

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Elektrotechnická  
Katedra Řídící techniky, Systémy a řízení

# Semestrální práce

## Vodárna 2

Jméno: **Václavík Michal (vaclam2@fel.cvut.cz)**

Skupina: **113**

Akademický rok: **2006 – 2007**

## 1. Zadání

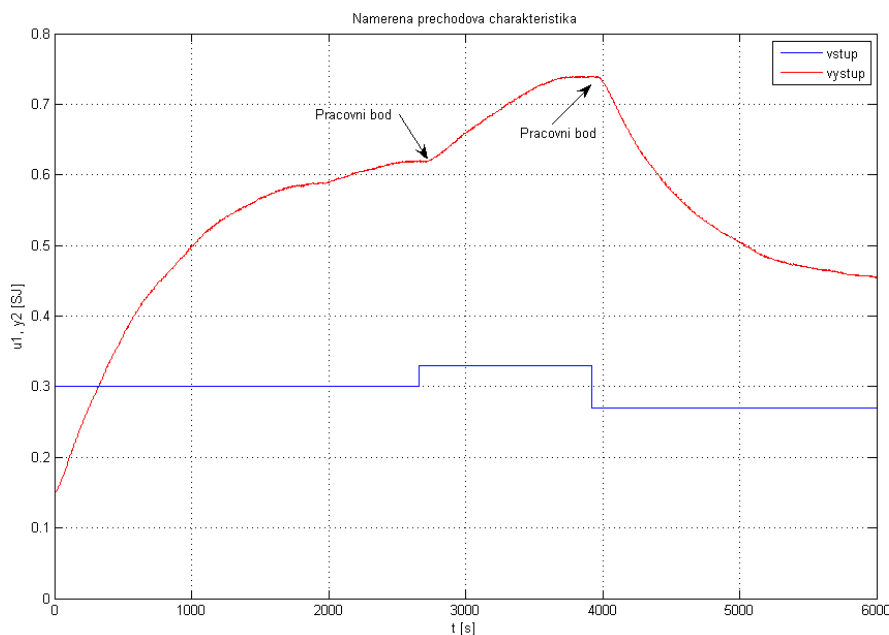
Úkolem semestrální práce je řízení výšky hladiny vody v levém válci, čerpáním nebo odčerpáváním vody z pravého válce, pomocí regulátoru. Vše je prováděno na modelu Vodárna 2. Základními požadavky regulace je v jednom případě maximální odchylka  $\pm 5\%$  od ustálené hodnoty, v druhém nulová regulační odchylka v ustáleném stavu. Všechny regulátory mají být nvrženy tak, aby byla doba regulace co nejkratší při dodržení maximálního povoleného překmitu 30%.

## 2. Přenos systému vodárny

V předmětu Systémy a modely (X35SAM) jsme identifikovali model Vodárna 2 a přenos tohoto systému využijeme pro návrh regulátorů. Prvním krokem, který jsme provedli, bylo ověření správnosti přenosu systému v pracovním bodě. Protože ovládací simulinkový model obsahuje časové zpoždění prvního řádu simulující rozběh čerpadla je potřeba toto zpoždění zahrnout i do našeho přenosu. V našem případě jsme zvolili časovou konstantu rovnou 2 s.

$$G(s) = \frac{0,4246}{33360s^2 + 700s + 1} \cdot \frac{1}{2s + 1} = \frac{0,4642}{66720s^3 + 34760s^2 + 702s + 1}$$

