

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V BRNĚ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## MODERNIZACE ZKUŠEBNY HYDROGENERÁTORŮ STAVEBNÍCH STROJŮ

MODERNIZATION OF TEST ROOM OF PUMPING DEVICE OF BUILDING MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

VÍTĚZSLAV KLAPAL

doc. Ing. MIROSLAV ŠKOPÁN, CSc.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2007/08



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Klapal Vítězslav

kteřý/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Dopravní a manipulační technika (2301T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Modernizace zkušebny hydrogenerátorů stavebních strojů**

v anglickém jazyce:

### **Modernization of test room of pumping device of building machines**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnete úpravu stávající zkušebny hydraulických prvků (hydrogenerátorů a hydromotorů), která je umístěna ve firmě Agrotec, a.s., servisní středisko stavební divize, Vídeňská 125, Brno. Vyřešte zároveň i manipulační zařízení pro upevnění hydraulických prvků do zkušebny a také pro manipulaci nad pracovním stolem.

Základní technické parametry :

- maximální přenášený hydraulický výkon 35 kW
- maximální tlaky v hydraulickém obvodu 40 MPa

Cíle diplomové práce:

Vypracujte technickou zprávu obsahující zejména:

- návrh úpravy hydraulických obvodů včetně potřebných výpočtů,
- návrh řešení organizace provozu zkušebny včetně ekologických požadavků
- výpočet manipulačního zařízení pro upevnění hydraulických prvků do zkušebny,
- veškeré další nezbytné výpočty – zejména pevnostní, dle pokynů vedoucího DP,
- rozvahu ekonomické náročnosti výroby včetně porovnání výrobků od různých dodavatelů,
- návod k použití zařízení – postup měření charakteristik zkoušených hydraulických prvků

Nakreslete:

- sestavu upravené hydraulické zkušebny,
- kompletní hydraulický obvod upravené zkušebny,
- sestavu kladkostrojové drážky,
- podsestavy a výrobní výkresy dle pokynů vedoucího DP.

Seznam odborné literatury:

1. Ondráček, E., Vrbka, J., Janíček, P.: Mechanika těles - pružnost a pevnost II VUT Brno, 1988
2. Janíček P., Ondráček E., Vrbka J.: Pružnost a pevnost, VUT Brno, 1992
3. Jeřábek, K. a kol.: Stroje pro zemní práce. VŠB TU Ostrava 1996
4. kol: Der Hydraulik Trainer, Band 1, Band 3. Mannesmann Rexroth 1991. ISBN 3-8023-0619-8

FAKULTA  
STROJNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 13.11.2007

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## Anotace

Diplomová práce řeší modernizaci zkušebního zařízení pro zkoušení hydraulických rotačních prvků (hydrogenerátorů a hydromotorů) pro zemní stroje, organizační úpravu uspořádání pracoviště a návrh manipulačního zařízení hydraulických prvků v prostředí AGROTEC, a.s., servisní středisko stavební divize, Brno.

## Klíčová slova

Zkušební zařízení hydrogenerátorů, hydrogenerátory, hydromotory.

## Annotation

The diploma thesis deals with the modernization of test equipment for the testing of hydraulic rotary elements (hydrogenerators and hydraulic motors), which are designed to ground machines, followed by organizational innovation of workplace and suggestion of manipulating device of hydraulic elements in AGROTEC Inc., the service center of building division Brno.

## Key words

Test equipment of hydrogenerators, hydrogenerators, hydraulic motors.

## Bibliografická citace

KLAPAL, V. *Modernizace zkušebny hydrogenerátorů stavebních strojů*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008., počet stran: 80  
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

---



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana **doc. Ing. Miroslava Škopána, Csc.** a s použitím uvedené literatury.

Datum a podpis autora diplomové práce: .....

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za jeho cenné rady, připomínky a návrhy, které mě pomohly úspěšně dokončit diplomovou práci.

Současně bych chtěl poděkovat pracovníkům firmy AGROTEC, a.s. Brno za spolupráci, poskytnutí informací k současnému pracovišti a sdělení svých požadavků a představ na funkčnost nového modernizovaného pracoviště. Tyto informace mě umožnily navrhnout co nejlepší řešení pro podmínky této firmy.

## Obsah

Anotace

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2 Cíle diplomové práce</b>	<b>9</b>
<b>3 Současný stav pracoviště</b>	<b>10</b>
3.1 Zkušební zařízení (ZZ)	10
3.1.1 Funkční schéma ZZ	10
3.1.2 Soupis prvků ZZ	11
3.1.3 Popis ZZ	12
3.1.4 Základní technické parametry ZZ	13
3.1.5 Měřicí pult	14
3.1.6 Zhodnocení současného stavu ZZ	14
3.2 Logistika pracoviště	15
<b>4 Typy zkoušených hydraulických prvků</b>	<b>16</b>
4.1 Přehled zkoušených prvků	16
4.1.1 Axiální pístové hydrogenerátory A7VO (Bosch Rexroth)	16
4.1.2 Axiální pístové hydrogenerátory (Sauer-Danfoss)	19
4.1.3 Axiální pístové hydromotory - Sauer-Danfoss	21
<b>5 Návrh modernizace ZZ</b>	<b>22</b>
5.1 Funkční schéma modernizovaného ZZ	22
5.2 Seznam použitých prvků	23
5.3 Popis modernizovaného ZZ	25
5.4 Popis úprav modernizovaného ZZ	27
5.4.1 Sací větev	27
5.4.1.1 Dvojité čerpadlo s elektromotorem	27
5.4.2 Regulační větev	29
5.4.2.1 Nepřímo řízený proporcionální redukční ventil	30
5.4.2.2 Rozvaděč 4/3	31
5.4.2.3 Rozvaděč 3/2	32
5.4.2.4 Měřicí prvky a čidla	32
5.4.3 Větev pro simulaci zátěže	36

5.4.3.1	Proporcionální tlakový ventil .....	36
5.4.4	Větev měření svodového průtoku.....	37
5.4.5	Větev přečerpávání hydraulického oleje .....	37
5.4.6	Frekvenční měnič .....	37
5.4.7	Snímač otáček.....	39
5.4.8	Nádrž .....	40
5.4.8.1	Vzduchový filtr.....	40
5.4.8.2	Elektrický snímač hladiny .....	41
5.4.8.3	Elektrický teploměr .....	42
5.4.9	Chlazení hydraulické kapaliny .....	43
5.5	Další nově použité prvky v modernizovaném ZZ .....	44
5.5.1	Pojistné ventily .....	44
5.6	Možné řešení modernizace ZZ – varianta 2 .....	45
5.6.1	Popis odvodu .....	46
5.7	Řídicí systém .....	47
5.7.1	Měření pomocí virtuálního přístroje [ 28 ] .....	47
5.7.2	Proces měření a jeho fáze .....	47
5.7.3	Filosofie a součásti vývojového systému LabView .....	48
5.7.3.1	Vývojové prostředí .....	49
5.7.3.2	Měřicí a řídicí karta [ 27 ].....	51
5.7.3.3	Zpracování signálů a obrazů pomocí LabView.....	52
<b>6</b>	<b>Návrh sloupového jeřábu.....</b>	<b>53</b>
6.1	Zhodnocení ukotvení manipulačního zařízení.....	53
6.2	Návrh sloupového jeřábu a výpočty .....	54
6.2.1	Kladkostroj .....	55
6.2.2	Kombinace zatěžovacích stavů.....	55
6.2.3	Síly působící na jeřáb .....	55
6.2.4	Model sloupového jeřábu v programu Ansys.....	57
6.2.5	Vnitřní síly na prutech .....	57
6.2.6	Volba a kontrola ložisek.....	59
6.2.7	Kontrola čepu otoče jeřábu.....	61
6.2.8	Kontrola svarů ramene .....	62
6.2.9	Reakce ve vetknutí jeřábu do země .....	64
6.2.10	Deformace prutů.....	64
6.2.11	Grafické znázornění ekvivalentního napětí pode HMH.....	66
6.2.12	Vlastní frekvence kmitání jeřábu.....	67

---

<b>7</b>	<b>Zkušební metodiky .....</b>	<b>68</b>
7.1	Postup zkoušení .....	68
7.1.1	Zkušební protokol .....	69
7.1.2	Seznam měřených veličin .....	70
<b>8</b>	<b>Návrh logistiky pracoviště .....</b>	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>Ekologie pracoviště .....</b>	<b>72</b>
<b>10</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>73</b>
<b>11</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>75</b>
<b>12</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>76</b>
<b>13</b>	<b>Seznam obrázků, tabulek a grafů .....</b>	<b>78</b>
<b>14</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>80</b>

---

## 1 Úvod

S rozvojem stavebního a zemědělského průmyslu jsou stále větší požadavky na strojní vybavení zvyšující produktivitu práce v těchto oborech a s tím úzce souvisí zvětšené požadavky uživatelů na zajištění servisních činností na těchto strojích s minimem jejich prostojů. Většina strojů aplikovaných v těchto oborech je vybavena hydraulickými obvody s hydraulickými převodníky, jejichž servis je předmětem činnosti firmy AGROTEC, a.s. - servisní středisko stavební divize Brno. Zajištění kvalitního servisu s sebou nese provádět veškeré činnosti s tím související v co nejkratším čase a v co nejvyšší kvalitě s podmínkou dodržování přísných ekologických předpisů a bezpečnosti při práci. Tyto činnosti však nelze dlouhodobě provádět bez modernizace pracovišť.

## 2 Cíle diplomové práce

Cílem této práce je navrhnout úpravy a zmodernizovat současné pracoviště oprav a zkoušení hydraulických převodníků, které je umístěné ve firmě AGROTEC, a.s. Předmětem modernizace jsou tyto hlavní prvky :

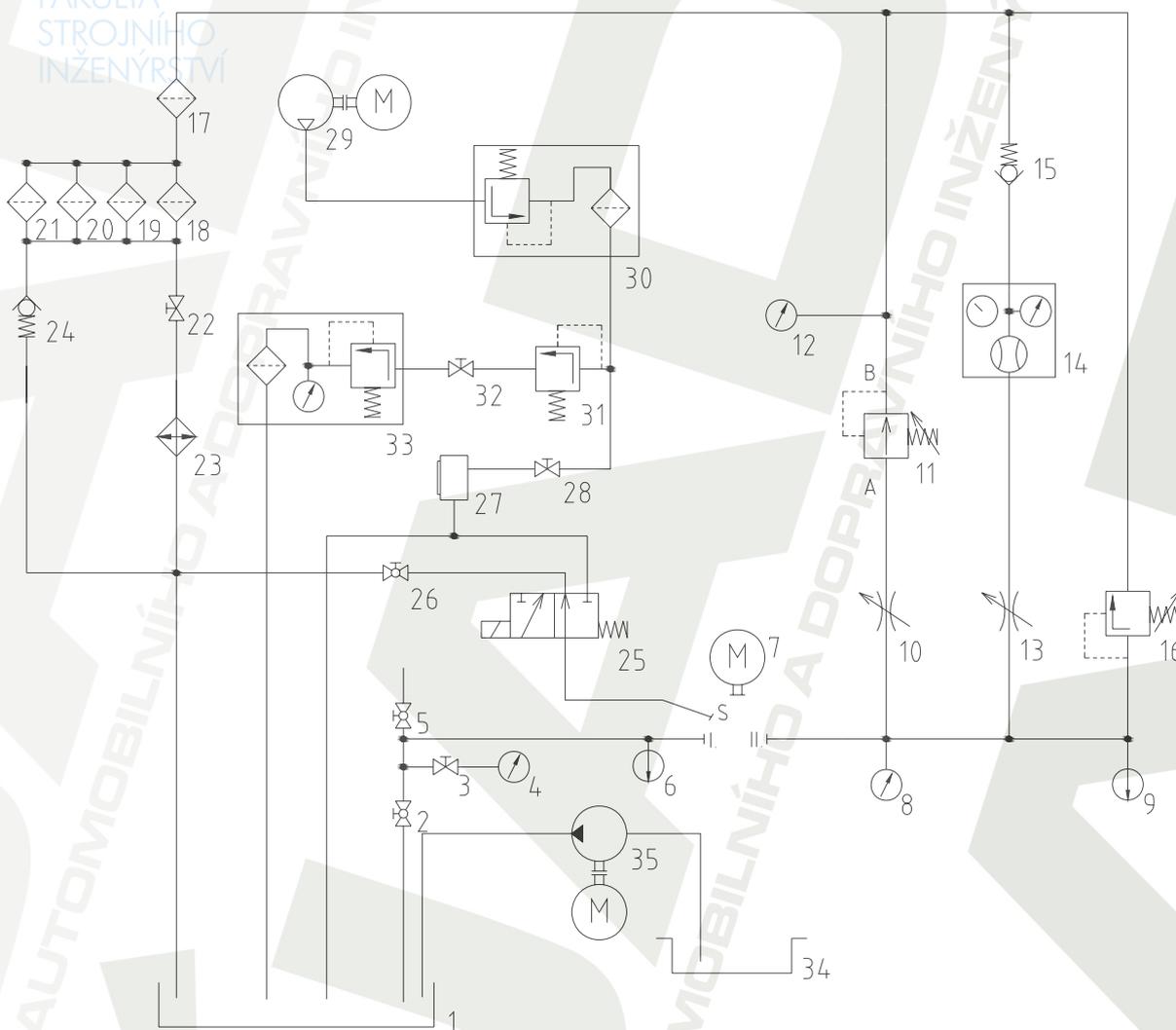
- vlastní zkušební zařízení pro zkoušení a diagnostiku regulačních i neregulačních axiálních pístových převodníků
- logistika pracoviště se změnou organizačního uspořádání dílčích pracovišť vedoucí k zajištění lepší průchodnosti výrobků pracovištěm
- návrh a umístění manipulačního zařízení pro manipulaci s výrobky po celém pracovišti

Tato diplomová práce je vypracována dle požadavků firmy AGROTEC, a.s. - servisní středisko stavební divize Brno.

