



# Ekološko snovanje elektronskih naprav

## ENOTA 12: Primer izdelave elektronske naprave

## Izdelava elektronske naprave – sistem za staranje olja

- Naročnik je naročil študijo ter izdelavo laboratorijske naprave za merjenje nizkih pretokov zraka pri procesu staranja transformatorskega olja.
- Transformatorsko olje služi za hlajenje transformatorskega sistema. Olje je ponavadi izdelano iz visoko rafiniranega materiala in mora biti stabilno pri visokih temperaturah.
- Prav tako mora olje imeti odlične izolacijske lastnosti, saj mora preprečevati korono (nizko energetska tlenje) in iskrenje. Lastnost olja je pomembna pri zanesljivosti energetskih naprav in prav iz tega razloga je standardiziran postopek testiranja olja.

## Naprava za staranje olja – princip delovanja

- S konstantnim pretokom zraka skozi olje, pri temperaturi 120°C povzročimo proces hitrega staranja.
- Če skozi 0.5dl olja 10 dni konstantno spuščamo zrak s pretokom 1l/h pri temperaturi 120 °C, dosežemo starost olja, ki je ekvivalent 25 letni uporabi.
- Hitro starano olje se nadalje testira v kemičnih laboratorijih, da se preveri njegova učinkovitost in zanesljivost.
- Izdelava naprave za hitri proces staranja sestoji iz dokumentacije, ki vključuje funkcijsko ter razgledno analizo.

## Koncept izdelave ter razvojna pot

- Poizvedba ter pregled obstoječih rešitev.
  - Potrebni elementi naprave (Senzorji, aktuatorji, krmilje, komunikacija)?
  - Način delovanja.
  - Želje naročnika
- 
- Zaključek pregleda obstoječih rešitev ter predlagana pot razvoja.
    - ❖ Trenutne industrijske rešitve ne ponujajo reguliranja nizkih pretokov, kot zahteva standard. Prav tako cena posamezne enote je zelo visoka.
    - ❖ Naslednja težava je bila izbira cenovno ugodnega, zanesljivega ter natančnega senzorja. Pretok 1l/h spada v področje nizkih pretok, kjer klasični pristopi merjena z zaslonko niso več tako precizni.
    - ❖ Za vodenje pretoka skozi merilno mesto smo izbrali primerni proporcionalni ventil.



## Določene funkcionalnih lastnosti naprave ter ekološke zahteve

- Določene funkcionalne lastnosti naprave:
  - ❖ Natančnost naprave  $\pm 0.25\text{l/h}$ .
  - ❖ Vodenje pretokov od  $0.5\text{-}2\text{l/h}$ .
  - ❖ Naprava mora biti čim manjša.
  - ❖ Visoka zanesljivost, neprestano delovanje vsaj 300ur.
  - ❖ Komunikacija z osebnim računalnikom: USB, Bluetooth.
  - ❖ Industrijska komunikacija RS485.
  - ❖ Windows aplikacija za zajemanje in shranjevanje podatkov tekom testa vsake 1s.



# Določene funkcionalnih lastnosti naprave ter ekološke zahteve

- Poglavitni ekološki vidiki pri snovanju naprave.
  - ❖ Uporaba elementi, ki ne vsebujejo zdravju škodljivih snovi (svinec, živo srebro...).
  - ❖ Zanesljivost.
  - ❖ Čim manjša poraba energije.
  - ❖ Minimizacija naprave ter čim manj uporabljenih elementov pri enaki zanesljivosti.
  - ❖ Teža.



## Izbira elementov naprave - Senzor pretoka zraka

- Poglavitni kriterij pri določitvi senzorja je bilo želeno merilno območje [0.5–2] l/h ter zadostna občutljivost.
- Na trgu je zelo omejen nabor senzorjev za merjenje nizkih pretokov, ki so dimenzijsko in cenovno ugodni.
- Za izdelavo regulatorja smo potrebovali senzor, ki je sposoben komunicirati s krmilnikom po enem izmed klasičnih komunikacijskih vmesnikov: analogen vhod, vodilo I2C ali SPI.
- *Izbrani senzor izpolnjuje vse postavljene kriterije; merilno območje [0.1–2.5] l/h, resolucija 0.1l/h, komunikacija I2C, čas merjenja 5ms, dimenzije w/h/d-3.5x1x2.5cm.*