### Přechodová charakteristika



## 3. Navržení regulátoru pomocí metody Ziegler-Nichols

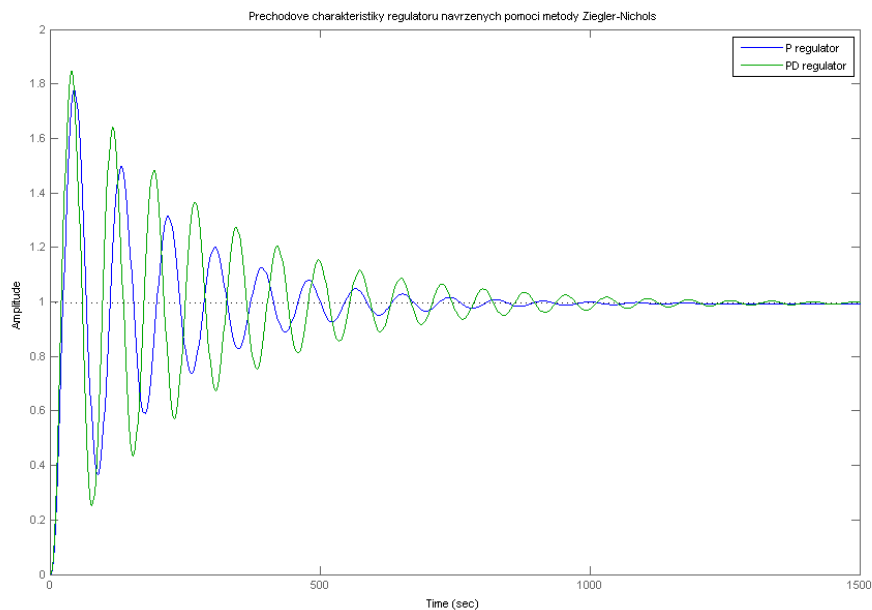
Konstanty regulátoru při návrhované metodou Ziegler-Nicholse jsme získali pomocí graficko-početní metody z přenosu systému. Kritickou frekvenci  $\omega_k$  jsme vypočítali z přenosu, kritické zesílení  $|S(j\omega_k)|$  jsme odečetli z frekvenční charakteristiky vykreslené pomocí funkce *bode(sys)* programu Matlab. Pro kritické zesílení regulátoru platí vztah  $r_{0k} = 1/|S(j\omega_k)|$  a pro kritickou periodu kmitů  $T_k = 2\pi/\omega_k$ . Z těchto údajů již spočítáme konstanty regulátoru dle empirických vztáhu Ziegler-Nicholse.

- kritická frekvence  $\omega_k = 0,1024 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$
- kritické zesílení  $|S(j\omega_k)| = 0,0013$
- kritická perioda kmitů  $T_k = 61,36 \text{ s}$
- kritické zesílení regulátoru  $r_{0k} = 769,23$

## Konkrétní regulátory navržené pomocí metody Ziegler-Nichols

typ regulátoru	P	PI	PID	PD
P	384,62	346,15	461,54	500
I	-	52,16	30,68	-
D	-	-	7,36	7,36
PM [°]	8,31	nestabilní	nestabilní	5,25
GM [dB]	6,21			3,99
překmit [%]	79,2			85,6
odchylka [%]	-0,6			-0,4
doba regulace [s]	746			1004

## Přechodové charakteristiky regulátorů navržených Ziegler-Nicholsem



## 4. Navržení regulátoru pomocí frekvenční metody

Z přenosu systému jsme si vykreslili frekvenční charakteristiku pomocí funkce  $bode(sys)$  programu Matlab. Na fázové charakteristice jsme odečetli zlomovou frekvenci  $\omega_D$  pro fázi odpovídající typu regulátoru a námi zvolené fázové bezpečnosti PM. Nyní jsme již s pomocí známé zlomové frekvence  $\omega_D$  odečetli z amplitudové charakteristiky zesílení  $|P(j\omega_D)|$ . Konkrétní výpočty uvedeme u dvou nejlepších regulátorů (v našem případě PD a PID) viz. bod 3.

### Konkrétní návrh PD regulátoru pomocí frekvenční metody

- $PM=80^\circ$
- $arg(P(j\omega_D))=-180^\circ-45^\circ+PM=-180^\circ-45^\circ+80^\circ=-145^\circ$
- $\omega_D=0,0281 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$
- $|P(j\omega_D)|=0,0148$
- $k_D=\frac{1}{\omega_D\sqrt{2}|P(j\omega_D)|}=1700,3$
- $k_P=\frac{1}{\sqrt{2}|P(j\omega_D)|}=47,8$

