

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Projekt iz predmeta 'Ekspertni sustavi'

**Upravljanje razinom vode u spremniku korištenjem
neizrazitog regulatora**

Ivan Đurić

Voditelj: *doc. dr. sc. Alan Jović*

Zagreb, prosinac, 2016.

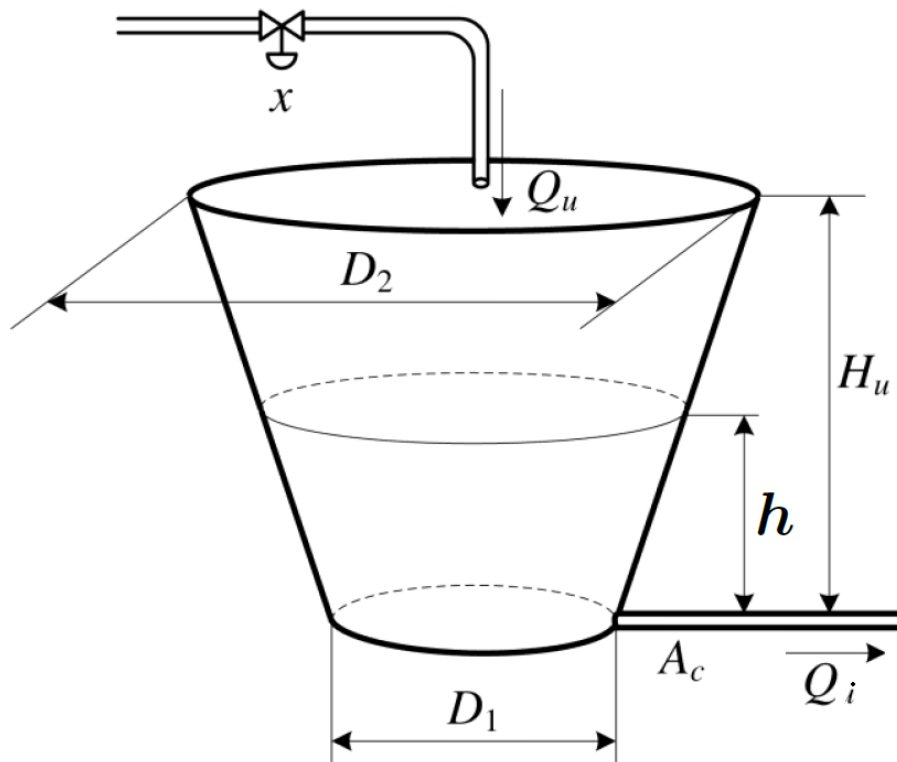
Sadržaj

1. Opis projektnog zadatka	1
2. Projektiranje regulatora	5
3. Prikaz rezultata	7
4. Zaključak	9

1. Opis projektnog zadatka

U ovom projektnom zadatku ostvareno je upravljanje razinom tekućine u nekom spremniku korištenjem neizrazitog regulatora. Za realizaciju zadatka korišten je programski paket `MATLAB` i njegov dio 'Fuzzy Logic Toolbox'.

Spremnik je u obliku krnjeg stošca (slika 1). Donja baza je promjera $D_1 = 1.8 \text{ m}$, gornja baza promjera $D_2 = 3.2 \text{ m}$ te ukupne visine $H_u = 4 \text{ m}$. Površina poprečnog presjeka izlazne cijevi je $A_c = 260 \text{ cm}^2$. Radi jednostavnosti ulazni protok je zadan kao konstantan s iznosom $Q_u = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je izlazni protok funkcija visine tekućine h . Otvorenost ventila označavamo s $x \in [0, 1]$.



Slika 1: Spremnik tekućine

Potrebno je izvesti nelinearne diferencijalne jednačbe kojima ćemo modelirati ovakav spremnik tekućine.

