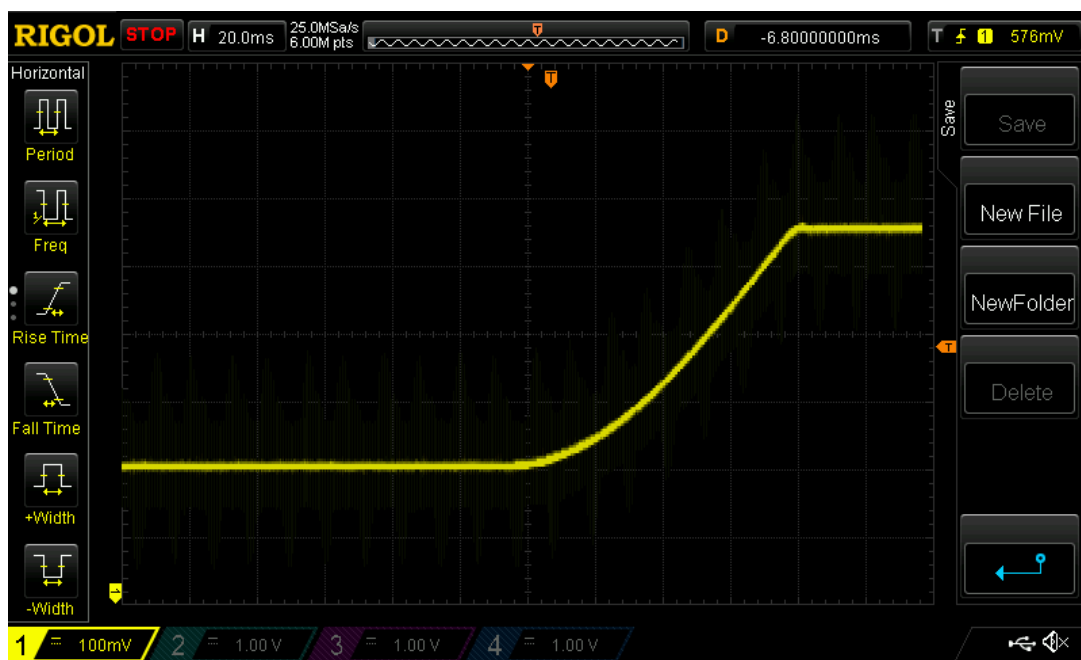


Slika 4.5. Grafički prikaz konstrukcije statičke karakteristike na temelju mjerenih vrijednosti.

#### 4.5. Dinamička radna karakteristika

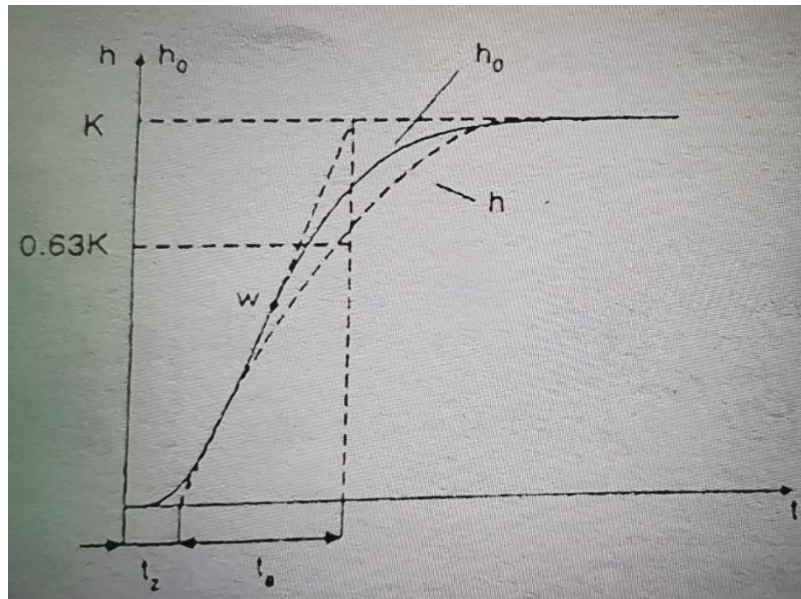
Dinamičko vladanje mjernog člana aproksimira se  $PT1Tt$  vladanjem. Potrebno je odrediti parametre  $K$ ,  $T$  i  $Tt$  kako bi se dinamičko vladanje prikazalo prijenosnom funkcijom (2-1) [5].

Za određivanje parametara prijenosne funkcije uzeta je najbolje snimljena karakteristika (slika 4.6.).



Slika 4.6. Snimljena karakteristika mjernog člana.

