

# Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní  
Katedra aplikované kybernetiky



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Řízení modelu technologického procesu**  
**Proceedings of technological model**



Technická univerzita v Liberci  
Fakulta strojní

---

Katedra aplikované kybernetiky

Studijní rok: 2004/05

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**Jméno příjmení:**

# Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Studijní obor : 23 – 40 – 8 Automatizované systémy řízení ve strojírenství

Zaměření : Automatizace inženýrských prací

Katedra aplikované kybernetiky

## **Řízení modelu technologického procesu**

### **Proceedings of technological model**

Lukáš Starý

Vedoucí diplomové práce : Prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.

Konzultant diplomové práce : Ing. Václav Lenk

Rozsah práce:

Počet stran : 66

Počet obrázků: 44

Počet tabulek: 6

Počet příloh: 5

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Prof. Ing. Miroslavu Olehlovi, CSc., Ing. Václavu Lenkovi a Miloši Hejzlarovi za odborné vedení, pomoc při zpracování diplomové práce, cenné rady a poskytnuté informace.

## **TÉMA**

### **Řízení modelu technologického procesu**

## **ANOTACE**

Cílem diplomové práce je vytvoření modelové úlohy pro výuku v laboratoři. Jde o model regulace výšky vodní hladiny v nádrži, prostřednictvím PLC Simatic S7-300. Zabývá se jak návrhem celé úlohy, tak její realizací s využitím zpětnovazební regulace.

## **THEME**

### **Proceedings of technological model**

## **ANNOTACION**

The diploma work aim is creating of model task for teaching in a laboratory. It's a model of hight regulation of water surface in a tank with substitution of PLC Simatic S7–300. It engages proposal of whole task, the realization with using feedback regulation.

### **Místopřísežné prohlášení**

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

V Liberci 13. 5. 2005

.....  
Lukáš Starý

**OBSAH:**

<b>OBSAH:</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ:</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2 MODEL VODNÍ NÁDRŽE</b> .....	<b>11</b>
2.2 PŮVODNÍ ZAPOJENÍ.....	11
2.3 REALIZACE MODELU .....	12
2.3.1 <i>Matematicko fyzikální analýza</i> .....	12
2.3.2 <i>Ventil RV 122 BEE Line</i> .....	17
2.3.3 <i>Nový návrh laboratorního modelu</i> .....	20
<b>3 PLC</b> .....	<b>22</b>
3.1 HARDWARE.....	22
3.2 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....	25
3.2.1 <i>Tvorba programu</i> .....	27
3.2.2 <i>Program</i> .....	30
3.3 PID CONTROLLER .....	34
<b>4 IDENTIFIKACE</b> .....	<b>39</b>
4.2 DRUHY SOUSTAV .....	40
4.3 VLASTNÍ IDENTIFIKACE SOUSTAVY .....	43
<b>5 REGULACE</b> .....	<b>50</b>
5.2 REGULÁTOR TYPU P .....	52
5.3 REGULÁTOR TYPU PI.....	55
5.4 REGULÁTOR TYPU PID.....	57
<b>6 REGULACE VODNÍ HLADINY</b> .....	<b>59</b>
<b>7 ZÁVĚR</b> .....	<b>62</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:</b> .....	<b>64</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ:</b> .....	<b>65</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOHY:</b> .....	<b>66</b>

**Seznam symbolů:**

$A_v$	$[m^2]$	průtokový součinitel (armatury)
$A_{vs}$	$[m^2]$	průtokový součinitel při jmenovitém zdvihu
$c$	$[m \cdot s^{-1}]$	výtoková rychlost
$c_i$	$[m \cdot s^{-1}]$	teoretická výtoková rychlost
$g$	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitační zrychlení
$h$	$[m]$	výška
$k_1$	$[m^{-2} \cdot s]$	koeficient přenosu
$K_v$	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	průtokový součinitel
$K_{vs}$	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	průtokový součinitel při jmenovitém zdvihu
$m$	$[kg]$	hmotnost
$p$	$[Pa]$	tlak
$Q, q_1, q_2$	$[m^3 \cdot s^{-2}]$	objemový průtok
$Q_m$	$[kg \cdot s^{-2}]$	hmotnostní průtok
$S_i$	$[m^2]$	obsah
$t$	$[s]$	čas
$T_1$	$[s]$	časová konstanta
$v$	$[m \cdot s^{-2}]$	rychlost
$V$	$[m^3]$	objem
$Y(s), U(s), F(s), E(s), G(s)$	$[-]$	Laplaceův obraz
$\alpha$	$[-]$	součinitel kontrakce
$\mu$	$[-]$	výtokový součinitel
$\varphi$	$[-]$	rychlostní součinitel
$\Phi$	$[-]$	poměrný průtokový součinitel
$\rho_i$	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota



# 1 Úvod

Model regulace výšky vodní hladiny v laboratoři katedry aplikované kybernetiky již existuje. Byl zpracován v roce 2004 Ing. Janem Šebestou jako součást jeho diplomové práce. Regulace v původním stavu byla realizována pomocí dvoupolohového ventilu STASTO. Pro modernizaci a zefektivnění regulace celého modelu byl katedrou zakoupen třípolohový regulační ventil firmy LDM (RV 122 BEE line).

Cílem této diplomové práce je realizace laboratorního modelu pomocí nového regulačního ventilu a návržení vhodného typu regulátoru realizovaného pomocí PLC Simatic S-300 firmy Siemens.

V první části se budu zabývat samotnou soustavou, její realizací a jednotlivými částmi daného modelu. Blíže se též práce věnuje samotnému PLC a jeho hardwarovému vybavení, jako i sestavení řídicího programu pro regulování dané laboratorní úlohy. Úkolem pro naprogramování řídicího algoritmu je využití dostupných prostředků implementovaných komponent PID regulátoru.

Další část je pak věnována identifikaci celého modelu a návrhu vhodného regulátoru. Je názorně předveden postup výpočtu obrazového přenosu na skokovou změnu soustavy a proveden výpočet koeficientů pro nastavení jednotlivých typů regulátorů. Účelem výpočtů je určení nejlepšího typu regulátoru a následná realizace celé úlohy pomocí dostupných prostředků. Výsledky měření jsou prezentovány pomocí grafů.

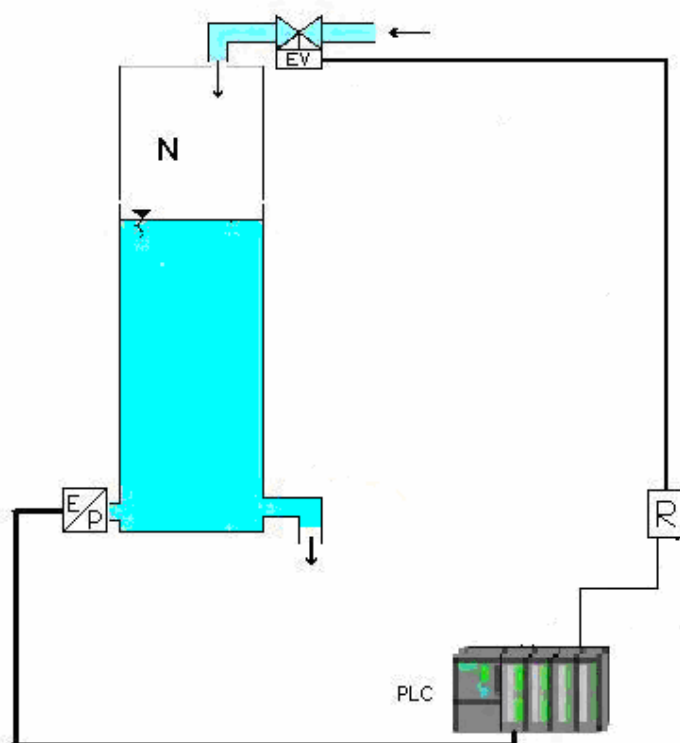
Regulací se rozumí zajištění stability, kompenzace poruchových veličin a též zajištění dynamických vlastností regulované soustavy. Celý regulační obvod je realizován pomocí tzv. zpětnovazební regulace, kde vstupem do regulátoru je regulační odchylka a výstupem je akční veličina řízené soustavy. Pro řízení našeho modelu je však ještě tuto akční veličinu potřeba převést na pulsy, které zajistí pohyb regulačního ventilu.

Tato diplomová práce je psána se záměrem přiblížit celou realizaci technologického procesu, od jeho teoretického návrhu až po samotnou realizaci. Hlavní důraz je kladen na identifikaci soustavy a na určení vhodného regulátoru. Názorné přiblížení chování a dopad jednotlivých typů regulátorů na danou soustavu by měl být patrný z výsledků a měl by pomoci pochopit problematiku celé regulace.

## 2 Model vodní nádrže

### 2.2 Původní zapojení

Jak již bylo zmíněno v úvodu, modelová soustava regulace výšky vodní hladiny v nádrži, byla již v roce 2004 realizována pomocí dvoupolohového regulačního ventilu STASTO. V původní podobě je úloha znázorněna na obr.1, který zachycuje část samotné soustavy i realizované propojení s řídicím PLC.



Obr. 1: Model starého zapojení

Zkratky použité ve schématu zapojení úlohy:

- N..... nádrž,
- EV..... elektromagnetický ventil,
- E/P..... tlakový snímač WIKA S – 11,
- R..... polovodičové relé,
- PLC..... programovatelná řídicí jednotka.

Použitý ovládací elektromagnetický ventil je zcela nevhodný pro PI či PID regulaci. Jeho maximální spínací frekvence nevyhovuje potřebám rychlé reakce na změnu žádané hodnoty regulační soustavy. I přes různé úpravy, například přiškrcení ventilu, docházelo k přetěžování ventilu, a tak bylo rozhodnuto modernizovat celý model.

Rozhodnutím vyměnit stávající ventil za nový, umožňující plynulou regulaci, se celý model stal nepoužitelným a tato práce tak tedy řeší danou úlohu zcela od začátku.

## **2.3 Realizace modelu**

Při identifikaci soustav se zpravidla postupuje v několika krocích. Z toho dva nejdůležitější jsou:

1. Návrh struktury dané soustavy. V této etapě se na základě požadavků na technologický proces sestavuje tzv. matematicko – fyzikální model, který bere v potaz fyzikální zákonitosti daného procesu. S použitím teorie systémů se formuje struktura identifikovaného systému v matematickou rovnici.
2. Parametry těchto rovnic se určují na základě naměřených údajů, již sestavené soustavy, ze závislosti vstupních a výstupních veličin.

Prvnímu kroku věnujeme následující samostatnou kapitolu a krok druhý je součástí kapitoly:

### **4.3 Vlastní identifikace soustavy.**

Vedle sestavení a identifikace modelu je zapotřebí též technicky zabezpečit a realizovat daný model. K tomu jsou zapotřebí další součásti, jako je regulační ventil a snímač výšky hladiny, které zmíním v dalších kapitolách této práce.

#### **2.3.1 Matematicko fyzikální analýza**

Jak již bylo předesláno výše, tato část se bude věnovat vytvoření matematicko-fyzikálnímu modelu. Cílem této práce je přiblížit celý postup návrhu a realizace technologického procesu. Proto jsem se rozhodl zařadit i tuto kapitolu a na zjednodušeném modelu nádrže s volným výtokem ukázat postup při navrhování dané soustavy. Následující postup je zcela korektní, jen z důvodu náročnosti není brán v potaz celý námi zkoumaný model a jsou zanedbány vlivy některých členů. Zaměříme se čistě na problematiku výšky hladiny ve vodní nádrži s regulovaným přítokem a volným výtokem.

## Nádrž s volným výtokem

Při modelování hydraulických systémů se vychází z matematických popisů vlastností systémů, ve kterých dochází k pohybu kapalin. Sestavení matematického modelu vychází z aplikace mechaniky kapalin.

Základní rovnice rovnováhy za klidu a pohybu kapalin vychází ze všeobecně platných zákonů o zachování hmotnosti a energie.

### Zákon zachování hmotnosti – rovnice kontinuity

Při proudění kapalin musí být splněn obecně platný fyzikální zákon o zachování hmotnosti. Pro tzv. kontrolní objem, kterým proudí kapalina, musí být hmotnost kapaliny konstantní.

Rovnice kontinuity pro jednorozměrné ustálené proudění, kdy platí  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ , dále  $\rho = \rho(s)$ , průřez  $S = S(s)$  a rychlost  $v = v(s)$  jsou pouze funkcí souřadnice  $s$ , má tvar

$$\frac{d}{ds}(\rho \cdot S \cdot v) = 0. \quad (2.1)$$

Po integraci podle souřadnic  $s$  platí

$$\dot{m} = Q_m = \rho \cdot S \cdot v = konst, \quad (2.2)$$

kde  $Q_m$  je hmotnostní tok. V každém průřezu jedné a téže proudové trubice musí být splněna rovnice

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot v_2 = \rho \cdot S \cdot v = konst. \quad (2.3)$$

Pro nestlačitelné kapaliny platí  $\rho = konst.$ , takže rovnice se zjednoduší na tvar

$$Q = S \cdot v = konst, \quad (2.4)$$

kde  $Q$  je průtok a udává objem kapaliny vyteklý za jednotku času

$$Q = \frac{V}{t}. \quad (2.5)$$

## Zákon zachování energie – Bernouliho rovnice

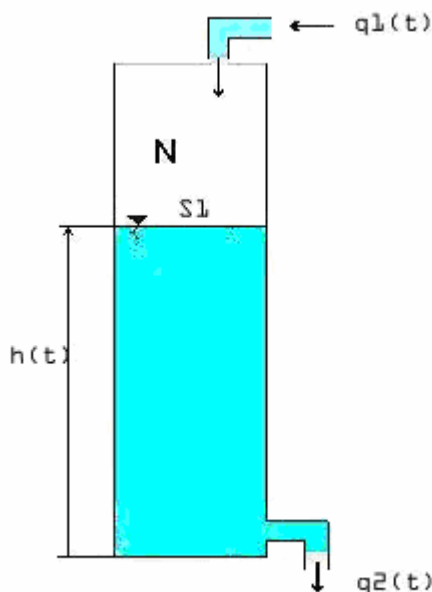
Bernouliho rovnice vyjadřuje zákon o zachování energie při proudění dokonalé kapaliny za působení tíhového zrychlení. V našem případě můžeme vodu, která je použita pro realizaci v modelu, pokládat za dokonalou kapalinu.

Pro nestlačitelnou kapalinu za působení tíhového zrychlení a pro ustálené proudění platí Bernouliho rovnice

$$\frac{V^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gh = konst. \quad (2.6)$$

## Dynamika výšky hladiny v otevřené nádrži

V zadaném modelu máme za úkol měřit výšku hladiny v otevřené nádobě s volným odtokem.



Obr. 2: Model nádrže

Zkratky použité ve schématu zapojení úlohy:

- $q1(t)$ .....přítok do nádrže,
- $q2(t)$ .....výtok z nádrže,
- $N$ .....nádrž,
- $h(t)$ .....výška hladiny,
- $Sl$ .....obsah plochy hladiny.

Aplikací zákonů zachování hmotnosti a zachování energie dostáváme pro elementární přírůstek objemu kapaliny v nádrži o obsahu plochy hladiny  $S_1$  za elementární časový přírůstek  $dt$  vztah

$$S_1 \cdot dh(t) = q_1(t)dt - q_2(t)dt, \quad (2.6)$$

kde  $q_1(t)dt$  je přítok do nádrže a  $q_2(t)dt$  je výtok z nádrže.

Teoretické výtokové množství otvorem ( $q_2$ ) o ploše  $S_2$  [ $m^2$ ] je

$$q_2(t) = S_2 \cdot c_i(t), \quad (2.7)$$

kde  $c_i$  [ $ms^{-1}$ ] je teoretická výtoková rychlost

$$c_i = \sqrt{2 \cdot g \cdot h(t)}, \quad (2.8)$$

kde  $g$  je gravitační konstanta ( $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$ ).

Skutečná výtoková rychlost  $c$  je

$$c = \varphi \cdot c_i = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h(t)}, \quad (2.9)$$

$\varphi$  je rychlostní součinitel.

Při výtoku nastává zúžení (kontrakce) proudu, dané součinitelem kontrakce  $\alpha$ , a skutečné množství vytékající kapaliny je pak

$$q_2 = \alpha \cdot \varphi \cdot S_2 \cdot c_i = \mu \cdot S_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h(t)}, \quad (2.10)$$

kde  $\mu = \alpha \cdot \varphi$  je výtokový součinitel.

Je vidět, že hodnoty  $\mu$ ,  $S_2$  a  $g$  jsou konstanty, a proto výsledný vztah můžeme zavedením konstantního koeficientu průtoku  $a = \mu \cdot S_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g}$  zapsat

$$q_2 = a \cdot \sqrt{h(t)}. \quad (2.11)$$

Po úpravě energetické rovnice dostaneme nelineární diferenciální rovnici 1. řádu

$$S_1 \cdot \frac{dh(t)}{dt} + a \cdot \sqrt{h(t)} = q_1(t). \quad (2.12)$$

Vyšetříme-li ustálený stav výšky hladiny pro konstantní přítok  $q_1$ , při definici ustáleného stavu  $\frac{dh}{dt} = 0$ ,  $h(t) \rightarrow h_u$  a  $q(t) \rightarrow q_{u1}$  platí

$$a \cdot \sqrt{h_u} = q_{u1}. \quad (2.13)$$

Jednoduchou matematickou úpravou dostáváme vztah vyjadřující závislost mezi ustálenou výškou hladiny  $h_u$  a ustáleným přítokem  $q_{u1}$

$$h_u = \frac{1}{a^2} \cdot q_{u1}^2. \quad (2.14)$$

### Linearizace modelu

V regulační technice se zpravidla využívá tzv. linearizace, protože u lineárních modelů můžeme s výhodou využít Laplaceovi transformace a jiných metod. Určíme pracovní bod použitím přírůstků od zvolené ustálené hodnoty

$$h(t) = h_u + \Delta h(t) \Rightarrow \Delta h(t) = h(t) - h_u, \quad (2.15)$$

$$q_1(t) = q_{u1}(t) + \Delta q_1(t) \Rightarrow \Delta q_1(t) = q_1(t) - q_{u1}(t). \quad (2.16)$$

Po dosažení do nelineární diferenciální rovnice dostaneme vztah

$$S_1 \frac{d\Delta h(t)}{dt} + a \cdot \sqrt{h_u + \Delta h(t)} = q_{u1}(t) + \Delta q_1(t). \quad (2.17)$$

Použijeme linearizaci pomocí Taylorova rozvoje

$$S_1 \frac{d\Delta h(t)}{dt} + \frac{a}{2 \cdot \sqrt{h_u}} \cdot \Delta h(t) = \Delta q_1(t), \quad (2.18)$$

$$\frac{2 \cdot S_1 \cdot \sqrt{h_u}}{a} \cdot \frac{d\Delta h(t)}{dt} + \Delta h(t) = \frac{2 \cdot \sqrt{h_u}}{a} \cdot \Delta q_1(t). \quad (2.19)$$

Člen  $\frac{2 \cdot S_1 \cdot \sqrt{h_u}}{a}$  je tzv. časová konstanta  $T_1 [s]$

a člen  $\frac{2 \cdot \sqrt{h_u}}{a}$  je koeficientem přenosu  $k_1 [m^{-2}s]$ ,

a dostaneme tak lineární diferenciální rovnici 1. řádu

$$T_1 \cdot \frac{d\Delta h(t)}{dt} + \Delta h(t) = k_1 \cdot \Delta q_1(t). \quad (2.20)$$

Pokud bychom dosadili známé hodnoty našeho modelu do výsledné rovnice, dostaneme obrazový přenos soustavy. Tato metoda je vhodná pro samotný návrh technologického procesu, kde by se však musely zohlednit všechny prvky celého regulačního modelu. Nás však budou více zajímat naměřené hodnoty skutečného modelu, z kterých

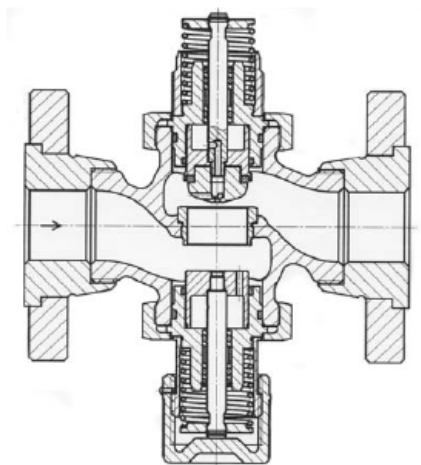
dostaneme skutečný obrazový přenos, neboť ten se bude od zjednodušeného teoretického výpočtu lišit.

### 2.3.2 Ventil RV 122 BEE Line

Pro potřeby naší úlohy jsme si vybrali jako dodavatele regulačního ventilu českou firmu LDM, která má bohaté zkušenosti s výrobou a vývojem regulačních ventilů. Podle výpočtu udávaného výrobcem byl vybrán a zakoupen regulační ventil RV 122 P modelové řady BEE Line.

Tento přímočinný regulátor diferenčního tlaku je opatřen ještě ručním omezovačem průtoku. RD 122 P je armatura určená především k zajištění požadavků na omezení maximálního průtoku zařízením. To zajišťuje dvojice kuželek, z nichž jedna je uživatelsky nastavitelná na žádanou hodnotu a druhá je ovládaná tlakovou diferencí pomocí membránové hlavice. Výchylka membrány se přenáší na kuželku a při zvýšení tlakové difference dochází k zavírání armatury. Tlakově vyvážené kuželky garantují spolehlivou funkci a stálost nastavené hodnoty v celém rozsahu tlaků. Regulace kuželky je realizována pomocí přímočarého elektrického pohonu ANT11. Základem tohoto pohonu je asynchronní motorek a samosvorná převodovka, která převádí otočný pohyb na posuvný. Pohon je napájen 24 volty a je třibodový, což značí tři možné stavy, kterých může nabýt:

- Otevírání
- Zavírání
- Stop stav



Obr. 3: Tlakově vyvážený regulační ventil RV122 BEEline s omezovačem průtoku



## Průtočná charakteristika ventilu

Průtočná charakteristika je definována jako funkční závislost průtokového součinitele na poloze uzávěru regulačního prvku.

