

# Regulácia výšky hladiny

Cvičenie č. 10

Spojité procesy

Filip Lobpreis  
Matúš Machata  
7. apríla 2023

# Obsah

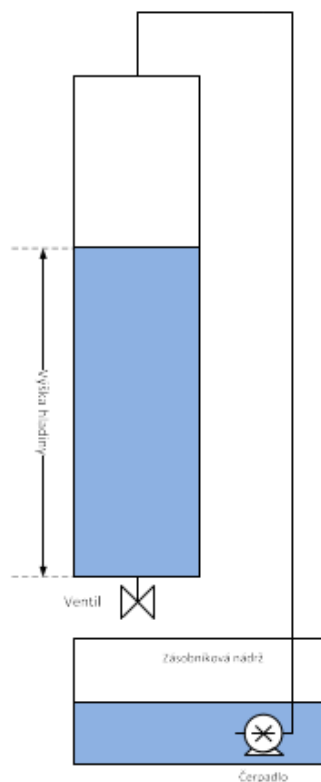
<b>1</b>	<b>Zadanie</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Teória</b>	<b>3</b>
2.1	Úvod do priebehu simulácie . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Merania</b>	<b>5</b>
3.1	Meranie 1 . . . . .	5
3.2	Meranie 2 . . . . .	6
3.3	Meranie 3 . . . . .	7
3.4	Meranie 4 . . . . .	8
3.5	Meranie 5 . . . . .	9
3.6	Meranie 6 . . . . .	10
3.7	Meranie 7 . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Zhrnutie</b>	<b>12</b>

# 1 Zadanie

*Cieľom zadania je osvojiť si postup návrhu regulácie výšky hladiny na laboratórnom modeli a experimentálne overiť navrhnuté riešenie.*

Uvažujeme laboratórny model hydraulického systému podľa obr. 1, ktorý sa skladá z valcovej nádrže, manuálneho ventilu, tlakového snímača výšky hladiny, čerpadla a zásobníkovej nádrže. Čerpadlo vytláča vodu do valcovej nádrže. Odtiaľ tečie voda cez manuálny ventil do zásobníkovej nádrže.

**Regulovanou veličinou je výška hladiny vo valcovej nádrži, akčnou veličinou je prietok čerpadla.** Prietok čerpadla je ovládaný pomocou riadiaceho napätia zosilňovacím členom v rozsahu 0-12V. Snímač tlaku má výstup 0-10V a hodnota tlaku je prepočítavaná na výšku hladiny.



Obr. 1. Laboratórny model hydraulického systému

Obr. 1: Prvá časť zadania z cvičenia č. 9 z predmetu spojité procesy

Na riadenie systému je použitý PID regulátor. Obmedzenie výstupu regulátora je zabezpečené anti wind up systémom, kde pri dosiahnutí hranice obmedzenia je vypnutá integračná zložka. Bez takejto úpravy by regulátor mohol zvyšovať výstup integračnej zložky za obmedzenia. Po zmene regulačnej odchýlky by integračná zložka mohla pôsobiť proti ostatným zložkám a znemožnila by tak zmenu výstupu regulátora, tzv. wind up efekt.

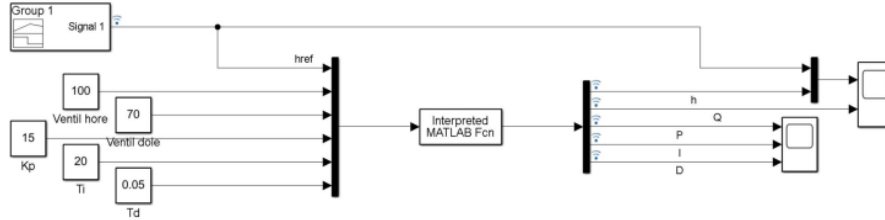
*Úlohy:*

1. Navrhnete PID regulátor výšky hladiny a experimentálne ho overte na laboratórnom modeli.
2. Vykonajte aspoň 6 experimentov s rôznym nastavením parametrov PID regulátora. Analyzujte vplyv jednotlivých zložiek regulátora ( $K_p$ ,  $T_i$  a  $T_d$ ) na výslednú kvalitu regulácie. Pokúste sa dosiahnuť čo najlepšiu kvalitu regulácie.
3. Urobte písomné zhrnutie a diskusiu dosiahnutých výsledkov.
4. Vypracovaný dokument pre laboratórne cvičenie uložte vo formáte pdf pod názvom *cv10\_Priezvisko1\_Priezvisko2* do miesta odovzdania v AIS.