Na apscisi je prikazano proteklo vrijeme mjerenja, a na ordinati vrijednost amplitude izlazne veličine. Iz snimljene karakteristike određeni su parametri prijenosne funkcije pomoću Küpfmüllerove metode (slika 4.7.). Za brzinu odziva određeno je vrijeme  $T=50\text{ms}$ , dok je za transportno vrijeme određeno  $T_t=30\text{ms}$ .



**Slika 4.7.** Metoda prema Küpfmülleru [8].

Pojačanje prema izrazu (2-1) iznosi:

$$K = \frac{\Delta U_{izl}}{\Delta U_{ul}} = 0,035,$$

gdje je  $\Delta U_{izl}$ -promjena izlazne veličine,  $\Delta U_{ul}$ -promjena ulazne veličine.

Snimljeni odziv se bitno razlikuje od odziva člana s PT1 vladanjem iz razloga što se nije uspjelo dati step pobudu pri mjerenju jer mjerni član ima vrlo kratku vremensku konstantu. Međutim, za mjerenje razine tekućine to u pravilu nije problem jer proces uskladištenja tekućine je najčešće vrlo spor pa se pri korištenju ovakog mjernog člana za mjerenje razine tekućine dinamika mjernog člana može zanemariti i smatrati ga da ima čisto P vladanje (izlazni signal mjernog člana trenutno prati promjene razine tekućine).

## 5. ZAKLJUČAK

Nedostatkom ispravnog mjernog člana razine tekućine u laboratorijskom postrojenju pojavila se potreba za pronalaskom i osposobljavanjem istog. Iz prikupljenih podataka o mjernom članu dobivena je šira slika samog uređaja. Uređaj je provjeren i osposobljen. Prema metodologiji snimanja statičke i dinamičke karakteristike su provedena mjerenja. Riješeni su problemi pri samom mjerenju kao što su ograničena izlazna vrijednost napona mjernog člana te šumovi pri snimanju step pobude. U analizi su obrađena svojstva mjernog člana koji se pokazao kao vrlo kvalitetan uređaj linearne karakteristike te brzog odziva.

Proces pripreme ispitivanja mjernog člana zahtjeva više vremena od očekivanog jer je za određeni dio specifikacija bilo potrebno kontaktirati proizvođača. Nedostajali su magnetni prsteni neophodni za rad samog uređaja. Isti su naručivani od najbližeg distributera izvan RH., te je izgubljeno vrijeme utjecalo na cjelokupnu izvedbu rada. Zbog navedenih razloga mjerni član nije ugrađen u postrojenje kako bi se provjerila njegova funkcionalnost.

U postrojenju je potrebno izraditi postolje koje će se postaviti na spremnik sa tekućinom visine 10cm na kojem bi se fiksirao mjerni član. Stiropor koji će služiti za uzgon magnetnog prstena treba prilagoditi veličinom, oblikom te promjerom štapa kako bi mogao ravnomjerno i nesmetano kliziti. Treba provjeriti izvor napajanja te spojiti na odgovarajući 24V DC. Postoji mogućnost za dodatnom kalibracijom nakon ugradnje kako bi sve odgovaralo zadanim parametrima postrojenja.

## LITERATURA

- [1]. Internet stranica Silverskripte, Karakteristike i specifikacije mjernih osjetila i pretvornika, <http://silverstripe.fkit.hr/kui/assets/Uploads/Mjerna-370-373.pdf> , 15. svibnja 2021.
- [2]. Internet stranica portala hrvatskih znanstvenih i stručnih časopisa, Mjerenje razine, 1. dio, <https://hrcak.srce.hr/file/372571> , 22. svibnja 2021.
- [3]. Internet stranica portala hrvatskih znanstvenih i stručnih časopisa, Mjerenje razine, 2. Dio, <https://hrcak.srce.hr/file/376150> , 24. svibnja 2021.
- [4]. Datasheet Temposonics RH mjernog člana proslijeđeno direktno od proizvođača, <https://www.temposonics.com/> , 13. travnja 2021.
- [5]. Goran Kurtović „Rekonstrukcija laboratorijskog postrojenja za uskladištenje tekućine“, Osijek, 2006.
- [6]. Internet stranica distributera Rigol osciloskopa, <https://www.rigol-uk.co.uk/product/rigol-ds1054z-50mhz-digital-oscilloscope/> , 27. travnja 2021.
- [7]. Robert Boni „Mjerenje razine u procesnoj industriji“, 2017.
- [8]. Perić, Nedjeljko, Petrović, Ivan. „Automatsko upravljanje, Predavanja, Zavod za automatiku i procesno računarstvo, Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb, 1998.“
- [9]. Internet stranica, <https://new.abb.com/products/measurement-products/level/a-dozen-ways-to-measure-fluid-level> , 25. srpnja 2021.
- [10]. Kuzmanović, Branislav, „Osnove elektrotehnike 2“, Element, Zagreb 2011.