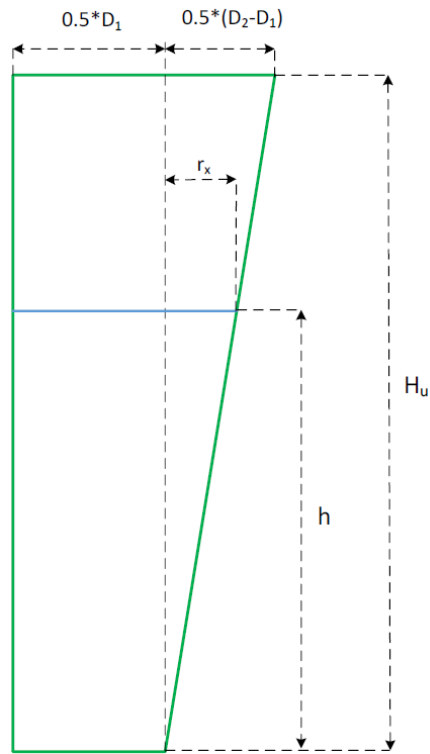
Odmah možemo zapisati:

$$\frac{dV}{dt} = Q_u - Q_i \quad (1.1)$$

$$Q_i = A_c \sqrt{2gh} \quad (1.2)$$

Volumen u spremniku u ovisnosti o visini tekućine:

$$V = \int_0^h A(h) dh \quad (1.3)$$



Slika 2: Poprečni presjek spremnika

Sa slike 2 uočavamo sličnost trokuta i zapisujemo:

$$\frac{\frac{1}{2}(D_2 - D_1)}{r_x} = \frac{H_u}{h} \quad (1.4)$$

$$\Rightarrow r_x = \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{H_u} \cdot (D_2 - D_1) \quad (1.5)$$

Kako je:

$$A(h) = r(h)^2 \cdot \pi \quad (1.6)$$

$$r(h) = \frac{1}{2} D_1 + r_x \quad (1.7)$$

Slijedi:

$$A(h) = \pi \cdot \left[\frac{1}{2} D_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{H_u} \cdot (D_2 - D_1) \right]^2 \quad (1.8)$$

$$\Rightarrow A(h) = \frac{\pi}{4} \cdot \left[D_1 + \frac{h}{H_u} \cdot (D_2 - D_1) \right]^2 \quad (1.9)$$

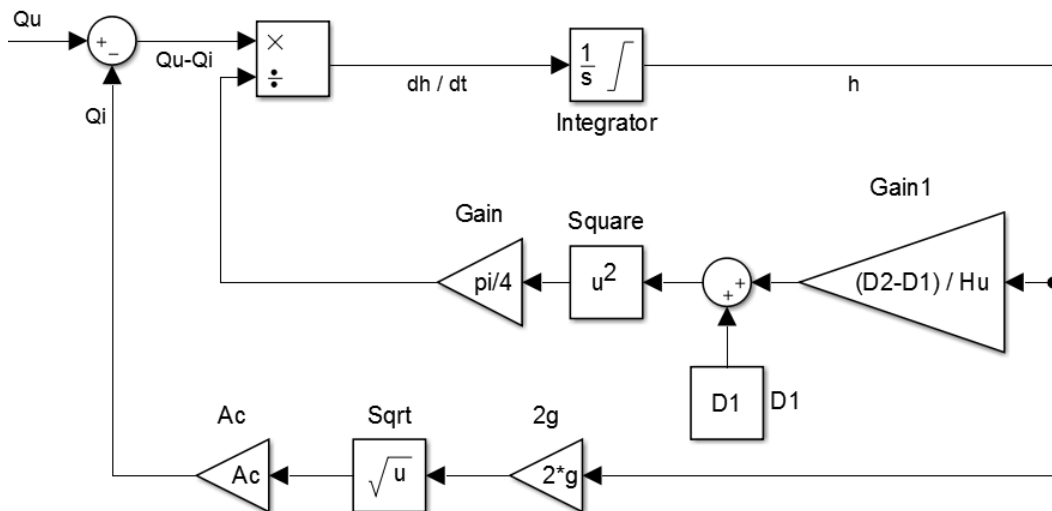
Iz formule 1.3 slijedi:

$$\frac{dV}{dh} = A(h) = \frac{\pi}{4} \cdot \left[D_1 + \frac{h}{H_u} \cdot (D_2 - D_1) \right]^2 \quad (1.10)$$

