



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

**RAZVOJ IN IZDELAVA TESTNE PROGE ZA
TESTIRANJE PRETOČNOSTI VENTILOV
ZA DALJINSKO OGREVANJE**

Mentor: mag. Viktor Jemec
Mentor v podjetju: dr. Egon Susič
Lektorica: Ana Peklenik, prof. slov.

Kandidat: Matej Petek

Ljubljana, junij 2018

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Viktorju Jemcu za pravilno usmeritev tekom pisanja diplomske naloge.

Hvala mentorju v podjetju dr. Egonu Susiču in ostalim sodelavcem iz podjetja Danfoss Trata d.o.o. za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Ani Peklenik, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Zahvaljujem se moji družini, ki me je podpirala in mi omogočila študij.

IZJAVA

»Študent Matej Petek izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Viktorja Jemca.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomska naloga opisuje nadgradnjo in izdelavo testne proge za funkcijsko merjenje pretočnosti ventilov za daljinsko ogrevanje. Funkcijsko testiranje izdelkov je zelo pomembno za razvoj izdelkov. Na področju daljinskega ogrevanja je veliko število izdelkov, kar pomeni zelo veliko število funkcijskih meritev.

V prvem delu naloge smo si pogledali možnosti merjenja v razvojnem laboratoriju ter povzeli teoretične osnove o merjenju pretočnosti ventilov za daljinsko ogrevanje.

Osrednji del naloge opisuje potek nagrajne testne proge po smernicah standarda za merjenje pretočnosti kontrolnih ventilov in opis delovanja testne proge ter vgrajenih merilnikov na progi. Opravili smo tudi funkcijske meritve na kontrolnem ventilu DN50.

V sklepnem delu smo primerjali staro in novo testno progo ter preverili povečano zmogljivost merjenja.

KLJUČNE BESEDE

Merjenje pretoka, daljinsko ogrevanje, kontrolni ventil

ABSTRACT

The thesis discusses upgrade and production of test bench, for functional measurement of the flow rate an valves for district heating. Functional testing is very important for product development. In the district heating, there is a large number of products, which means a very large number of functional measurements.

In the first part of the thesis, we looked at the measurement capabilities in the development laboratory and reviewed the theoretical bases for measuring the flow rate of the district heating valves.

The central part of the thesis describe upgrading test bench according to the guidelines for the standard of measuring the flow of control valves. Description of an operation of the test bech and the built-in gauges on the line. We also performed functional measurements on the control DN50 valve.

In the concluding part, we made a comparison between the old and the new test bench, and checked the increased measurement capacity.

KEYWORDS

Flow measurement, district heating, control valve

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Opredelitev problema in teoretična izhodišča	1
1.2	Cilji in namen naloge	1
1.3	Predstavitev podjetja	3
1.4	Metode dela	4
1.5	Uporabne ideje iz Industrije 4	4
2	SPLOŠNO O MERJENJU PRETOKA	7
2.1	Osnovni pojmi	7
2.2	Merilni pogoji	9
2.3	Pretočnost	10
2.4	Tlačni padec	11
2.5	Karakteristika pretoka	12
2.5.1	Linearna karakteristika pretoka	12
2.5.2	Logaritemska (enakoprocentna) karakteristika	13
3	PREDSTAVITEV PROGE ZA TESTIRANJE VENTILOV	14
3.1	Izdelava testne proge	14
3.1.1	Varilni postopki in vrste zvarov	15
3.1.2	Cevovodi in merilne cevi na testni progi	18
3.1.3	Črpalke na testni progi	20
3.2	Hidravlična vezava črpalk	23
3.2.1	Vzporedna vezava črpalk	23
3.2.2	Zaporedna vezava črpalk	24
3.3	Tehnični opis proge	25
3.3.1	Izbira merilnikov pretoka	25
3.3.2	Izbira črpalk	26
3.3.3	Lokacija HMI	26
3.3.4	Glavne regulacijske funkcije	27
3.3.5	Varnostne funkcije	27
3.3.6	Časovne funkcije	27
3.4	Krmilna elektro omara	27
3.5	Tlačni preizkus testne proge	30
4	MERILNE NAPRAVE NA TESTNI PROGI	33
4.1	Merilnik pretoka	33
4.2	Merilnik tlaka	35
4.3	Merilnik sile in pomika	37
4.4	Temperaturni merilnik	39
4.5	LAB terminal BOX	40
5	PRIPRAVA TESTNE PROGE IN TESTIRANJE	41
5.1	Priprava vzorca in testne proge	41
5.2	Postopek testiranja	42

5.2.1	Izvedba meritve.....	42
5.2.2	Zaključek meritev	44
5.3	Predstavitev rezultatov	45
6	PRIMERJAVA STARE IN NOVE TESTNE PROGE	48
6.1	Stara testna proga.....	48
6.2	Nova testna proga.....	49
6.3	Primerjava testnih prog	51
7	ZAKLJUČEK	54
	LITERATURA IN VIRI.....	55

KAZALO SLIK

Slika 1:	Organizacijska shema skupine Danfoss	3
Slika 2:	Danfoss Trata Ljubljana.....	3
Slika 3:	Industrijske revolucije	5
Slika 4:	Oddaljen dostop do krmilnika Siemens preko aplikacije SIMATIC	6
Slika 5:	Prerez kontrolnega DN50 ventila	7
Slika 6:	Prikaz testnega objekta in merilnikov na testni progi:.....	9
Slika 7:	Priporočene mere priključka za merjenje tlaka	9
Slika 8:	Tlačna posoda s tablico in opravljenim tlačnim preizkusom	14
Slika 9:	Certifikat varilnega postopka po standardu EN ISO 15614-1	15
Slika 10:	Varilni postopek sočelnega 1/2V zvara po EN ISO 155609-1.....	16
Slika 11:	Varilni postopek sočelnega I zvara po EN ISO 155609-1	16
Slika 12:	Certifikat varilca po ISO 9606-1 141	17
Slika 13:	Prerez cevi.....	18
Slika 14:	Merilne cevi s priključnimi maticami	18
Slika 15:	Zalogovnik in 11 kW črpalka na nosilnem delu testne proge	19
Slika 16:	Montaža merilnikov pretoka na testno progo.....	19
Slika 17:	Izdelava cevnih povezav za vzporedno in zaporedno vezavo črpalk.....	20
Slika 18:	Vgradnja črpalke na testni progi.....	21
Slika 19:	Podatki črpalke iz Grundfos kataloga.....	22
Slika 20:	Shema vzporedne vezava črpalk na testni progi	23
Slika 21:	Vzporedna vezava črpalk na testni progi	23
Slika 22:	Shema zaporedne vezava črpalk na testni progi.....	24
Slika 23:	Zaporedna vezava črpalk na testni progi	24
Slika 24:	Izbira ustreznega merilnika pretoka na krmilniku.....	25
Slika 25:	Izbira črpalk in vrsta krmiljenja	26
Slika 26:	Krmilna elektro omara s testno progo	26
Slika 27:	Sprednja stran krmilne elektro omare	28
Slika 28:	Notranjost krmilne elektro omare	29

Slika 29: Frekvenčni pretvorniki v zvočno izolirani omari	30
Slika 30: Tlačni preizkus testne proge	30
Slika 31: LabVIEW UDSR potek tlačnega testa.....	31
Slika 32: Relativni tlačni senzor z manometrom	31
Slika 33: Prerez elektromagnetnega merilnika pretoka.....	33
Slika 34: Merilniki pretoka.....	34
Slika 35: Prerez diferenčnega merilnika tlaka	35
Slika 36: Vgrajeni tlačni merilniki	36
Slika 37: LAB pogon AMV 55 zmontiran na vzorcu, s krmilnikom	37
Slika 38: Merilna letev DIT 48.63.....	37
Slika 39: Merilna celica Burster In-Line Messverstärker Type:9235.....	38
Slika 40: Merilni pretvornik temperaturnega merilnika ¹¹	39
Slika 41: Temperaturni merilnik	39
Slika 42: LAB terminal box z merilno kartico.....	40
Slika 43: Montaža vzorca in cevi na testno progo	41
Slika 44: Impulzne cevi in merilniki tlaka.....	41
Slika 45: Zagon programa LabVIEW UDSR	42
Slika 46: Nastavitev vhodnih merilnih kanalov – merilnikov	43
Slika 47: Nastavitev osi grafov logiranja	43
Slika 48: Izvajanje meritev.....	44
Slika 49: Vgrajen kontrolni DN50 ventil s pogonom LAB.....	45
Slika 50: Stara testa proga	48
Slika 51: Shema stare testne proge.....	48
Slika 52: Nova testna proga	49
Slika 53: Shema nove testne proge.....	50

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Linearna karakteristika pretoka.....	12
Graf 2: Logaritemska karakteristika pretoka	13
Graf 3: Tlačni preizkus testne proge.....	32
Graf 4: Karakteristiki sile in pretoka pri konstantnem tlaku $dP = 1$ bar	45
Graf 5: Karakteristiki sile in pretoka pri maksimalnem konstantnem tlaku $dP = 3,85$ bar	46
Graf 6: Tlačna rampa 0–3,5–0 bar pri maksimalnem hodu odprtja vzorca	46
Graf 7: Odpiranje in zapiranje kontrolnega ventila DN50 pri 25 bar dP	47
Graf 8: Primerjava testnih prog – karakteristiki vzorca pri maksimalnem doseženem dP	51
Graf 9: Primerjava testnih prog – tlačni rampi pri konstantni maksimalni odprti poziciji vzorca	52
Graf 10: Primerjava testnih prog – tlačni rampi pri zaprtem vzorcu.....	53

KAZALO TABEL

Tabela 1: Zmogljivost testnih prog pred nadgradnjo	2
Tabela 2: Zmogljivost testnih prog po nadgradnji	2
Tabela 3: Premer lukenj merilnih priključkov tlačnih odjemov	10
Tabela 4: Dovoljena odstopanja koncentričnosti priključkov na merilni progi	10
Tabela 5: Dimenzije testnih inox cevi	18
Tabela 6: Podatki črpalk na testni progi	20
Tabela 7: Merilniki pretoka na testni progi	34
Tabela 8: Tlačni merilniki na testni progi	36
Tabela 9: Merilna letev za merjenje pomika	38
Tabela 10: Merilna celica za merjenje sile	38
Tabela 11: Temperaturni merilnik	39
Tabela 12: Primerjava zmogljivosti testnih prog	53

KRATICE IN AKRONIMI

PN:	Pressure Nominal (nominalni tlak)
LTB:	Laboratory terminal box (laboratorijski terminal za merilne naprave)
HMI:	Human Machine Interface (uporabniški vmesnik)
UDSR:	Universal data sampler and recorder (univerzalni program za izvajanje meritev)
NI:	National Instruments (ponudnik merilnih kartic)
dP:	Differential pressure (diferenčni tlak)
PID:	PID controller (proporcionalni integralni diferencialni krmilnik)

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA IN TEORETIČNA IZHODIŠČA

Konkurenčnost na trgu in zagotavljanje potreb kupcev zahtevata stalen razvoj novih izdelkov ter izboljšanje že obstoječih na trgu. V razvojnem laboratoriju podjetja Danfoss Trata d.o.o. je kar nekaj testnih prog, na katerih se funkcijsko testirajo številni vzorci. To je potrebno za razvoj novih ter izboljšanje kvalitete že obstoječih izdelkov in reklamacijske zahtevke prodajanih izdelkov. Ker podjetje ponuja številne izdelke za ekonomične aplikacije daljinskega ogrevanje, je razvojni laboratorij s testi zelo zaseden. Iz tega izhaja potreba po nadgradnji testne proge, na kateri se bo lahko dosegalo večje pretoke in tlake za potrebe funkcijskih testov. Hkrati bomo z nadgradnjo razbremenili ostale proge, ki pokrivajo enake dimenzije vzorcev. Uporabiti je treba obstoječe merilnike pretoka in črpalke in po potrebi servisirati komponente. Nadgradnjo testne proge moramo zaradi čakajočih smeritev opraviti v čim krajšem času. Rok za nadgradnjo je 4 mesece.

1.2 CILJI IN NAMEN NALOGE

V diplomski nalogi bomo razvili in izdelali testno progo za funkcijsko testiranje pretočnosti ventilov do dimenzije DN50, na kateri bomo dosegali višje diferenčne tlake in pretoke kot sedaj. Izdelali bomo progo, na kateri bomo dosegali diferenčne tlake do 25 bar pri zaporedni vezavi črpalk. Dosegali bomo 35000 l/h pretoka pri 3 bar dP (diferenčnega tlaka). Na obstoječi progi dosegamo maksimalno 1,45 bar dP pri 23300 l/h pretoka pri vzporedni vezavi črpalk.

Obstoječo testno progo bomo razstavili in uporabili dve 4 kW črpalke in dva merilnika pretoka. Dodali bomo še tretjo 11 kW črpalko in dva dodatna merilnika pretoka. Celotni sistem bomo upravljali s krmilnikom Siemens, črpalke bodo poganjali frekvenčni pretvorniki Danfoss preko regulacijskega merilnika diferenčnega tlaka Siemens. Pretok bodo merili dva obstoječa merilnika Siemens in dva nova merilnika pretoka Krohne.

Vsi signali senzorjev bodo šli preko krmilnika Siemens na t. i. LAB terminal box (LTB), v katerem je merilna kartica proizvajalca National Instruments. Na merilnem računalniku je naložen program LabVIEW, ki ga uporabljamo za merjenje v laboratoriju. Program bere podatke z merilne kartice in jih procesira na ekran merilnega računalnika.

Izdelati bo treba nove cevovode iz nerjavečega jekla, na katerih bo možno vzporedno in zaporedno vezati črpalke za doseganje višjega tlaka.

Merilni in krmilni del proge bo ločen, zato da se izognemo napakam pri meritvah in odvisnosti različnih operaterjev pri merjenju istih vzorcev oz. ventilov.

Tabela 1 prikazuje zmogljivost testnih prog pred nadgradnjo.

Testna proga	Velikost vzorca in testne cevi [DN]													
	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250
ASV	0–4000 l/h													
MD_1.1		0–24000 l/h												
LAV		0–40000 l/h												
HD		0–630000 l/h												

Tabela 1: Zmogljivost testnih prog pred nadgradnjo
(Lastni vir)

Tabela 2 prikazuje zmogljivost testnih prog po nadgradnji.

Testna proga	Velikost vzorca in testne cevi [DN]													
	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250
ASV	0–4000 l/h													
MD_1.2		0–35000 l/h												
LAV		0–40000 l/h												
HD		0–630000 l/h												

Tabela 2: Zmogljivost testnih prog po nadgradnji
(Lastni vir)

Cilji so:

- zasnovati, razviti in izdelati testno progo za testiranje pretočnosti ventilov do 25 bar diferenčnega tlaka pri zaporedni vezavi črpalk;
- zasnovati, razviti in izdelati testno progo za testiranje pretočnosti ventilov, na kateri bodo dosegali 35000 l/h pretoka pri 3 bar diferenčnega tlaka pri vzporedni vezavi črpalk;
- zagotoviti čim boljše ponovljivost merjenja vzorcev;
- nadgraditi obstoječo testno progo v 4 mesecih.

dP: Differential pressure (diferenčni tlak)

LTB: Laboratory terminal box (laboratorijski terminal za merilne naprave)

1.3 PREDSTAVITEV PODJETJA

Podjetje Danfoss Trata je od leta 1995 del mednarodne skupine Danfoss. V celotni organizaciji, ki ponuja energetske rešitve na področju ogrevanja, hlajenja, hidravličnih pogonov ter sklopov za delovne stroje in krmiljenja elektromotorjev, je več kot 25.000 zaposlenih. Podjetje Danfoss Trata ima v Ljubljani ter Kamniku več kot 450 zaposlenih in je uspešno na področju daljinskega ogrevanja in hlajenja. Glavna dejavnost podjetja je razvoj in proizvodnja elektromehanskih elementov za regulacijo daljinskega ogrevanja in hlajenja.

Laboratorij je za podjetje ključen, saj je za potrebe razvoja in proizvodnje potrebnega veliko testiranja, preden izdelek pride na trg. Testiranja so potrebna, tudi ko je izdelek že na trgu in se pojavijo reklamacije oziroma potreba po izboljšanju kakovosti izdelka.



Slika 1: Organizacijska shema skupine Danfoss
(Lastni vir)



Slika 2: Danfoss Trata Ljubljana
(Lastni vir)

1.4 METODE DELA

Pri izdelavi diplomske naloge bomo uporabili primerjalno metodo.

