

Regulace a řízení teploty, tlaku hydrauliky a síly u zkušebního lisu

Regulation and control of temperature, hydraulic pressure and
power of the testing machine

Bc. Jaroslav Gajdůšek

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav GAJDŮŠEK**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Regulace a řízení teploty a tlaku hydrauliky a síly u zkušebního lisu.**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza záměru a zadání.
2. Experimentální identifikace soustavy.
3. Syntéza regulačního okruhu.
4. Projekt systémů.
5. Ověření funkce a vyhodnocení.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Balatě J. Automatické řízení. BEN, 2004, s.664, ISBN 978-80-7300-148-0.
2. Altmann W. Practical Process Control for Engineers and Technicians. ELSEVIER, 2006, s. 290, ISBN 978-0-7506-6400-4
3. HRUŠKA,F. Senzory pro systémy informatiky a automatizace. Učební texty. 1.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, prosinec 2007, s.177. ISBN 978-80-7318-630-2
4. HRUŠKA,F. Technické prostředky informatiky a automatizace. Učební texty. 1.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, duben 2007, s.193. ISBN 978-80-7318-535-0
5. HRUŠKA,F.: Projektování systémů integrované automatizace. Učební texty. 2.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, 2002, s. 133. ISBN 80-7318-100-2

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. František Hruška, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2010

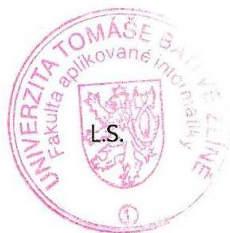
Termín odevzdání diplomové práce:

8. června 2010

Ve Zlíně dne 19. února 2010



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

V této práci je popsán návrh zkušební lisu pro tlakové zkoušky se snadným přestavěním na klasický vulkanizační lis. Samostatný lis se skládá z několika podsystémů: měřicí, vyhodnocovací, hydraulický okruh a elektrické vytápění. Podsystémy s jejich součástmi jsou dopodrobna vysvětleny, odsimulovány a ověřeny jejich nastavení. Samostatnou kapitolou je pak návrh PI regulátoru pro elektrické vytápění desek, kde pro identifikaci byla použita Strejcova metoda a pro návrh regulátoru byla použita polynomiální syntéza.

Klíčová slova: Zkušební lis, Strejcova metoda, polynomiální metoda návrhu regulátoru

ABSTRACT

In this work is described a proposal of testing machine for testing pressure with easy change on classic curing press. The machine consists of several subsystems: measuring, evaluating, hydraulic circle and electric heating. Subsystems with their components are explained in detail, were simulated and their settings have been checked. Special chapter is dealing with a proposal of the PI regulator used for electric heating of plates, which were used for identification of Strejc method and for a proposal of regulator was used polynomial synthesis.

Key words: testing machine, method of Strejc, Polinomial synthesis

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Doc. Ing. Františkovi Hruškovi, Ph.D. za důležité rady, připomínky a čas strávený při mé diplomové práci. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jaromíru Šmatlovi ze společnosti AB Elpo spol. s r.o. za ochotnou spolupráci.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.
V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VÝZNAM SYSTÉMŮ INTEGROVANÉ AUTOMATIZACE	11
1.1 PROJEKTOVÁNÍ A NAVRHOVÁNÍ SYSTÉMOVÝCH PROSTŘEDKŮ.....	11
1.1.1 Značení obvodů automatizace	11
1.1.2 Požadavky na elektrické vlastnosti.....	12
1.1.2.1 Kvalita pomocné napájecí energie	12
1.1.2.2 Parametry vazebních obvodů jednotlivých prvků.....	12
1.1.2.3 Odolnost vůči rušení	12
1.1.2.4 Bezpečnostní podmínky.....	12
1.2 PROJEKTOVÁNÍ PODSYSTÉMU MĚŘENÍ A SNÍMÁNÍ DAT.....	13
1.2.1 Projektování obvodů pro měření teploty	13
1.2.2 Projektování obvodů pro měření tlakových veličin	13
1.2.3 Spojité regulátory	13
2 NASTAVENÍ REGULÁTORU	16
2.1.1 Regulátory s pevně danou strukturou	16
2.1.2 Algebraické metody řízení	16
2.2 POLYNOMIÁLNÍ METODA NÁVRHU REGULÁTORU.....	17
2.2.1 Diofantické rovnice	17
2.2.2 Struktura obvodů	18
2.2.2.1 1DOF konfigurace systému řízení	18
2.3 IDENTIFIKACE PARAMETRŮ REGULOVANÉ SOUSTAVY	21
2.3.1 Strejcova metoda	21
II PRAKTICKÁ ČÁST	25
3 PROJEKT	26
3.1 ZADÁNÍ	26
3.2 ÚVOD	26
3.3 ROZBOR PROBLÉMU.....	27
3.4 OBECNÝ ROZBOR.....	27
4 PROJEKT SYSTÉMŮ	28
4.1 ELEKTRICKÝ ROZVADĚČ.....	31
4.2 HYDRAULICKÝ SYSTÉM	33
4.2.1 Snímač tlaku	34
4.2.2 Regulátor tlaku Ht60B	35
4.2.3 Hydraulický obvod	37
4.2.3.1 Dvoučinné čerpadlo	38
4.2.3.2 Zpětný ventil	39
4.2.3.3 Ruční třícestný ventil	40
4.2.3.4 Nízkotlaká hadice	41
4.2.3.5 Vysokotlaká hadice.....	41

4.2.3.6	Píst	42
4.2.3.7	Příslušenství	43
4.2.4	Kontrola zapojení	44
4.3	MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ TLAKOVÝCH SIL	45
4.3.1	Přístroj pro přenos a zpracování dat	47
4.3.1.1	Komunikace s tenzometrickou hlavou	48
4.3.1.2	Komunikace s digitálním pravítkem	48
4.3.1.3	Komunikace s dotykovým panelem	48
4.3.2	Tenzometrická hlava	49
4.3.3	Digitální pravítko	50
4.3.4	Dotykový panel	51
4.3.5	Zkušební měření	52
4.4	ELEKTRICKÉ VYTÁPĚNÍ	54
4.4.1	Topné desky	55
4.4.2	Regulátor teploty Ht60B	56
4.4.3	Odporový senzor Pt100	57
5	OKRUH REGULACE TEPLoty	58
5.1	IDENTIFIKACE REGULAČNÍ SOUSTAVY	58
5.1.1	Výpočet rovnice regulátoru	60
5.1.2	Identifikace regulační odezvy	61
5.1.2.1	Určení tvaru přenosu systému $G_s(s)$	62
5.1.2.2	Odhad parametrů T_1 a T_2	62
5.1.2.3	Výpočet $G_s(s)$	63
5.1.3	Výpočet řízené soustavy $G(s)$	64
5.1.4	Porovnání naměřené a identifikované soustavy	65
5.2	NÁVRH REGULÁTORU	67
5.2.1	Návrh regulátoru polynomiální syntézou	67
5.2.1.1	Určení charakteristické rovnice	67
5.2.1.2	Volba polynomu d	68
5.2.1.3	Výpočet	68
5.2.1.4	Výpočet parametrů regulace:	69
5.2.2	Simulace v Matlabu:	70
5.2.3	Simulace na reálné soustavě	71
5.2.4	Porovnání získaných regulačních pochodů	72
	ZÁVĚR	73
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	SEZNAM TABULEK	80
	SEZNAM PŘÍLOH	81

ÚVOD

Diplomová práce je zaměřena na návrh zkušebního lisu pro měření tlakových zkoušek. Zkoušenými předměty jsou pryžové kanalizační poklopy, které mají kovovou výztuhu a budou se testovat na jejich nosnost danou normou. V praxi se tedy bude zkoušet, jak se kanál prohne při zatížení 25t respektive 40t. K tomu bylo nutné vytvořit takové zařízení, které by dokázalo takovou sílu vyvinout a následně ji vyobrazit společně s průhybem kanálu. Zároveň při návrhu tohoto zařízení bylo myšleno i na to, že se bude zkoušet jen pár dní v měsíci a lis by tak byl po většinu dní nevyužitý. Proto byl navrhnout zkušební lis, který se dá snadno přestavět na menší vulkanizační lis, na kterém by se daly lisovat případně menší a jednodušší výrobky.

Jako základ tohoto stroje byl vybrán vyřazený lis, který se očistil, vybrousil, nalakoval a byla do něj vložena nová hydraulika, která se starala o pohyb pracovního stolu. Na pracovní stůl byly vytvořeny nové pracovní desky, které se doplnily o potřebná zařízení. V prvním případě se jednalo o měření a monitoring. K tomu byla využita horní pracovní deska, která byla osazena tenzometrickou hlavou. A spodní deska, která obsahovala držák zkoušených předmětů. Zbylá zařízení se umístila na bezpečná a neobsazená místa stroje. Celý systém měření a vyhodnocování je dopodrobna rozebrán a jsou ověřeny jeho funkce a nastavení. Samotnou částí v této práci je pak provedena tlaková zkouška kanalizačního poklopu, jehož výsledek je zaznamenán v grafu.

Ve druhém případě byly pracovní desky vybaveny topnými tělesy, které jsou dopodrobna rozebrány a vysvětleny. O řízení se zde stará PI regulátor v navrhnutém regulačním obvodu. Hlavní úkol ale spočíval v nalezení vhodných parametrů PI regulátoru. K tomu bylo nejprve nutné provést identifikaci regulačního obvodu a pak následně provést algebraický návrh parametrů regulace. Zvolené metody byly Strejcova metoda pro identifikaci a Polynomiální syntéza pro algebraický návrh regulátoru. Navržený regulátor byl následně ověřen simulací v Matlab-simulinku a poté i na reálné soustavě. Výsledky z jednotlivých měření jsou porovnány v jednom grafu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝZNAM SYSTÉMŮ INTEGROVANÉ AUTOMATIZACE

Integrovaná automatizace znamená automatizovat procesy a postupy pomocí decentralizovaných podsystémů automatizace nebo informatizace do jednoho systému se vzájemným propojením prostřednictvím komunikačních sítí. Zajišťuje se tak efektivnost a kvalita řešení. Pro oblast průmyslu je tato koncepce označována jako přístupy CIM/CAM.

Základní funkce SIA jsou:

- V oboru automatizace řízení v reálném čase.
- V oboru informatiky zpracovávat signály a data na informace, třídít je, upravit je podle významu a užití, archivovat je.

Základní funkce musí být zachovány a provozovány i při působení náhodných poruchových vlivů. Ty mohou být způsobeny výkyvy jakosti materiálu, nepředpokládanými změnami zatížení, změnami v kvalitě nebo kvantitě dodávek energie, poruchami strojů atp. [1]

1.1 Projektování a navrhování systémových prostředků

Systémová struktura SIA navržená v etapě projektování je určujícím faktorem při jeho realizaci. V rámci projektového řešení je celková systémová struktura rozpracována na dílčí podsystémy, na dílčí obvody a na jednotlivé komponenty. Projektant provádí návrh konkrétního řešení, volí odpovídající technické prostředky a zpracovává dokumentaci.

1.1.1 Značení obvodů automatizace

Pro kreslení schémat struktury a funkce obvodů automatizace se používají specifické značky. Jednoduchou grafickou formou bez složitých textových popisů se vykreslí složení měřicího nebo regulačního okruhu, jeho signální vazby na okolí a na technologické zařízení. Pro zobrazení funkční struktury a vyznačení obvodu automatizace na strojně technologickém zařízení platí ČSN ISO 3511-1. Tato mezinárodní norma je dorozumívacím prostředkem při projektování, montáži a provozování prostředků automatizace. [1]

Více k písmenným kódům pro značení funkcí přístrojů nalezneme např. v literatuře [1]

1.1.2 Požadavky na elektrické vlastnosti

Provozování systémových prostředků v současné době, kdy jsou používány v převážné míře elektrické přístroje, je dáno také elektrickými podmínkami a vlastnostmi.

1.1.2.1 Kvalita pomocné napájecí energie

Kvalita pomocné napájecí energie je dána dostatečným výkonem a dalšími parametry. Moderní konstrukce elektrických napáječů má minimální požadavky na kvalitu vstupního síťového napětí. Zpravidla se jedná o napětí 230V s tolerancí -15% až +10%, s kmitočtem 50Hz $\pm 1\%$.

1.1.2.2 Parametry vazebních obvodů jednotlivých prvků

Při sestavování systémových prostředků jsou elektrické parametry vazebních obvodů výstupu prvku a vstupu následujícího prvku. U těchto vazeb musí být stejná napěťová úroveň a druh napětí.

1.1.2.3 Odolnost vůči rušení

V průmyslových podmínkách působí na systémové prostředky elektrické rušivé vlivy, mezi které patří harmonické rušení, transientní a flukтуаční.

1.1.2.4 Bezpečnostní podmínky

Základní bezpečnostní podmínky se týkají především splnění požadavku na elektrickou ochranu před nebezpečným dotykem. Požadavkem je aby během provozu eventuální chyby nebo porucha nezpůsobila nebezpečí úrazu elektrickým proudem. [1]

1.2 Projektování podsystemu měření a snímání dat

Každý systém SIA vyžaduje pro zajištění svých funkcí mít k dispozici údaje o parametrech a stavu řízených a nebo sledovaných procesů. Data jsou zajišťována zpravidla automatickým měřením a nebo čtením a snímáním údajů. Měření je proces získávání údajů o vlastnostech a chování soustavy, procesů, o funkci a stavu zařízení. Signály jsou potom využívány pro zobrazování informací, v regulátorech, v zařízení pro signalizaci apod. [1]

1.2.1 Projektování obvodů pro měření teploty

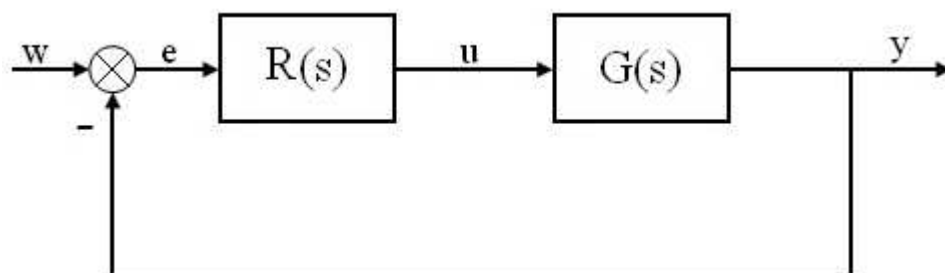
Při měření teploty se používají snímače pro dotykové nebo pro bezdotykové měření, odporové, dilatační teploměry a další. Jejich podrobný rozbor je možné nalézt např. v literatuře [2].

1.2.2 Projektování obvodů pro měření tlakových veličin

Pro měření tlakových veličin se používají měřicí senzory, převádějící působení tlaku na posuv, sílu nebo úhel natočení. Jsou to mechanické systémy typu membrána, pružná trubice, vlnovec apod. Podrobný rozbor s vysvětlením jednotlivých funkcí je možné nalézt např. v literatuře [2].

1.2.3 Spojité regulátory

Cílem řízení nebo regulace je generovat akční veličinu $u(t)$ tak, aby se regulovaná veličina $y(t)$ chovala podle předem zadaného cíle, jež je charakterizován žádanou veličinou $w(t)$. Nejúčinnějším způsobem, jak tohoto cíle dosáhnout, je použití záporné zpětné vazby. K známému přenosu regulovaného systému $G(s)$ je nutné nalézt přenos regulátoru $R(s)$ tak, aby regulační odchylka $e(t)$ byla co nejmenší.



Obr. 1 Základní zpětnovazební zapojení.

Při řízení technologických procesů se velmi osvědčily lineární spojité regulátory typu PID. Tento regulátor se skládá ze tří členů:

- P – proporcionální
- I – integrační
- D – derivační

Ideální PID regulátor je popsán přenosem:

$$R(s) = k_r \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s \quad (1)$$

P – proporcionální

Pro běžné systémy se setrvačností zanechává P regulátor trvalou regulační odchylku. Je popsán jednoduchou rovnicí:

$$u_R(t) = r_0 e(t) \quad R_P(s) = r_0 \quad (2)$$

Pásmo proporcionality odpovídá počtu procent změny vstupní veličiny, která změní 100% výstupní veličiny.

$$P = \frac{1}{r_0} \cdot 100[\%] \quad (3)$$

I – integrační

Je popsán integračním vztahem:

$$u_R(t) = \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) dt \quad R_I(s) = \frac{1}{T_I s} \quad (4)$$

T_I znamená čas, za který při 100% změně na vstupu naroste 100% na výstupu. Jinak řečeno, T_I znamená čas, který by potřeboval čistě integrační regulátor, aby přestavil akční člen do polohy, které dosáhne PI regulátor v čase $t = 0$ vlivem své proporcionální složky.

D – derivační

Ideální D člen zesiluje šumy, proto ho nelze použít samostatně. Reaguje na skokové změny žádané veličiny Diracovým impulsem a způsobuje tak saturaci regulátorů. Je popsán diferenciálním vztahem:

$$u_r(t) = T_D e'(t) = \frac{de(t)}{dt} \quad R_D(s) = T_D s \quad (5)$$

T_D je čas, který by potřeboval čistě proporcionální regulátor, aby přestavil akční člen do polohy, které dosáhne D regulátor v čase $t = 0$ vlivem své derivační složky.[4]

2 NASTAVENÍ REGULÁTORU

2.1.1 Regulátory s pevně danou strukturou

Regulátory s pevně danou strukturou mají předem známý tvar popsany rovnicí nebo přenosem, např. P, PI, PD, PID regulátor. Úkolem návrhu je výběr vhodného typu regulátoru a nastavení jeho parametrů. Využívá se např. těchto metod: Ziegler-Nichosonova metoda, CHR metoda, Cohen-Coonova metoda atd.. [5]

Přesné postupy návrhu regulátoru s pevně danou strukturou nalezneme např. v literatuře[4]

2.1.2 Algebraické metody řízení

Na rozdíl od tradičních syntéz, kde většinou volíme nejprve typ regulátoru a následně na základě vybraného kritéria počítáme parametry regulátoru, aplikace algebraických metod umožňuje získat nejen strukturu vhodného regulátoru, ale i jeho parametry. Struktura regulátoru závisí na požadavcích kladených na systém řízení. [1]

Nejpoužívanější algebraická metoda se nazývá Polynomiální metoda, které se budu více věnovat dál.