### 3 Současný stav pracoviště

#### 3.1 Zkušební zařízení (ZZ)

##### 3.1.1 Funkční schéma ZZ



Obr. 1 Funkční schéma současného zapojení ZZ

## 3.1.2 Soupis prvků ZZ

Pos.	Název	Typ, označení	Výrobce
1	Nádrž	300 L	N
2	Kulový kohout	DN 100	N
3	Uzavírací kohout	N	N
4	Tlakoměr	-1 ÷ +1,5 kp/cm <sup>2</sup>	Wika
5	Kulový kohout	BKH 20S DN16 PN400 10/85 1113	N
6	Teploměr	0-100°C LUN 1356-8 HTC- 811-8/121	N
7	Elektromotor	G 8204, 55 kW, 380 V, 102 A, ČSN 353150	MEZ Frenštát
8	Tlakoměr	0-40 MPa MN3-Y	N
9	Teploměr	0-100°C LUN 1356-8 HTC- 811-8/121	N
10	Škrtkový ventil	DV-30-1.1/0-V350 bar 30/85	Fultec
11	Redukční ventil	DR 25 G2-32/100YM D22 559868	Rexroth
12	Tlakoměr	0-40 bar	Wika
13	Škrtkový ventil	DV-30-1.1/0-V350 bar 30/85	Fultec
14	Měřicí pult	Y 96	Owatona
15	Zpětný ventil	ZVV 32 č. 084 rv. 79	N
16	Tlakový ventil	DBDS 20 G12/315 D44 568084	Rexroth
17	Filtr	N	N
18	Filtr	N	N
19	Filtr	N	N
20	Filtr	N	N
21	Filtr	N	N
22	Uzavírací kohout	N	N

Pos.	Název	Typ, označení	Výrobce
23	Chladič	PN 12 5045 typ 10.0	Vzduchotechnika
24	Zpětný ventil	N	N
25	Rozvaděč	N	N
26	Kulový kohout	N	N
27	Požární průhled	N	N
28	Uzavírací kohout	N	N
29	Kompresor	N	N
30	Regulační odlučovač s rozvaděčem	N	N
31	Pojistný ventil	BK-3324 0,6 MPa	Pal
32	Uzavírací kohout	N	N
33	Regulační ventil s odlučovačem	$p_{\max \text{ in}} = 2,5 \text{ MPa}$ , $p_{\max \text{ out}} = 160 \text{ kPa}$	MMG AM
34	Odpadní nádrž	N	N
35	Odstředivé čerpadlo	N	N

Vysvětlivky : N – blíže nespecifikováno

Tab. 1 Soupis prvků stávající zkušebny

### 3.1.3 Popis ZZ

Hydraulický olej pro zkoušení hydraulických převodníků je uložen v nádrži (1), která se nachází na vyvýšeném podstavci, jenž umožňuje samospád hydraulického oleje v obvodu. Instalovaný zkoušený hydraulický převodník je připojen přes pružnou spojku k asynchronnímu motoru (7) a zapojen do hydraulického obvodu pomocí pryžových hadic. Hydraulický olej je přiveden k převodníku samospádem z nádrže po otevření uzavíracího kulového kohoutu (2) a po protočení převodníku dojde k potřebnému olejovému zahlcení obvodu. Za uzavíracím kulovým kohoutem (2) je v sací větvi dále umístěna odbočka pro snímání tlaku oleje s uzavíracím kohoutem (3) a tlakoměrem (4), teploměr (6) pro měření teploty hydraulického oleje a uzavírací kulový kohout (5) zajišťující odvodušnění sací větve. Výstupní větev je rozdělena do tří větví.

První měřicí větev je tvořena tlakoměrem (8), škrtícím ventilem (13), jenž reguluje tlak hydraulického oleje, měřícím pultem (14) a jistícím zpětným ventilem (15) zajišťujícím ochranu měřícího pultu proti zpětnému hydraulickému rázu. Hydraulický olej za měřícím pultem a zpětným ventilem je odváděn zpět do hlavní nádrže (1) odpadním vedením, které tvoří velkoobjemový filtr (17), soustava filtrů (18, 19, 20 a 21), uzavírací kohout (22), chladič (23) a obtoková větev se zpětným ventilem (24). Uzavírací kohout (22) uzavírá potrubí od nádrže a tím umožní provozní údržbu filtrů.

Druhá větev zajišťuje regulaci hydraulického oleje ve výstupní větvi pomocí škrtícího ventilu (10) a redukčního ventilu (11) s kontrolou tlaku oleje za redukčním ventilem tlakoměrem (12). Větev je napojena na potrubí odvodu hydraulického oleje do nádrže.

Ve třetí jistící větvi je umístěn teploměr (9) a tlakový ventil (16) zajišťující přetlakové jištění ve výstupní větvi. Případný přetlak hydraulického oleje je odveden potrubím připojeným na potrubí odvodu hydraulického oleje do nádrže.

Měření svodového průtoku je zajišťováno pomocí kombinovaného hydro-pneumatického obvodu. Zkoušený hydraulický převodník je připojen k obvodu koncovkou S. Hydraulický olej je veden přes rozvaděč (25) a uzavírací kohout (26) do nádrže (1) nebo je veden k požárnímu průzoru (27), kde proti oleji působí tlakový vzduch od kompresoru (29). Vzduch z kompresoru je veden přes regulační odlučovač s rozvaděčem (30) a uzavírací kohout (28) k požárnímu průzoru. Přetlakování nádrže (1) je zajištěno pomocí tlakového vzduchu odebíraného za regulačním odlučovačem s rozvaděčem (30). Tlakový vzduch je veden přes pojistný ventil (31), uzavírací kohout (32) a regulační ventil s odlučovačem (33) pod víko nádrže (1).

Pod místem instalace zkoušených hydraulických převodníků je umístěna odpadní nádrž (34) zachycující odpadní olej vznikající při odpojování převodníků od hydraulického obvodu. Olej je přečerpáván z odpadní nádrže odstředivým čerpadlem (35) do nádrže (1).

### 3.1.4 Základní technické parametry ZZ

Objem nádrže	dm <sup>3</sup>	300
Maximální přenášený hydraulický výkon	kW	35
Maximální tlaky v hydraulickém obvodu	MPa	40
Otáčky elektromotoru	min <sup>-1</sup>	1500
Provozní teplota kapaliny na vstupu zkoušeného prvku	°C	55
Tlak vzduchu v nádrži	kPa	160
Hydraulický olej	ISO VG 46 DIN 51519	

Kinematická viskozita při dané teplotě 55°C	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	22
Typy hydraulických okruhů	otevřený / uzavřený	
Chlazení	vzduchové	

Tab. 2 Technické parametry zkušebny

### 3.1.5 Měřicí pult

Jako zkušební měřicí přístroj je zde použit hydraulický tester Y 96, firmy Owatonna Tool Copany USA. Jedná se o zkušební přístroj pro měření průtoku od 0 do 750 l/min a tlaku až do 42 MPa, při teplotě provozní kapaliny 5 až 120°C. Pomocí vestavěného škrťacího ventilu pak nastavujeme zatěžovací tlak. Ventil již není funkční, proto je nutná výměna tohoto prvku. S přístrojem je možno používat fotoelektrický snímač, který umožňuje měření otáček v rozsahu 300 až 7500 min<sup>-1</sup>. Přístroj je napájen z 9-ti voltové baterie.



Obr. 2 Hydraulický tester Owatonna Y 96

### 3.1.6 Zhodnocení současného stavu ZZ

Zkušební zařízení je v současné době umístěno na pracovišti firmy AGROTEC, a.s., která provádí servis hydraulických převodníků pro stavební stroje. Na daném pracovišti je prováděna kontrola, opravy a vlastní zkoušení hydraulických převodníků. Pro potřeby přezkoušení hydraulických převodníků bylo vybudováno toto zkušební zařízení.

Z informací od pracovníků Agrotec, a.s. vyplývá, že prvotní zkušební zařízení bylo vybudováno vlastními silami s plánovaným použitím především pro zkoušení hydrogenerátorů rypadel DH 400 a DH 600. Hlavní část prvků pro zkušební zařízení byla převzata jednak z těchto typů rypadel a dále z dostupných prvků, které však plně neodpovídaly potřebám zkoušení. Zkušební zařízení bylo zkonstruováno jako otevřený hydraulický obvod s hlavní nádrží přetlakovanou vzduchem z kompresoru a umístěnou na vyvýšeném podstavci s cílem plnění hydraulického obvodu samospádem. Zkušební zařízení

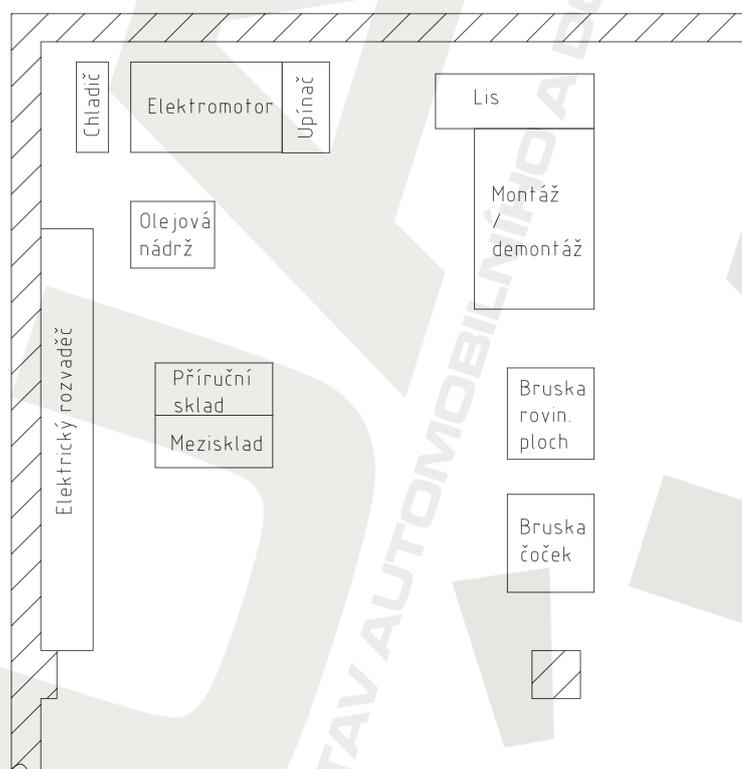
bylo v průběhu let postupně doplňováno a upravováno z nově dostupných prvků, ale požadovaných parametrů a potřebného rozsahu zkoušení se nikdy nedosáhlo.

Současný hydraulický obvod byl navržen pro generátorový režim. Na současném zkušebním zařízení lze provádět zkoušení hydraulických převodníků ve dvou různých režimech. V prvním generátorovém režimu je možné provádět zkoušky hydrogenerátorů v normálním stavu. V druhém motorovém režimu je možné provádět měření hydromotorů v generátorovém stavu.

Na současném zkušebním zařízení není vhodně vyřešeno zahlcování obvodu hydraulickým olejem, čímž hrozí zadírání převodníků, přezkušování hydrogenerátorů a hydromotorů s regulací nelze provádět v potřebném rozsahu, měření svodových průtoků objemovou metodou za pomoci požárního průhledu bez cejchované stolice je nepřesné a tudíž neobjektivní, asynchronní motor bez možnosti regulace otáček negativně zatěžuje jednotlivé prvky obvodu a celkově je provoz současného zkušebního zařízení problematický z hlediska plnění všech požadavků na zkoušky daných hydraulických prvků a přísné požadavky na ekologii a bezpečnost práce.

### 3.2 Logistika pracoviště

Současné uspořádání pracoviště je uvedeno v následujícím schématu :



Obr. 3 Uspořádání současného pracoviště

Z uspořádání současného pracoviště vyplývá, že na současném pracovišti jsou zabezpečovány všechny činnosti související s opravami hydraulických převodníků tj. demontáž, vlastní oprava s využitím jednoúčelových strojů pro úpravu dílů, zpětná montáž, přezkoušení a ukládání opravených převodníků do meziskladu. Z hlediska logistiky pracoviště bude vhodné doplnění pracoviště o příjem a výdej hydraulických převodníků, zvětšení skladových prostorů, doplnění manipulačního zařízení, neboť se jedná o hmotnostně velké převodníky a neposlední řadě změna uspořádání dílčích pracovišť s cílem plynulejšího postupu prací při opravách.

## 4 Typy zkoušených hydraulických prvků

Na pracovišti jsou prováděny opravy a zkouší se zde zejména hydraulické prvky firem Bosch Rexroth, spol. s r.o. a Sauer-Danfoss, které jsou využívány velmi často ve středních typorozměrech strojů pro zemní práce.

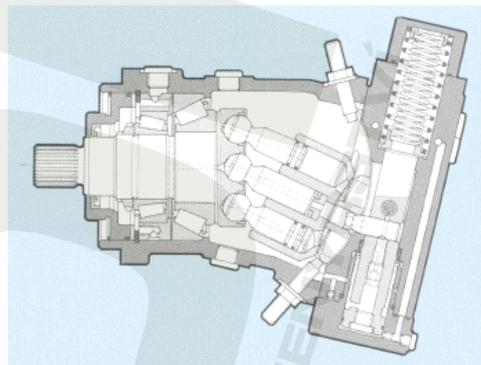
### 4.1 Přehled zkoušených prvků

Typ	Max.tlak [ bar]	Max.geom. průtok [cm <sup>3</sup> ]	Max.průtok [ l/min ]	Max.hmotnost [ kg]
Hydrogenerátory A7VO	400	160	304	71
Hydrogenerátory SPV	350	89	231	-
Hydromotory SMF	350	89	-	-

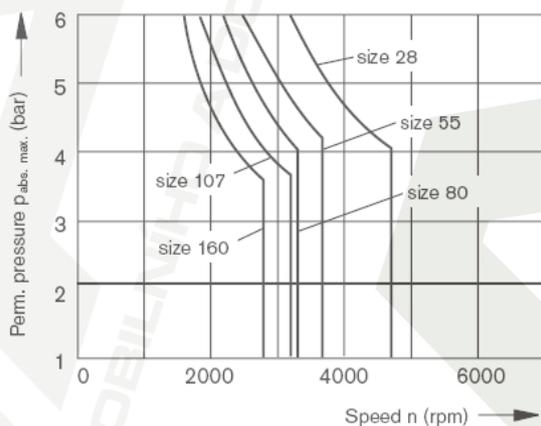
Tab. 3 Zkoušené hydraulické prvky

#### 4.1.1 Axiální pístové hydrogenerátory A7VO (Bosch Rexroth)

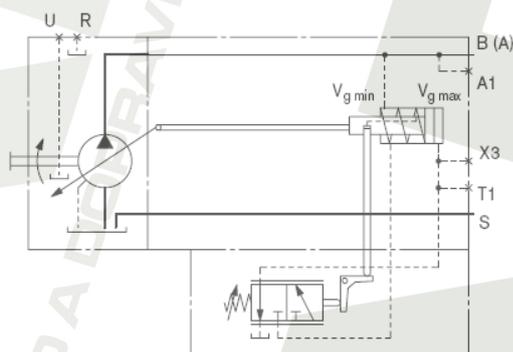
Obecně hydrogenerátory realizují přeměnu mechanické energie na tlakovou energii kapaliny. Ze sortimentu firmy Rexroth se zde zkouší hydrogenerátory A7VO řady 55 – 107 (geometrického objemu  $V_g$ ). Z dané řady se jedná o hydrogenerátory 107 a 160, které patří mezi regulační s uspořádáním: axiální kuželové písty s nakloněným blokem. Regulovatelný hydrogenerátor A7VO (obr.4) má hydraulické přestavné ústrojí pro změnu úhlu bloku válců, čímž je umožněno měnit plynule geometrický objem a průtok od 0 do  $Q_{max}$ . Krajní polohy nastavení sklonu bloku válců jsou omezeny stavitelnými dorazy.