Poměrný průtokový součinitel je poměr okamžitého průtokového součinitele  $A_v$ ,  $K_v$  ku jmenovitému průtokovému součiniteli  $A_{vs}$ ,  $K_{vs}$ , udávaného výrobcem.

$$\Phi = \frac{A_v}{A_{vs}}, \quad \Phi = \frac{K_v}{K_{vs}} \quad (2.24)$$

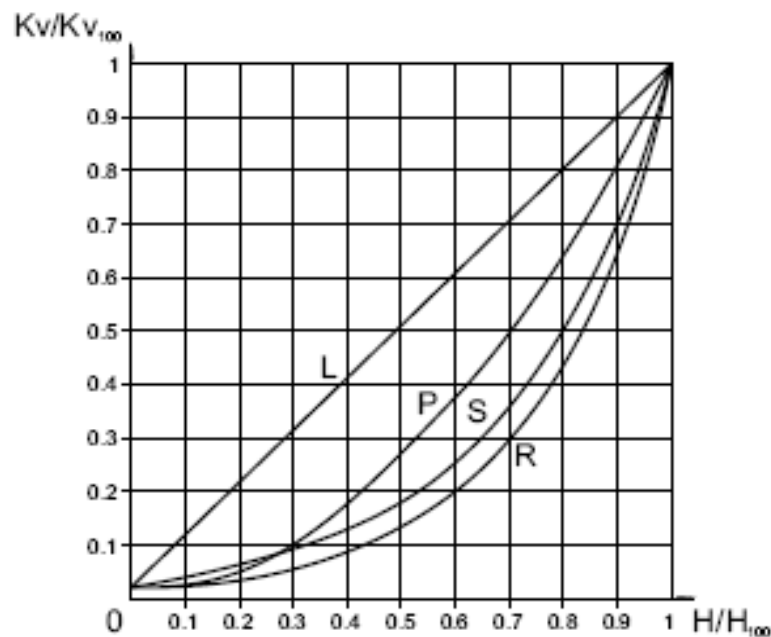
Poměrná průtočná charakteristika je funkční závislost poměrného průtočného součinitele  $\Phi$  na poměrné poloze uzávěru regulačního prvku  $h$ , který je dán poměrem okamžitého zdvihu ventilu  $H$  ku jejímu jmenovitému zdvihu  $H_{100}$ .

$$\Phi = \Phi(h) \quad (2.25)$$

Nejčastěji používanou charakteristikou je u regulačních ventilů charakteristika rovnoprocentní. Tato charakteristika se vyznačuje tím, že stejný přírůstek poměrného zdvihu  $h$  vyvolá stejný procentní přírůstek poměrného průtokového součinitele  $\Phi$ .

Tvar této křivky je patrný z obr. 4, označena je písmenem  $R$ , kdy poměrnému zdvihu 70% odpovídá přesně 30% průtoku.

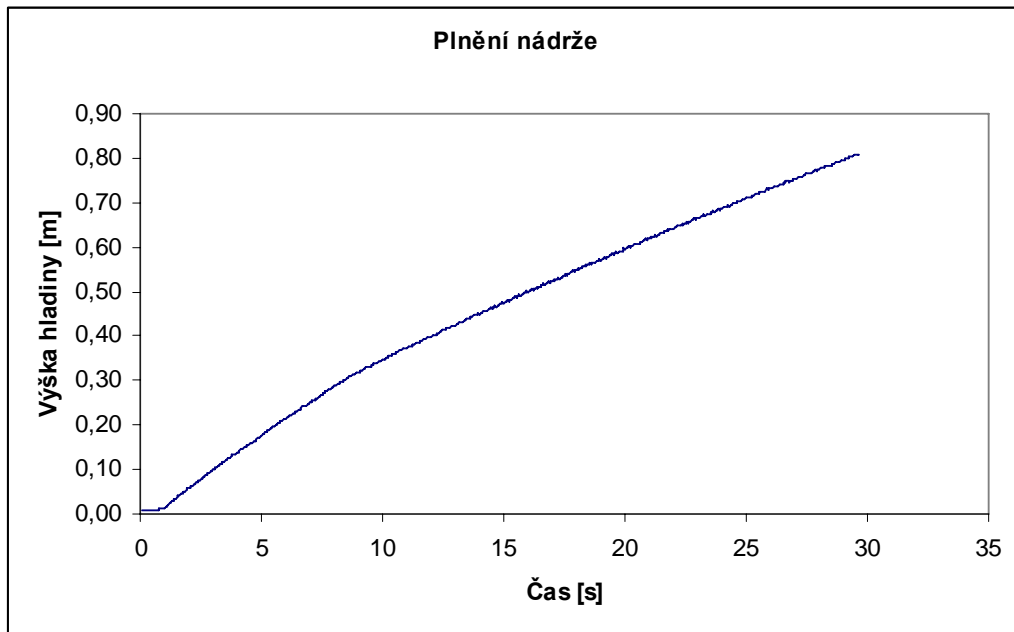
Firma LDM vyvinula speciální optimalizovaný tvar charakteristiky pro regulaci výměníků voda – voda. Tuto charakteristiku nazvala LDMspline<sup>®</sup> charakteristikou a na obr. 4 je prezentována písmenem  $S$ .



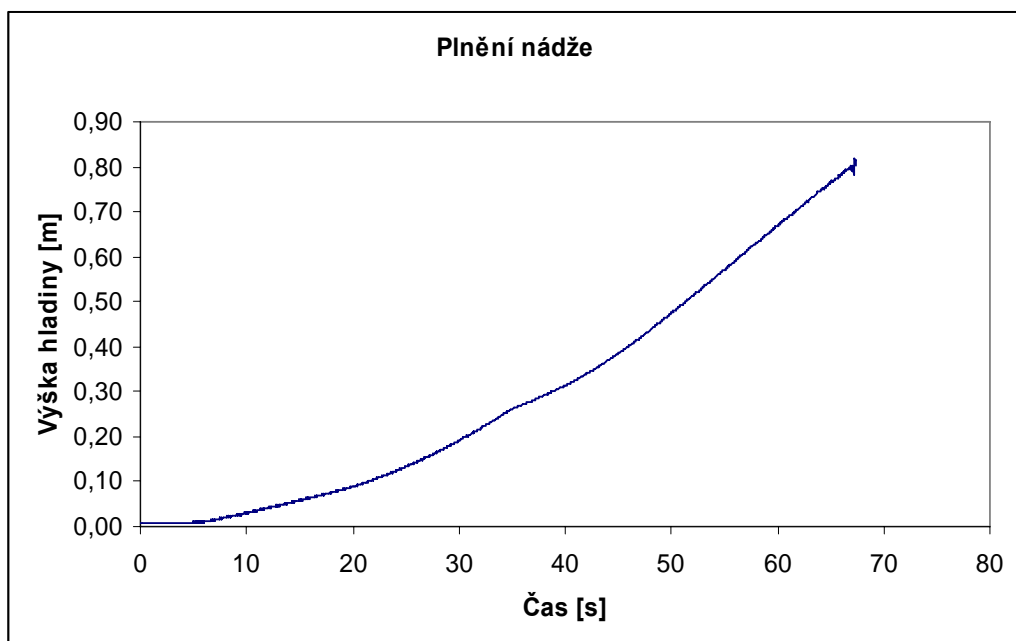
Obr. 4: Charakteristiky regulačních ventilů

Tato charakteristika vychází principiálně z charakteristiky rovnoprocentní a často se označuje jako modifikovaná rovnoprocentní charakteristika. Svým průběhem odráží snahu o tzv. linearizaci regulačního procesu. Nespornou výhodou této charakteristiky je přesnější regulace po celé délce zdvihu.

Vliv LDMspline<sup>®</sup> charakteristiky na laboratorní model je dobře patrný z obr. 5 a obr. 6, které porovnávají napouštění nádrže v původním uspořádání a po zapojení regulačního ventilu.



Obr. 5: Plnění nádrže v původním zapojení



Obr. 6: Plnění nádrže při zapojeném regulačním ventilu

### 2.3.3 Nový návrh laboratorního modelu

V průběhu navrhování nového uspořádání laboratorní úlohy jsem dospěl k rozhodnutí využít i stávající elektromagnetický ventil, který sloužil pro dvoupolohovou regulaci. Nově je navržen do soustavy jako pojistný prvek proti přetečení nádoby. Člen pro snímání polohy hladiny zůstal původní v podobě tlakového snímače WIKA S – 11. Jde o membránový snímač s rozsahem 0 až 0,4 bar.

Závislost tlaku na výšce hladiny je dána vztahem pro určení hydrostatického tlaku v hloubce  $h$

$$p = \rho \cdot g \cdot h , \quad (2.26)$$

kde  $p$  je hydrostatický tlak [Pa],

$\rho$  je hustota kapaliny [kg / m<sup>3</sup>],

$g$  je tíhové gravitační zrychlení [m / s<sup>2</sup>],

$h$  je výška hladiny v nádrži [m],

výrobcem udávaný rozsah snímače je v barech a základní jednotkou pro tlak je 1 Pa, udávající sílu jednoho N na jeden m<sup>2</sup>, uijeme převodní vztah vzorce (2.27) pro převod na Pa.

$$1bar = 10^5 Pa \quad (2.27)$$

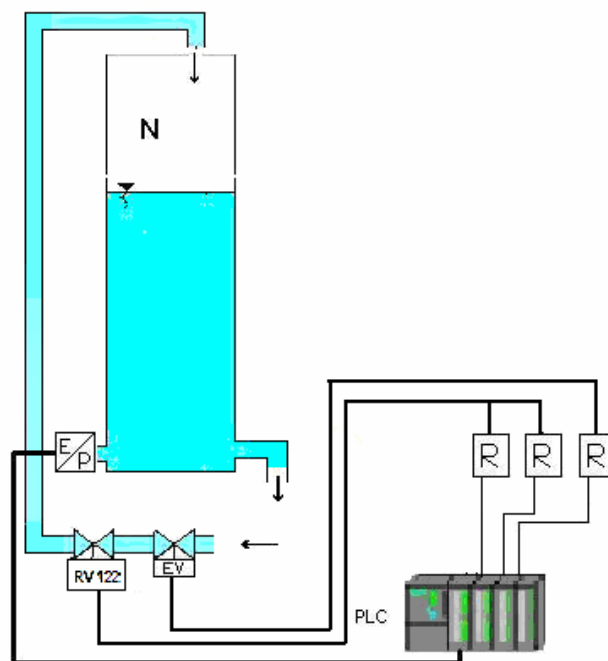
V naší nádrži bychom tak pomocí snímače WIKA S – 11 mohli měřit až do výšky 4,0774 m vodního sloupce. Vzhledem k tomu, že výška nádrže je jen 0,97 m, budeme se pohybovat jen v první ¼ rozsahu snímače.

Celá soustava je řízena pomocí PLC automatu firmy Siemens modelové řady S7-300 za pomoci polovodičových relé WG A56D25Z firmy Günther, které jsou ovládány přímo digitálními výstupy z PLC.

Celkové uspořádání je patrné z obr. 8



Obr. 7: Laboratorní model



Obr. 8: Nové uspořádání laboratorního modelu

Zkratky použité ve schématu zapojení úlohy:

N..... nádrž

EV..... elektromagnetický ventil

RV122..... RV122 BEEline

E/P..... tlakoví snímač WIKA S – 11

R.....polovodičové relé

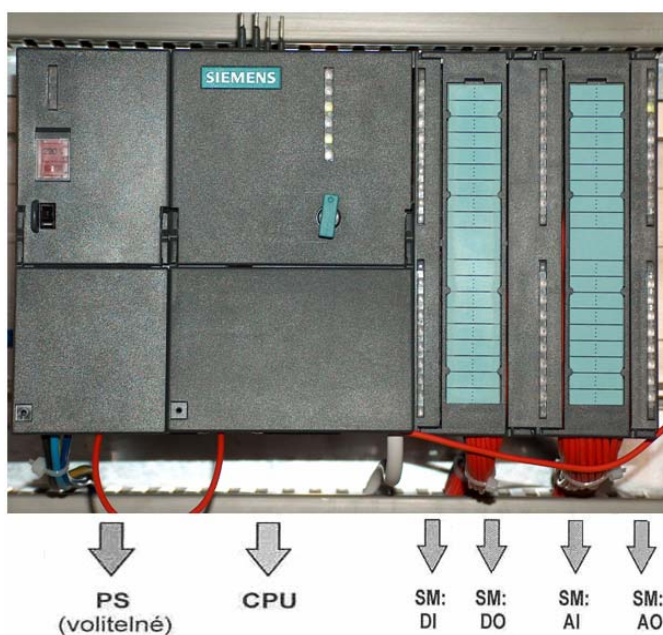
PLC..... programovatelná řídicí jednotka

## 3 PLC

PLC (Programmable Logic Controller) – programovatelný automat je uživatelsky programovatelný řídicí systém, určený k nasazení především v průmyslu a technologických oblastech. PLC je řídicí člen, který má na starosti řízení celého procesu a je nedílnou součástí automatizace mnoha provozů a podniků. PLC automaty však nenacházejí uplatnění jen v průmyslu, ale slouží k řízení, mnohdy logických, operací v nejrůznějších odvětvích. K nasazení v průmyslu, ale i jiných odvětvích, je předurčuje především jejich možnost rychlé realizace systému, neboť sestávají z dílčích modulů, které lze sestavit, a je hotov zcela funkční řídicí člen. Další jejich předností je, že jsou navrhovány především pro nasazení v drsných podmínkách průmyslu. Proto jsou odolné proti různým vlivům prostředí, jako jsou prašnost, vibrace atd.

### 3.1 Hardware

V době realizace této práce je na katedře aplikované kybernetiky k dispozici programovatelný automat firmy Siemens. Jak již bylo zmíněno, PLC sestává z několika modulů komunikujících spolu navzájem a tvořících tak dohromady kompletní řídicí člen. Jednotlivé moduly jsou znázorněny na obr. 9.



Obr. 9: S7 – 300: Moduly

## Napájecí zdroj

- PSS3072A
- Připojen ke střídavé síti 230V~50Hz
- Dodává stejnosměrné napětí 24V

## CPU

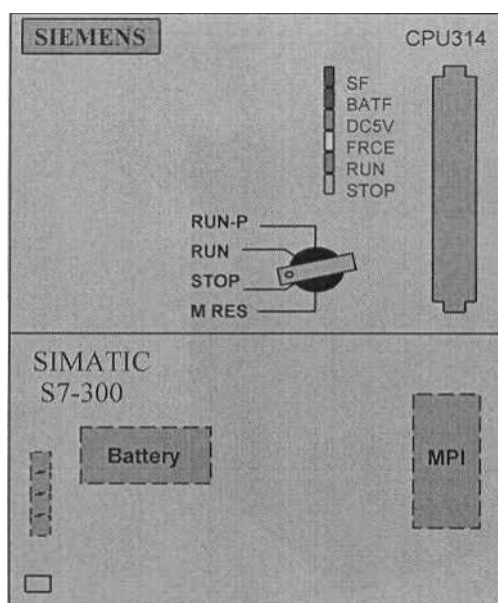
- SIMATIC S7 314 IFM

Signální moduly (SM) jsou součástí CPU

- Digitální vstupní modul 24V DC, 120/230V AC
- Digitální výstupní modul 24V DC, relé
- Analogové vstupní moduly běžné průmyslové rozsahy napětí a proudu odporové snímače, termočlánky
- Analogové výstupní moduly

## CPU SIMATIC S7 314 IFM

Na obr. 10 je znázorněn modul samotného CPU a níže jsou popsány jednotlivé prvky.



Obr. 10: Rozmístění prvků na CPU

### Přepínač režimů činnosti

- MRES = Vymazání paměti CPU jednotky
- STOP = STOP stav; bez zpracování uživatelského programu
- RUN = cyklické zpracování programu, obsah paměti CPU uvolněn pouze pro čtení
- RUN-P = cyklické zpracování programu, uvolněn přepis resp. zápis do paměti CPU jednotky

### Stavové LED diody

- SF = skupinová chyba; indikuje interní poruchu CPU nebo poruchu na některém z modulů se schopností samodiagnostiky
- BA TF = výpadek záložní baterie; baterie bez napětí nebo není založena
- DC5V = interní napětí 5V DC O.K.
- FRCE = funkce FORCE aktivní; (u S7-300 není ~ k dispozici)
- RUN = bliká, provádí-li CPU náběh, trvale svítí při cyklickém zpracování programu
- STOP = trvalý svit indikuje STOP stav  
= pomalu bliká, je-li nastaven požadavek na vymazání paměti nebo je-li vymazání právě prováděno  
= bliká pomalu, je-li nutné vymazání paměti z důvodu zasunutí paměťového modulu do CPU jednotky

### Paměťový modul

CPU jednotka obsahuje zásuvnou pozici pro paměťový modul Flash-EPROM, který zálohuje uživatelský program pro případ současného výpadku napájení a záložní baterie.

### Příhrádka pro záložní baterii

Pod spodním krytem se nachází příhrádka pro lithiovou záložní baterii, která zálohuje obsah RAM paměti CPU při výpadku napájení (po vypnutí napájení).

## **MPI konektor**

Slouží pro připojení programovacího PG/PC, TDIOP nebo jiného přístroje schopného komunikovat přes rozhraní MPI.

### **3.2 Programové vybavení**

Samotné PLC však k řízení nepostačí. PLC je v přeneseném slova smyslu jen počítač, který vykonává instrukce zapsané v paměti. Samotné řízení je mu dáno v podobě programu, který musíme sestavit a nahrát do příslušného PLC. K naprogramování je určen osobní počítač připojený přes MPI konektor k automatu. Řídící algoritmus se vytvoří ve vývojovém prostředí programu STEP 7, který je dodáván jako součást celého automatu.

#### **Vytvoření projektu**

U PLC SIMATIC S7 jsou všechny hardwarové (HW) i softwarové (SW) požadavky na řízení procesu spravovány v podobě datové struktury, kterou budeme označovat jako S7 projekt. Projekt obsahuje jak určení a nastavení pro hardware, kompletní uživatelský program tak i kompletní správu projektových dat.

Pro vytvoření projektu použijeme SIMATIC Manager, jenž sdružuje veškerá HW nastavení stejně jako prostředí pro vytvoření uživatelského programu. Můžeme říci, že je to jakási centrála pro kompletní správu PLC SIMATIC S7.

K vytvoření nového projektu v první řadě využijeme pomoci „STEP 7 Wizardu“ (obr. 11), jenž nás provede bezproblémovým založením nového projektu. Ve čtyřech krocích budeme postupně dotázáni na použité CPU, bloky, které budeme využívat, programovací jazyk a jméno našeho projektu.

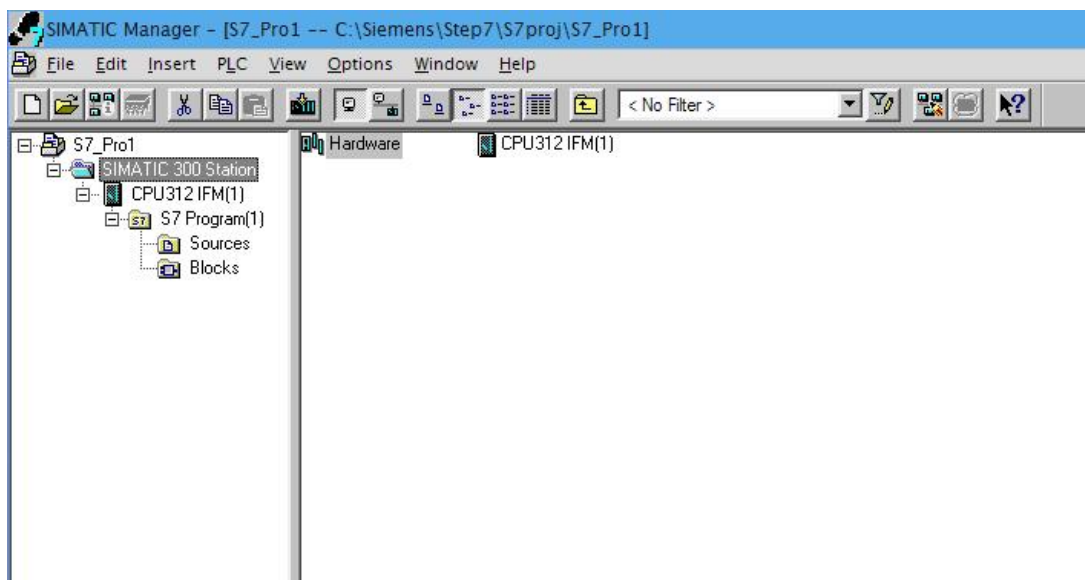




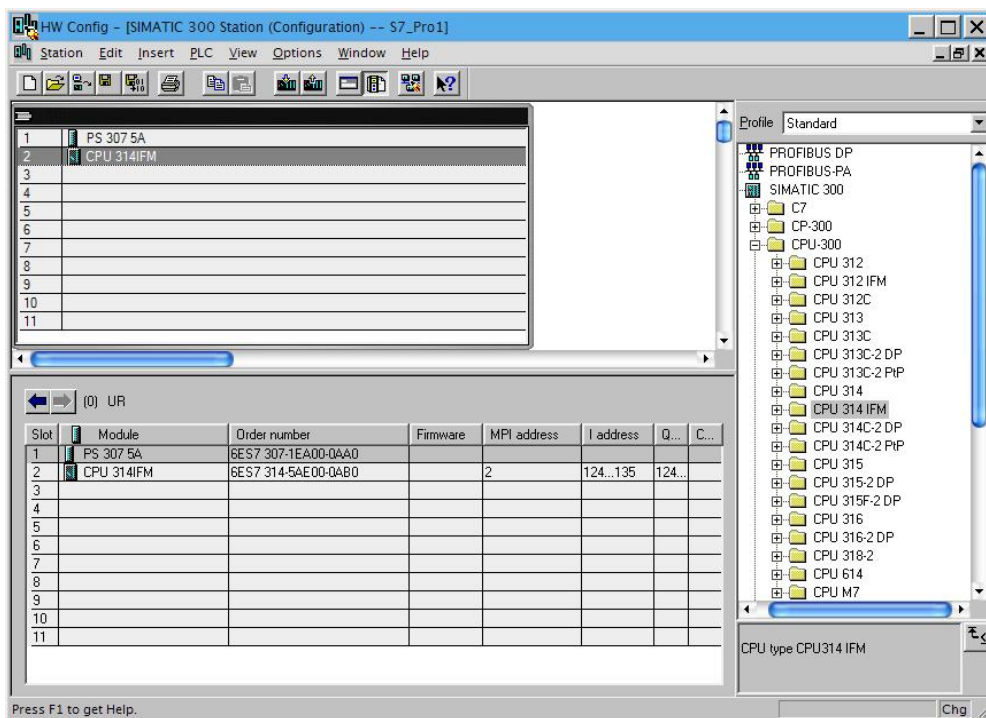
Obr. 11: STEP 7 Wizard

Po úspěšném vytvoření projektu se nám zobrazí hlavní okno programu STEP 7. Celý projekt je rozdělen v přehledné stromové struktuře do jednotlivých tzv. objektů, které reprezentují jednotlivé části, jako je HW konfigurace či samotný program.