2.2 Polynomiální metoda návrhu regulátoru

Aplikace polynomiální metody při návrhu systémů řízení vede k řešení polynomiálních diofantických rovnic. Tvar těchto rovnic závisí na zvolené konfiguraci systému řízení, jejíž volbou lze zajistit požadovaný průběh řízení a ovlivnit velikost akčních zásahů. Nejdůležitější požadavky na vlastnosti regulačního obvodu jsou:

- Stabilita systému řízení
- Fyzikální realizovatelnost (vnitřní ryzost)
- Asymptotické sledování referenčního signálu
- Úplná kompenzace poruchy

Polynomiální metoda nám na rozdíl od metod klasických určí jak strukturu regulátorů, tak i vztahy pro výpočet jejich parametrů.

2.2.1 Diofantické rovnice

Rovnice ve tvaru:

$$ax + by = c \quad (6)$$

se nazývá diofantická a je definovaná v množině, která se nazývá okruhem. V rovnici představují a , b , c známé a x , y hledané, neznámé prvky z daného okruhu. Diofantická rovnice má řešení, jestliže největší společný dělitel a , b dělí c . V tom případě lze bez újmy na obecnosti uvažovat rovnici (6) s nesoudělnými a a b . Diofantická rovnice má nekonečně mnoho řešení popsána takto:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + bt \\ y &= y_0 - at \end{aligned} \quad (7)$$

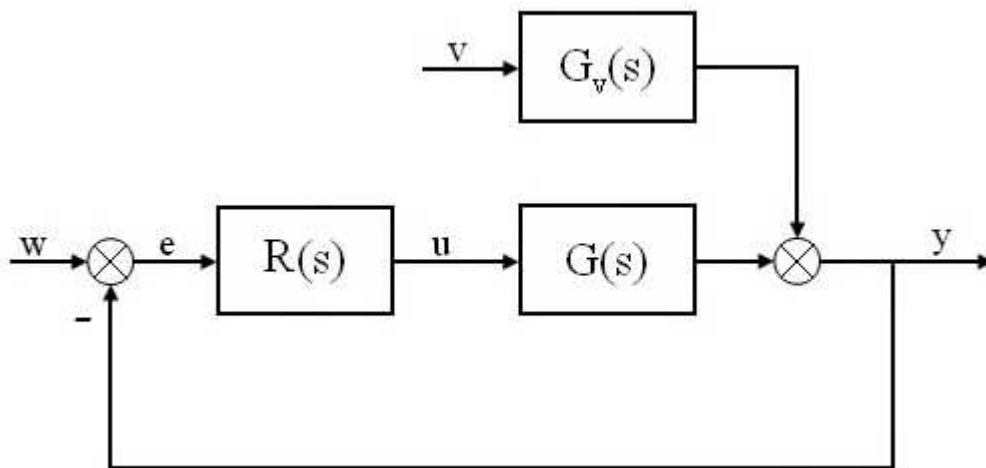
- x_0, y_0 - tvoří partikulární řešení
- t - libovolný prvek z daného okruhu

2.2.2 Struktura obvodů

V této části se budu zabývat regulačním obvodem se zpětnovazební smyčkou, často označovaným také jako FeedBack (FB) nebo také obvod s jedním stupněm volnosti (1 DOF), je na Obr 2.

2.2.2.1 1DOF konfigurace systému řízení

Tato konfigurace používá jeden zpětnovazební regulátor. 1DOF znamená „one degree of freedom“, tedy systém s jedním stupněm volnosti. Struktura regulačního obvodu v této konfiguraci je zobrazena na Obr 2.



Obr. 2 Schéma 1DOF konfigurace regulačního obvodu

Blok s přenosem:

$$R(s) = \frac{q(s)}{p(s)} \text{ zpětnovazební regulátor} \quad (8)$$

$$G(s) = \frac{b(s)}{a(s)} \text{ regulovaná soustava} \quad (9)$$

$$G_v(s) = \frac{c(s)}{a(s)} \text{ porucha} \quad (10)$$

Kde $b(s)$, $c(s)$ a $a(s)$ jsou polynomy v s . Budeme předpokládat, že polynomy b , a a c , a jsou nesoudělné. Podmínky ryzosti obou přenosů jsou vyjádřeny nerovnostmi

$$\deg b(s) \leq \deg a(s), \quad \deg c(s) \leq \deg a(s) \quad (11)$$

Signály:

- y regulovaná veličina
- w žádaná hodnota
- v porucha na výstupu soustavy
- u akční zásah
- e regulační odchylka

Obrazy vstupních signálů w , v uvažujeme také jako podíly polynomů:

$$W(s) = \frac{h_w(s)}{f_w(s)} \quad (12)$$

$$V(s) = \frac{h_v(s)}{f_v(s)} \quad (13)$$

Pro obraz výstupu y platí:

$$Y(s) = G(s) \cdot U(s) + G_v(s) \cdot V(s) = \frac{b(s)}{a(s)} \cdot U(s) + \frac{c(s)}{a(s)} \cdot V(s) \quad (14)$$

Pro obraz vstupu u platí

$$U(s) = R(s) \cdot E(s) = R(s) \cdot [W(s) - Y(s)] = \frac{q(s)}{p(s)} \cdot [W(s) - Y(s)] \quad (15)$$

Úpravou předcházejících vzorců (14) a (15) získáme vztahy pro vyjádření základních signálů v obvodu:

$$Y(s) = \frac{1}{a \cdot p + b \cdot q} \cdot [b \cdot q \cdot W(s) + c \cdot p \cdot V(s)] \quad (16)$$

$$E(s) = \frac{p}{a \cdot p + b \cdot q} \cdot [a \cdot W(s) - c \cdot V(s)] \quad (17)$$

$$U(s) = \frac{q}{a \cdot p + b \cdot q} \cdot [a \cdot W(s) - c \cdot V(s)] \quad (18)$$

Regulační odchylku můžeme vyjádřit ve tvaru:

$$E(s) = \frac{p}{a \cdot p + b \cdot q} \cdot \left[a \cdot \frac{h_w}{f_w} - c \cdot \frac{h_v}{f_v} \right] \quad (19)$$

Podmínkou asymptotického sledování žádané hodnoty a kompenzace poruchové veličiny je:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0 \quad (20)$$

Po Laplaceově transformaci tedy platí:

$$\lim_{s \rightarrow 0} [s \cdot E(s)] = 0 \quad (21)$$

Aby byla tato podmínka splněna musí platit $p(s) = f(s) \cdot \tilde{p}(s)$, kde $f(s)$ představuje nejmenší společný násobek polynomů f_w a f_v . Polynomiální rovnici $a \cdot p + b \cdot q = d$ tak můžeme upravit na tvar $a \cdot f \cdot \tilde{p} + b \cdot q = d$. Pro neznámé polynomy \tilde{p} a q pak platí následující nerovnosti:

$$\begin{aligned} \deg q &= \deg a + \deg f - 1 \\ \deg \tilde{p} &\geq \deg a - 1 \\ \deg d &\geq 2 \cdot \deg a + \deg f - 1 \end{aligned} \quad (22)$$

Volba polynomu d může vypadat následovně:

$$d = (s + m)^n \quad (23)$$

$$d = (s + m_1)^n \cdot (s + m_2) \quad (24)$$

přičemž si můžeme volit libovolné m , pod jedinou podmínkou a to $m, m_1, m_2 > 0$. [4]

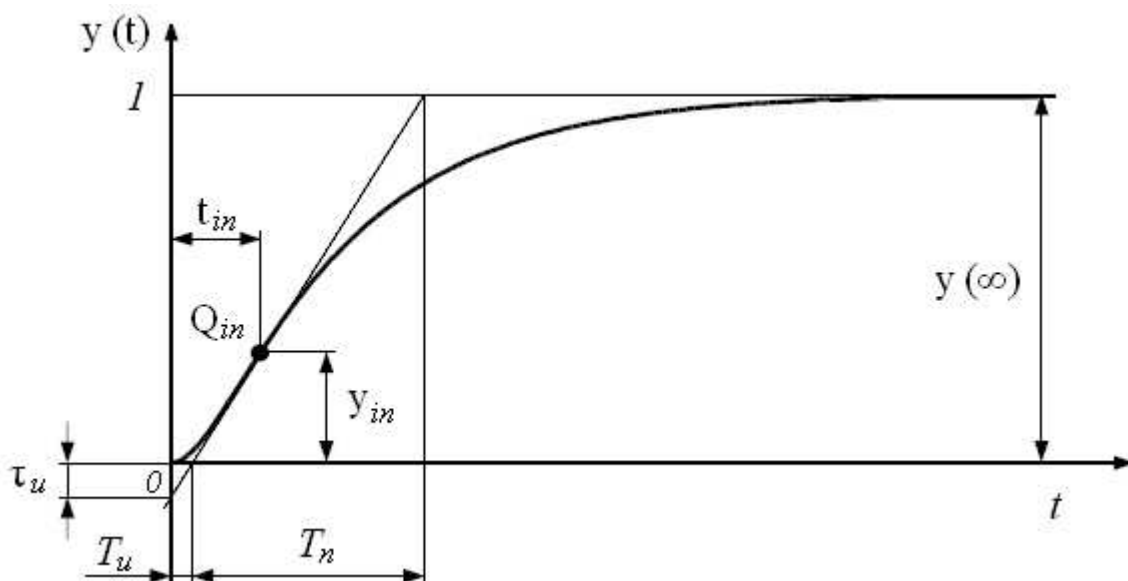
2.3 Identifikace parametrů regulované soustavy

Mnohdy nemusí být znám přenos soustavy, proto je ho potřeba nejprve získat, aby bylo možno provádět syntézu regulovaného obvodu. Tzn., že je třeba aproximovat přechodovou charakteristiku řízeného systému nějakým vhodným modelem (přenosem). Identifikace přechodové charakteristiky je jednoduchá, neboť přechodová charakteristika se měří snadno, tzn. objekt se uvede do ustáleného stavu a poté vstupní veličinu změním skokem na jinou hodnotu. Časový průběh výstupní veličiny přepočítaný na jednotkovou změnu vstupní veličiny je přechodovou charakteristikou. [9]

Jednou s používaných identifikačních metod je Strejцова metoda, které se budu věnovat dál. Další metody je možné nalézt např. v literatuře [4]

2.3.1 Strejцова metoda

Jednou z nejjednodušších metod aproximace přechodových charakteristik pro statické soustavy navrhl V. Strejc. Předpokládáme přitom, že kořeny charakteristické rovnice jsou reálné a záporné. Metoda umožňuje aproximovat naměřené data soustavami n -tého řádu se stejnými konstantami, nebo soustavami druhého řádu s různě velkými časovými konstantami. O způsobu aproximace se rozhodne podle úseků, které vytíná na časové ose tečna, sestavená v inflexním bodě aproximované přechodové charakteristiky. [9]



Obr. 3 Normovaná přechodová charakteristika statické soustavy vyššího řádu

Postup pro určení aproximační funkce vyšetřované soustavy, je následující:

1. Sestrojíme tečnu v inflexním bodě přechodové charakteristiky a určíme hodnotu $\tau_u = T_u / T_n$. Tečnu, tedy i hodnotu T_u, T_n potřebné pro určení τ_u , můžeme určit nejenom graficky, ale také numericky, a to následujícím postupem:

- Indexní bod výsledné přechodové charakteristiky se určí pomocí vztahu

$$\frac{y(t^i) - y(t^{i-1})}{t^i - t^{i-1}} = \max \quad \text{pro } i = 0, 1, 2, \dots, m \quad (25)$$

- Pomocí několika bodové lineární regrese v okolí inflexního bodu se určí rovnice tečny k inflexnímu bodu Q_{im}

$$y_t = a + bt \quad (26)$$

- Parametry a, b se určí regresním výpočtem. Dále se určí doba průtahu a dobu náběhu podle vztahů

$$T_u = -\frac{a}{b}, T_n = \frac{1}{b} \quad (27)$$

2. Je-li $\tau_u \geq 0,104$, zvolíme pro aproximaci soustavu n -tého řádu se stejnými časovými konstantami.

- Z podílu T_u / T_n určíme z tabulky 1 nejbližší řád n aproximačního přenosu.
- Z tabulky 1 také stanovíme pro určený řád aproximačního přenosu hodnoty T_n / T , T_u / T příp. t_{in} / T , ze kterých určíme průměrnou neznámou časovou konstantu T .
- Přenos aproximační soustavy má tvar

$$G(s) = \frac{K}{(Ts + 1)^n} \quad (28)$$

3. Je-li $\tau_u \leq 0,104$, zvolíme pro aproximaci druhého řádu s různě velkými časovými úseky t_1 a vypočítáme součet časových konstant.

- Pro pořadnici $y(t_1) = 0,720$ odečteme z přechodové charakteristiky časový úsek t_1 a vypočítáme součet konstant

$$T_1 + T_2 = \frac{t_1}{1,2564} \quad (29)$$

- Vypočítáme časový úsek

$$t_2 = 0,3574 \cdot (T_1 + T_2) \quad (30)$$

a z naměřené přechodové charakteristiky odečteme příslušnou pořadnici $y(t_2)$

- Z grafu závislosti $y(t_2) = f(\tau)$ určíme poměr časových konstant

$$\tau = \frac{T_2}{T_1} \quad (31)$$

- Z rovnic (29) a (31) se určí hledané časové konstanty.
- Přenos aproximační soustavy má tvar

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1) \cdot (T_2s + 1)} \quad (32)$$

4. Zesílení K se v obou případech určí podle vztahu

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta u(t)} = \frac{\Delta y(t)}{\Delta u(t)} \quad (33)$$

Tabulka 1 hodnoty pro vyhodnocování statických soustav n-tého řádu

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ_u	0	0,104	0,218	0,319	0,410	0,493	0,570	0,642	0,709	0,771
t_1/T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_u/T	0	0,282	0,805	1,425	2,100	2,811	3,549	4,307	5,081	5,861
T_n/T	1,000	2,718	3,695	4,463	5,119	5,699	6,226	6,711	7,144	7,590

Tabulka 2 tabulka pro určení časových konstant

$\tau_u = T_u / T_n$	0,016	0,030	0,050	0,062	0,072	0,084	0,092
$\tau_2 = T_2 / T_1$	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40
y_1	0,058	0,104	0,148	0,177	0,197	0,224	0,240
$\tau_u = T_u / T_n$	0,097	0,100	0,102	0,103	0,103	0,104	
$\tau_2 = T_2 / T_1$	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
y_1	0,250	0,256	0,260	0,263	0,264	0,264	

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 PROJEKT

3.1 Zadání

Pro konkrétní potřeby firmy AB ELPO spol. s r.o. byl sestaven projekt zkušebního lisu pro testování tlakových zkoušek. Tento projekt obsahuje:

- Rozbor potřeby
- Analýzu zadání a potřeb
- Návrh jednotlivých podsystémů
- Schémata provedení jednotlivých podsystémů
- Kontrolní měření a provoz jednotlivých podsystémů

3.2 Úvod

Firma AB ELPO spol. s r.o. se zabývá výrobou pryžových výrobků. Jejich nejnovějšími produkty jsou pryžové kanalizační poklopy s železnou výztuhou. Tyto poklopy musí splňovat normu ČSN EN 124 a splňovat zatížení C250 (zaručená minimální nosnost 25t) a zatížení D400 (zaručená minimální nosnost 40t). K potřebám vývoje železných výztuh a kontrolního měření výrobků bylo nutné vyrobit zkušební zařízení, které zvládne tuto sílu vytvořit a změřit.

Před návrhem řešení byly stanovené kritéria:

- 50% cena projektu
- 40% kvalita projektu
- 10% doba provádění

3.3 Rozbor problému

Pro provádění zkoušek bylo nutné vyrobit zkušební lis, který dokáže vyvinout sílu okolo 50t. Působení této síly společně s průhybem zkoušeného pryžového kanálu bylo pak nutné zaznamenat. Jelikož se zkoušet bude jen pár dní v měsíci, tak byla přidána do požadavku snadná přestavba zkušebního lisu na vulkanizační lis pro lisování menších pryžových výrobků.

3.4 Obecný rozbor

Pro vyhovění daným kritériím byly využity dostupné zásoby. Jako stroj byl vybrán vyřazený vulkanizační lis, který se očistil, vybrousil a nalakoval. Pohyb pracovního stolu pak obstarává nová navrhnutá hydraulika vsazená do lisu. Aby byla zajištěna udržitelnost systému a řízení rozvoje byly vyrobené pracovní desky určené na pracovní sůl. Tyto desky se v prvním případě osadily potřebným zkušebním zařízením a ve druhém případě topnými tělesy. Výhodou tohoto řešení je, že se budou dát v budoucnu pracovní desky vyměňovat za jiné, na kterých bude zařízení např. pro jiný druh zkoušky.

Pro zkušební zařízení byly vybrány nové produkty: tenzometrická hlava, digitální měřítko a vyhodnocovací jednotka, která bude vyobrazovat výsledek měření.

Pro vytápění byly použity topné desky a o regulaci se starají PID regulátory s dostupných zásob. Pro snížení nákladů se ještě použil již zhotovený elektrický rozvaděč.

