

Inovace testování lineárních hydromotorů

Richard Partyka

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Institut řízení procesů a aplikované informatiky
akademický rok: 2004/2005

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Richard PARTYKA**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Inovace testování lineárních hydromotorů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Zpracujte literární rešerši na problematiku týkající se testování lineárních hydromotorů.**
- 2. Popište stávající postup používaný při testování lineárních hydromotorů firmy HydraulICS Sehradice s.r.o.**
- 3. Navrhněte inovaci dosavadního způsobu testování lineárních hydromotorů dané firmy. Ověřte možnosti využití programovatelných automatů (PLC) v inovovaném způsobu testování lineárních hydromotorů.**
- 4. Zhodnoťte stávající a nově navrhovaný způsob výstupní kontroly lineárních hydromotorů.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Šmejkal, L., Martinásková, M.: PLC a automatizace (1.díl). BEN-technická literatura, Praha, 1999.

[2] TECO a.s.: WWW stránky firmy TECO a.s., 2005

Dostupné na URL: <http://www.tecomat.cz>

[3] Prokeš, J.: Hydraulické mechanismy, Práce, Praha, 1963.

[4] Kříž, R., Vávra, P.: Strojírenská příručka díl 2. a 3. Scientia spol. s r.o. Praha, 1993.

[5] Dostál, J. Janáček, Z.: Fyzika. VUT Brno, 1997.

[6] Hruška, F.: Technické prostředky automatizace IV., FT-UTB, 2003.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Navrátil

Institut řízení procesů a aplikované informatiky

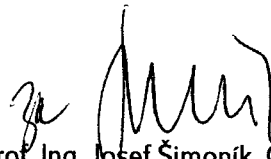
Datum zadání bakalářské práce:

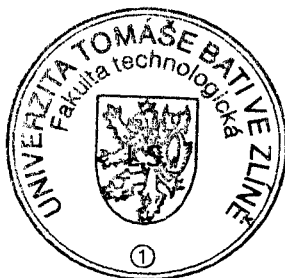
21. února 2005

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. června 2005

Ve Zlíně dne 15. února 2005


prof. Ing. Josef Šimoník, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel institutu

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 25. 05. 2005

.....

podpis

RESUMÉ

Téma ke své bakalářské práci jsem získal na svém současném pracovišti. Firma HydraulICS Sehradice s.r.o. je výrobcem lineárních hydromotorů. Jedná se o tlakovou nádobu, u které je nutno provést zkoušky na vnější těsnost (ČSN 11 9372:1987), funkci a rozběhový tlak (ČSN 11 9373:1987, ČSN 11 9008:1991). V současnosti se veškeré zkoušky provádějí na hydraulickém stavu manuálně, speciálně vyškoleným pracovníkem. Cílem práce je dosažení plné automatizace zkušebního cyklu. Což má v budoucnu omezit chyby způsobené tzv. „lidským faktorem“, možnost využití běžně vyškolených pracovníků. K řízení zkušebního cyklu bylo použito PLC firmy TECOMAT Kolín.

SUMMARY

The theme of this bachelor thesis I take on my contemporary workplace. Hydraulics Sehradice s.r.o. is a known company, who makes linear hydraulic motors. Linear motos is a compressive container. There is necessary to perform test of external tightness (ČSN 11 9372:1987) and function and start-up pressure (ČSN 11 9373:1987, ČSN 11 9008:1991). Contemporary there are all tests doing on the hydarulic stand manually, by worker, who have to be especially train up. Assignment of this work is a full automation this testing method. This way of testing allow reduce of mistakes, which are caused by "a human circumstance". Further advantage is using of current workers. Hydraulic stand is controled by PLC TECO from company TECOMAT Kolín.

OBSAH

1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY TESTOVÁNÍ LINEÁRNÍCH HYDROMOTORŮ	8
1.1	Technický popis- funkce výrobku	8
1.2	Technické- provozní podmínky výrobku.....	9
1.3	PČH-tlaková nádoba	9
1.4	Termíny a definice	10
1.5	Zkoušky přímočarých hydromotorů.....	11
2	SOUČASNÉ ŘEŠENÍ TESTOVÁNÍ HYDROMOTORŮ	15
2.1	Organizace práce provádění zkoušky	15
2.2	Tlakovací zařízení- schéma	15
2.3	Metodické pokyny pro provádění zkoušky	16
3	INOVOVANÉ ŘEŠENÍ TESTOVÁNÍ HYDROMOTORŮ	19
3.1	Kontrolní okruh	20
3.2	Silový obvod	29
3.3	Výkonný obvod	34
3.4	Zkušební cykly	40
3.5	Nastavení potřebných parametrů	44
4	POROVNÁNÍ STÁVAJÍCÍHO A ZAMÝŠLENÉHO ZPŮSOBU VÝSTUPNÍ KONTROLY	
4.1	Stávající způsob-kvalitativní posouzení.....	48
4.2	Navrhovaný způsob řízení procesu PLC automatem.	49
4.3	Ekonomický rozbor navrhovaného zařízení	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	57
	SEZNAM TABULEK	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59
A	ELEKTRO-HYDRAULICKÁ ANALOGIE	60
A.1	Obdoba s Ohmovým zákonem.....	61
A.2	Obdoba s indukovaným napětím	62
A.3	Obdoba s kapacitou kondenzátoru	63
A.4	Technologické schéma- popis děje.....	64
B	VÝPOČET PŘEDPĚTÍ PLYNOVÉHO AKUMULÁTORU	68
C	ŘEZ HYDROMOTOREM.....	69
D	SCHÉMA HYDRAULICKÉHO AGREGÁTU.....	70
E	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE HYDRAULICKÉHO AGREGÁTU	71

ÚVOD

Téma této bakalářské práce pojednává o problematice testování lineárních hydromotorů. V běžné terminologii naší firmy používáme pro lineární hydromotor zkratku „PČH“. Jedná se o strojní zařízení přeměňující tlakovou energii hydraulické kapaliny, v drtivé většině případů, minerálního oleje, v přímočarý pohyb. Zpracované téma vychází z mých vlastních zkušeností nabytých ve firmě Hydraulics s.r.o. Sehradice. Tato firma je jedním z předních českých firem zabývajících se výrobou PČH. Zmíněné zařízení je tlakovou nádobou, proto podléhá zvýšeným požadavkům na provozní bezpečnost a spolehlivost. Taktéž je třeba mít na zřeteli konstrukční pevnost testovaného zařízení, k čemuž slouží provozní zkouška PČH na funkci a rozběhový tlak (ČSN 11 9373:1987, ČSN 11 9008:1991). Dále je nutno mít na paměti skutečnost, že provozním médiem je minerální olej, látka jež se v přírodě běžně neodbourává, je tedy nutno provést zkoušky na vnější těsnost (ČSN 11 9372:1987). Donedávna se veškeré zkoušky prováděly na hydraulickém stavu manuálně, speciálně vyškoleným pracovníkem. Zmíněný způsob testování přestal být, v současné době zostřené konkurence na trhu EU vyhovujícím. Jednak je kvalita provedeného procesu silně ovlivněna tzv. "lidským faktorem". Dalším aspektem pro změnu stávající situace je dosažení vyšší produktivity práce a vyššího stupně kontroly. Cílem práce bylo vypracování projektu, jehož technické řešení by směřovalo k dosažení plné automatizace zkušebního cyklu, což má v budoucnu omezit chyby způsobené tzv. „lidským faktorem“, možnost využití běžně vyškolených pracovníků. Po zadání jednoduché informace (číslo z průvodního listu k výrobku) se na zařízení nastaví hodnoty zkušebního tlaku a tvar zkušebního cyklu. Dále pak lze provádět zkoušku za optimálních, předepsaných podmínek. V soustavě bude využita regulace teploty hydraulického oleje, hlídání úrovně hladiny prostřednictvím kapacitních čidel pro případ havarijního stavu, kontrola stavu znečištění olejových filtrů, snímání hodnot tlaku. Zařízení bude dále osazeno pamětí pro záznam naměřených hodnot pro analýzu přechodových dějů hydraulického tlumení. Jelikož bude zkušební cyklus plně automatizován, lze na zmíněném zařízení provádět cyklické zkoušky za účelem zjištění únavy materiálu a opotřebení těsnících materiálů. Výstup ze zařízení bude realizován prostřednictvím RS 232, k jejich dalšímu zpracování. V závěru práce bude uvedeno stručné ekonomické zhodnocení uvedeného projektu. V době odevzdání této práce již dojde k realizaci výše uvedeného zařízení, včetně jeho provozních zkoušek a odladění systému.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY TESTOVÁNÍ LINEÁRNÍCH HYDROMOTORŮ

1.1 Technický popis- funkce výrobku

Lineární hydromotor, v dalším textu budu pro zjednodušení požívat, pro naši firmu zavedenou zkratku, "PČH". Přímočarý hydromotor PČH strojní zařízení které přeměňuje tlakovou energii na energii mechanickou – axiální sílu pístní tyče v obou směrech. Pro dokonalou a bezpečnou funkci je nutno řídit se provozními a technickými podmínkami. PČH je sestaven z ocelové trubky s přesně opracovaným vnitřním průměrem v toleranci H8. Na ní jsou přivařena přípojovací hrdla pro vstup tlakového oleje s vnitřním závitem a zátky společně s pevným okem válce. Oko válce i oko pístní tyče je standardně osazeno kloubovým ložiskem. Víko pro vedení pístní tyče spolu s těsnícími prvky je našroubováno do trubky pláště válce. Na broušené, leštěné a chromované pístní tyči rozměrové tolerance f7 je z jedné strany navařeno závěsné oko, druhý konec tyče je osazen pístem. [1] Bližší popis PČH naleznete příloze P 3 :



obrázek 1 řez lineárním hydromotorem

1.2 Technické- provozní podmínky výrobku

Pracovní kapalina – hydraulický minerální olej (OH-HM 32, OH-HM 46, OH-HM 64)

Požadovaná filtrace – min. 40 μm , doporučujeme 25 μm

Teplotní rozsah – kapaliny $-20^{\circ}\text{C} \div +80^{\circ}\text{C}$

– okolí $-20^{\circ}\text{C} \div +70^{\circ}\text{C}$

Klimatická odolnost – mírné klima N12

Jmenovitý tlak – 16 MPa

Maximální tlak – 20 MPa

Zkušební tlak – 25 MPa

Pracovní rychlost – maximální 0,5 m/s

Technické-provozní podmínky se u jednotlivých typů výrobků liší, většinou hodnotou jmenovitého tlaku, od něhož se odvíjí tlak maximální a zkušební.

1.3 PČH-tlaková nádoba

Na přímočaré hydromotory se vztahuje záruka podle zákona č.513/1991Sb – obchodního zákoníku. Záruční doba činí 12 měsíců od data prodeje. Je však třeba mít na zřeteli i životnost PČH. Ta je stanovena dle ČSN 11 9372 na minimální hranici 10^6 cyklů (dvojzdvihů) pro zdvih hydromotoru do 500 mm, nebo 1000 km ujeté dráhy při jmenovitých parametrech.¹ [6] PČH je tlakovou nádobou, oprávnění vyrábět taková zařízení pro komerční účely, je dovoleno jen certifikovaným výrobcům. Provozní zkoušky jsou prováděny ve státem akreditovaných pracovištích, v našem případě se jednalo o státní zkušebnu v Brně.

¹ Výtah z ČSN 11 9372

1.4 Termíny a definice²

Tlaková nádoba

Tlaková nádoba je prostor na jehož stěny působí tlak pracovní látky; nádoba nemění své stanoviště nebo je přenosná, převozná, popřípadě pojízdná a je trvale nebo přechodně spojena se zdrojem tlaku a neslouží k dopravě kapalin a plynů; vzniká spojením tlakových částí nádoby. [7]

Pracovní látka

Kapalina, pára nebo plyn, obsažené v tlakovém prostoru nádoby. V našem případě se omezíme na minerální olej.

Pracovní přetlak

Pracovní přetlak je vnitřní nebo vnější přetlak, který vzniká při normálním průběhu pracovního procesu. V našem případě se jedná o jmenovitý tlak.

Nejvyšší pracovní přetlak p_n

Nejvyšší pracovní přetlak je nejvyšší hodnota vnějšího nebo vnitřního přetlaku, kterou smí přetlak v tlakové nádobě dosáhnout za provozu a na níž smí být také nejvýše nastaveno pojistné zařízení. V našem případě se jedná o maximální tlak.

Zkušební přetlak

Zkušební přetlak je přetlak zkušební látky, jímž se zkouší nádoby nebo jejich části při tlakové zkoušce. V našem případě se jedná o zkušební tlak. Velikost statického zkušební tlaku je stanovena minimálně na hodnotu 1,25 násobku tlaku jmenovitého.

Teplota okolí

Teplota vnější stěny nádoby, při které se nádoba při normálním průběhu provozuje.

Teplota pracovní kapaliny

Hodnota, které smí teplota pracovní látky dosáhnout v nádobě za provozu.

² Výtah z ČSN 69 0010-1.1

1.5 Zkoušky přímočarých hydromotorů

Každý PČH vyrobený ve společnosti Hydraulics s.r.o. projde před odesláním k zákazníkovi 100% výstupní kontrolou. Metodika kontroly vychází z podstaty ČSN 11 9008, ČSN 11 9372, ČSN 11 9373, resp. ISO 10 100

Hydrostatické mechanismy- metody zkoušení³

Aplikace pro hydrostatické mechanismy a jejich prvky ve kterých jsou použity minerální oleje nebo jiné kapaliny s podobnými vlastnostmi. Podle druhu konstrukce a určení hydrostatických mechanismů a prvků podléhají kontrole následující ukazatele: [8]

- zástavbové a připojovací rozměry;
- vnější vzhled;
- hmotnost;
- tlaková pevnost;
- vnější těsnost;
- hladina akustického výkonu;
- funkce;
- parametry, funkční závislosti parametrů;
- spolehlivost;
- bezpečnost;

Z důvodů zajištění srovnatelnosti výsledků se zkoušky provádějí při teplotě kapaliny, která zajišťuje kinematickou viskozitu v rozmezí $\nu=30-40 \text{ mm}^2/\text{s}$. S přihlédnutím k tématu bakalářské práce se omezím jen na některé z výše uvedených parametrů provedené zkoušky.

1.5.1 Tlaková pevnost

Lineární hydromotory musí snést statický zkušební tlak, jehož hodnota je nejméně $1,25 p_n$, po dobu nejméně 3 minut bez vnějších úniků a trvalých, nevratných deformací. Hodnota " p_a " je maximální provozní přetlak. Pro lineární hydromotory pracující v hydrostatických mechanismech kde špičkové tlaky nepřevýší hodnotu $1,1 p_n$, lze hodnotu zkušební tlaku snížit na $1,1 p_n$. [8]

³ Výtah z ČSN 11 9008

1.5.2 Vnější těsnost

Únik pracovní kapaliny přes těsnící elementy nesmí přesahovat hodnoty uvedené v tabulce. Vykazované hodnoty se vztahují na 1 m² těsněné plochy, při p_n , rychlosti pohybu pístu $v=0,2$ m/s, a kinematické viskozitě $\nu=40$ mm²/s. Hodnoty průsaků jsou vztaženy k času trvání zkoušky. Přičemž jsou směrodatné hodnoty pro následující třídy přesnosti hydromotorů: [8]

- "A" třída - hydromotory zvlášť přesného zhotovení
- "B" třída - zvýšená přesnost zhotovení
- "C" třída - zhotovení normální přesnosti

tabulka 1 Hodnoty průsaků V [cm³]

Typ PČH	A	B	C
Jednostupňový	0,003	0,005	0,05
Teleskopický	0,006	0,01	0,12

Spolehlivost

Technický život lineárních hydromotorů při jmenovitých parametrech musí být u jednostupňových hydromotorů nejméně 10⁶ cyklů (dvojzdvihů) do jmenovitého zdvihu 0,5 m, nebo 1000 km ujeté dráhy. Pro teleskopické hydromotory je směrnou hodnotou 50.000 cyklů. Kritériem mezního stavu zvýšeného průsaku pracovní kapaliny, které se nedají odstranit výměnou těsnících prvků a vyměnitelných vodicích elementů, je 1,2 násobek hodnot uvedených v tabulce 1. [8]

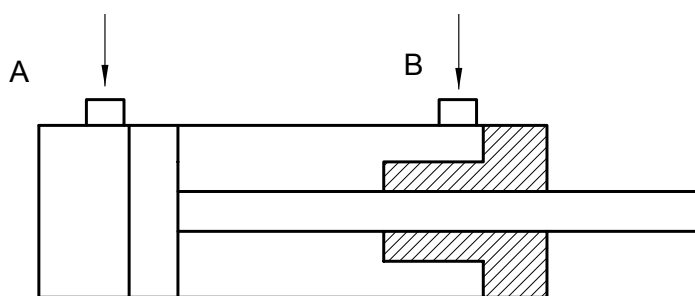
Funkce

Chod hydromotoru musí být rovnoměrný, bez zjevných známek zadržávání a jakýchkoli zvukových efektů. Rozběhový tlak mezi horní a dolní úvratí musí být minimální, řádově v rozmezí $p_r=0,3-0,8$ MPa. [8]