Obr. 4 Axiální pístový hydrogenerátor s nakloněným blokem - Bosch Rexroth

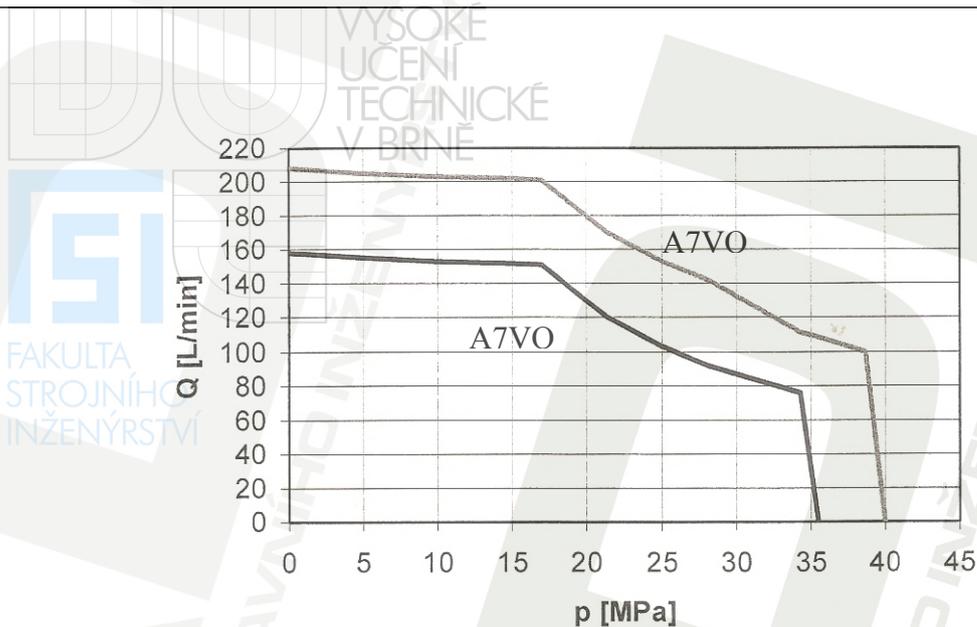


Graf 1 Závislost tlaku na otáčkách hydrogenerátoru A7VO



Obr. 5 Schéma zapojení A7VO

Objemový průtok hydrogenerátoru je závislý na otáčkách, úhlu naklonění bloku, které je ovládáno pomocí výkonostní regulace integrované v těle hydrogenerátoru viz obr.5.



Graf 2 Závislost průtoku na tlaku hydrogenerátorů A7VO, při otáčkách  $1500 \text{ min}^{-1}$

Hydrogenerátory A7VO :

<b>Jmenovitá velikost</b>			<b>107</b>	<b>160</b>
Jmenovitý tlak		bar	350	350
Maximální tlak		bar	400	400
Geometrický objem		$V_{g \text{ max}}$	$\text{cm}^3$	107 160
Počet otáček 1)		$n_{\text{max}}$	$\text{min}^{-1}$	2150 1900
Průtok	při $n_{\text{max}}$	$q_{V \text{ max}}$	l/min	230 304
Výkon	$\Delta p = 350 \text{ bar}$	$P_{\text{max}}$	kW	134 177
Kroučící moment	$\Delta p = 350 \text{ bar}$	$T_n$	Nm	596 891
	$\Delta p = 400 \text{ bar}$	$T_{\text{max}}$	Nm	681 1018
Hmotnost (cca)		$m$	kg	49 71

pozn.: 1) Hodnoty platí při absolutním tlaku 1 bar na sacím otvoru S

Tab. 4 Technické parametry hydrogenerátorů A7VO

### Určující rozměry

Průtok

$$q_v = \frac{V_g \cdot n \cdot \eta_v}{1000}$$

l/min

Kroutící moment

$$T = \frac{V_g \cdot \Delta p}{20 \cdot \pi \cdot \eta_{mh}}$$

Nm

Výkon

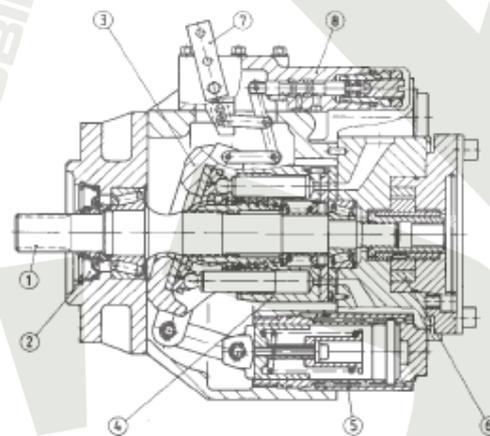
$$P = \frac{2\pi \cdot T \cdot n}{60000} = \frac{q_v \cdot \Delta p}{600 \cdot \eta_t}$$

kW

$\Delta p$	rozdíl tlaků	[ bar ]
$V_g$	geometrický objem	[ cm <sup>3</sup> ]
$n$	otáčky	[ min <sup>-1</sup> ]
$\eta_v$	objemová účinnost	[ - ]
$\eta_{mh}$	mech-hydraulická účinnost	[ - ]
$\eta_t$	celková účinnost	[ - ]

#### 4.1.2 Axiální pístové hydrogenerátory (Sauer-Danfoss)

Mezi další zkoušené prvky patří i hydrogenerátory Sauer-Danfoss nesoucí označení SPV 20, 22 a 23. Jedná se o axiální pístové převodníky s nakloněnou (šikmou) deskou. Řez hydrogenerátorem je na obr.6. Hřídel a blok válců leží na stejné ose. Rotace bloku je přímo odvozena od rotace hřídele. Písty se opírají o šikmou desku a kloužají po nakloněné rovině. Objemový průtok hydrogenerátoru je závislý na jeho otáčkách a úhlu naklonění desky. Pomocí vestavěného rozvaděče je možné řídit naklonění desky přivedením externího zdroje tlaku pro naklonění desky.



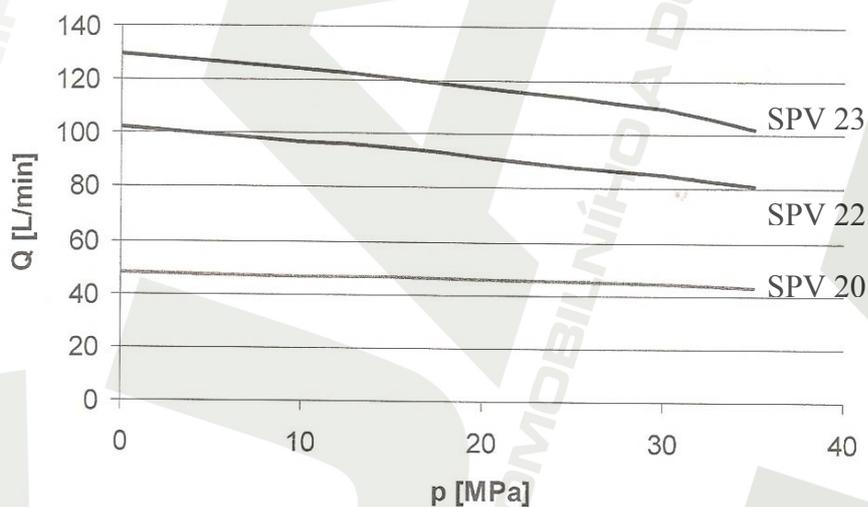
Obr. 6 Axiální pístový hydrogenerátor s nakloněnou deskou - Sauer-Danfoss

## Hydrogenerátory SPV

Jmenovitá velikost		20	22	23
Jmenovitý tlak	bar	210	210	210
Maximální tlak	bar	350	350	350
Geometrický objem	$V_{g \max}$ cm <sup>3</sup>	33	69,8	89
Počet otáček	$n_{\max}$ min <sup>-1</sup>	3590	2810	2590
	$n_{\min}$ min <sup>-1</sup>	500	500	500
Průtok	$q_{V \max}$ l/min	119,54	196,14	230,51
Momentová konstanta $V_{g \max}$	$T_k$ min <sup>-1</sup>	1,7	2,55	2,55
Svodový průtok ( $\Delta p=1\text{MPa}$ , $n=1500\text{ min}^{-1}$ )	$Q_F$ l/min	2	4	6

Tab. 5 Technické parametry hydrogenerátorů SPV 20, 22 a 23

Maximální výkon hydrogenerátoru je při naklopení desky o úhel  $\beta = 18^\circ$  při kterém se provádí měření pro sestavení grafu závislosti průtoku na tlaku viz graf 3.

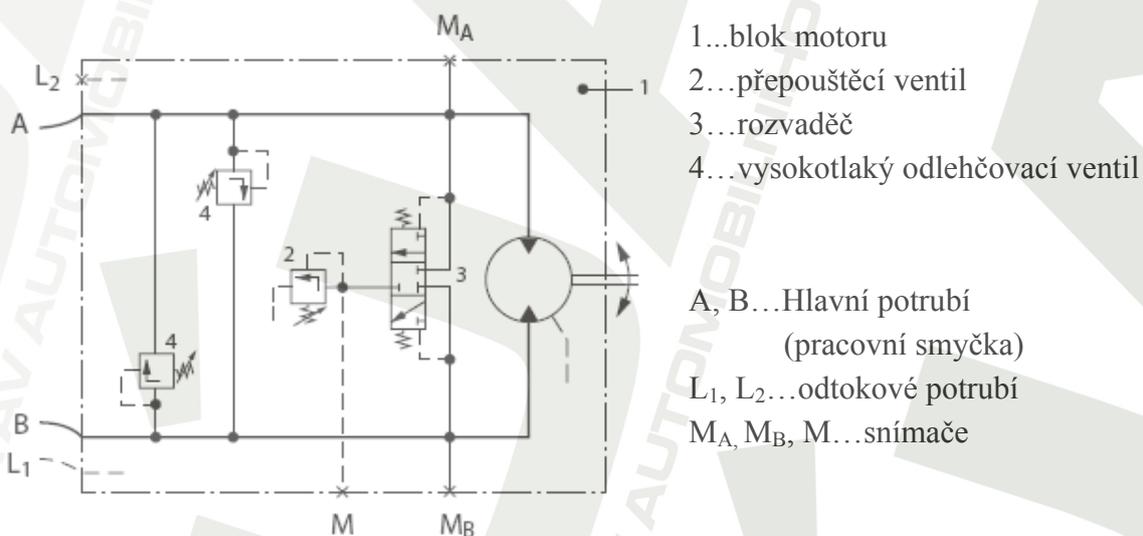
Graf 3 Závislost průtoku na tlaku hydrogenerátorů SPV, při otáčkách 1500 min<sup>-1</sup>

#### 4.1.3 Axiální pístové hydromotory - Sauer-Danfoss

Realizují přeměnu tlakové energie na energii mechanickou. Axiální pístové hydromotory jsou vyráběny ve stejných variantách jako hydrogenerátory se šikmou deskou nebo skloněným blokem válců. Rozsah parametrů mají přibližně stejný jako v generátorovém režimu. Hydromotory Sauer-Danfoss s označením SMF 20, 22 a 23 jsou neregulační axiální pístové převodníky s nakloněnou deskou. Otáčky hydromotorů jsou přímo závislé na velikosti vstupního průtoku. V současné době se vyrábějí hydromotory stejného typu s označením dle geometrického objemu SMF 033, 070 a 089.

Hydromotory SMF		20	22	23
<b>Jmenovitá velikost</b>		<b>033</b>	<b>070</b>	<b>089</b>
Jmenovitý tlak	bar	210	210	210
Maximální tlak	bar	350	350	350
Geometrický objem	$V_{g \max}$ cm <sup>3</sup>	33,3	69,8	89
Počet otáček	$n_{\max}$ min <sup>-1</sup>	3800	3200	2900
	$n_{\min}$ min <sup>-1</sup>	500	500	500
Momentová konstanta $V_{g \max}$	$T_k$ min <sup>-1</sup>	0,53	1,11	1,42

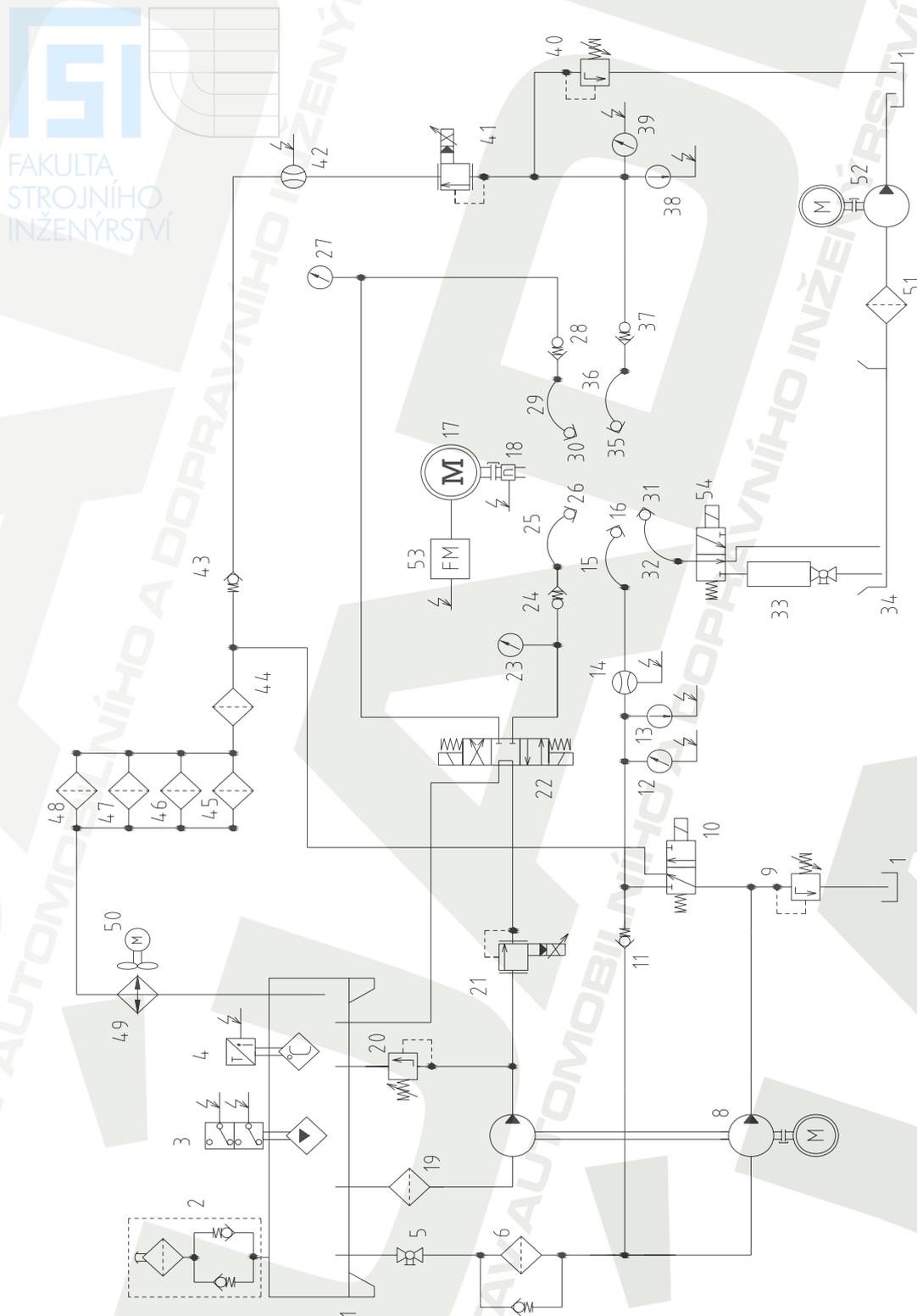
Tab. 6 Technické parametry hydromotorů SMF 20, 22 a 23