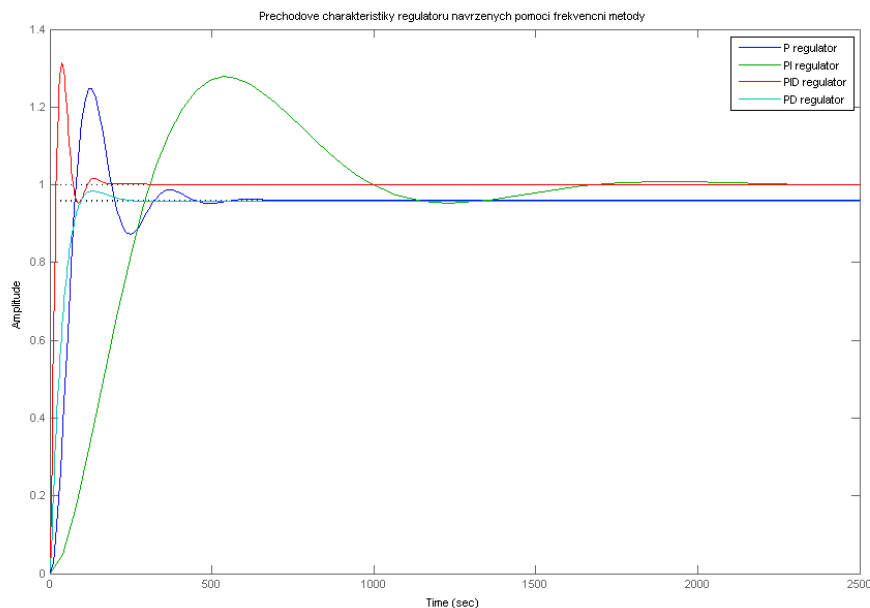
## Konkrétní návrh PID regulátor pomocí frekvenční metody

- $PM=45^\circ$
- $\arg(P(j\omega_D))=-180^\circ-45^\circ+5,7^\circ+PM=-180^\circ-45^\circ+5,7^\circ+45^\circ=-174,3^\circ$
- $\omega_D=0,0801 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$
- $|P(j\omega_D)|=0,00212$
- $\omega_D=10\omega_I$
- $k_D=\frac{1}{\sqrt{1,01}\omega_D\sqrt{2}|P(j\omega_D)|}=4143,4$
- $k_P=1,1\omega_Dk_D=365,1$
- $k_I=0,1\omega_D^2k_D=2,66$

## Konkrétní regulátory navržené frekvenční metodou

typ regulátoru	P	PI	PID	PD
P	52,00	5,70	363,10	47,80
I	-	0,03	2,66	-
D	-	-	4143,40	1700,30
PM [°]	40,5	45	45	80
GM [dB]	23,6	40,1	$\infty$	$\infty$
překmit [%]	29,9	27,8	30,3	2,8
odchylka [%]	-4	0	0	-4,3
doba regulace [s]	401	1500	105	170

## Přechodové charakteristiky regulátorů navržených frekvenční metodou



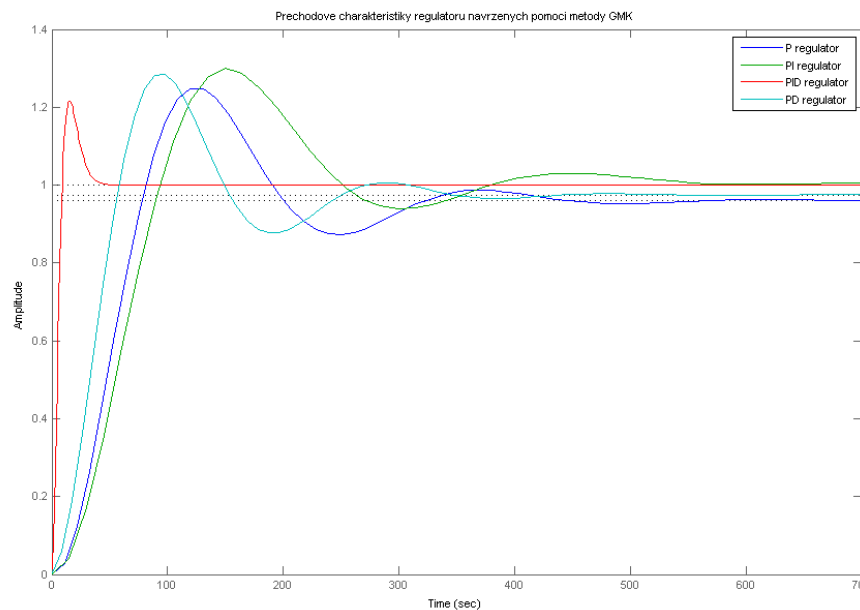
## 5. Navržení regulátoru pomocí metody GMK

Při návrhu regulátorů pomocí metody GMK (geometrické místo kořenů) jsme využili funkce *sisotool(sys)* programu Matlab.