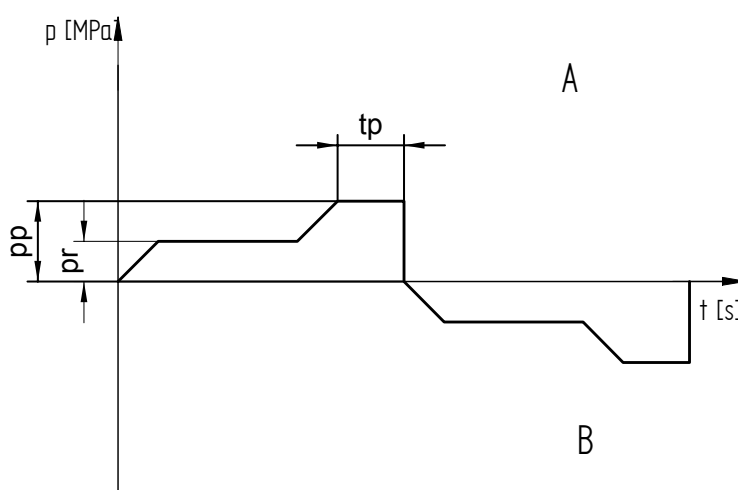
Příprava zkoušek

Před provedením vlastní tlakové zkoušky je třeba:

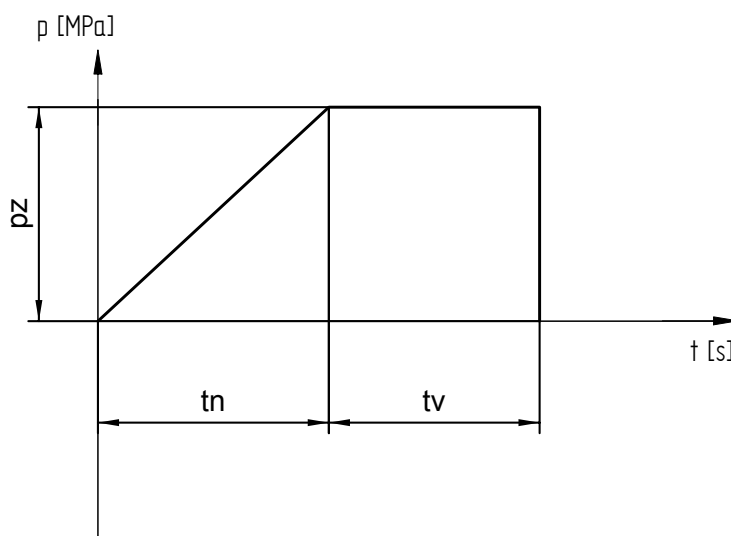
1. Pečlivě připojit hydraulické hadice, zabránit eventuálnímu průsaku z tohoto spojení
2. Před započítáním zkoušek je nutno odvzdušnit hydraulickou soustavu
3. Před vlastní zkouškou nutno provést minimálně 3 dvojzdvihy, čímž dojde ke kontrole chodu hydromotoru. Jeho chod musí být bez zadrhávání, bez jakýchkoli zvukových efektů. Rozběhový tlak mezi horní a dolní úvratí musí být minimální, tedy $p_r = 0,5-0,8 \text{ MPa}$.
4. Výrobky se zkouší v montážní poloze, vstupy vzhůru, čímž dojde při provedení bodu č.3 i k odvzdušnění dle bodu č.2



obrázek 2 schématické uspořádání PČH



obrázek 3 závislost p-t pro "dvojzdvih"



obrázek 4 závislost p-t pro tlakovou zkoušku

Popis proměnných v obrázcích 2, 3, a 4 **t_n - doba náběhu**

časový úsek od okamžiku vyslání signálu, po dosažení zadané hodnoty pracovního parametru nebo polohy řídicího členu mechanismu.

 t_v - doba výdrže- prodleva

časový úsek, ve kterém části určující funkci prvku jsou pod zatížením v klidové poloze.

 p_r - rozběhový tlak

Nejmenší hodnota tlaku nutná pro uvedení pístu z klidového stavu do pohybu bez jeho zatížení a při stanovených podmínkách. Obvyklá hodnota rozběh. tlaku $p_r = 0,3-0,8$ MPa.

 p_p - přepínací tlak

Nejmenší hodnota tlaku nutná pro uvedení pístu z klidového stavu do reversního směru. Obvyklá hodnota přepínacího tlaku $p_p = 5-8$ MPa, dle typu hydromotoru.

 p_z - zkušební tlak

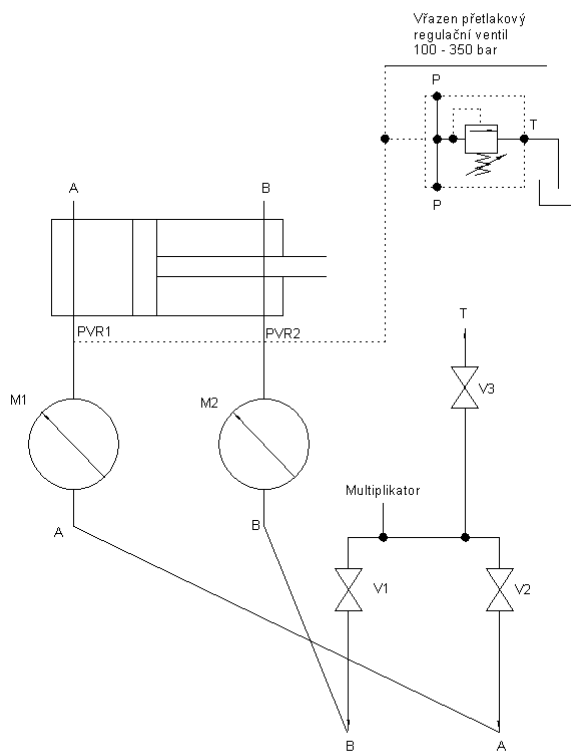
Hodnota tlaku nutná pro provedení tlakové zkoušky dle ČSN 69 0010-1.1

2 SOUČASNÉ ŘEŠENÍ TESTOVÁNÍ HYDROMOTORŮ

2.1 Organizace práce provádění zkoušky

Zkoušku provádí pracovník poučený v oblasti zkušebnictví, speciálně proškolený pro tuto činnost. Zkouška probíhá dle metodických pokynů uvedených v kapitole 2.2. Připojení hydromotoru k hydraulickému agregátu je dle schématu uvedeného v obr.5 a obr.6. Stávající hydraulický agregát je schopen dosáhnout maximálního zkušebního tlaku $p_z = 16 \text{ MPa}$. Vyšší zkušební tlaky nutno dotlačovat ručně pneumaticko-hydraulickým multiplikátorem. Hodnoty zkušebního tlaku odečítá pracovník z analogových manometrů. Po provedení tlakové zkoušky komor "A" a "B" je hydromotor přestaven do zasunuté polohy tlakovým vzduchem. Trojcestný ventil "hydraulika- vzduch" je opět nutno přepnout ručně.

2.2 Tlakovací zařízení- schéma



obrázek 5- schéma zapojení hydromotoru

- V1- uzavírací ventil (poloha B)
- V2 - uzavírací ventil (poloha A)
- V3 - uzavírací ventil (pomocný do odpadu)
- V4 – ovládací ventil multiplikátoru
- V5 – ovládací ventil přívodu vzduchu
- PVR1 (PVR2) – pojistný ventil s regulací „R“

2.3 Metodické pokyny pro provádění zkoušky

- 1) Tlaková zkouška v koncové poloze nám ukáže těsnost jednotlivých prostorů (jak prostoru pod pístem, tak prostoru nad pístem – mezikruží). Tato zkouška nám ukáže těsnost sváru, holendru, prostoru víka a zároveň slouží jako vizuální kontrola funkčnosti přímočarého hydromotoru.
- 2) Při podezření na průsak oleje přes píst, slouží zkouška tohoto typu: tlakový olej přivedeme do prostoru „A“, výstup z prostoru „B“ (mezikruží) je otevřený a pozorujeme nárůst, nebo naopak stálou hladinu oleje.
 - jestliže hladina v části „B“ narůstá $\Rightarrow$ netěsnost pístu
 - jestliže je hladina v části „B“ stabilní $\Rightarrow$ je těsnivo pístu v pořádku
 Stejný postup je i pro prostor „B“.

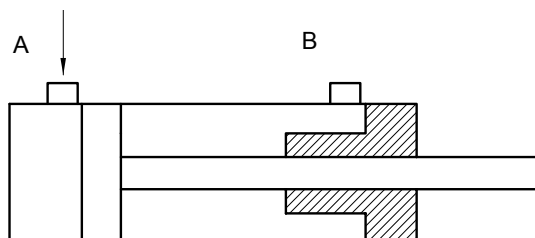
V obou případech je samozřejmě nutné mít prostor atmosféricky otevřený a naplněn olejem.

Tlakování prostoru „A“

V2 - otevřen

V1 - zavřen

V3 – zavřen



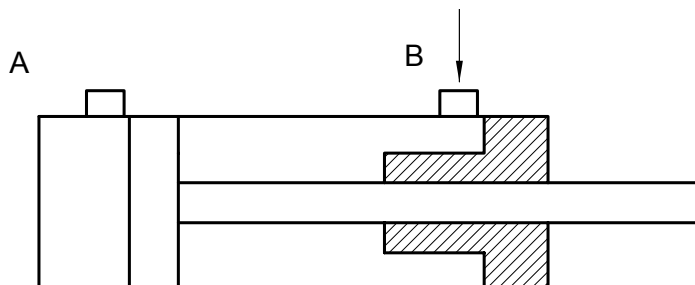
obrázek 6- prostor „A“ tlaková zkouška

Tlakování prostoru „B“

V1 - otevřen

V2 - zavřen

V3 – zavřen



obrázek 7- prostor „B“ tlaková zkouška

- 3) Pokud je podezření na průsak oleje přes píst v jiných než v krajních polohách, lze tuto zkoušku použít taky, ale za podmínek, že bude válec ustaven v poloze (tzn. aretován) a píst ustaven v poloze, kde pravděpodobně netěsní.
- 4) Vyprázdnění oleje z PČH – stahování PČH se provádí po kompletním odtlačování. Pístní tyč zůstane vysunutá (do max. zdvihu) a do přívodu „B“ válce se přivede tlakový vzduch (modrá hadice). Dále se otevřou ventily V1, V2, V3. Pak následuje otevření ventilu V5, se stlačeným vzduchem a nastane postupné stažení pístní tyče do základní polohy a vyprázdnění oleje z prostoru „B“ (mezikruží).

Tlačítka

-při správně připojených hadicích $\Rightarrow$ zelené – pohyb ven

$\Rightarrow$ červené – pohyb dovnitř

Tlakování pomocí čerpadla

Sekce „A“ V1 - uzavřen

V2 - otevřen

V3 - uzavřen

„B“ V1 - otevřen

V2 - uzavřen

V3 - uzavřen

Tlakování pomocí multiplikátoru

Sekce „A“ V1 - uzavřen

V2 - uzavřen

V3 - otevřen

„B“ V1 - otevřen

V2 - uzavřen

V3 - uzavřen

Barevné značení přívodních hadic

Červená – „A“

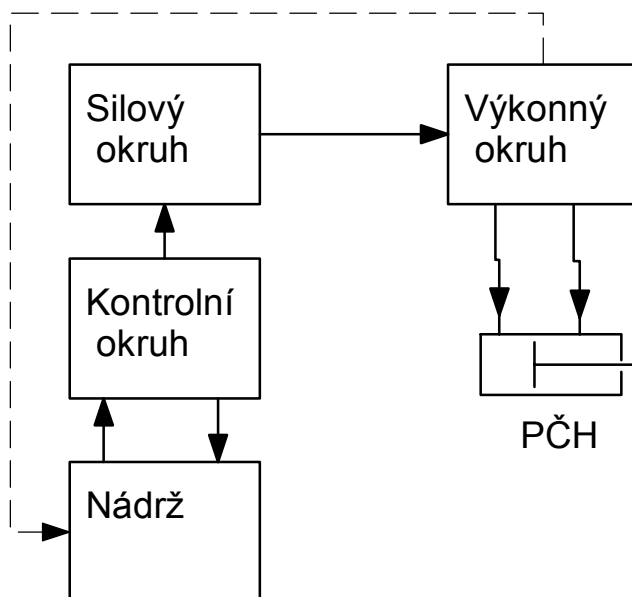
Zelená – „B“

Modrá – přívod vzduchu - tento přívod tlakového vzduchu slouží na stažení již odtlakovaného válce do základní polohy (transportní).

3 INOVOVANÉ ŘEŠENÍ TESTOVÁNÍ HYDROMOTORŮ

Cílem bylo vypracování projektu, jehož technické řešení by směřovalo k plné automatizaci zkušebního cyklu. Po zadání jednoduché informace(číslo z průvodního listu k výrobku) se na zařízení nastaví hodnoty zkušebního tlaku a tvar zkušebního cyklu. Dále pak lze provádět zkoušku za optimálních, předepsaných podmínek. V soustavě bude využita regulace teploty hydraulického oleje, hlídání úrovně hladiny prostřednictvím kapacitních čidel pro případ havarijního stavu, kontrola stavu znečistění olejových filtrů, snímání hodnot tlaku. Zařízení bude dále osazeno pamětí pro záznam naměřených hodnot pro analýzu přechodových dějů pro hydraulické tlumení.

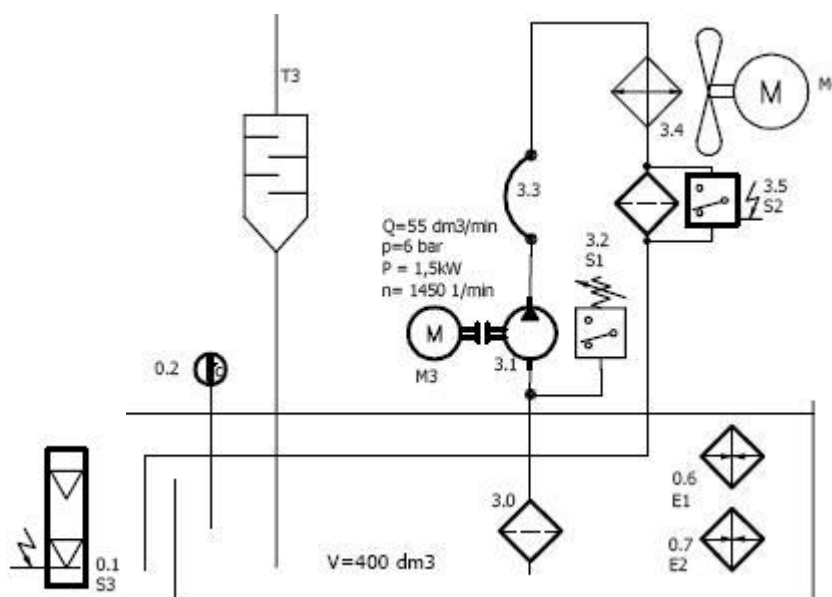
Řídicí systém byl rozdělen na tři části. K řízení celého hydraulického agregátu je zapotřebí poměrně velkého počtu výstupů. Uvedená kombinace počtu binárních vstupů a výstupů, doplněných o analogové vstupy není běžně dostupná na trhu. Důvod rozdělení a následného použití tří PLC byl v použití standardních PLC, bez zakázkových obvodů, které s sebou vždy nesou zvýšené náklady a prodloužení dodacích lhůt. Neméně důležitým důvodem rozdělení bylo omezení chyb způsobených selháním jednoho jediného řídicího obvodu. Řízení je rozděleno do tří následujících částí, viz. obrázek 8



obrázek 8 blokové schéma řízení

3.1 Kontrolní okruh

Kontrolní obvod má zajišťovat rozběh hydraulického agregátu. Dále zajišťuje kontrolu správných pracovních podmínek. V první řadě se jedná o dodržení předepsaných pracovních teplot, jež jsou dány normou. Po prověření a zajištění správné teploty dojde ke kontrole čistoty filtrů, teprve poté je do silového obvodu předán signál log.1, který umožňuje spuštění hydraulických čerpadel.



obrázek 9 schéma kontrolního okruhu

Oběhové čerpadlo

Ve schématu na obrázku 9 značeno "3.1-M3" Oběhové čerpadlo zajišťuje kontinuální cirkulaci hydraulického oleje která je nezbytná pro správnou funkci celého hydraulického obvodu. Zajišťuje neustálou filtraci oleje, poněvadž každý nový výrobek je potencionálním zdrojem jeho znečištění Při zkušebním procesu dochází ke značnému vývinu tepla. Další, nedílnou součástí funkce oběhového čerpadla, je sdílení tepla a jeho následné vyzařování povrchem nádrže.