Za merjenje pretočnosti in karakterizacijo ventilov imamo v laboratoriju že testne proge za testiranje. Glede na obstoječe testne proge in pretekle izkušnje je znano, katere parametre bi lahko poenostavili in izboljšali. Za osnovo bomo vzeli obstoječo progo, ki jo bomo izboljšali in nadgradili do te mere, da bomo povečali kapacitete in poenostavili način merjenja.

Ker želimo da so meritve ponovljive in delane po postopkih, se moramo pri nadgradnji in izdelavi proge držati naslednjih standardov:

- SIST EN 1267 : 2012; Industrijski ventili:
Preskušanje pretočne upornosti z vodo kot preskusnim medijem.
- CEI/IEC 60534-2-1 : 2011; Regulacijski ventili za industrijske procese:
2-1. del: Kapaciteta pretoka – Enačbe za določanje pretoka tekočin pri postavljenih pogojih.

1.5 UPORABNE IDEJE IZ INDUSTRIJE 4

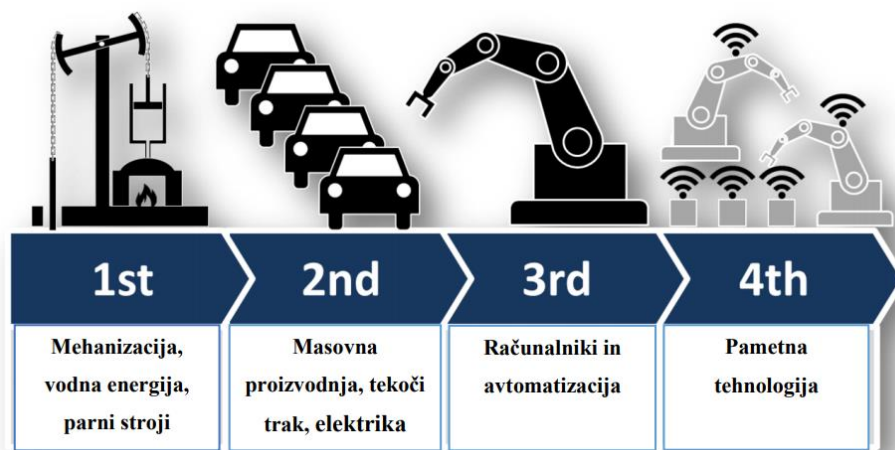
Industrija 4.0 predstavlja četrto industrijsko revolucijo.

Pred prvo revolucijo so vsa dela potekala ročno, z mišicami delavcev. Z letom 1765, ko je James Watt izumil parni stroj, se je začela prva industrijska revolucija. Veliko stvari se je spremenilo, saj so stroji zamenjali človeško delovno silo.

V začetku 20. stoletja z izumom in vpeljavo tekočega traku v proizvodnjo se je začela druga oz. tehnološka revolucija. Leta 1910 je Henry Ford prvi vpeljal trak v industrijo. Pozneje so z revolucijo prišla tudi železniška omrežja, nove tovarne, motor z notranjim izgorevanjem.

Tretja industrijska revolucija, znana kot digitalna revolucija, se je zgodila med letoma 1950 in 1970. Zaznamovala sta jo razvoj informacijske tehnologije in avtomatizacija proizvodnje.

Četrto industrijsko revolucijo oz. Industrijo 4.0 bo zaznamovala pametna tehnologija in njena povezava z industrijo.



Slika 3: Industrijske revolucije
(Vir: Rap, 2018)¹

Industrija 4.0 pomeni napredek na treh točkah:

- digitalizacija proizvodnje – informacijski sistemi za vodenje in načrtovanje proizvodnje;
- avtomatizacija proizvodnje – sistemi za zajem podatkov iz proizvodnih linij in za upravljanje s stroji;
- povezava proizvodnih lokacij v celovito oskrbno verigo.²

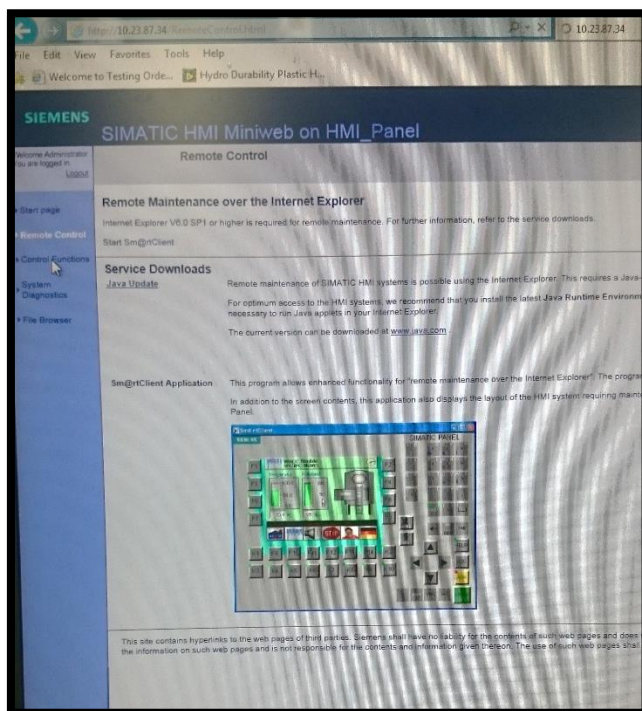
V Sloveniji imamo najbolj vpeljano Industrijo 4.0 v avtomobilski panogi.

Industrija 4.0 nam ponuja tudi nekaj idej pri izdelavi testne proge:

- Oddaljen dostop in upravljanje krmilnika Siemens s katerega koli računalnika, ki je povezan na isto mrežo kot krmilnik na testni progi. S tem pridobimo nadzor in manipulacijo s testno progo z več mest. Dostop mora biti varovan z ustrežno zaščito zaradi preprečitve zlorabe. Dostop je preko IP-naslova z aplikacijo SIMATIC.

¹ V seznamu virov: Rap, T. (2016). *Industrija 4.0 in njen vpliv na slovensko industrijo* Pridobljeno 11. 6. 2018 z naslova <https://dk.um.si/Dokument.php?id=105289>

² V seznamu virov: Špica d.o.o.; *Industrija 4.0*, Pridobljeno 25. 5. 2018 z naslova <https://blog.spica.com/slo/industrija-4-0-drugi-del/>



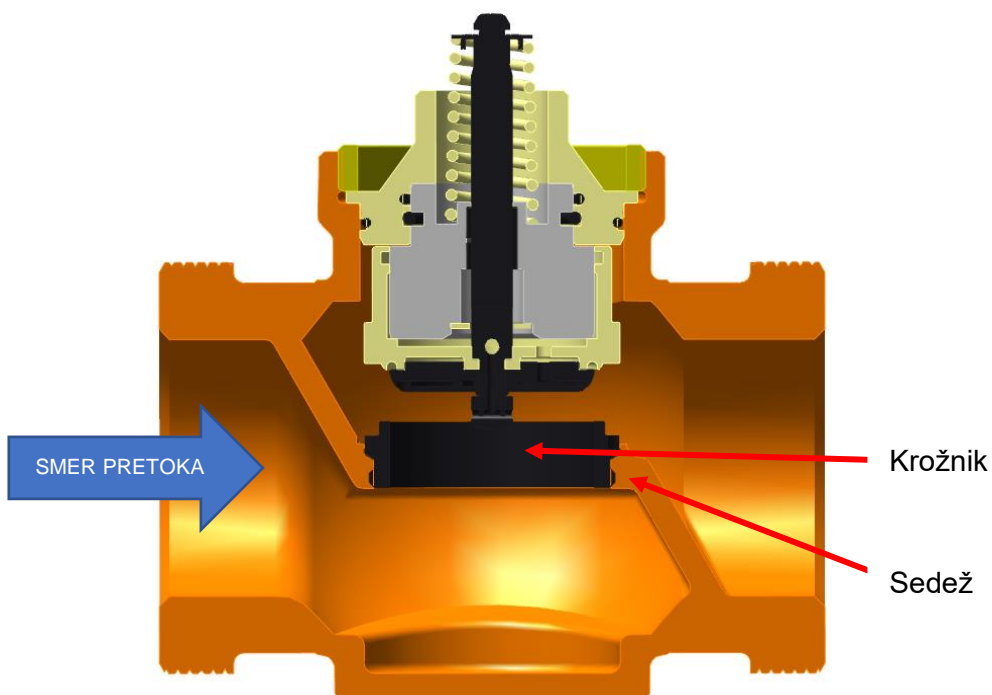
Slika 4: Oddaljen dostop do krmilnika Siemens preko aplikacije SIMATIC (Lastni vir)

- Shranjevanje meritev in rezultatov direktno na mrežo. S tem pridobimo enostavnejše in takojšnjo razpolago z meritvami za potrebe analize.

2 SPLOŠNO O MERJENJU PRETOKA

2.1 OSNOVNI POJMI

Kontrolni ventil je element, namenjen spreminjanu pretoka tekočin. Sestavljen je iz sedeža in krožnika, ki omejujeta pretok.



Slika 5: Prerez kontrolnega DN50 ventila
(Lastni vir)

Tekočine se gibljejo po ceveh laminarno ali turbulentno. V praksi je vedno pri ventilih prisoten turbulentni tok, le pri ventilih, ki imajo pretočnost manjšo od $0,001 \text{ m}^3/\text{h}$, se pojavi laminarni tok.

Pri laminarnemu toku se tekočina pomika stacionarno in plasti tečejo paralelno, brez mešanja.

Pri turbulentnem toku se delci gibljejo v vseh smereh.

Za obravnavo tlačnih in pretočnih razmer uporabimo Bernoullijevo enačbo:³

$$p_1 + \frac{\rho \times v_1^2}{2} + \rho \times g \times h_1 = p_2 + \frac{\rho \times v_2^2}{2} + \rho \times g \times h_2$$

In kontinuitetno enačbo pretoka:

$$Q = v_1 \times A_1 = v_2 \times A_2$$

- Q - pretok [m^3/h]
- p - tlak [N/m^2]
- ρ - gostota fluida [kg/m^3]
- v - hitrost fluida [m/s]
- g - gravitacijski pospešek [m/s^2]
- h - višina [m]
- A - površina [m^2]

Ocena za prehod med laminarnim in turbulentnim tokom nam poda Reynoldsovo število. Je brez dimenzijsko število, ki je razmerje vztrajnostnih in torzijskih sil.

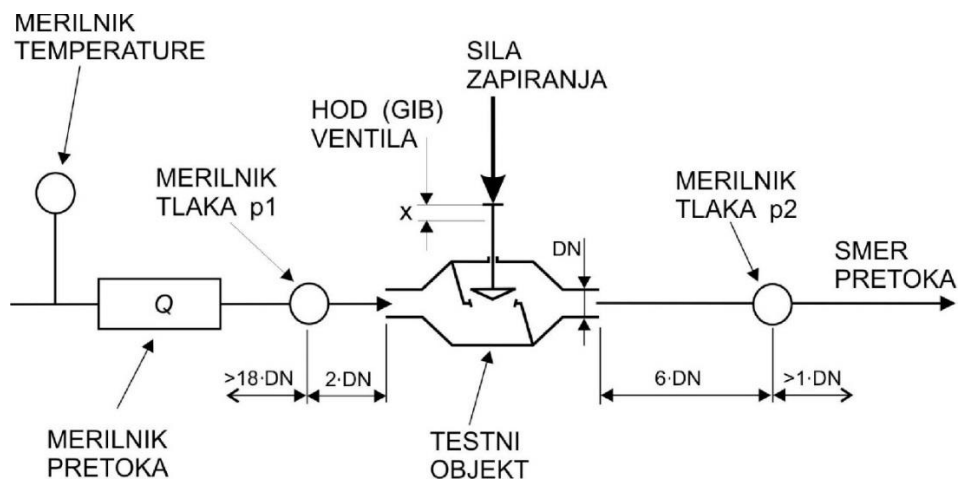
$$Re = \frac{v_1 \times D_1}{\nu}$$

- ν - kinematična viskoznost [m^2/s]
- D - premer cevi [m]

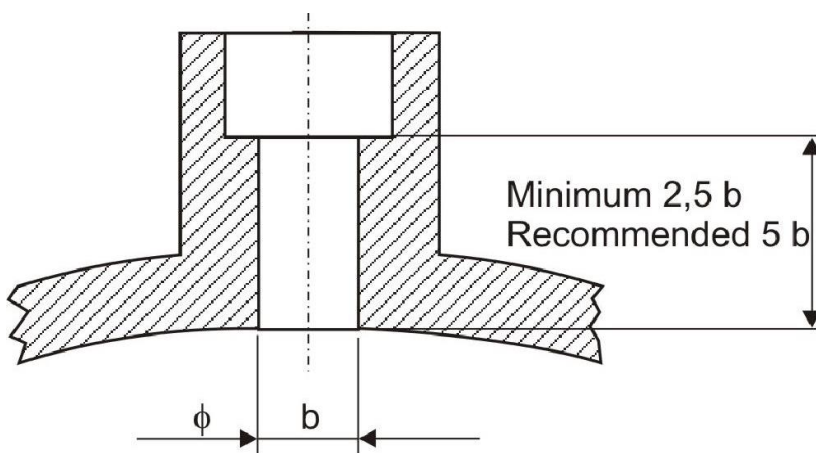
Za tok v ceveh velja;
 $Re < 2320$ – laminarni tok
 $Re > 2320$ – turbulentni tok

³ V seznamu virov: Kraut, B. *Strojniški priročnik*.

2.2 MERILNI POGOJI



Slika 6: Prikaz testnega objekta in merilnikov na testni progi:
(Vir: Standard 60534-2-1 :2011)⁴



Slika 7: Priporočene mere priključka za merjenje tlaka
(Vir: Standard 60534-2-1 : 2011)⁵

⁴ V seznamu virov: Standard 60534-2-1 : 2011; *Regulacijski ventili za industrijske procese*

⁵ V seznamu virov: Standard 60534-2-1 : 2011; *Regulacijski ventili za industrijske procese*

Tabela 3 prikazuje premer lukenj merilnih priključkov tlačnih odjemov na merilnih ceveh.

Dimenzija cevi [DN]	Min [mm]	Max [mm]
<20	1,5	2
20–50	2	3
>50	3	5

Tabela 3: Premer lukenj merilnih priključkov tlačnih odjemov
(Vir: Standard SIST EN 1267 : 2012)⁵

Tabela 4 prikazuje dovoljena odstopanja koncentričnosti priključkov na merilnih ceveh.

Dimenzija cevi [DN]	Dovoljeno odstopanje
DN 10–25	0,8 mm
DN 32–150	1,6 mm
DN > 200	0,01 DN

Tabela 4: Dovoljena odstopanja koncentričnosti priključkov na merilni progi
(Vir: Standard SIST EN 1267 : 2012)⁶

2.3 PRETOČNOST

Z odpiranjem in zapiranjem kontrolnega ventila spreminjamo pretočnost sistema pri določenih pogojih.

Oznaka Kv je pretočnost v m³/h, je volumetrični pretok skozi ventil pri določenem položaju krožnika.

Pogoji pri merjenju pretočnosti so naslednji:

- diferenčni tlačni padec preko ventila (dP_v) = 10⁵ Pa oziroma 1 bar,
- temperatura vode v območju med 5–40 °C

⁵ V seznamu virov: Standard 60534-2-1 : 2011; *Regulacijski ventili za industrijske procese*

⁶ V seznamu virov: Standard SIST EN 1267 : 2012; *Preskušanje pretočne upornosti z vodo kot preskusnim medijem*

Kv dobimo tudi iz enačbe:⁵

$$Kv = Q \times \sqrt{\frac{\Delta p_{kv} \times \rho}{(p_1 - p_2) \times \rho_w}}$$

- Q - pretok [m³/h]
 Δp_{kv} - 1 bar je statični tlačni padec [bar]
 dPv - p₁-p₂ merjeni tlačni padec na ventilu [bar]
 ρ_w - gostota vode [kg/m³]

Enačbo lahko poenostavimo v primeru, ko imamo vodo s temperaturo 20 °C.

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{dPv}}$$

Pretočno kapaciteto ventila označujemo s Kvs. Gre za vrednost pretoka, ki ustreza vrednosti Kv pri maksimalnem odprtju nominalnega hoda ventila v m³/h, pri 1 bar diferenčnega tlačnega padca skozi ventil.