## Konkrétní regulátory navržené pomocí metody GMK

typ regulátoru	P	PI	PID	PD
P	52,00	38,36	1070,60	83,29
I	-	0,09	1,08	-
D	-	-	13734,90	358,13
PM [°]	40,5	40,5	53,1	38,6
GM [dB]	23,6	25,2	$\infty$	$\infty$
překmit [%]	29,9	29,9	21,6	31,7
odchylka [%]	-4	0	0	-2,5
doba regulace [s]	401	501	35,1	317

## Přechodové charakteristiky regulátorů navržených metodou GMK



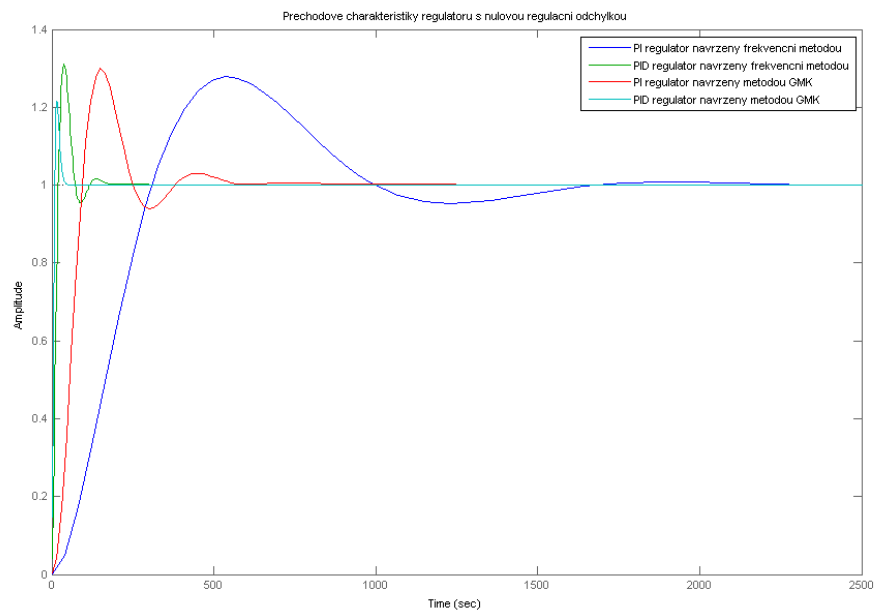
## 6. Regulátory s nulovou regulační odchylkou

Ze souboru regulátorů navržených pomocí všech tří metod (Ziegler-Nichols, frekvenční a GMK) bylo úkolem vybrat ty, které dosáhli nulové regulační odchylky. Regulátory navržené metodou Ziegler-Nichols těchto parametrů nedosahují, proto pro další porovnávání použijeme pouze regulátory PI a PID navržené frekvenční metodou a metodou GMK.

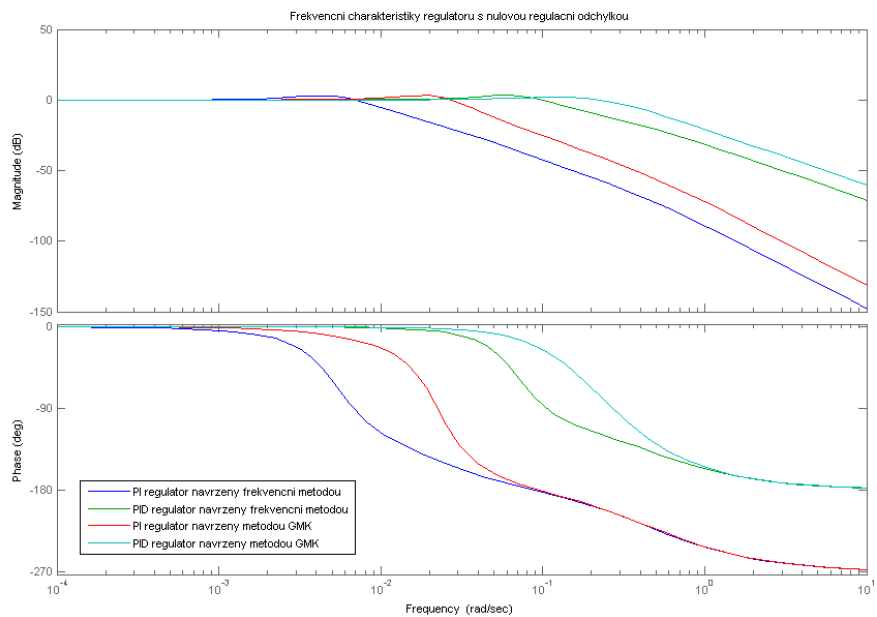
### Konkrétní regulátory dosahující nulové regulační odchylky