**Sažetak:**

Mjerni članovi razine tekućine posjeduju karakteristike koje definiraju njihova svojstva. Ako te karakteristike nisu poznate, potrebno je provesti eksperiment i mjerenja na temelju kojih će se doći do tih karakteristika. Najbitnije su: Statička karakteristika i dinamička karakteristika. Opisana su načela mjerenja razine štapnih mjernih članovima koji rade na principu kapaciteta i magnetostrikcije. U laboratoriju je bio raspoloživi mjerni član Temposonics RH za koji nije bilo dokumentacije, te su stoga provedena mjerenja kojima su se utvrdile njegove karakteristike. Rezultati su ukazali da ovaj mjerni član može zamjeniti neispravni.

**Ključne riječi:**

Mjerenje razine tekućine, statička karakteristika, dinamička karakteristika, kapacitivni mjerni član, magnetostriksijski mjerni član, Temposonics RH.

## **A rod type liquid level sensor installation**

### **Abstract:**

Liquid level measuring members possess characteristics that define their properties. If these characteristics are not known, it is necessary to conduct an experiment and measurements on the basis of which these characteristics will be obtained. The most important are: Static characteristic and dynamic characteristic. The principles of measuring the level of rod measuring members that work on the principle of capacity and magnetostriction are described. A measuring member of Temposonics RH was available in the laboratory for which there was no documentation, and therefore measurements were carried out to determine its characteristics. The results indicated that this measuring term could replace the defective one.

### **Keywords:**

Liquid level measurement, static characteristic, dynamic characteristic, capacitive measuring member, magnetostrictive measuring member, Temposonics RH.