Vzduchový chladič oleje

Ve schématu značen "3.4-M4" Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.5.1, zkouška, aby byla směrodatná, musí probíhat za přesně stanovených podmínek. Aby bylo možno dosáhnout viskozity oleje 30-40 mm²/s, je potřeba v případě překročení zkušební teploty tuto snížit

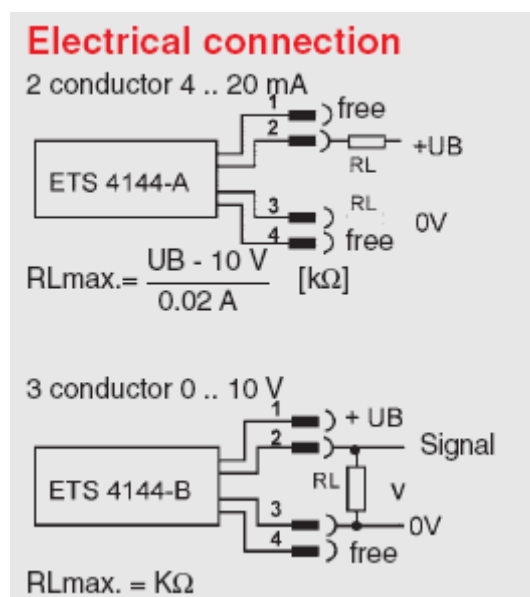
na stanovenou hodnotu. Z mechanického hlediska se vlastně jedná o klasický žebrový chladič chlazený proudem vzduchu ventilátoru. Motor ventilátoru je spuštěn, je-li na teploměru, ve schématu značeno "0.2" naměřena stanovená hodnota, a to až do doby, kdy dojde k poklesu hodnoty.

Teploměr

Ve schématu značen „0.2“. Je požito čidlo ETS 4144-A od firmy Hydac International. Čidlo funguje na principu Pt 100 Rozsah měření teplot $t_1 = -25^{\circ}\text{C}$ do $t_2 = +100^{\circ}\text{C}$. Výstupní signál analogový 4...20 mA [5]



obrázek 10 teplotní čidlo ETS 4144-A



obrázek 11 schéma zapojení teplotního čidla

Topné těleso

Ve schématu značeno "E1" a "E2". Slouží k ohřevu hydraulického oleje. Jsou použita dvě tělesa 750W, 230V, 50Hz. Po dosažení teploty je přívod k tělesům vypnut.

Hydraulický olej

Systém je naplněn hydraulickým olejem OH-HM 46, výrobce Koramo Kolín. Dle údajů od výrobce má tento olej při teplotě 42°C viskozitu $\nu = 46 \text{ mm}^2/\text{s}$. Hodnota viskozity oleje je závislá na teplotě dle následujícího vzorce:

Změna viskozity s teplotou [3]

$$\nu_t = \nu_{42} \left(\frac{42}{t} \right)^\beta \left[\frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \right] \quad (1)$$

ν_t - kinematická viskozita za dané teploty

ν_{42} - kinematická viskozita za teploty 42°C, dle výrobce

t - teplota

β - 2,32 exponent pro olej OH-HM 46

Dle výpočtu je rozsah teplot pro dosažení stanovené kinematické viskozity

$t_{\min} = +48^\circ\text{C}$

$t_{\max} = +53^\circ\text{C}$.

Regulace teploty bude tedy probíhat v tomto rozsahu.

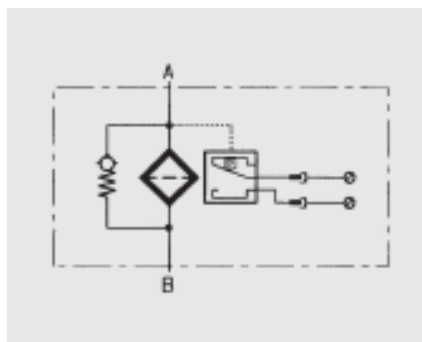
Čidlo zpětného filtru

„S2“ je umístěno paralelně k odpadnímu filtru. Dojde-li k nedostatečné průchodnosti filtru, čidlo zaznamená log. 0. Tento stav je taktéž nepřípustný, dojde k vypnutí celého systému.

Jmenovité napětí 24 V DC

Spínač podtlaku

„S1“ je předřazen oběhovému čerpadlu "3.1". Je-li sací filtr "3.0" znečištěn nad únosnou mez, dochází před oběhovým čerpadlem k nedostatku kapaliny, což má za následek vzniku podtlaku. Čidlo S1 zaznamená log. 0. Tento stav je nepřípustný, dochází k vypnutí celého systému. Jmenovité napětí 24 V DC



obrázek 12 spínač podtlaku

Olejoznak se signalizací minima

„S3“ je limitním čidlem které hlídá minimální přípustnou hladinu hydraulického oleje v nádrži. Další kontrolní tohoto čidla spočívá v potencionální možnosti úniku oleje při cyklických zkouškách, které mohou být způsobeny např. porušením hydraulických hadic, či samotného hydromotoru. Je-li v nádrži nedostatečná výška hladiny oleje, čidlo zaznamená log. 0. Jmenovité napětí 24 V DC

Vstupy-výstupy kontrolního obvodu-požadavky

4 binární vstupy

- Podtlakové čidlo „S1“
- Tlačítko START-STOP „S“
- Čidlo odpadního filtru „S2“
- Olejoznak „S3“

1 analog vstup

- Proudový vstup teploměru 4...20 mA T1

4 binární výstupy

- Motor oběhového čerpadla „M3“
- Motor ventilátoru olejového chladiče „M4“
- Topná tělesa, řazena paralelně „E1 a E2“
- Stop stav log 0, start log 1- výstupní proměnná pro silový obvod „A“

Optimální řešení TC 402 6x bin IN; 4x bin OUT; 2x analog IN 12bit

Přesnost měření teploty

Počet rozlišovacích úrovní 12 bit A/D převodníku

$$e = 2^{12} = 4096 \text{ úrovní} \quad (2)$$

Velikost rozlišovací úrovně ve °C

$$\Delta t = \frac{(t_2 - t_1)}{e} [^{\circ}\text{C}]$$
$$\Delta t = 0,03 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Číselná hodnota T₁

$$T_1 = \frac{t_n - t_1}{\Delta t} [1] \quad (4)$$

Hodnoty pracovních teplottabulka 2 t_a - požadovaná pracovní hodnota [°C]

t_a [°C]	-25	-24,97	+48	+53	+80
T_1	0	1	2433	2600	3500

$t_a = -20$ °C STOP stav, popřípadě porucha čidla

$t_a = -19,96$ °C ohřev oleje na pracovní teplotu

$t_a = +48$ °C dolní mez pracovní teploty

$t_a = +53$ °C horní mez pracovní teploty

$t_a = +80$ °C STOP stav, přehřátí systému

tabulka 3 rozběh kontrolního obvodu

T_1	S_1	S_2	S_3	M_3
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1

tabulka 4 regulace teploty

T_1	M_3	E_1	M_4	t_n [°C]	A
1	1	1	0	-24,97	0
2433	1	0	0	+48	1
2600	1	0	1	+53	1
3500	0	0	0	+80	0

T_1 - dekadická hodnota naměřené teploty

$S_1, S_2; S_3$ - čidla znečištění filtrů

M_3 - motor oběhového čerpadla

M_4 - motor chladiče

E_1 - topení

t_n - naměřená teplota oleje

A - výstupní hodnota do silového obvodu

Rovnice rozběhu

$$M_3 = T_1 * S_1 * S_2 * S_3 * S \quad (5)$$

Rovnice regulace-ohřev

$$E_1 = T_1 * M_3 \leq 2433 \quad (6)$$

Rovnice regulace-chlazení

$$M_4 = T_1 * M_3 \geq 2600 \quad (7)$$

Rovnice STOP- přehřátí

$$M_3 = 3500 - T_1 < 1 \Rightarrow M_3 \approx \log 1 \quad (8)$$

Rovnice- výstup silový obvod

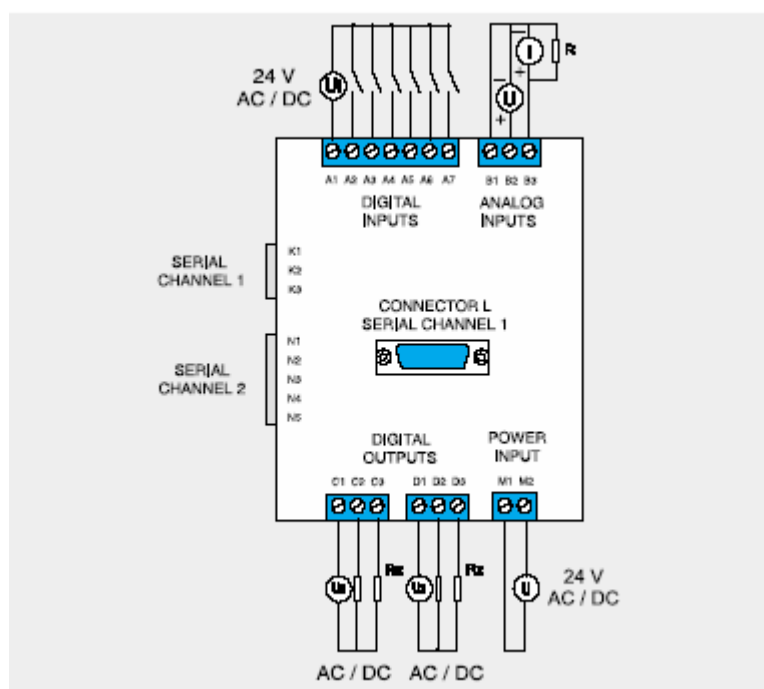
$$A = \log 1 \Rightarrow T_1 \geq 2433 \wedge T_1 \leq 2600 \quad (9)$$

TECOMAT TC 402

TECOMAT TC400 jsou kompaktní programovatelné automaty (PLC) pro nejmenší aplikace od náhrady několika relé až po složité řízení jednoduchých technologií. Automaty TECOMAT TC400 jsou navrženy jako vestavná zařízení určená k montáži na lištu ČSN EN 50022. TECOMAT TC400 jsou konstruovány pro stupeň znečištění 1 dle ČSN 33 0420-1 (HD 625.1 S1:1996, modif. IEC 664-1:1992). Instalace musí být provedena tak, aby nebyly překročeny podmínky přepětové kategorie II dle ČSN 33 0420-1 (HD 625.1 S1:1996, modif. IEC 664-1:1992). Automaty TECOMAT TC400 obsahují centrální řídicí jednotku CPU řady D. [2]



obrázek 13 TECOMAT TC 402



obrázek 14 svorkové zapojení TC 402

Binární vstupy TC401, TC402

Celkový počet vstupů 6
Galvanické oddělení ano
Vstupní napětí
Jmenovité napětí 24 V DC
Napětí pro log.0 (max.) 12 V DC
Napětí pro log.1 (min.) 16V/(max.) 30V DC
Vstupní proud při log.1/ typ. 10 mA
Zpoždění z log.0 na log.1/ typ. 4 ms

Proudové vstupy TC402

Měřicí rozsah 0 mA až +20 mA
4 mA až +20mA
Rozlišení na 1bit (LSB)_H 6,1 μ A
Vstupní proud (max.) 50 mA
Vstupní napětí (max.) 5 V
Vstupní odpor (vnější) 100 Ω

Binární výstupy (reléové) TC401, TC402

Celkový počet výstupů 4
Mechanická životnost min. 10 mil. sepnutí
Galvanické oddělení ano

Parametry spínacího kontaktu

Spínaný proud (max.) 1 A
Spínané napětí (max.) 250 V AC
Spínaný výkon AC (max.) 250 VA
Proud spol. vodičem (max.) 2 A
Doba sep. a rozepnutí (max.) 10 ms
Ochrana proti přetížení a zkratu vně PLC
Ošetření indukivní zátěže vně PLC

Analogové vstupy TC402

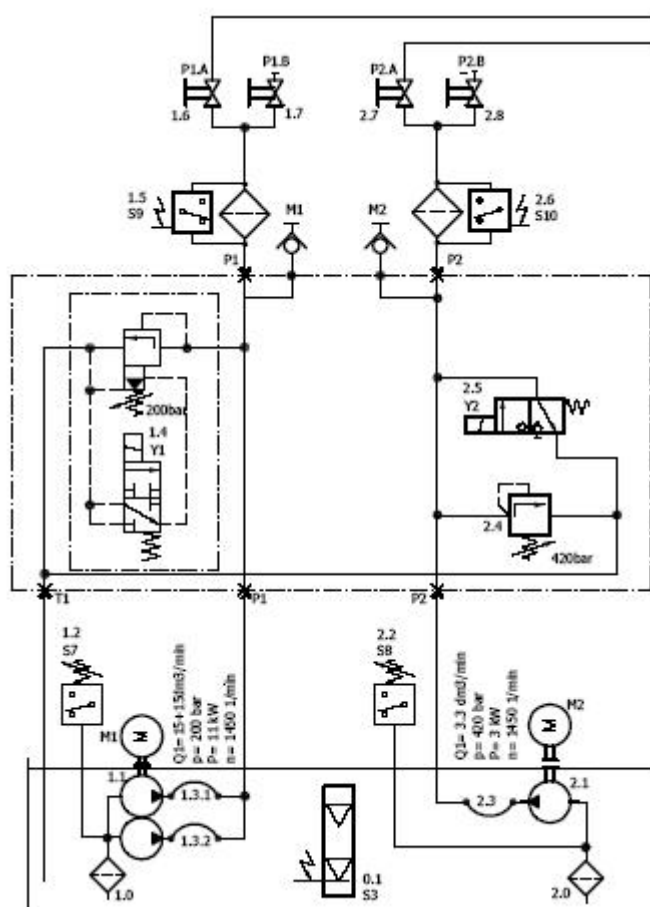
Celkový počet vstup. kanálů 2
Počet vstupů ve skupině 1 · 2
Galvanické oddělení ne
Binární reprezentace vstupu 12 bitů bez znaménka
Doba převodu 1 kanálu 35 μ s
Napěťové vstupy TC402
Měřicí rozsah 0 V až +2 V
Rozlišení na 1bit (LSB)_H 0,61 mV
Vstupní odpor > 10 M Ω
Doporučený vnitřní odpor < 10 k Ω

Další informace o PLC TECO 402 jsou dostupné na URL:

<http://www.tecomat.com/cz/index.html>

3.2 Silový obvod

Silový obvod je dalším článkem systému. Obvod překontroluje průchodnost vysokotlakých filtrů. Po této operaci může následovat faktický rozběh nízkotlakého a vysokotlakého čerpadla. Proběhnou-li předchozí operace korektně, uvolněním sedlových ventilů se dostane tlakový olej do výkonného obvodu.



obrázek 15 silový obvod

Vstupy-výstupy kontrolního obvodu-požadavky

5 binárních vstupů

- Výstup z kontrolního obvodu „A“
- Podtlakové čidlo „S7“ pro motor M₁
- Podtlakové čidlo „S8“ pro motor M₂
- Čidlo nízkotlak. filtru „S9“ pro motor M₁
- Čidlo vysokotlakého filtru „S10“ pro motor M₂

4 binární výstupy

- Motor nízkotlak. čerpadla „M1“
- Motor vysokotlakého čerpadla „M2“
- Sedlový ventil „Y1“ nízkotlaké větve
- Sedlový ventil „Y2“ vysokotlaké větve

Optimální řešení TC 401 6x bin IN; 6x bin OUT.