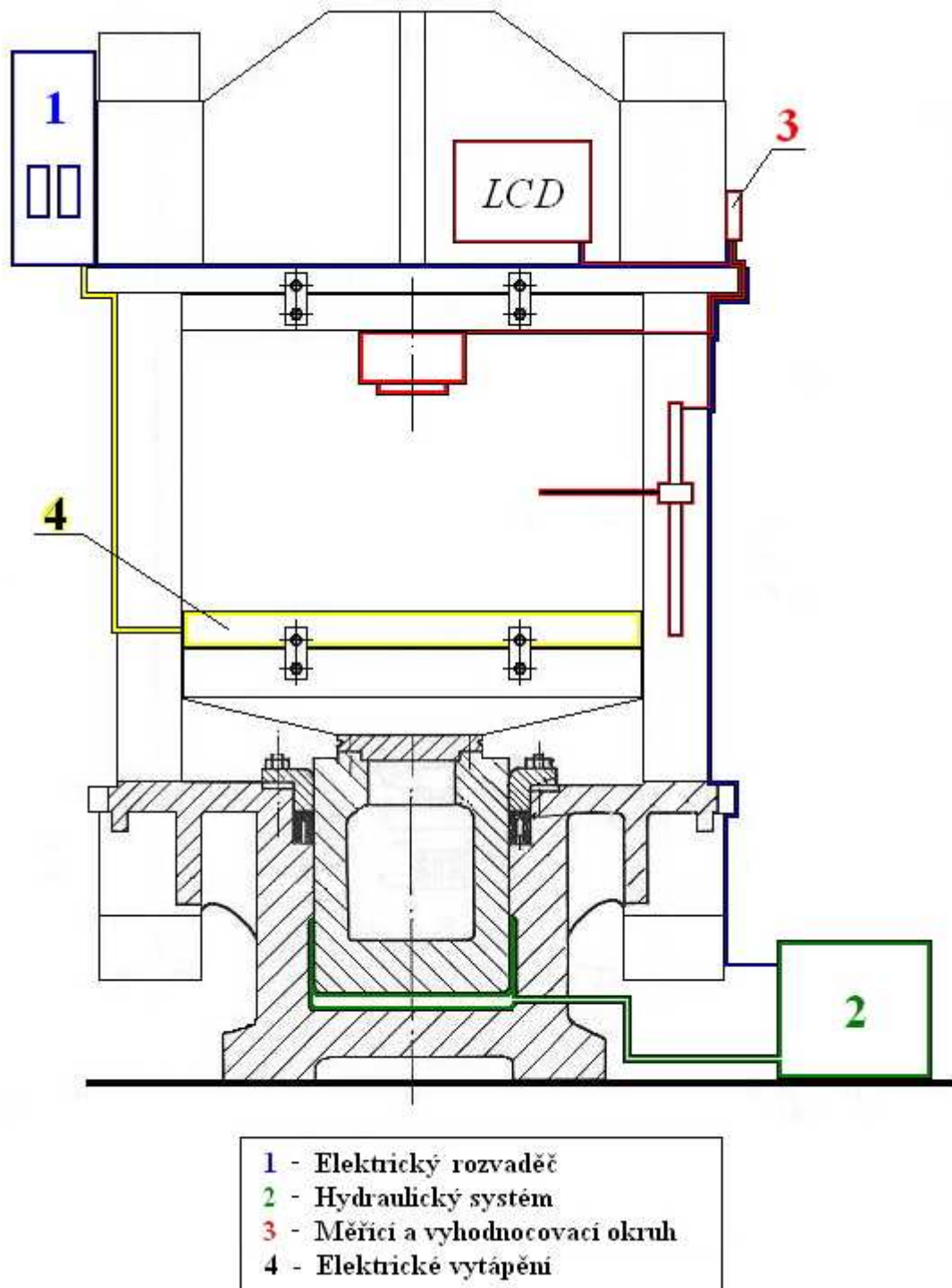
4 PROJEKT SYSTÉMŮ

Zkušební lis byl rozdělen na čtyři jednotlivé podsystémy. Každý plní svoji funkci. Prvním podsystémem je Elektrický rozvaděč (obr. 4 pozice 1), který je nadřazený ostatním. Bez jeho chodu by ostatní systémy nemohly běžet, jelikož by nebyly napájeny elektrickým napětím. Elektrický rozvaděč byl umístěn nahoru na zkušební lis, aby nezavazal obsluhu. Ale zároveň je zde pohodlný přístup pro nastavení parametrů regulace teploty. Více o elektrickém rozvaděči v kapitole 4.1

Na elektrický rozvaděč je napojen motor dvojčinného čerpadla, který je součástí druhého systému (obr. 4 pozice 2). Hydraulický systém má za úkol obstarání vertikálního pohybu pracovního stolu. Důvod, proč byl motor čerpadla napájen přes elektrický rozvaděč a ne přímo ze sítě, je kvůli bezpečnosti a ochraně. Na pracovním stole se totiž můžou nacházet drahé vyhodnocovací prvky a zařízení, které by špatnou manipulací nepovolanou osobou mohly být poničeny. Proto, pokud nebude zapnutý rozvaděč povolnou osobou, nemůže dojít k poškození. Nádoba s hydraulickým olejem a čerpadlem byla umístěna napravo vedle lisu. Podrobný rozbor hydraulického systému je v kapitole 4.2

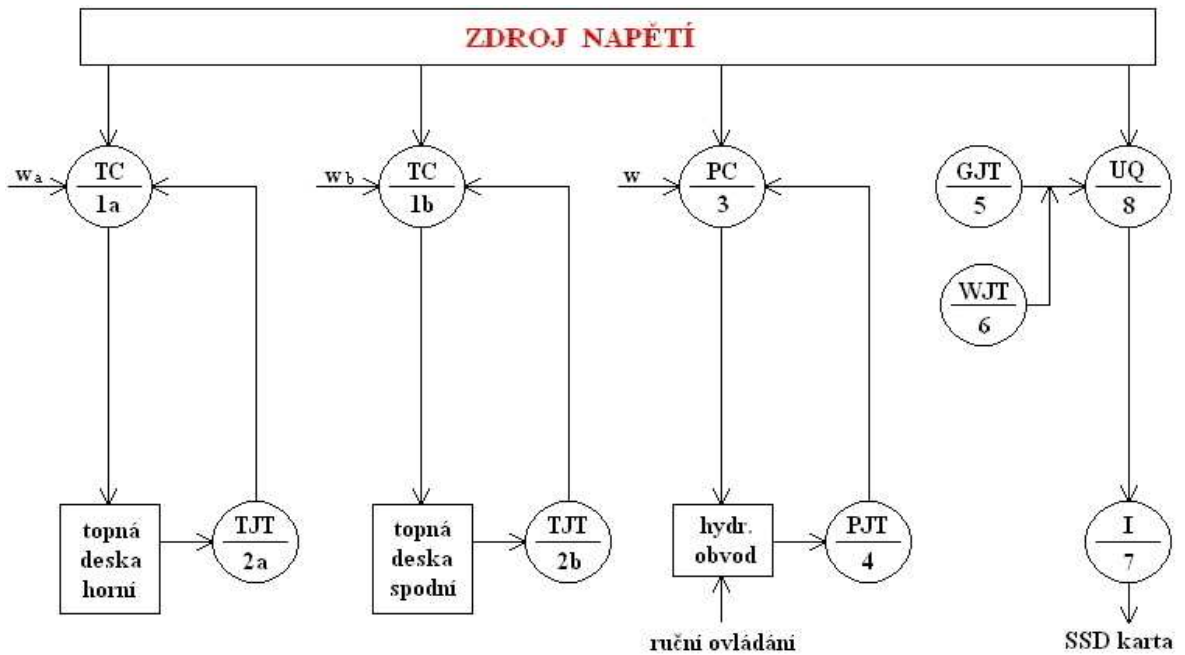
Dalším systémem napojeným na elektrický rozvaděč je Měření a vyhodnocování tlakových sil (obr. 4 pozice 3). Tento okruh se skládá z několika vyhodnocovacích a měřících prvků, které jsou umístěny napevno na pracovní desce a některé přímo na zkušebním lisu. Více v kapitole 4.3

Čtvrtým systémem je systém Elektrického vytápění (obr. 4 pozice 4). Tento systém je úzce spojen s Elektrickým rozvaděčem. V něm jsou přímo umístěny regulátory teploty, které regulují teplotu vyhřívaných desek. Pro dokonalé vytápění je nutné vyhívání pomocí dvou desek. Více o elektrickém vytápění v kapitole 4.4



Obr. 4 Průřez zkušebního lisu

Podsystemy čísla 3. a 4. jsou variabilní. Hlavní prvky byly umístěny na pracovní desce, které se dají snadno vyjmout a zase zpět připevnit. To bude umožňovat v budoucnu udržitelnost systému. Nebude problém vyrobit pracovní desku s jiným zařízením, např. pro jiný druh zkoušky a tu díky variabilitě snadno připevnit do stávajícího zkušebního zařízení.



Obr. 5 Blokové schéma Zkušebního lisu

Elektrické vytápění dvou topných desek:

- TC1a, TC1b – teplotní regulátor Ht60B
- TJT 2a, TJT2b – teplotní senzor Pt100

Hydraulický systém:

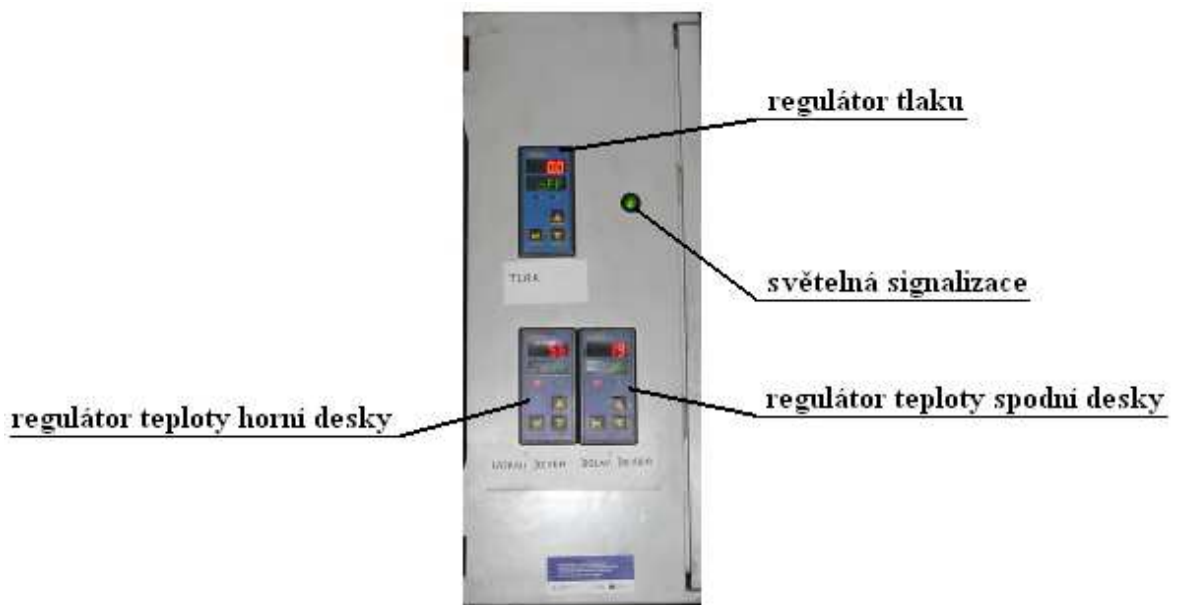
- PC 3 – hydraulický regulátor Ht60B
- PJT 4 – hydraulický senzor
- Hydraulický obvod

Měřicí a vyhodnocovací systém

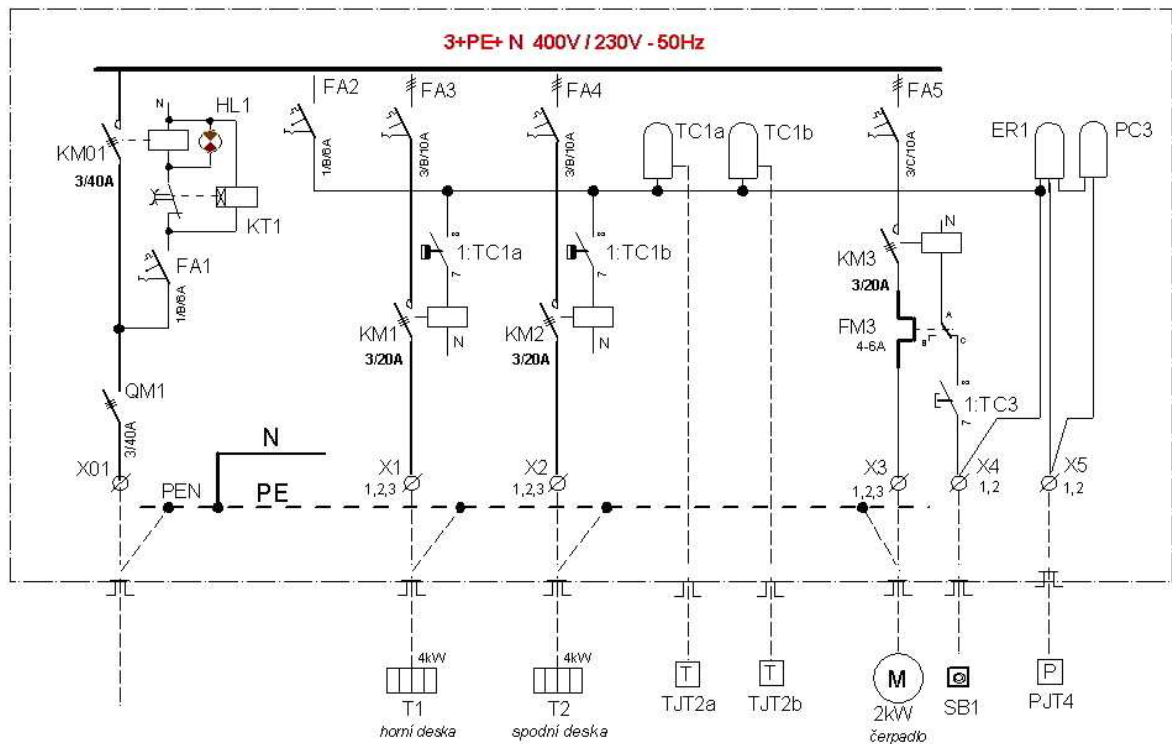
- GJT 5 – digitální pravítko
- WJT 6 – tenzometrická hlava
- I 7 – dotykový panel
- UQ 8 – zařízení pro zpracování a vyhodnocení dat

4.1 Elektrický rozvaděč

Elektrický rozvaděč byl převzat od klasických lisovacích lisů. Samotný návrh tedy odpadl. Do elektrického rozvaděče byly přímo připojeny PID regulátory, kterými se reguluje teplota topných desek a maximální lisovací tlak. Jedná se o regulátory typu Ht60B. Nalezení vhodných parametrů regulátoru pro vytápění se věnují v kapitole 3. Regulátor tlaku pracuje pouze jako rozpínací prvek hydraulického okruhu při dosažení žádané hodnoty. V tomto případě dosažení maximálního tlaku. Regulátor tedy plní funkci dorazu při lisování.



Obr. 6 Boční pohled na rozvaděč



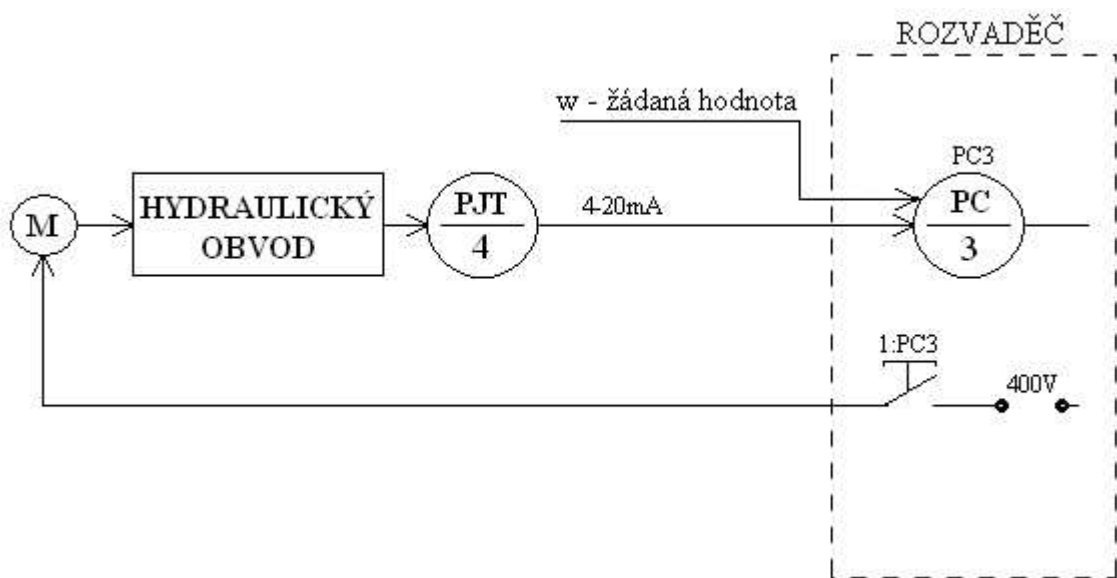
Obr. 7 Schéma elektrického rozvaděče

Popis:

- TC1a, TC1b – teplotní regulátor Ht60B
- PC3 – hydraulický regulátor Ht60B
- ER1 – zdroj JS-6-240, 230V-AC/24V-DC
- TJT2a, TJT2b – teplotní senzor Pt100
- PJT4 – tlakový snímač
- KM1,2,3 - stykač

4.2 Hydraulický systém

Hydraulický systém umožňuje pouze jeden pohyb a to vertikální pohyb pracovního stolu v hydraulickém obvodu. Hnací jednotkou je zde motor dvoučinného čerpadla, který je napájen 400V a spouští se tlačítkem SB1 dle schématu obr.7. Tlak v hydraulickém obvodu se měří pomocí tlakového senzoru PJT4, který posílá signál v rozsahu 4-20mA ke zpracování do hydraulického regulátoru PC3. Ten po dosažení žádané hodnoty w rozepne obvod a motor stojí.