V první řadě je třeba nakonfigurovat hardware PLC. Učiníme tak pomocí HW configu (obr. 12), který se nám otevře poklikáním na záložku Hardware (viz obr. 13).



Obr. 12: Hardware





Obr. 13: HW config

Zde si vybereme jednotlivé moduly z nabídky katalogu, který si otevřeme pomocí nabídky View → Catalog, nebo klávesovou zkratkou Ctrl+K. Příslušné moduly stačí přetáhnout pomocí myši na příslušné pozice. Pro jednotlivé moduly jsou přichystané pozice pro uložení, které jsou přesně rozděleny.

#### Pozice:

1. Napájecí modul
2. CPU
3. Rozšiřující karty
4. – 11. Standardní moduly ( obecné karty)

PLC použité pro řízení naší úlohy sestává z CPU 314IFM a napájecího modulu PS 307 5A.

Pro uložení HW nastavení doporučuji požit nabídku Save and Compile (  ), která provede i kontrolu kompatibility. Pokud vše proběhlo správně, můžeme nahrát nastavení HW přímo do PLC pomocí nabídky PLC → Download nebo kliknutím na ikonu .

### 3.2.1 Tvorba programu

Samotná tvorba programu se provádí a i jednotlivé programové bloky se nacházejí ve složce Blocks. STEP 7 nabízí rozdělit celý projekt do jednotlivých programových bloků a

celý program tím tak zjednodušit. Mnou navržený algoritmus řízení technologického procesu proto rozdělíme do dílčích bloků. Nabízí se nám využít bloky typu OB, DB, FC, FB, SFC atd.

Object name	Symbolic name	Created in language	Type	Size in the
System data	---	---	SDB	---
OB1	Cycle Execution	FBD	Organization Block	112
OB35	CYC_INT5	FBD	Organization Block	78
OB100	COMPLETE RESTART	FBD	Organization Block	42
FB41	CONT_C	SCL	Function Block	1160
FB43	PULSEGEN	SCL	Function Block	932
FC1	Vyska_hladiny	FBD	Function	236
FC2	Prestaveni_ventyl	FBD	Function	80
FC3	Nacitani	FBD	Function	94
FC4	PID Controller	FBD	Function	196
FC105	SCALE	STL	Function	244
DB1	Konstanty	DB	Data Block	60
DB20	Blok PID	DB	Data Block	162
DB25	Blok PULSGEN	DB	Data Block	70
DB30	Tabulka nactenych hodnot	DB	Data Block	8040
VAT_1	VAT_1		Variable Table	---

Obr. 14: Složka Blocks

Pro bližší specifikování uvádím stručný popis.

### OB – Organizační bloky

Organizační bloky tvoří rozhraní mezi uživatelským programem a operačním systémem CPU jednotky. Jsou volány výhradně operačním systémem CPU a zajišťuje chování PLC při náběhu, zpracování přerušení, správu poruch a v neposlední řadě cyklické zpracování uživatelského programu

### FC, FB – Funkce, funkční bloky

Umožňují rozdělit program do jednotlivých vzájemně propojených částí.

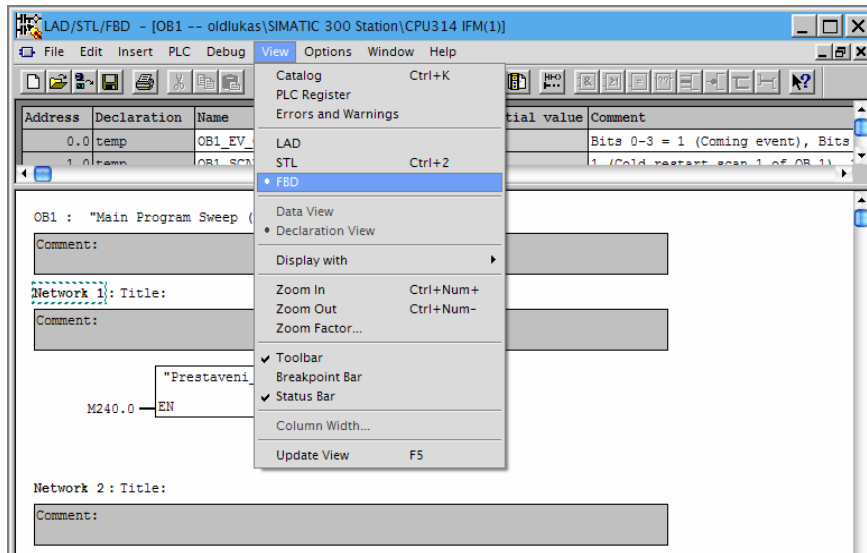
### DB – Datové bloky

Slouží pro uschování uživatelských dat potřebných pro řízení procesu.

Vzhledem k tomu, že další bloky nejsou použity, nebudu zde uvádět jejich bližší popis. Více lze najít v příručkách fi. Siemens pro dané PLC.

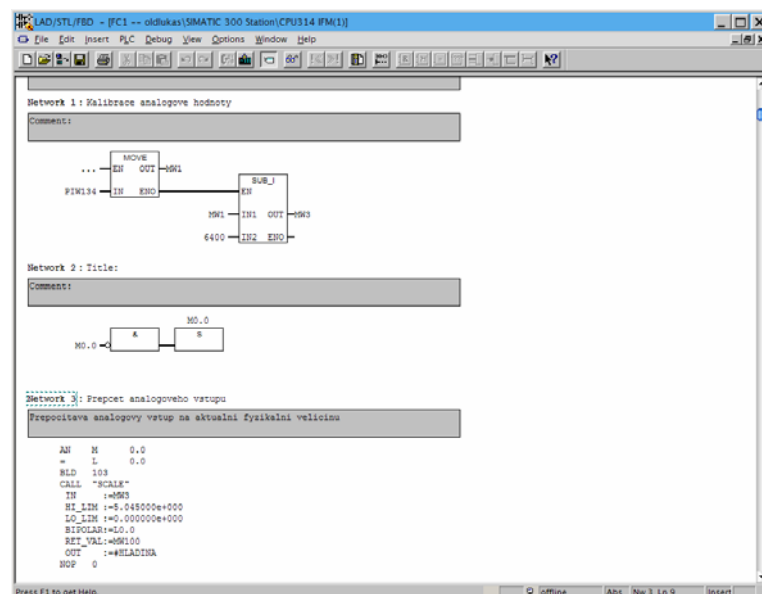
Na obr. 14 je vidět složka Blocks, obsahující bloky celého řídicího programu naší úlohy a tím i celý program použitý pro regulaci.

Jednotlivé bloky mohou být programovány ve 3 různých programovacích jazycích, kterými jsou STL, FBD a LAD. Po otevření daného bloku si můžeme vybrat, který jazyk pro naprogramování naší aplikace použijeme. Výběr se provádí z nabídky „view“ kliknutím na zkratku příslušného programovacího jazyka.




Obr. 15: Výběr programovacího jazyku

Jazyky LAD/FBD jsou nejčastěji používané a jejich nespornou výhodou je, že pracují s graficky ztvárněnými prvky nacházejícími se v knihovně. Jazyk STL je plně textový režim a pro správné programování v tomto jazyce je zapotřebí znát správnou syntaxi instrukcí. Rozdíl je velmi dobře patrný z následujícího obrázku.



Obr. 16: Programovací jazyky

Program je ve větší míře psán v jazyce FBD, ale protože bylo nutné některé části programu upravit, je použit i jazyk STL. Postup nahrání programu do PLC je obdobný jako při HW konfiguraci a provádí se pomocí tlačítka .

### 3.2.2 Program

Nejlepší popis programu, podle mého, je popsat si jednotlivě příslušné bloky, a tím tak přiblížit fungování celého programu. Jednotlivé bloky jsou znázorněny na obr. 14.

**OB1** - Je cyklicky se vykonávající blok, z kterého jsou volány funkce `Prestaveni_ventilu`, `Vyska_hladiny` a `PID Controller`.

**OB35** - Je blok cyklického přerušení, který se provádí nezávisle na OB1 v periodickém opakování. Perioda opakování může být nastavena v rozmezí 1 ms-1 min. Toho jsme s výhodou využili pro zajištění hlídání maximální (havarijní) výšky hladiny, pro zamezení přetečení nádoby. Pokud by k takovéto situaci došlo, uzavře se automaticky natrvalo elektromagnetický ventil a k opětovnému spuštění může dojít jen celkovým restartováním systému. Protože bylo také třeba naměřená data nějak ukládat pro pozdější off-line zpracování, je v tomto bloku také volána funkce načítání.

**OB100** - Je volán jen jednou při každém startu PLC. Je v něm inicializována hodnota pro start přestavění regulačního ventilu.

**FC1** - Tato funkce už přímo zpracovává údaje z analogového vstupu, kterým je v našem případě tlakové čidlo. Protože PLC převádí vstupní analogový signál (el. proud) na číselný interval 0..27648, bylo třeba zajistit zpětný převod tohoto čísla na konkrétní fyzikální veličinu. K tomu je použit blok „SCALE“, z kterého následně dostáváme informaci o aktuální výšce hladiny v nádrži ve formě reálného čísla. Tato hodnota je již normována a odpovídá skutečné výšce hladiny našeho modelu.

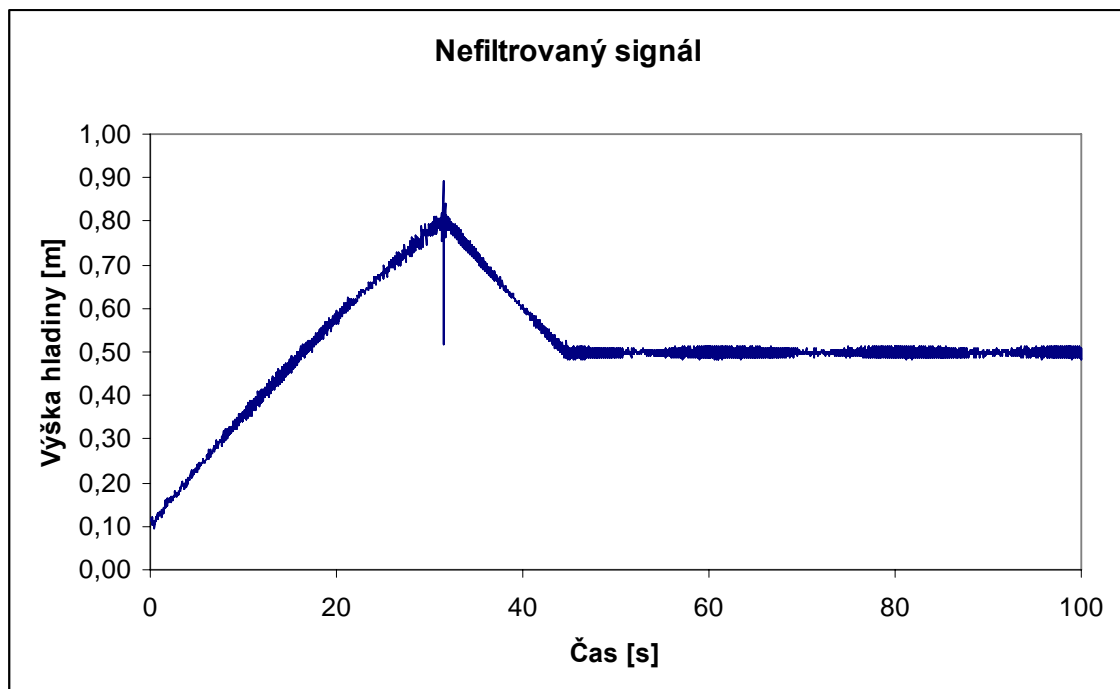
V průběhu zpracovávání výsledných přechodových charakteristik byla zjištěna značná nepřesnost a zašumělost vstupního signálu, která neumožňovala následnou regulaci s uspokojivou přesností. Bylo proto třeba navrhnout filtr pro zpřesnění výsledků. Tento filtr je realizován softwarově právě v tomto funkčním bloku. Jedná se o filtr 1.řádu

$$e_f(k) = (1 - a) \cdot e_f(k - 1) + a \cdot e(k), \quad (3.1)$$

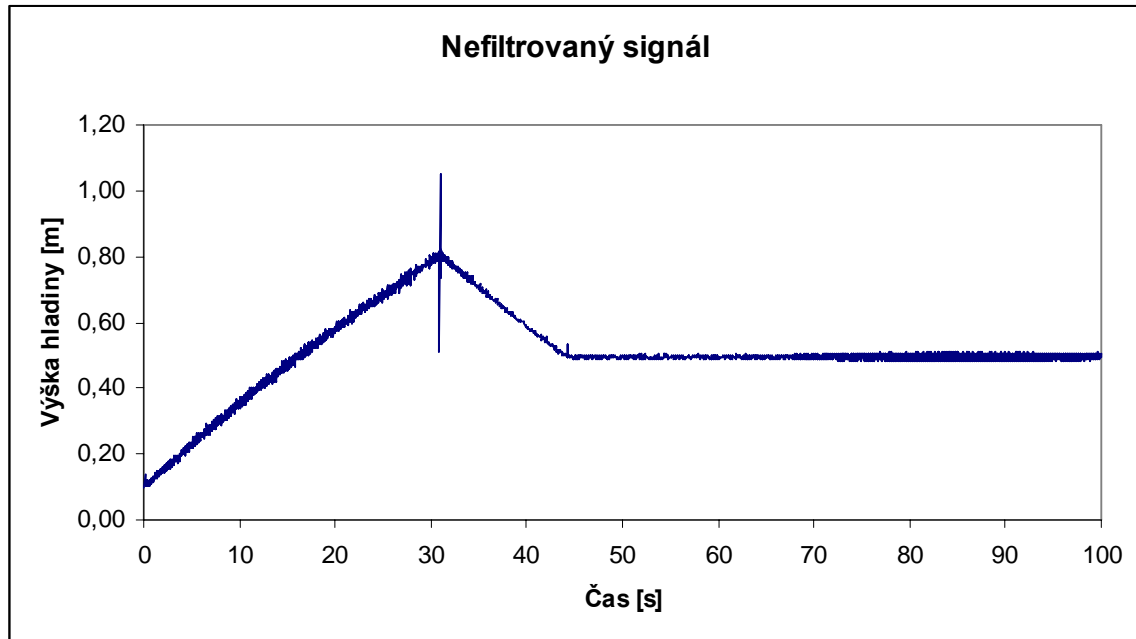
kde  $e_f(k)$  je filtrovaná hodnota,  
 $e_f(k-1)$  je filtrovaná hodnota v předchozím kroku,  
 $e(k)$  je aktuální hodnota filtrované veličiny,  
 $a$  je koeficient filtrace ( $0 < a < 1$ ).

Bohužel i po aplikování výše zmíněného filtru se v signálu objevovali nežádoucí periodicky se opakující pulzy. To si vyžádalo zásah do napájení samotného PLC, jež muselo být napojeno na externí stabilní zdroj. Po tomto zásahu se stabilita signálu i bez použití filtru značně zlepšila, ale i nadále bylo žádoucí filtr použít.

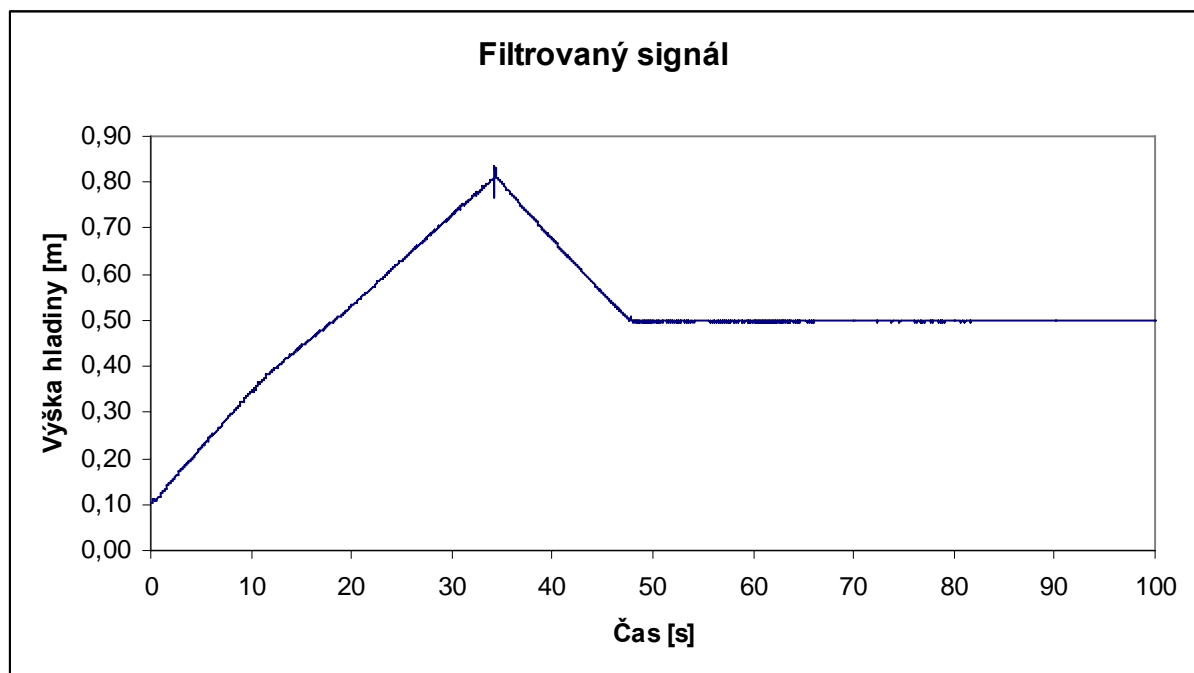
Účinnost filtru a zpřesnění výsledků je patrná z obrázků obr.17 – 19.



Obr. 17: Nefiltrovaný vstup ( nestabilní zdroj)



Obr. 18: Nefiltrovaný vstup ( stabilní zdroj)



Obr. 19: Filtrovaný vstup

Těmito úpravami a použitím filtru bylo dosaženo uspokojivé přesnosti do 4 mm, což činí chybu 0,1% z plného rozsahu snímače.

**FC2** - Je funkce pro plné přestavění regulačního ventilu. Vzhledem k tomu, že v případě havárie je třeba celý systém restartovat, musí být zajištěno tzv. přestavění regulačního ventilu. Přestavěním ventilu se rozumí jeho najetí do výchozí, nulové polohy. Poněvadž ventil není opatřen vlastním zajištěním hlídání aktuální polohy, je zapotřebí zajistit jeho celkové přestavění časovačem. Celková doba plného zavření ventilu je 66 s, a tak je časovač nastaven na dvojnásobnou hodnotu, aby bylo zajištěno spolehlivé přestavění z jakékoli polohy.

**FC3** - Pro off-line zpracování výsledků měření a jejich následnou interpretaci je zapotřebí zaznamenávat aktuální hodnoty ze snímače tak, aby s nimi bylo možné následně pracovat. V případě PLC je toto velmi obtížné, neboť by muselo být použito produktů třetích stran, které jsou zpravidla velmi nákladné, a nebo se obejít s omezenými prostředky, které máme k dispozici. Proto je načítání hodnot realizováno pomocí vlastního algoritmu do paměti PLC a následným zkopírováním do osobního počítače lze s těmito daty dále pracovat. Toto načítání je realizováno právě blokem FC3. Pro naše laboratorní úlohy je toto zcela postačující způsob, ale pro nasazení v procesech, kde změna veličiny trvá dlouho dobu, nevhodné. Důvodem tohoto tvrzení je omezená kapacita paměti PLC, a tak lze do jednoho datového bloku vytvořit pole jen o 2000 položkách reálných čísel. Načítací algoritmus využívá k uložení hodnot do pole datový blok **DB30**.

**FC4** - Jak symbolický název napovídá, jedná se o realizaci PID regulátoru. Více je tomuto bloku věnována kapitola 3.3 PID Controller

**DB1** - V tomto bloku jsou uloženy všechny proměnné, které využíváme pro řízení dané úlohy. Lze je zde také velmi rychle editovat a měnit tak vstupní parametry.

**DB 20** – Tento datový blok slouží přímo pro potřeby PID Controlleru. Uchovávají se v něm všechna nastavení.

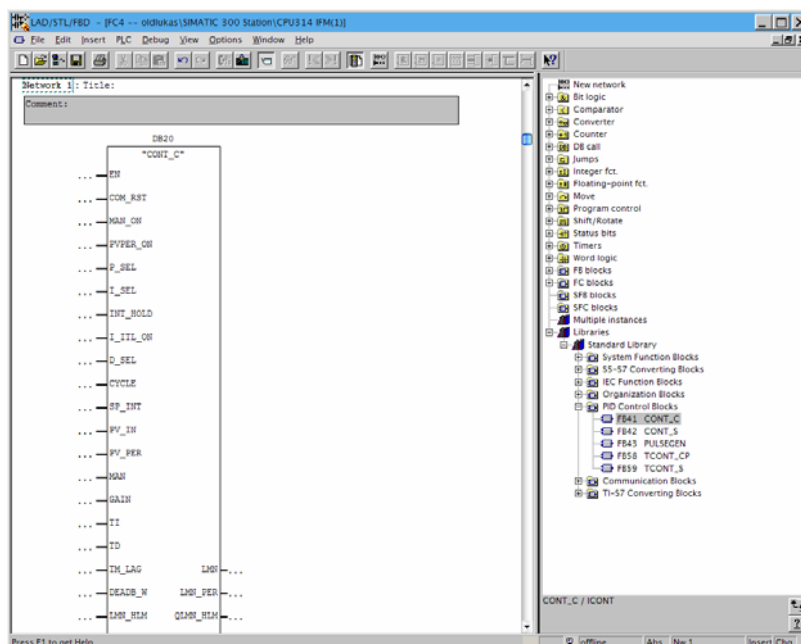
**DB 25** - Tento datový blok slouží přímo pro potřeby PULSGEN. Uchovávají se v něm všechna nastavení.

Výpis zdrojového textu pro řízení je uveden v příloze [1]



### 3.3 PID Controller

Pro možnost řízení laboratorního modelu je zapotřebí využít regulátoru. K tomu poslouží blok FC4, který celý realizuje PID regulaci daného systému. Naprogramování vlastního regulátoru je velmi náročné a pracné, a tak PLC fi. Siemens má už vlastní regulátor implementován přímo v sobě. Ve STEP7 je reprezentován blokem CONT\_C a najít ho lze v katalogu ve složce Libraries.