2.4 TLAČNI PADEC

Kontrolni ventil, vgrajen v cevovodu, nudi upor pretoka fluida in povzroča nepovratni padec tlaka. Pri turbolentnem toku je padec tlaka premosorazmeren spremembi kinetične energije, ki izhaja iz spremembe pretočne hitrosti.

$$dPv = \xi \times \rho \frac{v^2}{2}$$

- dPv - tlačni padec na ventilu [bar]
 ξ - koeficient tlačnega padca
 ρ - gostota fluida [kg/m³]
 v - hitrost fluida [m/s]

⁵ V seznamu virov: Standard 60534-2-1 : 2011; *Regulacijski ventili za industrijske procese*

2.5 KARAKTERISTIKA PRETOKA

Razmerje K_v vrednosti in hod ventila (krožnika) imenujemo karakteristika kontrolnega ventila.

Poznamo dve osnovni obliki:

- linearno karakteristiko in
- logaritemsko oziroma enakoprocentno karakteristiko.

2.5.1 Linearna karakteristika pretoka

Linearna karakteristika pretoka je karakteristika pretoka, pri kateri linearno povečanje hoda povzroči linearno spremembo koeficienta pretoka.

$$\phi = \phi_0 + m \times X$$

$$\phi = \frac{K_v}{K_{vs}}$$

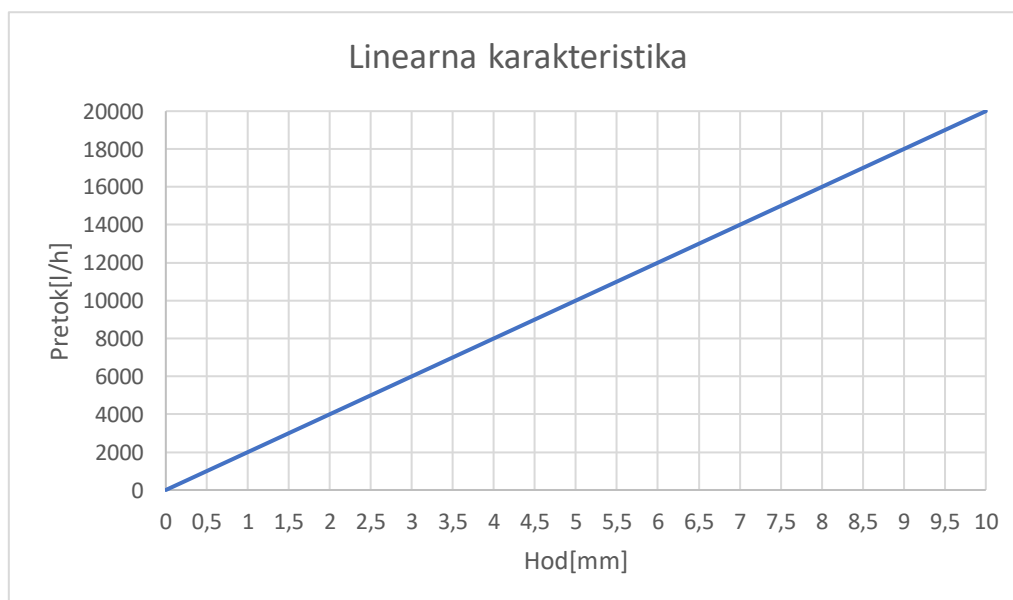
ϕ - relativni koeficient pretoka

X - hod ventila [mm]

ϕ_0 - relativni koeficient pretoka za $X = 0$

m - smerni koeficient linearne karakteristike

K_{vs} - pretočna vrednost pri maksimalnem hodu(odprtju) ventila [m^3/h]



Graf 1: Linearna karakteristika pretoka
(Lastni vir)

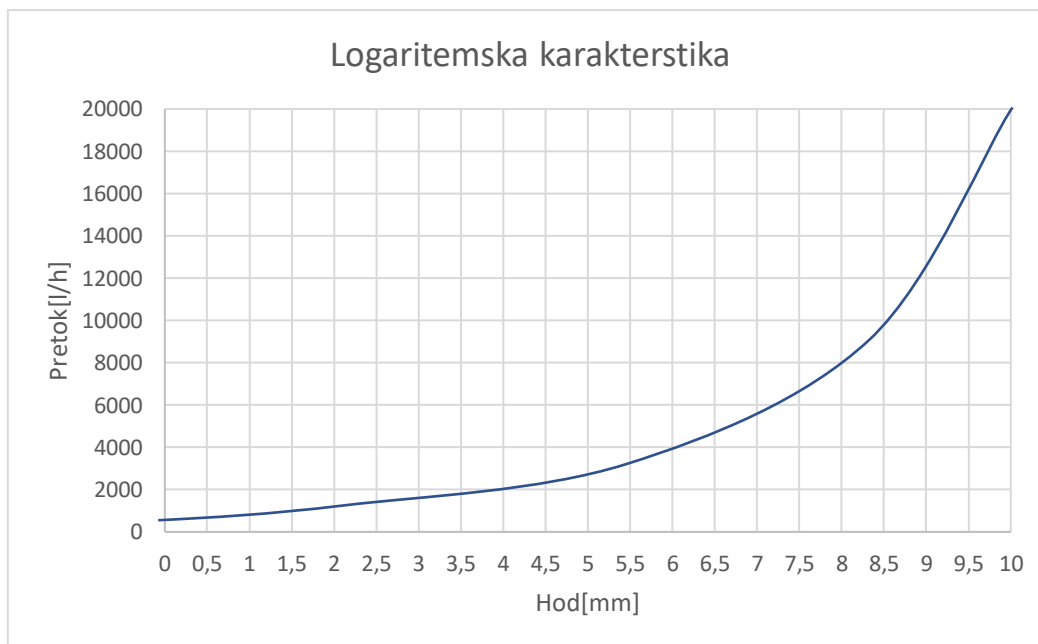
2.5.2 Logaritemska (enakoprocentna) karakteristika

Logaritemska (enakoprocentna) karakteristika pretoka je karakteristika pretoka, pri kateri linearno povečanje hoda povzroči logaritemsko spremembo koeficienta pretoka.

$$\phi = \phi_0 \times e^{nX}$$

$$\phi = \frac{Kv}{Kvs}$$

- Φ - relativni koeficient pretoka
- X - hod ventila [mm]
- Φ_0 - relativni koeficient pretoka za $X = 0$
- n - smerni koeficient logaritemske karakteristike



Graf 2: Logaritemska karakteristika pretoka
(Lastni vir)

3 PREDSTAVITEV PROGE ZA TESTIRANJE VENTILOV

3.1 IZDELAVA TESTNE PROGE

Izdelavo testne proge smo začeli z izdelavo nosilnega (spodnjega) dela konstrukcije, ki je sestavljen iz pravokotnih nerjavečih cevi $60 \times 40 \times 2$ mm, ki stojijo na nogicah, nastavljivih po višini. Pod nogicami so protivibracijske gume, da se izognemo prenašanju vibracij iz testne proge v prostor laboratorija.

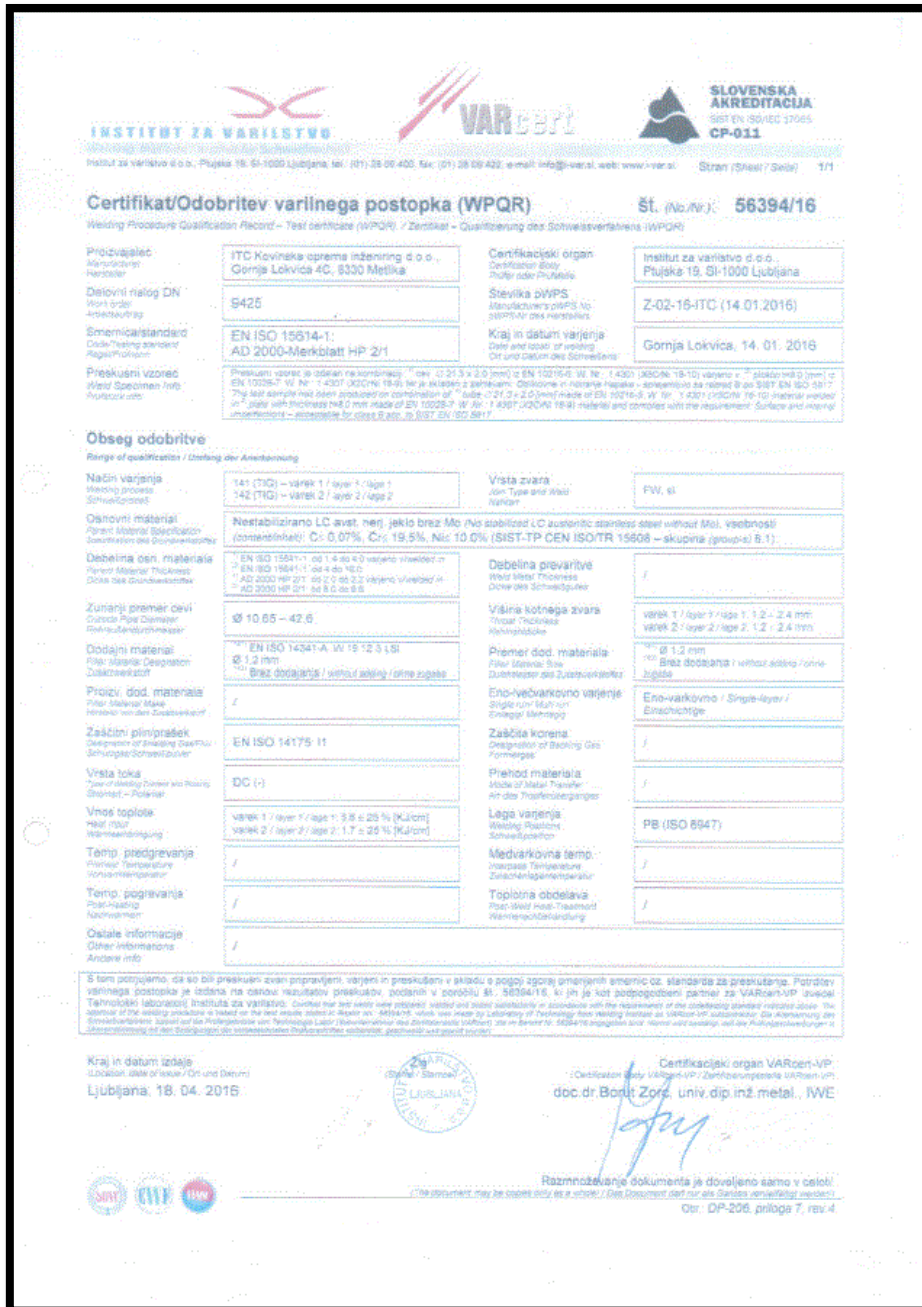
Ker je bila stara testna proga še v uporabi, smo začeli montirati elemente, ki niso bili njen del. Uporabili smo 200-litrsko tlačno posodo IMP Itak s tovarniško številko 21741, ki je bil včasih del trajnostne proge. Ima tudi tablico s podatki in opravljen tlačni preizkus.





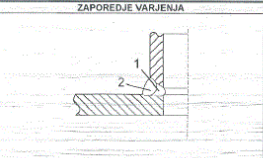
Slika 8: Tlačna posoda s tablico in opravljenim tlačnim preizkusom
(Lastni vir)

3.1.1 Varilni postopki in vrste zvarov




Cevi in ostale komponente iz nerjavečega jekla so varjene po postopku TIG, in sicer po certificiranem postopku EN ISO 15614-1. Pri varjenju okroglih cevi se je uporabljal sočelni I zvar, pri varjenju pravokotnih cevi pa sočelni I zvar in sočelni 1/2 V zvar.





Slika 9: Certifikat varilnega postopka po standardu EN ISO 15614-1 (Interni vir podjetja)

 POPIS VARILNEGA POSTOPKA IZVAJALCA (WPS) po SIST EN ISO 15609-1		WPS št.: 16-04						
OSNOVNI PODATKI O VARJENJU:								
WPS št.:	I	Debelina (mm):	t ₁ = 6 - 8 mm, t ₂ = 4 mm					
Način varjenja:	141 - TIG	Zunanj premer (mm):	D = 42,6 mm					
Vrsta zvara:	BW - sočelni 1/2V zvar	Legs varjenja:	PA					
Osnovni material:	Skupina 8.1 (W. Nr.: 1.4301)	Vrsta priprave in čiščenje:	Brušenje, ščetkanje					
PODROBNOSTI PRIPRAVE ZVARNEGA ŽLEBA:								
								
PARAMETRI VARJENJA								
Varek št.	Varilni postopek	Premjer dod. materiala (mm)	Jakost toka (A)	Napetost toka (V)	Vrsta toka / pol	Dovod žice (mm/min)	Hitrost varjenja (cm/min)	Vnos energije (kJ/cm ²)
1	141	1,6 - 2,0	80 - 110	12 - 14	DC-	/	/	/
2	141	1,6 - 2,4	80 - 110	12 - 14	DC-	/	/	/
OSTALE PODROBNOSTI								
DODAJNI MATERIAL: Vrsta in oznaka: G 19 12 3 L Si (EN 12072)		TEHNIKA VARJENJA: Potrebno varjenje/ nihanje: Nihanje Nihanje (max. širina nihanja): 3 mm Nihanje (amplituda, frekv.): / Razdalja elektrode do cevi: / Nastavitveni kot gorilnika: / Čas pulza: / Frekvenca: /						
ZAŠČITNI PLINI PRASEK: Zaščitni plin: I1-EN ISO 14175 Zaščita korena: I1-EN ISO 14175 Pretok zaščitnega plina: 8 - 10 l/min Pretok pl. zaščite korena: 4 - 8 l/min		TEMPERATURE PREDI/ MEDI/ PO VARJENJU: Temperatura predgrevanja: / Vmesna temperatura: / Toplotna obdelava po varjenju: / Hitrost segrevanja in ohlajanja: / Čas/ temperatura/ postopek: /						
WOLFRAMOVA ELEKTRODA: Vrstal premer: WS 2 WITSTAR / 2,4 Premer šobe: 11, 13 mm		ŽLEBLJENJE/ PODLOŽKA: Metoda in vrsta žlebljenja: / Metoda in vrsta podložke: /						
OPOMBE: - pred varjenjem morajo biti zv. robovi čisti in razmaščeni - teme zvara po varjenju ščetkati z INOX ščetko								
IZDELAL: Franc Nemanič (ime in priimek)		ODOBRIL: Matej Pleterski (ime in priimek)						
4. 2. 2016 (Datum)		5. 2. 2016 (Datum)						

Slika 10: Varilni postopek sočelnega 1/2V zvara po EN ISO 155609-1 (Interni vir podjetja)

 POPIS VARILNEGA POSTOPKA IZVAJALCA (WPS) po SIST EN ISO 15609-1		WPS št.: 16-02						
OSNOVNI PODATKI O VARJENJU:								
WPS št.:	I	Debelina (mm):	t = 2 mm					
Način varjenja:	141 - TIG	Zunanj premer (mm):	D = 42 mm					
Vrsta zvara:	BW - sočelni I zvar	Legs varjenja:	PA					
Osnovni material:	Skupina 8.1 (W. Nr.: 1.4301)	Vrsta priprave in čiščenje:	Brušenje, ščetkanje					
PODROBNOSTI PRIPRAVE ZVARNEGA ŽLEBA:								
								
PARAMETRI VARJENJA								
Varek št.	Varilni postopek	Premjer dod. materiala (mm)	Jakost toka (A)	Napetost toka (V)	Vrsta toka / pol	Dovod žice (mm/min)	Hitrost varjenja (cm/min)	Vnos energije (kJ/cm ²)
1	141	1,2 - 2,0	55 - 65	12 - 13	DC-	/	/	/
OSTALE PODROBNOSTI								
DODAJNI MATERIAL: Vrsta in oznaka: G 19 12 3 L Si (EN 12072)		TEHNIKA VARJENJA: Potrebno varjenje/ nihanje: Nihanje Nihanje (max. širina nihanja): 3 mm Nihanje (amplituda, frekv.): / Razdalja elektrode do cevi: / Nastavitveni kot gorilnika: / Čas pulza: / Frekvenca: /						
ZAŠČITNI PLINI PRASEK: Zaščitni plin: I1-EN ISO 14175 Zaščita korena: I1-EN ISO 14175 Pretok zaščitnega plina: 8 - 10 l/min Pretok pl. zaščite korena: 4 - 8 l/min		TEMPERATURE PREDI/ MEDI/ PO VARJENJU: Temperatura predgrevanja: / Vmesna temperatura: / Toplotna obdelava po varjenju: / Hitrost segrevanja in ohlajanja: / Čas/ temperatura/ postopek: /						
WOLFRAMOVA ELEKTRODA: Vrstal premer: WS 2 WITSTAR / 2,4 Premer šobe: 11, 13 mm		ŽLEBLJENJE/ PODLOŽKA: Metoda in vrsta žlebljenja: / Metoda in vrsta podložke: /						
OPOMBE: - pred varjenjem morajo biti zv. robovi poravnani, čisti in razmaščeni - teme zvara po varjenju ščetkati z INOX ščetko								
IZDELAL: Franc Nemanič (ime in priimek)		ODOBRIL: Matej Pleterski (ime in priimek)						
4. 2. 2016 (Datum)		5. 2. 2016 (Datum)						