I u konačnici imamo:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{dV}{dT} \cdot \frac{dh}{dV} = \frac{\frac{dV}{dt}}{\frac{dV}{dh}} = \frac{Q_u - Q_i}{\frac{\pi}{4} \cdot \left[D_1 + \frac{h}{H_u} \cdot (D_2 - D_1) \right]^2} \quad (1.11)$$

Iz jednadžbe 1.11 lako možemo nacrtati model spremnika u Simulink-u.



Slika 3: Simulink model spremnika

Odlučeno je da vodeća veličina bude volumen iz razloga jer je regulacija volumena naj-intuitivnija i najviše primjenjiva u praksi. Međutim, jednostavnom modifikacijom modela moguće je promijeniti vodeću veličinu u visinu i ostvariti takvo upravljanje.

S tim na umu, izračunamo ukupan volumen spremnika:

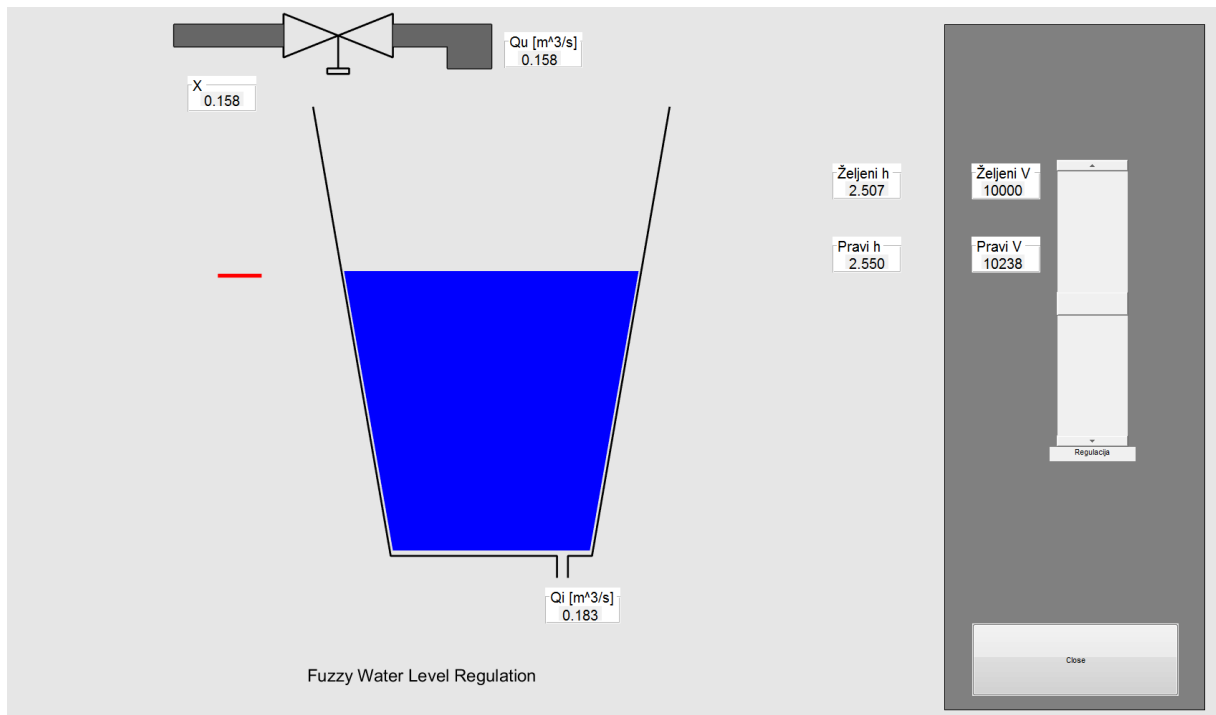
$$V = \int_0^{H_u} A(h) dh = \int_0^4 \frac{\pi}{4} \cdot \left[1.8 + \frac{h}{4} \cdot (3.2 - 1.8) \right]^2 dh = 20.1481 [m^3] \approx 20\,000 [l] \quad (1.12)$$