Spínač podtlaku

„S7“ a „S8“ je předřazen oběhovému čerpadlu "M1" a "M2". Jsou-li sací filtry "1.0" a "2.0" znečištěny nad únosnou mez, dochází před každým z čerpadel k nedostatku kapaliny, což má za následek vzniku podtlaku. Čidlo "S7" a "S8" zaznamená log. 0. Tento stav je nepřipustný, dochází k výpisu chybového hlášení a k vypnutí chodu každého z čerpadel. Spuštění nízkotlakého čerpadla "M1" je podmíněno hodnotou výstupní proměnné "A" z kontrolního obvodu. Chod čerpadla "M2" je závislý na chodu nízkotlakého čerpadla "M1". Jmenovité napětí čidel je 24 V DC

tabulka 5 spuštění "M1"

A	S7	M1
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Rovnice spuštění "M1"

$$M_1 = A * S7 \quad (10)$$

tabulka 6 spuštění "M2"

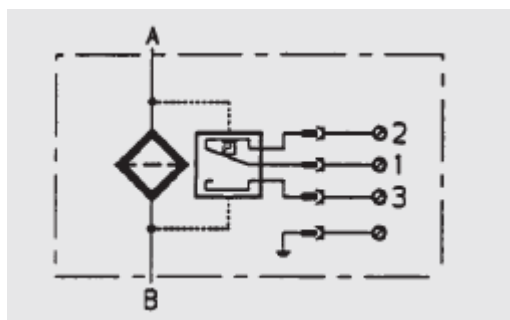
M1	S8	M2
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Rovnice spuštění "M2"

$$M_2 = M1 * S8 \quad (11)$$

Čidlo tlakového filtru

„S9“ a „S10“ je umístěno paralelně k tlakovým filtrům. Dojde-li k nedostatečné průchodnosti filtru, čidlo zaznamená log. 0. Tento stav je taktéž nepřipustný, dojde k vypnutí celého systému. Jmenovité napětí 24 V DC



obrázek 16 čidlo tlak. filtru

Sedlový ventil nízkotlaký

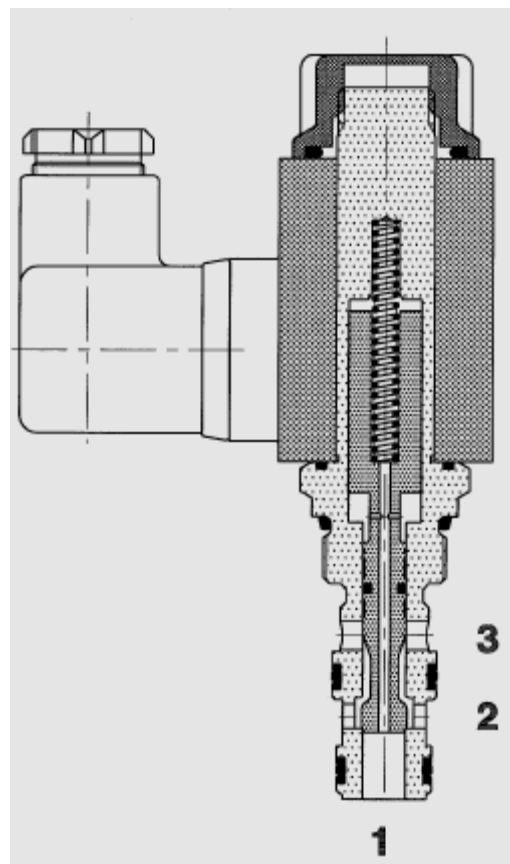
"Y1" je umístěn na výstupu z nízkotlakého čerpadla. Je-li čerpadlo "M1" v chodu, dle tabulky. 5 a na výstupu z čidla tlakového filtru "S9" log.1, ventil otevře přívod nízkotlakého stupně do výkonného obvodu. Je použit solenoidový ventil [5] WSE 3E0 C.X/G24-Z4-N firmy HYDAC.

Provozní parametry:

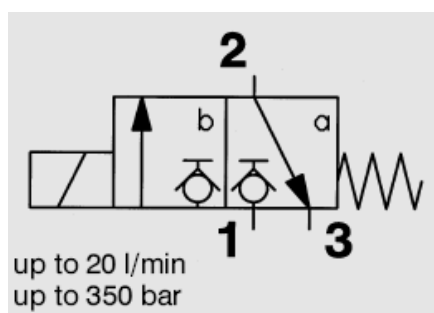
Provozní teplota	-20 - +80 °C
Max. provozní tlak	31,5 MPa
Pracovní médium	minerální olej
Viskozita	10- 380 mm ² /s
Nominální napětí	24 V DC
Max. proud. Odběr	1 A
Doba sepnutí	40 ms
Doba rozepnutí	50 ms

tabulka 7 sedlového ventilu "Y1"

M1	S9	Y1
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



obrázek 17 sedlový ventil-řez



obrázek 18 sedlový ventil- schéma zapojení

Sedlový ventil vysokotlaký

"Y2" je umístěn na výstupu z vysokotlakého čerpadla. Je-li sedlový ventil "Y1" otevřen, dle tab. 7 a na výstupu čidla tlakového filtru "S10" log.1, ventil otevře přívod vysokotlakého stupně do výkonného obvodu. Jako vysokotlaký ventil je použit solenoidový ventil [5] WSE 3E0 C.X/G24-Z4-N firmy HYDAC.

tabulka 8 sedlového ventilu "Y2"

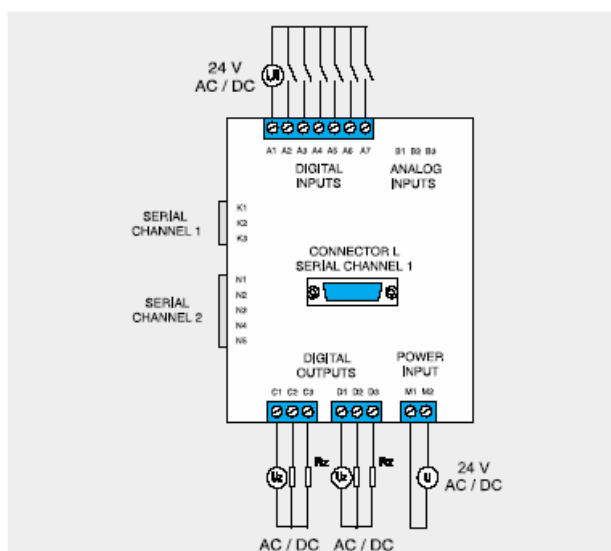
Y1	S10	Y2
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Rovnice sedlového ventilu "Y2"

$$Y2 = Y1 * S10 \quad (12)$$

TECOMAT TC 401

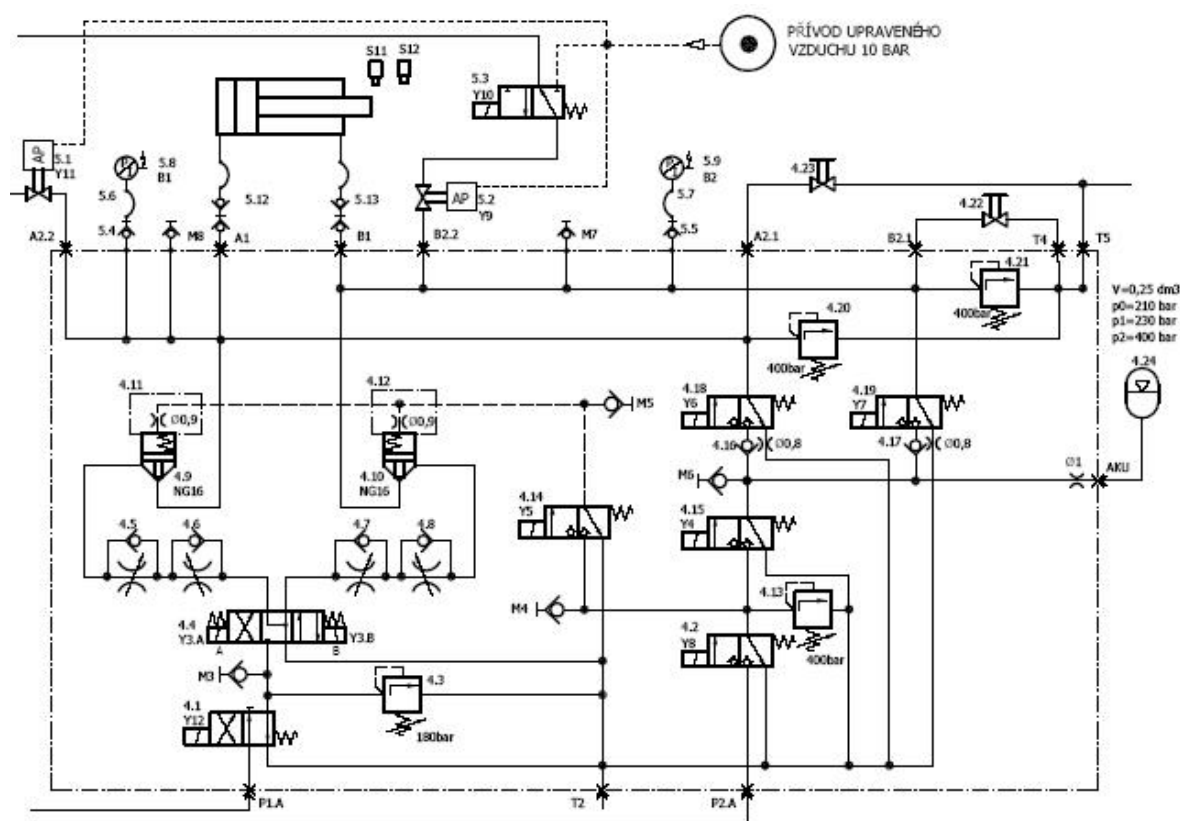
Parametry PLC TECOMAT 401 jsou shodné s provedením TC 402, jež je použito v předchozí kapitole 3.1. Rozdíl spočívá v absenci analogových vstupů.



obrázek 19 svorkové zapojení TC 401

3.3 Výkonný obvod

Výkonný obvod již provádí dle naprogramovaných sekvencí vlastní tlakovou zkoušku. Po doběhnutí sekvence podprogramů následuje ukončení zkoušky a upozornění obsluhy na tuto skutečnost.



obrázek 20 výkoný obvod

Vstupy-výstupy kontrolního obvodu

2 binární vstupy

- Výstup ze silového obvodu „Y1“
- Výstup ze silového obvodu „Y2“

2 analogové vstupy

- Výstup ze tlakového čidla „B1“
- Výstup ze tlakového čidla „B2“

9 binární výstupů

- Sedlové ventily "Y4; Y5; Y6; Y7; Y8 a Y12"
- 3-cestný rozvaděč "Y3A" a "Y3B"
- Pneumaticko-hydraulický ventil "Y10"

Optimální řešení TC 506 16x bin IN; 4 analog IN; 14x bin OUT.

Binární vstupy

Podmínkou chodu výkonného obvodu je stav log 1 na výstupech "Y1" a "Y2" silového obvodu.

Sedlový ventil

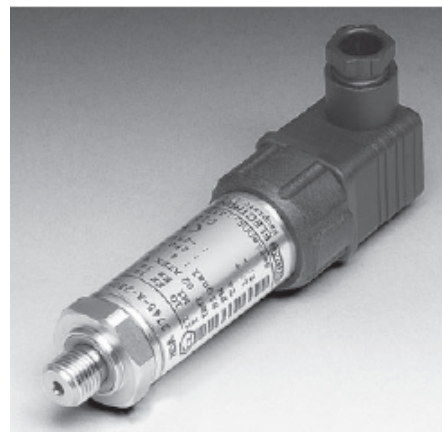
Ventily "Y4; Y5; Y6; Y7; Y8 a Y12" jsou v zavřené poloze. K jejich otevření, dojde dle tabulky 9 Ve výkonném obvodu jsou použity solenoidové ventily WSE 3E0 C.X/G24-Z4-N firmy HYDAC.

Tlakové čidlo

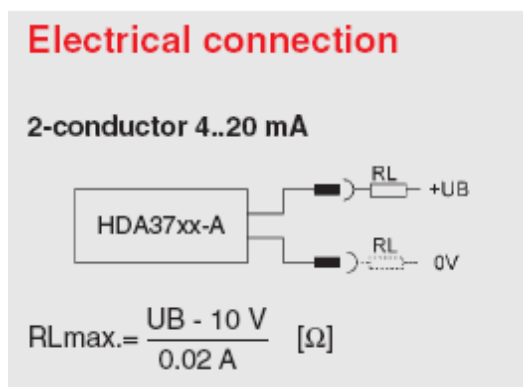
Je použito tlakové čidlo řady HDA 3700 firmy Hydac International. Čidlo je osazeno kovovou membránou a čtyřmi odpory zapojenými do weatsonnova můstku. [5] Vzhledem k požítým zkušebním tlakům jsem volil čidlo s rozsahem 0- 40 MPa.

Provozní parametry:

Provozní teplota	-25 - +60 °C
Pracovní médium	minerální olej
Měřicí rozsah	0-40 MPa
Max. přetížení	80 MPa
Výstupní signál	4...20 mA
Nominální napětí	24 V DC
Max. proud. odběr	100 mA
Doba sepnutí	<0.5 ms
Životnost	>10 ⁷ cyklů pro p _{max} =40 MPa



obrázek 21 tlakové čidlo HDA 3700



obrázek 22 schéma připojení HDA 3700

Přesnost měření tlaku

Počet rozliš. úrovní 12 bit A/D převodníku dle rovnice (2)

Velikost rozliš. úrovně v kPa

$$\Delta p = \frac{(p_2 - p_1)}{e} [\text{kPa}] \quad (13)$$

$$\Delta p = 9,77 \text{ kPa}$$

p_1 - tlak 0 kPa

p_2 - tlak 40 000 kPa

$$e = 2^{12} = 4096 \text{ úrovní} \quad \text{viz. rovnice (2)}$$

e- počet rozlišovacích úrovní

Hodnoty pracovních tlaků

Číselná hodnota naměřeného tlaku P_1

$$P_1 = \frac{p_n}{\Delta p} [1] \quad (14)$$

p_n - hodnota měřeného tlaku [kPa]

P_1 - dekadická hodnota naměřeného tlaku [1]

tabulka 9 p_a -požadovaná pracovní hodnota [kPa]

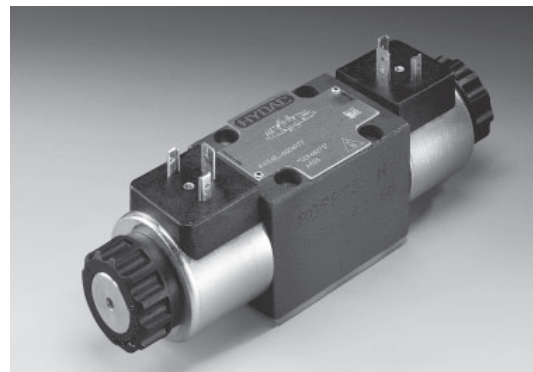
p_a [kPa]	0	9,77	2000	6300	20000	25000
P_1	0	1	205	645	2047	2559

Třícestný rozvaděč

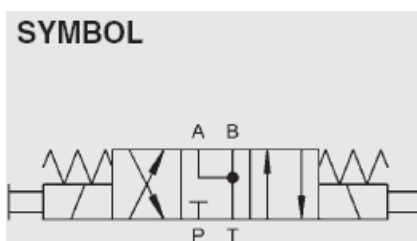
Ve výkonném obvodu je použit šoupátkový rozvaděč 4WE10J 3X/CG24 N9K4 firmy Hydac International. Slouží k přepínání směru chodu lineárního hydromotoru. Jedná se o solenoidový ventil s dvěma cívkami a aretovanou mezipolohou, ve které jsou oba směry chodu hydromotoru blokovány. Směr vysouvání je při sepnutí cívky "Y3A", je-li na jeho výstupní hodnotě log.1. Směr zasouvání je při sepnutí cívky "Y3B", je-li na jeho výstupní hodnotě log.1.

Provozní parametry:

Provozní teplota	-20 - +80 °C
Pracovní médium	minerální olej
Rozsah viskozity	2,8- 500 mm ² /s
Nominální napětí	24 V DC
Max. proud. Odběr	1A
Doba sepnutí	45 ms
Doba rozepnutí	25 ms
Životnost	>10 ⁷ cyklů pro $p_{max}=40$ MPa



obrázek 23 rozvaděč 4WE10J 3X



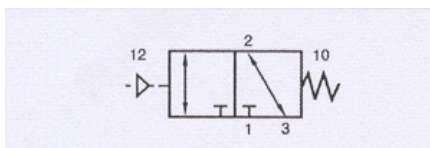
obrázek 24 schématická značka 4WE10J 3X

Pneumaticko-hydraulický ventil

Slouží k ovládání pneumatických válců, jako zdroj vzduchového řídicího signálu nebo k ovládání jiných pneumatických mechanismů. V našem případě je ventil použit k přestavení hydromotorů z vysunuté polohy do polohy zasunuté. Ve schématu značen "Y10". Poslední operace zkušební cyklu se provádí tlakovým vzduchem proto, aby v komoře mezikruží nezůstával olej. Je použit ventil B9 381RF- ¼ NG výrobce Poličské strojírny a.s.

Provozní parametry:

Provozní teplota	-10 - +70 °C
Pracovní médium	min. olej/ vzduch
Nominální napětí	24 V DC
Max. proud. Odběr	1A
Doba sepnutí	50 ms
Životnost	$>10^7$ cyklů pro $p_{\max}=40$ MPa



obrázek 25 značka B9 381RF

TECOMAT TC 506

TECOMAT TC500 jsou kompaktní programovatelné automaty (PLC), které jsou vybavené integrovaným operátorským panelem. PLC řady TECOMAT TC500 poskytují možnost jednodušší a pohodlnější realizace menších aplikací vyžadujících komunikaci s obsluhou.