## Izbira elementov naprave - Proporcionalni ventil

- Ventil mora zagotavljati zvezno vodenje, primeren mora biti za male pretoke zraka, cenovno sprejemljiv, malih dimenzij in z linearnim delovanjem.
- Izbrali smo ventil družine VSO Low Flow proizvajalca Parker. Ventil lahko zvezno regulira pretoke zraka od [0.01–10] l/h, dimenzija w/h/d-2x3x2cm ter delovno področje od 0-2Bar.
- Za vodenje ventila z mikrokrmilnikom je potrebno skonstruirati prilagoditveno-krmilno vezje. Ventili bomo proporcionalno vodili s pomočjo PWM signala iz mikrokrmilnika.





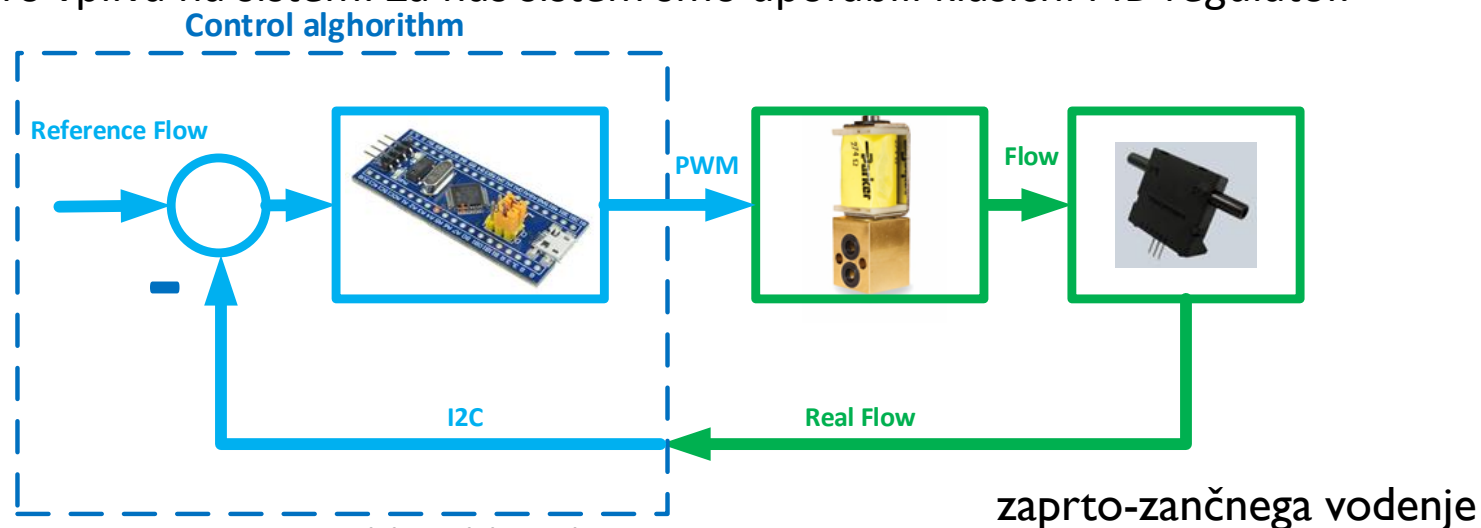
## Izbira elementov naprave - Krmilnik

- Za potrebe vodenja smo izbrali mikrokrmilnik, ki je sposoben izvajanja vseh funkcij regulacijskega algoritma, zajemanja podatkov ter komunikacija z zunanjimi napravami.
- Pri izbiri krmilnika smo upoštevali več dejavnikov, kot so frekvenca delovanja procesne enote, število vhodno-izhodnih priključkov.
- Iskali smo krmilnik s približno toliko priključki, kot smo jih potrebovali, nizko porabo energije ter cenovno ugoden. Prav tako smo med kriterije določitve ustreznosti mikrokrmilnika vključili zahtevo po zadostni zmogljivosti obdelave podatkov (AD pretvorbe, časovniki itd.).
- *Za izdelavo prototipa regulatorja nizkih pretokov zraka smo izbrali 32-bitni ARM mikrokrmilnik proizvajalca STMicroelectronics družine F1xx in model STM32F103C8T6.*