Obr. 2: Druhá časť zadania z cvičenia č. 9 z predmetu spojité procesy

## 2 Teória

V tomto zadaní je našou úlohou experimentálne overiť návrh regulácie výšky hladiny na laboratórnom modeli hydraulického systému a overiť navrhované riešenie. Pri tomto zadaní sme použili už preddefinovanú schému v programe *Simulink* (Obr. 3).



Obr. 3: Schéma modelu z cvičenia č. 9 z predmetu spojité procesy

V tomto zapojení vidíme viacero vstupných signálov, tie sú už preddefinované. **href** referenčná respektíve žiadaná hodnota výšky hladiny. **Ventil hore** reprezentuje hodnotu vstupného prietoku do nádrže, jeho hodnoty sú zadávané v percentách. **Ventil dole**, tato hodnota reprezentuje prietok výstupného prietoku nádrže. Rovnako ako vstupný prietok je zadávaný v percentách. Hodnoty, ktoré sa budú meniť v priebehu meraní sú parametre *PID* regulátora.

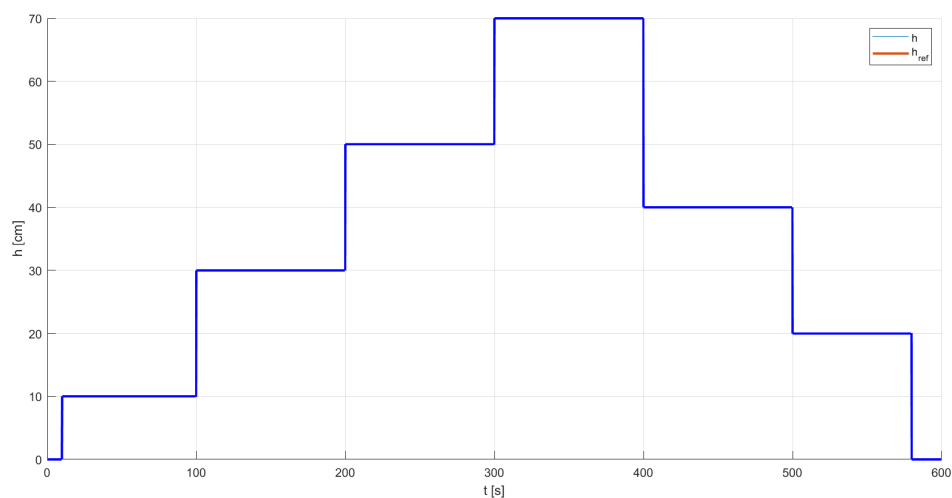
$$G_R(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Proporcionálna zložka **P** regulátora je rovná zložke  $K_P$ , Integračná zložka **I** je počítaná vzťahom  $\frac{K_P}{T_i}$ , posledná derivačná zložka **D** regulátora je rovná  $K_P T_d [-]$ . Vyššie spomenutý vzťah môžeme teda prepísať do tvaru:

$$G_R(s) = P + \frac{1}{s} I + D s$$

## 2.1 Úvod do priebehu simulácie

Počas priebehu simulácie sa spomínaná žiadaná hodnota výšky hladiny mení. Priebeh zmien tejto veličiny je znázornený na obrázku Obr. 4. Hodnota žiadanej hodnoty postupne skokovo rastie po hodnotu 70 cm. Prvá žiadaná hodnota je nastavená na 10cm čas tejto časti simulácie je nastavený na 90 sekúnd. Druhá žiadaná hodnota je nastavená na 30cm a jej čas na ustálenie hodnoty je 100 sekúnd. Každá ďalšia žiadaná hodnota výšky hladiny je rozdelená po 20cm segmentoch a doba počas ktorej sa má hodnota ustáliť je nastavená na 100 sekúnd. Po dosiahnutí najvyššej žiadanej hodnoty sa začne nádrž pomaly vypúšťať. Prvá časť je vypustenie nádrže na výšku hladiny 40 cm. Čas vypúšťania na túto hodnotu je nastavený taktiež na 100 sekúnd. Druhá časť vypúšťania trvá taktiež 100 sekúnd a hodnota výšky hladiny je nastavená na 20 cm. V poslednej časti sa má nádrž úplne vypustiť. Koniec simulácie nastáva 20 sekúnd po nastavení nulovej žiadanej hodnoty hladiny nádrže.



Obr. 4: Priebeh referenčnej teploty v priebehu 600 sekúnd.

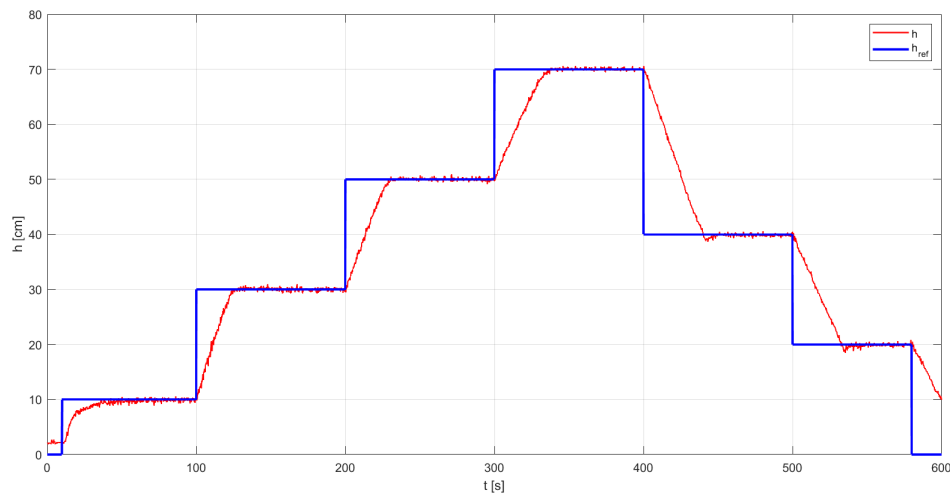
## 3 Merania

### 3.1 Meranie 1

V prvom zadaní sme zvolili prednastavené hodnoty parametrov regulátora. Tie sú zo zadania nastavené nasledovne:

$K_p[-]$	15
$T_i[-]$	20
$T_d[-]$	0,05

Výsledok simulácie môžeme vidieť na obrázku Obr. 5.



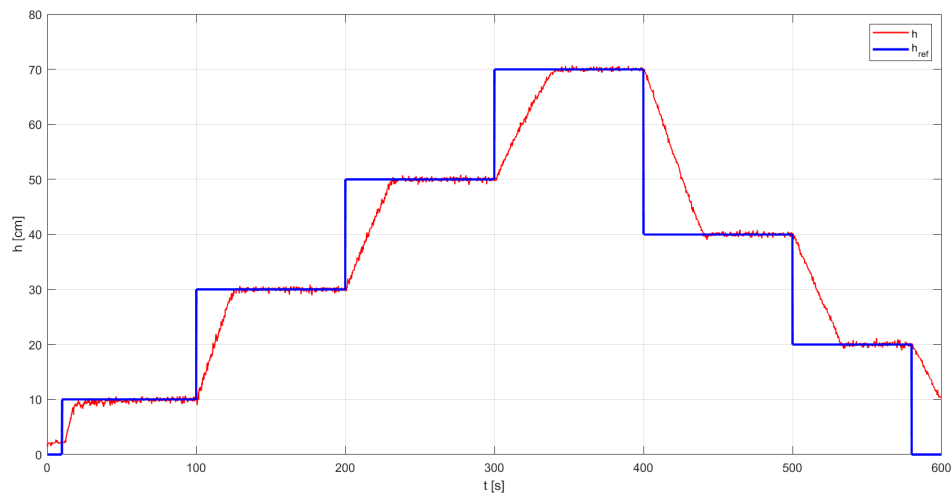
Obr. 5: Graf žiadanej a meranej hodnoty výšky hladiny na snímači v prvom meraní.