Slika 11: Varilni postopek sočelnega I zvara po EN ISO 155609-1 (Interni vir podjetja)

O PREIZKUSU USPOSOBLJENOSTI VARILCA WELDER'S QUALIFICATION TEST CERTIFICATE

2 Oznaka / Designation: **ISO 9606-1 141 T/P FW FM5 S t2 PB sl**

3 Stran / Page: 1 od / of: 1

4 Papis varilnega postopka (WPS) / WPS-Reference: _____
Certifikacijski organ / Examining body: Institut za varilstvo d.o.o. / Welding Institute Ljubljana

5 Št. dokazila / Reference No.: 560217

6 Ime in priimek / Welder's Name: **ANDREJ FIR**

7 Identifikacija / Identification: 003033521

8 Način identifikacije / Method of identification: Osebnica / Identity card

9 Datum in kraj rojstva / Date and place of birth: 14.10.1975, Novo mesto (SI)

10 Delodajalec / Employer: ITC Kovinska oprema inženiring d.o.o., Metlika

11 Standard / Code / Testing Standard: SIST EN ISO 9606-1:2013



12 Dopolnilni test nekoga zvara / Supplementary BWT weld test: Ne / no

13 Poznavanje stroke / Job knowledge: Sprejemljivo / Acceptable

14	Podrobnosti o preizkusu Test piece	Območje veljavnosti Range of Qualification
15 Način varjenja / Welding process	141	141, 142, 143, 145
16 Način prenosa / Transfer mode	-	-
17 Ploščevina ali cev / Plate or Tube	T/P	T, P (glej vrstico 25 in 27 / see line 25 and 27)
18 Vrsta spoja / Type of weld	FW	FW
19 Skupina materialov / Material group(s)	B	-
20 Skupina dod. materiala / Consumable group(s)	FM5	FM5
26 Vrsta dodatnega materiala / Filler material	S	S
27 Zaščitni plin / Shielding gas / flux	EN ISO 14175-I1	Ustrezni plin - Corresponding gas
23 Pomočni plin / Auxiliaries	-	-
24 Vrsta el. toka in polariteta / Type of current and polarity	DC-	-
25 Debelina vzorca (mm) / Material thickness (mm)	2,0	2 - 4
26 Debelina prevravitve (mm) / Deposited thickness (mm)	-	-
27 Zunanji premer cevi (mm) / Outside pipe diameter (mm)	45,0	PA z obračanjem / rotating: >= 75
28 Lega varjenja / Welding positions	PB	PA, PB
29 Izvedba varjenja / Weld details	-	-
30 Eno-veščarkovna tehnika / Multi-layer/Single layer	sl	sl

Dodatne informacije / Additional Information: Osnovni material / Parent material: X5CrNi18-10 ; Dodajni material / Filler material: W 19 12 3 LSi


31 Usposobljen za kote priložitka >=80° / Qualified for branch connections >= 60°

32 Vrsta preizkusa / Examination	Izvedeno in opravljeno Performed and accepted	Se nis izvedlo Not tested	Nikolaj Samra dipl.inž., ITC VARcert Institut za varilstvo d.o.o. Priloga 19, 1000 Ljubljana
33 Vizualni / Visual	X	-	 
34 Radiografski / Radiographic testing	-	X	
36 Prilomni preizkus / Fracture test	-	X	
37 Upogibni preizkus / Bend test	-	X	
38 Mehanski preizkus z rezco / Notch tensile test	-	X	42 Kraj in datum / Place and date: Ljubljana, 01.02.2016
39 Mikroskopski pregled / Macroscopic examination	X	-	43 Datum varjenja / Date of welding: 14.01.2016
40 Dodatne preiskave / Additional examinations	-	X	44 Velja do / Validity until: 14.01.2019

* Podaljševanje po točki / Revalidation based on: 9.3a

41 Potrdis delodajalca / varilnega koordinatorsja o zopredeljenem varjenju varilca (6 mesecev) / Confirmation of the validity by employer/welding coordinator for the following 6 months

Datum / Date	Podpis / Signature	Položaj, Naziv / Position or title	Datum / Date	Podpis / Signature	Položaj, Naziv / Position or title
14.07.2016		direktor, v.d.s	14.01.2018		
14.01.2017		-	14.07.2018		
14.07.2017		-			



INSTITUT ZA VARILSTVO
Welding Institute

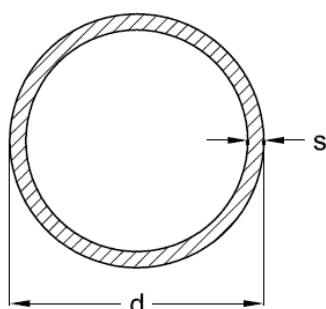
Slika 12: Certifikat varilca po ISO 9606-1 141
(Interni vir podjetja)

3.1.2 Cevovodi in merilne cevi na testni progi

Vse cevi na testni progi in merilne cevi so iz nerjavečega jekla AISI 304, dobavljene po standardu EN 10217-7.

Pri izdelavi merilnih cevi smo se držali glede dimenzij in mer priključkov na standarda SIST EN 1267 : 2012 in 60534-2-3 ©IEC : 1997.

Tabela 5 prikazuje dimenzije testnih cevi iz nerjavečega jekla.



Slika 13: Prerez cevi

(Vir: Standard EN 10217-7)⁷

DN	d – premer [mm]	s – debelina stene [mm]
50	53	1,5
40	43	1,5
32	35	1,5
25	28	1,5
20	23	1,5
15	18	1,5
10	14	2

Tabela 5: Dimenzije testnih inox cevi

(Vir: Standard EN 10217-7)⁷



Slika 14: Merilne cevi s priključnimi maticami

⁷ V seznamu virov: Standard EN 10217-7, 2017; Varjene jeklene cevi za tlačne namene

(Lastni vir)



Slika 15: Zalogovnik in 11 kW črpalka na nosilnem delu testne proge
(Lastni vir)



Slika 16: Montaža merilnikov pretoka na testno progo
(Lastni vir)



Slika 17: Izdelava cevnih povezav za vzporedno in zaporedno vezavo črpalk
(Lastni vir)

3.1.3 Črpalke na testni progi

Obstoječi testni progi smo dodali visokotlačno večstopenjsko črpalko z elektro motorjem moči 11 kW zaradi večje kapacitete merjenja. Stara proga je že vsebovala dve črpalki, vsak z močjo po 4 kW.

Tabela 6 prikazuje podatke o vgrajenih črpalkah na testni progi.

	Proizvajalec in model	Nazivni pretok [m ³ /h]	Nazivna tlačna višina [m]	Moč elektromotorja [kW]
Črpalka 1	Grundfos CR16-100	18	174,5	11
Črpalka 2	Grundfos CRNS-120	8	109,4	4
Črpalka 3	Grundfos CR4-220	4	175,2	4


Tabela 6: Podatki črpalk na testni progi
(Lastni vir)

Pred vgradnjo smo na vseh črpalkah opravili redni servis, zamenjali tesnila in ležaje. Črpalke so vgrajene s hitrimi spojkami PN25, v primeru okvare je demontaža hitra in enostavna.



*Slika 18: Vgradnja črpalke na testni progi
(Lastni vir)*

PN: Pressure Nominal (nominalni tlak)



Company name:
Created by:
Phone:

Date: 12/09/2017

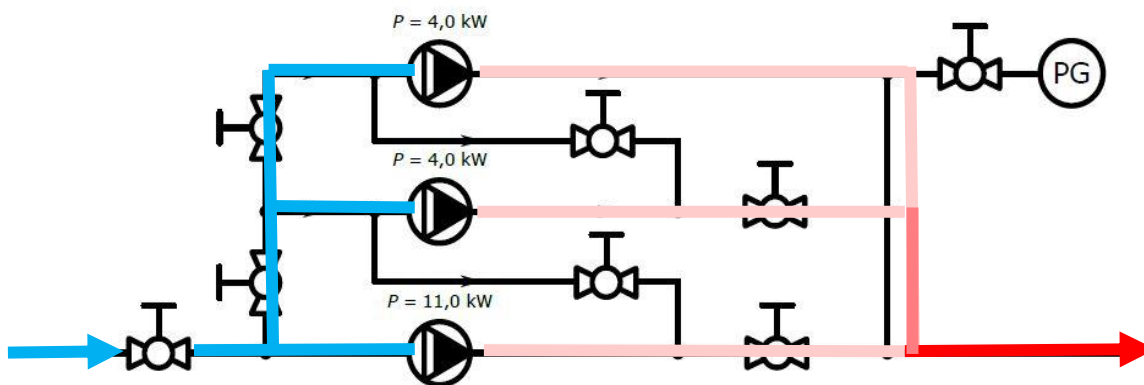
Description	Value
General information:	
Product name:	CR 16-100 A-F-A-AUUE
Product No:	33507270
EAN number:	5700390434854
Technical:	
Speed for pump data:	3500 rpm
Rated flow:	18 m ³ /h
Rated head:	174.5 m
Impellers:	10
Primary shaft seal:	AUUE
Pump type:	CR 16
Pump No:	33500070
Stages:	10
Pump version:	A
Model:	B
Materials:	
Pump housing:	Cast iron EN-JL1030 ASTM 25 B
Impeller:	Stainless steel DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304
Material code:	A
Installation:	
Maximum ambient temperature:	40 °C
Max pressure at stated temp:	23 bar / 120 °C 25 bar / 85 °C
Flange standard:	DIN
Connect code:	F
Pipe connection:	DN 50
Pressure stage:	PN 16 / PN 25
Flange size for motor:	F300
Liquid:	
Pumped liquid:	Water
Liquid temperature range:	-15 .. 120 °C
Liquid temperature during operation:	20 °C
Density:	998.2 kg/m ³
Electrical data:	
Motor type:	160M
Rated power - P2:	15 kW
Mains frequency:	60 Hz
Rated voltage:	3 x 380-480 D/660-690 Y V
Rated current:	27,5-23,0/15,8-16,0 A
Cos phi - power factor:	0,91
Rated speed:	3540 rpm
Number of poles:	2
Enclosure class (IEC 34-5):	IP55
Insulation class (IEC 85):	F
Motor protec:	PTC
Motor No:	81615326
Others:	
Net weight:	135 kg
Gross weight:	160 kg

Slika 19: Podatki črpalke iz Grundfos kataloga
(Vir: Grundfos Product center, 2017)⁸

⁸ V seznamu virov: Grundfos Product center; Pridobljeno 11. 12. 2017 z naslova:
<https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?lang=ENU&productnumber=33507270&productrange=gma&qcid=377488818>.

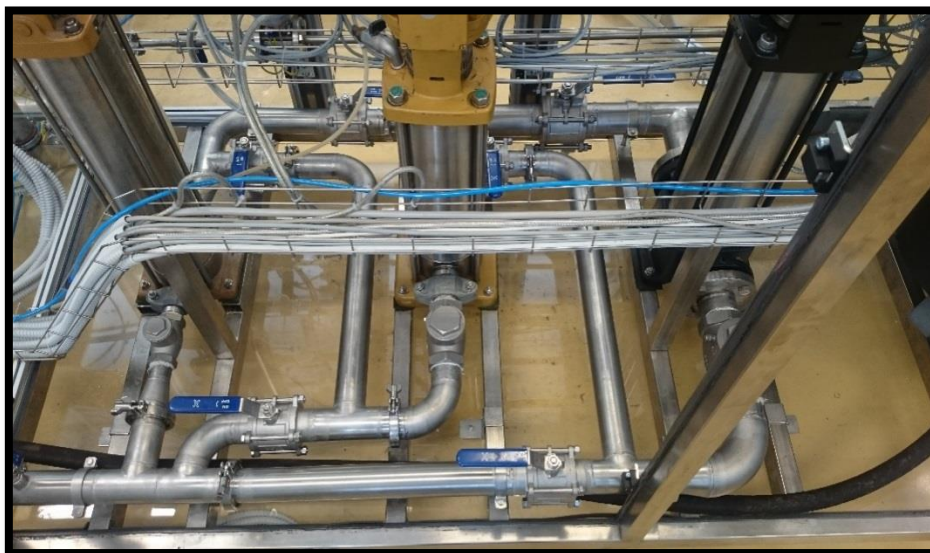
3.2 HIDRAVLIČNA VEZAVA ČRPALK

3.2.1 Vzporedna vezava črpalk



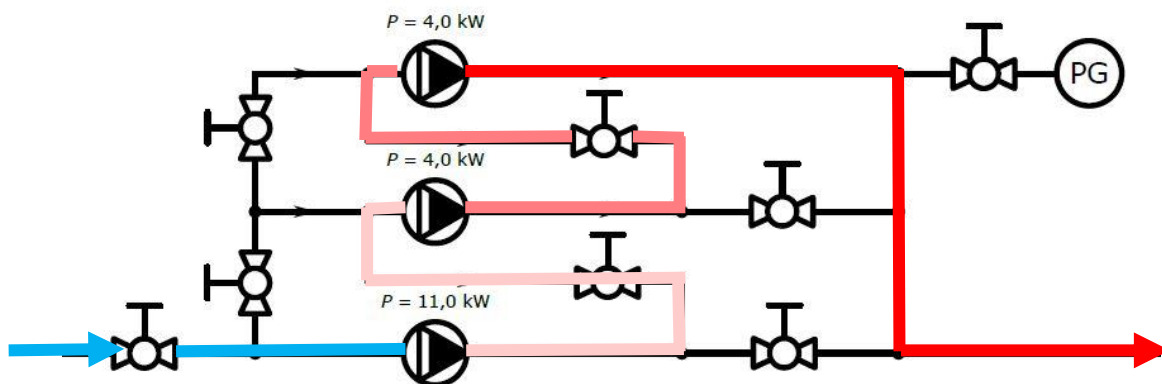
Slika 20: Shema vzporedne vezava črpalk na testni progi
(Lastni vir)

Na testni progi so črpalke večino časa v vzporedni vezavi. Tako dosežemo optimalni pretok in diferenčni tlak glede na karakteristike vseh treh črpalk.



Slika 21: Vzporedna vezava črpalk na testni progi
(Lastni vir)

3.2.2 Zaporedna vezava črpalk



Slika 22: Shema zaporedne vezava črpalk na testni progi
(Lastni vir)

Za potrebe testiranja visokega tlaka, ko pretok niti ni pomemben, uporabljamo zaporedno vezavo črpalk. Ko se testira, do kakšnega maksimalnega diferenčnega tlaka je testirani pogon zmožen držati zaprto lego ventila, imamo potrebo po visokem diferenčnem tlaku. Pretoka ni na sistemu vse do točke, ko je pogon zmožen držati zaprto lego.

Zaporedno vezavo dosežemo tako, da zapremo ustrezne ventile na testni progi.