typ regulátoru	frekvenční metoda		metoda GMK	
	PI	PID	PID	PID
P	5,70	363,10	38,36	1070,60
I	0,03	2,66	0,09	1,08
D	-	4143,40	-	13734,90
PM [°]	45	45	40,5	53,1
GM [dB]	40,1	$\infty$	25,2	$\infty$
překmit [%]	27,8	30,3	29,9	21,6
odchylka [%]	0	0	0	0
doba regulace [s]	1500	105	501	35,1

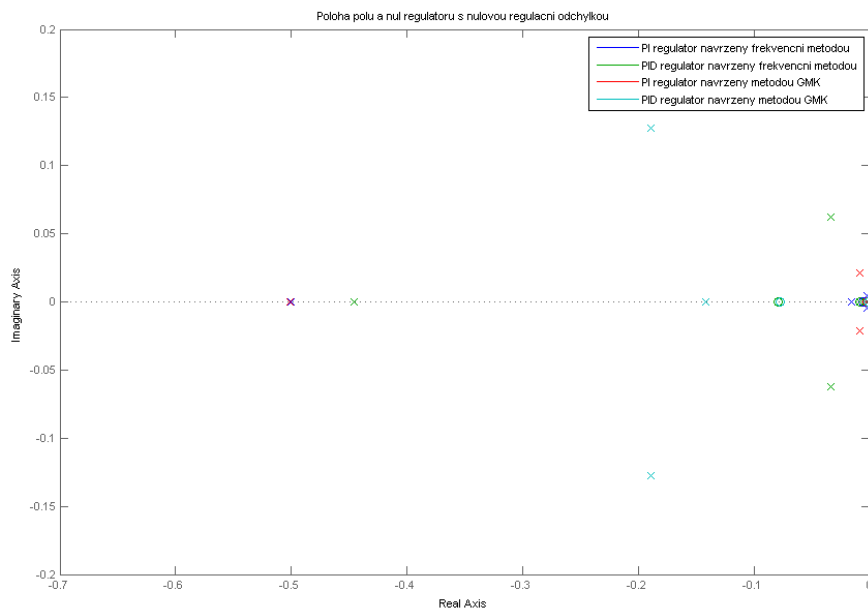
## Přechodové charakteristiky regulátorů s nulovou regulační odchytkou