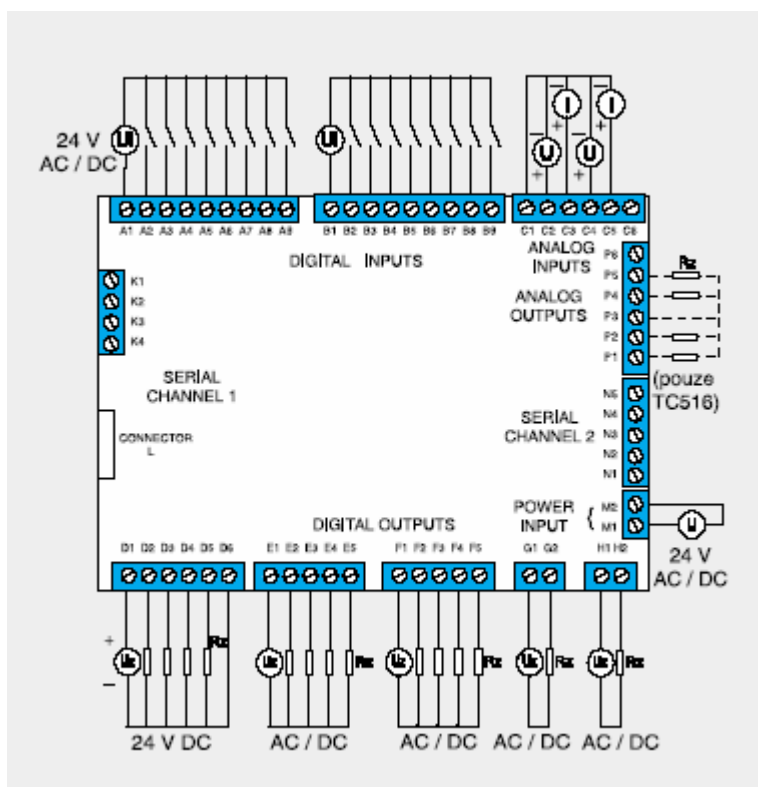
Různé modifikace vstupů a výstupů automatů TECOMAT TC500 umožňují vybrat sestavu podle požadavků uživatele pro velmi malé i střední aplikace.

TECOMAT TC500 jsou konstrukčně řešeny k zástavbě do dveří nebo čelní stěny rozvodných skříní. TECOMAT TC500 jsou konstruovány pro stupeň znečištění 1 dle ČSN 33 420-1 (HD 625.1 S1:1996, modif. IEC 664-1:1992).

Automaty TECOMAT TC500 obsahují centrální řídicí jednotku CPU řady D. [2]



obrázek 26 TECOMAT TC 506



obrázek 27 svorkové zapojení TC 506

Binární výstupy (reléové) TC506

Celkový počet výstupů 8

Mechanická životnost min. 20 mil. sepnutí

Galvanické oddělení ano

Parametry spínacího kontaktu

Spínaný proud (max.) 1 A

Spínané napětí (max.) 250 V AC

Spínaný výkon AC (max.) 250 VA

Proud spol. vodičem (max.) 2 A

Doba sep. a rozeptnutí (max.) 5 ms

Ochrana proti přetížení a zkratu vně PLC

Ošetření indukivní zátěže vně PLC

Binární výstupy TC506**(tranzistorové)**

Celkový počet výstupů 4

Počet výstupů ve skupině 1 × 4

Společný vodič skupiny plus – plus

Galvanické oddělení ano

Pracovní napětí výstupů 9,6 V až 28,8 V DC

Spínaný výstupní proud (max.) 1 A

Proud společným vodičem (max.) 6 A

Zbytkový proud při rozeptnutí (max.) 300 μ ADoba sepnutí (max.) 400 μ sDoba rozeptnutí (max.) 400 μ s

Ochrana proti zkratu elektronická

Ochrana proti přetížení ano

Proudové vstupy TC506

Měřicí rozsah 0 mA až +20 mA

4 mA až +20mA

Binární reprezentace vstupu- 12 bitů bez znaménka

Rozlišení na 1bit (LSB) 4,9 μ A

Vstupní proud (max.) 50 mA

Vstupní napětí (max.) 5 V

Vstupní odpor (vnější) 100 Ω

Binární vstupy TC506

Celkový počet vstupů 16

Galvanické oddělení ano

Vstupní napětí

Jmenovité napětí 24 V DC

Napětí pro log.0 (max.) 12 V DC

Napětí pro log.1 (min.) 16V/(max.) 30V DC

Vstupní proud při log.1/ typ. 10 mA

Další informace o PLC TECO 506 jsou dostupné na [1] URL:
<http://www.tecomat.com/cz/index.html>

3.4 Zkušební cykly

Před samotnou zkouškou se lineární hydromotor připojí dle metodických pokynů ve stati.

2.3 Pístní tyč musí být v zasunuté poloze, poté může probíhat tlaková zkouška.

Vstupy-výstupy kontrolního obvodu

- Výstup ze silového obvodu „Y1“
- Výstup ze silového obvodu „Y2“
- Výstup ze tlakového čidla „B1“
- Výstup ze tlakového čidla „B2“
- Sedlové ventily "Y4; Y5; Y6; Y7; Y8 a Y12"
- 3-cestný rozvaděč "Y3A" a "Y3B"
- Pneumaticko-hydraulický ventil "Y10"

Naplnění

Nejprve je potřeba naplnit prostor „B“ olejem. Kombinace zapojení ventilů je v tabulce. Pro zjednodušení následujících tabulek pojmenuji úkony číslem funkce. Naplnění- „F1“

tabulka 10 F1-naplnění

F1	Y3A	Y3B	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y10	Y12	B2
Bin	1	0	0	0	1	1	0	0	1	<645

Vysunutí

Naplnění komory "A" olejem, přesunutí pístu do polohy vysunuto. Po dosažení koncové polohy dojde k nárůstu tlaku v systému. Po dosažení hodnoty přestavovacího tlaku $p_p = 6,3$ MPa dojde k reversu pohybu. Hodnota přestavovacího tlaku je indikována tlakovým čidlem HDA 3700. Hodnotu $p_p = 6,3$ MPa reprezentuje dekadická hodnota 645, viz tabulka 9

tabulka 11 F2-vysunutí

F2	Y3A	Y3B	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y10	Y12	B1
Bin	0	1	0	0	1	1	0	0	1	<645

Zasunutí

Plnění komory "B" olejem, přesunutí pístu do polohy zasunuto. Po dosažení koncové polohy dojde k nárůstu tlaku v systému. Po dosažení hodnoty tlaku $p_p = 6,3$ MPa dojde k reversu pohybu.

tabulka 12 F3-zasunutí

F3	Y3A	Y3B	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y10	Y12	B2
Bin	1	0	0	0	1	1	0	0	1	<645

Tlaková zkouška

Výdrž na tlaku- komora „B“. Po funkci zasunuto následuje výdrž na tlaku $p_z = 25$ MPa po dobu $t_v = 180$ s, viz. obrázek 4

tabulka 13 F4-tlakování komory "B"

F4	Y3A	Y3B	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y10	Y12	B2	t_v
Bin	0	0	0	1	1	0	1	0	1	=2559	=180

Výdrž na tlaku- komora „A“. Po funkci vysunuto následuje výdrž na tlaku $p_z = 25$ MPa po dobu $t_v = 180$ s.

tabulka 14 F5- tlakování komory "A"

F5	Y3A	Y3B	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y10	Y12	B1	t_v
Bin	0	0	0	1	0	1	1	0	1	=2559	=180

Dekomprese

Funkce dekomprese slouží k odlehčení systému po tlakové zkoušce. Následuje vždy před jakýmkoli úkonem, který následuje po tlakové zkoušce. Tlak v systému po dekompresi by měl být maximálně $p_d < 2$ MPa, doba výdrže je $t_d = 0,5$ s.

tabulka 15 F6- dekomprese systému

F6	Y3A	Y3B	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y10	Y12	B1,2	t_d
Bin	0	0	0	1	0	0	1	0	0	<205	=0,5

Zasunutí vzduchem

Tato funkce slouží k zasunutí pístu do koncové polohy, provádí se tlakovým vzduchem. K přepnutí hydraulické části na pneumatickou slouží pneumaticko- hydraulický ventil Y10. Doba zasunutí $t_{zv} = 30$ s.

tabulka 16 F7-zasunutí vzduchem

F7	Y3A	Y3B	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y10	Y12	t _{zv}
Bin	0	0	0	1	0	1	1	1	0	20 s

Konec zkušebního cyklu

Po doběhnutí zkušebního cyklu dojde k zastavení procesu a upozornění obsluhy na displeji.

tabulka 17 F8-ukončení cyklu

F8	Y3A	Y3B	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y10	Y12
Bin	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tvar zkušebního cyklu

Dle metodiky zkoušení 2.1

- Naplnění
- Vysunutí-zasunutí 3x
- Tlakování komory "B"
- Dekomprese
- Vysunutí
- Tlakování komory "A"
- Dekomprese
- Zasunutí vzduchem
- Konec cyklu

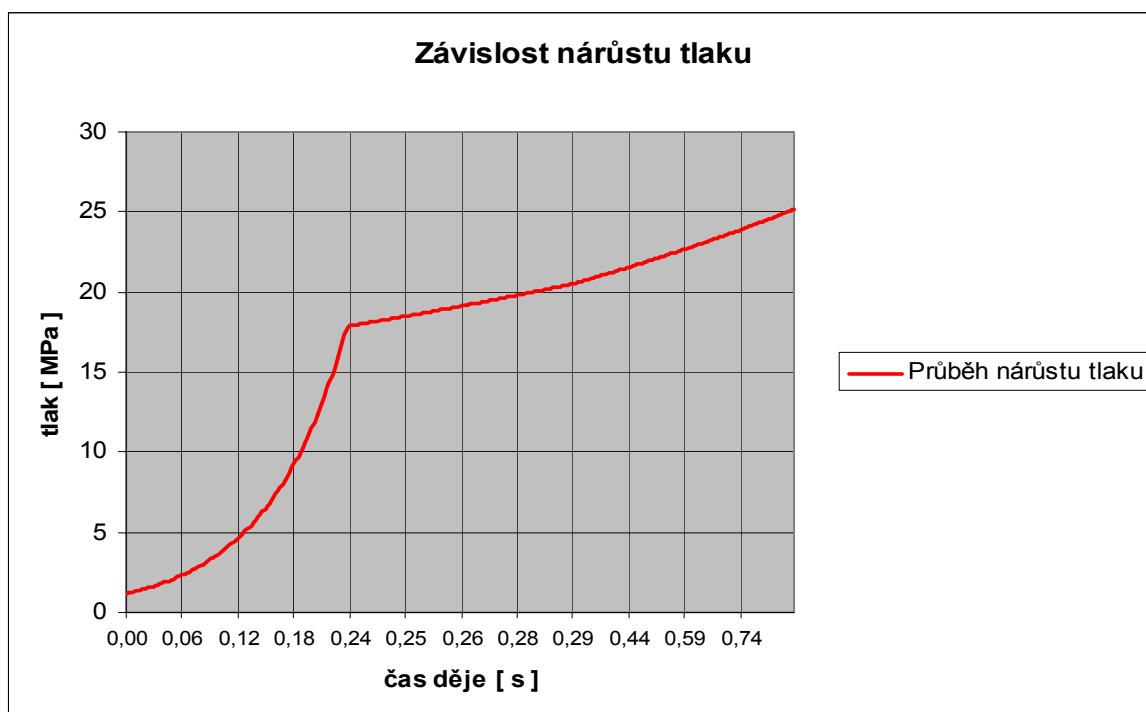
Zkušebnímu cyklu odpovídá tedy následující sekvence funkcí:

F1-F2-F3- F2-F3- F2-F3-F4-F6-F2-F5-F6-F7-F8

3.5 Nastavení potřebných parametrů

Doba náběhu

Obecně je pojem vysvětlen v části P 1 : **Elektro-hydraulická analogie**, v grafické podobě na obrázek 4 závislost p-t pro tlakovou zkoušku. Podrobnosti ke grafu „obrázek 28“ jsou uvedeny v části P 2 : Výpočet předpětí plynového akumulátoru.



obrázek 28 závislost p-t, délka děje

Doba náběhu $t_{0,95}$

$$P_{0,95} = 0,95 * p_z [MPa]$$

(15)

$t_{0,95}$ - čas, za který je dosaženo 0,95 p_z , tedy požadované hodnoty
z grafu odečtena hodnota $t_{0,95}=0,72$ s

Vzorkovací perioda

Vzorkovací perioda- minimální

$$f = \frac{1}{6} \div \frac{1}{15} t_{0,95} [MPa] \quad (16)$$

zvolil jsem hodnotu 1/15

$$f = 0,067 * t_{0,95}$$

$$f = 48ms$$

Vzorkovací perioda- reálná

$$f = t_{\text{čidlo}} + t_{A/D} + t_{PLC} [ms]$$

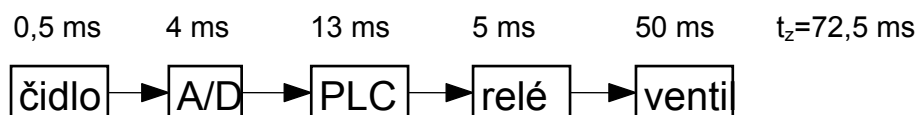
$$f = 17,5 ms \quad (17)$$

$t_{\text{čidlo}}$ - zpoždění tlakového čidla

$t_{A/D}$ - zpoždění A/D převodníku

t_{PLC} - doba běhu programu (smyčka)

t_z - doba zpoždění pro odpojení tlaku



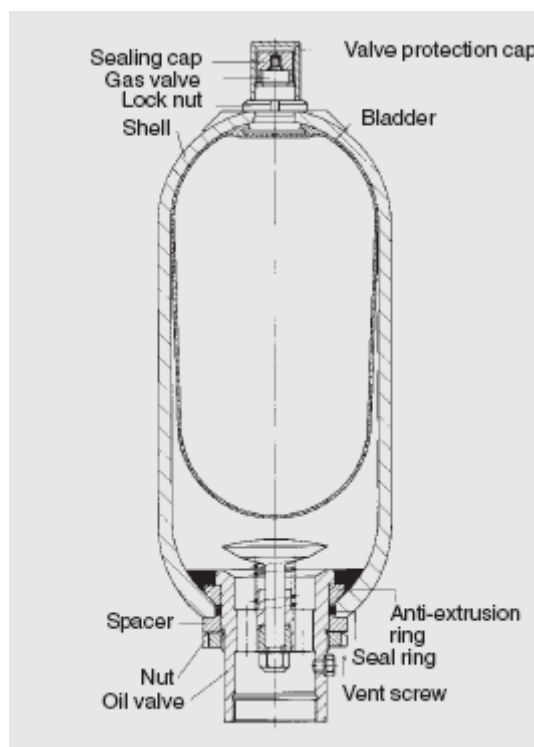
obrázek 29 měřicí řetězec

Plynový akumulátor

"Slabým místem" měřicího řetězce je sedlový ventil- obrázek 17. Po naměření a vyhodnocení tlakové veličiny dochází k „překmitu“ tlaku v obvodu, v důsledku poměrně dlouhé reakční doby sedlového ventilu. Po dosažení-naměření hodnoty přestavovacího tlaku $p_p = 6,3 \text{ MPa}$ dojde k reálnému nárůstu tlaku na hodnotu $p = 13,5 \text{ MPa}$, což reprezentuje překmit o 114%! U vyšších tlaků, jež jsou v oblasti zkušební tlaku, by takový překmit mohl způsobit trvalé poškození hydromotoru, případně jeho destrukci.

Ke zpomalení procesu jsem navrhl hydraulický akumulátor, jenž při optimálním předpětí vytvoří tzv. „pružný prvek“. V podstatě se jedná o tzv. plynovou pružinu. Velikost překmitu lze ovlivnit optimálním "předpětím" akumulátoru. Předpětí dosáhneme velikostí přetlaku v plynové komoře. Velikost překmitu je přímo úměrná velikosti předpětí v

akumulátoru. Ideální stav představuje nulový tlak v plynové komoře akumulátoru, což je na druhé straně v rozporu s neúměrným zahříváním plynu při jeho periodickém stlačování. Vztahy a souvislosti s touto problematikou jsou uvedeny v příloze "Elektro-hydraulická analogie". P 1 :



obrázek 30 membránový akumulátor

Rovnice adiabaty [4]

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \quad (18)$$

p_1 - tlak v akumulátoru na počátku děje

p_2 - tlak v akumulátoru na konci děje

V_1 - objem akumulátoru na počátku děje

V_2 - objem akumulátoru na konci děje

n - exponent adiabatické změny

Rovnice akumulátoru [3]

$$p_2 = p_1 * \frac{V_1^n}{(V_1 - \Delta Q_2)^n} [Pa] \quad (19)$$

$$p_2 = 25 * 10^6 * \frac{(3,2 * 10^{-4})^n}{(3,2 * 10^{-4} - 3,96 * 10^{-6})^n} [Pa]$$

$$p_2 = 25,4 \text{ MPa}$$

ΔQ_2 - množství oleje dodané čerpadlem Q_2 za dobu $t_z = 72,5 \text{ ms}$

$$\Delta Q_2 = 3,96 * 10^{-6} [m^3 * s^{-1}]$$

$$p_1 = p_z = 25 * 10^6 [Pa]$$

p_2 - tlak v akumulátoru na konci děje

$$V_1 = 3,2 * 10^{-4} [m^3]$$

$$V_2 = 3,16 * 10^{-4} [m^3]$$

$$n = 1,3$$

Překmit zkušební tlaku

$$\Delta p = \frac{p_2}{p_z * 0,01} - 100 = \frac{25,4}{0,25} - 100 = 1,6\% \quad (20)$$

4 POROVNÁNÍ STÁVAJÍCÍHO A ZAMÝŠLENÉHO ZPŮSOBU VÝSTUPNÍ KONTROLY

4.1 Stávající způsob-kvalitativní posouzení

Požadavky na kvalifikaci

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1, zkoušku může provádět jen speciálně proškolený pracovník, dokonale znalý problematiky. Toto je dosti omezující kritérium, neboť vystává problém v nahrazování pracovníků. Je nutno mít více proškolených lidí, popřípadě pokrýt práci přesčas, což s sebou nese zvýšené mzdové náklady.