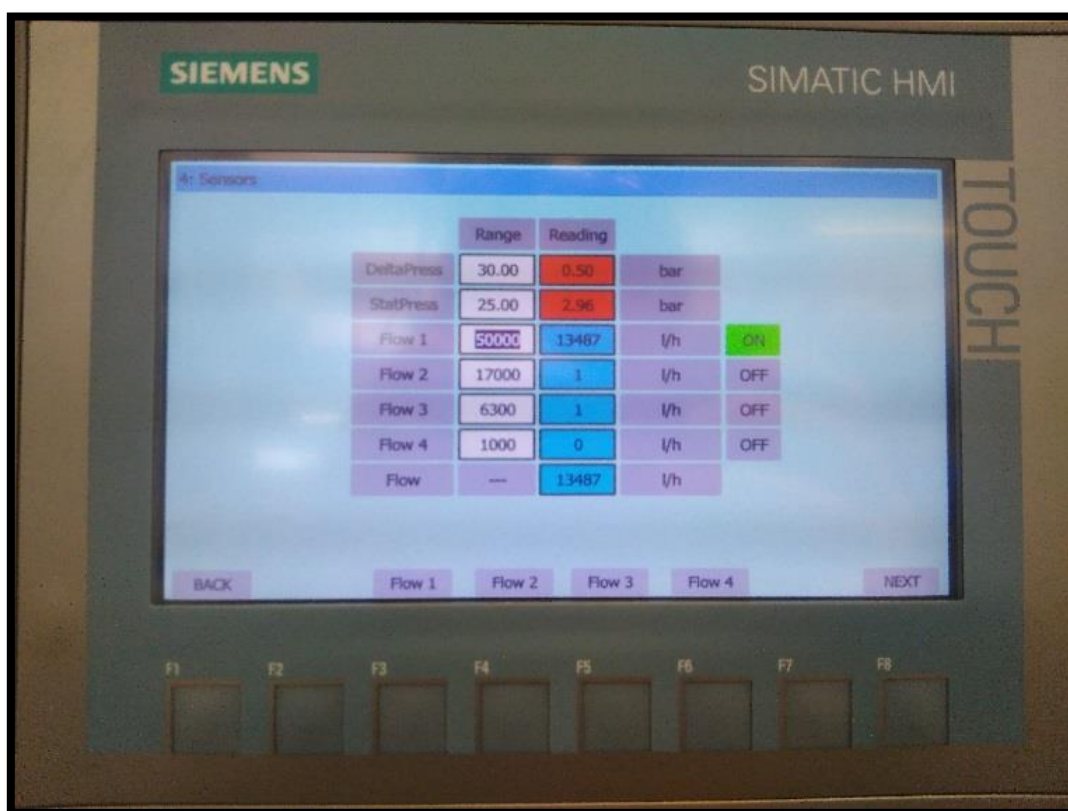


Slika 23: Zaporedna vezava črpalk na testni progi
(Lastni vir)

3.3 TEHNIČNI OPIS PROGE

3.3.1 Izbira merilnikov pretoka

Vsi štirje merilniki pretoka so fiksno vezani na štiri analogne vhode krmilnika. Uporabnik preko Siemens HMI-ja definira merilno območje posameznega merilnika pretoka in izbira, kateri merilnik pretoka je aktiven. Signal izbranega merilnika pretoka se preslika na analogni izhodni signal krmilnika, od tam pa je vezan na analogni vhod merilne kartice National Instruments. Uporabnik lahko definira skaliranje signala med krmilnikom in merilno kartico NI. S tem načinom porabimo 4 analogne vhodne signale namesto enega, vendar to ni kritično, saj modul krmilnika vsebuje 8 analognih vhodov. Skupaj so torej potrebni štirje analogni vhodni signali za priklop merilnikov pretoka in en analogni izhodni signal za posredovanje signala izbranega merilnika v PC z merilne kartice NI. Znebimo se izbirnega stikala za merilnike pretoka, izbor se opravi preko HMI-ja.



Slika 24: Izbira ustreznega merilnika pretoka na krmilniku
(Lastni vir)

HMI: Human Machine Interface (uporabniški vmesnik)

NI: National Instruments (ponudnik merilnih kartic)

3.3.2 Izbira črpalk

Uporabnik preko HMI-ja izbira črpalke, možna je izbira poljubne kombinacije črpalk. Možno je obratovanje več črpalk hkrati v vzporedni hidravlični vezavi ali v zaporedni hidravlični vezavi. Črpalke lahko krmilimo stopenjsko ali glede na diferenčni tlak.



Slika 25: Izbira črpalk in vrsta krmiljenja
(Lastni vir)

3.3.3 Lokacija HMI

HMI je montiran na krmilni elektro omari na ustrezni delovni višini, da lahko testno progo upravljajo vsi operaterji.



Slika 26: Krmilna elektro omara s testno progo
(Lastni vir)

3.3.4 Glavne regulacijske funkcije

Glavne regulacijske funkcije so:

- regulacija tlačne razlike (diferenčnega tlaka),
- izbor poljubne kombinacije aktivnih črpalk,
- daljinsko upravljanje,
- vpis in shranjevanje parametrov regulatorja PID,
- prilagoditev parametrov regulatorja PID glede na kvadratno odvisnost med hitrostjo vrtenja črpalk in tlačno razliko,
- prilagoditev parametrov regulatorja PID glede na število aktivnih črpalk.

3.3.5 Varnostne funkcije

Varnostne funkcije so:

- omejitev hitrosti spremembe reference tlačne razlike,
- omejitev hitrosti spremembe hitrosti vrtenja črpalk v ročnem načinu delovanja,
- brezudarni preklop ročno / avtomatsko,
- odklop črpalk pri motnjah ali pregretju,
- odklop črpalk pri prehitri spremembi tlačne razlike (v primeru počene cevi ipd.),
- zaščita proti prekoračitvi največje dovoljene tlačne razlike (v ročnem načinu delovanja),
- postavitve v varno stanje po izpadu in ponovni vzpostavitvi napajanja,
- diagnostika sistema,
- tlačno stikalo za visok in nizek tlak,
- temperaturno stikalo visoke temperature.

3.3.6 Časovne funkcije

Časovni funkciji sta:

- časovni programator za referenco tlačne razlike v avtomatskem režimu,
- časovni programator za hitrost vrtenja črpalk v ročnem režimu.

PID: PID controller (proporcionalni integralni diferencialni krmilnik)

3.4 KRMILNA ELEKTRO OMARA

Na krmilni elektro omari so naslednji elementi:

- vmesnik Siemens HMI z zaslonom na dotik,
- indikatorja dP in statičnega tlaka,

- glavno stikalo,
- stikalo za izklop v sili (gobica),
- stikala za vklop črpalk,
- gumb za odzračevanje,
- gumb za vklop Karcherja,
- gumb za resetiranje napak,
- temperaturni regulator za regulacijo segrevanje vode v sistemu,
- stikalo za vklop in izklop elektro grelca,
- sijalke za prikaz napak (visok oz. nizek tlak, visoka temperatura),
- sijalke za prikaz delovanja črpalk in celotnega sistema.



Slika 27: Sprednja stran krmilne elektro omare
(Lastni vir)

V krmilni elektro omari so zvezani vsi elementi sistema: varovalke za varovanje vseh porabnikov, stikalo FID, vklopniki in releji za vklop in izklop elektro grelcev, cevne varovalke za varovanje merilnikov. Vsi merilniki, zmontirani na celem sistemu, gredo v krmilnik Siemens preko enote, na kateri so analogni vhodi. Signali gredo naprej

preko enote analognih izhodov na merilno kartico NI in na PC, kjer se preko programa LabVIEW izvajajo meritve.



*Slika 28: Notranjost krmilne elektro omare
(Lastni vir)*

Frekvenčni pretvorniki Danfoss VLT AQUA DRIVE FC202 s sinusni filtri skrbijo za pogon vseh treh črpalk. Vsaka črpalka ima svoj frekvenčni pretvornik s filtrom. Zmontirani so v svoji omari, ki je zvočno izolirana, da se glasnost delovanja ne prenaša v prostor. V tej omari so tudi vklopniki za vklop in izklop črpalk, elektro vodniki gredo direktno na črpalke. V krmilno elektro omaro gredo samo signali vodniki iz frekvenčnih pretvornikov.



Slika 29: Frekvenčni pretvorniki v zvočno izolirani omari
(Lastni vir)

3.5 TLAČNI PREIZKUS TESTNE PROGE

Testna proga je izpostavljena visokim tlakom (PN25), zato je bilo treba po koncu izdelave cevovodov in merilnih cevi opraviti tlačni test.

Celoten sistem se je napolnilo z vodo, medtem se je ves čas odzračevalo. Ko je bil sistem odzračen in napolnjen z vodo, se je začelo s tlačnim testom. Počasi se je z ročno črpalko dvigalo tlak na 30 bar statičnega tlaka. Ko je bil tlak dosežen, se je celotni sistem pustilo 30 min na 30 bar.

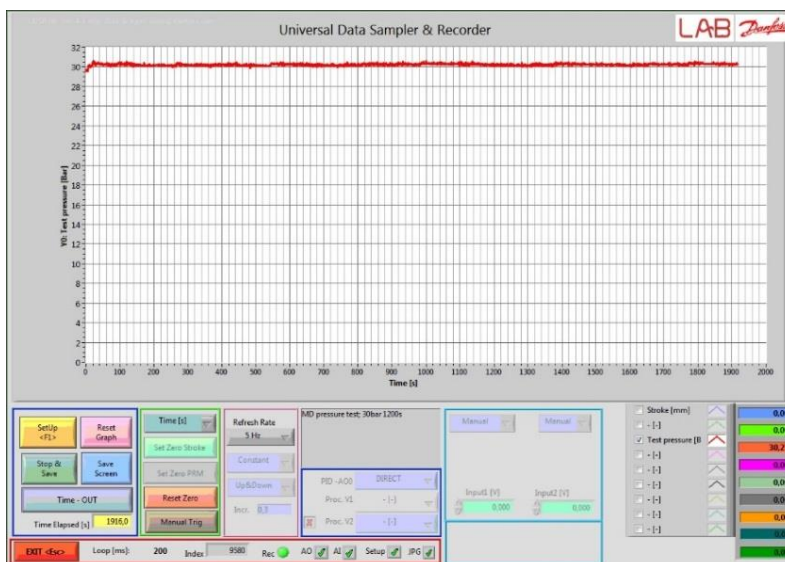


Slika 30: Tlačni preizkus testne proge
(Lastni vir)

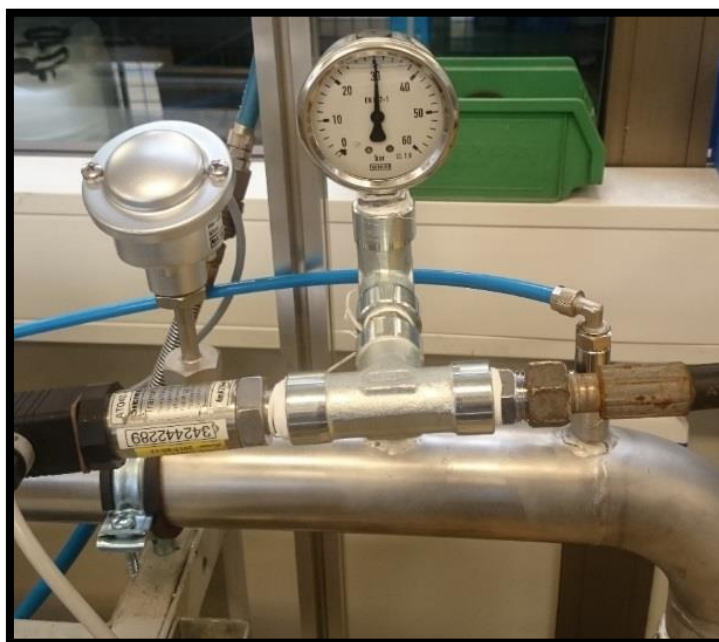
Celotni čas testiranja se je beležilo testni tlak preko merilne kartice NI na LabVIEW – interni laboratorijski program UDSR.

Program uporabljamo za beleženje meritev tudi na ostalih testnih progah.

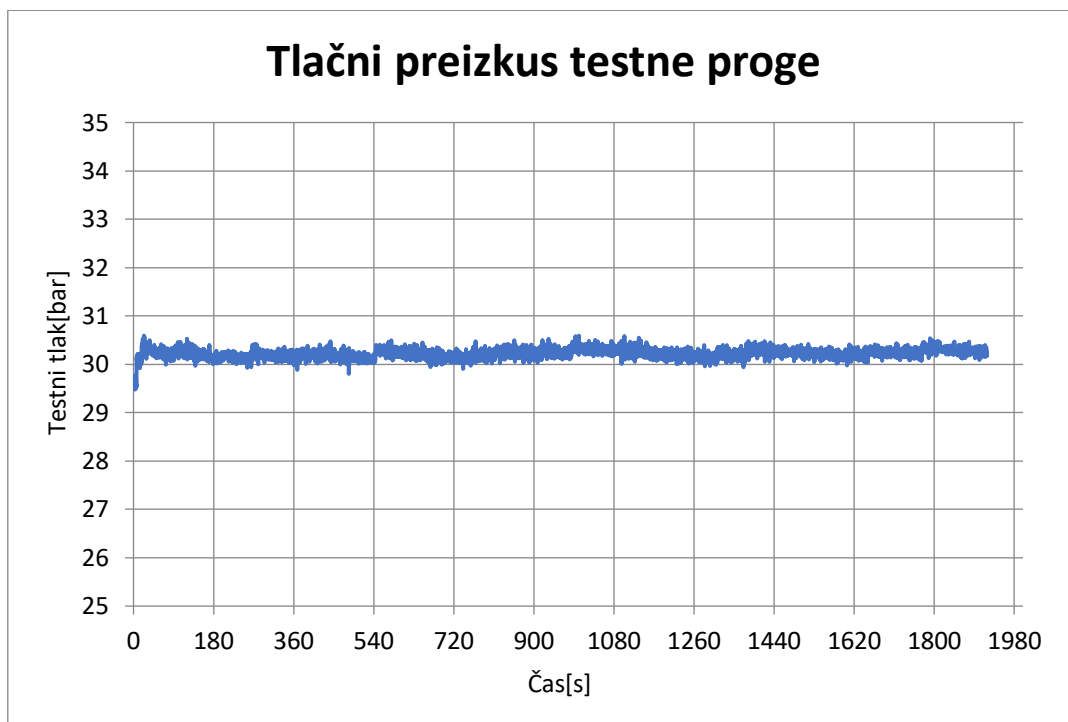
UDSR: Universal data sampler and recorder (univerzalni program za izvajanje meritev)



Slika 31: LabVIEW UDSR potek tlačnega testa (Lastni vir)



Slika 32: Relativni tlačni senzor z manometrom (Lastni vir)



Graf 3: Tlačni preizkus testne proge
(Lastni vir)

Po 30 min ni bilo na celotnem sistemu zaznane lekaže. Tudi graf beleženja testnega tlaka z relativnim tlačnim senzorjem je pokazal, da sistem tesni.

4 MERILNE NAPRAVE NA TESTNI PROGI

4.1 MERILNIK PRETOKA

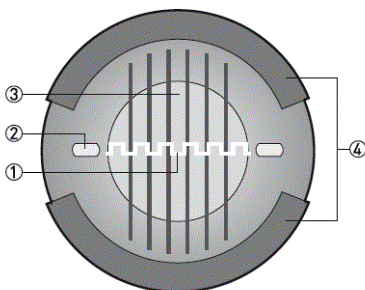
Za merjenje pretoka se uporabljajo elektromagnetni merilniki pretoka, ki delujejo na principu Faradayevega zakona magnetne indukcije.

Električno prevodna tekočina teče v notranjosti električne izolirane cevi skozi magnetno polje. Magnetno polje je postavljeno v ravnini, ki je pravokotna glede na smer pretoka. To magnetno polje generira inducirani tok, ki teče pravokotno skozi par tuljav. Znotraj tekočine nastane inducirana električna napetost.

$$U = v \times k \times B \times D$$

- U - inducirana napetost
- v - hitrost fluida [m/s]
- k - korekcijski faktor geometrije
- B - gostota magnetnega toka
- D - premer cevi merilnika [m]

Inducirano napetost se pobere z elektrodami, ki je sorazmerna hitrosti fluida. Tok se potem pretvori v ojačevalcu in odda izhodni signal 4–20 mA.



Slika 33: Prerez elektromagnetnega merilnika pretoka
(Vir: Krohne Handbook OPTIFLUX 5000, 2017)⁹

1. inducirana napetost (sorazmerna hitrosti fluida)
2. elektrodi
3. magnetno polje
4. tuljavi

Tabela 7 prikazuje vgrajene merilnike pretoka na testni progi.

⁹ V seznamu virov: Krohne Handbook OPTIFLUX 5000; Pridobljeno 14.12. 2017 z naslova <https://www.instrumart.com/assets/Krohne-optiflux5000fl-manual.pdf>.