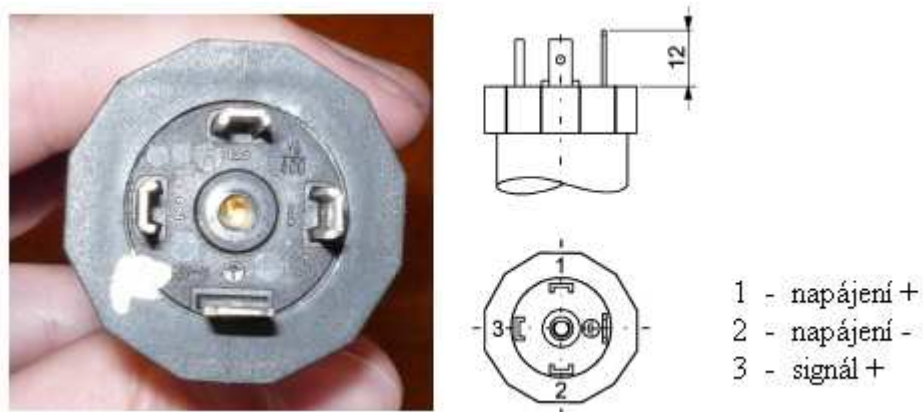
Obr. 8 Schéma hydraulického systému

4.2.1 Snímač tlaku

Jako snímač tlaku byl použit Snímač tlaku DMP 333 (viz schéma na obr. 7 a obr. 8 na pozici PJT 4). Jedná se o univerzální snímač použitelný pro kapalinu i plyn. Rozsahy tlaku jsou od 0,25 bar do 600 bar. Jelikož má senzor zespodu závit, umožňuje snadné připojení do hydraulického systému. Výstupní signál v hodnotách 4-20mA je přiveden přímo na hydraulický regulátor. Výstup snímače je podle schématu na obr. 10 vyveden na vstup regulátoru podle obr. 12 a to na pozice 1,2,3.



Obr. 9 Senzor tlaku DMP 333



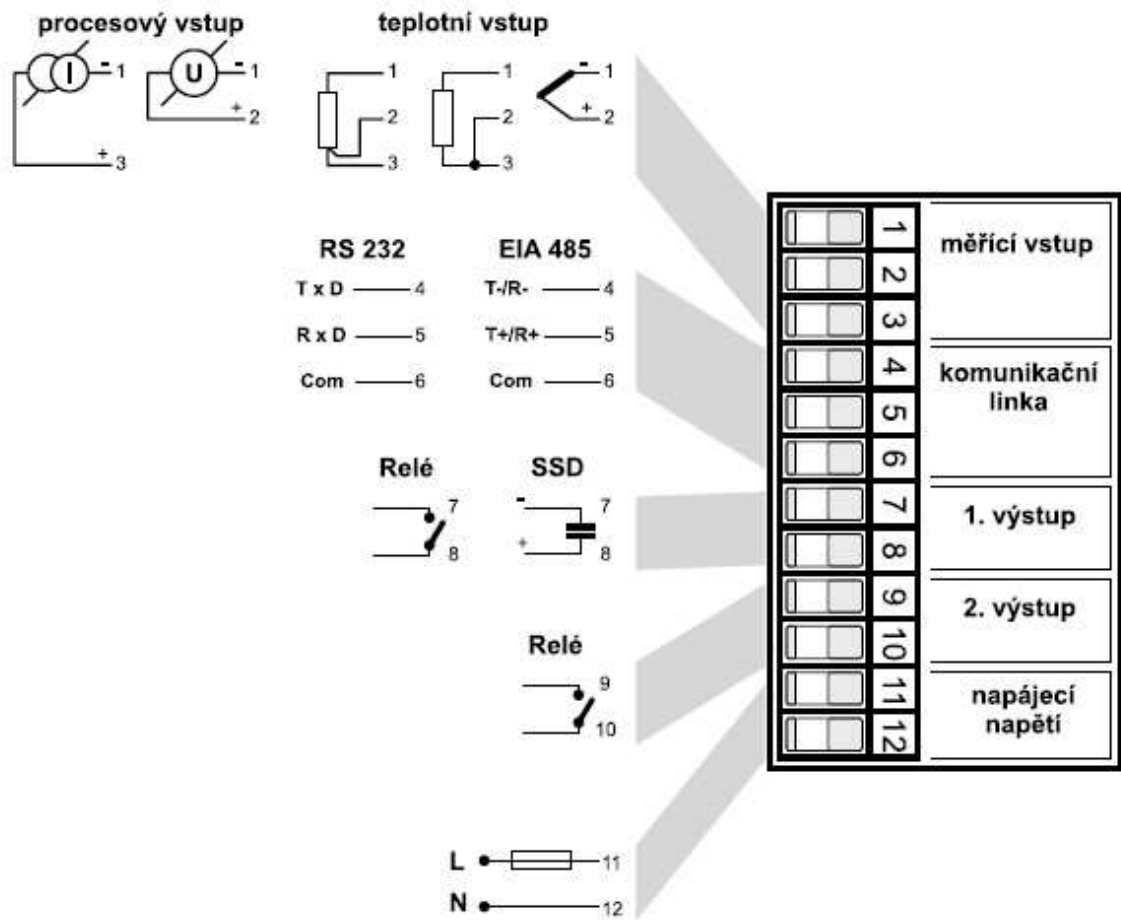
Obr. 10 Schéma zapojení výstupu snímače tlaku

4.2.2 Regulátor tlaku Ht60B

Jako regulátor tlaku byl zvolen regulátor Ht60B (viz schéma na obr. 7 a obr. 8 na pozici PC 3). Jeho výhodou je, že se dá snadno použít jako dvoupolohový regulátor s nastavitelnou hysterezí regulačního výstupu. K tomu je nutné nastavit v konfiguračním menu Nastavení vstupního senzoru na: 4-20 (tj. 4-20 mA, rozsah -499 až 2499 jednotek). Po dosažení žádaného tlaku rozepne regulátor běh motoru pomocí relé 1:PC3 zapojeného dle schématu na obr. 7. A motor čerpadla nemůže dál čerpat. Samotný regulátor je napájený 230V AC. Napájení je přivedeno na regulátor dle schématu na obr. 12 do pozic 11,12.



Obr. 11 PID regulátor Ht60B

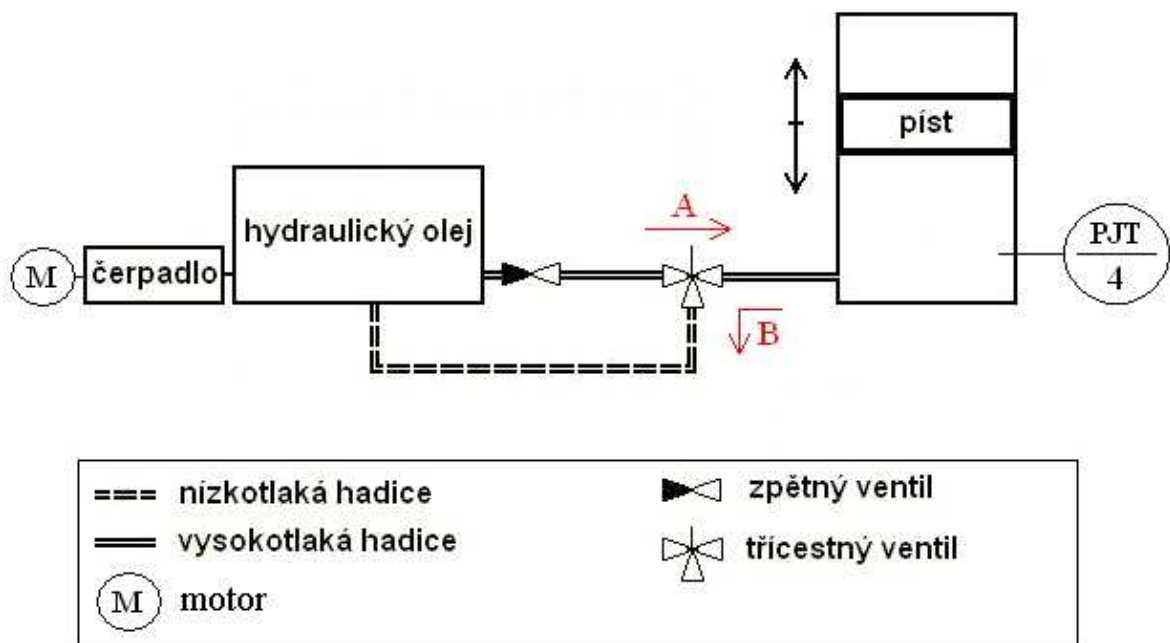


Obr. 12 Schéma pro zapojení

4.2.3 Hydraulický obvod

Hydraulický obvod se skládá z dvoučinného čerpadla, které vtlačí hydraulický olej pod píst a tím ho zvedá směrem vzhůru. Za čerpadlem se nachází zpětný ventil, který propouští olej pouze jedním směrem. Pro ruční ovládání směru pohybu pístu se používá ruční trojcestný ventil. Ten umožňuje dvě trasy: trasu A pro pohyb pístu nahoru a trasu B pro pohyb pístu dolů podle obr.13. Při pohybu pístu dolů je pak hnací silou tíha pracovního stolu, který je propojen s pístem.

Použité prvky v hydraulickém obvodu byly od firmy Hansa-Flex.

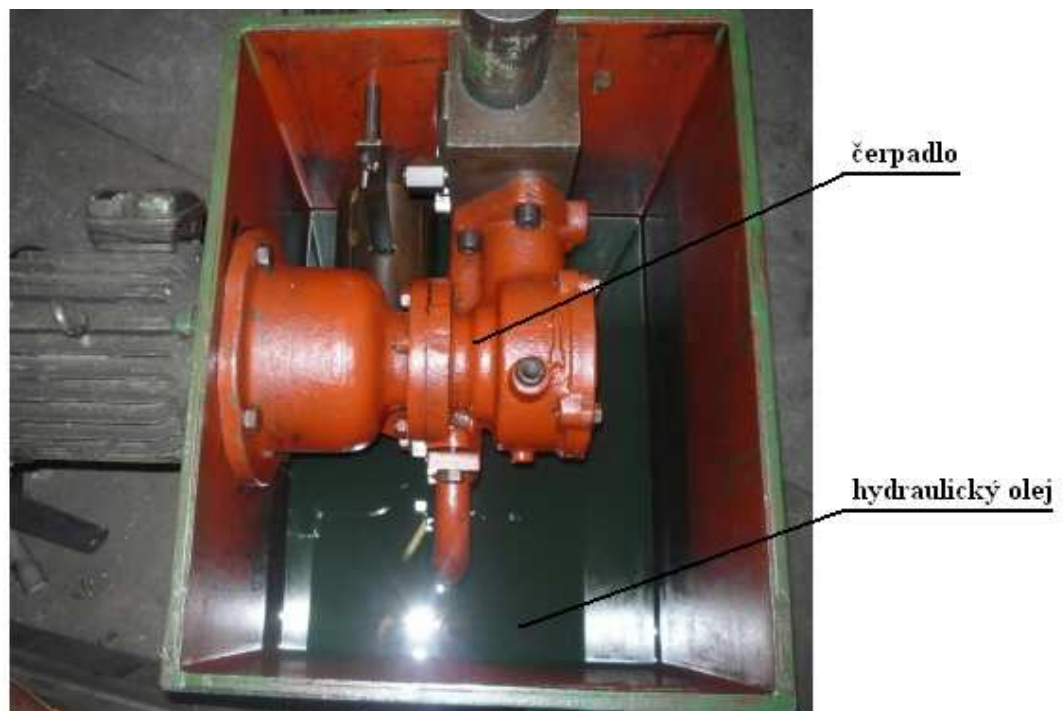


Obr. 13 Schéma hydraulického obvodu

4.2.3.1 Dvoučinné čerpadlo

Dvoučinné čerpadlo bylo zvoleno s asynchronním motorem o výkonu 2 kW. Čerpadlo pracuje tak, že v první fázi čerpá zubové čerpadlo a po dosažení určitého tlaku dojde k přepnutí chodu na pístové čerpadlo. Hranice přepínání je dána už při výrobě. Poté umožňuje čerpadlu pracovat až po limitní stav, který určuje tlakový spínač. Výhodou tohoto druhu čerpadla je to, že využívá výhod každého čerpadla zvlášť. Při lisování malých tlaků, nebo při manipulaci se stolem je zubové čerpadlo výhodnější kvůli vyšší rychlosti čerpání. Pro dosažení vyšších tlaků je potřeba výkonnější pístové čerpadlo, které jede pomaleji.

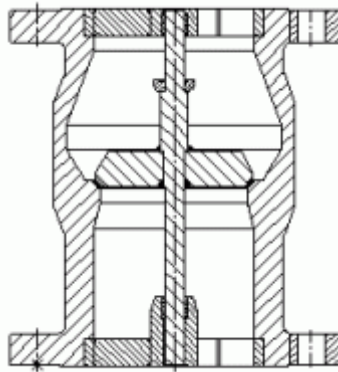
Čerpadlo je umístěno přímo v nádobě, kde se nachází hydraulický olej, který je pak čerpadlem hnán pod píst. Motor se spouští pomocí tlačítka SB1 dle schématu na obr. 7, které je vyvedeno na lis.



Obr. 14 Dvoučinné čerpadlo

4.2.3.2 Zpětný ventil

Zpětný ventil zajišťuje průtok média jedním směrem, respektive nepřipustí průtok směrem opačným. Zpětný ventil se skládá z kuželky dosedající na sedlo. Kuželka je k sedlu většinou přitlačovaná pružinou. Tlak média v propustném směru způsobí odtlačení kuželky od sedla, vzniklým průřezem pak proudí médium.



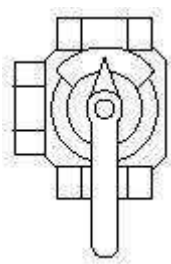
Obr. 15 Průřez zpětného ventilu



Obr. 16 Zpětný ventil

4.2.3.3 Ruční třícestný ventil

Třícestný ventil má ručně přepínací dráhu, která slouží k jednoduchému řízení směru proudící kapaliny. Pokud je páka ve vodorovné poloze, tak hydraulický olej může proudit do prostoru pod píst, a tím se pracovní stůl pohybuje směrem vzhůru (dráha A podle schématu na obr. 13). Pokud je páka ve svislé poloze, je hydraulický olej vytlačován zpět do nádoby s olejem a pracovní stůl tak jede dolů (dráha B podle schématu na obr. 13).



Obr. 17 Schéma třícestného ventilu



Obr. 18 Třícestný ventil

4.2.3.4 Nízkotlaká hadice

Nízkotlaká hadice se používá v nízkotlakých okruzích, kde nejsou zatěžovány velkými tlakovými rázy. Výhodou oproti vysokotlakým hadicím je pořizovací cena, ta je pochopitelně nižší. Pro případ, kde je tlak takřka nulový byla použita hadice typu ND 100 s nejmenším pracovním tlakem.



Obr. 19 Průřez nízkotlaké hadice

4.2.3.5 Vysokotlaká hadice

Vysokotlaká hadice se používá ve vysokotlakých okruzích. Skládá se z několika vrstev. Použitý typ HD 420 má pracovní tlak kolem 350 bar.



Obr. 20 Průřez vysokotlaké hadice

4.2.3.6 Píst

Plocha pístu se určí ze vztahu (34). Kde požadovaná nejvyšší síla by byla 75 t (větší síla nebude potřebná ani při lisování ani při testování) a pracovní tlak by byl max. do 100 bar (i nejslabší prvek ve vysokotlakém obvodu je předdimenzovaný).

$$p = \frac{F}{S} \quad (34)$$

$$p = \frac{F}{\pi \cdot r^2} \quad (35)$$

$$r = \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot p}} \quad (36)$$

$$r = \sqrt{\frac{750000}{\pi \cdot 10000000}} = 0,155 \text{ m} \quad (37)$$

Použitý píst u zkušebního lisu je tedy o průměru 32 cm.



Obr. 21 Připravený prostor pro píst

4.2.3.7 Příslušenství

Jako příslušenství v hydraulickém okruhu byly použity: adaptéry tvaru T, přesuvné matice a různé redukce závitů. Tyto prvky umožňují snadné vytvoření rozebíratelných spojů a snadné přidání dalších zařízení do okruhu (např. tlakový snímač). Jejich počet byl zvolen dle potřeby.



Obr. 22 Adaptér tvaru T



Obr. 23 Přesuvná matice

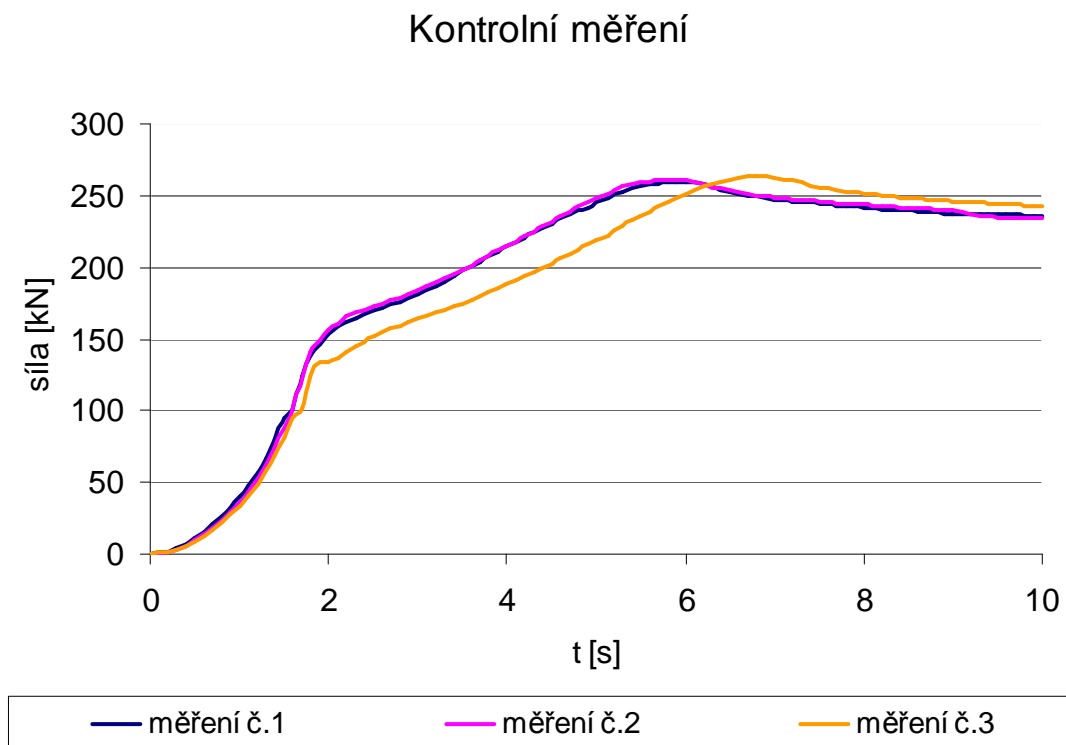


Obr. 24 Redukce pro závit

4.2.4 Kontrola zapojení

Před samotným zkoušením a kontrolou bylo nutné nalít hydraulický olej do zásobníku a provést odvzdušnění v hydraulickém okruhu. To se provedlo tak, že se opakovaně nanečisto zalisovalo na max. lisovací tlak. Po vytlačení veškerého vzduchu získal hydraulický pohyb pracovního stolu klidný a přesný pochod.