Pomoću MATLAB-ovog *solvera* dobijamo i izraz za visinu u spremniku u ovisnosti o volumenu.

$$h = \sqrt[3]{31.18138 \cdot V + 136.0233} - 5.14286 \text{ [m]} \quad (1.13)$$

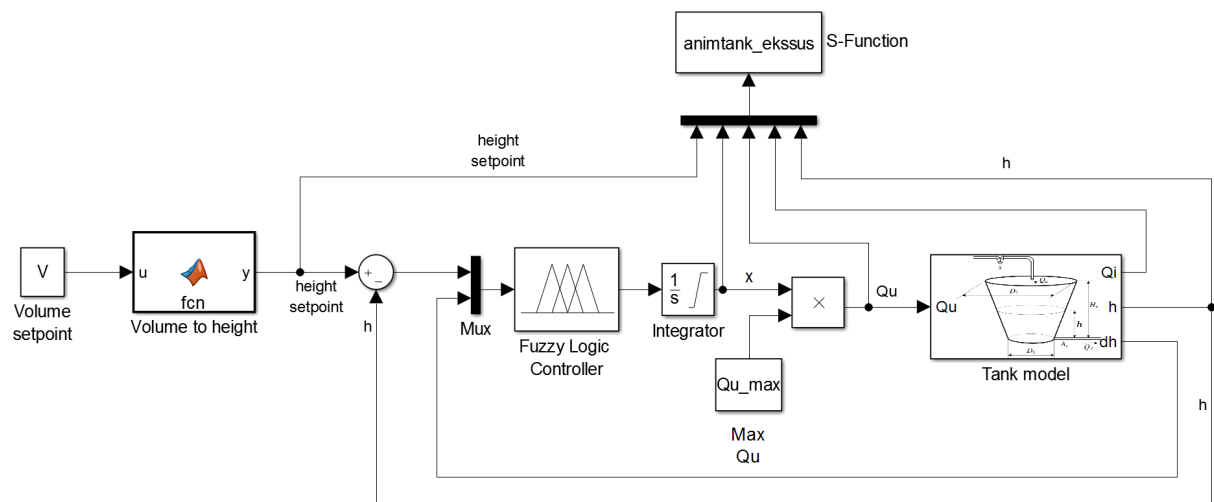
Ovaj izraz će nam biti potreban za pretvaranje *setpointa* volumena u veličinu koju koristi neizraziti regulator - visinu u spremniku.

U svrhu izrade ovog projekta izrađena je S-funkcija u MATLAB-u koja animira regulaciju visine tekućine u spremniku (slika 4). U animacijskom prozoru vidljive su sve veličine od interesa i njihove usporedbe sa željenim veličinama. Također, željeni volumen moguće je regulirati preko klizača.