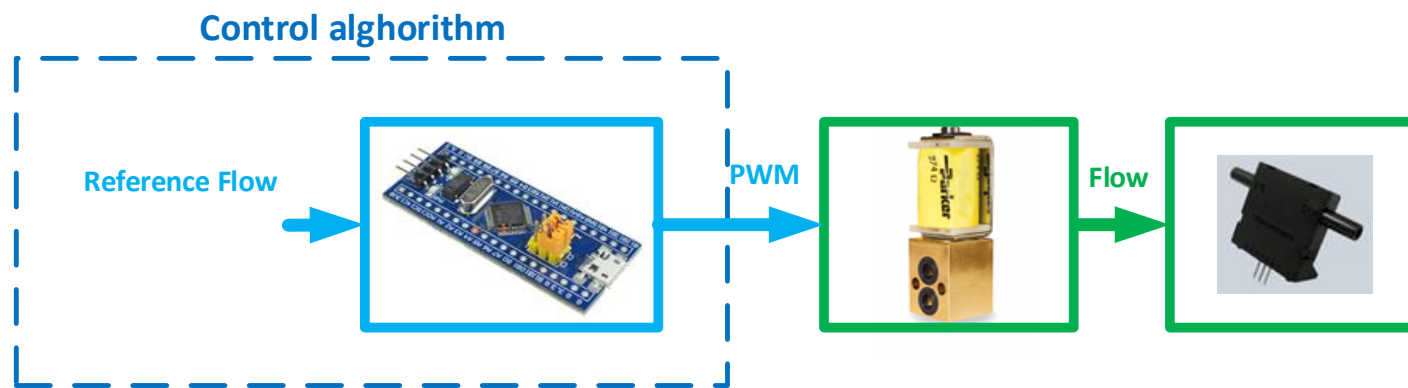
## Vodenje pretoka ter zasnova sistema

- Pri načinu vodenja smo se odločili za princip zaprto-zančnega vodenja.
- Zaprto-zančno vodenje nam omogoča višjo zanesljivost, boljšo odpravo motenj ter natančnost.
- Zaprto-zančno vodenje deluje po principu merjenja izhodne veličine ter povratnega prenosa informacije v sistem, kjer se izračuna napaka vodenja. Napaka vodenja se izračuna glede na željeno vrednost in trenutno meritev iz senzorja. Napako vodenja nadalje vodimo v regulator. Regulator preračuna potrebno izhodno veličino s katero vpliva na sistem. Za naš sistem smo uporabili klasični PID regulator.



## Vodenje pretoka ter zasnova sistema

- Zaprto-zančno naprav odprto-zančnega vodenja je kompleksnejše in zahteva več računske moči.
- Odprto-zančno vodenje je preprostejše toda manj zanesljivo, saj ne uporablja povrtane informacije iz izhoda ter ne računa napake vodenja. Prav tako bi v našem primeru bilo odprto-zančno vodenje bistveno cenejše, saj ne bi potrebovali sensorja pretoka, ki je v sistemu vodenja najdražja komponenta.

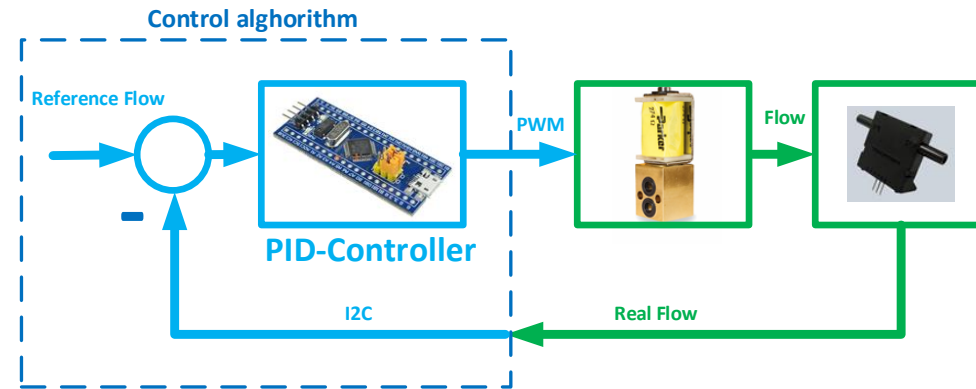


Odprto-zančnega vodenje

# PID regulator

- Izbrali smo PID regulator.