Dodržování technologické kázně

O průběhu provedené zkoušky neexistuje žádný prokazatelný záznam, který by dokládal přesné dodržení zkušebních tlaků, prodlevu na tomto tlaku, předepsaný počet dvojzdvihů pro rozpohybování, velikost rozběhového tlaku atd. Selhání na základě tzv. "lidského faktoru" má za následek reklamační řízení, která s sebou nesou zvýšené náklady a následné snížení ziskovosti. Nehledě na škody způsobené získáním "špatné pověsti" a odliv zákazníků.

Vysoký podíl lidské práce

Jak jsem již nastínil v kapitole 2.1 a 2.2, zkušební proces obsahuje poměrně vysoký podíl manuální a duševní práce. Pracovník je neustále nucen kontrolovat hodnoty tlaku na ručičkových měřidlech, a tyto zapisovat. Dále musí neustále ručně přestavovat hydraulické rozvaděče a ventily. Zkouška má dle normy, jak je uvedeno v kapitole 1.4 probíhat za definovaných teplot, které je také nutno neustále kontrolovat. Vysoký podíl lidské práce má za následek buď nedodržení technologické kázně, nebo s přibývajícím délkou pracovní doby postupné snižování produktivity práce.

4.2 Navrhovaný způsob řízení procesu PLC automatem.

- omezit chyby způsobené tzv. „lidským faktorem“
- dosažení plné automatizace zkušebního cyklu
- možnost využití běžně vyškolených pracovníků
- zařízení nastaví hodnoty zkušebního tlaku a tvar zkušebního cyklu.
- provádět zkoušku za optimálních, předepsaných podmínek
- regulace teploty hydraulického oleje, hlídání úrovně hladiny
- kontrola stavu znečištění olejových filtrů
- paměť pro záznam naměřených hodnot

4.3 Ekonomický rozbor navrhovaného zařízení

Realizace projektu byla svázána vysokou užitnou hodnotou zařízení. Důraz ze strany vedení společnosti Hydraulics s.r.o. byl především na následující skutečnosti:

1. Cena zařízení v rozmezí 70-100.000 Kč
2. Realizovatelnost v horizontu 3 měsíců od schválení projektu
3. Životnost zařízení minimálně 10 let
4. Bezúdržbový provoz po dobu nejméně 3 let
5. Návratnost investice nejpozději do 2 let

Životnost navrhovaného zařízení

Roční produkce lineárních hydromotorů ve firmě Hydraulics s.r.o. je v současné době cca 15.000 ks. Jeden normalizovaný zkušební cyklus představuje 28 sepnutí relé. Nejvíce zatíženým obvodem je Výkonný obvod viz kapitola 3.3. Dle údajů výrobce, pro PLC TC 506, je garantovaný počet sepnutí kontaktů relé $2 \cdot 10^7$ cyklů.

Počet cyklů PLC za rok

$$n = 15.000 \cdot 28$$

$$n = 420.000$$

(21)

Teoretická životnost PLC

$$N = 2 \cdot 10^7 / 420.000$$

$$N = 23,8 \text{ roku} \quad (22)$$

Fond pracovní doby

Při své úvaze jsem vycházel z předpokládané doby trvání jednoho zkušebního cyklu 7 min pro každý hydromotor. Jedná se o průměrnou délku trvání, která je odvislá od velikosti hydromotoru. Čas čisté pracovní doby jsem volil 5,5 hod/ den. Počet pracovních dnů v roce 250, bez svátků. Dále jsem uvažoval pro konkrétního pracovníka 20 dnů řádné dovolené. Ve svých výpočtech jsem dále neuvažoval nemoc pracovníka. Tato skutečnost dále ještě zvyšuje výhodnost obsluhy libovolným pracovníkem.

Počet normohodin pro roční produkci

$$M = (7 \cdot 15.000) / 60$$

$$M = 1750 \text{ hod} \quad (23)$$

Doba potřebná k odzkoušení roční produkce je tedy 1750 hodin

Fond pracovní doby za rok, pro jednoho pracovníka

$$M_p = (250 - 20) \cdot 5,5$$

$$M_p = 1265 \text{ hod} \quad (24)$$

Deficit pracovní doby

$$\Delta M = M - M_p$$

$$\Delta M = 1750 - 1265$$

$$\Delta M = 485 \text{ hod} \quad (25)$$

Deficit odpovídá cca 40% pracovní směny. Tuto dobu lze v případě použití PLC automatu s úspěchem realizovat pracovníkem, který byl běžně proškolen.

Úspora mzdových nákladů

Pro svou kalkulaci jsem uvažoval, k porovnání maximální rentability zařízení, využitím "speciálně vyškoleného pracovníka", dále jen P1, a "běžného pracovníka", P2. V případě P1 by muselo být díky hodnotě z rovnice (25) Deficit pracovní doby, využita práce přesčas, což s sebou nese zvýšené náklady. Případě P2 by práci zastali dva pracovníci, přičemž zbývající pracovní dobu (60% pracovní směny) by dělník vykonával jinou práci. Uvedené hodinové mzdy jsou včetně odvodů, jedná se tedy o mzdový náklad zaměstnavatele.

MP1= 150 Kč/h	- hodinová mzda P1
MPP1= 188 Kč/h	- cena přesčasové hodiny P1
MP2= 120 Kč/h	- hodinová mzda P2
Mp= 1265 hod	- roční pracovní fond
ΔM= 485 hod	- fond přesčasů

Roční mzdové náklady P1

$$MRP1 = MP1 \cdot Mp + MPP1 \cdot \Delta M$$

$$MRP1 = 150 \cdot 1265 + 188 \cdot 485$$

$$MRP1 = 189.750 + 91.180$$

$$MRP1 = 280.930 \text{ Kč} \quad (26)$$

Roční mzdové náklady P2

$$MRP2 = (Mp + \Delta M) \cdot MP2$$

$$MRP2 = (1265 + 485) \cdot 120$$

$$MRP2 = 210.000 \text{ Kč} \quad (27)$$

Roční úspora mzdových nákladů

$$\Delta MRP = MRP1 - MRP2$$

$$\Delta MRP = 280.930 - 210.000$$

$$\Delta MRP = 70.930 \text{ Kč} \quad (28)$$

Roční mzdové náklady speciálně proškoleného pracovníka	280.930 Kč
Roční mzdové náklady běžného pracovníka	210.000 Kč
Roční úspora mzdových nákladů ΔMRP	+ 70.930 Kč

Návratnost investice do technologického zhodnocení

Do nákladové složky jsem započítal pouze technologii řízení zkušebního procesu. Uvedené ceny jsem získal ve cenících platných pro 4.2005, firem Hydac International s.r.o. a TECOMAT Kolín. Srovnání má pouze informativní charakter, jelikož jsou mnohé z cen závislé na aktuálních kursech ČNB ze dne 12.5.05 30,01 Kč/ EUR a 23,43 Kč/ USD.

Seznam použitých komponent:	počet	materiál	práce
Tlakové čidlo HDA 3700	2x	21.000 Kč	
Teplotní čidlo ETS 4144-A	1x	6.500 Kč	
TC 401	1x	5.600 Kč	
TC 402	1x	7.300 Kč	
TC 506	1x	23.350 Kč	
Stabilizovaný zdroj PW 7901 24 AC/DC	1x	5.000 Kč	
Montáž, programování, záruční servis	1x		20.000 Kč
Cena celkem (C)			88.750 Kč

Uvedené ceny jsou bez DPH.

Doba návratnosti investice

$$DN = C / \Delta \text{MRP}$$

$$DN = 88.750 / 70.930$$

$$DN = 1,25 \text{ roku} \quad (29)$$

Z ekonomického rozboru cenové kalkulace a výše mzdových nákladů vyplývá výše uvedená teoretická doba návratnosti investice. Vzhledem ke skutečnosti, že rozdíl v hodnotě teoretické životnosti zařízení cca 24 let, viz. rovnice (22) a době návratnosti 1,25 roku, viz. rovnice (29), je značný, ve výpočtech nebyl uvažován vliv inflace, devalvace, ani vývoj mzdových nákladů způsobených vývojem na trhu práce.

ZÁVĚR

Cílem bylo vypracování projektu, jehož technické řešení by směřovalo k plné automatizaci zkušebního cyklu. Po zadání jednoduché informace (číslo z průvodního listu k výrobku) se na zařízení nastaví hodnoty zkušební tlaku a tvar zkušebního cyklu. Dále pak lze provádět zkoušku za optimálních, předepsaných podmínek. V soustavě bude využita regulace teploty hydraulického oleje, hlídání úrovně hladiny prostřednictvím kapacitních čidel pro případ havarijního stavu, kontrola stavu znečištění olejových filtrů, snímání hodnot tlaku. Zařízení bude dále osazeno pamětí pro záznam naměřených hodnot pro analýzu přechodových dějů hydraulického tlumení. K řízení zkušebního cyklu bylo použito PLC firmy TECOMAT Kolín. K výběru PLC automatů tohoto výrobce mě vedly následující důvody

1. Dostupnost velkého množství literatury
2. Příznivé cenové relace a relativně krátké dodací lhůty
3. TECOMAT je nosným PLC předmětu "Programovatelné automaty"
4. HOT-Line v češtině

Řídicí systém byl rozdělen na tři části. K řízení celého hydraulického agregátu je zapotřebí poměrně velkého počtu výstupů. Uvedená kombinace počtu binárních vstupů a výstupů, doplněných o analogové vstupy není běžně dostupná na trhu. Důvod rozdělení a následného použití tří PLC byl v použití standardních PLC, bez zakázkových obvodů, které s sebou vždy nesou zvýšené náklady a prodloužení dodacích lhůt. Neméně důležitým důvodem rozdělení bylo omezení chyb způsobených selháním jednoho jediného řídicího obvodu. Řízení je rozděleno do tří následujících částí:

1. **Kontrolní obvod**, který má zajišťovat rozběh hydraulického agregátu. Dále zajišťuje kontrolu správných pracovních podmínek. Jedná se především o dodržení předepsaných pracovních teplot, jež jsou dány normou a kontrolu čistoty filtrů
2. **Silový obvod** je dalším článkem systému. Obvod překontroluje průchodnost vysokotlakých filtrů. Po této operaci může následovat faktický rozběh nízkotlakého a vysokotlakého čerpadla.

3. **Výkonný obvod** již provádí dle naprogramovaných sekvencí vlastní tlakovou zkoušku. Po doběhnutí sekvence podprogramů následuje ukončení zkoušky a upozornění obsluhy na tuto skutečnost.

Realizace projektu byla svázána vysokou užitnou hodnotou zařízení. Důraz ze strany vedení společnosti Hydraulics s.r.o. byl především na následující skutečnosti:

- Cena zařízení v rozmezí 70-100.000 Kč
- Realizovatelnost v horizontu 3 měsíců od schválení projektu
- Životnost zařízení minimálně 10 let
- Bezúdržbový provoz po dobu nejméně 3 let
- Návratnost investice nejpozději do 2 let

V průběhu uvádění zařízení do provozu se vyskytl poměrně závažný problém, týkající zpoždění rozepnutí sedlových ventilů. Obvyklá doba rozepnutí sedlového ventilu $t_r=50$ ms. Vzhledem k délce trvání děje náběhu tlaku je to velmi dlouhá doba. Vlivem této doby docházelo k poměrně velkému překmitu požadované hodnoty, což by v běžném provozu mohlo mít za následek destrukci zkoušeného hydromotoru. Velikost překmitu byla eliminována přidáním pružného prvku do soustavy- plynového akumulátoru, jehož přítomnost měla za následek „natažení“ časové osy děje. K optimalizaci „předpětí“ plynového akumulátoru bylo použito programu Excel.

A co v vysoce kvalifikovaným, teď již zdánlivě nepoužitelným pracovníkem? "Speciálně proškolený pracovník" bude přeřazen na jinou činnost. Bude se věnovat výzkumné a vývojové práci. V dnešní době, po vstupu do EU, kdy jsme vystaveni tlaku zvýšené konkurence, je nutné racionální využití lidských zdrojů. Bylo by plýtváním, využívat vysoce kvalifikovaných pracovníků pro běžné, rutinní práce, je-li možno přenést tuto činnost PLC techniku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Hydraulics s.r.o.: www stránky firmy Hydraulics s.r.o., 2003
Dostupné na URL: <http://www.hydraulics.cz/cz/index.html>
- [2] TECO a.s.: WWW stránky firmy TECO a.s., 2005
Dostupné na URL: <http://www.tecomat.com/cz/index.html>
- [3] Prokeš J.: Hydraulické mechanismy, Práce, Praha 1963
- [4] Kříž R., Vávra P.: Strojírenská příručka díl 2. a 3., Scientia spol. s r.o. Praha 1993
- [5] Hruška F.: Technické prostředky automatizace IV., FT-UTB 2003
- [6] Novák P.:Jednostupňové a teleskopické přímočaré hydromotory, ČSN 11 9372
Český normalizační institut, Praha 1987
- [7] Novák P.:Tlakové nádoby stabilní- technická pravidla, ČSN 69 0010-1.1, Český normalizační institut, Praha 1987
- [8] Novotný P.: Hydrostatické mechanismy, ČSN 11 9008, Český normalizační institut, Praha 1991

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

f- Vzorovací perioda [ms]

H8, f7- toleranční pole v jednotném systému lícování ISO

LSB – Least Significant Bit (nejnižší bit binární hodnoty)

n- exponent adiabatické změny

ΔQ_2 - množství oleje dodané čerpadlem Q_2 za dobu $t = 72,5$ ms

Q_1 - množství oleje dodané nízkotlakým čerpadlem [m^3]

Q_2 - množství oleje dodané nízkotlakým čerpadlem [m^3]

PČH- přímočarý hydromotor

PLC- Program logic controll

p_n - nejvyšší pracovní přetlak [MPa]

p_r - rozběhový tlak [MPa]

p_p - přepínací tlak [MPa]

p_z - zkušební tlak [MPa]

p_1 - tlak v akumulátoru na počátku děje [MPa]

p_2 - tlak v akumulátoru na konci děje [MPa]

t_a - pracovní teplota oleje [$^{\circ}C$]

$t_{A/D}$ - zpoždění A/D převodníku

$t_{\text{čidla}}$ - zpoždění tlakového čidla

t_n - doba náběhu na zkušební tlak [s]

t_{PLC} - doba běhu programu (smyčka)

t_v - doba výtrže na zkušební tlaku [s]

t_z - doba zpoždění odpojení od tlaku [s]

V_1 - objem akumulátoru na počátku děje [m^3]

V_2 - objem akumulátoru na konci děje [m^3]

SEZNAM OBRÁZKŮ

obrázek 1 řez lineárním hydromotorem.....	8
obrázek 2 schématické uspořádání PČH.....	13
obrázek 3 závislost p-t pro "dvojzdvih".....	13
obrázek 4 závislost p-t pro tlakovou zkoušku.....	14
obrázek 5- schéma zapojení hydromotoru.....	15
obrázek 6- prostor „A“ tlaková zkouška.....	16
obrázek 7- prostor „B“ tlaková zkouška.....	17
obrázek 8 blokové schéma řízení.....	19
obrázek 9 schéma kontrolního okruhu.....	20
obrázek 10 teplotní čidlo ETS 4144-A.....	21
obrázek 11 schéma zapojení teplotního čidla.....	21
obrázek 12 spínač podtlaku.....	23
obrázek 13 TECOMAT TC 402.....	27
obrázek 14 svorkové zapojení TC 402.....	27
obrázek 15 silový obvod.....	29
obrázek 16 čidlo tlak. filtru.....	31
obrázek 17 sedlový ventil-řez.....	32
obrázek 18 sedlový ventil- schéma zapojení.....	32
obrázek 19 svorkové zapojení TC 401.....	33
obrázek 20 výkonný obvod.....	34
obrázek 21 tlakové čidlo HDA 3700.....	35
obrázek 22 schéma připojení HDA 3700.....	36
obrázek 23 rozvaděč 4WE10J 3X.....	37
obrázek 24 schématická značka 4WE10J 3X.....	37
obrázek 25 značka B9 381RF.....	38
obrázek 26 TECOMAT TC 506.....	38
obrázek 27 svorkové zapojení TC 506.....	39
obrázek 28 závislost p-t, délka děje.....	44
obrázek 29 měřicí řetězec.....	45
obrázek 30 membránový akumulátor.....	46
obrázek 31 princip hydraulické kapacity.....	63
obrázek 32 technologické schéma hydraulické kapacity.....	64
obrázek 33 závislost změny objemu hydraulické hadice.....	66
obrázek 34 nárůst tlaku v obvodu.....	67