Obr. 20: PID Controller

Využití tohoto regulátoru je všude tam, kde je třeba zajistit regulaci žádané hodnoty. Blok splňuje všechny požadavky algoritmů PID regulátorů. Pro zajištění správné realizace při řízení naší úlohy je zapotřebí rozšířit CONT\_C ještě o pulsní generátor, který je reprezentován blokem PULSGEN v téže knihovně.

Jediným povinným parametrem u obou bloků je specifikování datového bloku, který bude vyhrazen přímo jen pro potřeby PID regulátoru a pulsního generátoru. Ostatní parametry jsou nepovinné a vysvětlení jednotlivých vstupů a výstupů bloku CONT\_C je popsáno v tab. 1



NÁZEV	I/O	DATOVÝ TYP	ROZSAH	INICIALIZACE	POPIS
COM_RST	INPUT/ OUTPUT	BOOL	.	FALSE	COMPLETE RESTART Při hodnotě TRUE bude celý blok restartován.
MAN_ON	INPUT/ OUTPUT	BOOL		TRUE	MANUAL OPERATION ON Je-li TRUE, je řetězec přerušen a na výstupu je hodnota MAN.
PVPER_ON	INPUT	BOOL		FALSE	PROCESS VARIABLE PHERIPHERAL ON Musí být TRUE při čtení vstupu z I/O
P_SEL	INPUT	BOOL		TRUE	PROPORTIONAL ACTION ON Zařazení složky P
I_SEL	INPUT	BOOL		TRUE	INTEGRAL ACTION ON Zařazení složky I.
INT_HOLD	INPUT	BOOL		FALSE	INTEGRAL ACTION HOLD Výstup z integrátoru může být nastaven na konstantní hodnotu.
D_SEL	INPUT	BOOL		FALSE	DERIVATIVE ACTION ON Zařazení složky D.
CYCLE	INPUT/ OUTPUT	TIME	$\geq 0.001s$	1 s	SAMPLE TIME OF CONTINUOUS CONTROLLER [s] Čas vzorkování pro PID algoritmus.
SP_INT	INPUT	REAL	-100,0.. ..100,0 nebo fyz. hodnota	0,0	INTERNAL SETPOINT Požadovaná hodnota
PV_IN	INPUT	REAL	-100,0.. ..100,0 nebo fyz. hodnota	0,0	PROCESS VARIABLE IN Na tento vstup je přivedena regulovaná veličina
PV_PER	INPUT	WORD		W#16# 0000	PROCESS VARIABLE PHERIPHERIAL Při čtení veličiny z I/O.
MAN	INPUT/ OUTPUT	REAL		0.0	MANUAL VALUE Zadání požadované hodnoty výstupu v ručním režimu.
GAIN	INPUT	REAL		2,0	PROPORTIONAL GAIN Specifikuje hodnotu proporcionálního zesílení.
TI	INPUT	TIME	$\geq CYCLE$	20 s	RESET TIME Definuje integrační časovou konstantu

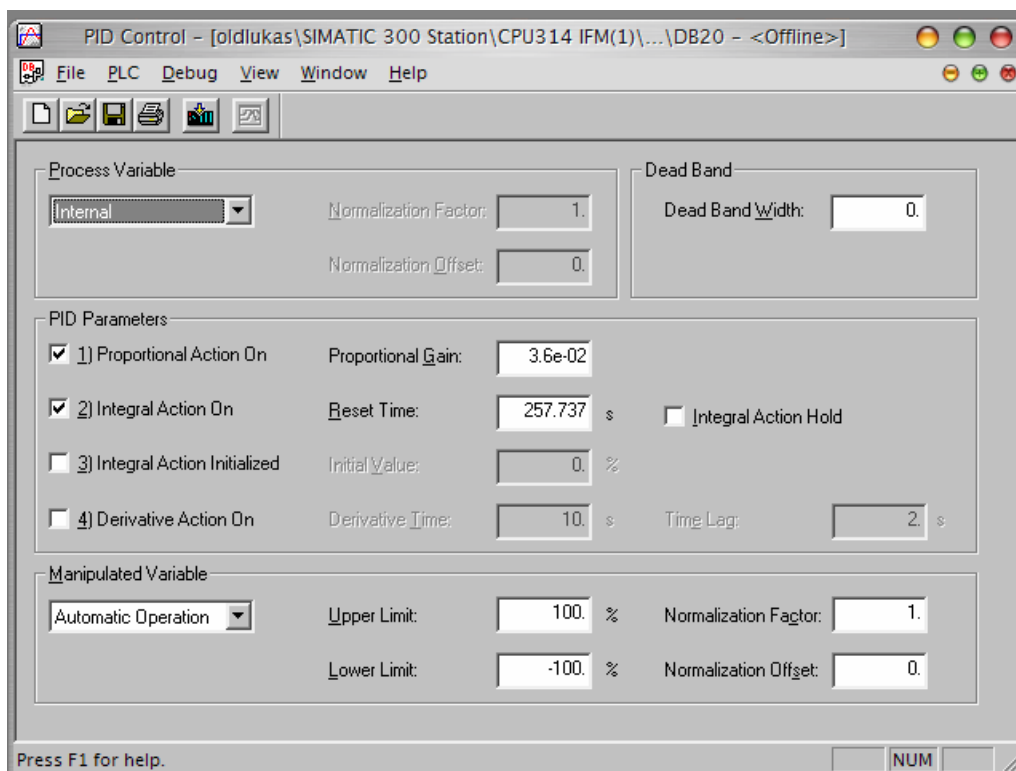


TD	INPUT	TIME	$\geq$ CYCLE	10 s	DERIVATIVE TIME Definuje derivační časovou konstantu.
TM_LAG	INPUT	TIME	$\geq$ CYCLE/2	2 s	TIME LAG OF THE DERIVATIVE ACTION Algoritmus D členu obsahuje derivační zpoždění, které může být přiřazeno.
DEADB_W	INPUT	REAL	$\geq$ 0.0% nebo fyz. hodnota	0.0	DEAD BAND WIDTH Nastavením této proměnné definujeme pásmo necitlivosti na regulační odchylku.
LMN_HLM	INPUT	REAL	$>$ LMN_ LLM ..100,0	100.0	MANIPULATED VARIABLE HIGH LIMIT Vkládá horní mez pro omezení regulované proměnné.
LMN_LLM	INPUT	REAL	-100,00.. LMN_ HLM	0.0	MANIPULATED VARIABLE LOW LIMIT Vkládá dolní mez pro omezení regulované proměnné.
PV_FAC	INPUT	REAL		1.0	PROCESS VARIABLE FACTOR Touto proměnnou násobíme regulovanou veličinu, upravujeme její rozsah.
PV_OFF	INPUT	REAL		0.0	PROCESS VARIABLE OFFSET Je přičtená k regulované veličině. Tímto vstupem upravujeme rozsah regulované veličiny.
LMN_FAC	INPUT	REAL		1.0	MANIPULATED VARIABLE FACTOR Je jím násobena regulovaná veličina. Používá se k nastavení rozsahu.
LMN_OFF	INPUT	REAL		0.0	MANIPULATED VALUE OFFSET Je přičtena k regulované veličině. Používá se k nastavení rozsahu.
I_ITVAL	INPUT	REAL	-100,0 .. ..100,0 nebo fyz. hodnota		INITIALIZATION VALUE OF THE INTEGRAL ACTION Výstup z integrátoru může být nastaven vstupem I_ITVAL
DISV	INPUT	REAL	-100,0.. 100,0 nebo fyz. hod.	0,0	DISTURBANCE VARIABLE Připojení poruchové veličiny.

LMN	OUTPUT	REAL		0,0	MANIPULATED VALUE Výstup z PID regulátoru při vstupu PV_IN
LMN_PER	OUTPUT	WORD		0	MANIPULATED VALUE PERIPHERIAL Výstup z PID regulátoru při vstupu I/O
QLMN_HLM	OUTPUT	BOOL		FALSE	HIGH LIMIT OF MANIPULATED VALUE REACHER Limit horním a dolním limitem. Při překročení horního a dolního limitu.
QLMN_LLM	OUTPUT	BOOL		FALSE	LOW LIMIT OF MANIPULATED VALUE REACHER Limit horním a dolním limitem. Při překročení horního a dolního limitu.
LMN_P	OUTPUT	REAL		0,0	PROPORTIONAL COMPONENT Tímto výstupem získáme proporcionální hodnotu manipulované veličiny
LMN_I	OUTPUT	REAL		0,0	INTEGRAL COMPONENT Tímto výstupem získáme integrační hodnotu manipulované veličiny
LMN_D	OUTPUT	REAL		0,0	DERIVATIVE COMPONENT Tímto výstupem získáme derivační hodnotu manipulované veličiny

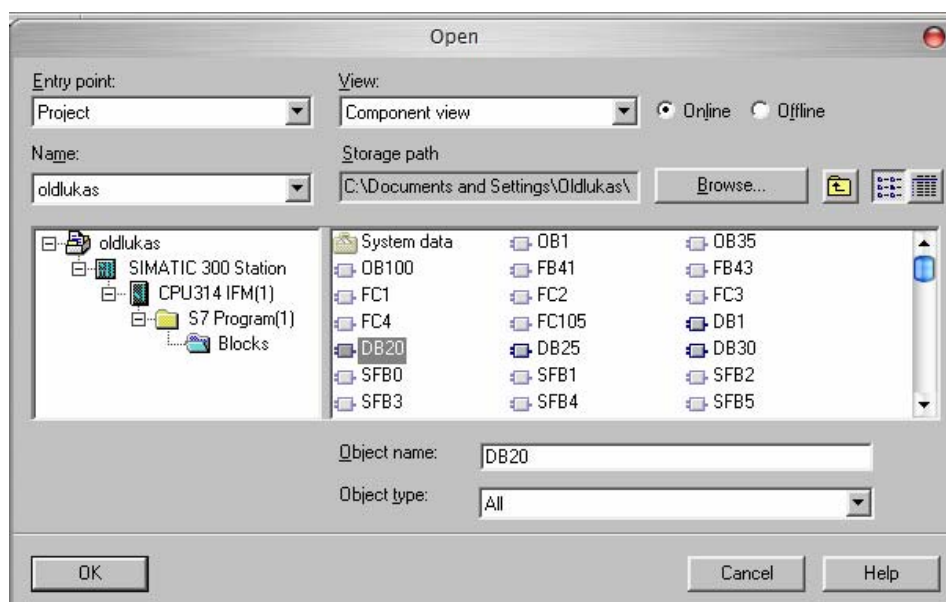
**Tab. 1**

Ze vstupních parametrů, které musíme definovat přímo ve funkčním bloku, jsou nezbytně nutné jen vstupy SP\_INT, PV\_IN a CYCLE. Na vstup SP\_INT je přivedena adresa žádané hodnoty, na vstup PV\_INT je přivedena aktuální hodnota měřené veličiny a CYCLE je čas cyklu, kdy se bude vykonávat celý PID blok. Všechny další parametry jsou nepovinné nebo pro jejich nastavení využijeme externí aplikace PID Control Parameter Assignment, která je součástí instalace Step7. Výstupní parametr je jen jeden, a to adresa pro výstupní akční veličinu regulátoru.



Obr. 21: PID Control Parameter Assignment

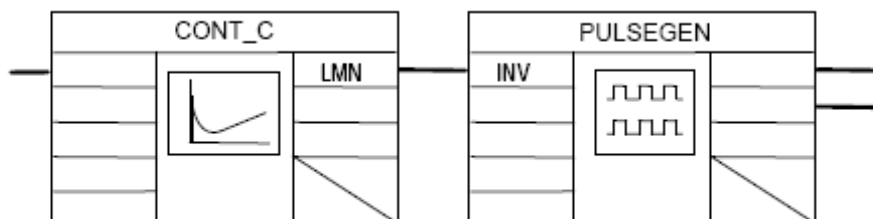
Abychom mohli aplikaci PID Control Parameter Assignment využít pro nastavování jednotlivých parametrů, musíme jí nadefinovat datový blok v on-line spojení s PLC, který je vyhrazen přímo pro náš PID blok.



Obr. 22: Otevření on-line spojení

Nastavení jednotlivých parametrů je z obrázku obr.21 patrné, a můžeme tak jednotlivá nastavení regulátoru realizovat velmi jednoduše a intuitivně.

Ventil RV 122 P není určen pro čistě spojitou regulaci, ale je řízen pomocí tří stavů (otevírání, stop stav, zavírání). Aby bylo možné realizovat regulaci pomocí PLC, je nutné převádět výstupní spojitou regulovanou veličinu na pulsy, zajišťující vlastní řízení regulované soustavy. K tomuto je zapotřebí použít bloku PULSGEN, starajícího se o samotný převod.



Obr. 23: Propojení s PULSGENem

PULSGEN je již přímo určen pro třístavové řízení, stejně jako pro řízení dvoustavové. Nutné je zajistit synchronizaci s PID blokem nastavením shodného času PER\_TM (period time), jako je doba znovunačítání PID.

## 4 Identifikace

Aby bylo možno technologický proces účinně řídit, je třeba navrhnout odpovídající koeficienty pro nastavení příslušných regulátorů. To nelze s odpovídající přesností učinit bez znalosti vlastností daného procesu. Proto naši soustavu nejprve tzv. identifikujeme. Identifikací se rozumí nalezení odpovídajícího matematického modelu k dané měřené soustavě. Náš model můžeme nazvat neparаметrickým, neboť budeme vlastnosti soustavy určovat až z funkční závislosti mezi zvoleným vstupním a odpovídajícím výstupním signálem. Identifikaci budeme provádět off-line, což znamená, že si funkční závislosti nejdříve naměříme a průběhy zaznamenáme do tabulek a až následně provedeme jejich vyhodnocení a identifikaci soustavy.

## 4.2 Druhy soustav

U dynamického systému s jedním vstupem a jedním výstupem většinou popisujeme závislost vstupní veličiny a odpovídající změnu výstupní veličiny. Tento vnější popis může být vyjádřen různými způsoby. V našem případě bude systém popisován pomocí přechodové charakteristiky, což je grafické vyjádření závislosti vstupní veličiny na výstupní v reakci na jednotkový skok a pomocí obrazového přenosu.

Obrazový přenos je definován jako Laplaceův obraz výstupní veličiny ku Laplaceovu obrazu vstupní veličiny při nulových počátečních podmínkách.

$$F(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0}, \quad (4.1)$$

kde  $U(s)$  je Laplaceův obraz vstupní veličiny a  $Y(s)$  výstupní.

$b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0$  je polynom čitatele,

$a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0$  je polynom jmenovatele.

Nebo také ve tvaru

$$F(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{s^r (a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0)} e^{-sT_d}, \quad (4.2)$$

kde  $n + r$  je řád soustavy,

$r$  je řád statismu,

$n + r > m$  je podmínka fyzikální realizovatelnosti,

$T_d$  je dopravní spoždění.

Řád soustavy a řád astatismu jsou důležité vlastnosti systémů. Udávají jejich chování a určují vlastnosti celé soustavy.

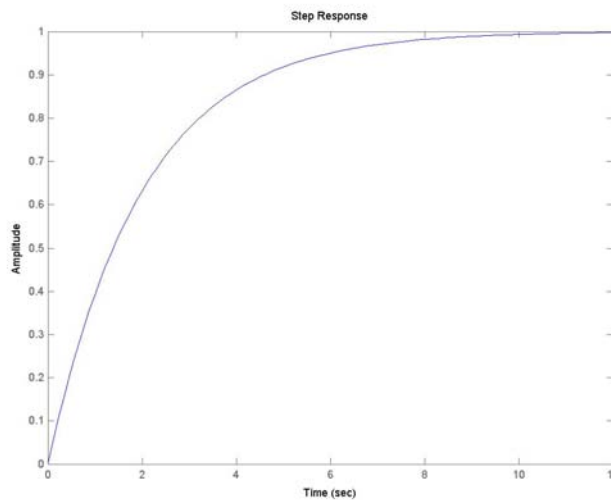
### Rozdělení dynamických soustav

Podle tvaru přechodové charakteristiky dělíme dynamické systémy na:

### a) statické regulační soustavy

Jsou charakterizovány tím, že diferenciální rovnice má ve jmenovateli  $(n + 1)$  členů. Při přivedení vstupní veličiny jednotkového skoku ustálí se výstupní veličina na konstantní hodnotě:

$$F(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0} \quad (4.3)$$



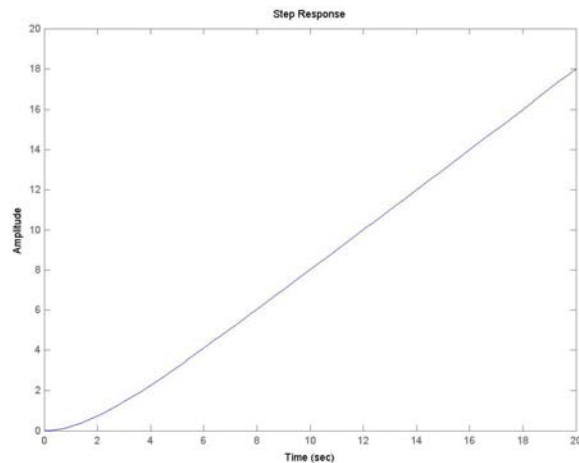
Obr. 24: Přejchodová charakteristika statické regulační soustavy

### b) astatické (integrační) regulační soustavy

Jsou charakterizovány tím, že ve jmenovateli chybí prostý člen a v čitateli je pouze prostý člen. Při přivedení vstupní veličiny jednotkového skoku mění se výstupní veličina po skončení přechodového děje rovnoměrným pohybem rychlostí  $\frac{b_0}{a_1}$ , tedy vstupní veličinu integruje.

$$F(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s} \quad (4.4)$$



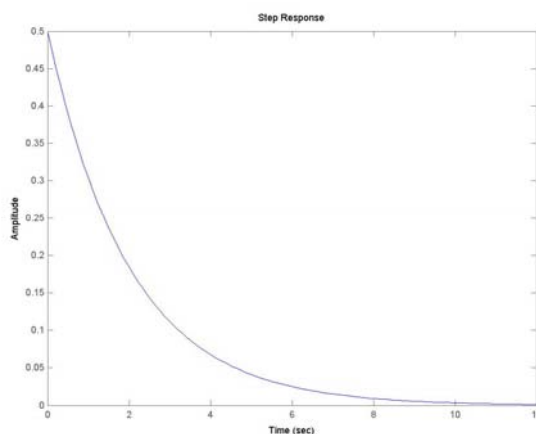


Obr. 25: Přejchodová charakteristika astatické regulační soustavy

### c) derivační regulační soustavy

Jsou charakterizovány tím, že v čitateli chybí prostý člen. Při přivedení vstupní veličiny jednotkového skoku ustálí se výstupní veličina po skončení přechodového děje na nule. Derivace daného signálu v nějakém okamžiku nám dává informaci o tom, jak bude tento signál přibližně pokračovat v nejbližším následujícím okamžiku.

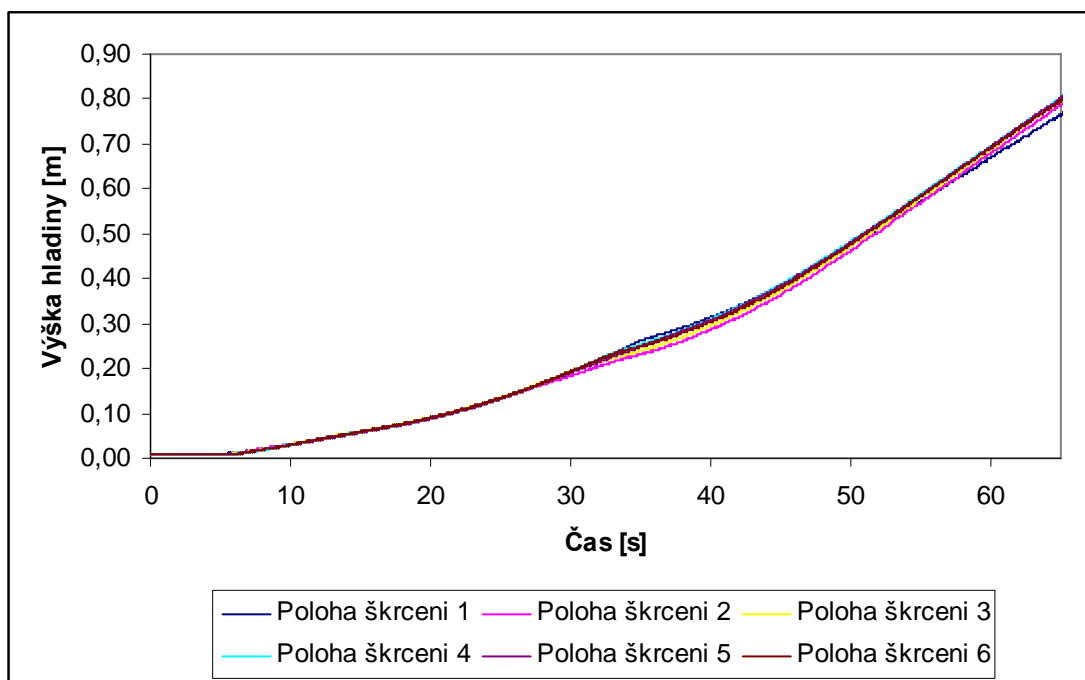
$$F(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0} \quad (4.5)$$



Obr. 26: Přejchodová charakteristika derivační regulační soustavy

### 4.3 Vlastní identifikace soustavy

Jak již bylo uvedeno výše, výstupní hodnoty změny výšky vodního sloupce v nádrži byli realizovány pomocí jednotkového skoku a výsledkem jsou tak přechodové charakteristiky. Bylo potřeba vyhodnotit chování systému pro všechny polohy ručního nastavení průtoku regulačního ventilu. Na obrázku obr.24. jsou zaznamenány a porovnány přechodové charakteristiky pro jednotlivá nastavení ručního škrcení ventilu.



Obr. 27: Porovnání přechodových charakteristik

Ruční nastavení se v rozsahu měřené soustavy projeví jen nepatrně, přesto je třeba s diferencemi jednotlivých nastavení počítat. Při poloze škrcení 6 je zajištěn maximální průtok regulovaného média ventilem.