Oznaka	Območje merilnika	DN	Merilnik pretoka	Ojačevalec	Sistemska oznaka	Merilna negotovost
Flow 1	0–50000 l/h	50	Krohne Waterflux 3000	Krohne IFC100	ADF00-FAML	1 % napake merjene vrednosti nad 2800 l/h
Flow 2	0–17000 l/h	25	Siemens MAG1100	Siemens MAG5000	ADF01-FAML	1 % napake merjene vrednosti nad 700 l/h
Flow 3	0–6300 l/h	15	Siemens MAG1100	Siemens MAG6000	ADF02-FAML	1 % napake merjene vrednosti nad 250 l/h
Flow 4	0–1000 l/h	6	Krohne Optiflux	Krohne IFC100	ADF03-FAML	1 % napake merjene vrednosti nad 40 l/h

Tabela 7: Merilniki pretoka na testni progi
(Lastni vir)

Na vgrajeni testni progi imajo vsi merilniki pretoka tudi ojačevalec z ekranom, na katerem lahko preverimo trenutno vrednost pretoka.



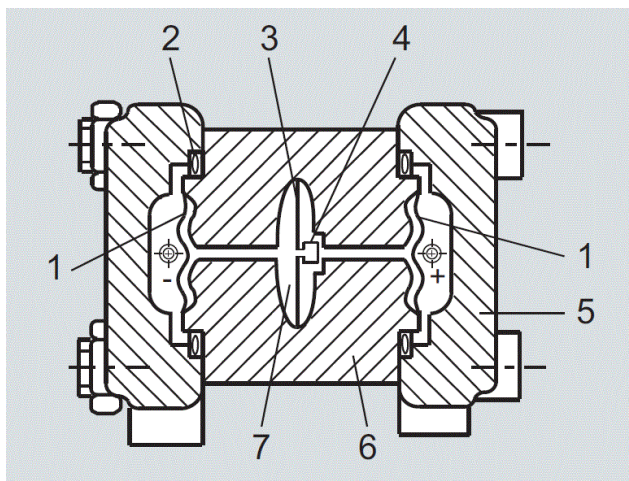
Slika 34: Merilniki pretoka
(Lastni vir)

4.2 MERILNIK TLAKA

Za merjenje tlačnih razlik (dP_v , dPa) se uporabljajo diferenčni merilniki tlaka, ki delujejo na principu merjenja linearne deformacije membrane pri obremenitvi s tlakom.

Diferenčni tlak se prenaša preko tesnilnih membran in polnilne tekočine na tlačni senzor. Aplikirani tlak upogne membrano, na kateri so štirje uporovni lističi piezo. Sprememba upornosti v zanki vpliva na izhodno napetost, proporcionalno na absolutni tlak.

Vgrajena je tudi membrana, ki preprečuje prevelike obremenitve. Če apliciramo tlak, ki je večji kot merilno območje merilnika, se ta membrana nasloni na ohišje merilne celice. Tako je vgrajeni tlačni senzor zaščiten pred preobremenitvami.



Slika 35: Prerez diferenčnega merilnika tlaka
(Vir: Siemens Industry, 2017)¹⁰

1. tesnilni membrani
2. tesnili O-ring
3. membrana, ki preprečuje preobremenitve
4. tlačni senzor
5. procesni priključek
6. ohišje merilne celice
7. polnilna tekočina (silikonsko olje)

¹⁰ V seznamu virov: SITRANS P DS III Technical description; Pridobljeno 14. 12. 2017 z naslova https://www.industry.usa.siemens.com/automation/us/en/process-instrumentation-and-analytics/process-instrumentation/catalogs/Documents/FI01_us_kap01-2016-DSIII-all.pdf.

Tabela 8 prikazuje vgrajene tlačne merilnike na testni progi.

Oznaka	Območje merilnika	Tlačni merilnik	Sistemska oznaka	Merilna napaka
dPv	0–30 bar	Siemens DS3	ADPD1-PDMR	1 % napake merjene vrednosti nad 1 bar dP 3 % napake merjene vrednosti nad 0,3 bar dP
dPa	0–1,6 bar	Siemens DS3	ADPD2-PDMR	1 % napake merjene vrednosti nad 0,05 bar dP 3 % napake merjene vrednosti nad 0,016 bar dP
Pst	0–40 bar	Siemens DS3	ADP01-PGM	1 % napake merjene vrednosti nad 3 bar 3 % napake merjene vrednosti nad 1 bar dP

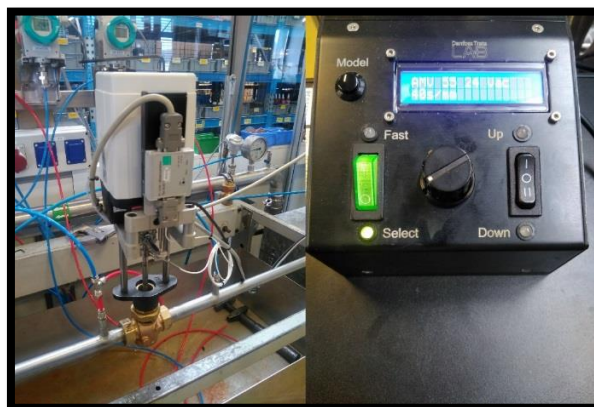
Tabela 8: Tlačni merilniki na testni progi
(Lastni vir)



Slika 36: Vgrajeni tlačni merilniki
(Lastni vir)

4.3 MERILNIK SILE IN POMIKA

Drog merjenih vzorcev reguliramo s pomočjo predelanega pogona Danfoss AMV 55 24 V AC 50 Hz 7 VA, ki zmore silo 2000 N z maksimalno hitrostjo 8 mm/s. Celotni hod pogona je 40 mm. Pogon krmilimo s krmilnikom, na katerem reguliramo smer delovanja in hitrost zapiranja oziroma odpiranja pogona.



Slika 37: LAB pogon AMV 55 zmontiran na vzorcu, s krmilnikom
(Lastni vir)

Za merjenje pomika se uporablja merilno letev proizvajalca RSF Elektronik DIT 48.63 z območjem 0–48 mm. Lab oznaka letve je AD009.



Slika 38: Merilna letev DIT 48.63
(Lastni vir)

Tabela 9 prikazuje podatke merilne letve za merjenje pomika.

Oznaka	Območje merilnika	Model	Sistemska oznaka	Merilna napaka
Stroke	0–48 mm	RSF DIT48.63	AD009	1 % napake merjene vrednosti nad 5 mm 0,3 % napake merjene vrednosti nad 15 mm

Tabela 9: Merilna letev za merjenje pomika
(Lastni vir)

Za merjenje sile se uporablja merilno celico z ojačevalcem proizvajalca Burster In-Line Messverstärker Type:9235 z območjem 0–2000 N. Izhodni signal 0–10 V. LAB oznaka AD010.



Slika 39: Merilna celica Burster In-Line Messverstärker Type:9235
(Lastni vir)

Tabela 10 prikazuje podatke merilne celice za merjenje sile.

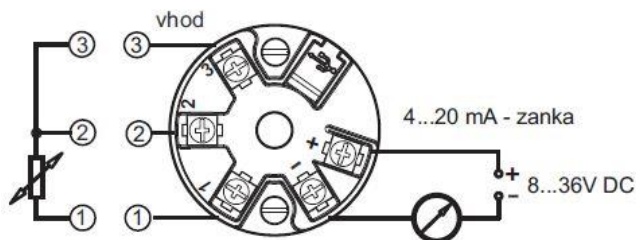
Oznaka	Območje merilnika	Model	Sistemska oznaka	Merilna napaka
Force	0–2000 N	Burster In-Line Messverstärker Type:9235	AD010	10 % napake merjene vrednosti pod 22 N

Tabela 10: Merilna celica za merjenje sile
(Lastni vir)

4.4 TEMPERATURNI MERILNIK

Za merjenje temperature vode v sistemu se uporablja uporovni termometer Pt100 MWT200. Je robustni merilnik, namenjen vgradnji v težjih pogojih, z zaščito IP54. V glavi merilnika je vgrajen merilnik pretvornik z izhodom 4–20 mA.

Merilnik je razred točnosti kl.A, kar pomeni $\pm 0,15 \text{ }^\circ\text{C}$ pri $0 \text{ }^\circ\text{C}$.



Slika 40: Merilni pretvornik temperaturnega merilnika¹¹
(Vir: Tehnični list: MWT 200, 2017)



Slika 41: Temperaturni merilnik
(Lastni vir)

Tabela 11 prikazuje podatke temperaturnega merilnika.

Oznaka	Območje merilnika	Procesni priključek	Temperaturni merilnik	Ojačevalec	Sistemska oznaka
Twater	0–100 °C	G1/2"	Materm MWT200	Materm MTT100PT	ADT01-TAM

Tabela 11: Temperaturni merilnik
(Lastni vir)

¹¹ V seznamu virov: Materm d.o.o.; Tehnični list: MWT 200; *Uporovni temperaturni thermometer*, Fram 2017

4.5 LAB TERMINAL BOX

Vse merilne naprave na testni progi so povezane s kabli na LAB terminal box (LTB) z vgrajeno merilno kartico. V notranjosti je merilna kartica proizvajalca National Instruments model NI USB-6229 DAQ s karakteristikami:

-32 analognih napetostnih vhodov:

- ločljivost: 16 bit,
- največja frekvenca vzorčenja: 250 kS/s,
- vhodna el. napetost: 0–10 V.

-4 analognih napetostnih izhodov:

- ločljivost: 16 bit,
- največja frekvenca vzorčenja: 833 kS/s,
- izhodni signali: napetostni 10 V DC.

Na sprednji strani LTB je prostor za 8 analognih vhodov. S prestavljanjem stikala imamo naslednje možnosti:

-pozicija 1: napetostni vhod $U_{in} = 0\text{--}10\text{ V}$

-pozicija 2: tokovni vhod $I_{in} = 0\text{--}20\text{ mA}$

-pozicija 3: tokovni vhod z napanjem preko tokovne zanke $U_{out} = 24\text{ V DC}$.

Na zadnji strani je možnost uporabe dveh napetostnih izhodov, kadar imamo potrebo po izhodnem signalu $U_{out} = 0\text{--}10\text{ V DC}$.



Slika 42: LAB terminal box z merilno kartico
(Lastni vir)

Merilne signale preko merilne kartice sprocesiramo s pomočjo internega programa LabVIEW UDSR v PC. V programu UDSR beležimo merjene veličine in obdelujemo meritve.

LTB: Laboratory terminal box

UDSR: Universal data sampler and recorder

5 PRIPRAVA TESTNE PROGE IN TESTIRANJE

5.1 PRIPRAVA VZORCA IN TESTNE PROGE

- Montaža vzorca in cevi na testno progo glede na smer pretoka vzorca



*Slika 43: Montaža vzorca in cevi na testno progo
(Lastni vir)*

- Priklop impulznih cevi na merilne cevi in povezava z merilniki tlaka (dPv, dPa)



*Slika 44: Impulzne cevi in merilniki tlaka
(Lastni vir)*

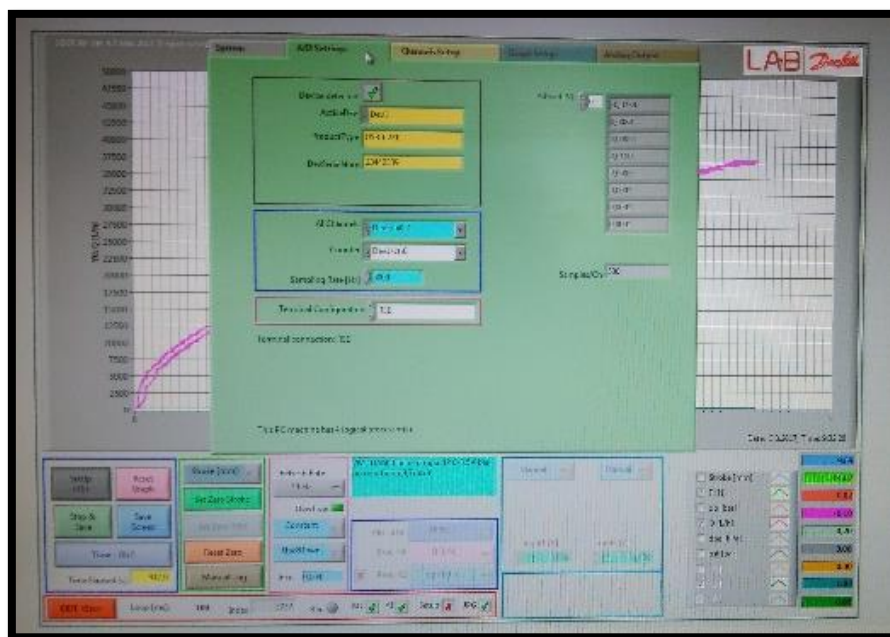
- Počasno odpiranje dovodnih krogelnih ventilov, v primeru puščanja je treba dovodne ventile zapreti in zatesniti spoje. Ko imamo spoje zatesnjene, ponovno počasi odpremo dovodne krogelne ventile in progo odzračimo na odzračevalnih ventilih.
- Izbira ustreznega merilnika pretoka na krmilniku Siemens.
- Izbira črpalk in zagon črpalk ter počasno dvigovanje tlaka do željene vrednosti (okno U panel na prvem zavihku vmesnika HMI). Odzračitev celotnega sistema. Vnesemo želeni diferenčni tlak (okno SP panel na prvem zavihku vmesnika HMI), pri katerem bomo izvajali meritve. Počakamo nekaj sekund, da se tlak stabilizira, in prestavimo na avtomatiko, gumb A/M. Sistem tako regulira črpalke in drži konstantno tlačno razliko čez vzorec, ne glede na to, na kateri poziciji je hod vzorca.

5.2 POSTOPEK TESTIRANJA

5.2.1 Izvedba meritve

- Zagon programa za merjenje UDSR – LabVIEW

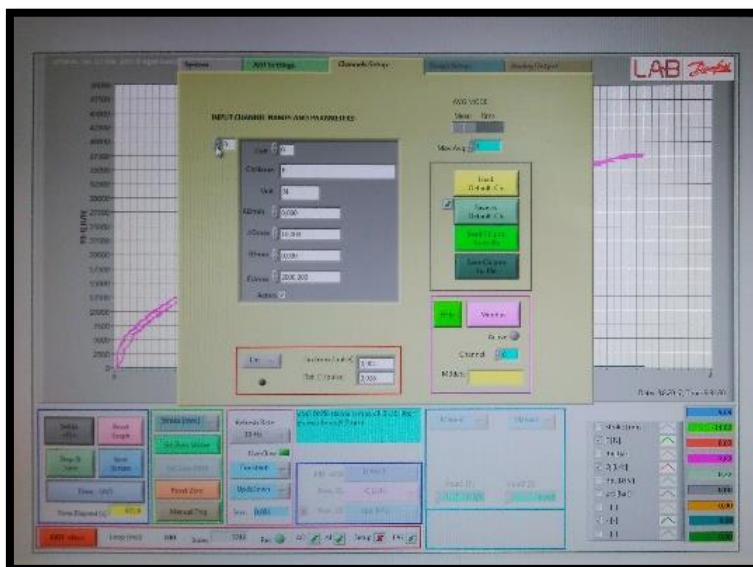
Pri zagonu internega programa UDSR moramo biti pozorni, da sistem zazna ustrezno merilno kartico.



Slika 45: Zagon programa LabVIEW UDSR
(Lastni vir)

- Nastavitev vhodnih merilnih kanalov

Pri zavijku vhodnih merilnih kanalov aktiviramo in nastavimo območja vgrajenih merilnikov.