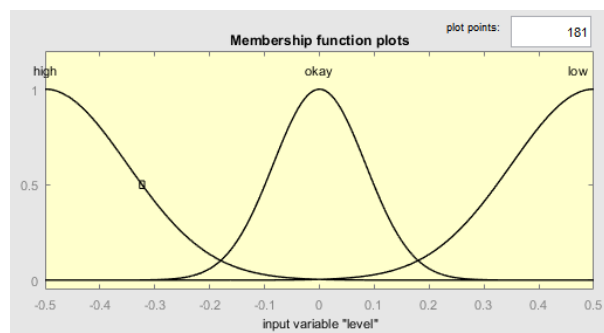
Slika 4: Animacijski prozor

2. Projektiranje regulatora



Slika 5: Simulink shema sustava

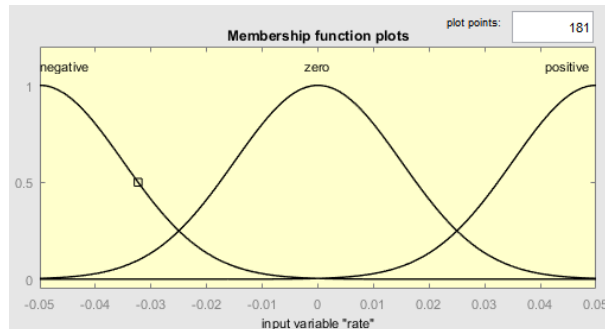
Odlučili smo se za projektiranje neizrazitog regulatora s dva ulaza i jednim izlazom. Prvi ulaz je razlika između *setpointa* visine i stvarne visine u spremniku, a drugi je brzina promjene visine dh . Izlaz regulatora je brzina otvaranja ili zatvaranja ventila.



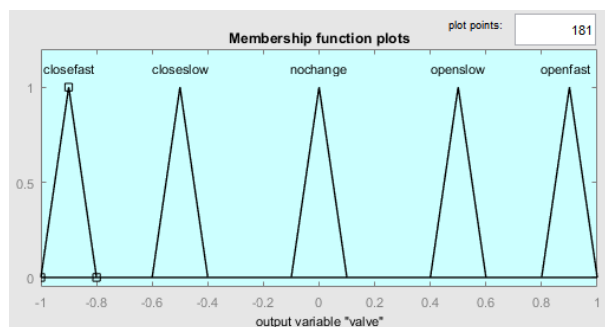
Slika 6: Funkcije pripadnosti ulaza 1 'level'

Funkcije pripadnosti ulaza 'level' (slika 6) nazvane su intuitivno: 'high', tj. situacija kada je stvarna visina u spremniku veća od one željene, 'okay' za slučaj kada je visina otprilike ista kao željena te 'low' za situaciju kada je stvarna visina manja od željene. Sve funkcije pripadnosti za ovaj ulaz su Gaussove funkcije. Domena funkcija pripadnosti je $\in [-0.5, 0.5]$. Metodom pokušaja i pogrešaka utvrđeno je da se najbolji rezultati dobijaju ako funkciju pripadnosti 'okay' koncentriramo oko 0.

Funkcije pripadnosti ulaza '*rate*' (slika 7) nazvane su: '*negative*' za situaciju kada je dh negativan, '*zero*' za slučaj kada je dh otprilike nula te '*positive*' za situaciju kada je dh pozitivan. Kao i za prvi ulaz, sve funkcije pripadnosti su Gaussove funkcije. Domena funkcija pripadnosti je $\in [-0.05, 0.05]$.



Slika 7: Funkcije pripadnosti ulaza 1 '*rate*'



Slika 8: Funkcije pripadnosti ulaza 1 '*valve*'

Funkcije pripadnosti izlaza '*valve*' (slika 8) su trokutaste funkcije pripadnosti linearno raspoređene na domeni $\in [-1, 1]$ i nazvane su: '*closefast*', '*closeslow*', '*nochange*', '*openslow*' i '*openfast*'.