Obr. 7 Schéma zapojení hydromotorů SMF

## 5 Návrh modernizace ZZ

### 5.1 Funkční schéma modernizovaného ZZ



Obr. 8 Funkční schéma modernizovaného ZZ

**5.2 Seznam použitých prvků**

Pos.	Název	Typ, číslo výkresu	výrobce
1	Nádrž	300 L	①
2	Zavzdušňovací (vzduchový) filtr	L1.0807-61	ARGO-HYTOS
3	Elektrický snímač hladiny	CLM-36N-20-G E 500	DINEL
4	Elektrický snímač teploty	PTP 50	RAWET
5	Kulový kohout	DN100	①
6	Filtr	N	①
7	Zpětný ventil	N	①
8	Dvojité čerpadlo s elektromotorem	PGH4-NG 50 + PGH3-NG 11	Bosch Rexroth
9	Pojistný ventil	DBA 30 BF1N1X/350	Bosch Rexroth
10	Rozvaděč 3/2	3WEH10 G6X/6EG24N9K2	Bosch Rexroth
11	Zpětný ventil	N	①
12	Snímač tlaku	PA 3020	IFN
13	Snímač teploty	TA 3130	IFN
14	Průtokoměr	VC1 F1PS	KRACHT
15	Hadice	N	①
16	Rychlospojka	N	①
17	Elektromotor	G 8204, 55 kW, 380 V, 102 A, ČSN 353150	① MEZ Frenštát
18	Snímač otáček	M 441	LAAR
19	Filtr	N	①
20	Pojistný ventil	DBA 15/BF1X/50	Bosch Rexroth
21	Proporcionální redukční ventil	DREE 10-5X/50YMG24K31M	Bosch Rexroth
22	Rozvaděč 4/3	4WE6G6X/SG24N9K4	Bosch Rexroth

Pos.	Název	Typ, číslo výkresu	výrobce
23	Manometr	312.20	ZPA Nová Paka
24	Bezpečnostní ventil	N	①
25	Hadice	N	①
26	Rychlospojka	N	①
27	Manometr	312.20	ZPA Nová Paka
28	Bezpečnostní ventil	N	①
29	Hadice	N	①
30	Rychlospojka	N	①
31	Rychlospojka	N	①
32	Hadice	N	①
33	Odměrný válec s kohoutem	8000 ml	MERCI Brno
34	Odpadní nádrž	N	①
35	Rychlospojka	N	①
36	Hadice	N	①
37	Bezpečnostní ventil	N	①
38	Snímač teploty	TA 3130	IFN
39	Snímač tlaku	PA 3020	IFN
40	Pojistný ventil	DBDS 20 G12/315	① Bosch Rexroth
41	Proporcionální tlakový ventil	DBEE 30-3X/420YG24K31M	Bosch Rexroth
42	Průtokoměr	VC1 F1PS	KRACHT
43	Zpětný ventil	N	①
44	Filtr	N	①
45	Filtr	N	①

Pos.	Název	Typ, číslo výkresu	výrobce
46	Filtr	N	①
47	Filtr	N	①
48	Filtr	N	①
49	Chladič	PN 12 5045 TYP 10.0	① Vzduchotechnika
50	Ventilátor	Z chladiče LAC 044-4-A	OLAER
51	Filtr	N	①
52	Odstředivé čerpadlo	N	①
53	Frekvenční měnič	VARISPEED 616PC5/P5	YAWASAKA
54	Rozvaděč 3/2	N	①

Vysvětlivky : N – blíže nespecifikováno

① - použitý přístroj ze současného obvodu

Tab. 7 Použité prvky modernizovaného ZZ

### 5.3 Popis modernizovaného ZZ

Hydraulický olej v sací větvi vede z nádrže (1) přes kulový kohout (5), hrubý sací filtr (6), který je jištěn zpětným ventilem (7) proti nepřípustnému poklesu tlaku v sání hydrogenerátoru, a zpětný ventil (11) do tlakové hadice (15) ukončené rychlospojkou (16) pro připojení na vstup zkoušeného převodníku. Před tlakovou hadicí jsou umístěny měřicí prvky tvořené snímačem tlaku (12), snímačem teploty (13) a snímačem průtoku (14). Pro účely zaplnění celé výkonové větve tlakovým olejem před samotným měřením je za sacím filtrem (6) umístěna odbočka s obtokovou větví s dvojitým čerpadlem (8), jehož první sekce zde dále plní funkci plnicího čerpadla při měření hydromotorů v čerpadlovém stavu. Dvojité čerpadlo je jištěno proti přetížení pojistným ventilem (9) přes který je vzniklý přetlakový olej odveden zpět do nádrže (1).

Plnění výkonové větve je ovládáno pomocí elektromagnetického rozvaděče (10) umístěného za první sekci dvojitého čerpadla (8). Po dostatečném zahlcení zkoušeného prvku se po vypnutí elektromagnetu vrátí řídicí šoupátko zpět pomocí pružin a rozvaděč vede olej do odpadní větve přes soustavu filtrů (45,46,47 a 48) a vzduchový chladič s ventilátorem (49, 50) zpět do nádrže (1). Další výhodou tohoto okruhu je, že zajišťuje i filtraci a chlazení oleje.

Pohon zkoušeného převodníku zajišťuje původní elektromotorem (17), který je doplněn o frekvenční měnič (viz kapitola 4.4.6). Otáčky zkoušeného čerpadla jsou vyhodnocovány snímačem (18).

Pro převodníky s hydraulickou regulací je možné přivedením externího zdroje tlakové kapaliny ovládat naklápění desky nebo bloku válců zkoušených hydrogenerátorů a hydromotorů. Za tímto účelem je vytvořen v hydraulickém obvodu regulační okruh využívající hydraulický olej z nádrže (1), jako zdroj tlakové kapaliny. V regulačním okruhu je hydraulický olej nasáván z nádrže (1) přes hrubý sací filtr (19) pomocí druhé sekce dvojitého čerpadla (8) a dodáván do elektromagnetického rozvaděče (22), který zajišťuje rozvod tlakového oleje do ovládacích částí zkoušeného převodníku a to buď přes bezpečnostní ventil (24) do vysokotlaké hadice (25) ukončené rychlospojkou (26) nebo přes bezpečnostní ventil (28) do vysokotlaké hadice (29) ukončené rychlospojkou (30). Tlak v těchto dvou větvích je možné kontrolovat na manometrech (23) a (27).

Výstupní neboli zatěžovací větev začíná rychlospojkou (35) připojenou na zkoušený hydraulický převodník. Hydraulický olej je v zatěžovací větvi veden přes rychlospojku (35), vysokotlakou hadici (36), bezpečnostní ventil (37) do proporcionálního nepřímo řízeného ventilu (41), který zajišťuje zatěžování zkoušeného hydraulického převodníku a je ovládán řídicím automatem. Před proporcionálním ventilem jsou umístěny měřicí prvky tvořené snímačem tlaku (39) a snímačem teploty (38) a za proporcionálním ventilem je umístěn snímač průtoku (42). Na měřicích prvcích je možné sledovat případné ztráty zkoušených

převodníků. Obvod je jištěn přetlakovým ventilem (40), který vzniklý přetlak odvádí zpět do nádrže (1). Hydraulický olej je za proporcionálním ventilem (41) veden přes zpětný ventil do odpadní větve tvořené velkoobjemovým filtrem (44), soustavou filtrů (45,46,47 a 48), vzduchovým chladičem (49) s ventilátorem (50) zpět do nádrže (1).

Svodový průtok je u zkoušených převodníků měřen pomocí větve, která se skládá z rychlospojky (31), připojené ke zkoušenému převodníku, vysokotlaké hadice (32), rozvaděče 3/2 (54) a odměrného válce s kohoutem (33). Po provedeném měření svodového průtoku je odpadní olej vypuštěn přes kohout odměrného válce do záchytné vany (34). Olej ze záchytné vany (34) je po ukončení měření a odpojení zkoušeného převodníku přečerpáván původním odstředivým čerpadlem (52) viz větev přečerpávání hydraulického oleje. Jako nezbytný prvek pro udržování čistoty hydraulické kapaliny je umístěn v sání přečerpávací větve filtr (51).

Nádrž (1) je dovybavena snímačem hladiny (3) a teplotním snímačem (4) pro kontrolu stav hydraulického oleje v nádrži a vzduchovým filtrem (2) proti vniknutí nečistot do nádrže.

## 5.4 Popis úprav modernizovaného ZZ

Většinu nově použitých hydraulických prvků, které přímo ovlivňují postup a charakter měření jsem vybíral ze sortimentu firmy Bosch Rexroth.

### 5.4.1 Sací větev

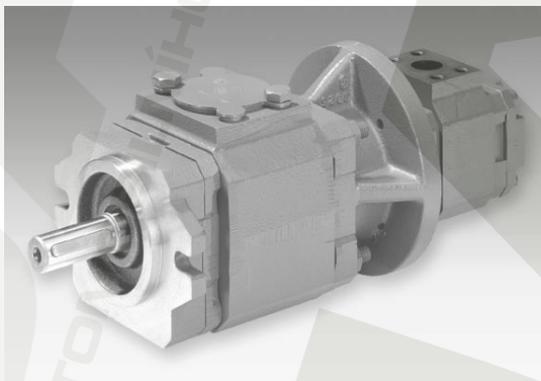
#### 5.4.1.1 Dvojité čerpadlo s elektromotorem

U čerpadel s elektromotorem se elektrická energie přeměňuje na energii hydraulickou. Tato čerpadla jsou navrhována a určena pro hydrostatické pohony v otevřeném okruhu. Pro zajišťování chodu zkušebního zařízení jsem zvolil dvojité čerpadlo PGH4 + PGH3 s elektromotorem. Čerpadla byla volena dle parametrů zkoušených prvků, aby byla schopna zajistit dostatečné plnění jak výkonové větve, tak i regulační větve pro zkoušení prvků s hydraulickou regulací.

Firma Bosch Rexroth tento výrobek dodává v několika typových variantách formou stavebnicového systému.

Typ použitého čerpadla : PGH4-NG 50 + PGH3-NG 11

Umístění čerpadla viz obr.8, str.22, pozice 8



Obr. 9 Dvojité zubové čerpadlo PGH4 + PGH3

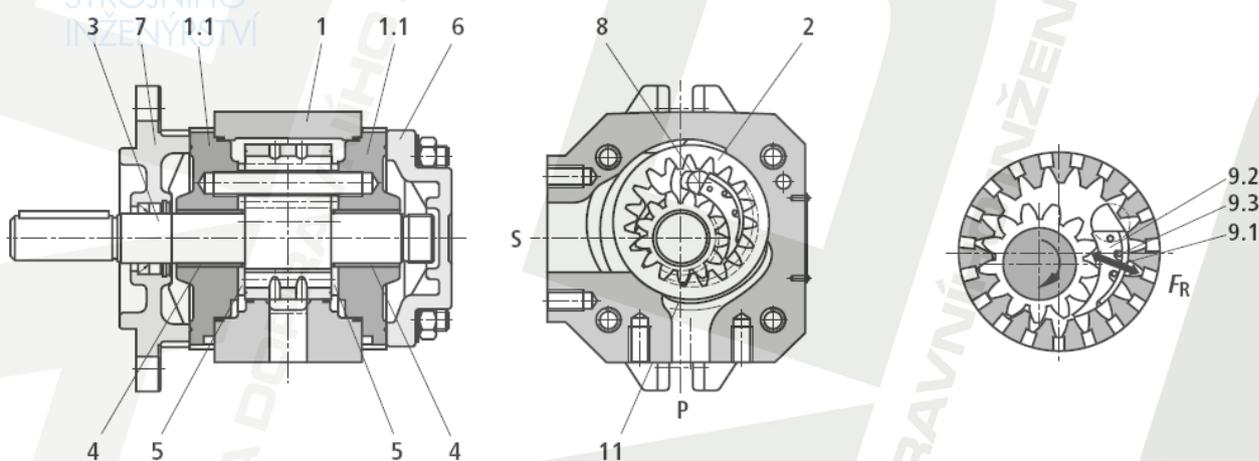
Tabulka technických parametrů:

Frekvence	50 Hz 1500 min <sup>-1</sup>	60 Hz 1800 min <sup>-1</sup>		50 Hz 1500 min <sup>-1</sup>	60 Hz 1800 min <sup>-1</sup>	Velikost el.motoru
čerpadlo	q <sub>v max</sub> [ L/min ]		p <sub>max</sub> [bar]	výkon [kW]		
PGH4-NG 50	73	87	146	22	26,4	180L-4-B1
PGH3-NG 11	16,5	21	40	5,5	6,6	

Tab. 8 Technické parametry dvojitého zubového čerpadla PGH4 + PGH3

Konstrukce:

Hydraulická čerpadla typu PGH jsou zubová čerpadla s vnitřním ozubením, s kompenzační vůlí, s konstantním geometrickým objemem. Skládají se z tělesa (1), ložiskového víka (1.1), věnce s vnitřním ozubením (2), pastorkové hřídele (3), kluzných ložisek (4), axiálních kotoučů (5), závěrného víka (6), připevňovací příruby (7) a dorazového kolíku (8) a rovněž ze segmentové skupiny (9), která se skládá ze segmentu (9.1), držáku segmentu (9.2) a těsnících válečků (9.3). [ 15 ]

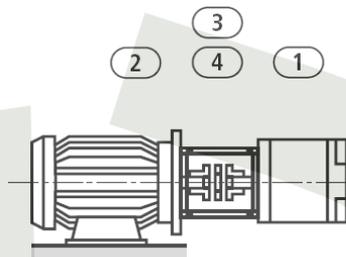


Obr. 10 Řez zubovým čerpadlem PGH

Popis funkce:

Hydrodynamicky uložená hřídel pastorku (3) pohání věnec s vnitřním ozubením (2) ve vyznačeném směru otáčení. Během otáčení dochází v úhlu cca 90° v oblasti sání k nárůstu průtoku. Tím vzniká podtlak a pracovní kapalina proudí do komor. Srpkovitě tvarovaná segmentová skupina (9) odděluje prostor sání a výtlaku. V prostoru výtlaku zapadnou zuby pastorkové hřídele (3) opět do zubových mezer věnce s vnitřním ozubením. Kapalina je vytlačována tlakovým kanálem P. [ 15 ]

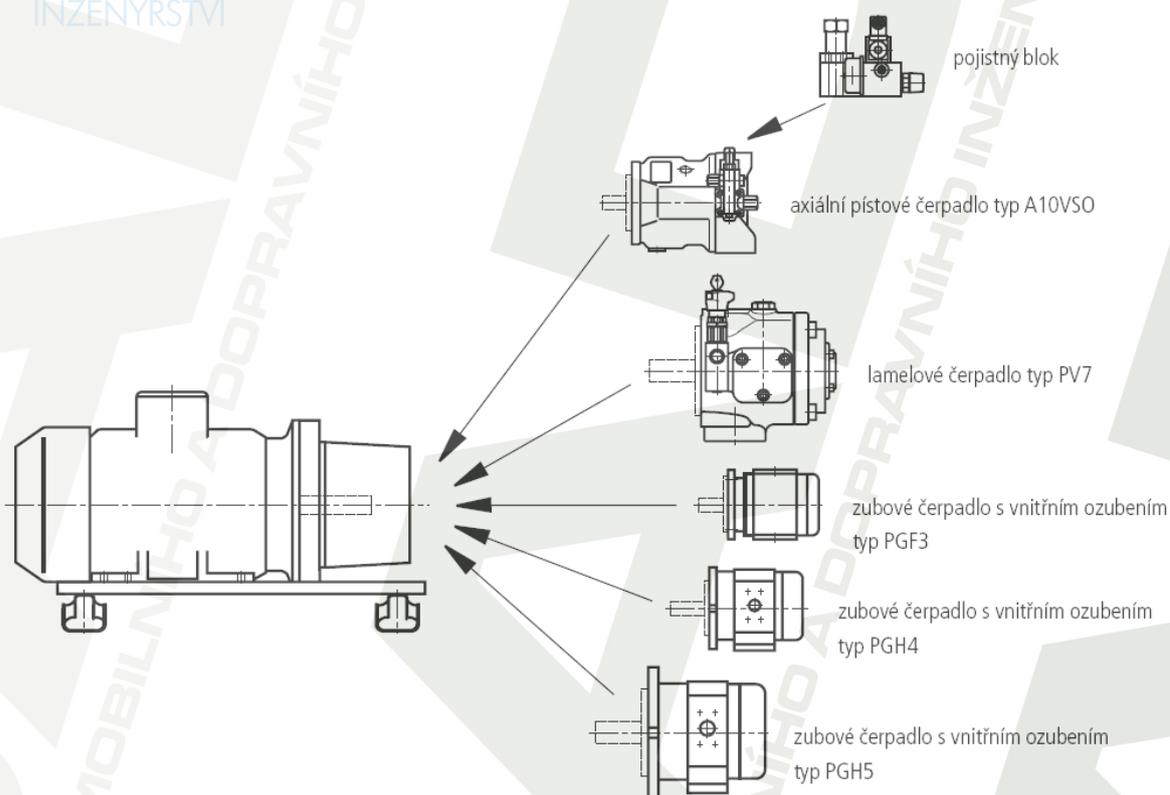
- 1 zubové čerpadlo s vnitřním ozubením  
PGF3, PGH4, PGH5
- 2 elektromotor
- 3 držák čerpadla
- 4 spojka



Charakteristické znaky:

Konstantní geometrický objem, nízká provozní hlučnost, nízká pulsace průtoku, vysoká účinnost při nízkých otáčkách a viskozitě díky kompenzaci vůlí, všechny zástavbové a jmenovité velikosti jsou libovolně vzájemně kombinovatelné, možnost kombinace se zubovými čerpadly PGF s vnitřním ozubením, axiálními pístovými čerpadly a lamelovými čerpadly, elektromotor v patkovém a přírubovém provedení B35. [ 15 ]

Čerpadla s elektromotorem:



Obr. 11 Varianty provedení čerpadla s elektromotorem [ 15 ]

#### 5.4.2 Regulační větev

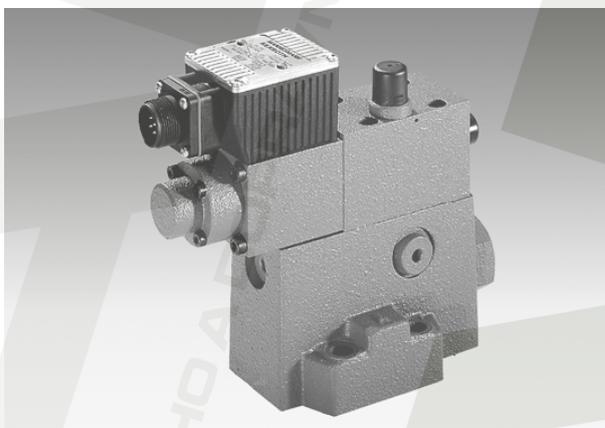
V současném hydraulickém obvodu chybí okruh pro přivedení externího zdroje tlakové kapaliny v případě zkoušení čerpadel s hydraulickou regulací. Proto navrhuji doplnit do modernizovaného ZZ regulační okruh s následujícími prvky :

#### 5.4.2.1 Nepřímo řízený proporcionální redukční ventil

Součástí zmodernizovaného ZZ je i rozvodný blok s proporcionálními redukčními ventily, které slouží k nastavování parametrů zkoušeného čerpadla – v případě zkoušení čerpadla s hydraulickou regulací. Pomocí tohoto prvku lze nastavovat tlak v regulačním okruhu.

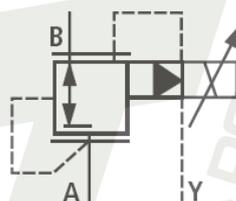
Typ použitého proporcionálního redukčního ventilu : DREE 10-5X/50YMG24K31M

Umístění čerpadla viz obr.8, str.22, pozice 21

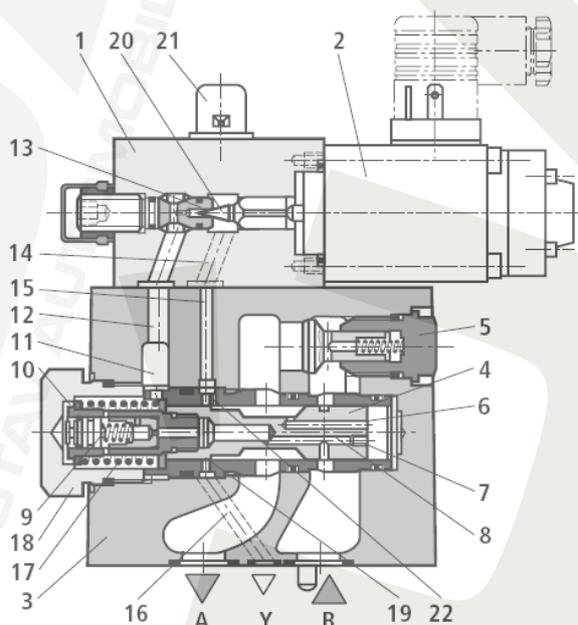


Technické parametry:

Jmenovitá velikost : NG 10  
Maximální provozní tlak : 50 bar  
Maximální průtok 300 L/min



Obr. 12 Proporcionální redukční ventil



Popis ventilu [ 15 ]

V základě se tyto ventily skládají z řídicího ventilu (1) s proporcionálním magnetem (2), z hlavního ventilu (3) s hlavním šoupátkem (4) a na požádání ze zpětného ventilu (5).

Nastavení tlaku ve větvi A probíhá v závislosti na proudu přes proporcionální ventil (2). V klidovém stavu - větev B bez tlaku - drží pružina (17) hlavní šoupátko (4) v jeho výchozí poloze. Průtok z větve B do A je uzavřen. Náběhový skok je tímto potlačen.

Obr. 13 Řez proporcionálním red. ventilem

### 5.4.2.2 Rozvaděč 4/3

Třípolohový čtyřcestný rozvaděč s elektromagnety spínajícími v oleji pro stejnosměrné napětí. Pomocí tohoto prvku je možné řídit směr a hrazení průtoku ve větvích, které jsou napojeny na zkoušený převodník s hydraulickou regulací. Rozvaděč je řízen pomocí PC přes řídicí kartu.

Typ použitého rozvaděče : 4WE6G6X/SG24N9K4

Umístění čerpadla viz obr.8, str.22, pozice 22



Technické parametry:

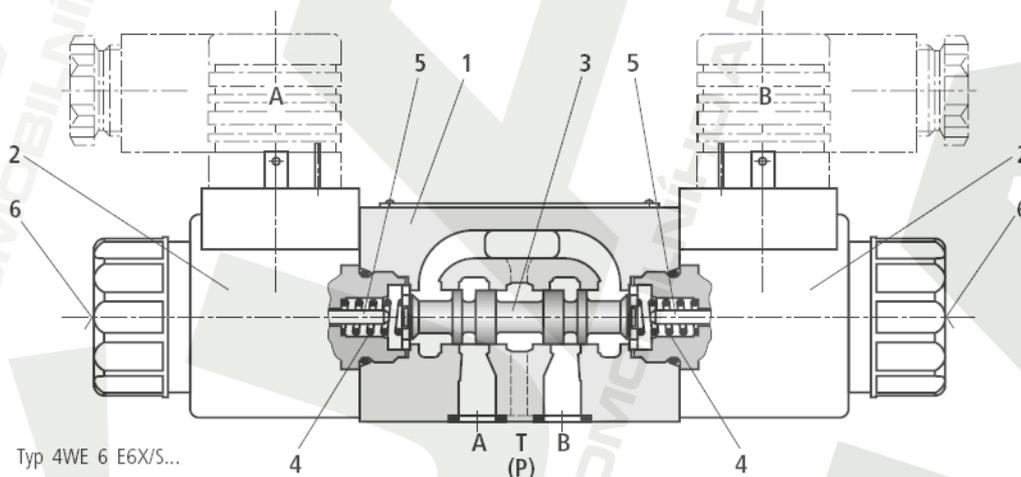
Jmenovitá velikost : 6

Maximální provozní tlak : 315 bar

Maximální průtok 60 L/min

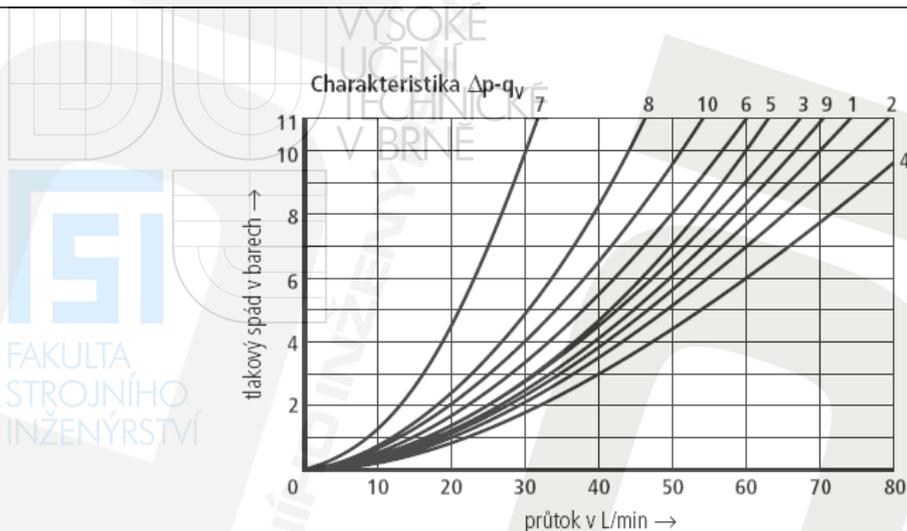


Obr. 14 Rozvaděč



Obr. 15 Řez rozvaděčem

Rozvaděč se skládá z tělesa (1), jednoho nebo dvou magnetů (2), řídicího šoupátka (3), a jedné nebo dvou vratných pružin (4). V klidovém stavu je řídicí šoupátko (3) s pomocí vratných pružin (4) udržováno ve středové nebo výchozí poloze (kromě impulsního přesuvného ventilu). Činnost řídicího šoupátka (3) umožňují v oleji spínané magnety (2).[15]



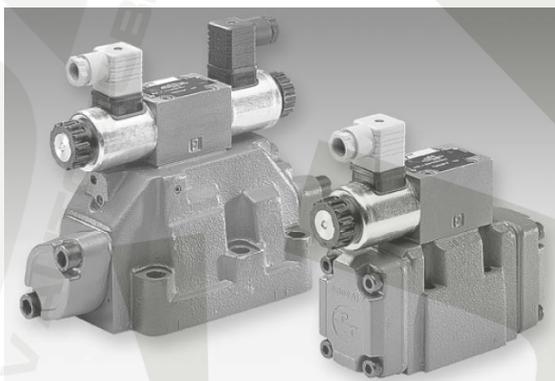
Graf 4 Charakteristika  $\Delta p-qV$

#### 5.4.2.3 Rozvaděč 3/2

Ve výkonové větvi je instalován elektromagnetický rozvaděč, který řídí tok oleje ke zkoušenému převodníku nebo vede olej do odpadní větve před soustavu filtrů. Pro danou aplikaci navrhuji rozvaděč 3/2 od firmy Bosch Rexroth.

Typ použitého rozvaděče: 3WEH10 G6X/6EG24N9K2

Umístění rozvaděče viz obr.8, str.22, pozice 10



Obr. 16 Rozvaděč 3/2

#### Technické parametry:

Jmenovitá velikost NG 10  
Maximální provozní tlak 350 bar  
Maximální průtok 1100 L/min

#### 5.4.2.4 Měřicí prvky a čidla

Teplota, tlak a průtok jsou snímány v důležitých měřicích bodech a dále zpracovány řídicím systémem.

#### 5.4.2.4.1 Snímače teploty

Použití z hlediska určení :

Teplotní snímač kontroluje teplotu oleje v okruhu. Signalizuje, když teplota je příliš vysoká nebo teplota je příliš nízká. Vytváří dva výstupní signály v souladu s nastavenou výstupní konfigurací.

Typ použitých snímačů teploty : TA 3130 [ 16 ]

Umístění průtokoměrů viz obr.8, str.22, pozice 13 a 38



Technické parametry:

Měřicí rozsah	0...140 °C / 32...284 °F
Provozní napětí	10...30 V DC
Analogový výstup	4...20 mA
Přesnost	± 0,1
Měřicí element	1 x Pt 1000 podle DIN EN 60751, třída A
Minimální hloubka ponoru	15 mm
Okolní teplota	-25...70 °C
Skladovací teplota	-40...100 °C
Krytí, tř.krytí	IP 69K (IEC 60529), III (EN 50178)

Obr. 17 Snímač teploty

#### 5.4.2.4.2 Snímače tlaku

Pro účely snímání tlaku oleje na vstupu a výstupu zkoušeného převodníku navrhuji umístit snímače tlaku PA 3020 od firmy IFN. Snímače tlaku detekují systémový tlak a převádí jej na analogový výstupní signál. Snímače jsou dodávány jak s proudovým tak i s napěťovým výstupním signálem.