Toto nastavenie regulátorov ovplyvnilo okolie, v ktorom sme nastavovali hodnoty v ďalších meraniach. Po zistení priebehu výstupného signálu zobrazeného na Obr. 5 sme sa snažili dosiahnuť čo najrýchlejšiu reguláciu výstupného signálu zo systému. Na dosiahnutie tohto cieľu sme zväčšili derivačnú zložku regulátora. Tá zabezpečuje najrýchlejšiu odpoveď regulátora na zmenu výstupného signálu. Táto zložka zároveň zavádza šum do akčného zásahu systému. Ďalšia zložka, ktorá zabezpečuje postupný rast akčného zásahu systému je integračná zložka. Tá sa skladá ako bolo spomenuté v sekcii 2 z parametrov  $K_p$  a  $T_i$ . Pričom táto zložka priamo úmerne závisí od zložky  $K_p$  a nepriamo od  $T_i$ . Zmenu, ktorú sme vykonali bola zmena parametru zosilnenia regulátora  $K_p$ .

### 3.2 Meranie 2

V druhom meraní sme si zvolili hodnoty: Výsledok simulácie môžeme vidieť na obrázku Obr. 5.

$K_p[-]$	30
$T_i[-]$	20
$T_d[-]$	0,1



Obr. 6: Graf žiadanej a meranej hodnoty výšky hladiny na snímači v druhom meraní.

Pri druhom meraní sme si zmenili parametre regulátora. V porovnaní s prvým meraním si môžeme všimnúť, že preregulovanie pri vypúšťaní nádrže nebolo také viditeľné. Zároveň nábeh výšky vodného stĺpca v nádrži z 0cm na 10cm bol rýchlejší. Tieto výhody prišli aj s jednou nevýhodou. Zašumenie výstupného signálu systému (výšky hladiny) bolo viditeľnejšie.

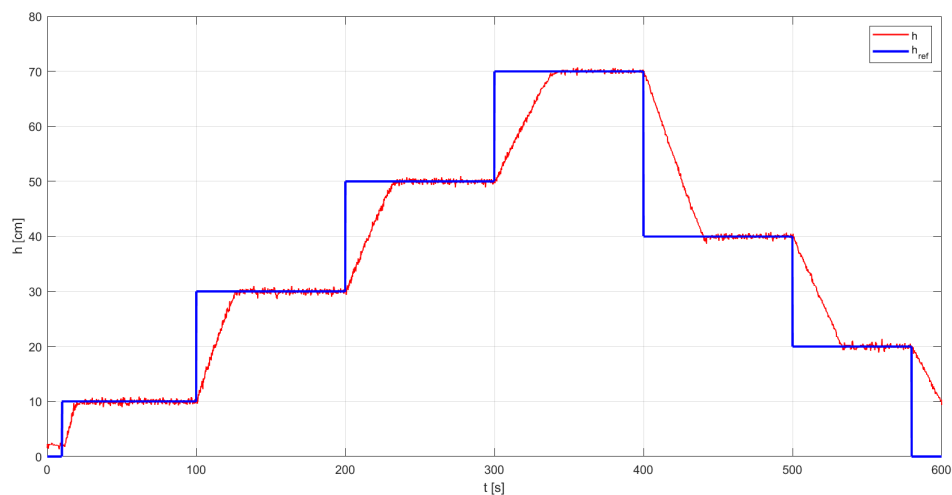


### 3.3 Meranie 3

V treťom meraní sme si zvolili hodnoty:

$K_p[-]$	50
$T_i[-]$	20
$T_d[-]$	0,5

Výsledok simulácie môžeme vidieť na obrázku Obr.7.



Obr. 7: Graf žiadanej a meranej hodnoty výšky hladiny na snímači v treťom meraní.