$$u(t) = \underbrace{K_p}_{P} e(t) + \underbrace{K_i \int_0^t e(\tau) d\tau}_{I} + \underbrace{K_d \frac{de(t)}{dt}}_{D}$$



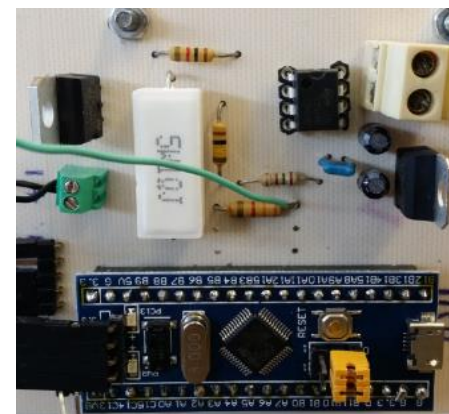
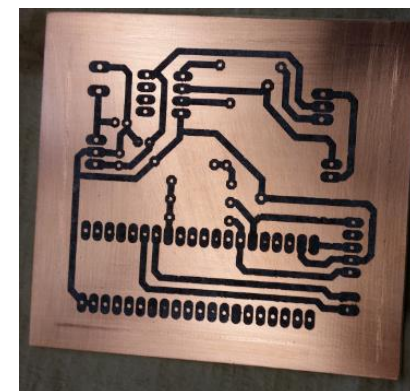
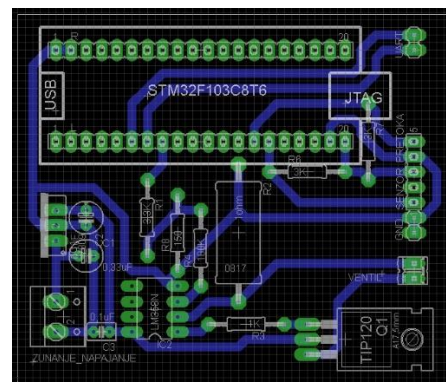
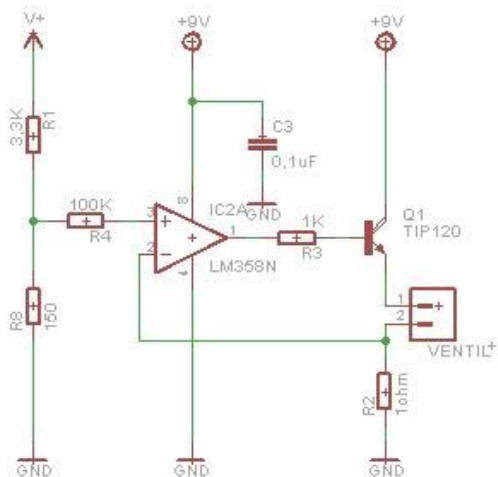
- Iz enačbe je razvidno, da je PID algoritem sestavljen iz treh delov P, I in D. P-del pomeni proporcionalni, kar pomeni, da regulacijsko napako množimo s konstanto. P-del izboljša dinamične lastnosti zaprte zanke. I-del odpravlja napako vodenje, kar je zelo koristno v našem primeru, toda na drugi strani zniža dinamiko sistem. Dinamika sistema pomeni, da regulator potrebuje več časa, da doseže referenčno vrednost. D-del zvišuje dinamiko sistem ter ojačuje merilni šum iz sensorja. Pravilna nastavitvev PID-ja je kompromis med natančnostjo in hitrostjo. PID strukturo regulatorja smo implementirali v obliki diferenčne enačbe na mikrokontrolnik. Regulator se je izvajal v časovnem intervalu 30ms.