Pro vyobrazení narůstajícího tlaku v hydraulickém obvodu byl použit monitoring (viz 4.3). Měření se provedlo na kanalizačním poklopu, na který byla 3x vyvinuta síla 250kN. Výsledek chování narůstajícího tlaku v hydraulickém okruhu je vyobrazen na obr. 25.



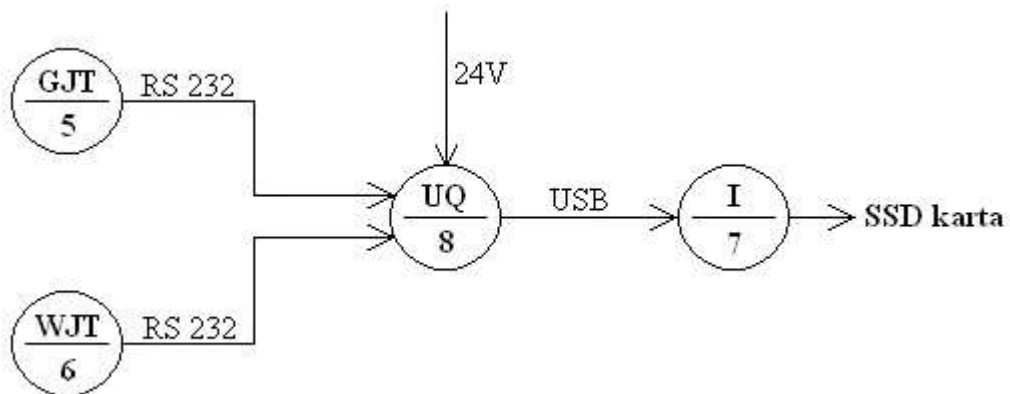
Obr. 25 Růst tlaku

Z měření je vidět, že při dosažení 150 kN dojde k přepnutí chodu zubového čerpadla na pomalejší pístový. Po dosažení žádaného tlaku (250kN) regulátor vypne chod čerpadla. Tlak ale ještě kolísá, to je způsobeno mechanickými vlastnostmi pryžového kanálu.

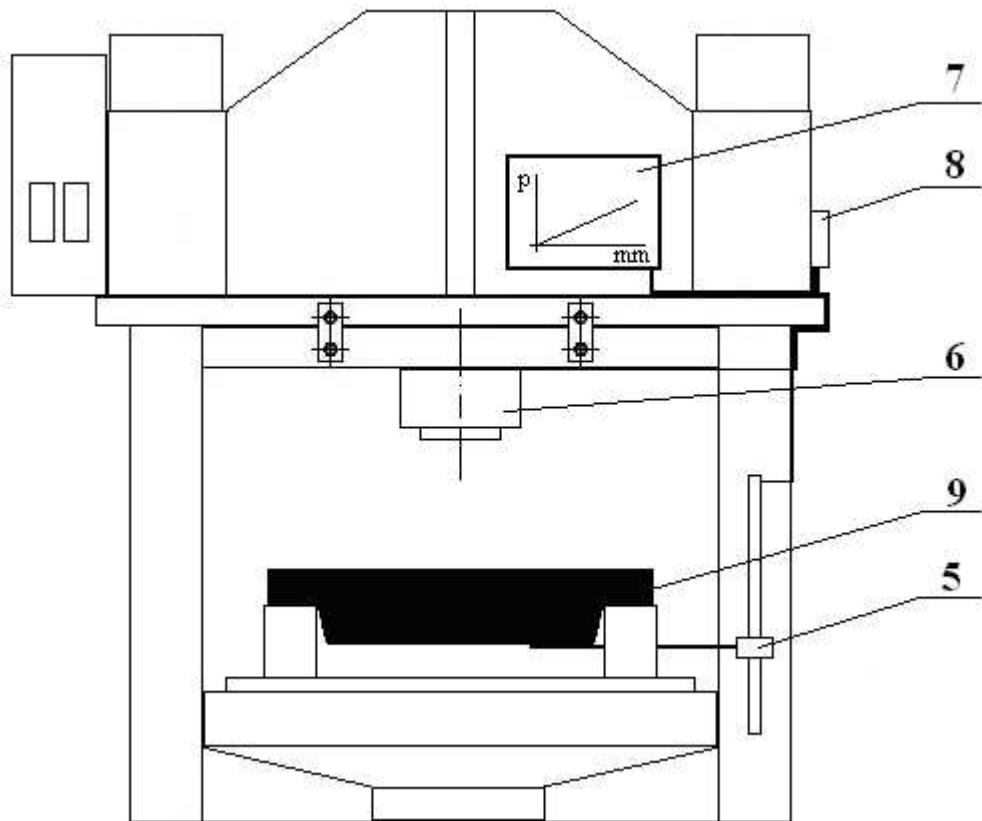
4.3 Měření a vyhodnocování tlakových sil

Měřicí a vyhodnocovací okruh slouží k měření tlakových sil. Předpokládané měřené výrobky budou kanálové pryžové mříže, které se testují na průhyb při působení tlakové síly. Ta může dosahovat síly až 50 tun.

Hlavním členem je jednotka pro zpracování dat (UQ 8 na obr. 26 a obr. 27), která je napájena 24V. Vstupní data jsou do ni přiváděna pomocí kabele RS 232 s digitálního pravítka (GJT 5 na obr. 26 a obr. 27) a tenzometrické hlavy (WJT 6 na obr. 26 a obr. 27). Zpracovaný výsledek je pak pouze vyobrazen na dotykovém panelu (zařízení I 7 na obr. 26 a obr. 27) s možností uložení na paměťovou kartu ve formátu *.txt. Kde komunikace probíhá pomocí kabelu USB.



Obr. 26 Blokové schéma



Obr. 27 Popis měřícího a vyhodnocovacího okruhu

*5 digitální pravítko, 6 tenzometrická hlava, 7 dotykový panel, 8 vyhodnocovací jednotka
a 9 zkoušený pryžový kanál*

4.3.1 Přístroj pro přenos a zpracování dat

Jedná se o zařízení (viz schéma na obr. 26 a obr. 27 na pozici 8), které plní několik funkcí mezi které patří obstarání vstupních a výstupních dat a signálů. Dále slouží také jako A/D a D/A převodník. Přes přístroj se také napájí některá zařízení v rozsahu 5V – 24V DC.

Samotné zařízení je produktem TS ELEKTRONICS Zlín a bylo vyrobeno přesně na míru projektu.



Obr. 28 Ilustrativní foto přístroje pro přenos a zpracování dat

Datový vstup:

- 3x RS 232
- 1x USB

Datový výstup

- 2x RS 232
- 2x USB

4.3.1.1 Komunikace s tenzometrickou hlavou

- Napájení tenzometrické hlavy 5V DC.
- Vstupní rozsah převodníku programovatelný ± 10 mV až ± 80 mV
- Rozlišení převodníku 24 bitů no missing codes
- Statický filtr
- Rychlost měření až 1000 vzorků / sec
- Komunikace pomocí kabelu RS 232
- Příkon max. 2,5 VA

4.3.1.2 Komunikace s digitálním pravítkem

- Vyčítání dat pravítka sériové, digitální přímo z interface pravítka
- Rychlost čtení dat 5 měření / sec
- Komunikace pomocí kabelu RS 232

4.3.1.3 Komunikace s dotykovým panelem

- Komunikace pomocí kabelu USB

4.3.2 Tenzometrická hlava

Tenzometrická hlava (viz schéma na obr. 26 a obr. 27 na pozici 6) slouží jako silový snímač, kterým se bude tlačít do zkušební vzorku, resp. zkušební vzorek bude tlačěn na tenzometrickou hlavu. Hlava je vyrobena s nerezové oceli se zabudovanými tenzometry. Což jsou přístroje používány k měření mechanického napětí způsobeného např. tahem nebo tlakem. Použitý typ tenzometrické hlavy umožňuje snímat sílu až 750 kN. Data jsou vyváděna pomocí kabelu RS 232 k dalšímu zpracování.



Obr. 29 Tenzometrická hlava

4.3.3 Digitální pravítko

Pro snímání průhybu kanálu bylo použito kapacitní elektronické vestavné posuvné měřítko s měřícím systémem (viz schéma na obr. 26 a obr. 27 na pozici 5). Pravítko má digitální ukazatel polohy s možností přenosu dat pomocí elektrického kabelu k dalšímu zpracování a zálohování. Rozsah měření je 220 mm. Digitální pravítko obsahuje vlastní 1,5V napájecí baterii.



Obr. 30 Digitální měřítko Mitutoyo 220

4.3.4 Dotykový panel

Dotykový panel (viz schéma na obr. 26 a obr. 27 na pozici 7) má 320 * 240 zobrazovacích bodů a slouží pouze k zobrazení výsledku s možností uložení dat z měření na paměťovou kartu ve formátu *.txt. Ovládání panelu je pomocí dotyku na displeji. Panel umožňuje softwarovou úpravu. Jeho komunikace a napájení probíhá pomocí USB kabelu.



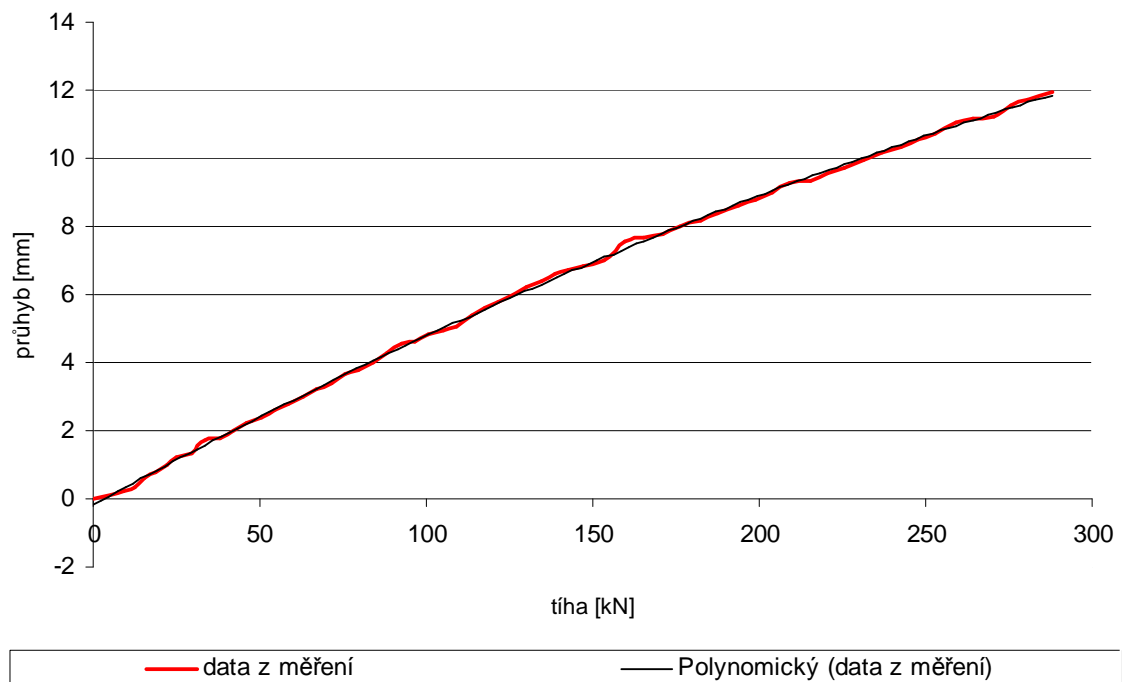
Obr. 31 Dotyková vyhodnocovací jednotka

4.3.5 Zkušební měření

Pro ověření správného sestavení zkušebního okruhu Měření a vyhodnocování tlakových sil byl testován pryžový kanál o rozměru 480x480x120mm. Ten byl umístěn do speciálního držáku a byla na něj vyvinuta síla 280kN. S výsledku měření byl sestaven graf (viz obr. 33) závislosti průhybu kanálu na působící síle.



Obr. 32 Zkoušený kanál

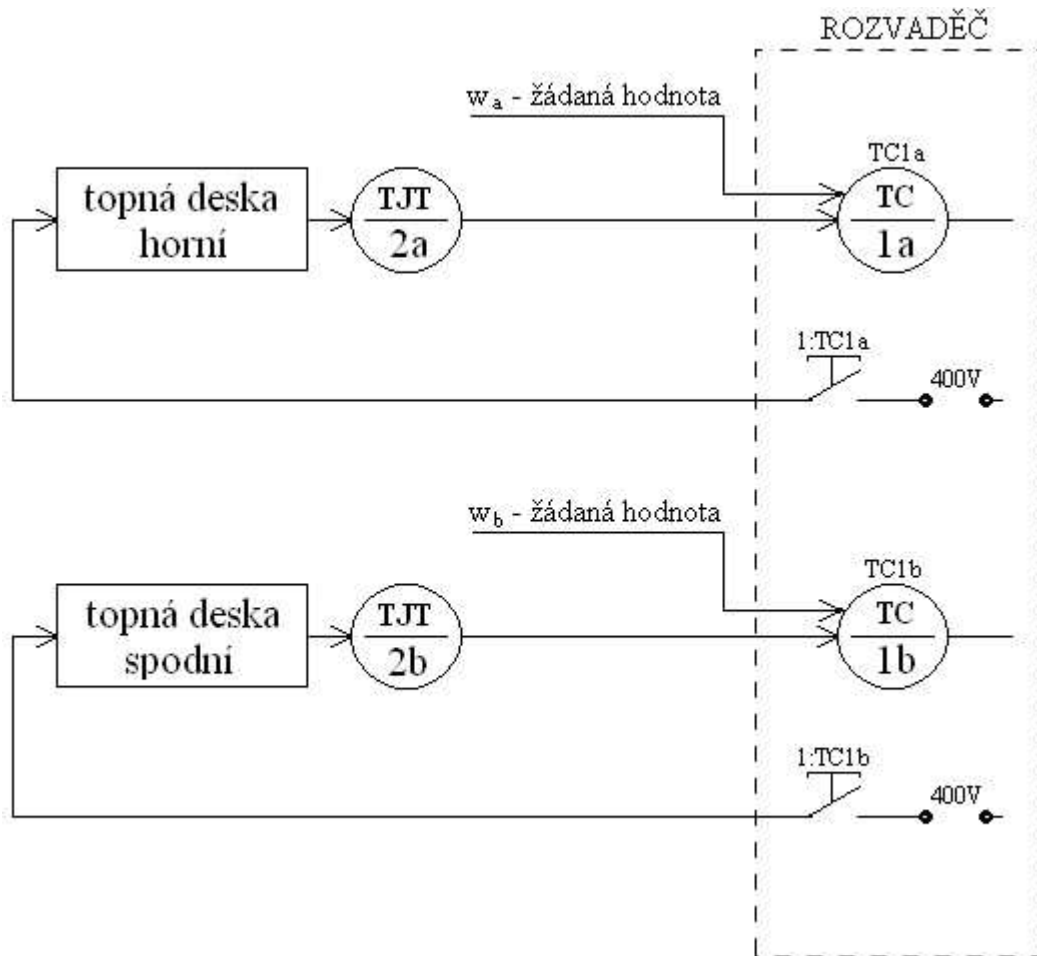


Obr. 33 Graf závislosti průhybu na působící síle

V grafu jsou drobné nepřesnosti způsobené měřením posuvným pravítkem. Při působení tlakové síly se totiž povrchová pryžová vrstva různě deformovala, což způsobovalo mírné odskoky pravítka.

4.4 Elektrické vytápění

Elektrické vytápění se stará o výhřev lisu. K tomu slouží dvě topné desky (horní a spodní). Regulaci teplot mají na starosti regulátory TC1a a TC1b. Ty porovnávají zadanou žádanou hodnotu s aktuální teplotou topné desky, která je snímána pomocí tepelného senzoru Pt100. Výstupem s regulátorů je pak řada impulsů, které spínají stykač 1:TC1a a 1:TC1b.