Vlastní aproximace přechodových charakteristik bude realizováno pomocí metody prof. Strejce, která je pro praktické použití zřejmě nejrychlejší a vyžaduje jen minimální znalosti problematiky automatizovaného řízení. Pro zpřesnění bude použita též regresní metoda.

## Metoda prof. Strejce

Při aproximaci přechodové charakteristiky pomocí této metody je zapotřebí rozhodnout podle tvaru přechodové charakteristiky o typu přenosu. Z obrázku obr.25 je na první pohled patrné, že se jedná o soustavu astatickou, neboť při buzení soustavy jednotkovým skokem se tato soustava neustálí na žádané hodnotě. Postup určení obrazového přenosu bude proto popsán výhradně pro tuto soustavu. Řešení jiných soustav je popsáno v literatuře [1],[2].

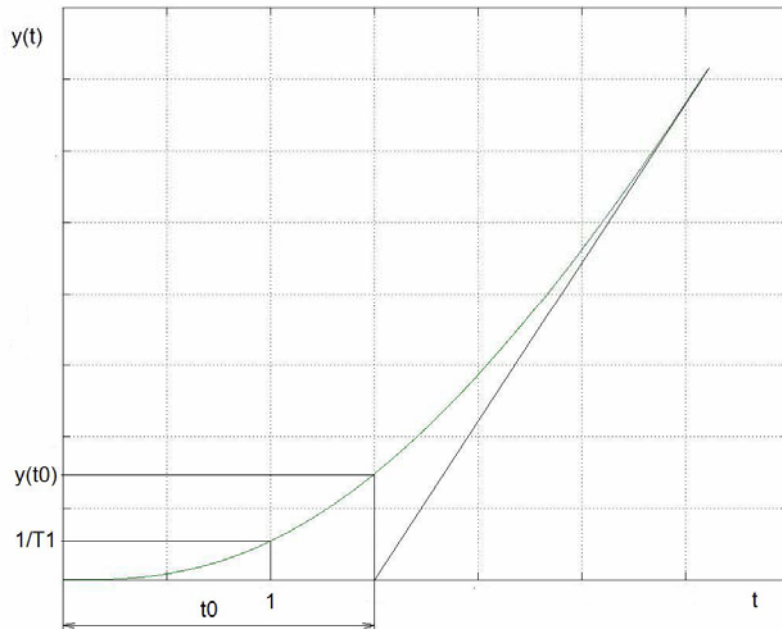
Astatickou soustavu prvního typu lze popsat přenosem

$$F(s) = \frac{1}{T_1 \cdot s(1 + sT)^n}, \quad (4.6)$$

protože pro derivaci odezvy na skokovou změnu  $u(t) = u_0 \cdot \eta(t)$  platí

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dy(t)}{dt} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot s \cdot Y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 F(s) \cdot \frac{u_0}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 \cdot \frac{1}{T_1 \cdot s} \cdot \frac{1}{(Ts + 1)^n} \cdot \frac{u_0}{s} = \frac{u_0}{T_1} \quad (4.7)$$

Časovou konstantu lze tak určit ze směrnice asymptoty k přechodové charakteristice pro  $t \rightarrow \infty$ .



Obr. 28: Aproximace přechodové charakteristiky

Postup identifikace lze shrnout do 3 bodů:

1. Z grafu odečteme hodnoty  $t_0, y(t_0)$ , a  $1/T_1$ . Vypočteme pomocnou konstantu

$$A = \frac{y(t_0)}{\frac{t_0}{T_1}} \quad (4.8)$$

2. Z tabulky tab. 2 odečteme řád systému podle hodnoty konstanty A

n	1	2	3	4	5	6
A	0,368	0,271	0,224	0,195	0,175	0,161

**Tab. 2**

3. Stanovíme časovou konstantu T

$$T = \frac{t_0}{n} \quad (4.9)$$

Výsledný přenos pak zapíšeme ve tvaru

$$F(s) = \frac{k}{s \cdot (Ts + 1)^n}, \quad (4.10)$$

kde  $k = \frac{1}{T_1}$ .

Výsledky pro jednotlivá nastavení ručního škrcení jsou prezentovány v tab.3 a na obrázcích obr. 29-34.

## Regresní metoda

Tato metoda vychází z kritéria minimálního součtu kvadrátu chyby

$$J = \sum_{k=1}^n e(k)^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - y_{Mi})^2, \quad (4.11)$$

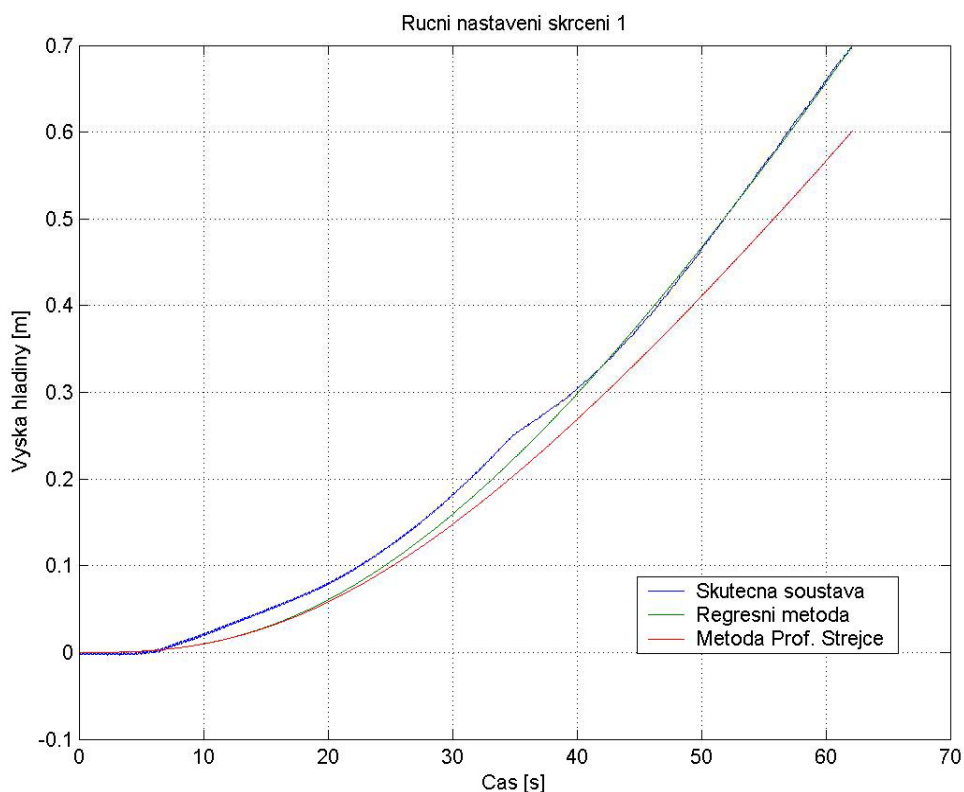
kde  $e(k)^2$  představuje kvadrát odchylky mezi naměřenou a vypočítanou hodnotou,  $n$  je množství hodnot,  $y_i, y_{Mi}$  jsou diskrétní výstupy z reálné soustavy a modelu.

Smyslem této metody je minimalizovat toto kritérium. Pro úspěšné použití této metody je použit program Matlab, který nabízí možnost naprogramovat příslušný algoritmus. Též

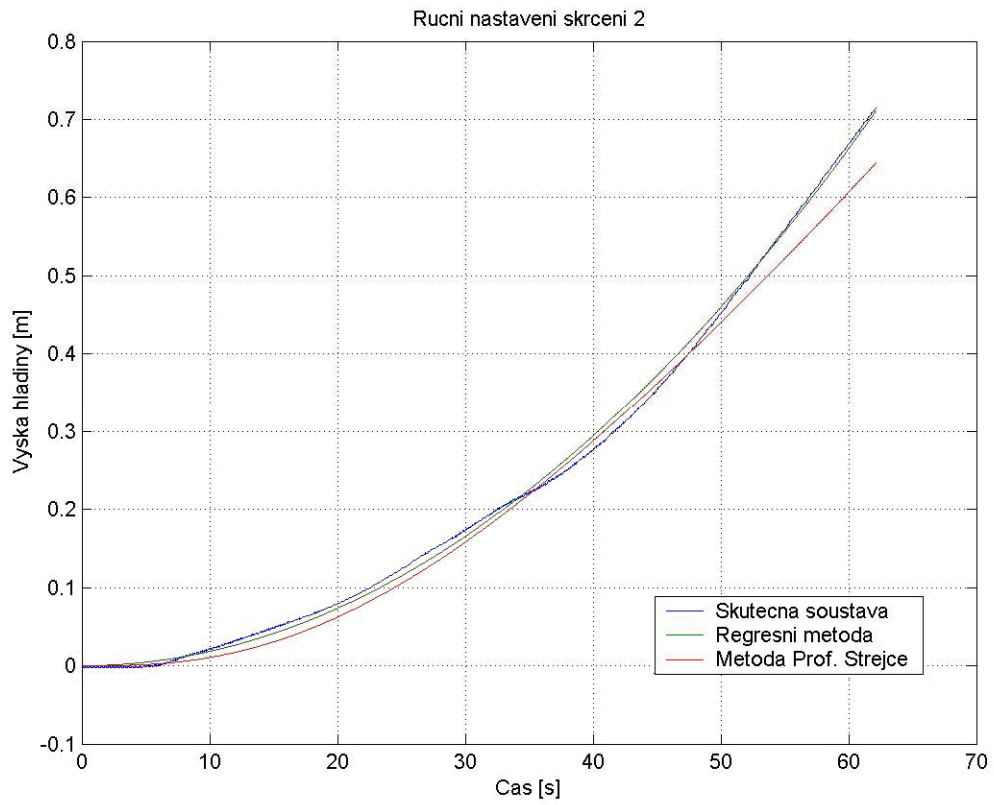
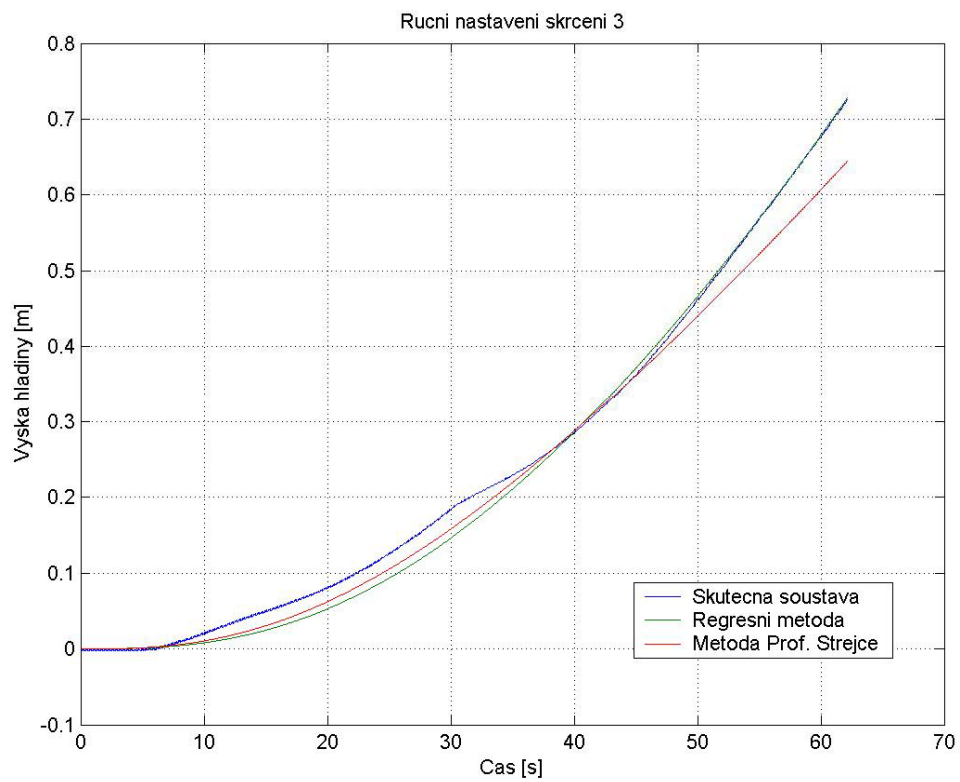
nabízí některé užitečné funkce, které celý algoritmus výrazně zjednodušují. Algoritmus výpočtu je uveden v příloze [2]

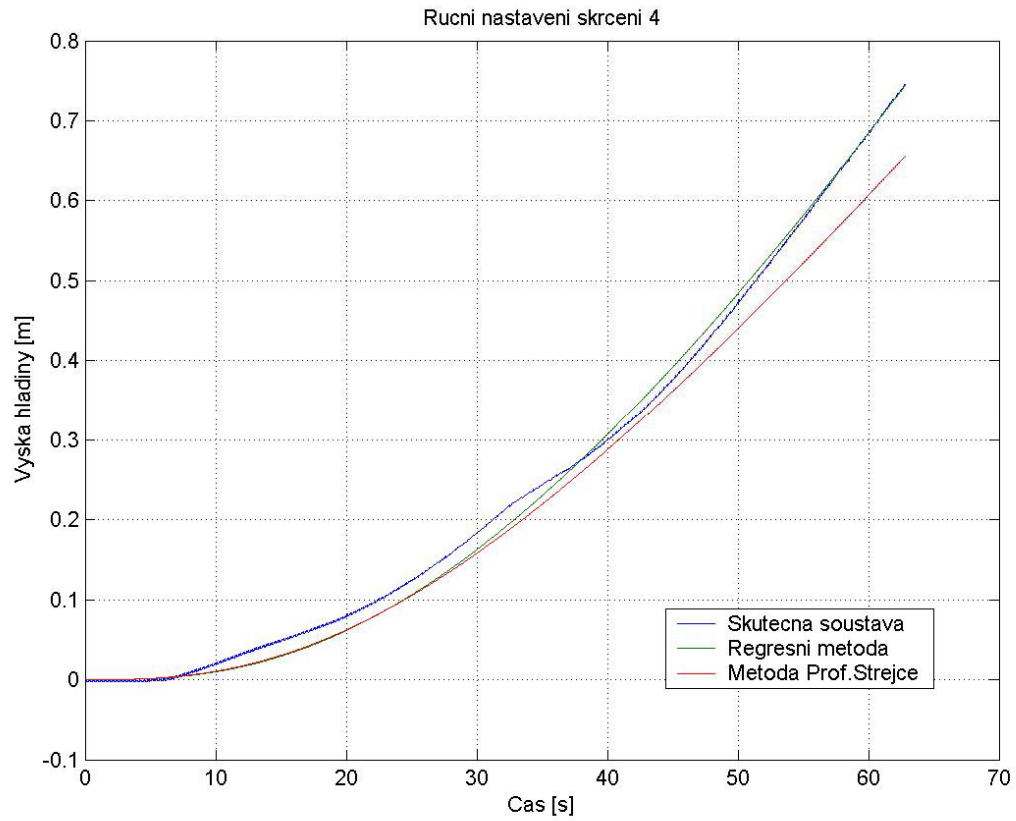
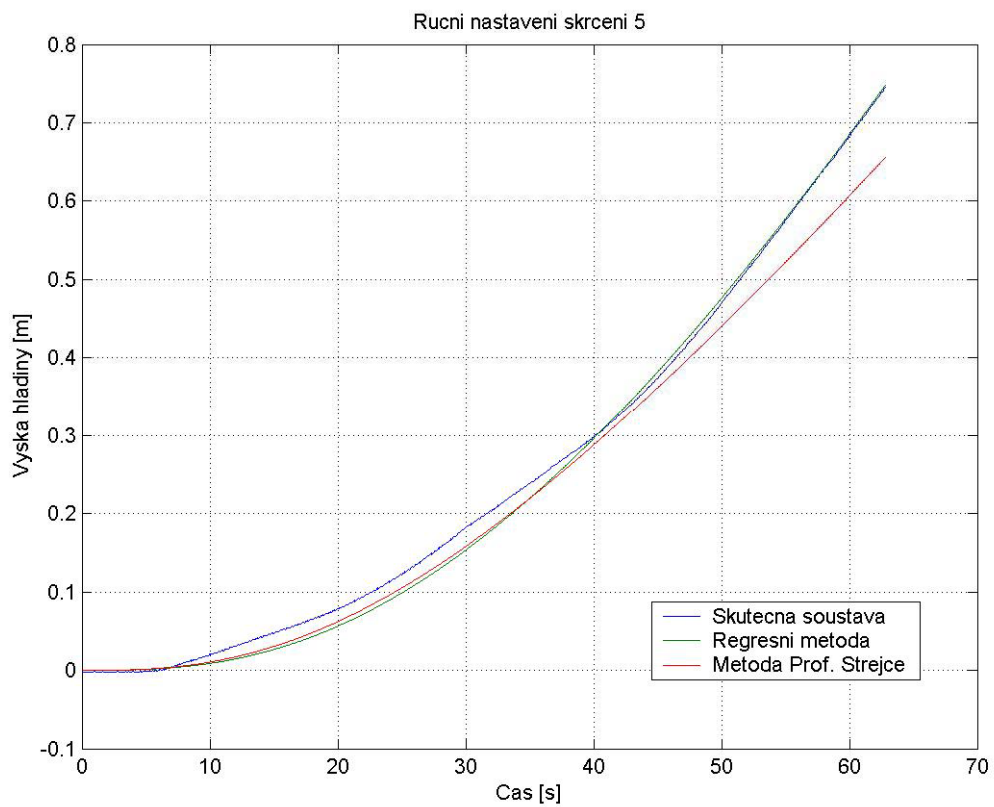
Regresní metody jsou metody experimentální, a tak volba výchozích parametrů značně záleží na zkušenostech s regulací systémů. Nám pro toto počáteční nastavení poslouží vypočítané parametry z předchozí metody. Výsledků pomocí této metody je dosaženo po několika experimentálních nastaveních odhadovaných výchozích parametrů. Obrazový přenos můžeme považovat za přesný v momentě, kdy přechodová charakteristika našeho modelu odpovídá přechodové charakteristice naměřených hodnot.

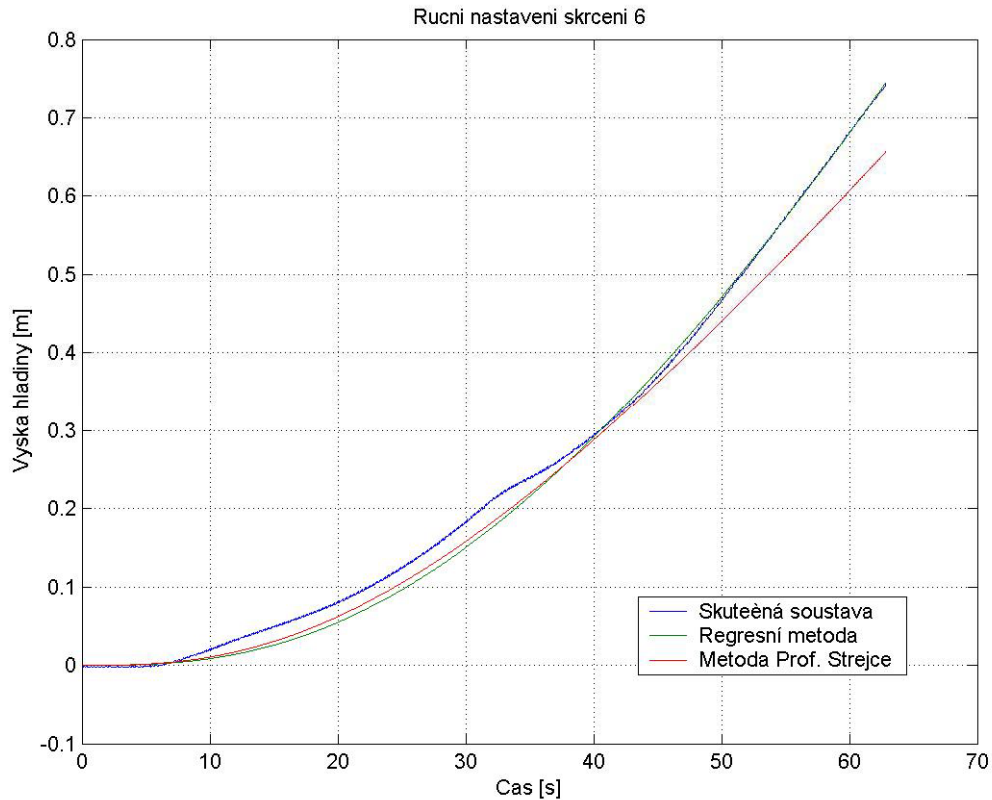
Obrázky obr.26-31 porovnávají jednotlivé metody s přechodovou charakteristikou skutečné soustavy pro jednotlivá ruční nastavení.



Obr. 29: Nastavení 1

**Obr. 30: Nastavení 2****Obr. 31: Nastavení 3**

**Obr. 32: Nastavení 4****Obr. 33: Nastavení 5**



**Obr. 34: Nastavení 6**

**Hodnoty obrazových přenosů pro jednotlivá ruční nastavení**

Nast./metoda	Metoda Prof.Strejce	Regresní metoda
1	$F(s) = \frac{0,025}{s(1+13s)^2}$	$F(s) = \frac{0.5476}{4799s^3 + 569s^2 + 16.87s}$
2	$F(s) = \frac{0,025}{s(1+14,5s)^2}$	$F(s) = \frac{0.4898}{3980s^3 + 502.3s^2 + 15.85s}$
3	$F(s) = \frac{0,02}{s(1+14,25s)^2}$	$F(s) = \frac{0.7055}{8393s^3 + 826s^2 + 20.32s}$
4	$F(s) = \frac{0,02}{s(1+13,75s)^2}$	$F(s) = \frac{0.6634}{6837s^3 + 720.4s^2 + 18.98s}$
5	$F(s) = \frac{0,02}{s(1+14s)^2}$	$F(s) = \frac{0.6605}{6880s^3 + 723.5s^2 + 19.02s}$
6	$F(s) = \frac{0,02}{s(1+14s)^2}$	$F(s) = \frac{0.7897}{9077s^3 + 870.3s^2 + 20.86s}$

**Tab.3**

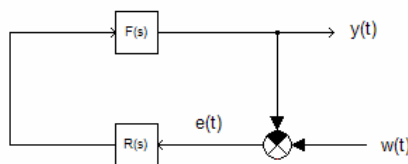


## 5 Regulace

Regulace si klade za cíl především zajištění stability, kompenzaci vlivů poruchových veličin a v neposlední řadě také dosažení dynamických vlastností obvodu. Systém můžeme řídit buď jako přímovazební ovládání nebo jako zpětnovazební řízení. Naše úloha je řízena pomocí zpětné vazby, proto se zaměřím jen na regulaci zpětnovazební.