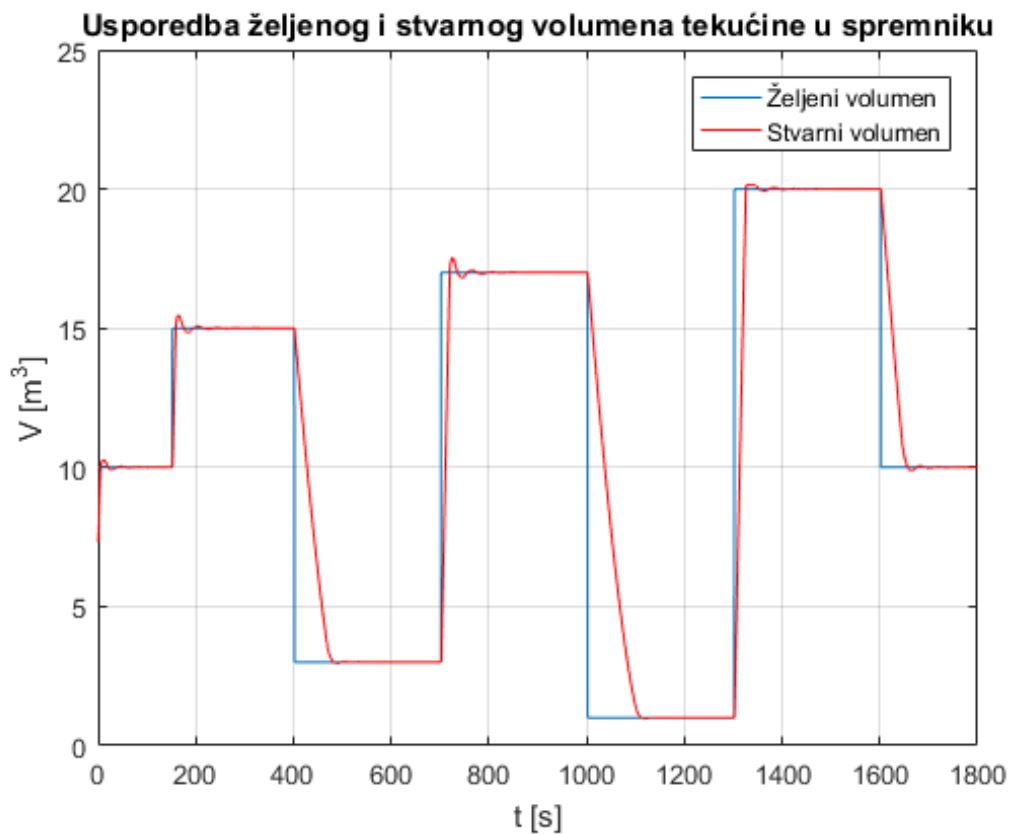
Treba primijetiti kako je domena ovih funkcija $[-1, 1]$, što se možda na prvi pogled čini kao pogreška jer bi negativna vrijednost otvorenosti ventila značila da on u biti "usisava" vodu. Međutim, izlaz regulatora nije otvorenost ventila, već samo daje informaciju o brzini kojom se ventil otvara ili zatvara: -1 znači brzo zatvaranje, 1 brzo otvaranje. Izlaz ograničenog integratora (slika 5) daje informaciju o otvorenosti ventila.

3. Prikaz rezultata

Provođenjem eksperimenta sa sljedećom paradigmom:

- 0) $t = 0 \text{ s} \implies V_0 = 10 \text{ m}^3$
- 1) $t = 150 \text{ s} \implies V_{set} = 15 \text{ m}^3$
- 2) $t = 400 \text{ s} \implies V_{set} = 3 \text{ m}^3$
- 3) $t = 700 \text{ s} \implies V_{set} = 17 \text{ m}^3$
- 4) $t = 1000 \text{ s} \implies V_{set} = 1 \text{ m}^3$
- 5) $t = 1300 \text{ s} \implies V_{set} = 20 \text{ m}^3$
- 6) $t = 1600 \text{ s} \implies V_{set} = 10 \text{ m}^3$

dobiveni su rezultati prikazani na slici 9.



Slika 9: Rezultati eksperimenta

Također, izračunato je vrijeme smirivanja za jedan od prijelaza. U razmatranje je uzet prijelaz s $V_{set} = 10 \text{ m}^3$ na $V_{set} = 15 \text{ m}^3$. Dobiveno vrijeme smirivanja je:

$$t_{1\%} = 33.1984 \text{ s}$$

S obzirom na volumen spremnika, postigli smo sasvim zadovoljavajuće vrijeme smirivanja.

4. Zaključak

Izradom ovog projektnog zadatka utvrdio sam gradivo vezano za neizrazito znanje te se upoznao s prednostima i nedostacima neizrazite regulacije.

Jedna od prednosti je što nam neizraziti regulator omogućuje korištenje lingvističkih varijabli te samim time ne moramo točno računati vrijednosti izlaza regulatora već to činimo neizrazitim zaključivanjem. Još jedna prednost je jednostavnost izrade ovakvog regulatora, a s njime postićemo dobro vladanje.