Obr. 34 Schéma elektrického vytápění

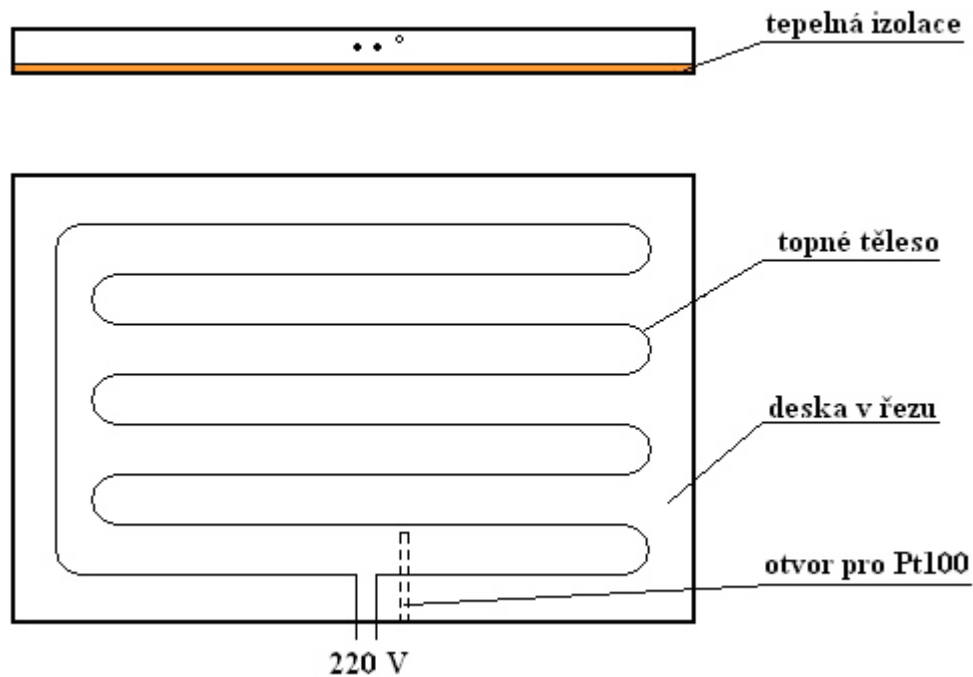
4.4.1 Topné desky

Vytápí se pomocí topných desek, ve kterých je elektrické vedení o odporu 18Ω . Výkon se určil ze vztahu (38), kde konstantní přiváděné napětí je 220V.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (38)$$

$$P = \frac{220^2}{18} = 2688 \text{ W} \quad (39)$$

Elektrický výkon pracovní desky tedy je 640W.



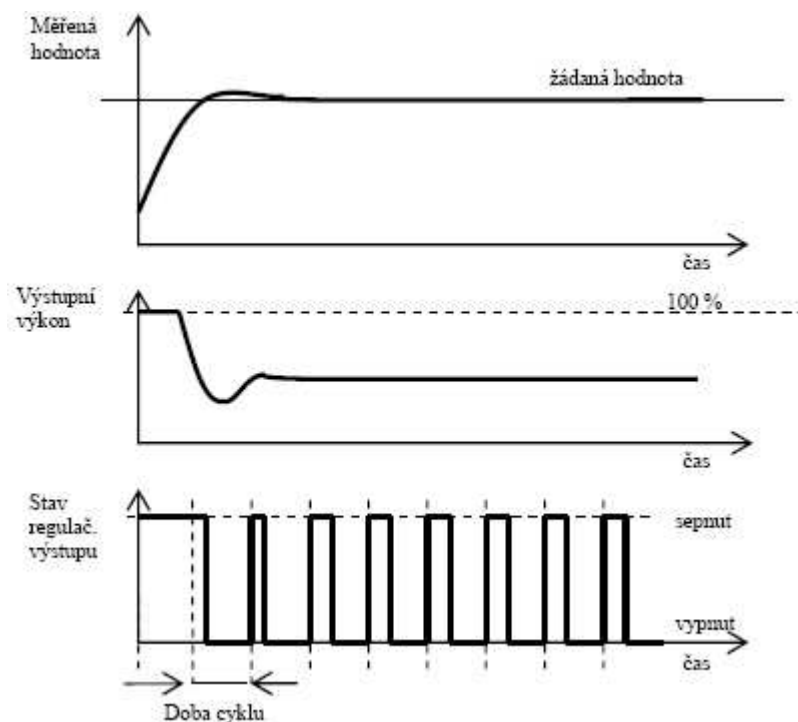
Obr. 35 Průřez topné desky

Pro snížení tepelných ztrát se deska zespodu odizolovala izolační vrstvou. Do desky byl vyvrtán otvor pro odporový senzor teploty Pt100. Výstupní hodnoty ze senzoru byly přiváděny na regulátor zabudovaný v rozvaděči. Zde je možné sledovat aktuální teplotu.

4.4.2 Regulátor teploty Ht60B

Regulátory teploty Ht60B (viz schéma na obr. 7 a obr. 34 na pozici TC1a a TC1b) jsou stejného typu jako regulátor tlaku Ht60B na obr. (11), pouze s tím rozdílem že v konfigurační úrovni je přepnut na PI regulátor a ne na dvoupolohový regulátor a na vstup jsou pak přiváděna data z teplotního senzoru Pt100. Takže v konfiguračním menu se ještě musí změnit Nastavení vstupního čidla na: RTD (tj. odporové čidlo Pt100, rozsah -200 až 800°C). Celý regulátor je pak připojen do elektrického rozvaděče viz kapitola 4.2.2.

Požadovaný výkon je přenášen pomocí tzv. šířkové modulace. V každém časovém cyklu je výstup jednou sepnut a jednou vypnut. Délka sepnutí je tím větší, čím větší je požadovaný výkon.



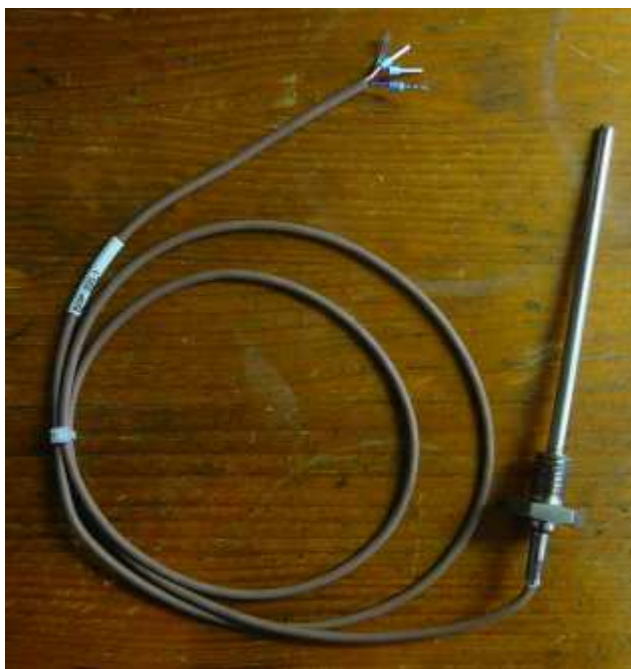
Obr. 36 Příklad šířkové modulace

Doba cyklu nepříznivě ovlivňuje kvalitu regulace. Čím je tato doba větší, tím menší je kvalita regulace. Zároveň však nemůže být doba cyklu příliš krátká. Na regulačním výstupu je využíván stykač s omezenou životností s ohledem na počet sepnutí. Proto je nutné zvolit optimální dobu jednoho cyklu.

Nastavení hodnot PI regulátoru se věnuje v kapitole 5.

4.4.3 Odporový senzor Pt100

Pro senzor (viz schéma na obr. 7 a obr. 34 na pozici TJT 2a, 2b) byla vyvrtaná díra do topné desky. Tři vodiče byly zapojeny na regulátor Ht60B dle schématu na obr. 12.



Obr. 37 Odporový senzor Pt100

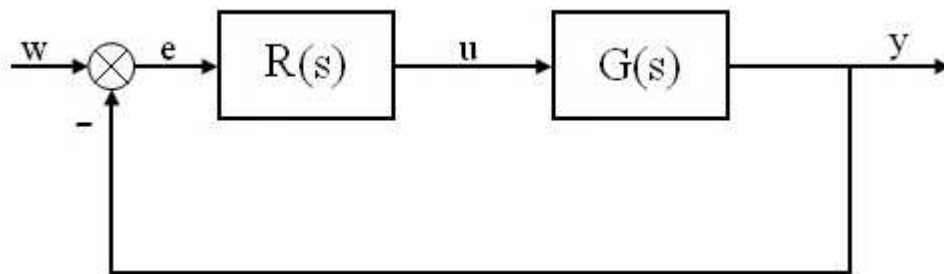
5 OKRUH REGULACE TEPLoty

K regulaci teploty vyhřívání topné desky byl použit nový zakoupený PI regulátor Ht60B obr. (11), jehož parametry bylo nutné vypočítat. Regulátor byl pouze přednastaven z výroby.

Hodnoty regulátoru byly nejprve nastaveny experimentálně. Pro takto nastavený regulátor byla naměřena přechodová charakteristika, která byla následně identifikovaná. Ze známého regulátoru a identifikovaného výstupu bylo možné provést výpočet řízené soustavy $G(s)$. Pro už vypočítanou soustavu $G(s)$ bylo poté možno použít přesnou algebraickou metodu výpočtu regulátoru a dosáhnout tím lepších výsledků.

5.1 Identifikace regulační soustavy

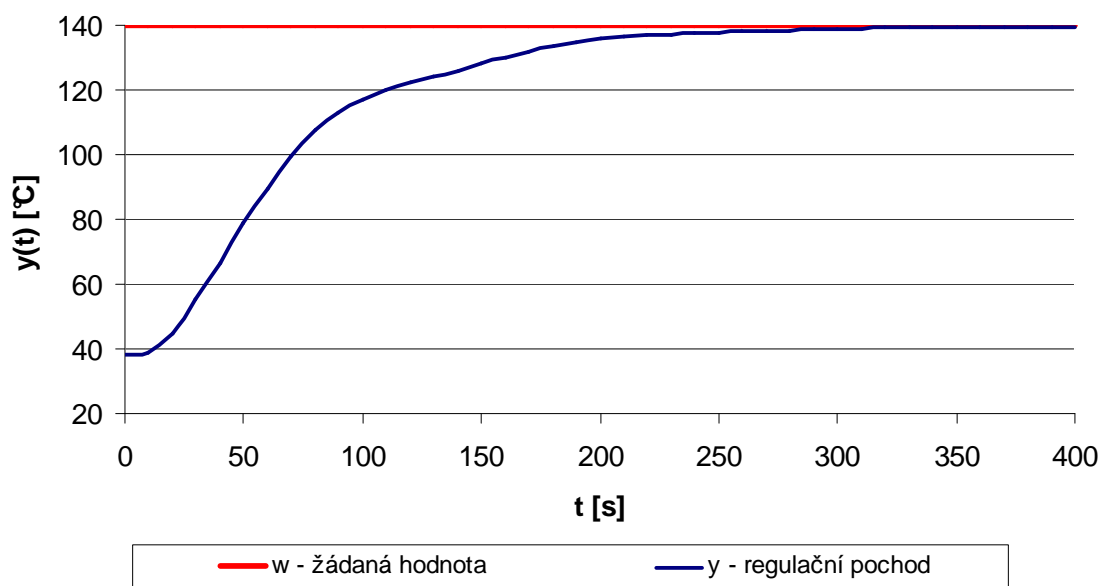
Před identifikací byl experimentálně hledán PI regulátor, tj. byly náhodně vymyšleny takové hodnoty, které by vedly ke stabilní soustavě bez překmitu a trvalé regulační odchylky. Toho bylo docíleno nastavením na hodnoty $P = 26.3$ a $T_i = 75$. Při měření však nebylo možné měřit ani jinak pozorovat akční zásah. Reálná soustava na to neměla potřebný monitoring.



Obr. 38 Schéma zapojení reálné soustavy

- w - žádaná hodnota
- y - regulační pochod (vyobrazen na obr. 39)
- $R(s)$ - PI regulátor jehož parametry byly nastaveny na hodnoty: $P = 26.3$, $T_i = 75$
- $G(s)$ - neznámá řízená soustava
- e - regulační odchylka
- u - akční zásah

Jelikož Regulační soustava neumožňovala přesný zápis dat, vyobrazení regulačního pochodu muselo být sestaveno ručně. Aktuální teplota byla snímána pomocí snímače Pt100 a vyobrazena na panelu PI regulátoru. Hodnoty byly pak po časových intervalech sepisovány do výsledného grafu na obr. (39).



Obr. 39 Naměřená přechodová charakteristika

5.1.1 Výpočet rovnice regulátoru

Rovnice se určila s nastavených parametrů P a T_i při kterých byla naměřena přechodová charakteristika.

Výpočet hodnoty r_0 :

$$P = \frac{1}{r_0} \cdot 100 \quad (40)$$

$$r_0 \cdot P = 100 \quad (41)$$

$$r_0 = \frac{100}{P} \quad (42)$$

$$r_0 = \frac{100}{26,3} = 3,8 \quad (43)$$

Výpočet rovnice regulátoru:

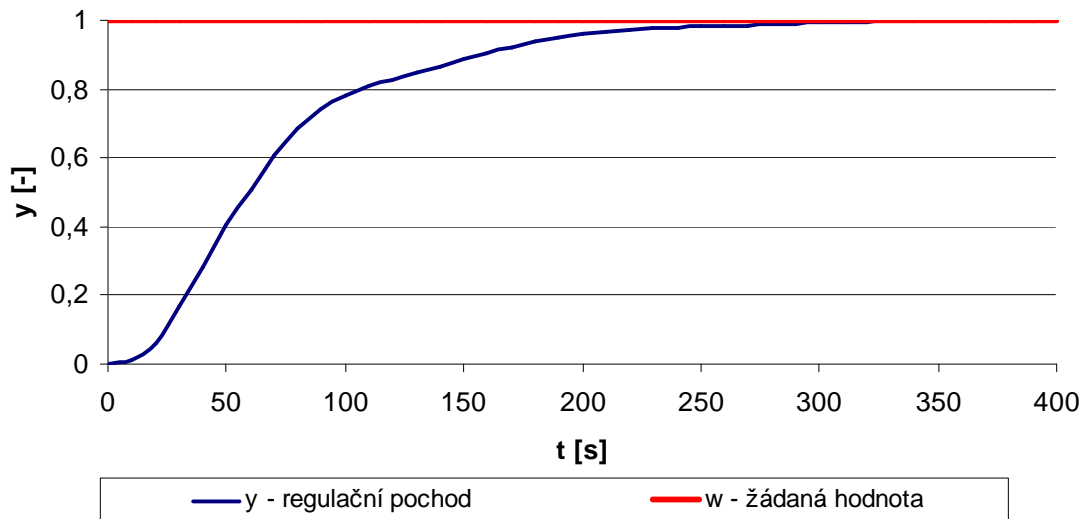
$$R(s) = r_0 + \frac{r_0}{T_i \cdot s} + r_0 \cdot T_D \cdot s \quad (44)$$

$$R(s) = 3,8 + \frac{3,8}{75 \cdot s} + 3,8 \cdot 0 \cdot s \quad (45)$$

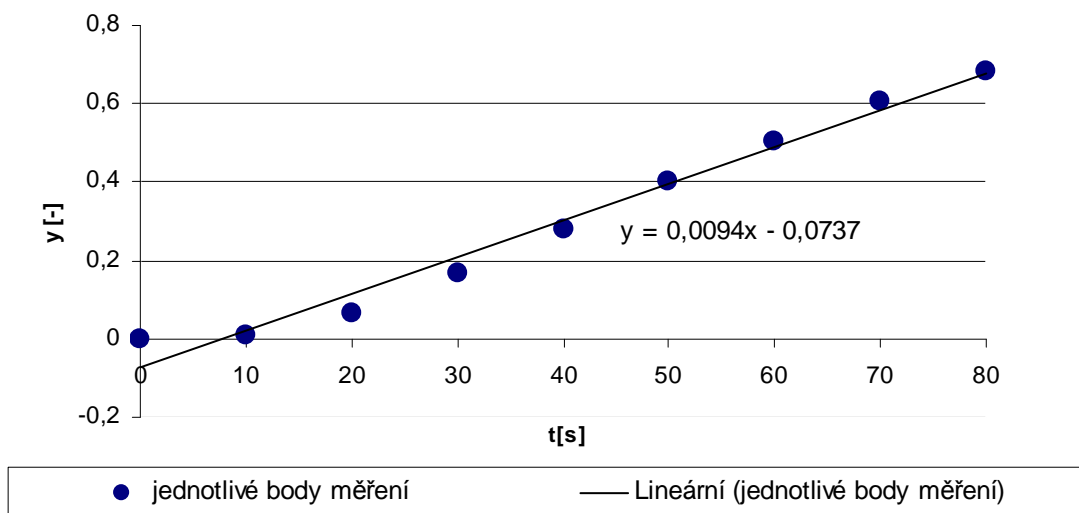
$$R(s) = \frac{285 \cdot s + 3,8}{75 \cdot s} = \frac{3,8 \cdot s + 0,051}{s} \quad (46)$$

5.1.2 Identifikace regulační odezvy

Identifikace byla provedena pomocí Strejcovy metody. Z naměřeného normovaného regulačního pochodu bylo patrné, že se jedná o systém 2. řádu. Proto byl hledán inflexní bod (pomocí vztahu 24)



Obr. 40 Normovaný regulační pochod



Obr. 41 Oblast inflexního bodu

Rovnice regrese byla získána z okolních bodů a má tvar $y = 0,0094x - 0,0737$.