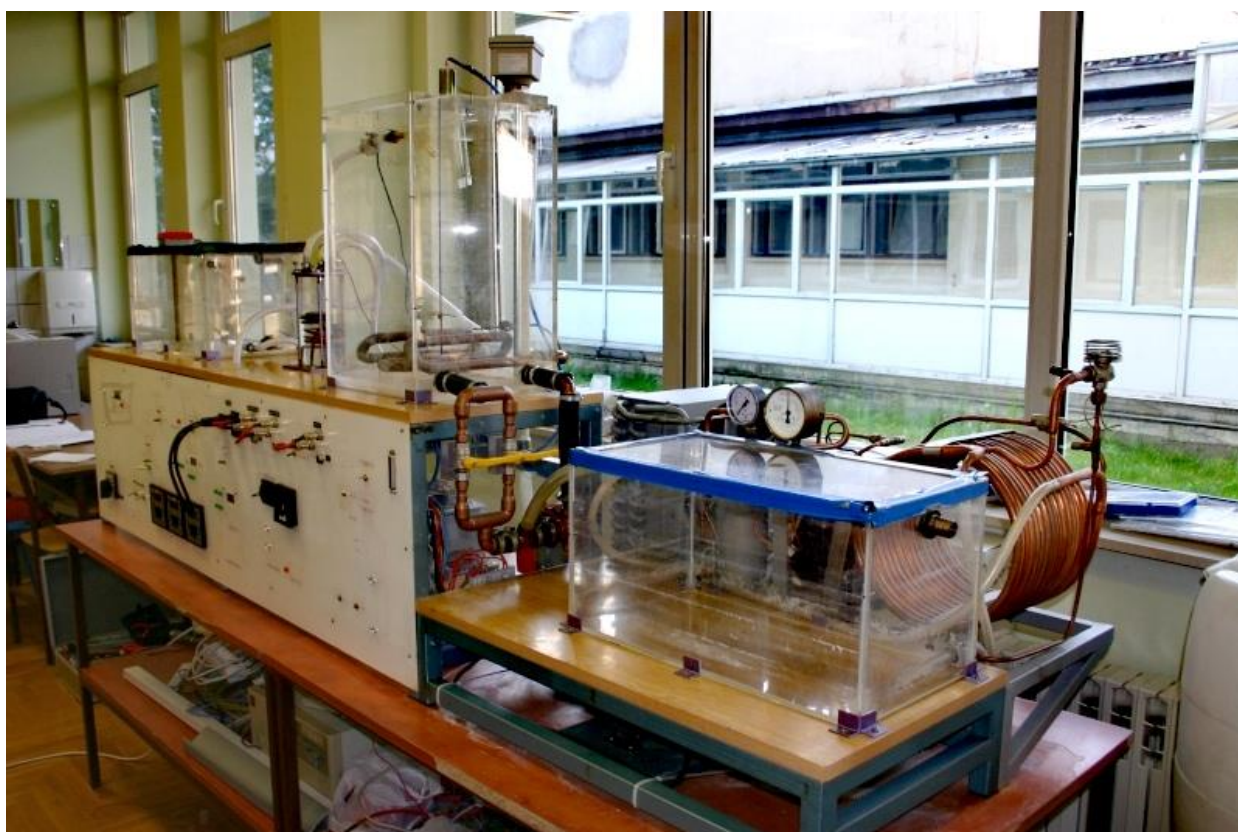
## PRILOG 1- FOTOGRAFIJE POSTROJENJA ZA USKLADIŠTENJE TEKUĆINE S MJERNIM ČLANOM



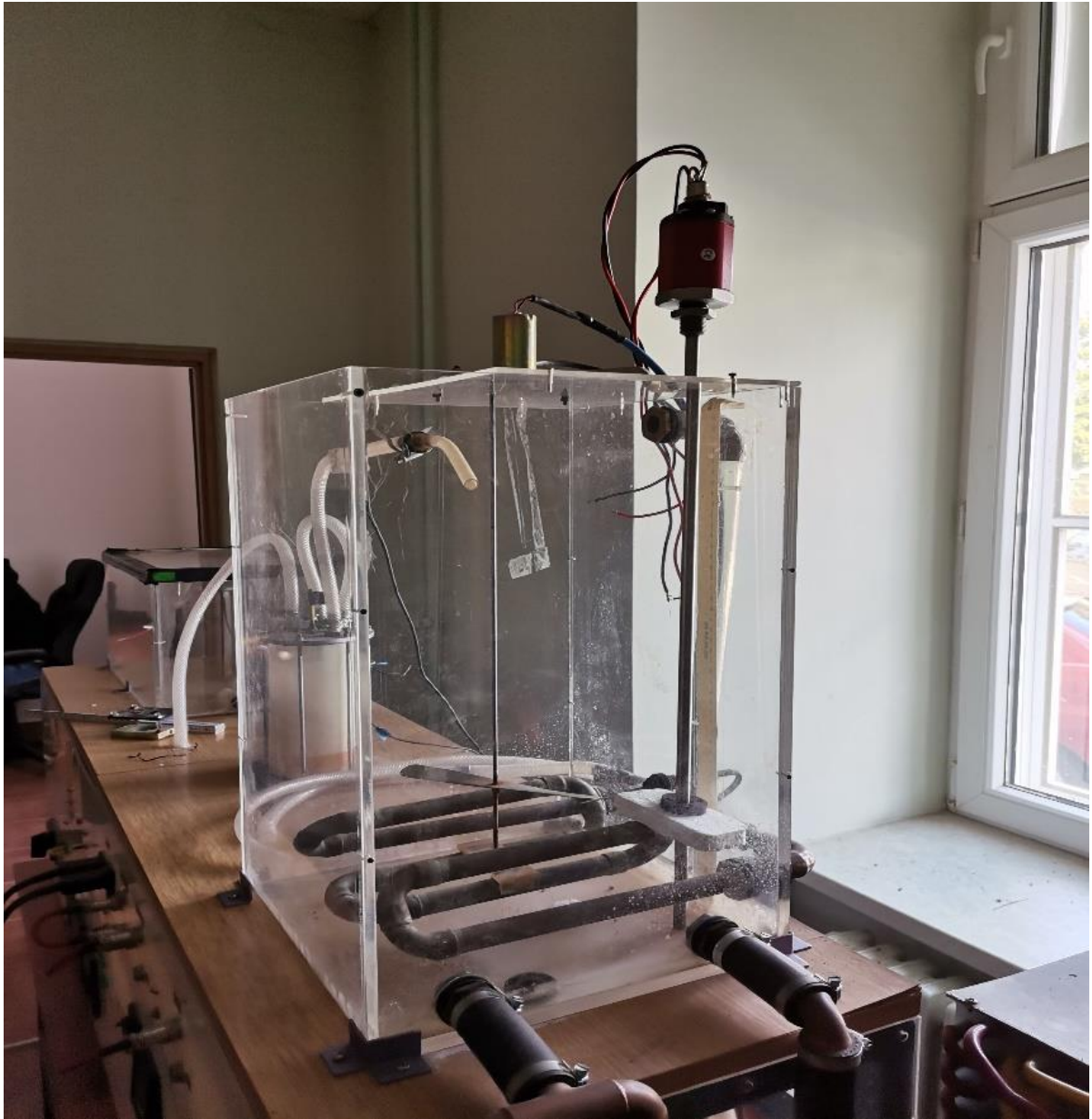
**Slika P. 1.1.** Spremnik za uskladištenje tekućine sa neispravnim mjernim članom.



Slika P. 1.2. Unutrašnjost kućišta neispravnog mjernog člana.



Slika P. 1.3. Postrojenje za uskladištenje tekućine sa neispravnim mjernim članom razine.



**Slika P. 1.4.** Spremnik za uskladištenje tekućine sa novim mjernim članom.