Slika 46: Nastavitev vhodnih merilnih kanalov – merilnikov
(Lastni vir)

- Nastavitev grafov beleženja

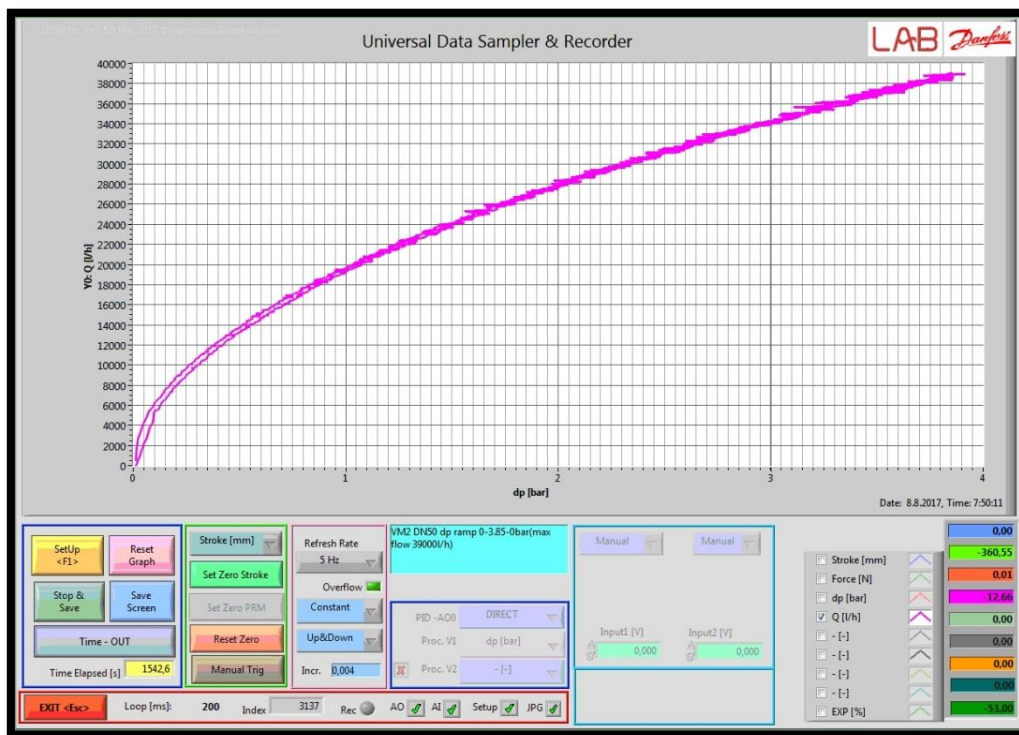
Pri spodnjem zavijku nastavimo končni pogled beleženja z izbiro osi, območij in testnih parametrov.



Slika 47: Nastavitev osi grafov logiranja
(Lastni vir)

- Izvajanje meritev

Končni pogled internega programa UDSR, kjer se izvajajo meritve. Med samo meritvijo lahko spreminjamo območja osi in prikaz merjenih parametrov.

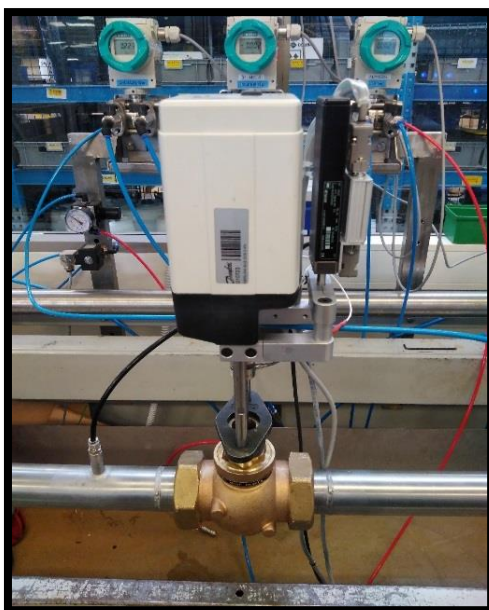


Slika 48: Izvajanje meritev
(Lastni vir)

5.2.2 Zaključek meritev

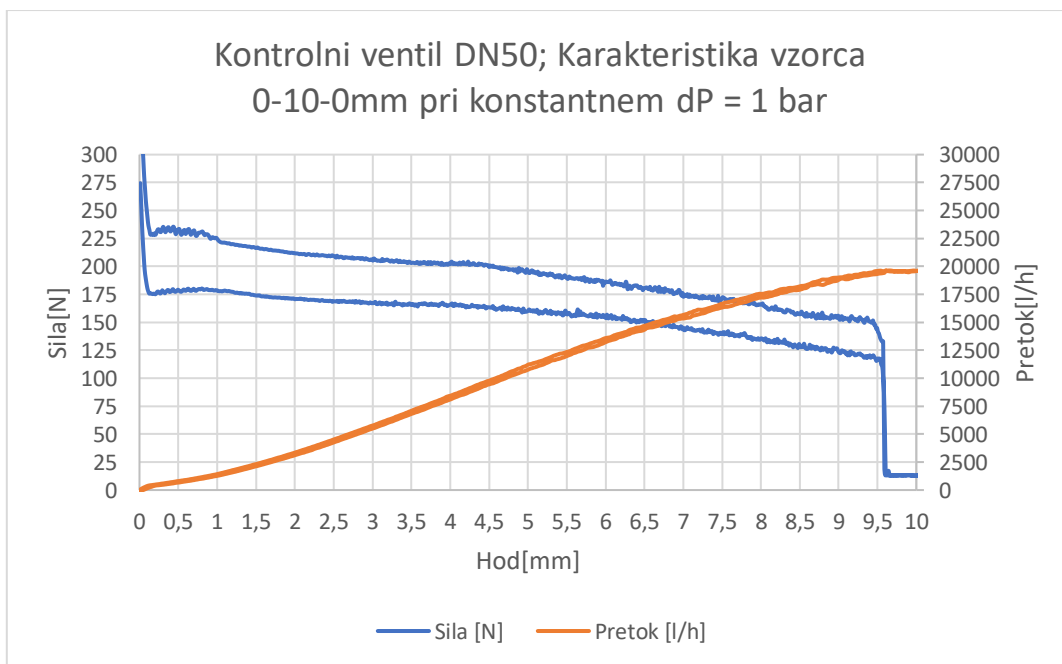
- Shrani merilne rezultate z ukazom Stop & Safe
- Izklopi črpalke in zapri ročne pipe
- Demontaža vzorca in merilnih cevi

5.3 PREDSTAVITEV REZULTATOV



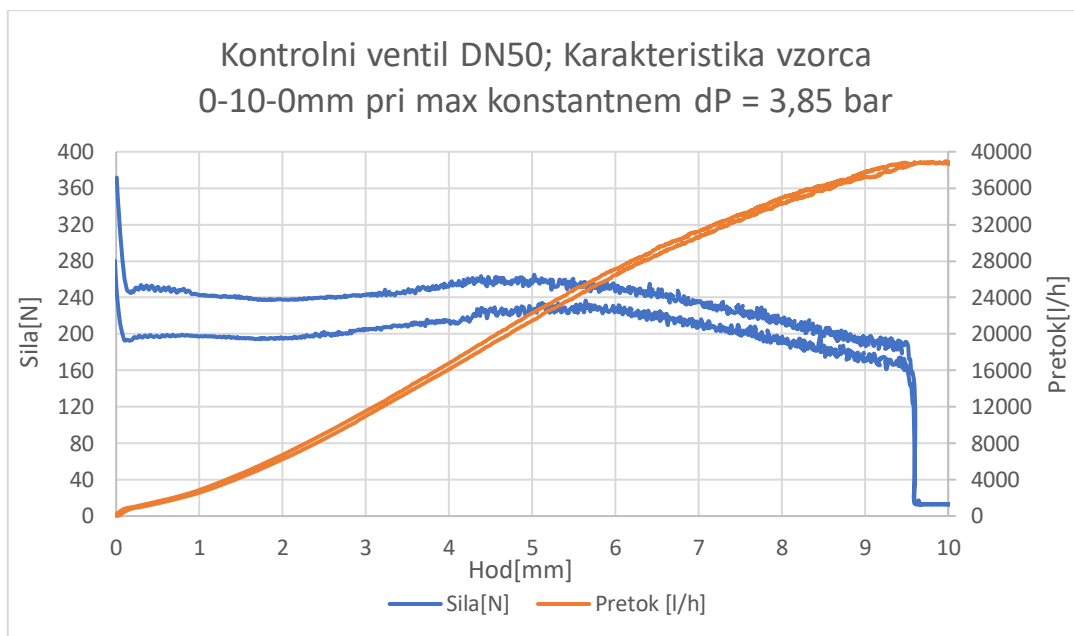
Slika 49: Vgrajen kontrolni DN50 ventil s pogonom LAB
(Lastni vir)

Spodnji graf prikazuje karakteristiki pretoka in sile s počasnim (40 s/mm) odpiranjem in zapiranjem ventila, s konstantnim tlačnem padcem čez vzorec; $dP = 1$ bar.



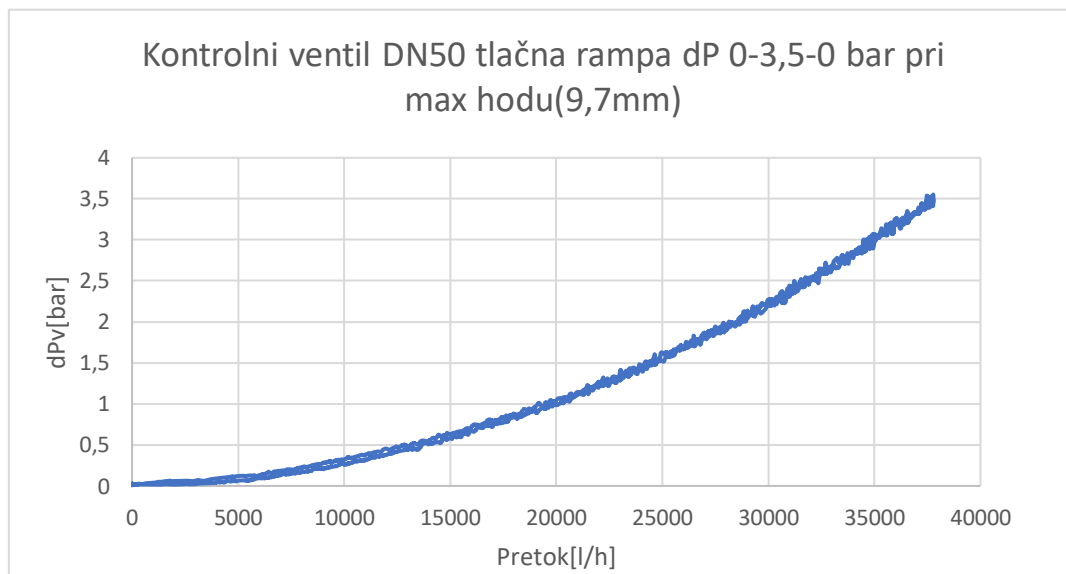
Graf 4: Karakteristiki sile in pretoka pri konstantnem tlaku $dP = 1$ bar
(Lastni vir)

Spodnji graf prikazuje karakteristiki pretoka in sile s počasnim (40 s/mm) odpiranjem in zapiranjem ventila, s konstantnim tlačnem padcem čez vzorec; $dP = 3,85$ bar. $dP_{max} = 3,85$ bar je maksimalni doseženi diferenčni tlak čez DN50 vzorec na novo zgrajeni progi.



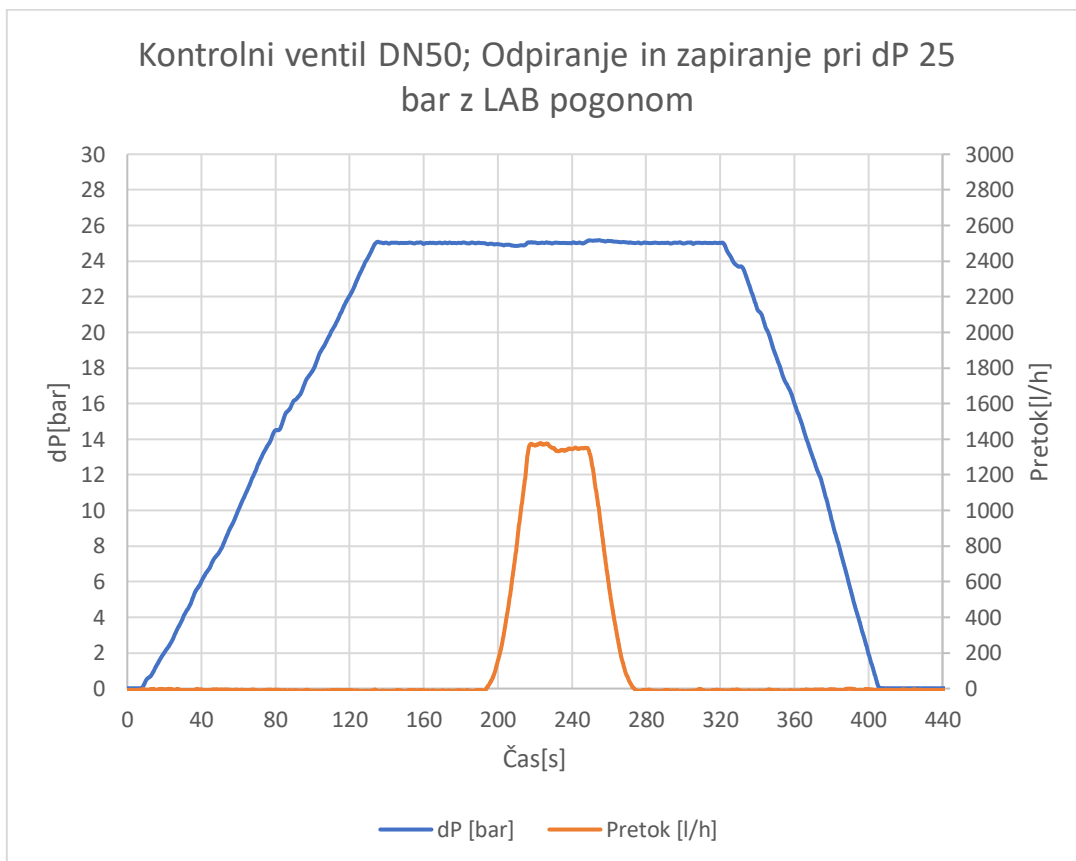
Graf 5: Karakteristiki sile in pretoka pri maksimalnem konstantnem tlaku $dP = 3,85$ bar (Lastni vir)

Spodnji graf prikazuje dP tlačno rampo 0–3,5–0 bar pri maksimalnem hodu kontrolnega ventila DN50, ki je 9,7 mm.



Graf 6: Tlačna rampa 0–3,5–0 bar pri maksimalnem hodu odprtja vzorca (Lastni vir)

Spodnji graf prikazuje počasno dviganje tlaka do 25 bar dP, medtem ko je ventil v zaprti legi. Pri 200 s se ventil minimalno odpre in gre skozenj pretok 1400 l/h, medtem testna proga še vedno drži dP 25 bar. Pri 280 s je ventil zopet v zaprti legi in proga drži konstantni tlak 25 bar dP.