5.1.2.1 Určení tvaru přenosu systému $G_s(s)$

Rovnice regrese: $y = 0,0094x - 0,0737$

Požadovaný tvar: $y = a + bt$

Po úpravě: $y = -0,0737 + 0,0094t$

Z toho plyne $a = -0,0737$, $b = 0,0094$ a $\Delta y(t) = 1$

$$T_u = -\frac{a}{b} = -\frac{-0,0737}{0,0094} = 7,84 \quad (47)$$

$$T_n = \frac{1}{b} = \frac{1}{0,0094} = 106,38 \quad (48)$$

$$\tau_u = \frac{T_u}{T_n} = \frac{7,84}{106,38} = 0,0737 \quad (49)$$

Jelikož $\tau_u < 0,104$, výsledný přenos má tvar:

$$G_s(s) = \frac{K}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1)} \quad (50)$$

5.1.2.2 Odhad parametrů T_1 a T_2

K výpočtu parametrů T_1 a T_2 byly použity rovnice (29) a (31). Nejprve však byla z přechodové charakteristiky (na obrázku obr. 40) odečtena pořadnice $y(t_1) = 0,72$ a tím určen časový úsek t_1 :

$$y(86) = 0,72 \quad (51)$$

$$t_1 = 86 \quad (52)$$

Dále bylo nutné určit τ , které se určilo z tabulky (2):

$$\tau_u = 0,0737 \quad \cong \quad 0,072 \quad \Rightarrow \quad \tau = 0,2 \quad (53)$$

5.1.2.2.1 Výpočet časové konstanty T_1 :

Dosazením rovnice (31) do (29) byl získán vztah (54). Po jeho úpravě a výpočtu byla získána konstanta T_1 :

$$T_1 = \frac{t_1}{1,2564 \cdot (1 + \tau)} \quad (54)$$

$$T_1 = \frac{86}{1,2564 \cdot (1 + 0,2)} = \frac{86}{1,51} = 56,954 \quad (55)$$

5.1.2.2.2 Výpočet časové konstanty T_2 :

Dosazením rovnice (31) do (29) byl získán vztah (56). Po jeho úpravě a výpočtu byla získána konstanta T_2 :

$$T_2 = \frac{t_1 \cdot \tau}{1,2564 \cdot (1 + \tau)} \quad (56)$$

$$T_2 = \frac{86 \cdot 0,2}{1,2564 \cdot (1 + 0,2)} = \frac{17,2}{1,51} = 11,391 \quad (57)$$

5.1.2.3 Výpočet $G_s(s)$

Do určeného přenosu (50) se dosadily konstanty T_1 a T_2

$$G_s(s) = \frac{K}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1)} = \frac{1}{(56,954 \cdot s + 1) \cdot (11,391 \cdot s + 1)} \quad (58)$$

$$G_s(s) = \frac{1}{648,763 s^2 + 68,345 s + 1} = \frac{0,00154}{s^2 + 0,1054 s + 0,00154} \quad (59)$$

5.1.3 Výpočet řízené soustavy $G(s)$

$$G_s(s) = \frac{R(s)G(s)}{1 + R(s)G(s)} \quad (60)$$

$$G_s(s) \cdot [1 + R(s)G(s)] = R(s)G(s) \quad (61)$$

$$G_s(s) + G_s(s)R(s)G(s) = R(s)G(s) \quad (62)$$

$$G_s(s) = G(s)R(s) - G(s)G_s(s)R(s) \quad (63)$$

$$G_s(s) = G(s) \cdot [R(s) - G_s(s)R(s)] \quad (64)$$

$$G(s) = \frac{G_s(s)}{R(s) - G_s(s)R(s)} \quad (65)$$

$$G(s) = \frac{\frac{0,00154}{s^2 + 0,1054 s + 0,00154}}{\frac{3,8 \cdot s + 0,051}{s} - \frac{0,00154}{s^2 + 0,1054 s + 0,00154} \cdot \frac{3,8 \cdot s + 0,051}{s}} \quad (66)$$

$$G(s) = \frac{\frac{0,00154}{s^2 + 0,1054 s + 0,00154}}{\frac{(3,8 s + 0,051) \cdot (s^2 + 0,1054 s + 0,00154) - 0,00154 \cdot (3,8 s + 0,051)}{(s^2 + 0,1054 s + 0,00154) \cdot s}} \quad (67)$$

$$G(s) = \frac{0,00154 s}{(3,8 s + 0,051) \cdot (s^2 + 0,1054 s + 0,00154) - 0,00154 \cdot (3,8 s + 0,051)} \quad (68)$$

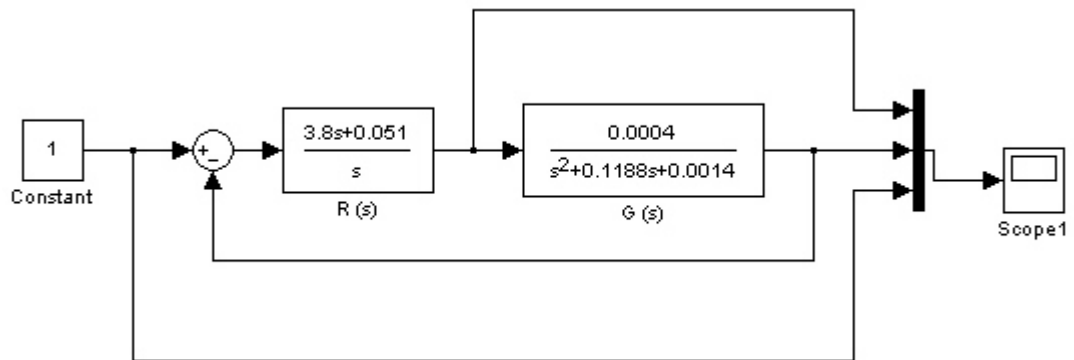
$$G(s) = \frac{0,00154 s}{3,8 s^3 + 0,4005 s^2 + 0,0058 s + 0,0051 s^2 + 0,0054 s - 0,0058 s} \quad (69)$$

$$G(s) = \frac{0,00154 s}{3,8 s^3 + 0,4515 s^2 + 0,0054 s} \quad (70)$$

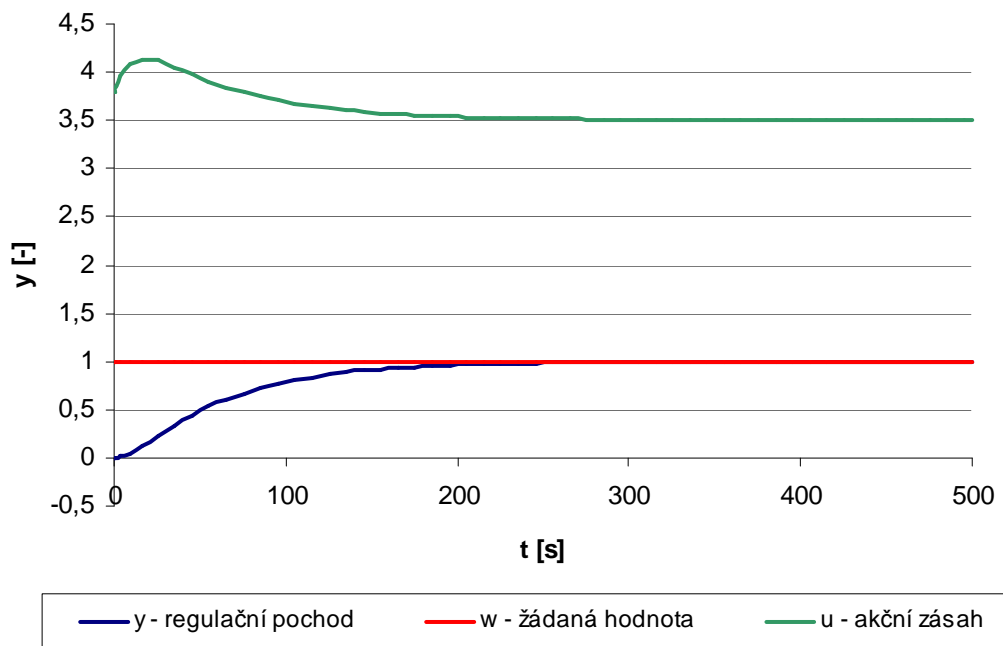
$$G(s) = \frac{0,00154}{3,8 s^2 + 0,4515 s + 0,0054} = \frac{0,0004}{s^2 + 0,1188 s + 0,0014} \quad (71)$$

5.1.4 Porovnání naměřené a identifikované soustavy

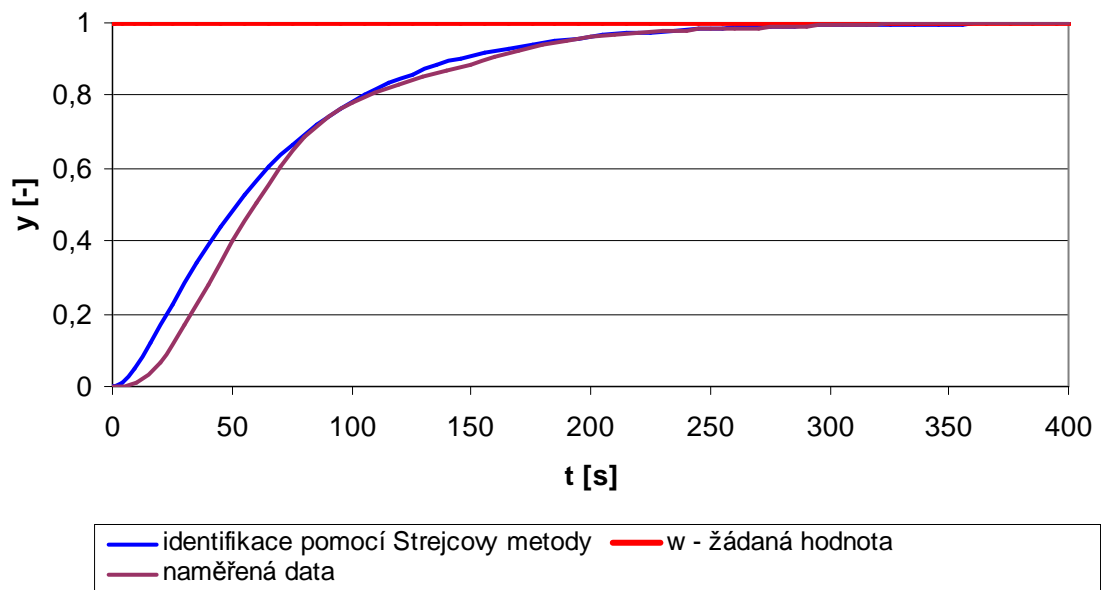
Získaný přenos (71) byl simulován v Matlab-Simulinku.



Obr. 42 Schéma zapojení



Obr. 43 Identifikovaný regulační pochod



Obr. 44 Porovnání naměřené s identifikovanou charakteristikou

Regulační pochod reálné soustavy byl z počátku lehce zpožděný oproti identifikované soustavě. To mohlo být způsobeno akčním členem, který na reálné soustavě byl fyzikálně omezený. Po uplynutí cca 100s došlo k vyrovnávání pochodů, chování reálné a identifikované soustavy se vyrovnalo. Bylo tedy patrné, že soustava je regulovaná správně. Bohužel přesné porovnání akčních členů nebylo možné, reálná soustava totiž neumožňovala monitoring této veličiny. Menší odchylka mohla být způsobena i okolními podmínkami kolem reálné soustavy, která se nacházela přímo v provozu. Další nepřesnosti a odchylky mohly být způsobeny zaokrouhlováním.

Hledání optimálních parametrů PI regulátoru byl věnován obrovský čas. A z několika nastavení PI regulátoru byl vybrán jistě ten nejvhodnější.

5.2 Návrh regulátoru

Po hrubém „odhadu“ PI regulátoru a identifikaci naměřené odezvy byl získán $G(s)$ přenos pro který byl navrhnout přesnější PI regulátor algebraickou metodou a to polynomiální syntézou pro obvod s jedním stupněm volnosti 1DOF. Tato metoda byla zvolena proto, že se pomocí parametrů m dá velmi snadno ovlivnit regulační pochod.

5.2.1 Návrh regulátoru polynomiální syntézou

Snahou bylo nalezení takového regulátoru, který by vedl ke stabilní soustavě a regulační pochod by byl bez vysokých akčních zásahů, i za cenu dosažení žádané hodnoty za delší časový úsek. Důvodem byl fakt, že reálná soustava na kterou se měl algebraicky získaný regulátor aplikovat, byla fyzikálně omezená a nebyla by tak prakticky realizovatelná. Při návrhu regulátoru nebyla uvažovaná vstupní porucha.

5.2.1.1 Určení charakteristické rovnice

Dle obrázku (38) bylo sestrojeno blokové schéma (72):

$$G_0 = \frac{R(s) \cdot G(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)} \quad (72)$$

Po dosazení rovnic (44), (71) a úpravou byla získána charakteristická rovnice:

$$G_0 = \frac{\frac{r_0 s + I}{s} \cdot \frac{0,0004}{s^2 + 0,1188 s + 0,0014}}{1 + \frac{r_0 s + I}{s} \cdot \frac{0,0004}{s^2 + 0,1188 s + 0,0014}} \quad (73)$$

$$G_0 = \frac{\frac{0,0004 \cdot (r_0 s + I)}{s(s^2 + 0,1188 s + 0,0014)}}{\frac{s(s^2 + 0,1188 s + 0,0014) + 0,0004 \cdot (r_0 s + I)}{s(s^2 + 0,1188 s + 0,0014)}} \quad (74)$$

$$G_0 = \frac{0,0004 \cdot (r_0 s + I)}{s(s^2 + 0,1188 s + 0,0014) + 0,0004 \cdot (r_0 s + I)} \quad (75)$$

$$G_0 = \frac{0,0004 r_0 s + 0,0004 I}{s^3 + 0,1188 s^2 + 0,0014 s + 0,0004 r_0 s + 0,0004 I} \quad (76)$$

Charakteristická rovnice má tvar:

$$s^3 + 0,1188s^2 + 0,0014s + 0,0004r_0s + 0,0004I \quad (77)$$

5.2.1.2 Volba polynomu d

Určí se ze vztahu (22) a (23):

$$\begin{aligned} \deg d &= 2 \cdot 2 + 0 - 1 \\ \deg d &= 3 \end{aligned} \quad (78)$$

Výsledný tvar polynomu d byl zvolen následovně:

$$(s + m)^{\deg d} = (s + m_1) \cdot (s + m_2) \cdot (s + m_3) \quad (79)$$

5.2.1.3 Výpočet

$$\begin{aligned} s^3 + 0,1188s^2 + 0,0014s + 0,0004r_0s + 0,0004I &= (s + m_1) \cdot (s + m_2) \cdot (s + m_3) \\ s^3 + 0,1188s^2 + 0,0014s + 0,0004r_0s + 0,0004I &= s^3 + s^2 \cdot m_3 + s^2 \cdot m_2 + \\ &+ s \cdot m_2 \cdot m_3 + s^2 \cdot m_1 + s \cdot m_1 \cdot m_3 + s \cdot m_1 \cdot m_2 + m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \end{aligned} \quad (80)$$

$$s^3 : \quad 1 = 1 \quad (81)$$

$$s^2 : \quad 0,1188 = m_1 + m_2 + m_3 \quad (82)$$

$$\begin{aligned} s^1 : \quad 0,0014 + 0,0004 \cdot P &= m_2 \cdot m_3 + m_1 \cdot m_3 + m_1 \cdot m_2 \\ 0,0004 \cdot P &= m_2 \cdot m_3 + m_1 \cdot m_3 + m_1 \cdot m_2 - 0,0014 \\ r_0 &= \frac{m_2 \cdot m_3 + m_1 \cdot m_3 + m_1 \cdot m_2 - 0,0014}{0,0004} \end{aligned} \quad (83)$$

$$\begin{aligned} s^0 : \quad 0,0004I &= m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \\ I &= \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot m_3}{0,0004} \end{aligned} \quad (84)$$

5.2.1.4 Výpočet parametrů regulace:

Parametry m_2 a m_3 byly zvoleny následovně:

$$m_2 = 0.0133$$

$$m_3 = 0.0132$$

Pro urychlení výpočtů vhodných parametrů m_1 , m_2 , m_3 , r_0 a I jsem použil m-file:

$$m2 = 0.0133 \quad \% \text{ libovolně zvolený parametr } m2$$

$$m3 = 0.0132 \quad \% \text{ libovolně zvolený parametr } m3$$

$$m1 = 0.1188 - m2 - m3 \quad \% \text{ dopočítaný parametr } m1$$

$$r0 = ((m2*m3) + (m1*m3) + (m2*m1) - 0.0014) / 0.0004$$

$$I = (m1*m2*m3)/0.0004$$

Pomocí m-file byly vypočteny parametry PI regulátoru:

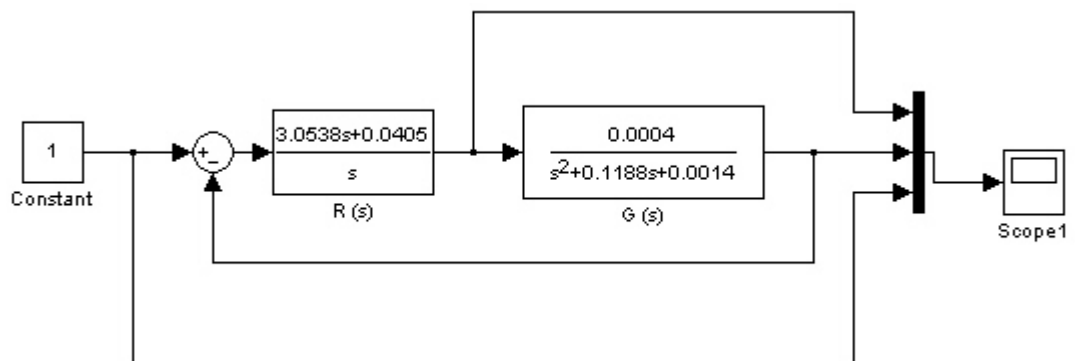
$$r_0 = 3,0538 \quad (85)$$

$$I = 0,0405 \quad (86)$$

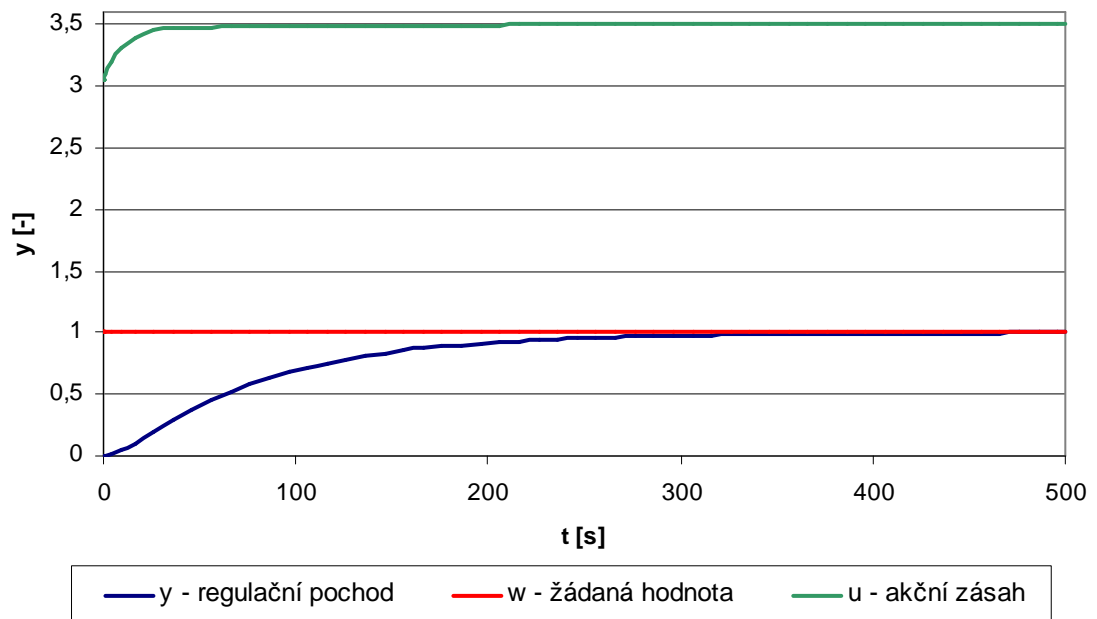
Po dosazení do rovnice (1) a úpravě byla získaná rovnice regulátoru:

$$R(s) = \frac{r_0 s + I}{s} = \frac{3,0538s + 0,0405}{s} \quad (87)$$

5.2.2 Simulace v Matlabu:



Obr. 45 Schéma zapojení II



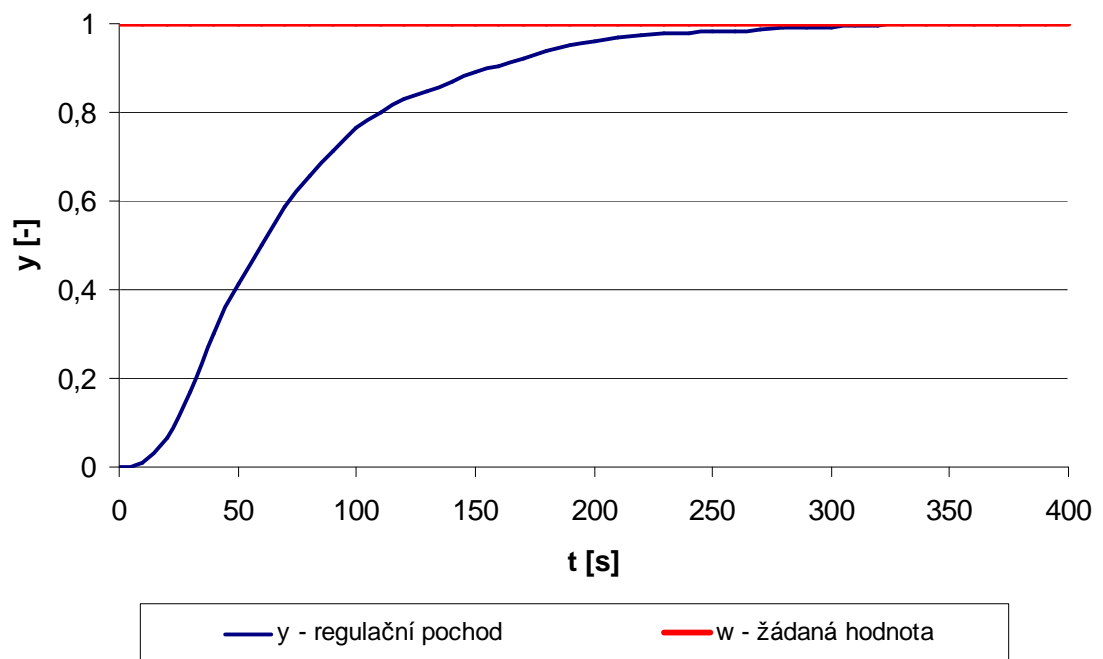
Obr. 46 Regulační pochod navrhnutého regulátoru v Matlab-Simulinku

5.2.3 Simulace na reálné soustavě

Pro měření na reálné soustavě bylo třeba přepočítat parametry regulátoru na hodnoty pro přímé zadání:

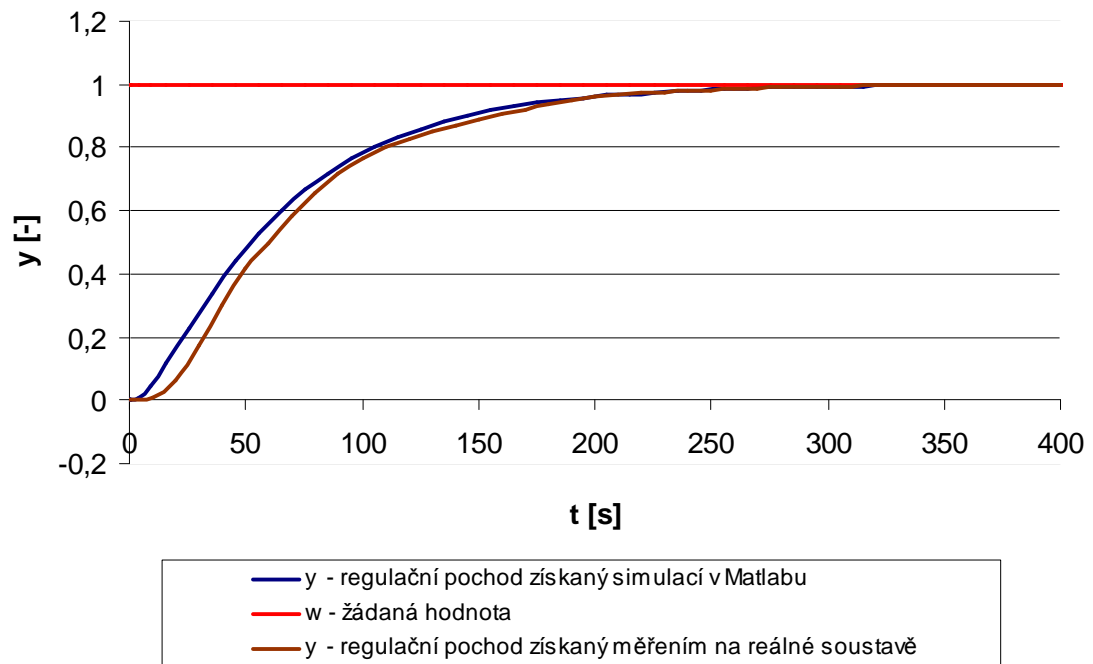
$$P = \frac{1}{r_0} \cdot 100 = \frac{100}{3,0538} = 32,7 \quad (86)$$

$$T_i = \frac{r_0}{I} = \frac{3,0538}{0,0405} = 75,4 \quad (87)$$



Obr. 47 Naměřený, normovaný regulační pochod pro navrhnutý PI regulátor

5.2.4 Porovnání získaných regulačních pochodů



Obr. 48 Porovnání regulačních pochodů

Regulační pochody se po algebraickém návrhu regulátoru mírně změnily. Je patrné, že se zmenšil akční zásah, což bylo prvořadné. Žádaná hodnota byla dosažena za přibližně stejný čas jako u regulátoru s původním odhadem parametrů. A regulační pochod měl prakticky stejný průběh. To bylo dosaženo díky tomu, že prvotní výběr před identifikací byl proveden velmi pečlivě a byl nalezen velmi vhodný regulátor.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout, zrealizovat a ověřit správný chod jednotlivých podsystémů zkušební lisu, který bude sloužit k provádění tlakových zkoušek pryžových kanálů s možností přestavění na pracovní vulkanizační lis pro lisování menších a jednodušších výrobků.

Při návrhu měřicího a vyhodnocovacího systému bylo spolupracováno s firmou TS ELECTRONICS ZLÍN, která dodala na míru vyrobenou tenzometrickou hlavu a vyhodnocovací zařízení dle požadavků. Prvky pro tento systém byly umístěny na pracovní desky a na neobsazené části stroje. Výsledkem ověření jejich chodu byla tlaková zkouška pryžového kanálu vystaveného zátěži 25t. Výsledek samotného měření byl vyobrazen na dotykovém panelu a uložen ve formátu *.txt na paměťovou kartu, odtud byl dále převeden do PC a zpracován do grafu závislosti průhybu kanálového rámu na působícím tlaku. Z něj lze pak vyčíst o kolik se pryžový kanál prohne, při určitém tlaku.

Hydraulický systém byl sestaven s prvků firmy Hansa-flex. Prvky pro řízení regulace byly použity z dostupných zásob. Hnací silou bylo zvoleno dvoučinné čerpadlo, které přes třicístý ventil tlakuje olej pod píst a tím zvedá pracovní desku stolu. Řízení hydraulického okruhu bylo složeno se snímače tlaku a dvoupolohového regulátoru, který rozpínal chod motoru čerpadla. Správnost nastavení byla ověřena ve zkušebním provozu, jehož výsledek měření je vyobrazen v grafu.

Elektrické vytápění bylo převzato od vulkanizačních lisů. Hlavním problémem zde bylo nastavení správných hodnot PI regulátoru, kde napřed bylo nutné provést identifikaci systému. Pro zidentifikovaný systém pak byl navržen PI regulátor Polynomiální syntézou. Takto navržené parametry regulátoru byly ověřeny simulací v Matlab-Simulinku a porovnány s naměřenými daty na reálném lisu. Výsledek byl znázorněn v grafu.

Zkušební lis byl navrhnout s ohledem na udržitelnost systému, neboť technické podmínky se neustále mění a výrobky bude nutné testovat na nová a nová kritéria.

CONCLUSION

The main aim of this work was to propose, implement and verify proper functioning of the individual subsystems of the testing machine, which will serve to carry out pressure testing of rubber channels with the possibility of rebuilding on curing press for press compaction smaller and simpler products.

During designing of the measuring and evaluating system has been collaborating with TS ELECTRONICS company in Zlín, which delivered tensometric apparatus and evaluation device due to requirements. Elements for this system were placed on the worktop and on the unallocated parts of this machine. The result of the verification of their work was pressure testing of rubber canal gully which is exposed to tonnage 25 tons.

Measurement results was shown on the touch panel and saved in *.txt format on memory card, next transferred to a PC and processed to the graph dependencies flexure channel frame on the applied pressure. From this graph we can read how the rubber channel can be bend according a certain pressure.

The hydraulic circuit was built with components of Hansa-Flex company. Elements for management regulation were used from the available reserves. Driving force was double acting pump, which across three-way valve peace pushing oil under the piston and rises up the work table. Management of the hydraulic circuit was composed from the sensor of pressure and two-station regulator which expanding operation of the pump motor. Rightness of setting was verified in trial operation. The measurement result is shown in the graph.

Electric heating has been taken from the curing presses. The main problem here was the setting correct values of the PI controller, where in the first time identification of the system was necessary. After identification of the system, the PI controller was designed by Polynomial synthesis. These suggested parameters of controller were verified by simulation in Matlab-Simulink and compared with measured data on the real press. The result was shown in the graph.

The test machine was designed with a view to the tenability of the system, because the technical conditions are constantly changing and products will be tested with permanently new criteria.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Hruška, F.: Projektování systémů integrované automatizace. Učební texty, 2.vyd.Zlín:UTB ve Zlíně, 2002, s.133, ISBN 80-7318-100-2
- [2] Hruška, F.: Technické prostředky informatiky a automatizace. Učební texty, 1.vyd.Zlín:UTB ve Zlíně, duben 2007, s.193, ISBN 978-80-7318-535-0
- [3] Hruška, F.: Senzory pro systémy informatiky a automatizace. Učební texty, 1.vyd.Zlín:UTB ve Zlíně, prosinec 2007, s.177, ISBN 978-80-7318-630-2
- [4] Prokop, R., Matušů, R., Prokopová, Z.: Teorie automatického řízení – lineární spojité dynamické systémy. Skriptum FAI UTB ve Zlíně, 2006.
- [5] Balátě, J.: Automatické řízení. BEN, Praha 2004, s.664,ISBN 978-80-7300-148-0.
- [6] Altmann W. Practical Process Control for Engineers and Technicians. ELSEVIER, 2006, ISBN 978-0-7506-6400-4
- [7] Prokeš, J.: Hydraulické mechanismy v automatizaci. Praha 1973.
- [8] VYORALOVÁ J.: Podpora cvičení z předmětu Teorie automatického řízení I. Zlín, 2007. Bakalářská práce na Fakultě aplikované informatiky. Vedoucí bakalářské práce Pavel Navrátil.
- [9] Navrátil, P., Gerlich, V.: Podpora seminářů předmětu "Teorie automatického řízení II". UTB Zlín 2006.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

--(<i>s</i>)	Komplexní proměnná
--(<i>t</i>)	Časově proměnná
<i>2DOF</i>	Obvod se dvěma stupni volnosti
<i>PID</i>	Proporcionálně-integračně-derivační regulátor
τ	Časová konstanta
T_D	Derivační konstanta
T_I	Integrační konstanta
<i>u</i>	Akční veličina
<i>y</i>	Regulovaná veličina
<i>w</i>	Žádaná veličina
<i>v</i>	Poruchová veličina
<i>e</i>	Regulační odchylka
$G(s)$	Regulovaný systém
$G_v(s)$	Porucha přiváděná na soustavu
$R(s)$	Zpětnovazební část regulátoru
$Q(s)$	Přímovazební část regulátoru
$b(s), a(s)$	Polynom jmenovatele a čitatele přenosu soustavy
$c(s), a(s)$	Polynom jmenovatele a čitatele přenosu poruchy
$q(s), p(s)$	Polynom jmenovatele a čitatele zpětnovazebního regulátoru
$r(s), p(s)$	Polynom jmenovatele a čitatele přímovazebního regulátoru
$f_w(s), h_w(s)$	Polynom jmenovatele a čitatele přenosu referenčního signálu
$f_v(s), h_v(s)$	Polynom jmenovatele a čitatele přenosu poruchy
<i>deg</i>	Stupeň polynomu

$d(s)$	Stabilní polynom pravých stran polynomiálních diofantických rovnic
m	Kořen charakteristického polynomu $d(s)$
<i>SIA</i>	System integrované automatizace
<i>CIM/CAM</i>	Struktura integrované automatizace

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Základní zpětnovazební zapojení.	13
Obr. 2 Schéma 1DOF konfigurace regulačního obvodu.....	18
Obr. 3 Normovaná přechodová charakteristika statické soustavy vyššího řádu	21
Obr. 4 Průřez zkušebního lisu.....	29
Obr. 5 Blokové schéma Zkušebního lisu	30
Obr. 6 Boční pohled na rozvaděč.....	31
Obr. 7 Schéma elektrického rozvaděče.....	32
Obr. 8 Schéma hydraulického systému	33
Obr. 9 Senzor tlaku DMP 333	34
Obr. 10 Schéma zapojení výstupu snímače tlaku	34
Obr. 11 PID regulátor Ht6OB	35
Obr. 12 Schéma pro zapojení.....	36
Obr. 13 Schéma hydraulického obvodu	37
Obr. 14 Dvoučinné čerpadlo	38
Obr. 15 Průřez zpětného ventilu	39
Obr. 16 Zpětný ventil	39
Obr. 17 Schéma třícestného ventilu	40
Obr. 18 Třícestný ventil	40
Obr. 19 Průřez nízkotlaké hadice.....	41
Obr. 20 Průřez vysokotlaké hadice	41
Obr. 21 Připravený prostor pro píst	42
Obr. 22 Adaptér tvaru T.....	43
Obr. 23 Přesuvná matice	43
Obr. 24 Redukce pro závit	43
Obr. 25 Růst tlaku	44
Obr. 26 Blokové schéma.....	45
Obr. 27 Popis měřicího a vyhodnocovacího okruhu.....	46
Obr. 28 Ilustrativní foto přístroje pro přenos a zpracování dat.....	47
Obr. 29 Tenzometrická hlava.....	49
Obr. 30 Digitální měřítko Mitutoyo 220.....	50
Obr. 31 Dotyková vyhodnocovací jednotka.....	51

Obr. 32 Zkoušený kanál	52
Obr. 33 Graf závislosti průhybu na působící síle.....	53
Obr. 34 Schéma elektrického vytápění	54
Obr. 35 Průřez topné desky.....	55
Obr. 36 Příklad šířkové modulace	56
Obr. 37 Odporový senzor Pt100	57
Obr. 38 Schéma zapojení reálné soustavy	58
Obr. 39 Naměřená přechodová charakteristika.....	59
Obr. 40 Normovaný regulační pochod.....	61
Obr. 41 Oblast inflexního bodu	61
Obr. 42 Schéma zapojení	65
Obr. 43 Identifikovaný regulační pochod	65
Obr. 44 Porovnání naměřené s identifikovanou charakteristikou.....	66
Obr. 45 Schéma zapojení II.....	70
Obr. 46 Regulační pochod navrhnutého regulátoru v Matlab-Simulinku.....	70
Obr. 47 Naměřený, normovaný regulační pochod pro navrhnutý PI regulátor.....	71
Obr. 48 Porovnání regulačních pochodů	72

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 hodnoty pro vyhodnocování statických soustav n-tého řádu	24
Tabulka 2 tabulka pro určení časových konstant	24

SEZNAM PŘÍLOH

PI Fotka zkušebního lisu

PII CD-ROM

PŘÍLOHA P I: ZKUŠEBNÍ LIS



PŘÍLOHA P II: CD-ROM

CD-ROM obsahuje: Diplomovou práci v PDF