Typ použitých snímačů tlaku : PA 3020 [ 16 ]

Umístění snímačů tlaku viz obr.8, str.22, pozice 12 a 39



#### Technické parametry

Procesní připojení	G $\frac{1}{4}$ I
Měřicí rozsah	0 ÷ 400 bar
Provozní napětí	9,6 ÷ 32 V DC
Analogový výstup	4 ÷ 20 mA nebo 0 ÷ 10 V
Odolnost proti tlaku	600 bar
Přesnost / odchylky	< ± 0,5 %
Opakovací přesnost	< 0,1 %
Rozsah teplot - okolí	- 25 ÷ + 80 °C
- média	- 25 ÷ + 90 °C
Třída krytí	IP 68

Obr. 18 Tlakový snímač typu PA 3020

#### 5.4.2.4.3 Průtokoměry

Při vyhodnocování zkoušky je jedním z hlavních parametrů měření velikost průtoku. Vzhledem k používané kapalině (hydraulický olej) a dosahovaným vysokým tlakům v obvodu jsem zvolil zubové průtokoměry. Dalším důvodem pro použití těchto průtokoměrů je nutnost převést mechanické měření na elektrický signál.

Typ použitých průtokoměrů : VC1 F1PS [ 17 ]

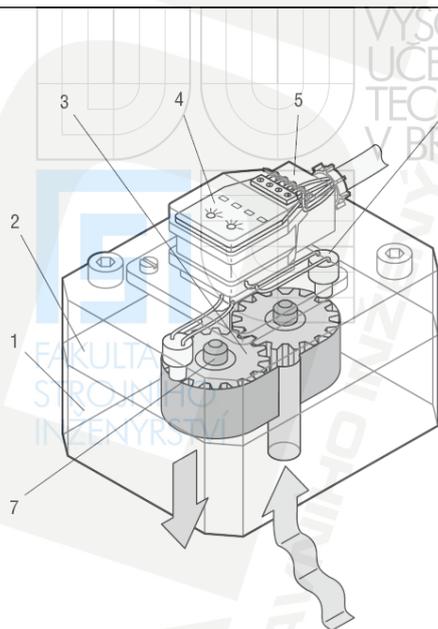
Umístění průtokoměrů viz obr.8, str.22, pozice 14 a 42



#### Technické parametry:

Max. tlak :	420 bar
Průtok :	2 ÷ 600 l/min
Nelinearita na celém rozsahu měření je	< ± 0.1 %
Rozsah teplot :	-10 ÷ +80 °C
Napájecí napětí :	24 V DC ± 20%
El. výstup :	25 mA

Obr. 19 Průtokoměr Kracht



1. skříň
2. kryt
3. převod (ozubená kola)
4. zesilovač
5. konektor
6. čidlo snímače
7. čep

Obr. 20 Schéma zubového průtokoměru

#### 5.4.2.4.4 Manometry

Pro kontrolu tlaku oleje v regulační větvi budou použity manometry s trubkovou pružinou.

Typ použitých manometrů : 312.20

Umístění manometrů viz obr.8, str.22, pozice 23 a 27



Obr. 21 Manometr

Technické parametry:

- Rozsah : 0 ÷ 400 bar
- Třída přesnosti : 0,6 % dle EN 837-1/6.
- Materiál ve styku s měřeným médiem : slitina mědi.
- jmenovité velikosti : průměr 63 mm
- Přípustné teploty - okolí : - 40 ÷ +60 °C
- měřené látky : max. + 80 °C [ 18 ]

### 5.4.3 Větev pro simulaci zátěže

#### 5.4.3.1 Proporcionální tlakový ventil

V současném hydraulickém okruhu jsou instalovány škrtkové ventily, jako prvky pro simulaci zátěže zkoušeného čerpadla. Pro modernizované ZZ navrhuji tyto ventily nahradit zatěžovacím proporcionálním ventilem, který je konstruován na požadovaný maximální tlak.

Typ použitého proporcionálního ventilu : DBEE 30-3X/420YG24K31M

Umístění proporcionálního ventilu viz obr.8, str.22, pozice 41



Technické parametry:

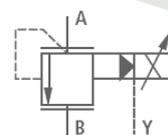
Integrovaná řídicí elektronika u typu DBEE:

- malý exemplární rozptyl charakteristiky žádané hodnoty tlaku
- samostatně nezávisle na sobě nastavitelné rampy náběhové (zrychlení) a doběhové (dobržďování)

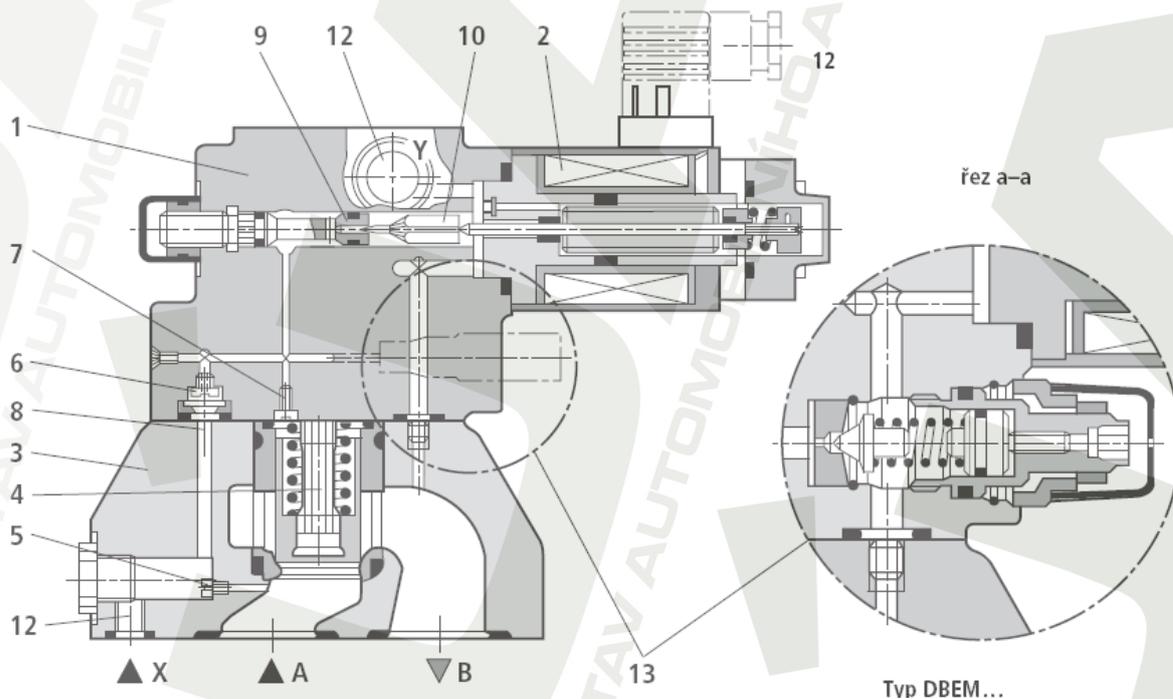
Maximální provozní tlak : 420 bar ( nadstandardní provedení )

Napájecí napětí řídicí elektroniky 24 V DC

Maximální průtok : 600 L/min [ 15 ]



Obr. 22 Proporcionální tlakový ventil



Obr. 23 Řez proporcionálním tlakovým ventilem

Na požádání lze dodat ventil s přidavným řídicím ventilem (13), na který působí síla pružiny a prostřednictvím tohoto ventilu lze omezovat tlak na maximální hodnotu (kontrolní jištění tlaku).

Popis funkce:

Nastavení tlaku probíhá v závislosti na žádané hodnotě přes proporcionální ventil (2). Tlak vzniklý v kanálu A působí na spodní část hlavního šoupátka (4). Současně vzniká tlak v řídicím obvodu (8), který je opatřen clonami (5, 6, 7) a působí na pružinou zatíženou stranu hlavního šoupátka (4). Přes sedlo ventilu (9) působí hydraulická síla na kuželku řídicího ventilu (10) proti síle proporcionálního magnetu (2). Převládající hydraulická síla nad magnetickou tak otevře kuželku řídicího ventilu (10). Tímto je umožněn odtok řídicí kapaliny přes větev Y (12) do nádrže a na clonách (5, 6) vznikají tlakové spády, které působí na hlavní šoupátko a to se pak posouvá proti síle vratné pružiny (10). Vytvoří se spojení větví A a B a to zamezí dalšímu nárůstu tlaku. [ 15 ]

#### 5.4.4 Větev měření svodového průtoku

Objemovou metodou pomocí skleněného odměrného válce o objemu  $8 \text{ dm}^3$ . Hrazení průtoku je zde ovládáno pomocí kohoutu. Odměrný válec lze vyrobít na zakázku u firmy Mercí, s.r.o., Brno.

Umístění odměrného válce viz obr.8, str.22, pozice 33

Měří se objem oleje, který přitekne do válce za čas 10 s. Stopky v kombinaci s PC.

#### 5.4.5 Větev přečerpávání hydraulického oleje

Ze záchytné vany je odpadní olej přečerpáván původním odstředivým hydrogenerátorem (pos. 52), který je ovládán pomocí PC. Jelikož v této části ZZ hrozí značné riziko vniknutí nečistot do hlavní nádrže, ponechal jsem v této větvi filtr.

#### 5.4.6 Frekvenční měnič

Nejrozšířenějšími pohonnými jednotkami jsou v současnosti asynchronní elektromotory s kotvou nakrátko a to zejména pro svoji jednoduchost, provozní spolehlivost, nízké investiční náklady a minimální nároky na údržbu.

Tyto motory však mají také některé nevýhody a to především obtížnou regulaci rychlosti otáček, velký záběrný proud při přímém připojení na síť.

Použitím frekvenčního měniče pro řízení asynchronního motoru lze tyto nevýhody eliminovat. Měnič totiž umožňuje plynulou a širokou regulaci otáček motoru změnou frekvence napájecího napětí a točivého momentu.

Tato úprava ZZ spočívá v doplnění frekvenčního měniče k současnému asynchronnímu motoru.

Současný asynchronní elektromotor : typ G8204

Výrobce : MEZ Frenštát

Výkon			55	kW
Otáčky			1470	min <sup>-1</sup>
Stator	380	V	102	A
Rotor	370	V	95	A

Tab. 9 Technické parametry asynchronního motoru

Typ použitého frekvenčního měniče: VARISPEED 616PC5/P5

Umístění frekvenčního měniče viz obr.8, str.22, pozice 53

Technické parametry měniče:



Vysoce výkonné digitální U/f řízení, Rozsah frekvence 0,1 až 400 Hz, 15 přednastavených U/f křivek

Rozhraní RS 422/485

Přehledný ovládací panel

- 4 místný LED displej
- 12 LED pro základní nastavení

PID regulátor, Funkce energetické optimalizace

12-ti pulsní usměrňovač pro výkony 18 až 160 kW

- snížení harmonického zkreslení proudu

Integrovaná ochrana motoru

Dokonalé ochranné a diagnostické funkce

Tlumivka v ss meziobvodu od 18 kW [ 19 ]

Obr. 24 Frekvenční měnič typ 616PC5/P5

Ovládání: dálkově pomocí svorkovnice

Řízení: Zadávací analogový signál 0 až +10 V (20 kW), 4 až 20 mA (250 W)

Doplnění elektromotoru o frekvenční měnič přinese tyto výhody :

- nižší hluk motoru
- optimální otáčky v každých provozních podmínkách
- klidné a plynulé řízení rychlosti
- snížení mechanického namáhání motoru a poháněného zařízení
- delší životnost zařízení
- nižší náklady na údržbu a provoz
- zvýšení produktivity
- rychlá návratnost vložených nákladů
- minimalizace výpadků napájecí sítě
- minimalizace přehřátí výkonových prvků
- minimalizace přetížení vstup.transistorů
- minimalizace překročení max. dovoleného výstupního proudu
- ochrana proti zkratu mezi fázemi a mezi fází a zemí
- ochrana proti přepětí a podpětí
- minimalizace poruch hardware
- minimalizace přetížení elektromotoru
- minimalizace zablokování motoru [ 19 ]

Před použitím frekvenčního měniče je třeba motor repasovat a dynamicky vyvážit a to nejlépe u výrobce nebo firmy s oprávněním provádět tyto práce.

#### 5.4.7 Snímač otáček

S doplněním frekvenčního měniče k asynchronnímu motoru je doplněn také snímač otáček od firmy Laar. Snímač reaguje na přiblížení permanentního magnetu k citlivé ploše snímače spojením výstupu PNP, který je zabudován do kovového pouzdra s třemi přívodními vodiči.

Typ použitého snímače otáček : M 441 [ 20 ]

Umístění frekvenčního měniče viz obr.8, str.22, pozice 18



Technické parametry :

citlivost spínání  
snímaná frekvence  
proud - napájecí  
- výstupní  
pracovní teplota

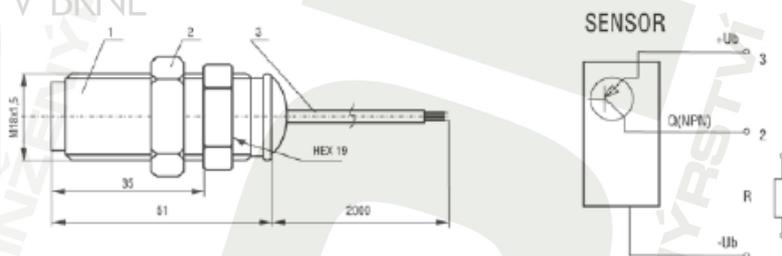
min.5 mm  
statický stav – 10 000 Hz  
20 mA  
100 mA max  
-40 – +125 °C

Obr. 25 Snímač otáček

Rozměry a zapojení :

Pozice:

- 1 kovové pouzdro
- 2 matice
- 3 vodič 3 x 0,35mm<sup>2</sup>  
(rudý +Ub, žlutý výstup,  
modrý -Ub), PVC plášť



Obr. 26 Rozměry a zapojení snímače otáček

#### 5.4.8 Nádrž

Nádrž je zásobníkem hydraulické kapaliny pro zdroj tlakové kapaliny. Mimo to umožňuje vyrovnání nerovnoměrností v odběru kapaliny, usazování nečistot a uvolňování vzduchu z kapaliny, teplotní stabilizaci kapaliny, instalaci zdroje tlakové kapaliny, bloků nebo panelů s řídicími hydraulickými prvky, akumulátorů, filtrů, chladičů, ohřivačů, prvků pro kontrolu nebo řízení teploty a výšky hladiny hydraulické kapaliny.