Jednoduchý zpětnovazební regulační obvod je znázorněn na obrázku obr.32 a využívá informaci o účinku řízení na výstupní veličinu. Vstupem do regulátoru  $R(s)$ -regulační člen je tzv. regulační odchylka  $e(t)$ , což je rozdíl žádané hodnoty  $w(t)$  a výstupní veličiny  $y(t)$  řízené soustavy. Cílem regulátoru je vyhodnocovat tuto regulační odchylku a na základě zákona řízení generovat akční veličinu tak, aby bylo dosaženo eliminování  $e(t)$  nebo jeho maximální minimalizace.

$$e(t) = w(t) - y(t) \quad (5.1)$$



Obr. 35: Blokové schéma

### Regulátor

Nejčastěji používaným regulátorem je regulátor typu PID. Jeho vstupem je regulační odchylka a výstupem je vážený součet jednotlivých jeho složek typu P – proporcionálních, I – integračních a D – derivačních. Regulační člen nemusí být samozřejmě realizován jen typem PID, v některých případech je to i nežádoucí, ale vlastnosti regulačního členu jako jeho obrazový přenos si ukážeme na tomto typu.

Obrazový přenos PID regulátoru je:

$$R(s) = K_r \left[ 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right] = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s, \quad (5.1)$$

kde  $K_r$       proporcionální zesílení všech složek regulátoru

$T_I$       integrační časová konstanta

$T_D$       derivační časová konstanta

$r_0 = K_r$       proporcionální zesílení

$r_{-1} = K_r/T_I$    proporcionální zesílení integrační složky

$r_1 = K_r T_D$    proporcionální zesílení derivační složky

Výstup regulátoru v čase:

$$u(t) = r_0 e(t) + r_{-1} \int_0^t e(\tau) d\tau + r_1 \frac{de(t)}{dt}. \quad (5.2)$$

Pro spojitou regulaci se nejčastěji používají 3 typy regulátorů.

- Regulátor typu P
- Regulátor typu PI
- Regulátor typu PID

Dále budou rozebrány všechny 3 typy regulátorů v podobě grafů a jejich dopad na náš model.

Než však budeme moci rozebrat vliv jednotlivých typů regulátorů, musíme určit parametry jejich nastavení.

### Určení parametrů nastavení regulátoru

Pro nastavení regulátorů se vychází ze zpětnovazebního zapojení regulované soustavy, viz. Obr.32, a celkový obrazový přenos je pak popsán rovnicí:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{F(s)R(s)}{1 + F(s)R(s)}. \quad (5.3)$$

Pro nastavení regulátorů je použita metoda lineární regulační plochy, která je popsána u jednotlivých typů regulátorů analyticky. Pro výpočet jsem poté vytvořil program pro Matlab, a stačí tak jen dosadit jednotlivé konstanty. Vypočítané hodnoty jednotlivých typů regulátorů pro ruční nastavení škrcení regulačního ventilu jsou uvedeny v tabulkách.

Aby mohly být použity pro výpočet obě metody, musíme ještě určit přenos regulační odchylky.

$$E(s) = \frac{1}{1 + F(s) \cdot R(s)} \cdot \frac{1}{s} \quad (5.3)$$

## 5.2 Regulátor typu P

Pro regulátor typu P bude obrazový přenos podle (5.3) regulační odchylky pro

$$F(s) = \frac{K}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s}, \quad R(s) = r_0 \text{ roven} \quad (5.4)$$

$$E(s) = \frac{a_3 s^2 + a_2 s + a_1}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + K \cdot r_0}, \quad (5.5)$$

kde  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  jsou hodnoty jmenovatele z tabulky tab.4.2 regresní metody a  $r_0$  je koeficient nastavení P regulátoru.

### Metoda lineární regulační plochy

Metoda lineární regulační plochy je vhodná pro návrh nastavení regulátoru v procesech, kde je požadován z technologických nebo provozních důvodů aperiodický průběh regulované veličiny. Cílem našeho regulačního modelu je dosažení požadované hodnoty plynulým najetím a ustálením na požadované hodnotě. Z těchto důvodů je vhodné použít právě metodu lineární regulační plochy, která tyto požadavky splní. Metoda lineární regulační plochy vychází z kritéria lineární regulační plochy:

$$J(r_0, r_1, r_2) = \int_0^{\infty} \bar{e}(t) dt = \int_0^{\infty} [e(t) - e(\infty)] dt. \quad (5.6)$$

Postup odvození výpočtu lze shrnout do 6 bodů:

1. Nalezení normované charakteristické rovnice ze jmenovatele přenosu regulační odchylky.

$$s^3 + \frac{a_2}{a_3}s^2 + \frac{a_1}{a_3}s + \frac{K \cdot r_0}{a_3} \quad (5.7)$$

2. Určení počtu koeficientů  $\delta$  bez možnosti ovlivnění regulátoru.

$$\Delta = 2$$

$$A_2 = \frac{a_2}{a_3}, \quad A_1 = \frac{a_1}{a_3} \quad (5.8)$$

3. Určení násobnosti pólů podle věty o násobnosti pólů  $p_n = n - \delta + 1$ ,

$$p_n = 3 - 2 + 1.$$

$$S_1 + S_2 = S_I, \quad S_3 = S_{II} \quad (5.9)$$

4. Sestavení vazebních podmínek z Vietových rovnic.

$$-\frac{a_2}{a_3} = S_1 + S_2 + S_3 = 2S_I + S_{II} \quad (5.10)$$

$$\frac{a_1}{a_3} = S_1S_2 + S_1S_3 + S_2S_3 = S_I^2 + 2S_I S_{II} \quad (5.11)$$

5. Určení pólů charakteristické rovnice.

$$S_{II} = -\frac{a_2}{a_3} - 2S_I \quad (5.12)$$

$$3S_I^2 + 2 \cdot \frac{a_2}{a_3} S_I + \frac{a_1}{a_3} = 0 \quad (5.13)$$

6. Výpočet parametrů regulátorů.

Určíme charakteristický polynom

$$A_s = (S + S_I)^2 (S + S_{II}) \quad (5.14)$$

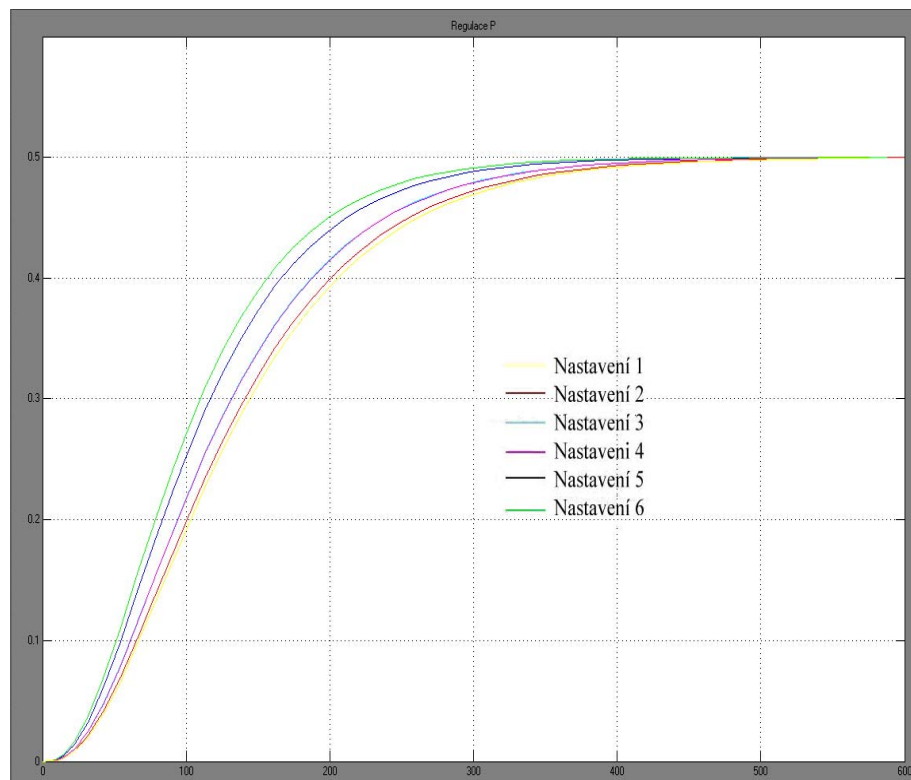
a z toho plyne pro výpočet nastavení regulátoru

$$A_1 = \frac{K \cdot r_0}{a_3} = S_I^2 S_{II} \Rightarrow r_0 = S_I^2 S_{II} \frac{a_3}{K}. \quad (5.15)$$

Nast./metoda	Lineární regulační plocha
1	$r_0 = 4.2589e-004$ , $K_r = 4.2589e-004$ $r_0 = 0.2706$ , $K_r = 0.2706$
2	$r_0 = 2.1615e-004$ , $K_r = 2.1615e-004$ $r_0 = 0.3026$ , $K_r = 0.3026$
3	$r_0 = 0.2099$ , $K_r = 0.2099$
4	$r_0 = 2.5808e-004$ , $K_r = 2.5808e-004$ $r_0 = 0.2234$ , $K_r = 0.2234$
5	$r_0 = 0.2243$ , $K_r = 0.2243$
6	$r_0 = 0.1876$ , $K_r = 0.1876$

**Tab. 4**

Vliv regulátoru typu P je nasimulován pomocí programu Matlab. Pro absolutně ideální soustavu bude průběh regulované veličiny pro jednotlivá nastavení ručního škrcení na obr. 33.

**Obr. 36: Regulátor typu P**

### 5.3 Regulátor typu PI

Pro regulátor typu PI bude obrazový přenos podle (5.3) regulační odchylky pro

$$F(s) = \frac{K}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s}, \quad R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} = \frac{r_0 s + r_{-1}}{s} \text{ roven}$$

$$E(s) = \frac{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s}{a_3 s^4 + a_2 s^3 + a_1 s^2 + K \cdot r_0 \cdot s + K \cdot r_{-1}}, \quad (5.16)$$

kde  $a_1, a_2, a_3$  jsou hodnoty jmenovatele z tabulky tab.4.2 regresní metody a  $r_0, r_{-1}$  jsou koeficient nastavení PI regulátoru.

#### Metoda lineární regulační plochy

1. Nalezení normované charakteristické rovnice ze jmenovatele přenosu regulační odchylky.

$$s^4 + \frac{a_2}{a_3} s^3 + \frac{a_1}{a_3} s^2 + \frac{K \cdot r_0}{a_3} s + \frac{K \cdot r_{-1}}{a_3} \quad (5.17)$$

2. Určení počtu koeficientů  $\delta$  bez možnosti ovlivnění regulátoru.

$$\delta = 2$$

$$A_3 = \frac{a_2}{a_3}, \quad A_2 = \frac{a_1}{a_3} \quad (5.18)$$

3. Určení násobnosti pólů podle věty o násobnosti pólů  $p_n = n - \delta + 1$ ,

$$p_n = 4 - 2 + 1 = 3.$$

$$S_1 + S_2 + S_3 = S_I, \quad S_4 = S_{II} \quad (5.19)$$

4. Sestavení vazebních podmínek z Vietových rovnic.

$$-\frac{a_2}{a_3} = S_I + S_2 + S_3 + S_4 = 3S_I + S_{II} \quad (5.20)$$

$$\begin{aligned} \frac{a_1}{a_3} &= S_1 S_2 + S_1 S_3 + S_1 S_4 + S_2 S_3 + S_2 S_4 + S_3 S_4 = S_I^2 + S_I^2 + S_I S_{II} + S_I^2 + S_I S_{II} + S_I S_{II} \\ &= 3S_I^2 + 3S_I S_{II} \end{aligned} \quad (5.21)$$

5. Určení pólů charakteristické rovnice.

$$S_{II} = -\frac{a_2}{a_3} - 3S_I \quad (5.22)$$

$$6S_I^2 + 3 \cdot \frac{a_2}{a_3} S_I + \frac{a_1}{a_3} = 0 \quad (5.23)$$

6. Výpočet parametrů regulátorů.

Určíme charakteristický polynom

$$A_s = (S + S_I)^3 (S + S_{II}) \quad (5.24)$$

a z toho plyne pro výpočet nastavení regulátoru

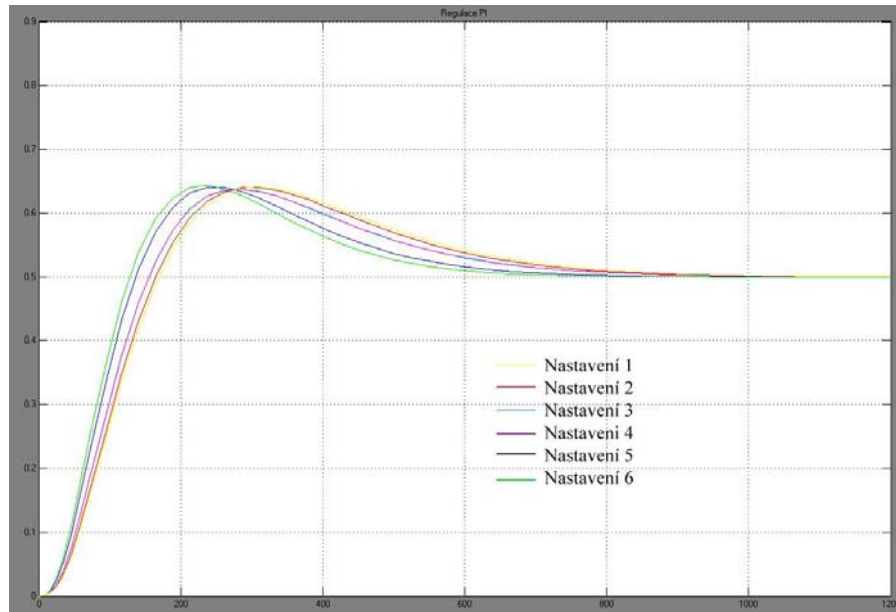
$$A_0 = \frac{K \cdot r_{-1}}{a_3} = (S_I^3 S_{II}) \Rightarrow r_{-1} = S_I^3 S_{II} \frac{a_3}{K} \quad (5.25)$$

$$A_1 = \frac{K \cdot r_0}{a_3} = (S_I^3 + 3S_I^2 S_{II}) \Rightarrow r_0 = (S_I^3 + 3S_I^2 S_{II}) \frac{a_3}{K}. \quad (5.26)$$

Nast./metoda	Lineární regulační plocha
1	$r_0 = 0.3516, r_1 = 0.0014$ $K_r = 0.3516, T_I = 251.7373$
2	$r_0 = 0.3930, r_1 = 0.0017$ $K_r = 0.3930, T_I = 236.5370$
3	$r_0 = 0.2727, r_1 = 8.9879e-004$ $K_r = 0.2727, T_I = 303.4239$
4	$r_0 = 0.2901, r_1 = 0.0010$ $K_r = 0.2901, T_I = 283.2925$
5	$r_0 = 0.2914, r_{-1} = 0.0010$ $K_r = 0.2914, T_I = 283.9294$
6	$r_0 = 0.2437, r_{-1} = 7.8253e-004$ $K_r = 0.2437, T_I = 311.4139$

**Tab. 5**

Pro absolutně ideální soustavu bude průběh regulované veličiny pro jednotlivá nastavení ručního škrcení na obr. 34.



Obr. 37: Regulátor typu PI

## 5.4 Regulátor typu PID

Pro regulátor typu PID bude obrazový přenos podle (5.3) regulační odchylky pro

$$F(s) = \frac{K}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s}, \quad R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s = \frac{r_0 s + r_{-1} + r_1 s^2}{s} \quad \text{roven} \quad (5.27)$$

$$E(s) = \frac{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s}{a_3 s^4 + a_2 s^3 + (a_1 + K \cdot r_1) s^2 + K \cdot r_0 \cdot s + K \cdot r_{-1}}, \quad (5.28)$$

kde  $a_1, a_2, a_3$  jsou hodnoty jmenovatele z tabulky tab.4.2 regresní metody a  $r_0, r_{-1}, r_1$  je koeficient nastavení PID regulátoru.

### Metoda lineární regulační plochy

1. Nalezení normované charakteristické rovnice ze jmenovatele přenosu regulační odchylky.

$$s^4 + \frac{a_2}{a_3} s^3 + \frac{(a_1 + K \cdot r_1)}{a_3} s^2 + \frac{K \cdot r_0}{a_3} s + \frac{K \cdot r_{-1}}{a_3} \quad (5.29)$$



2. Určení počtu koeficientů  $\delta$  bez možnosti ovlivnění regulátoru.

$$\delta = 1$$

$$A_4 = \frac{a_2}{a_3} \quad (5.30)$$

3. Určení násobnosti pólů podle věty o násobnosti pólů  $p_n = n - \delta + 1$ ,

$$p_n = 4 - 1 + 1.$$

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = S_I \quad (5.31)$$

4. Sestavení vazebních podmínek z Vietových rovnic.

$$-\frac{a_2}{a_3} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 4S_I \quad (5.32)$$

5. Určení pólů charakteristické rovnice.

$$S_I = -4 \frac{a_2}{a_3} \quad (5.33)$$

6. Výpočet parametrů regulátorů

Určíme charakteristický polynom

$$A_s = (S + S_I)^4 = 0 \quad (5.34)$$

a z toho plyne pro výpočet nastavení regulátoru

$$A_0 = \frac{K \cdot r_{-1}}{a_3} = S_I^4 \Rightarrow r_{-1} = S_I^4 \frac{a_3}{K}, \quad (5.35)$$

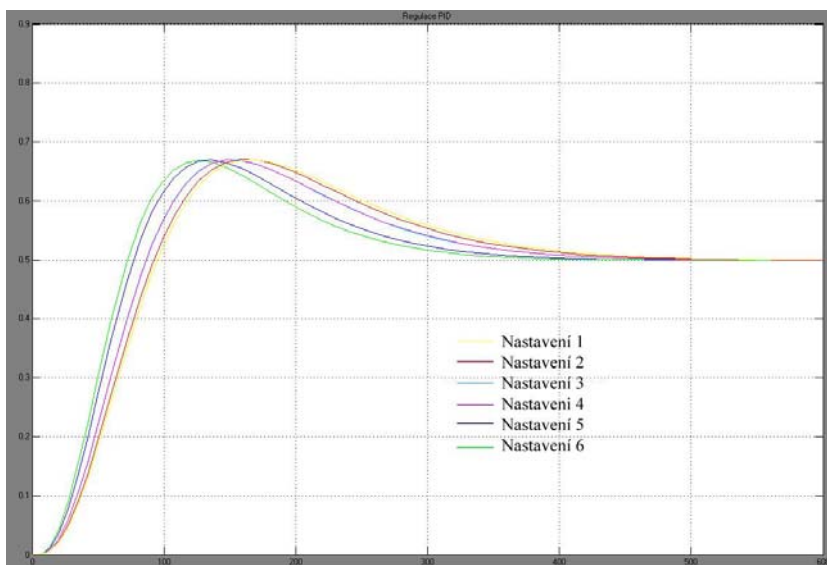
$$A_1 = \frac{K \cdot r_0}{a_3} = 4S_I^3 \Rightarrow r_0 = 4S_I^3 \frac{a_3}{K}, \quad (5.36)$$

$$A_3 = \frac{a_1 + K \cdot r_1}{a_3} = 6S_I^2 \Rightarrow r_1 = \frac{6S_I^2 \cdot a_3 - a_1}{K}. \quad (5.37)$$

Nast./metoda	Lineární regulační plocha
1	$r_0 = 0.9131, r_{-1} = 0.0068, r_1 = 15.3928$ $K_r = 0.9131, T_I = 134.9455, T_d = 16.8603$
2	$r_0 = 1.0209, r_{-1} = 0.0081, r_1 = 16.1749$ $K_r = 1.0209, T_I = 126.7768, T_d = 15.8437$
3	$r_0 = 0.7087, r_{-1} = 0.0044, r_1 = 14.4070$ $K_r = 0.7087, T_I = 162.5763, T_d = 20.3276$
4	$r_0 = 0.7535, r_{-1} = 0.0050, r_1 = 14.2977$ $K_r = 0.7535, T_I = 151.8490, T_d = 18.9746$
5	$r_0 = 0.7572, r_{-1} = 0.0050, r_1 = 14.4022$ $K_r = 0.7572, T_I = 152.1493, T_d = 19.0202$
6	$r_0 = 0.6332, r_{-1} = 0.0038, r_1 = 13.2095$ $K_r = 0.6332, T_I = 166.8758, T_d = 20.8615$

**Tab. 6**

Pro absolutně ideální soustavu bude průběh regulované veličiny pro jednotlivá nastavení ručního škrcení na obr. 35.

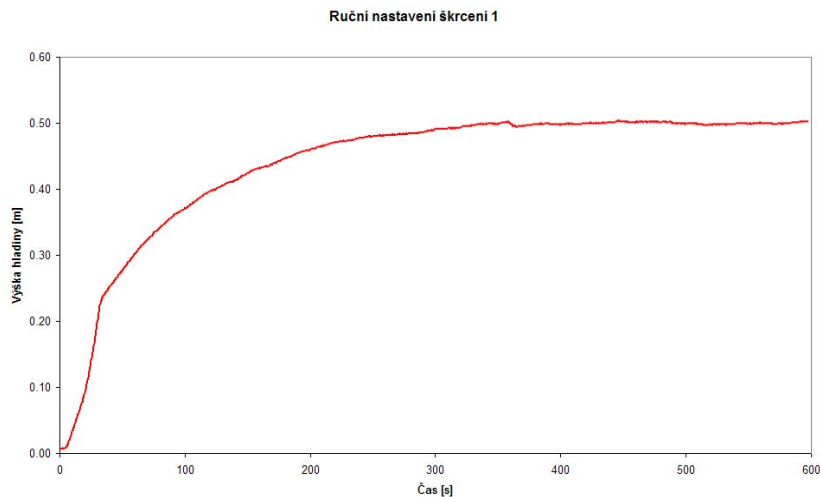

**Obr. 38: Regulator typu PID**

## 6 Regulace vodní hladiny

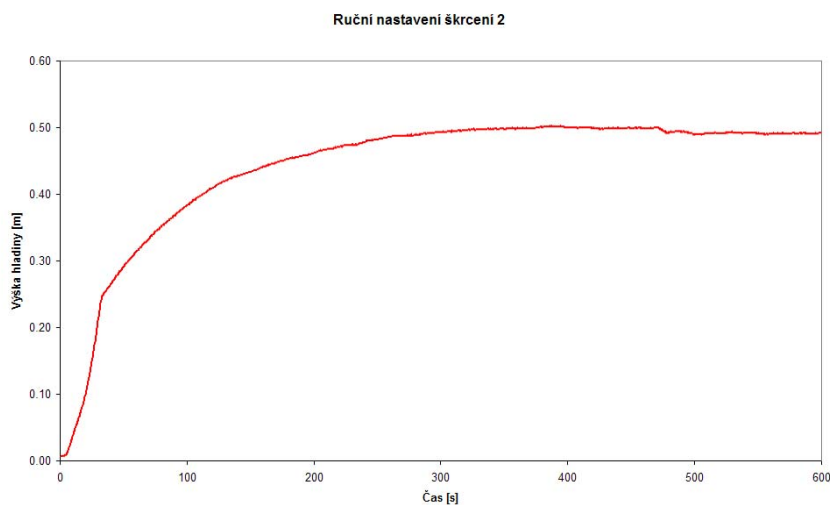
Z prezentovaných grafů jednotlivých typů regulátorů, které odpovídají absolutně ideální regulační soustavě, je možno odečíst, že regulátorem typu P lze dosáhnout plynulého najetí na požadovanou hodnotu bez jakéhokoliv překmitu soustavy. Bohužel

z těchto grafů je také zřejmé, že ustalování bude značně pomalé a ani přidání složek I, či ID tuto časovou prodlevu neurychlí.