## Izdelava prototipa – Prototip 1

- Izdelava in načrtovanje regulatorja pretoka je potekalo v več stopnjah. Prvi prototipi niso dali zadovoljivih in zadostnih rezultatov. Težave so se pojavile z velikostjo naprave, visoke delovne temperature krmilne elektronike, preveč elementov itd.. Tako smo posledično izdelali več prototipov, kjer smo se poglavitno ukvarjali z krmilno elektroniko ventila.
- Za prvi prototip smo uporabili krmilno shemo ventila proizvajalca Parker. Za delovanje mikrokrmilnika smo dodali napetostni stabilizator, ter priključne sponke za zunanjo napajanje ventila. Predpisana napajalna napetost je znaša 9V.
- Ventil smo vodili s PWM signalom, frekvence 10kHz. Krmilna elektronika uporablja operacijski ojačevalnik LM358, ki skrbi za stabilen tok skozi tuljavo. Za stikalni element smo uporabili tranzistor TIP120.

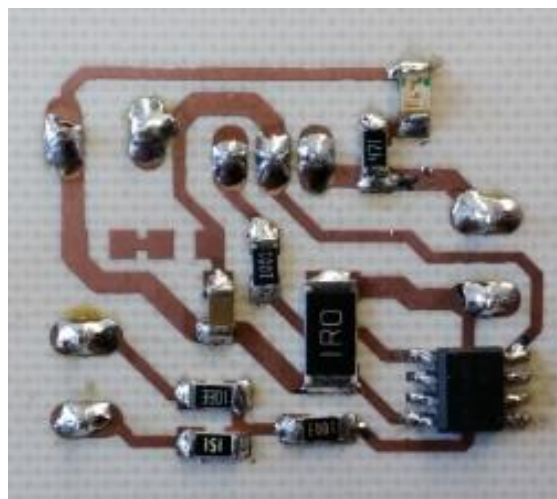
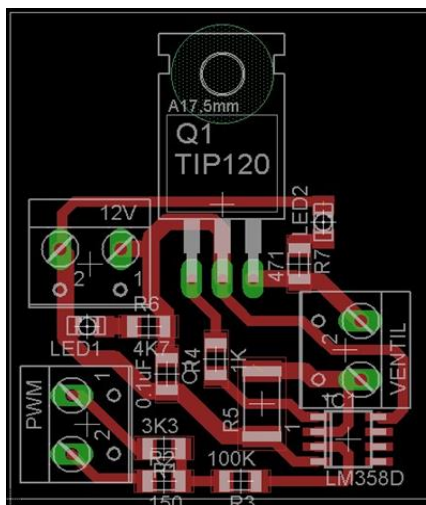
# Izdelava prototipa – Prototip 1

- Shema krmilne elektronike proizvajalca Parker: ■ Izdelano tiskano vezje.



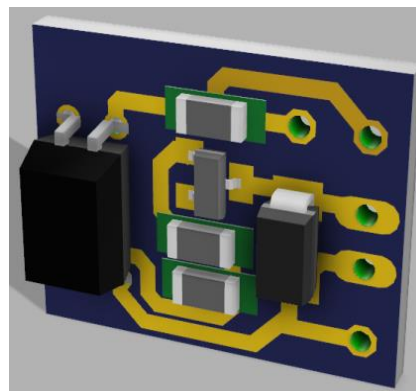
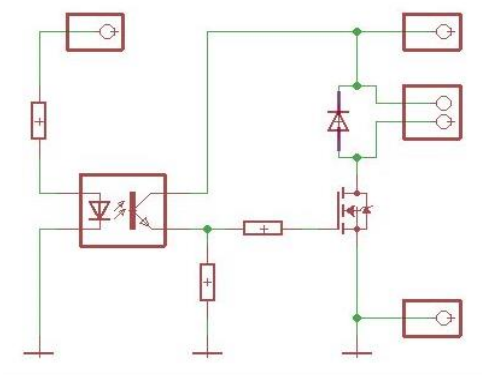
## Izdelava prototipa – Prototip 2

- Drugi prototip je baziral na istem vezju le, da smo krmilno vezje predimenzionirali in zmanjšali dimenzijo. Vse elemente razen stikalnega elementa TIP120 smo zamenjali z elementi na osnovi SMD tehnologije. SMD tehnologija omogoča izdelavo manjših elementov z istimi karakteristikami. Iz stališča ekološkega snovanja pomeni, da smo zamenjali element z elementi, ki so lažji in izdelani iz manj materiala.