Nádrž je použita ze stávajícího obvodu, neboť splňuje veškerá požadovaná kritéria a to jak objem, tak i běžné konstrukční požadavky.

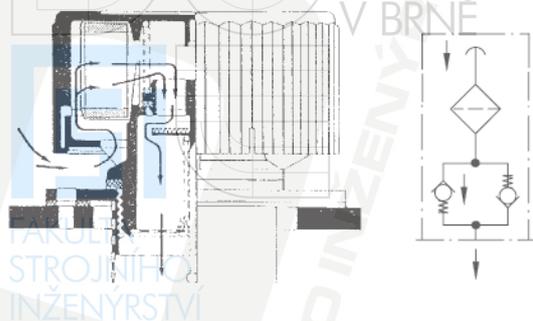
##### 5.4.8.1 Vzduchový filtr

Vnitřní prostor nádrže musí být propojen s vnější atmosférou. Ve vlastní nádrži nesmí docházet k podtlaku eventuelně přetlaku, způsobeném kolísáním výšky hladiny provozní kapaliny vlivem činnosti spotřebičů. Vzduch nasávaný do nádrže při poklesu hladiny je nutno filtrovat, aby nedocházelo k nasávání nečistot a vlhkosti z okolí do nádrže a tím i ke znečišťování kapaliny.

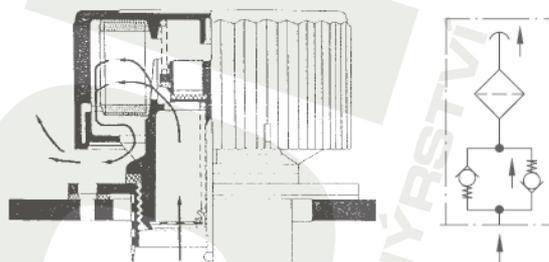
Typ použitého vzduchového filtru : L1.0807-61 [ 21 ]

Umístění vzduchového filtru viz obr.8, str.22, pozice 2

Filtrace vzduchu přisávaného do nádrže



Výfuk vzduchu z nádrže



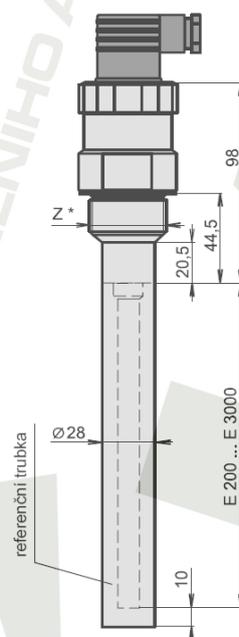
Obr. 27 Schéma vzduchového filtru

#### 5.4.8.2 Elektrický snímač hladiny

Kontrola výšky hladiny je prováděna pomocí dvou kruhových olejznaků na boku nádrže. Nádrž je třeba doplnit snímačem hladiny umožňující signalizaci stavu oleje v nádrži. Pro danou nádrž navrhuji kapacitní snímač hladiny typu CLM-36.



Typ CLM-36N-20 s neizolovanou tyčovou elektrodou a referenční trubicou



Obr. 28 Snímače hladiny

Typ použitého snímače hladiny : CLM-36N-20-G E 500

Umístění snímače hladiny viz obr.8, str.22, pozice 3

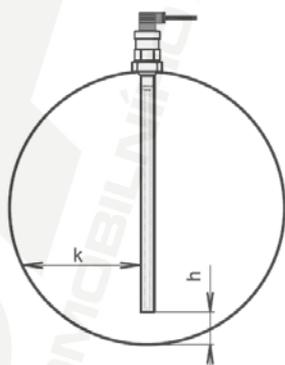
Typ CLM-36N-20 s neizolovanou tyčovou elektrodou a referenční trubkou - je možno použít k měření hladiny neznečištěných elektricky nevodivých kapalin (oleje, nafta, benzín). Oproti provedení bez referenční trubky není výstupní signál závislý na tvaru nádrže. Snímací elektroda tvoří vůči okolí (plášti nádoby, referenční elektrodě, apod.) kapacitor. V hlavici snímače je umístěn vyjímatelný elektronický modul s nastavovacími prvky snímače hladiny.

Technické parametry:

Napájecí napětí	9 ÷ 36 V DC
Proudový výstup	4 ÷ 20 mA
Nelinearita max.	1 %
Teplotní chyba max.	0,05% / K
Napěťová chyba max.	0,3 $\mu$ A / V
Povolený rozsah teplot	-40 až +85°C

Tab. 10 Technické parametry snímače hladiny [ 22 ]

Instalace pro variantu s tyčovou elektrodou a referenční trubkou :



**h** - vzdálenost ode dna - minimálně 50 mm s ohledem na možnost přítomnosti těžších frakcí (vody) v ropných produktech

**k** - vzdálenost od stěny - libovolná

Obr. 29 Instalace snímače hladiny

#### 5.4.8.3 Elektrický teploměr

U současné nádrže není měřena teplota oleje a proto navrhuji doplnit nádrž o snímač teploty. Kontrola teploty provozní kapaliny se provádí pomocí kontaktních teploměrů, umožňujících signalizaci a hlídání teploty provozní kapaliny.

Typ použitého teploměru : PTP 50 ( odporový teploměr s hlavici)

Umístění teploměru viz obr.8, str.22, pozice 4



#### Odporový teploměr s převodníkem :

- určen pro montáž do potrubí nebo do stěny nádoby
- v kovové hlavici s krytím IP56 je osazen převodník PP100 s výstupem 4÷20mA., přesnost převodu < 0,3%
- stonek s čidlem je vyroben z nerezí třídy 17248.

#### Technické parametry:

Rozsah měření: -25 ÷ +120°C

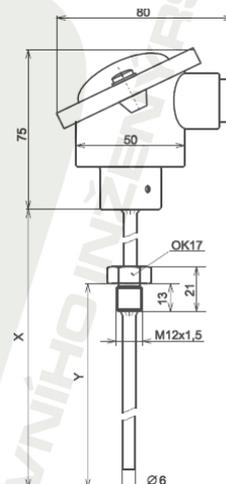
Přesnost: ±0,5%

Výstupní signál: 4 ÷ 20mA

Napájení: po výst.signálu 8÷28VDC  
(12÷34VDC), zvlnění max. 0,5V

Okolní teplota: -25 ÷ +80°C

Přetlak kapaliny: max. 150 bar [ 23 ]



Obr. 30 Teploměr

Délky (X, Y) je možné volit a po dohodě je možné i jiné montážní šroubení, např. G3/4, M27x2, M20x1,5.

#### 5.4.9 Chlazení hydraulické kapaliny

Pro dodržení teploty a tím i viskozity provozní kapaliny ve stanoveném rozsahu je nutno zajistit její chlazení. Další podmínkou je použití kvalitního hydraulického oleje. Situování sacího vedení hydrogenerátoru a zpětného vedení z obvodu musí zajišťovat dobrou cirkulaci oleje v nádrži, tato podmínka je splněna.

Olej stávajícího ZZ je chlazen pomocí vzduchového chladiče, který však není dostatečně účinný. Proto je třeba zvýšit jeho chladičí účinek pomocí ventilátoru. Jelikož se nejedná o prašné prostředí zvolil jsem ventilátor s třífázovým elektromotorem od firmy Olaer. Dle návrhu firmy Olaer lze použít ventilátor z chladiče Olaer LAC 044-4-A.



Obr. 31 Stávající chladič



Obr. 32 Ventilátor na chladiči  
Olaer LAC 044-4-A

## 5.5 Další nově použité prvky v modernizovaném ZZ

### 5.5.1 Pojistné ventily

Čerpadla PGH4-NG 50 a PGH3-NG 11 je třeba jistit proti přetížení pojistnými ventily. Pro daná čerpadla navrhuji použít pojistné ventily typu DBA firmy Bosch Rexroth.

Typy použitých pojistných ventilů : DBA 30/BF1N1X/150 a DBA 15/BF1X/50 [ 15 ]

Umístění pojistných ventilů viz obr.8, str.22, pozice 9 a 20



Obr. 33 Pojistné ventily

Technické parametry:

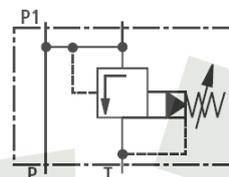
Maximální provozní tlak: 420 bar

Maximální průtok: 700 L/min

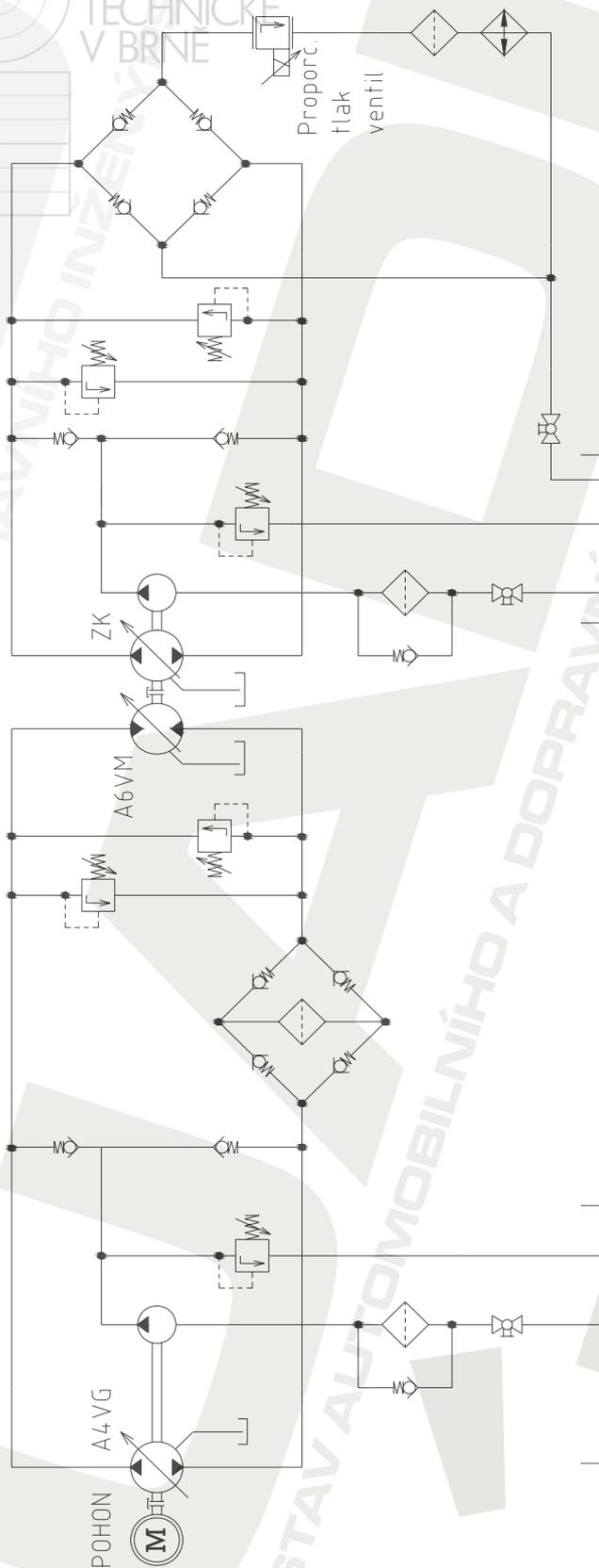
Typy: DBA

Jmenovitá velikost 32 a 40

Série 1X



### 5.6 Možné řešení modernizace ZZ – varianta 2



Obr. 34 Funkční schéma modernizovaného ZZ – varianta 2

### 5.6.1 Popis odvodu

Pohonná jednotka: zajišťuje pohon zkoušeného čerpadla. Jedná se o hydrostatický pohon, to znamená hlavní elektromotor pohání čerpadlo A4VG (s elektronickou regulací geometrického objemu EP2), toto čerpadlo dále pohání hydromotor A6VM (s elektronickou regulací geometrického objemu EP2) a spolu tvoří uzavřený hydraulický okruh. Hydromotor pak pohání zkoušené čerpadlo.

Otáčky zkoušeného čerpadla jsou vyhodnocovány snímačem, který je součástí snímače krouticího momentu. Pomocí elektronické regulace čerpadla a hydromotoru je možné plynule regulovat otáčky zkoušeného čerpadla od min. po max. bez ohledu na zatížení. Jako zatěžovací prvek pro simulaci zátěže zkoušených převodníků je zde použit opět proporcionalní tlakový ventil a další prvky zajišťující správný chod ZZ.

Tato varianta je z pohledu pořízení jednotlivých prvků nákladnější.

## 5.7 Řídicí systém

### 5.7.1 Měření pomocí virtuálního přístroje [ 28 ]

Virtuální přístroje = „programy“ (virtual instrumentation – VI) vznikly díky možnosti definovat systém kombinací hardwaru na bázi PC, který provádí měření a řízení pomocí softwarových nástrojů, které dovolují uživateli definovat možnosti systému pomocí tohoto softwaru.

Filozofie virtuálních měřicích přístrojů je velmi progresivní, protože umožňuje při zachování výkonnostních parametrů klasické měřicí techniky vytvářet přístroje, kterých funkce přesně odpovídají požadavkům uživatele, neboť jsou realizované softwarově. Navíc tato koncepce umožňuje doplňovat další funkce podle narůstajících a měnících se potřeb koncového uživatele. Navíc je možno kdykoliv změnou programu vytvořit jiný měřicí přístroj nebo upravit vlastnosti původního.

Při spojení měřicího přístroje a počítače přes rozhraní nebo při vytvoření virtuálních měřicích přístrojů hraje velkou úlohu vedle hardwarových prostředků v podobě počítače a přidavných karet čím dál tím významnější úlohu software- stává se klíčovou komponentou měřicího systému.

V současnosti mnoho společností zabývajících se virtuálními přístroji usiluje o to, aby následné verze softwaru umožňovaly jednoduché použití, přizpůsobení a řízení viz LabVIEW.

### 5.7.2 Proces měření a jeho fáze

Analýzou procesu měření a zpracování naměřených:

1) Pro sběr dat a řízení technologického procesu se většinou používají následující typické způsoby sběru dat:

- Zásuvné multifunkční karty
- Přístroje vybavené rozhraním RS 232
- Přístroje vybavené rozhraním GPIB
- VXI měřicí systémy
- PLC (programovatelné logické automaty)
- Průmyslové I/O systémy

V této první fázi procesu měření se jedná o získání tzv. surových dat – jedná se o převod naměřených veličin na číselnou hodnotu a její uložení do paměti či zobrazení na displeji.

## 2) Fáze analýzy naměřených dat

- Digitální zpracování signálu
- Filtrace
- Statistika
- Další operace

V druhé fázi procesu měření obvykle nastává potřeba odstranění nežádoucích složek měřených signálů (odstranění rušení), statistické vyhodnocování (např. výpočet střední nebo efektivní hodnoty), výpočet dalších veličin z veličin měřených.