## Frekvenční charakteristiky regulátorů s nulovou regulační odchytkou

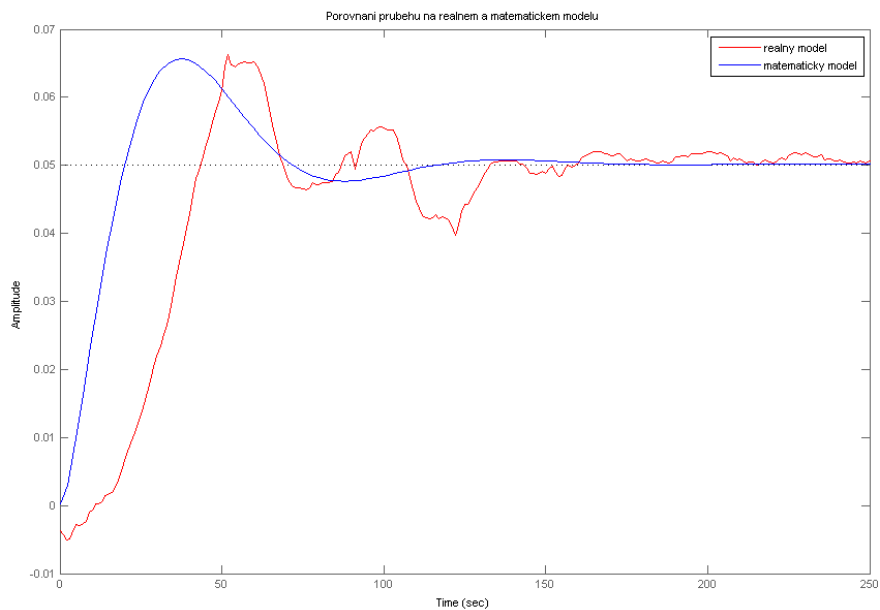


## Poloha pólů a nul regulátorů s nulovou regulační odchylkou

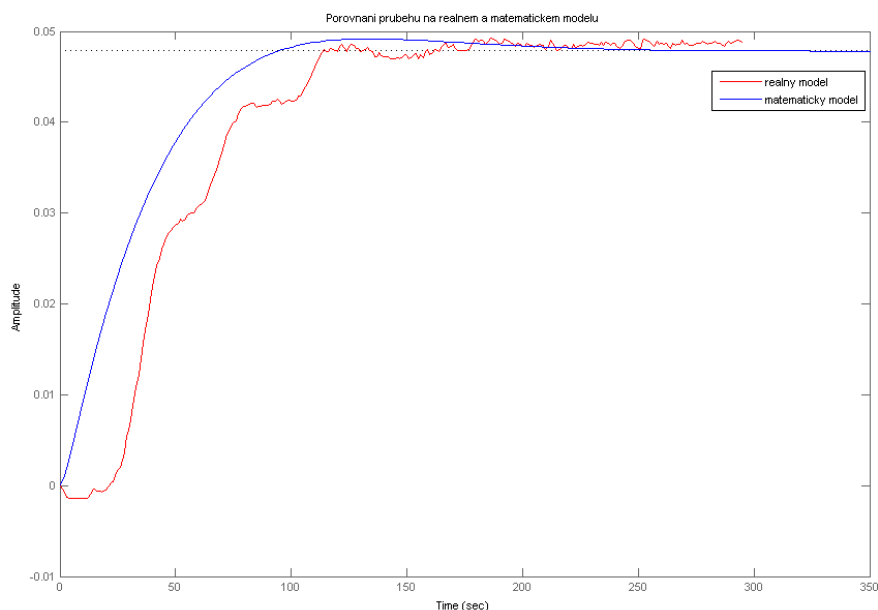


## **7. Porovnání reálného a matematického modelu**

### PID regulátor



## PD regulátor



## 8. Závěr

V prvním bodu semestrální práce jsme ověřili přenos systému modelu vodárny získaného v předmětu Systémy a řízení. Přechodová charakteristika byla po přihlídnutí k problematickému nastavení modelu vodárny shledána jako vyhovující a proto jsme využili stávajícího přenosu. Při všech měřeních byl prepouštěcí ventil mezi válci plně otevřen, ventil pravého válce zavřen a ventil levého válce otevřen o jeden a půl otáčky.

Regulátory navržené metodou Ziegler-Nichols dosahovaly velmi špatných vlastností. PI a PID regulátory byly nestabilní, P a PD regulátory měly dlouhou dobu regulace (až 1000 s) a překmit okolo 80%. Proto jsme žádný z těchto regulátorů neodzkoušeli na reálném modelu vodárny.

Při návrhu frekvenční metodou se podařilo navrhnout všechny typy regulátorů tak, aby překmit nebyl větší než 30%. P a PI regulátory však nebyly vhodné pro dlouhou dobu regulace (400 s resp. 1500 s). Proto jsme na reálném modelu odzkoušeli pouze PD a PID regulátory, které se chovaly velmi dobře. U PID regulátoru došlo k ustálení později, než předpokládal matematický model a výstup se lehce vlnil kolem ustálené hodnoty.

Při návrhu metodou GMK se opět podařilo navrhnout všechny typy regulátorů. Stejně jako u frekvenčního návrhu došlo k vyloučení P a PI regulátorů pro dlouhou dobu regulace. Velmi dobře se podařilo navrhnout PID regulátor s překmitem 22% a dobou regulace 35 s. Na reálném modelu však výstup kmital a proto byl jako lepší vyhodnocen PID regulátor navržený frekvenční metodou.

V průběhu měření na reálném modelu vodárny docházelo ke špatné činnosti kapacitních senzorů a ovlivňování měření otřesy v laboratoři. Proto jsme některé průběhy měřili dvakrát. Přesto lze ale naměřené výsledky považovat za velmi dobré.

## Reference

[1] John, J. *Systémy a řízení*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003.