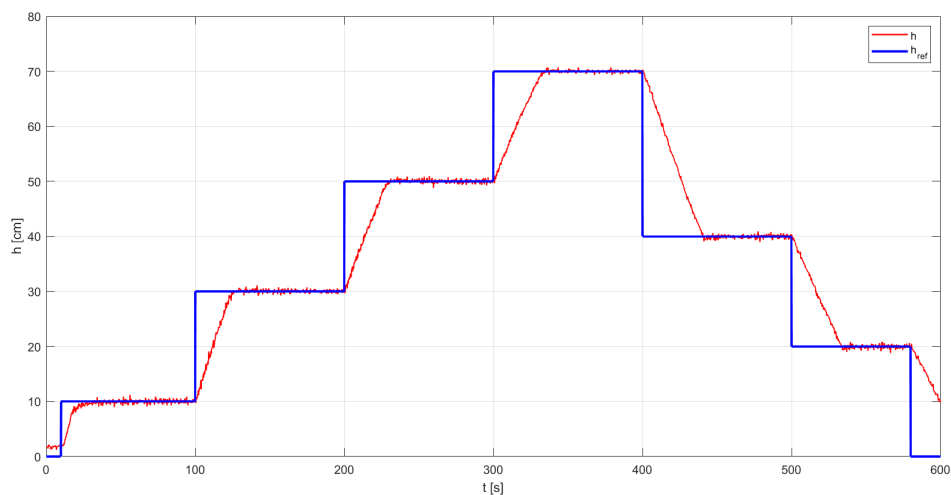
V treťom meraní sme sa snažili dosiahnuť podobný ale výraznejší efekt ako v meraní druhom. Prestavenie parametrov regulátora však nami chcený efekt neprinieslo. Čo sa ale zlepšilo bolo skoršie ustálenie výšky hladiny na žiadanej hodnote pri prvom skoku žiadanej hodnoty. Na druhej strane pri vypúšťaní nádrže sa jej hladina pohybovala vo väčšom rozptyle okolia žiadanej hodnoty.

### 3.4 Meranie 4

V štvrtom meraní sme si zvolili hodnoty.

$K_p[-]$	20
$T_i[-]$	10
$T_d[-]$	0,1

Výsledok simulácie môžeme vidieť na obrázku Obr.8.



Obr. 8: Graf žiadanej a meranej hodnoty výšky hladiny na snímači vo štvrtom meraní.

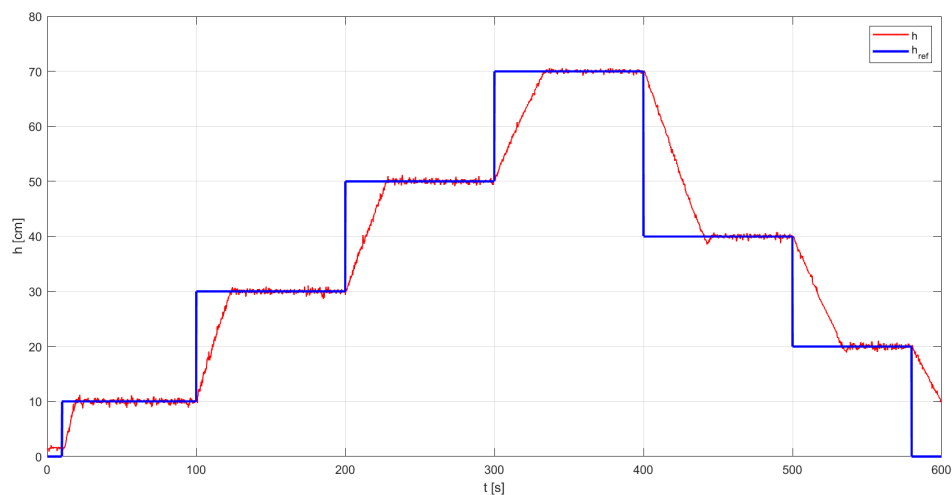
Vo štvrtom meraní sme zvolili odlišný postup. Parameter  $K_p$  sme zmenili na hodnotu 20. Parameter  $T_i$  sme zmenili na hodnotu 10. Tento postup zabezpečí zväčšenie integračnej zložky pričom proporcionálna zložka a derivačná zložka остану nezmenené. Pri tejto konfigurácii je ustálenie signálu rovnako bez viditeľného preregulovania pri vypúšťaní nádrže a ustálenie zvyšujúcej sa hladiny nádrže sa ustáli pomerne rýchlo pri prvej skokovej zmene žiadanej hodnoty výšky hladiny.