SEZNAM TABULEK

tabulka 1 Hodnoty průsaků V [cm ³].....	12
tabulka 2 t_a - požadovaná pracovní hodnota [°C]	25
tabulka 3 rozběh kontrolního obvodu	25
tabulka 4 regulace teploty	26
tabulka 5 spuštění M1	30
tabulka 6 spuštění M2	31
tabulka 7 sedlového ventilu Y1	32
tabulka 8 sedlového ventilu Y2	33
tabulka 9 p_a -požadovaná pracovní hodnota [kPa]	37
tabulka 10 F1-naplnění	41
tabulka 11 F2-vysunutí	41
tabulka 12 F3-zasunutí.....	41
tabulka 13 F4-tlakování komory "B"	42
tabulka 14 F5- tlakování komory "A"	42
tabulka 15 F6- dekomprese systému.....	42
tabulka 16 F7-zasunutí vzduchem	43
tabulka 17 F8-ukončení cyklu	43

SEZNAM PŘÍLOH

- P 1 : Elektro-hydraulická analogie
- P 2 : Výpočet předpětí plynového akumulátoru
- P 3 : Řez hydromotorem
- P 4 : Schéma hydraulického agregátu
- P 5 : Výkresová dokumentace hydraulického agregátu

A ELEKTRO-HYDRAULICKÁ ANALOGIE

Mezi elektrickými a hydraulickými obvody existuje jistá analogie, které lze s úspěchem využít ke zjednodušení symboliky a ke zvýšení přehlednosti výpočtů. Pro náš případ uvažujeme pouze výpočty hydraulické kapacity, který je uveden v bodu A.3, jelikož se z hlediska problematiky tlakových zkoušek jedná pouze statickou soustavu. Ve výpočtech uvažují mezní stav, kdy kapacita samotného hydromotoru se rovná nule. V podstatě jde o nekonečně malý hydromotor. Kapacita hydromotoru je obecně přímo úměrná jeho velikosti. Z předchozí věty vyplývá, že s velikostí hydromotoru se v čase prodlužuje i děj nárůstu tlaku. Tato skutečnost je pro velikost překmitu pozitivní, neboť tento se vzrůstající kapacitou hydromotoru klesá. Na straně druhé však dochází k celkovému prodlužování děje, což by mohlo mít negativní vliv v aplikacích náročných na co nejkratší čas, např. výrobních linek, regulátorů, servomechanismů atd.

A.1 Obdoba s Ohmovým zákonem

Hydraulický odpor, který je závislý na druhu hydraulického členu způsobujícího tlakovou ztrátu. Velikost tlakové ztráty lze přirovnat k úbytku napětí na elektrickém odporu. Hydraulickou hadici lze přirovnat v podstatě k drátu, jímž prochází proud kapaliny- analogie s elektrickým proudem. Tlaková ztráta- "úbytek napětí" je přímo úměrná délce vedení, odpor nepřímo úměrný průřezu vedení a proud kvadrátu objemového průtoku. [3]

Ohmův zákon pro hydrauliku [3]

$$Q^2 = \frac{\Delta p}{R} [m^3 * s^{-1}] \quad (30)$$

R- hydraulický odpor [kg*s²*m⁻⁸]

Δp- úbytek tlaku

Q- objemový průtok

Řazení hydraulických odporů

Paralelní řazení hydraulických odporů [3]

$$\sum_{i=1}^n Q_i^2 = \Delta p * \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} [Pa] \quad (31)$$

Sériové řazení hydraulických odporů [3]

$$\Delta p = Q^2 * \sum_{i=1}^n R_i [Pa] \quad (32)$$

A.2 Obdoba s indukovaným napětím

Tlakový přírůstek nutný ke zrychlení toku kapaliny. Časová změna průtočného množství je přímo úměrná zrychlení pohybu sloupce kapaliny. [3]

Tlakový přírůstek nutný ke zrychlení toku kapaliny [3]

$$\Delta p_z = L * \frac{dQ}{dt} [Pa] \quad (33)$$

Hydraulická indukčnost [3]

$$L = \frac{m}{f^2} \quad (34)$$

m- zrychlovaná hmota

f- průřez trubky

$\frac{dQ}{dt}$ - změna průtočného množství

Řazení indukčností

Sériové řazení indukčností [3]

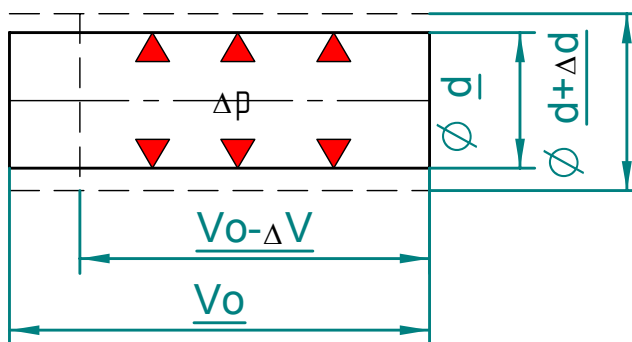
$$\Delta p_z = \frac{dQ}{dt} * \sum_{i=1}^n L_i [Pa] \quad (35)$$

Paralelní řazení indukčností [3]

$$\frac{dQ}{dt} = \Delta p_z * \sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i} \quad (36)$$

A.3 Obdoba s kapacitou kondenzátoru

Obdoba s rovnicí pro napětí na kondenzátoru. Při změně tlakového spádu (napětí) se změní objem kapaliny v mechanismu, vlivem stlačitelnosti kapaliny, pružením stěn hydraulických hadic a stěny hydromotoru. Změny jsou vyjádřeny v následující rovnici.



obrázek 31 princip hydraulické kapacity

Změna objemu kapaliny [3]

$$\Delta p = \frac{1}{C} * \int Q dt [Pa] \quad (37)$$

C- kapacita hydraulického obvodu [3]

$$C = V_o * \left(\frac{d}{E * s} + \frac{1}{K} \right) [kg * m^{-5}] \quad (38)$$

E- modul pružnosti stěny trubky [Pa]

K- modul pružnosti kapaliny [Pa]

s- síla stěny nádoby

d- vnitřní průměr

Řazení kapacit

Sériové řazení kapacit [3]

$$\Delta p = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} * \int Q dt [Pa] \quad (39)$$

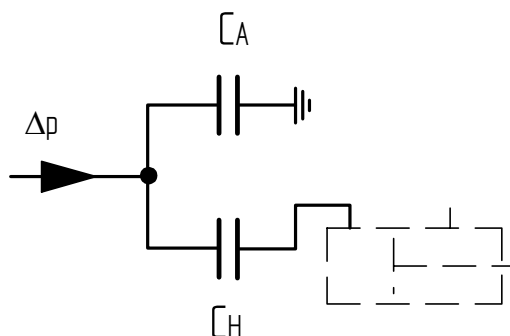
Paralelní řazení kapacit [3]

$$\Delta p = \sum_{i=1}^n C_i * \int Q dt [Pa] \quad (40)$$

A.4 Technologické schéma- popis děje

Do obvodu nám přichází tlakový olej v rozsahu $p=0 - p=p_Z$. Kapacita C_A je „nabitá“ na $p_A=18$ MPa (předpětí akumulátoru). Tlakový olej tudíž nabíjí pouze kapacitu C_H , a to až do doby, kdy $p_A=p_H$. Poté dojde k souběžnému nabíjení C_A a C_H . Jelikož je ale $C_A \gg C_H$, pro zjednodušení výpočtu, se uvažuje po překročení $p_A=18$ MPa pouze nabíjení C_A .

Obvod je osazen dvěma hydraulickými čerpadly, nízkotlakým a vysokotlakým. Nízkotlaké čerpadlo dodává do obvodu objemové množství $Q_1=5*10^{-4} \text{ m}^3*\text{s}^{-1}$, a to až do tlaku $p_{q1}=20,5$ MPa. Vysokotlaké čerpadlo dodává po dosažení tlaku p_{q1} do obvodu objemové množství $Q_2=5,5*10^{-5} \text{ m}^3*\text{s}^{-1}$, a to až do zkušebního tlaku $p_Z=25$ MPa.



obrázek 32 technologické schéma hydraulické kapacity

Kapacita hydraulických hadic C_H

Při nárůstu tlaku v obvodu dochází vlivem působení tlaku na stěny hydraulických hadic k zvětšování jejich objemu. Hodnoty v grafu jsou tabulky pro hydraulické hadice dle ČSN 63 5391. [3] Tabulka však uvádí jen skokovou změnu objemu. Pro účely výpočtu jsem kvůli zjednodušení využil rovnici spojnice trendu. Výpočet jsem opět prováděl v tabulkovém kalkulátoru.

Rovnice změny objemu hadice

$$\Delta V_H = 8,6028 * \ln(\Delta p) - 1,1016 [cm^3] \quad (41)$$

$$\Delta V_H = 8,6028 * \ln(14,5) - 1,1016$$

$$\Delta V_H = 23,8 [cm^3] \quad \text{vztaženo k 1m hadice}$$

$$\Delta V_H = 118,8 cm^3$$

Čas dosažení tlaku C_A

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta V_H}{Q_1} [s] \quad (42)$$

$$\Delta t_1 = 0,24 s$$

$$Q_1 = 5 * 10^{-4} m^3 * s^{-1} \quad \text{objemový průtok čerpadla}$$



obrázek 33 závislost změny objemu hydraulické hadice

Kapacita akumulátoru C_A

Rovnice adiabaty [4]

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \quad (43)$$

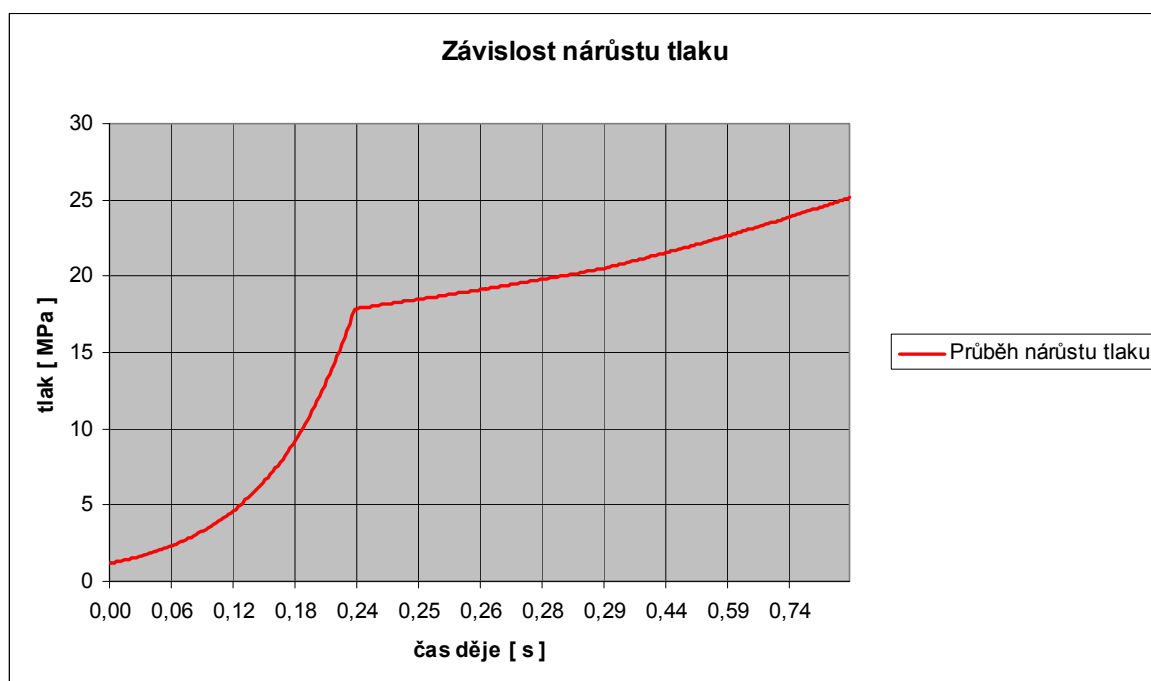
Rovnice akumulátoru [3]

$$p_2 = p_1 * \frac{V_1^n}{(V_1 - \Delta Q)^n} [Pa] \quad (44)$$

$t_{1-2} = 0,050 \text{ s}$	čas nabíjení akumulátoru čerpadlem Q1
$t_{2-3} = 0,600 \text{ s}$	čas nabíjení akumulátoru čerpadlem Q2
$t_{1-3} = 0,650 \text{ s}$	celkový čas nabíjení akumulátoru čerpadly Q1+Q2
$t_{0-3} = 0,890 \text{ s}$	celkový čas děje
$p_1 = 18 \text{ MPa}$	předpětí akumulátoru
$p_2 = 20,5 \text{ MPa}$	tlak v akumulátoru při změně plnicích čerpadel

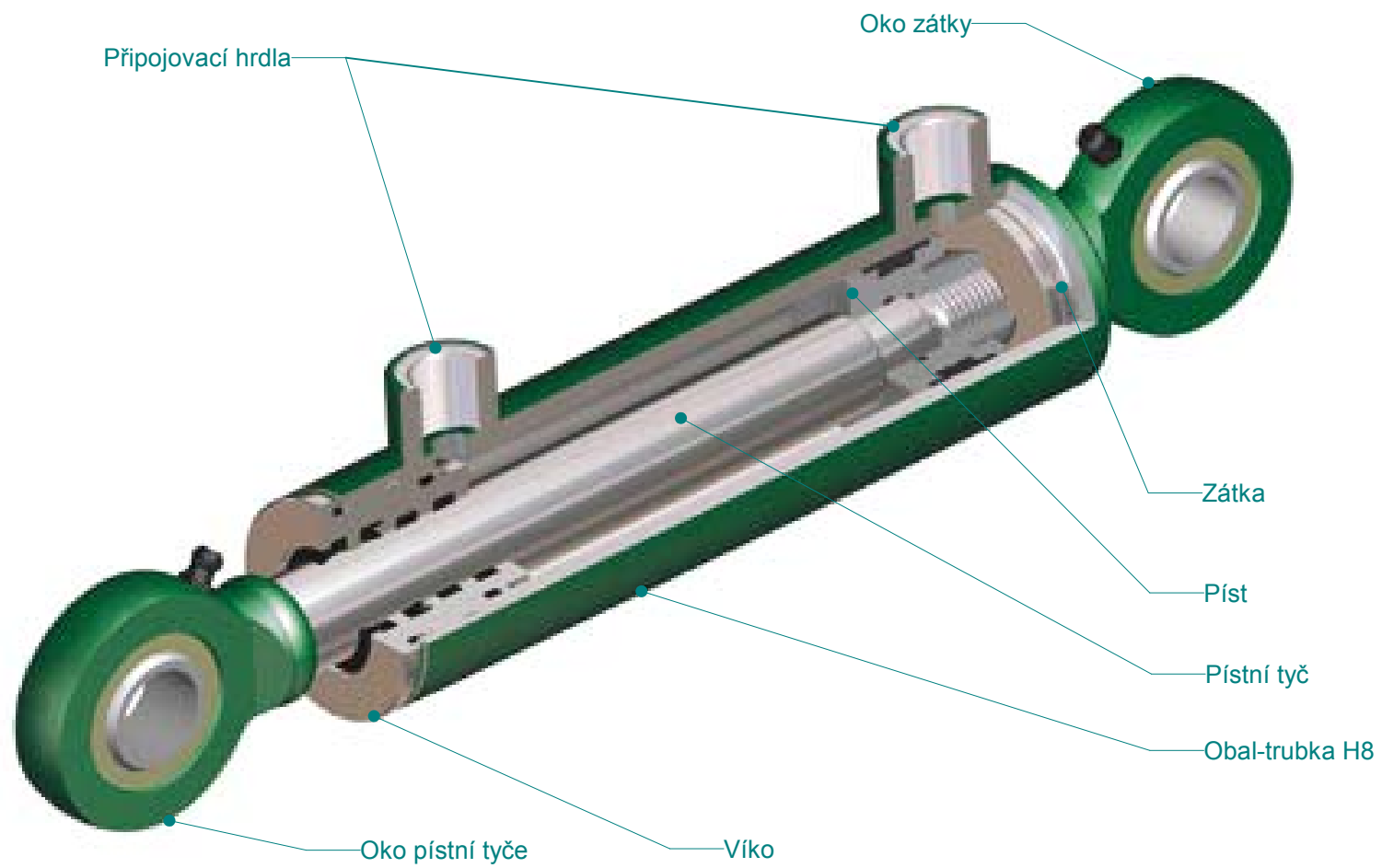
$p_3 = 25 \text{ MPa}$	tlak v akumulátoru na konci děje
$V_1 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$	objem akumulátoru na počátku děje
$V_2 = 1,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$	objem akumulátoru na konci děje
$n = 1,3$	exponent adiabatické změny
$Q_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	objemový průtok čerpadla