## Izdelava prototipa – Prototip 3

- V tretjem prototipu smo se odločili, da načrtamo samostojno vezje, kjer bomo uporabljali primernejši stikalni element, ki je sposoben hitrejšega preklapljanja, kot BJT tranzistor.
- Odločilo smo se, da načrtamo vezje z MOSFET stikalnim elementom. Ker je vodenje pretoka izvedeno v zaprti zanki, krmilna elektronika ventila ne potrebuje stabilizacije toka skozi ventil, kot pri prejšnjem prototipu.
- Vezalna shema s MOSFET tranzistorjem:

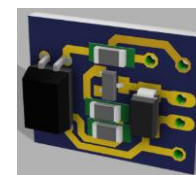
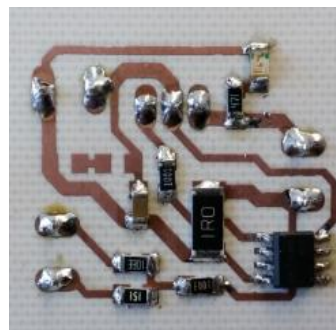
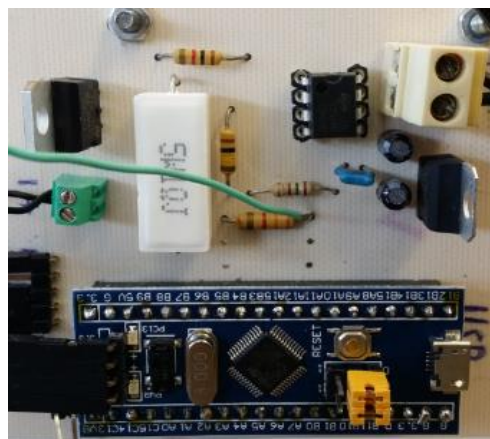




## Izdelava prototipa – Prototip 3

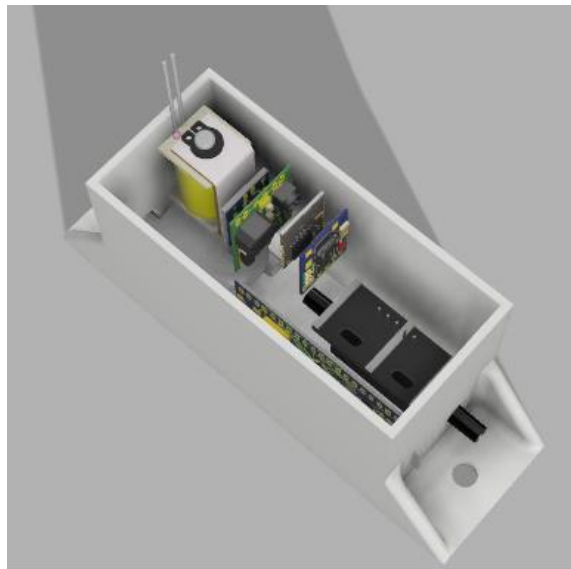
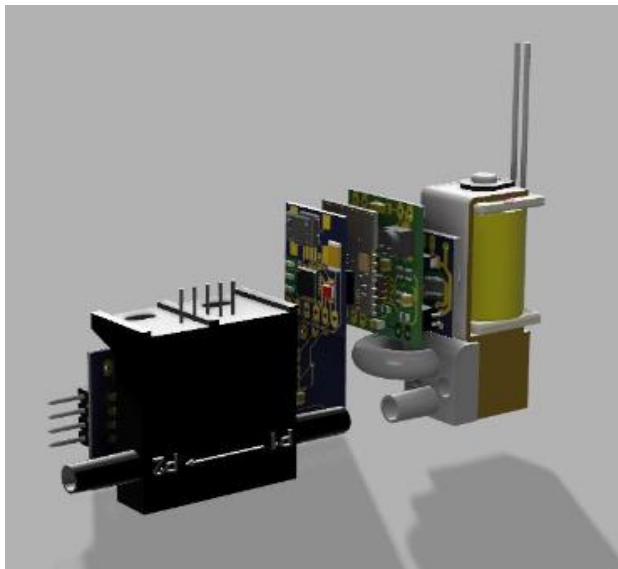
- Primerjava prototipov:

Characteristics	Ver. 1 (TIP120)	Ver. 2 (TIP120)	Ver. 3 (MOSFET)
<i>Dimension</i>	5x5cm	2.3x2.2cm	1.2x1.5cm
<i>Number of elements</i>	8	8 (SMD)	5 (SMD)
<i>Temperature of the switch</i>	70°C	70°C	35°C
<i>Weight</i>	16g	11g	3g
<i>Average Price</i>	17€	13€	8€



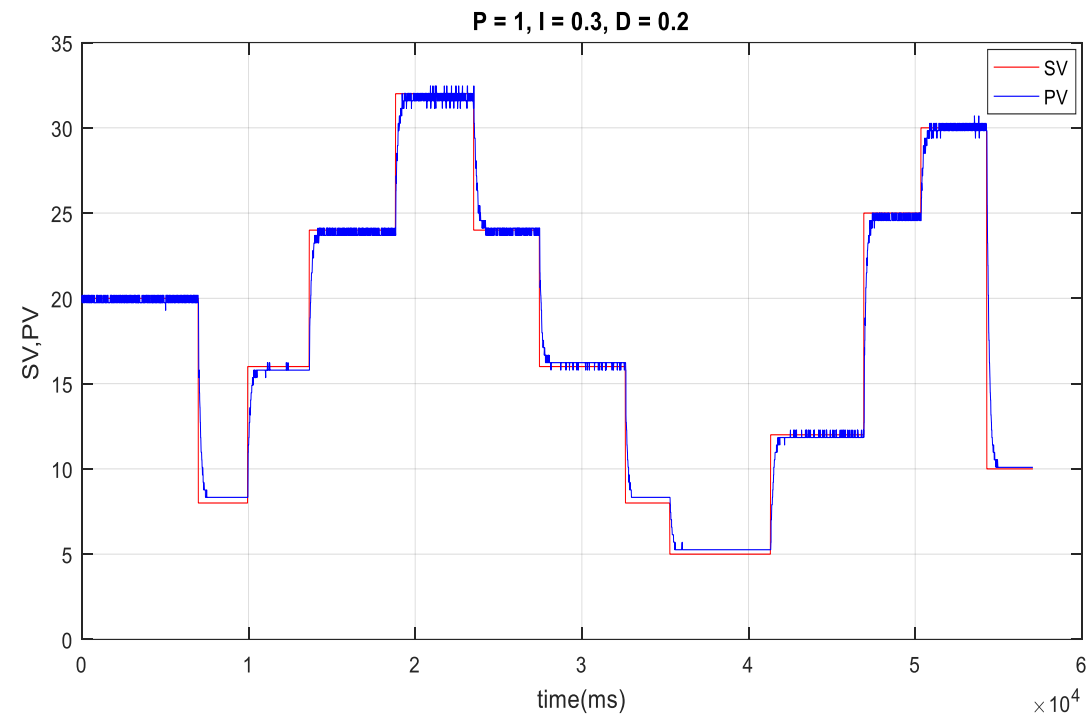
## 3D modeliranje naprave

- Postavitev elementov v ohišje:



## Delovanje naprave

- Primer vodenja pretokov v zaprti-zanki:
- Sistem je zadostil postavljenim kriterijem.
- Sistem je bil testiran 400ur.
- V času testa se niso pojavile nobene napake.
- Sistem je vzdržal teste, kot so izpad sensorja, prekinitev napajanja.



# Aplikacija za zajemanje in shranjevanje podatkov

- Za potrebe kontinuiranega prikazovanja in beleženja trenutnih podatkov je bila izdelana Windows aplikacija.
- Aplikacija je zasnovana tako, da prikazuje merjene rezultate in jih shranjuje v datoteko. V primeru izpada računalnika se datoteka za shranjevanje podatkov kreira vsako uro.