### 3.5 Meranie 5

V piatom meraní sme si zvolili hodnoty.

$K_p[-]$	50
$T_i[-]$	20
$T_d[-]$	0,1

Výsledok simulácie môžeme vidieť na obrázku Obr.9.



Obr. 9: Graf žiadanej a meranej hodnoty výšky hladiny na snímači v piatom meraní.

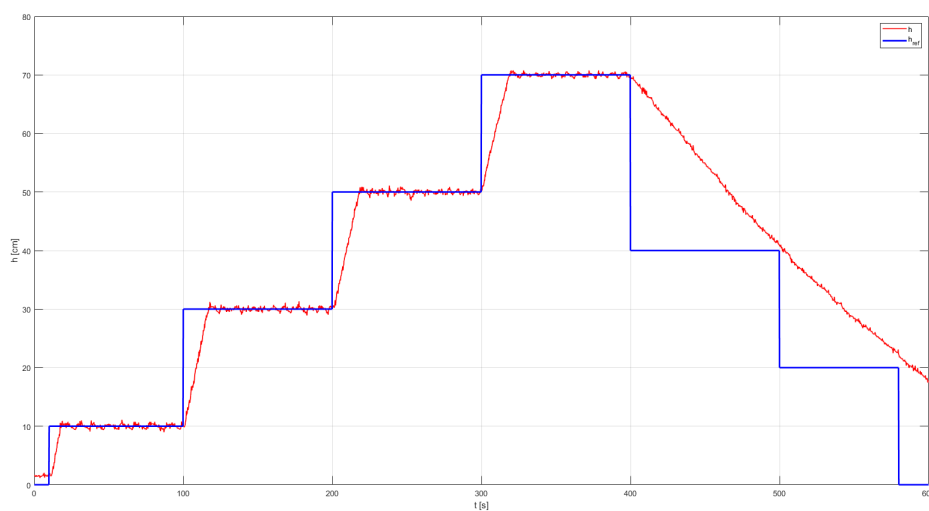
V piatom meraní sme skúsili zväčšiť hodnoty každého parametra jeden a pol násobne oproti minulému meraniu pričom integračnú zložku sme zmenšili ešte o polovicu. Tento postup zaviedol rýchly nábeh a z prechodovej charakteristiky sa stal kmitavý proces s preregulovaním. Tento jav nebolo vidno voľným okom na prítoku nádrže.

### 3.6 Meranie 6

V šiestom meraní sme si zmenili hodnotu uzatvorenia výpustného ventilu zo 70% na 50 %, hodnoty  $K_p$ ,  $T_i$  a  $T_d$  sme ponechali rovnaké. Výsledok simulácie môžeme vidieť na Obr. 10.

$K_p[-]$	50
$T_i[-]$	20
$T_d[-]$	0,1
$V_{stupny\_ventil}[\%]$	100
$V_{ystupny\_ventil}[\%]$	50

Výsledok simulácie môžeme vidieť na obrázku Obr. 10.



Obr. 10: Graf žiadanej a meranej hodnoty výšky hladiny na snímači v šiestom meraní.