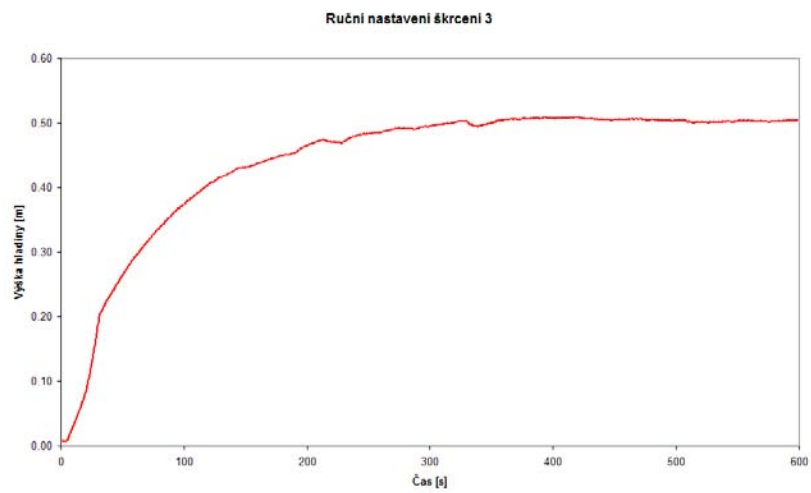
Aby nedošlo k překročení havarijní výšky při regulaci a tím k zastavení celého procesu pojistným ventilem, rozhodl jsem se pro realizaci regulace pomocí čistě proporcionálního regulátoru. Lze očekávat, že ideální soustava se od té reálné bude ve svém průběhu regulace lišit. Ne jinak tomu bylo i v mém případě. Proto bylo nutno nastavení regulátoru upravit ručně a po několika experimentálních pokusech dojít k odpovídajícímu proporcionálnímu zesílení na žádanou hodnotu (0,5 m). V grafech na obrázcích obr.39 – 44 je patrný průběh regulace výšky hladiny v čase pro jednotlivá ruční nastavení škrcení ventilu.



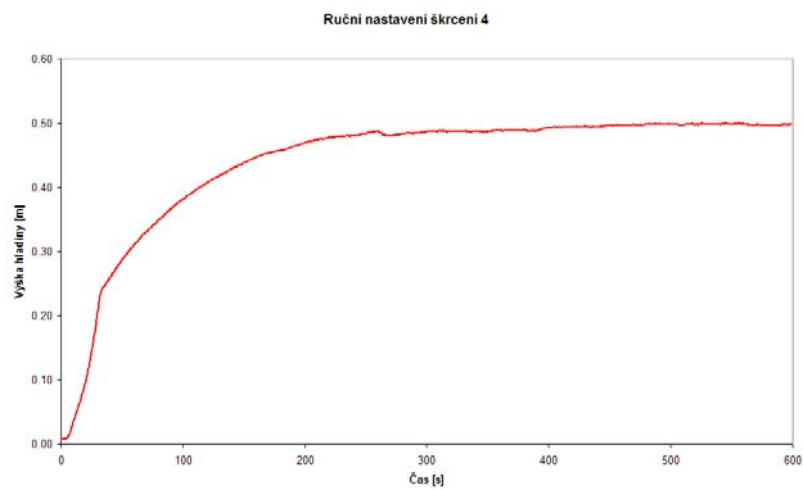
**Obr. 39: P regulátor pro nastavení 1**



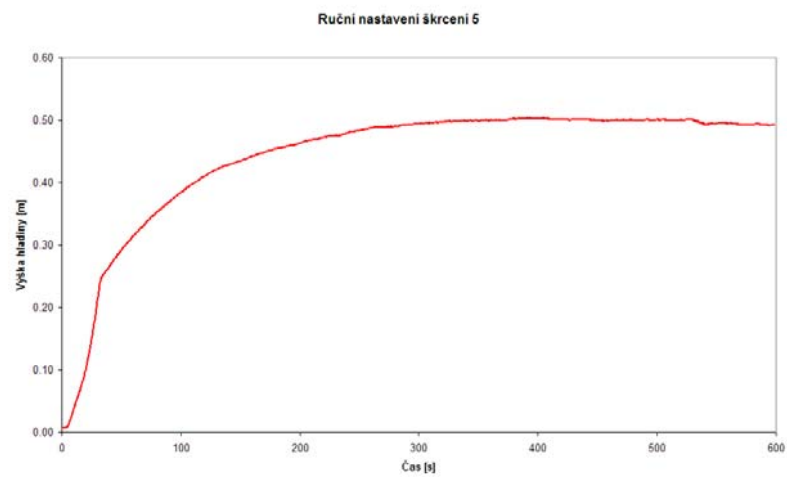
**Obr. 40: P regulátor pro nastavení 2**



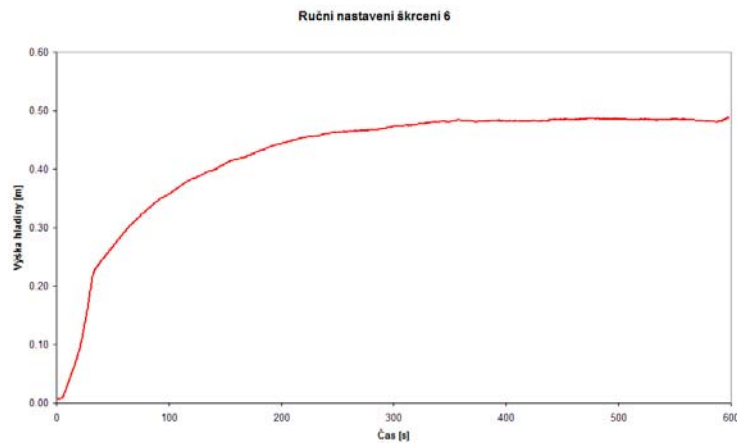
**Obr. 41:** P regulátor pro nastavení 3



**Obr. 42:** P regulátor pro nastavení 4



**Obr. 43:** P regulátor pro nastavení 5



**Obr. 44:P regulátor pro nastavení 6**

Z průběhu regulace měřené veličiny je patrný počáteční úsek, ve kterém se regulační ventil otevírá a zvyšuje se tak průtok vody armaturou. Poté se regulační ventil zastaví a průtok zůstává konstantní. Dopuštění na požadovanou výšku je pak již samočinné do té doby, než se vyrovná množství přitékající vody s množstvím vody odtékající a nastane tak rovnováha. Vliv jednotlivých ručních nastavení na regulaci je v rozsahu našeho modelu zanedbatelný. Projevil by se až při regulaci vyšších výšek.

## 7 Závěr

Realizovaný laboratorní model řízení výšky hladiny by měl sloužit pro názornou výuku v předmětech vyučovaných na katedře aplikované kybernetiky. Na tomto modelu lze názorně vyučovat jak identifikaci regulačních soustav a návrh vhodných typů regulátorů v předmětu Základy kybernetiky tak i samotné programování a problematiku PLC v předmětu Prostředky automatizovaného řízení. Především pak je tento model vhodný pro názornou demonstraci dopadu jednotlivých typů regulátorů na dynamické chování regulované soustavy.

Po technické stránce byla realizace celého modelu poměrně časově náročná, neboť bylo nutno původní model postavit zcela od počátku a vypořádat se s mnoha obtížemi. Nejnáročnější pak bylo najít příčinu značného zašumění analogového signálu jdoucího z tlakového snímače. Příčinou tohoto zašumění byl vadný napájecí modul PLC, který bude nutné do budoucna ještě otestovat, případně zcela vyměnit.

Nejnáročnější však zřejmě bylo naučit se ovládat a naprogramovat samotné PLC. Zpočátku jsem byl odkázán pouze na firemní dokumentaci v anglickém jazyce. Studium těchto obsáhlých materiálů bylo velmi časově náročné. K pochopení programování Simaticu mi pak především pomohl absolvovaný kurs zaměřený výhradně na tuto problematiku.

Jedním z problémů bylo také zaznamenávání naměřených hodnot pro další zpracování. Toho jsem docílil ukládáním měřené veličiny do pole hodnot přímo do paměti PLC. Tento způsob je postačující pro zaznamenávání naší úlohy, pro zefektivnění práce a vyhodnocování měřených veličin bych doporučil zakoupení programu přímo k tomu určenému. Pro samotnou regulaci bylo použito implementovaného PID bloku CONT\_C doplněného o pulsní generátor pro řízení třístavového regulačního ventilu. V praxi se tento blok příliš nepoužívá, proto bylo nutno spoléhat jen na cizojazyčnou firemní dokumentaci. To s sebou přineslo spoustu experimentálních nastavování pro docílení regulace modelu.

Jak je vidět z výsledných naměřených přechodových charakteristik, podařilo se docílit požadované regulace na žádanou výšku hladiny. Rád bych doporučil pokračovat v této práci a realizovat řídicí algoritmus i pro jiné regulátory. Pro zajištění nejefektivnější regulace by bylo vhodné použít ventilu ovládaného analogově efektivní hodnotou, popřípadě realizovat regulaci pomocí speciálního modulu do PLC. To si však vyžádá spoustu času při měření a stává se tak tento úkol vhodným pro další diplomovou práci.

Znalost problematiky PLC a zvláště pak jeho programování je v mnoha podnicích žádaná, proto si myslím, že by se mu měla věnovat i větší část výuky. Jsem rád, že mi bylo umožněno absolvovat kurs týkající se právě PLC firmy Siemens, protože ta patří k předním světovým firmám zabývajících se výrobou PLC a její automaty zajišťují automatizaci v mnoha podnicích.

**Seznam použité literatury:**

- [1] Olehla, Miroslav, Prof., Ing., Csc: Základy aplikované kybernetiky. TU Liberec, 1996
- [2] Balátě, Jaroslav, Prof., Ing., DrSc: Vybrané statě z automatického řízení. VUT Brno, 1996
- [3] Modrlák, Osvald, Doc., Ing., Csc: Teorie řízení I. TU Liberec, 2003
- [4] Fikar, Miroslav, Dr., Ing., CSc, Mikleš, Ján, Prof., Ing., DrSc: Identifikácia systémov.  
STU Bratislava, 1999
- [5] Noskievič, Petr, Doc., Ing., CSc: Modelování a identifikace systémů. MANTONEX a.s.
- [6] [www.siemens.de](http://www.siemens.de)
- [7] LDM, Regulační armatury. LDM, spol. s r.o. 2003

**Seznam obrázků:**

OBR. 1: MODEL STARÉHO ZAPOJENÍ .....	11
OBR. 2: MODEL NÁDRŽE .....	14
OBR. 3: TLAKOVĚ VYVÁŽENÝ REGULAČNÍ VENTIL RV122 BEE LINE S OMEZOVAČEM PRŮTOKU .....	17
OBR. 4: CHARAKTERISTIKY REGULAČNÍCH VENTILŮ .....	18
OBR. 5: PLNĚNÍ NÁDRŽE V PŮVODNÍM ZAPOJENÍ .....	19
OBR. 6: PLNĚNÍ NÁDRŽE PŘI ZAPOJENÉM REGULAČNÍM VENTILU .....	19
OBR. 7: LABORATORNÍ MODEL .....	21
OBR. 8: NOVÉ USPOŘÁDÁNÍ LABORATORNÍHO MODELU .....	21
OBR. 9: S7 – 300: MODULY .....	22
OBR. 10: ROZMÍSTĚNÍ PRVKŮ NA CPU .....	23
OBR. 11: STEP 7 WIZARD .....	26
OBR. 12: HARDWARE .....	26
OBR. 13: HW CONFIG .....	27
OBR. 14: SLOŽKA BLOCKS .....	28
OBR. 15: VÝBĚR PROGRAMOVACÍHO JAZYKU .....	29
OBR. 16: PROGRAMOVACÍ JAZYKY .....	29
OBR. 17: NEFILTROVANÝ VSTUP (NESTABILNÍ ZDROJ) .....	31
OBR. 18: NEFILTROVANÝ VSTUP (STABILNÍ ZDROJ) .....	32
OBR. 19: FILTROVANÝ VSTUP .....	32
OBR. 20: PID CONTROLLER .....	34
OBR. 21: PID CONTROL PARAMETER ASSIGNMENT .....	38
OBR. 22: OTEVŘENÍ ON-LINE SPOJENÍ .....	38
OBR. 23: PROPOJENÍ S PULSGEŇEM .....	39
OBR. 24: PŘECHODOVÁ CHARAKTERISTIKA STATICKÉ REGULAČNÍ SOUSTAVY .....	41
OBR. 25: PŘECHODOVÁ CHARAKTERISTIKA ASTATICKÉ REGULAČNÍ SOUSTAVY .....	42
OBR. 26: PŘECHODOVÁ CHARAKTERISTIKA DERIVAČNÍ REGULAČNÍ SOUSTAVY .....	42
OBR. 27: POROVNÁNÍ PŘECHODOVÝCH CHARAKTERISTIK .....	43
OBR. 28: APROXIMACE PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY .....	44
OBR. 29: NASTAVENÍ 1 .....	46
OBR. 30: NASTAVENÍ 2 .....	47
OBR. 31: NASTAVENÍ 3 .....	47
OBR. 32: NASTAVENÍ 4 .....	48
OBR. 33: NASTAVENÍ 5 .....	48
OBR. 34: NASTAVENÍ 6 .....	49
OBR. 35: BLOKOVÉ SCHÉMA .....	50
OBR. 36: REGULÁTOR TYPU P .....	54
OBR. 37: REGULÁTOR TYPU PI .....	57
OBR. 38: REGULÁTOR TYPU PID .....	59
OBR. 39: P REGULÁTOR PRO NASTAVENÍ 1 .....	60
OBR. 40: P REGULÁTOR PRO NASTAVENÍ 2 .....	60
OBR. 41: P REGULÁTOR PRO NASTAVENÍ 3 .....	61
OBR. 42: P REGULÁTOR PRO NASTAVENÍ 4 .....	61
OBR. 43: P REGULÁTOR PRO NASTAVENÍ 5 .....	61
OBR. 44: P REGULÁTOR PRO NASTAVENÍ 6 .....	62



**Seznam přílohy:**

- [1] Zdrojový kód řídicího algoritmu
- [2] Regresní metoda
- [3] Katalogový list elektromagnetického ventilu
- [4] Katalogový list tlakového převodníku
- [5] Katalogový list regulačního ventilu RV 122 BEELine

**Příloha: 1****Strana: 1/5**

```
FUNCTION FC 1 : VOID
TITLE =
VERSION : 0.1

VAR_OUTPUT
  HLADINA : REAL ;
END_VAR
VAR_TEMP
  pom1 : REAL ;
  pom2 : REAL ;
  pom3 : REAL ;
  pom4 : REAL ;
END_VAR
BEGIN
NETWORK
TITLE =Kalibrace analogove hodnoty

  A(
    ;
    L   PIW  134;
    T   MW   1;
    SET ;
    SAVE ;
    CLR ;
    A   BR;
  )
  ;
  JNB  _003;
  L   MW   1;
  L   6400;
  -I  ;
  T   MW   3;
_003: NOP  0;
NETWORK
TITLE =

  AN   M   0.0;
  S   M   0.0;
NETWORK
TITLE =Prepcet analogoveho vstupu
//Prepocitava analogovy vstup na aktualni fyzikalni velicinu
  AN   M   0.0;
  =   L   0.0;
  BLD  103;
  CALL FC 105 (
    IN           := MW   3,
    HI_LIM       := 5.045000e+002,
    LO_LIM       := 0.000000e+000,
    BIPOLAR      := L   0.0,
    RET_VAL      := MW  100,
    OUT          := #HLADINA);
  NOP  0;
NETWORK
TITLE =Moznoct preskoceni filtru (STL)

// JU   ko

NETWORK
TITLE =Filtr prvniho radu

  L   #HLADINA;
  T   DB1.DBD  12;

  L   DB1.DBD  12;
  L   DB1.DBD  20;

  *R  ;
  T   #pom1;

  L   1.000000e+000;
  L   DB1.DBD  20;
  -R  ;

  T   #pom2;
```

**Příloha: 1****Strana: 2/5**

```
L    DB1.DBD    16;
L    #pom2;
*R   ;
T    #pom3;

L    #pom3;
L    #pom1;
+R   ;

T    #pom4;
T    DB1.DBD    16;
//T   #HLADINA

NOP    0;
END_FUNCTION

FUNCTION FC 2 : VOID
TITLE =
VERSION : 0.1

BEGIN
NETWORK
TITLE =Prestaveni regulacniho ventilu do nuly
//Prestavi regulacni ventil do nuly. Pracuje po dobu 75s. Po tuto dobu je
//solenoid
//zavreny a regulasni ventil se prestavuje. Po dobehnuti casovani se solenoid
//otevre a reg ventil se zacne otvirat. Zacne i nacisti hodnot do tabulky.
A    M    240.0;
L    S5T#1M15S;
SD   T    10;
NOP  0;
NOP  0;
NOP  0;
A    T    10;
=    L    0.0;
A    L    0.0;
BLD  102;
S    Q    124.1;
AN   L    0.0;
S    Q    124.4;
A    L    0.0;
BLD  102;
R    M    240.0;
NETWORK
TITLE =

END_FUNCTION

FUNCTION FC 3 : VOID
TITLE =
VERSION : 0.1

BEGIN
NETWORK
TITLE =Nacistani hodnot
//Nacistani hodnot vystupni veliciny do pole pro dalsi spracovani
A    M    255.0;
JC   kon;

L    MD    220;

LAR1 ;
L    DB1.DBD    16;

OPN  DB    30;
T    DBD [AR1,P#0.0];

+AR1 P#4.0;

TAR1 ;
L    P#8000.0;
```



## Příloha: 1

## Strana: 3/5

```
>=D ;
TAK ;
JCN dal;
SET ;
S M 255.0;
L P#0.0;
dal: T MD 220;

kon: NOP 0;

END_FUNCTION

FUNCTION FC 4 : VOID
TITLE =
VERSION : 0.1

BEGIN
NETWORK
TITLE =

AN M 100.0;
= M 100.0;
NETWORK
TITLE =

CALL FB 41 , DB 20 (
CYCLE := T#70MS,
SP_INT := DB1.DBD 0,
PV_IN := DB1.DBD 16,
LMN := MD 100);

NOP 0;
NETWORK
TITLE =

CALL FB 43 , DB 25 (
INV := MD 100,
PER_TM := T#70MS,
CYCLE := T#1MS,
QPOS_P := Q 124.3,
QNEG_P := Q 124.4);
NOP 0;
END_FUNCTION

DATA_BLOCK DB 1
TITLE =
VERSION : 0.1

STRUCT
Zadana_hodnota : REAL := 5.000000e+001; //Pozadovana hodnota vysky hladiny
Vyska_hladiny : REAL ;
Max : REAL := 8.000000e+001; //Maximalni mozna vyska hladiny !!!!!!! NEMENIT HLIDA
HAVARIJNI STAV
akt : REAL ; //Aktualni vyska hladiny
min : REAL ; //Vyska hladiny po odfiltrovani- pouziva se pro skutecnou hladinu v
nadobe
koef_filtru : REAL := 5.000000e-002; //Mira odfiltrovani vstupni veliciny
END_STRUCT ;
BEGIN
Zadana_hodnota := 5.000000e+001;
Vyska_hladiny := 0.000000e+000;
Max := 8.000000e+001;
akt := 0.000000e+000;
min := 0.000000e+000;
koef_filtru := 5.000000e-002;
END_DATA_BLOCK

ORGANIZATION_BLOCK OB 1
TITLE = "Main Program Sweep (Cycle)"
VERSION : 0.1
```



## Příloha: 1

## Strana: 4/5

```
VAR_TEMP
  OBl_EV_CLASS : BYTE ;          //Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
  OBl_SCAN_1 : BYTE ; //1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
  OBl_PRIORITY : BYTE ;         //Priority of OB Execution
  OBl_OB_NUMBR : BYTE ;         //1 (Organization block 1, OBl)
  OBl_RESERVED_1 : BYTE ;       //Reserved for system
  OBl_RESERVED_2 : BYTE ;       //Reserved for system
  OBl_PREV_CYCLE : INT ;        //Cycle time of previous OBl scan (milliseconds)
  OBl_MIN_CYCLE : INT ;         //Minimum cycle time of OBl (milliseconds)
  OBl_MAX_CYCLE : INT ;        //Maximum cycle time of OBl (milliseconds)
  OBl_DATE_TIME : DATE_AND_TIME ; //Date and time OBl started
END_VAR
BEGIN
NETWORK
TITLE =

      A      M      240.0;
      JNB    _001;
      CALL FC      2 ;
_001: NOP      0;
NETWORK
TITLE =

      AN      M      240.0;
      JNB    _002;
      CALL FC      4 ;
_002: NOP      0;
NETWORK
TITLE =

      CALL FC      1 (
          Hladina                := DB1.DBd      4);
      NOP      0;
END_ORGANIZATION_BLOCK

ORGANIZATION_BLOCK OB 35
TITLE = "Cyclic Interrupt"
VERSION : 0.1

VAR_TEMP
  OB35_EV_CLASS : BYTE ;          //Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
  OB35_STRT_INF : BYTE ;          //16#36 (OB 35 has started)
  OB35_PRIORITY : BYTE ;         //Priority of OB Execution
  OB35_OB_NUMBR : BYTE ;         //35 (Organization block 35, OB35)
  OB35_RESERVED_1 : BYTE ;       //Reserved for system
  OB35_RESERVED_2 : BYTE ;       //Reserved for system
  OB35_PHASE_OFFSET : WORD ;     //Phase offset (msec)
  OB35_RESERVED_3 : INT ;        //Reserved for system
  OB35_EXC_FREQ : INT ;          //Frequency of execution (msec)
  OB35_DATE_TIME : DATE_AND_TIME ; //Date and time OB35 started
END_VAR
BEGIN
NETWORK
TITLE =Stop stav

      L      DB1.DBd      16;
      L      DB1.DBd      8;
      >=R    ;
      R      Q      124.1;
      R      Q      124.3;
NETWORK
TITLE =Funkcni blok pro nacistani hodnot
//Je umisten v OB35 pro zajisteni pravidelneho vzorkovani 50ms spusti se az po
//dokoncenem prestaveni reg. ventilu

      AN      M      240.0;
      JNB    _001;
      CALL FC      3 ;
_001: NOP      0;
END_ORGANIZATION_BLOCK
```