Graf 7: Odpiranje in zapiranje kontrolnega ventila DN50 pri 25 bar dP
(Lastni vir)

6 PRIMERJAVA STARE IN NOVE TESTNE PROGE

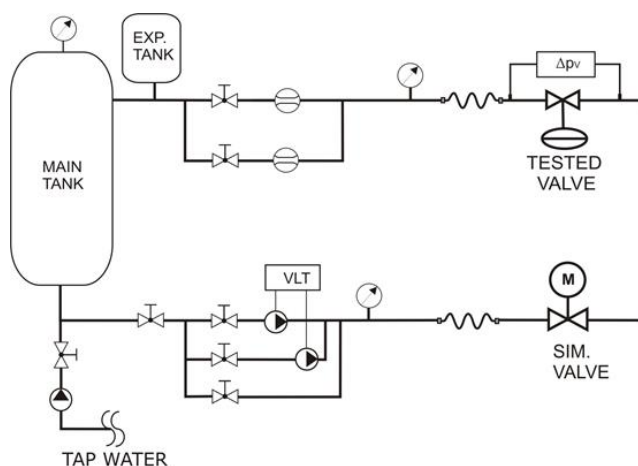
6.1 STARA TESTNA PROGA



Slika 50: Stara testa proga
(Lastni vir)

Tehnični podatki:

- Temperatura vroče vode: 80 °C max.
- Diferenčni tlak: 18 bar max.
- Pretok: 23000 l/h max, pri $dP_v = 1,45$ bar
- Način krmiljenja : ročno ali avtomatsko
- Moč črpalk: 8 kW, PN 16 bar

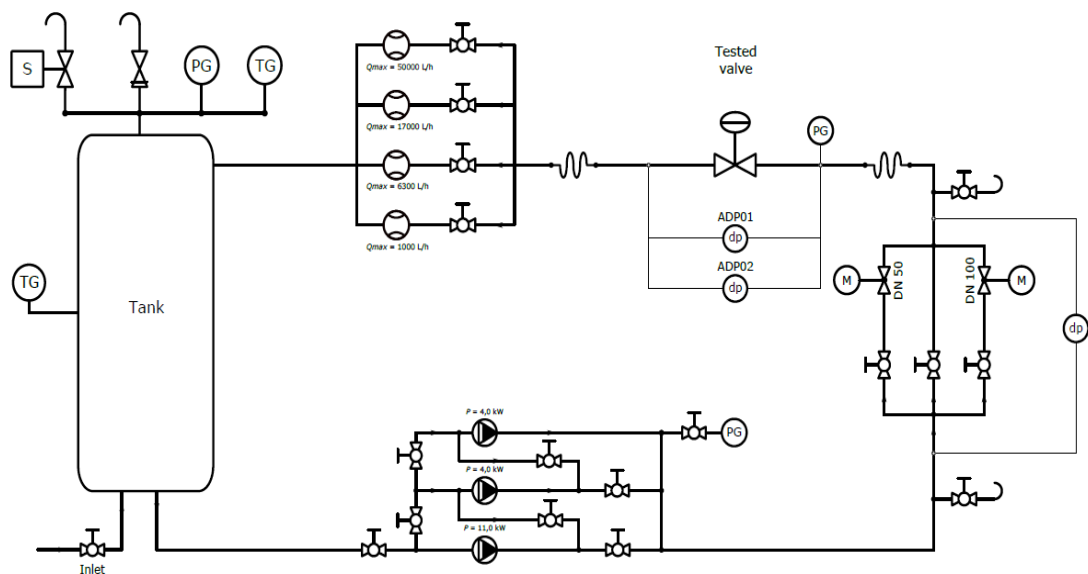


Slika 51: Shema stare testne proge
(Lastni vir)

6.2 NOVA TESTNA PROGA



*Slika 52: Nova testna proga
(Lastni vir)*



Slika 53: Shema nove testne proge
(Lastni vir)

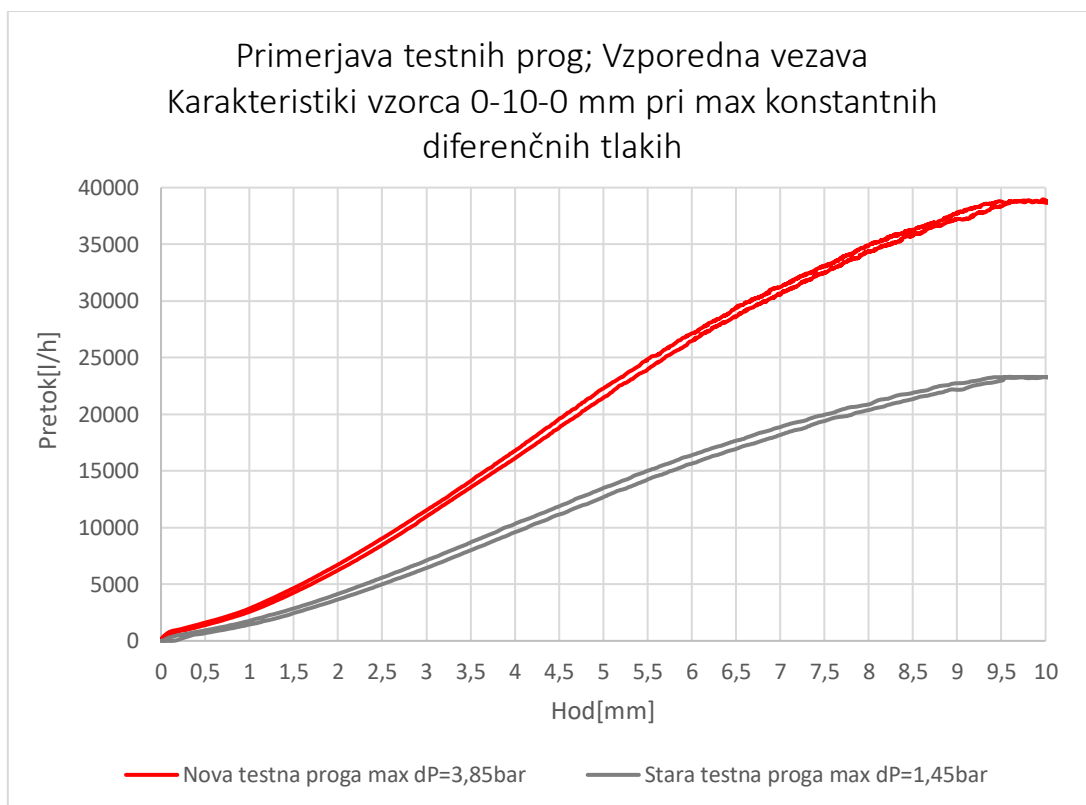
Tehnični podatki:

- Temperatura vroče vode: 90 °C max.
- Diferenčni tlak: 25 bar max.
- Pretok: 39000 l/h max, pri dPv = 3,85 bar
- Način krmiljenja: ročno ali avtomatsko
- Moč črpalk: 19 kW, PN 25 bar

6.3 PRIMERJAVA TESTNIH PROG

Spodnji graf prikazuje primerjavo stare in nove testne proge, pri maksimalnih doseženih konstantnih diferenčnih tlakih, pri vzporedni vezavi črpalk.

Meritev je potekala pri izvajanju karakteristike kontrolnega ventila DN50 0–10–0 mm.



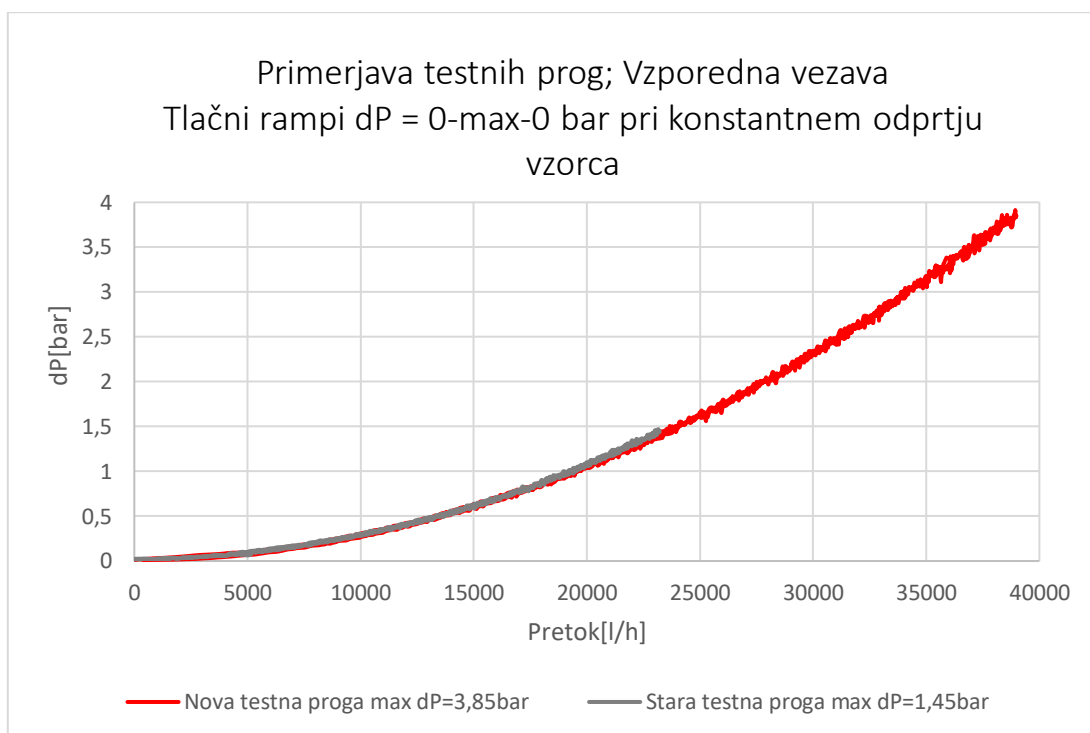
Graf 8: Primerjava testnih prog – karakteristiki vzorca pri maksimalnem doseženem dP
(Lastni vir)

Na stari testni progi je bilo možno testirati celotno karakteristiko DN50 vzorca 0–10–0 mm hoda pri konstantnem tlaku 1,45 bar dP .

Na novi testni progi je možno testirati celotno karakteristiko vzorca DN50 0–10–0 mm hoda pri konstantnem tlaku 3,85 bar dP .

Spodnji graf prikazuje primerjavo stare in nove testne proge pri maksimalnih doseženih diferenčnih tlakih pri vzporedni vezavi črpalk.

Meritev je potekala pri konstantnem maksimalnem hodu kontrolnega vzorca DN50, ki je 10 mm. Izvajala se je tlačna rampa od 0–max–0 bar dP.



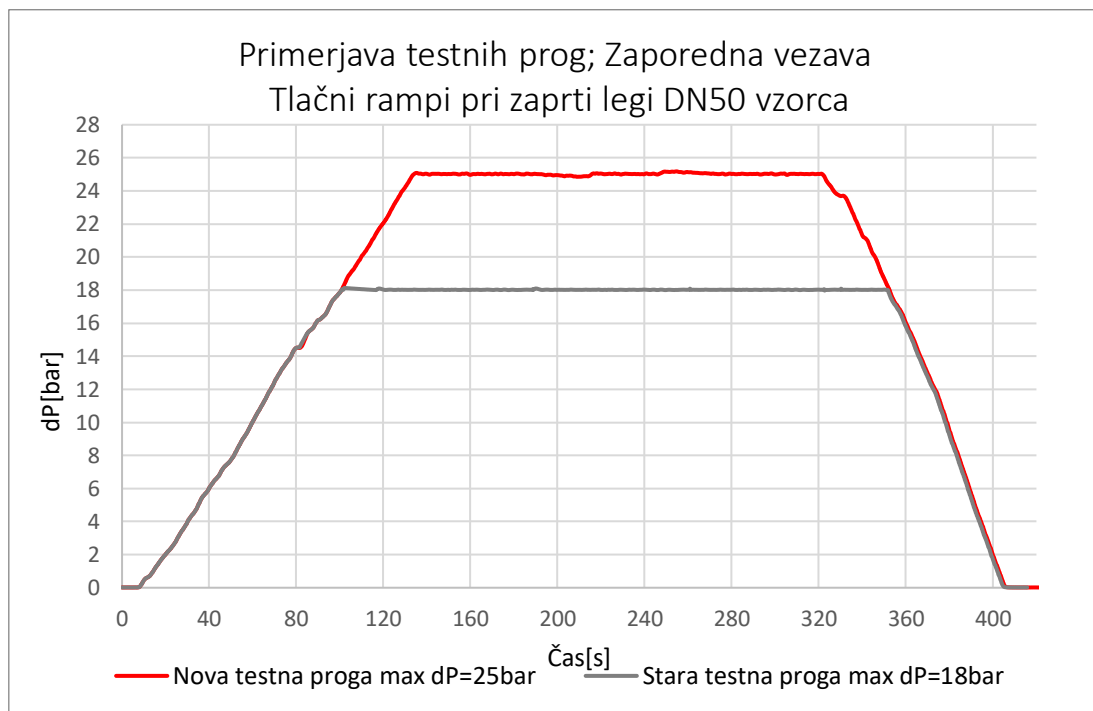
Graf 9: Primerjava testnih prog – tlačni rampi pri konstantni maksimalni odprti poziciji vzorca (Lastni vir)

Na stari testni progi je bilo možno testirati tlačno rampo 0–1,45–0 bar dP pri maksimalnem odprtju vzorca DN50.

Na novi testni progi je možno testirati tlačno rampo 0–3,85–0 bar dP pri maksimalnem odprtju vzorca DN50.

Spodnji graf prikazuje primerjavo stare in nove testne proge pri maksimalnih doseženih diferenčnih tlakih pri zaporedni vezavi črpalk.

Meritev je potekala pri konstantnem zaprtju kontrolnega vzorca DN50. Izvajala se je tlačna rampa 0–max–0 bar dP.



Graf 10: Primerjava testnih prog – tlačni rampi pri zaprtem vzorcu (Lastni vir)

Na stari testni progi je bilo možno testirati tlačno rampo 0–18–0 bar dP pri zaprti legi vzorca DN50.

Na novi testni progi je možno testirati tlačno rampo 0–25–0 bar dP pri zaprti legi vzorca DN50.

Tabela 12 prikazuje primerjavo zmogljivosti stare in nove testne proge.

	Stara proga	Nova proga
Maksimalni diferenčni tlak; vzporedna vezava	1,45 bar dPv pri 23300 l/h	3,85 bar dPv pri 38800l/h
Maksimalni diferenčni tlak; zaporedna vezava	18 bar dPv	25 bar dPv

Tabela 12: Primerjava zmogljivosti testnih prog (Lastni vir)

7 ZAKLJUČEK

Med pisanjem in izdelavo diplomske naloge smo nadgrajevali obstoječo testno progo. Treba je bilo planirati in omogočiti, da je testiranje v laboratoriju potekalo čim bolj nemoteno.

Začeli smo z izdelavo nosilnega dela in montažo elementov, ki niso bili del stare oz. obstoječe testne proge. Z demontažo obstoječe proge smo začeli takrat, ko smo imeli novo progo pripravljeno do te mere, da smo potrebovali obstoječe elemente. Nesmiselno bi bilo, da bi že predčasno začeli z demontažo, ker bi to imelo za posledico veliko nedokončanih in planiranih meritev. Obstoječa proga je delala do zadnjega dne pred demontažo elementov.

Vsem trem črpalkam smo zamenjali tesnila in ležaje. Predhodno je bilo treba kontaktirati dobavitelja, da nam je dobavil servisni material. Rok dobave je bil 2 tedna, a ker smo material naročili predčasno, so bili servisi opravljeni v ustreznem času.

Dobavni rok za merilnike pretoka Krohne in diferenčne merilnike tlaka Siemens DS3 je bil 3 tedne, material smo naročili predčasno in je prišel v roku. Potrebni so bili sestanki z izvajalci cevnih inštalacij, elektro inštalacij in programerjem za programiranje programa krmilnika. Testna proga je bila v nedelovanju 2 meseca. Celotna nadgradnja je potekala 4 mesece. Zadeva je bila zaključena v roku.

Meritve na testni progi so ponovljive in prijaznejše za operaterja zaradi enostavnejšega upravljanja krmilnika Siemens touch.

Kapaciteto merjenja smo z nadgradnjo testne proge dvignili za 165 % pri vzporedni vezavi. Kapaciteto merjenja smo z nadgradnjo testne proge dvignili za 38 % pri zaporedni vezavi.

Ob zaključku diplomske naloge in hkrati izgradnji testne proge ugotavljamo, da smo izpolnili vse cilje, postavljene na začetku izgradnje testne proge.

LITERATURA IN VIRI

- [1] Rap, T. (2016). *Industrija 4.0 in njen vpliv na slovensko industrijo*. Diplomaska naloga. Pridobljeno 11. 6. 2018 z naslova <https://dk.um.si/Dokument.php?id=105289>
- [2] Špica d.o.o. *Industrija 4.0*. Pridobljeno 25. 5. 2018 z naslova <https://blog.spica.com/slo/industrija-4-0-drugi-del/>
- [3] Bojan, K. (2003). *Krautov strojniški priročnik*. 14. slovenska izdaja. Ljubljana: Littera picta.
- [4] Standard SIST 60534-2-1:2011. *Regulacijski ventili za industrijske procese - 2-1. del: Kapaciteta pretoka – Enačbe za določanje pretoka tekočin pri postavljenih pogojih*. (2011). Ljubljana.
- [5] Standard SIST EN 1267:2012. *Preskušanje pretočne upornosti z vodo kot preskusnim medijem*. (2012). Ljubljana.
- [6] Standard EN 10217-7, 2017. *Varjene jeklene cevi za tlačne namene*. (2015). Bruselj.
- [7] Grundfos Product center. Pridobljeno 11. 12. 2017 z naslova <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?lang=ENU&product-number=33507270&productrange=gma&qcid=377488818>.
- [8] Krohne. Handbook OPTIFLUX 5000. Pridobljeno 14. 12. 2017 z naslova <https://www.instrumart.com/assets/Krohne-optiflux5000fl-manual.pdf>.
- [9] Siemens Industry. *SITRANS P DS III Technical description*. Pridobljeno 14. 12. 2017 z naslova https://www.industry.usa.siemens.com/automation/us/en/process-instrumentation-and-analytics/process-instrumentation/catalogs/Documents/FI01_us_kap01-2016-DSIII-all.pdf.
- [10] Materm d.o.o. Tehnični list: MWT 200. (2017). *Uporovni temperaturni termometer*. Fram: Materm.