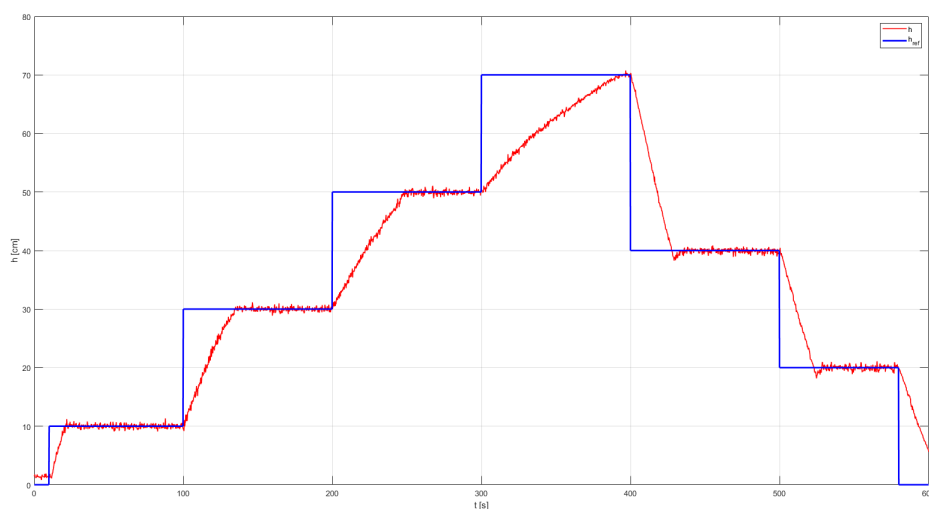
Po diskusii s cvičiacim sme sa dohodli na zmene hodnoty výstupného ventilu a odsimulovania tejto zmeny. V šiestom meraní sme si prestavili výstupný ventil z 70% na 50%. Tento postup zaviedol do procesu obmedzenie, ktoré sa prejavilo na zrýchlení napúšťania nádrže a spomalenia vypúšťania vody z nádrže.

### 3.7 Meranie 7

V siedmom meraní sme si zmenili hodnotu uzatvorenia výpustného ventilu a hodnoty  $K_p$ ,  $T_i$  a  $T_d$  sme ponechali rovnaké.

$K_p[-]$	50
$T_i[-]$	20
$T_d[-]$	0,1
$V_{stupny\_ventil}[\%]$	100
$V_{ystupny\_ventil}[\%]$	80

Výsledok simulácie môžeme vidieť na Obr. 11.



Obr. 11: Graf žiadanej a meranej hodnoty výšky hladiny na snímači v siedmom meraní.

V posledom siedmom meraní sme zmenili hodnotu výstupného ventilu z 50% na 80%. Hodnoty parametrov regulátora sme ponechali rovnaké ako posledných dvoch meraniach, aby sme vedeli urovnať efekt zmeny výstupného filtra. Tato zmena spôsobila pomalšie napúšťanie nádrže a zároveň rýchlejšie vypustenie vody z nádrže.

## 4 Zhrnutie

Môžeme si všimnúť, že pri základných hodnotách prítoku a odtoku zmena PID regulátora pomocou zmeny parametrov  $K_p$ ,  $T_i$  a  $T_d$  má minimálny vplyv na rýchlosť napúšťania a vypúšťania nádrže. Môžeme tým hlavne ovplyvňovať stabilitu vodnej hladiny na požadovanej hodnote.

Pri takto navrhnutom systéme môžeme PID regulátorom ovplyvniť strmosť napúšťania a vypúšťania iba do určitej miery lebo je limitovaná zvoleným ventilom. Ako môžeme vidieť v grafe merania v sekcii 3.6 znížením rýchlosti odtoku sa nám síce podarilo zlepšiť rýchlosť napúšťania nádrže, ale od času 400s systém nestíhal vypúšťať vodu na požadovanú hodnotu. Naopak v poslednom meraní v sekcii 3.7 môžeme vidieť, že zvýšenie odtoku spôsobilo to, že síce vieme rýchlejšie vypúšťať vodu, ale systém mal problém s napúšťaním hlavne v čase od 300s po 400s kedy je hladina vody najvyššia.

Základne parametre uvedené v zadaní sú postačujúce. Ich zmena v danom okolí nemá veľký vplyv na chovanie systému. Ak by sme chceli zmeniť systém tak aby presnejšie opisoval žiadanú hodnotu, tak by sme museli zmeniť parametre vstupného a výstupného ventilu. Ich nastavenie vytvára limity pre vstupný a výstupný prietok a tým pádom vytvára systém s inou dynamikou.