**Příloha: 1****Strana: 5/5**

```
ORGANIZATION_BLOCK OB 100
TITLE = "Complete Restart"
VERSION : 0.1
```

```
VAR_TEMP
  OB100_EV_CLASS : BYTE ;      //16#13, Event class 1, Entering event state, Event logged in
  diagnostic buffer
  OB100_STRTUP : BYTE ;      //16#81/82/83/84 Method of startup
  OB100_PRIORITY : BYTE ;    //Priority of OB Execution
  OB100_OB_NUMBR : BYTE ;    //100 (Organization block 100, OB100)
  OB100_RESERVED_1 : BYTE ; //Reserved for system
  OB100_RESERVED_2 : BYTE ; //Reserved for system
  OB100_STOP : WORD ; //Event that caused CPU to stop (16#4xxx)
  OB100_STRT_INFO : DWORD ; //Information on how system started
  OB100_DATE_TIME : DATE_AND_TIME ; //Date and time OB100 started
END_VAR
BEGIN
NETWORK
TITLE =

      AN      M      240.0;
      S      M      240.0;
END_ORGANIZATION_BLOCK
```

**Příloha: 2****Strana: 1/1**

```
close all
clear all
global tG uG yG N
load reg1.txt
uG=reg1(91:1285,2);
yG=reg1(91:1285,3);
tG=reg1(91:1285,1);
%uG=uG-2832;
yG=yG-0.009;
%tG=tG-4.5;
N=1
T=100
K=5    x=[K T]
critT(x)
disp('running...')
OPTIONS(2)=1e-1;
OPTIONS(14)=50;
x=fmins('critT',x,OPTIONS);
disp('optimalizovaný vektor x')
x
disp('Hodnota kriteria J')
critT(x)
Ax=[x(2) 1];
A=[x(2) 0];
for i=1:N;
    A=conv(A,Ax);
end
K=x(1);
roots(A)
tf(x(1),A)
sys=tf(x(1),A);
[yi,ti]=lsim(sys,uG,tG);

function f=critT(x)
global tG uG yG N
K=x(1);
xT=[x(2) 1];
A=[x(2) 0];
for i=1:N;
    A=conv(A,xT);
end
sys=tf(x(1),A);
lsim(sys,uG,tG);
[yi,ti]=lsim(sys,uG,tG);
f=sum((yG-yi).*(yG-yi));
```

**2/2-cestný magnetický ventil nepřímo řízený, R 1/2" - R 2"  
typ 21W****Technické údaje:**

Konstrukce	2/2-cestný magnetický ventil s membránovým uzávěrem, nepřímo řízený, bez proudu uzavřený nebo bez proudu otevřený
Závitové připojení	R 1/2" - R 2"
Teplota okolí	-20° C až + 50° C, při vysokých teplotách okolí použijte cívku BDP
Teplota média	Závislá na materiálu membrány
Viskozita	Max. 21 mm <sup>2</sup> /s (cSt) nebo 3° E
Materiál	Těleso mosaz, vnitřní díly mosaz a nerez ocel, membrána NBR (Perbunan), EPDM nebo Viton
Způsob zástavby	Montáž do pevného systému vedení
Montážní poloha	Libovolná
Rozsah dodávky	Včetně konektoru Pg 9 dle DIN 43650 - A/ISO 4400
<b>Elektrické údaje:</b>	
Druh napětí	Střídavé nebo stejnosměrné
Standardní napětí	230 V / 50 Hz, 24 V / 50 Hz, 24 V =
Zvláštní napětí	6 až 400 V / 50 Hz nebo 60 Hz, 6 až 220 V =
Přípustné kolísání napětí	± 10 %
Spotřeba proudu	Viz tabulku „Příkony magnetických cívek“
Doba sepnutí	100 % ( Trvalý provoz )
Druh ochrany	IP 65 dle DIN 40050 při správné montáži konektoru (ochrana proti prachu a vodě )
<b>Pneumatické a hydraulické údaje:</b>	
Médium	Všechna kapalná a plynná média, která nenapadají použité materiály
Spínací doba	Závislá na pracovním tlaku a médiu
Četnost sepnutí	max. 200 / min
Uzavírání s prodlevou	Dodáváme pro ventily R 3/4" až R 2"
Jiná provedení	Chemické poniklování

**Objednací klíč :**

	<b>21W 2 K B 120-MRD -</b>	
	Připojení _____ Funkce _____ Materiál těsnění _____ Světlost (10 <sup>-1</sup> ) _____	Druh proudu _____ Napětí _____ Magnet. cívka _____ Přídavná funkce _____
Připojení	2 = R 1/2", 3 = R 3/4", 4 = R 1", 5 = R 1 1/4", 6 = R 1 1/2", 7 = R 2"	
Funkce	K = bez proudu uzavřen, Z = bez proudu otevřen	
Materiál těsnění	B = Perbunan(NBR), V = Viton (FKM - R1/2" až R 1 1/2"), E = EPDM	
Přídavná funkce	MR = mechanické ruční ovládním a zpožděné uzavírání ( jen pro ventily bez proudu uzavřené od R 3/4" do R 2" )	
Magnetická cívka	D = standardní cívka BDA, BDP = cívka pro vlhké prostředí, Y = cívka Eex II T4 nebo Ex s G4	



**Příloha: 3****Strana: 2/2****Možnosti použití jednotlivých materiálů těsnění :**

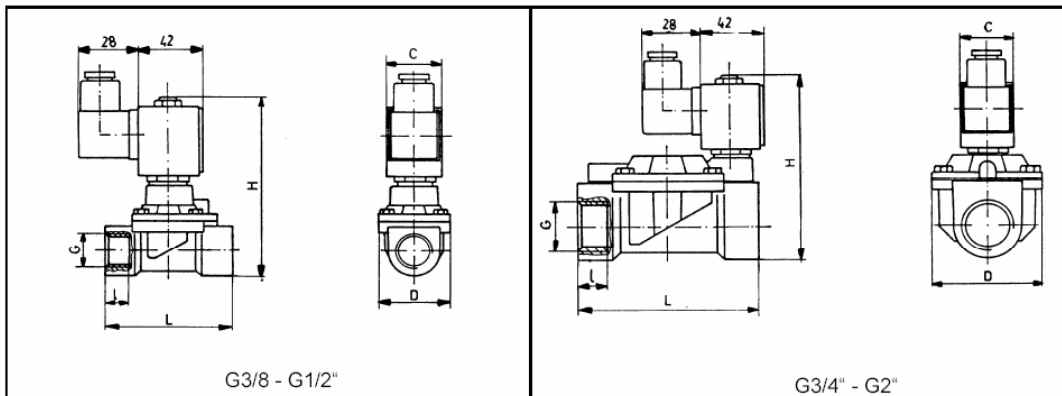
B -NBR,Perbunan	-10 až +90°C	Neutrální plyny a kapaliny
E - EPDM	-10 až +130°C	Horká voda, pára, kyslík
V -Viton, FKM	-10 až +130°C	Oleje, benzíny

**Příkony magnetických cívek:**

	Cívka BDA	Cívka BDP	Cívka Y
Přitažný příkon ve VA (střídavý proud)	28	28	
Přidržený příkon ve VA (střídavý proud)	13	13	
Přidržený příkon ve W (střídavý proud)	8	8	7
Příkon ve W (ss proud) při provozní teplotě	8	8	9

**Magnetické cívky :**

Typ	Druh ochrany	Použití
BDA	IP65	Teplota média max. 120°C
BDP	IP65	Teplota média max. 160°C, vysoká vlhkost vzduchu
Y	EEx m II, Ex s G4	V prostředí nebezpečí výbuchu, skupina G4, teplota média max. 70°C

**Rozměry :**

Závitové připojení	Světlost DN [mm]	Tlakový rozsah [bar]	C	D	H	L	I	Kv-hodnota [m <sup>3</sup> /h vody]	Hmotnost [cca kg]
G 1/2"	12	0,1-20	30	40	101	72	15	2,7	0,58
G 3/4"	19	0,1-16	30	65	106	104	17	8,8	1,15
G 1"	25	0,1-16	30	65	112	104	17	12,7	1,15
G1 1/4"	35	0,1-10	30	98	130	144	21	26,6	2,65
G 1 1/2"	40	0,1-10	30	98	130	144	21	33,0	2,65
G 2"	50	0,1-10	30	118	144	172	25	46,0	4,9

Upozornění: V objednávce prosím uveďte napětí a druh proudu. Doporučujeme vždy předradit filtr, aby při znečištění média nedocházelo k funkčním závadám.

STASTO Automation s.r.o.  
K Náklí 512  
CZ-257 41 Týnec nad Sázavou

Tel 0301/701 700, 701 834  
Fax 0301/701 701  
E-Mail [stasto@czn.cz](mailto:stasto@czn.cz)  
[www.stasto.cz](http://www.stasto.cz)

## Druckmessumformer für allgemeine Anwendungen Typ S-10, Standardausführung Typ S-11, frontbündige Membrane

WIKA Datenblatt PE 81.01

### Anwendungen

- Maschinenbau
- Hydraulik / Pneumatik
- Allgemeine Industrieanwendungen

### Besonderheiten

- Messbereiche von 0 ... 0,1 bar bis 0 ... 1000 bar
- Verschiedenste Industrie-Standardsignale
- Steckeranschluss, Kabelausgang oder Snap Cap
- Großes Lagerprogramm für kurze Lieferzeiten
- Vakuumfest



Abb. links Druckmessumformer S-10

Abb. Mitte Druckmessumformer S-11

Abb. rechts Druckmessumformer S-11 mit Kühlstrecke

### Beschreibung

Diese Druckmessumformer wurden konzipiert, um den größten Teil der Anwendungen im Bereich der industriellen Druckmesstechnik abzudecken. Sie zeichnen sich durch hohe Genauigkeit, robuste und kompakte Bauform und Flexibilität bei der Anpassung an unterschiedliche Messaufgaben aus.

Durch die nahezu beliebige Kombinierbarkeit verschiedener mechanischer und elektrischer Anschlüsse ergibt sich eine außerordentliche Bandbreite von Gerätevarianten.

#### Aufbau

Alle messstoffberührten Teile sind aus CrNi-Stahl gefertigt und komplett verschweißt. Interne Dichtelemente, die Einschränkungen bei der Wahl des Messstoffes mit sich bringen, sind nicht vorhanden. Das robuste Gehäuse ist ebenfalls aus CrNi-Stahl und bietet eine Schutzart von mindestens IP 65 (Sonderversionen bis IP 68).

Die Druckmessumformer können mit unregelmäßiger Gleichspannung von 10 (14) ... 30 V versorgt werden und liefern wahlweise alle in der Messtechnik üblichen Ausgangssignale.

Der Typ S-11 eignet sich durch seine frontbündige Membrane besonders für die Messung von viskosen und verunreinigten Medien, die den Druckkanal eines normalen Anschlusses verstopfen würden. Damit ist eine störungsfreie Druckmessung gewährleistet. Frontbündige Druckmessumformer sind in den Messbereichen von 0...100 mbar bis 0 ... 600 bar lieferbar. Für Anwendungen mit höheren Temperaturanforderungen ermöglicht eine integrierte Kühlstrecke Messstofftemperaturen bis zu 150 °C.

Für die Messbereiche von 0 ... 0,25 bar bis 0 ... 1000 bar können Druckmessumformer für Sauerstoffanwendungen geliefert werden (sicherheitstechnische Beurteilung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, BAM, liegt vor).



Technische Daten		Typ S-10 / S-11										
Messbereich	bar	0,1	0,16	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10
Überlastgrenze	bar	1	1,5	2	2	4	5	10	10	17	35	35
Berstdruck	bar	2	2	2,4	2,4	4,8	6	12	12	20,5	42	42
Messbereich	bar	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	
Überlastgrenze	bar	80	50	80	120	200	320	500	800	1200	1500	
Berstdruck	bar	96	250	400	550	800	1000	1200	1700	2400	3000	
		{Absolutdruck: 0 ... 0,25 bar abs bis 0 ... 16 bar abs}										
		{Sondermessbereich 800...1200 mbar abs}										
Werkstoff												
■ Messstoffberührte Teile		CrNi-Stahl (andere Werkstoffe siehe WIKA Druckmittler-Programm)										
> Typ S-10		CrNi-Stahl										
> Typ S-11		CrNi-Stahl {Hastelloy C4}										
		O-Ring: NBR <sup>1)</sup> {Viton oder EPDM}										
■ Gehäuse		CrNi-Stahl										
Interne Übertragungsflüssigkeit		Synthetisches Öl										
		Nur bei Messbereichen bis 16 bar oder bei Typ S-11 (frontbündige Membrane)										
		{Halocarbonöl für Sauerstoff-Ausführungen} <sup>2)</sup>										
		{FDA-gelistet für Nahrungsmittelindustrie}										
Hilfsenergie U <sub>B</sub>		DC V	10 < U <sub>B</sub> ≤ 30 (14 ... 30 bei Ausgang 0 ... 10 V)									
Ausgangssignal und zulässige max. Bürde R <sub>A</sub>			4 ... 20 mA, Zweileiter R <sub>A</sub> ≤ (U <sub>B</sub> - 10 V) / 0,02 A mit R <sub>A</sub> in Ohm und U <sub>B</sub> in Volt									
			0 ... 20 mA, Dreileiter R <sub>A</sub> ≤ (U <sub>B</sub> - 3 V) / 0,02 A mit R <sub>A</sub> in Ohm und U <sub>B</sub> in Volt									
			{0 ... 5 V, Dreileiter} R <sub>A</sub> > 5 kOhm									
			{0 ... 10 V, Dreileiter} R <sub>A</sub> > 10 kOhm {andere Ausgangssignale auf Anfrage}									
Einstellbarkeit Nullpunkt/Spanne		%	± 10 durch Potentiometer im Gerät									
Einstellzeit (10 ... 90 %)		ms	≤ 1 (≤ 10 ms bei Messstofftemperatur < -30 °C für Messbereiche bis 16 bar oder bei frontbündiger Membrane)									
Kennlinienabweichung <sup>1)</sup>		% d. Spanne	≤ 0,5 {0,25} <sup>3)</sup> (Grenzpunkteinstellung)									
		% d. Spanne	≤ 0,25 {0,125} <sup>3)</sup> (Toleranzbandeinstellung, BFSL)									
Hysterese		% d. Spanne	≤ 0,1									
Reproduzierbarkeit		% d. Spanne	≤ 0,05									
Stabilität pro Jahr		% d. Spanne	≤ 0,2 (bei Referenzbedingungen)									
Zulässige Temperaturbereiche												
■ Messstoff		°C	-30 ... +100 {-40 ... +125}									
		°C	Typ S-11 mit integrierter Kühlstrecke: -20 ... +150									
■ Umgebung		°C	-20 ... +80									
		°C	Typ S-11 mit integrierter Kühlstrecke: -20 ... +80									
■ Lagerung		°C	-40 ... +100									
		°C	Typ S-11 mit integrierter Kühlstrecke: -20 ... +100									
■ Kompensiert		°C	0 ... +80									
Temperaturkoeffizienten im kompensierten Temperaturbereich												
■ Mittlerer TK des Nullpunktes		% d. Spanne	≤ 0,2 / 10 K (< 0,4 für Messbereiche < 250 mbar)									
■ Mittlerer TK der Spanne		% d. Spanne	≤ 0,2 / 10 K									
CE-Kennzeichen			89/336/EWG Störemission und Störfestigkeit nach EN 61 326									
			97/23/EG Druckgeräte-Richtlinie, Anlage 1									
Schockbelastbarkeit		g	1000 nach IEC 770 (Schock mechanisch)									
Vibrationsbelastbarkeit		g	20 nach IEC 770 (Vibration bei Resonanz)									
Elektrische Schutzarten			Verpolungs-, Überspannungs- und Kurzschlusschutz									
Schutzart			Nach IEC 60 529 / EN 60 529, siehe Seite 3									
Masse		kg	Ca. 0,2									
		kg	Ca. 0,3 bei Option Kennlinienabweichung 0,25% der Spanne (höheres Gehäuse)									

1) O-Ring aus Viton oder EPDM bei Typ S-11 mit integrierter Kühlstrecke.

2) Bei Ausführung für Sauerstoff darf eine Messstofftemperatur von 60 °C nicht überschritten werden. Nicht möglich bei bei Absolutdruck-Messbereichen &lt; 1 bar abs.

3) Kennlinienabweichung 0,25 %: für Messbereiche ab 0 ... 0,25 bar bis 0 ... 1000 bar.

\*) Kalibriert bei senkrechter Einbaulage, Druckanschluss nach unten.

{ } Angaben in geschweiften Klammern beschreiben gegen Mehrpreis lieferbare Sonderheiten.


**Rozměry a hmotnosti ventilů RD 122 P../T se závitovými a RD 122 P../W s přivařovacími nátrubky**

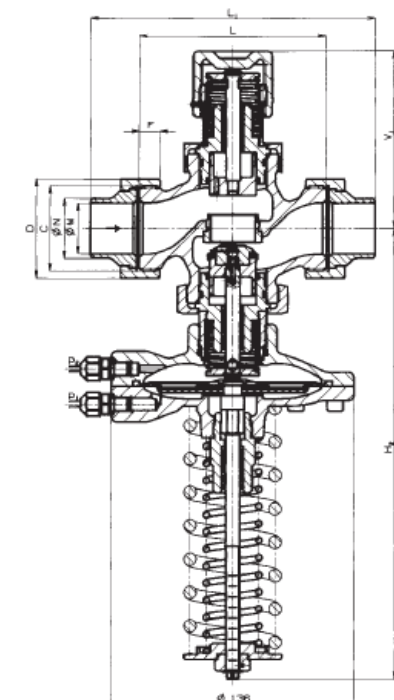
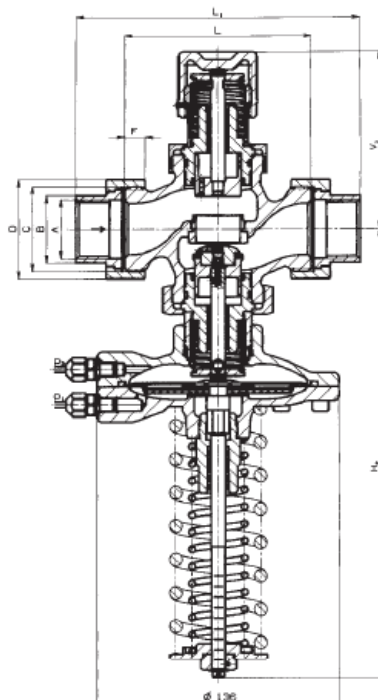
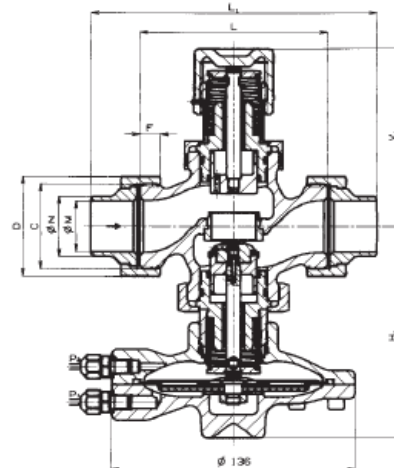
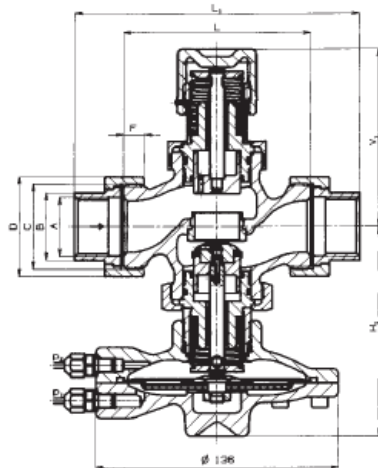
DN	L	L <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	H <sub>1</sub> <sup>1)</sup>	H <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	A	B	C	D	Ø M	Ø N	F	m <sub>1</sub> <sup>1)</sup>	m <sub>2</sub> <sup>2)</sup>
	mm	mm	mm	mm	mm		mm		mm	mm	mm	mm	kg	kg
15	100	146	100	119	254	Rp 1/2	25	G 1	41	16.1	21.3	9	4.0	4.5
20	100	149	100	119	254	Rp 3/4	32	G 1 1/4	51	21.7	26.9	10	4.3	4.8
25	105	160	100	119	254	Rp 1	38	G 1 1/2	56	29.5	33.7	11	4.6	5.1
32	130	193	119	139	274	Rp 1 1/4	47	G 2	71	37.2	42.4	12	6.4	6.9
40	140	207	119	139	274	Rp 1 1/2	53	G 2 1/4	76	43.1	48.3	14	7.4	7.9
50	160	233	119	139	274	Rp 2	66	G 2 3/4	91	54.5	60.3	16	9.9	10.4

<sup>1)</sup> H<sub>1</sub>, m<sub>1</sub>, ... rozměry a hmotnosti pro ventily s pevně nastaveným tlakem RD 122 P1

<sup>2)</sup> H<sub>2</sub>, m<sub>2</sub>, ... rozměry a hmotnosti pro ventily s nastavitelným rozsahem tlaku RD 122 P2

Ventily RD 122 P../T se závitovým šroubením

Ventily RD 122 P../W s přivařovacím šroubením





## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užit své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci 13. 5. 2005

.....  
Lukáš Starý