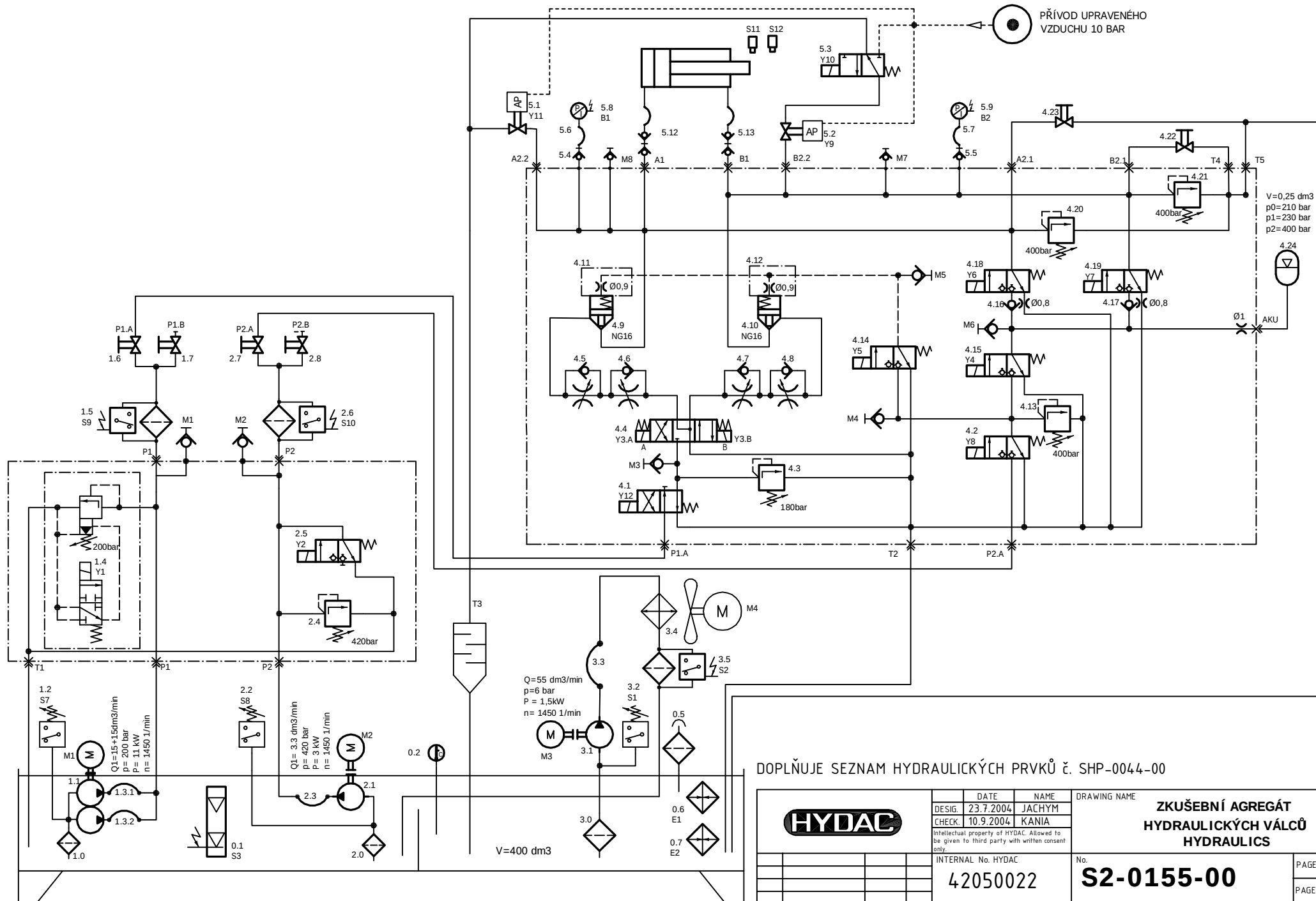
Jelikož se jedná o poměrně zdlouhavý výpočet, provedl jsem jej v tabulkovém kalkulátoru, soubor je přiložen. Pro názornost uvádím závislost p - t v přiloženém grafu.



obrázek 34 nárůst tlaku v obvodu

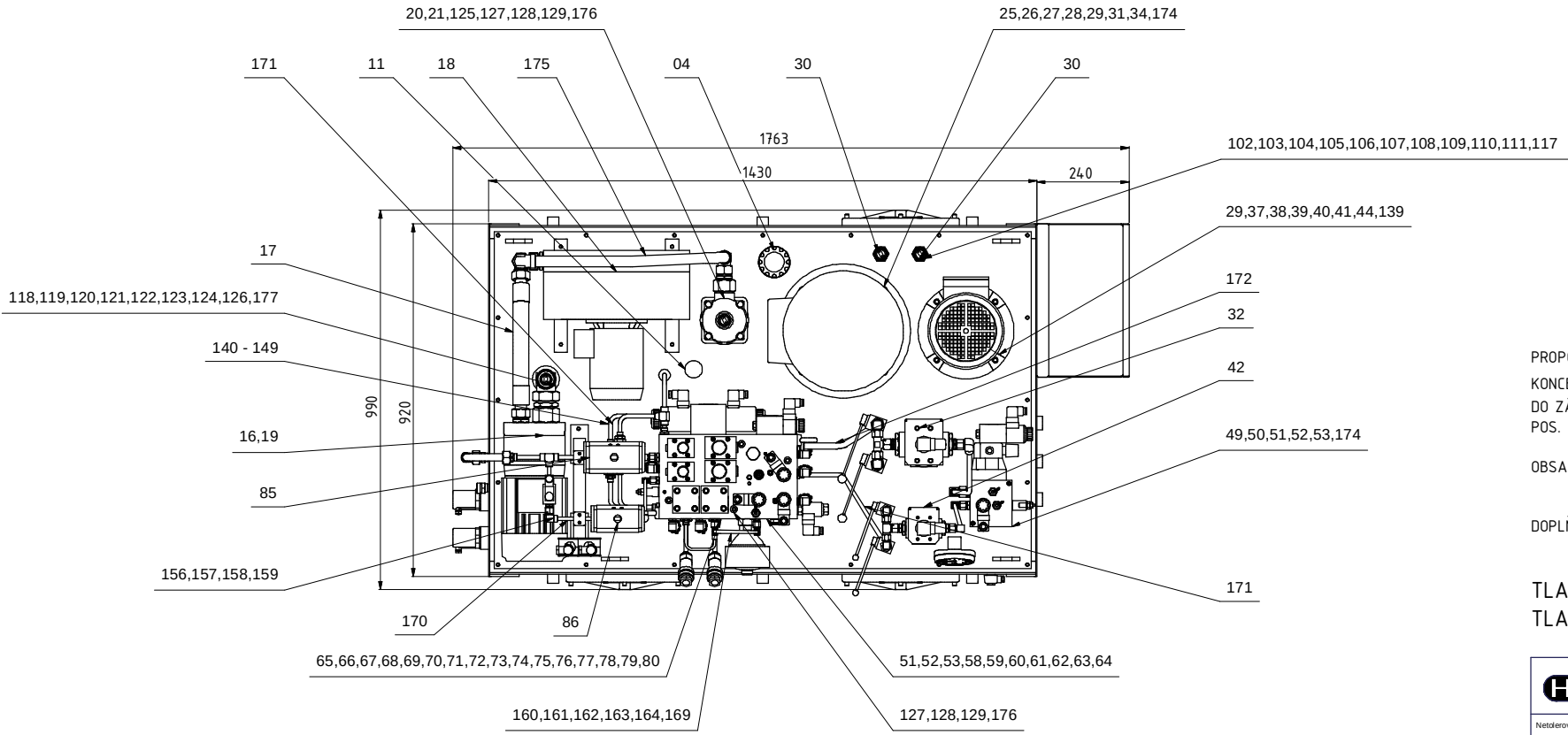
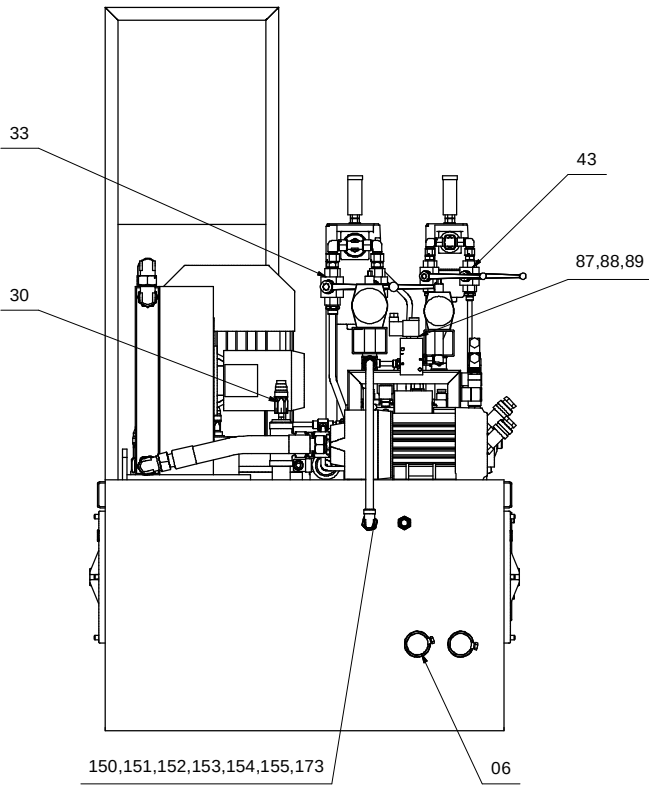
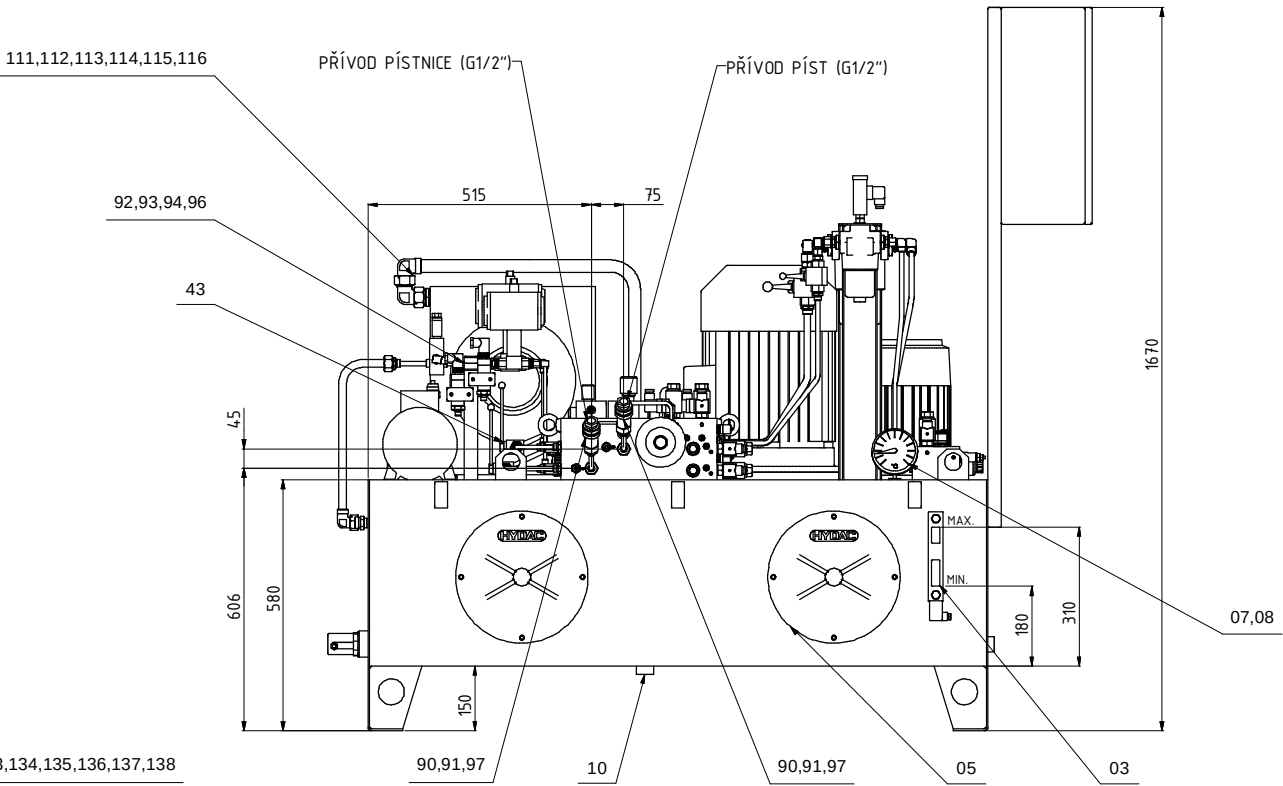
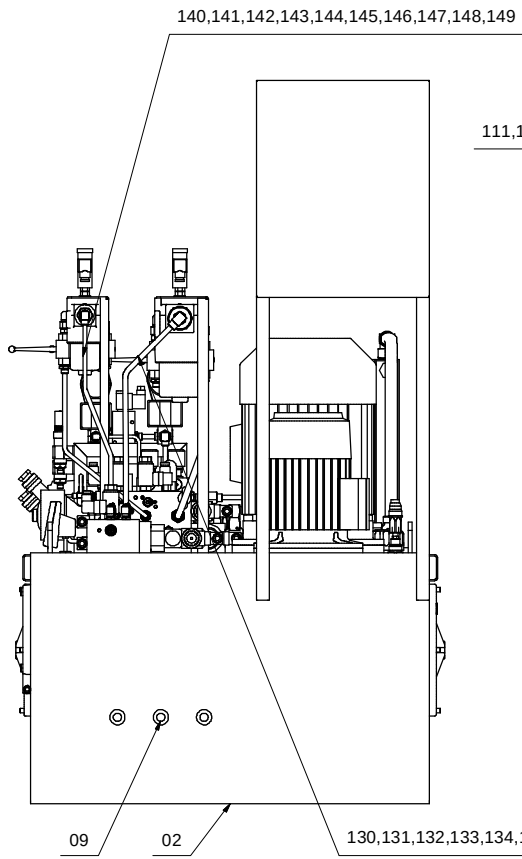
Řez hydromotorem





DOPLŇUJE SEZNAM HYDRAULICKÝCH PRVKŮ č. SHP-0044-00

HYDAC		DATE	NAME	DRAWING NAME ZKUŠEBNÍ AGREGÁT HYDRAULICKÝCH VÁLCŮ HYDRAULICS	
		DESIG	JACHYM		
		CHECK	KANIA		
		Intellectual property of HYDAC. Allowed to be given to third party with written consent only.			
		INTERNAL No. HYDAC		No.	
		42050022		S2-0155-00	PAGE 1
					PAGES 1
Index	CHANGES	DATE	SIGN	SUPERIOR DRW.	OLD DRW. NEW DRW.



PROPOJOVACÍ POTRUBÍ ŘEZAT A OHÝBAT PŘI MONTÁŽI DLE POTŘEBY
KONCE TRUBEK V NÁDRŽI SEŘÍZNOUT POS ÚHLEM 45°
DO ZÁSLEPEK POS. 109,124 VYŘÍZNOUT ZÁVIT G1/8" PRO SNÍMAČE POS. 30
POS. 95 DODAT K ZÁKAZNÍKOVÍ JAKO VOLNÝ DÍL

OBSAH OLEJE V NÁDRŽI : MAX. 400 l
MIN. 230 l

DOPLŇUJE : HYDRAULICKÉ SCHÉMA S2-0155-00
SEZNAM HYDRAULICKÝCH PRVKŮ SHP-0044-00

TLAK NÍZKOTLAKÉHO OKRUHU : PN 200
TLAK VYSOKOTLAKÉHO OKRUHU : PN 400

	Datum	6.9.2004	Měřítko	1:10	Hmotnost	cca 500,-	kg
	Kreslí	Vašíček	Cíle rozměry	Materiál			
	Podpis		Podpis				
	Schválí		Měříte				
	Podpis						
Netolerované rozměry ISO 2768-mK Povrch dle DIN ISO 1302-2							
Důležitá vlastnost HYDAC: Třetím osobám lze poskytnout pouze s písemným souhlasem. Geistiges Eigentum HYDAC. Den dritten Personen kann nur genehmigt nur von schriftliche Zustimmung. Intellectual property of HYDAC. Allowed to be given to third party with written consent only.		Znak	Znak				Znak
4205 0022			Číslo výkresu	ZM1-0021-00			1 / 1 A1 formát
Název: sest.		Stav: výkres		Název: výkres			
ZKUŠEBNÍ AGREGÁT HYDRAULICKÝCH VÁLCOV							