## 3) Prezentace naměřených a analyzovaných dat

- Grafické rozhraní k uživateli
- Síťování
- Archivace souborů
- Tisk

V poslední fázi jsou naměřené a analyzované hodnoty prezentovány v určitém tvaru, např. protokoly, grafy uložením do datových souborů apod.

Jak je ve virtuálním měřicím systému vyjasněná otázka použitého hardwaru (měřicí přístroj s rozhraním, počítač se zásuvnou měřicí kartou, VXI měřicí systém) je třeba zvolit vhodný software.

Vývojová prostředí:

- HP VEE – od firmy Hewlett-Packard (grafické programování v prostředí Windows)
- Test Point – od firmy Keithley (grafické programování v prostředí Windows)
- Dasy Lab – jednoduchý systém grafického programování
- Control Panel – grafické programování v prostředí DOSu
- Control Web – grafické programování v prostředí Windows
- LabWindows for DOS – od firmy NI – textově orientovaný vývojový systém
- LabVIEW – grafické programování v prostředí Windows a na různých Platformách (Mcintosh, PC, Sun, HP Unix)

### 5.7.3 Filosofie a součásti vývojového systému LabView

Vychází z úvahy, že tím, kdo obvykle ví co měřit, jak analyzovat a jak prezentovat data, je technik, který však nemusí být sám zkušeným programátorem. Svoje představy proto předá programátorovi obvykle v podobě blokových schémat. Programátor toto schéma potom převádí do zvoleného programovacího jazyka, což je činnost poměrně zdlouhavá a náročná a

nepřináší už do procesu měření žádné další zlepšení. Cílem vývojového prostředí LabVIEW tedy je, aby bloková schéma byla koncovým tvarem aplikace, která se dále nebude převádět do jiné podoby.

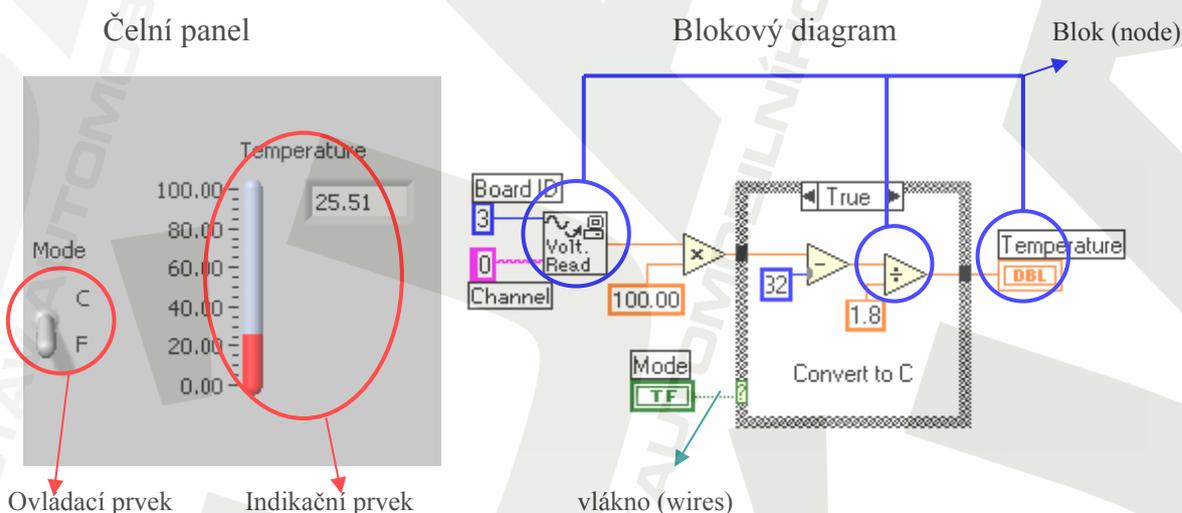
LabView (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je vývojovým prostředím založeným na programovacím jazyku v grafické podobě-tzv. G-jazyk (Graphical language). Tento program je určený pro vytváření aplikací, tzv. virtuálních přístrojů, orientovaných na oblasti měření, řízení, zpracování a použití naměřených dat. Podporuje všechny čtyři základní způsoby sběru dat do počítače ( z měřících přístrojů přes rozhraní RS232, GPIB, VXI sběrnice a ze zásuvných multifunkčních karet ).

### 5.7.3.1 Vývojové prostředí

Uživatelské rozhraní programů v LabVIEW mají často podobu skutečných měřících přístrojů. Programy vytvořené v tomto prostředí proto nazýváme virtuálními přístroji (Virtual Instrument VI).

Každé VI se skládá z dvou částí: - Čelní panel: **Front Panel** = User Interface (UI)

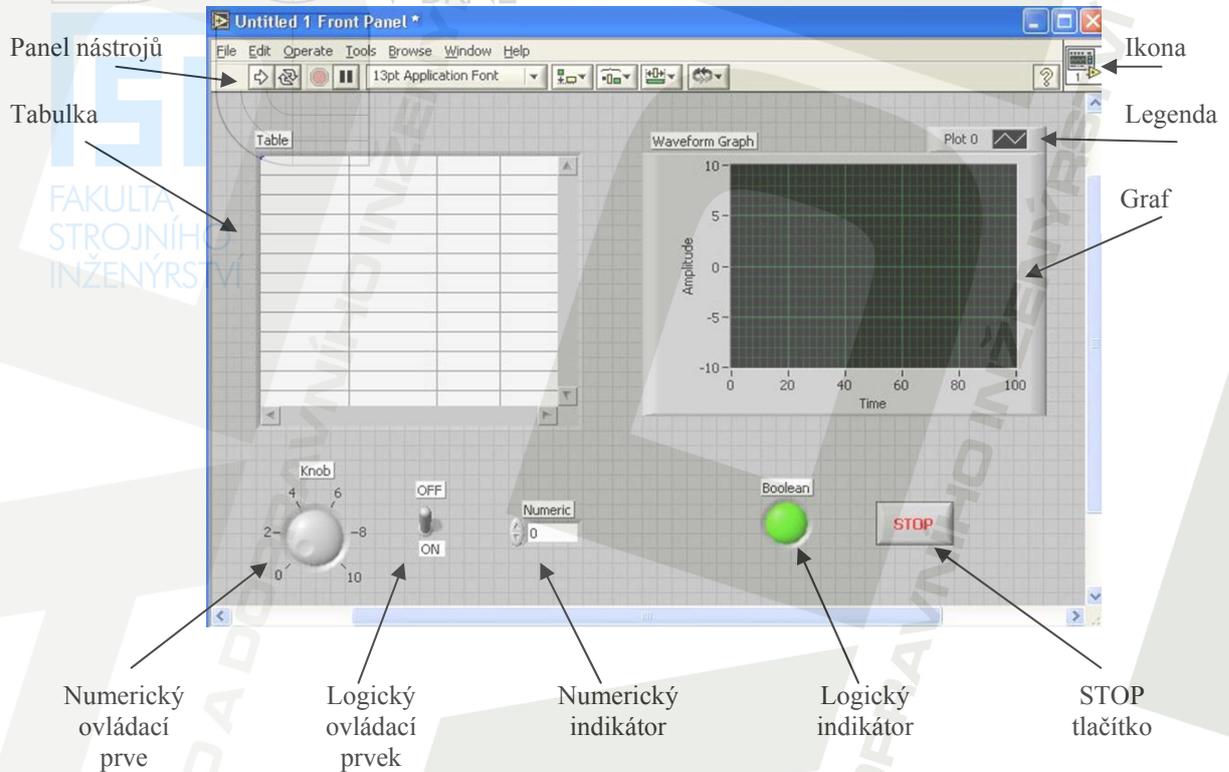
- Ovládací prvky = Vstupy
- Indikátory = Výstupy
- Blokový diagram: **Block Diagram** = Grafický kód
  - bloky zobrazují jednotlivé subVI
  - data jsou mezi objekty transportována imaginárními dráty



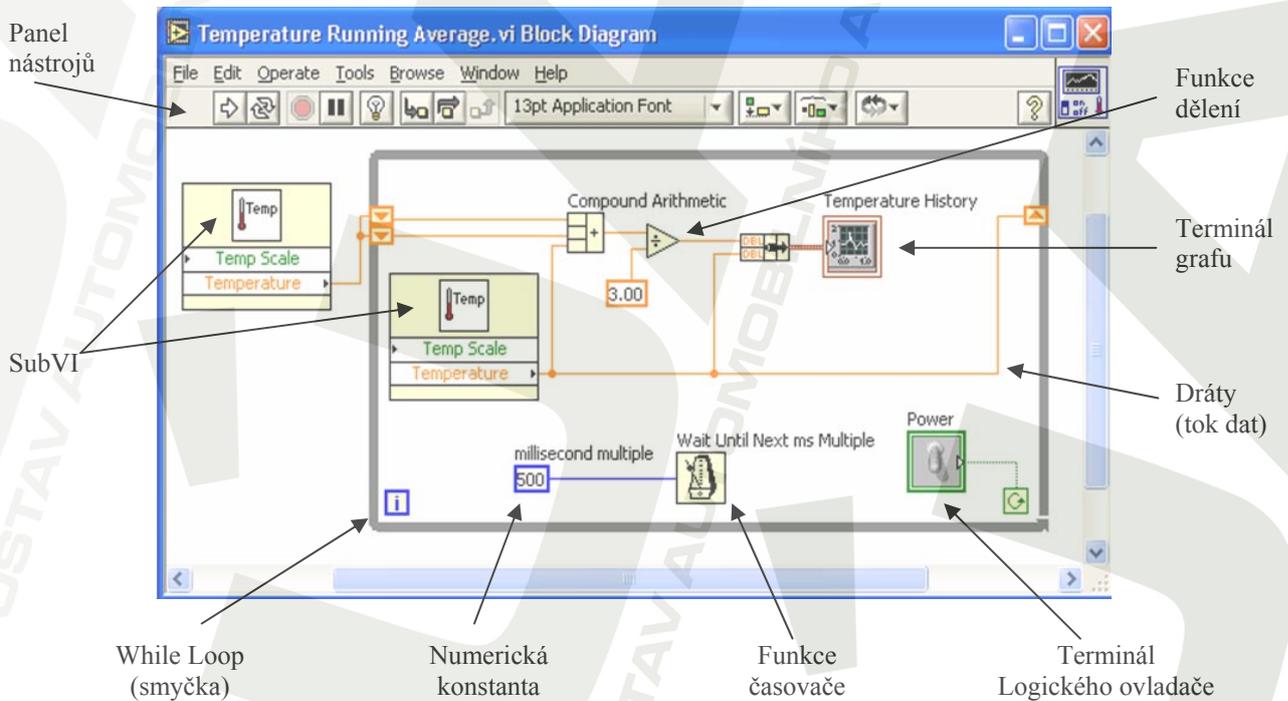
Obr. 35 Čelní panel přístroje spolu s blokovým diagramem

Čelní panel: - Uživatelské rozhraní VI  
- Indikátory a ovládací prvky pro vstup a výstup hodnot

- Ovládací prvky – knoflíky, tlačítka, posuvné stupnice, ...
- Indikátory – grafy, LED diody, tabulky, ...



Obr. 36 Čelní panel

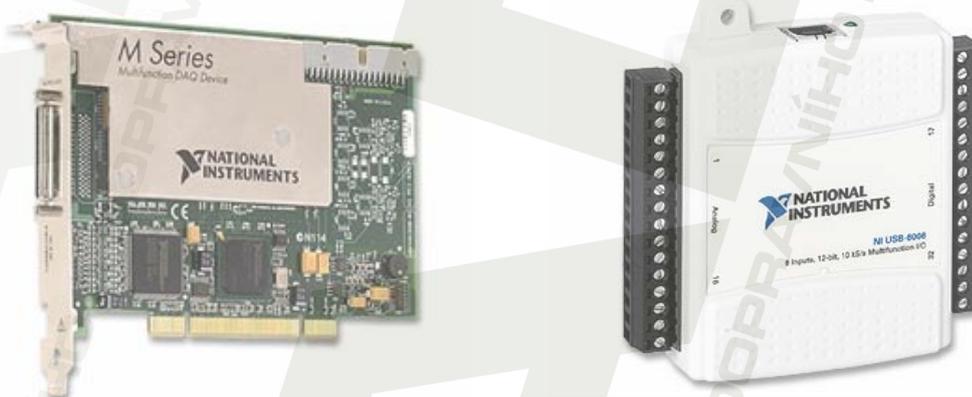


Obr. 37 Blokový diagram

### 5.7.3.2 Měřicí a řídicí karta [ 27 ]

Univerzální DAQ zařízení (měřicí a řídicí karta)

- Generování nebo získávání dat z více kanálů
- Měření nejrůznějších typů dat (v závislosti na software a senzorech)
- Připojení přes USB, PCI (PCMCIA) slot k počítači nebo PXI zařízení
- Ke kartě přísluší konektorový blok a software
- Ovládání pomocí řadičů a vhodných příkazů aplikačního software
- NI-DAQ řadiče (drivers) = soubor VIs pro konfiguraci zařízení, získávání dat a ovládání zařízení



Obr. 38 Měřicí a řídicí karta, příklad konektorového bloku

Konektorový blok je pasivní element, který umožňuje snadné připojení externích signálů pomocí svorkovnice. Je dodáván s kartou a s kabel pro připojení k měřicí kartě.

Vlastnosti měřicí karty:

- Dvanáct 14-bitových analogových vstupů
- Dvanáct 14-bitových analogových výstupů
- 12 digitálních vstupů, 12 digitálních výstupů
- Krátká doba převodu
- Nízká spotřeba
- Ovladač pro Real-Time Windows Target
- Ovladač pro Windows, 32 i 64-bitové

Aplikace je určena pro:

- Připojení převodníků a snímačů
- Měření stejnosměrných napětí (proudů s příslušnou redukcí)
- Řízení a monitorování procesů
- Snímání a analýza průběhu
- Vícekanálový sběr dat
- Simulace v reálném čase
- Programovatelné vstupní rozsahy

Analogové vstupy:

Kanály:	12
A/D převodník:	16-bitový, Vstupní rozsahy:
	+/-10 V
Spouštění:	programově,
časovačem, externě	

Analogové výstupy:

Kanály:	12 kanálů, 16-bitů
Výstupní rozsah:	± 10 V
Výstupní proud:	10 mA max.

Digitální vstupy/výstupy:

Vstupní linky:	12, s úrovní TTL
Výstupní linky:	12, s úrovní TTL

Všeobecné údaje:

Odběr proudu:	500 mA @ +5 V 150 mA @ +12 V 150 mA @ -12 V
Pracovní teplota:	0 to 50 °C
Konektor:	1 x DB-37 F
Sběrnice	PCI 5V or 3.3V

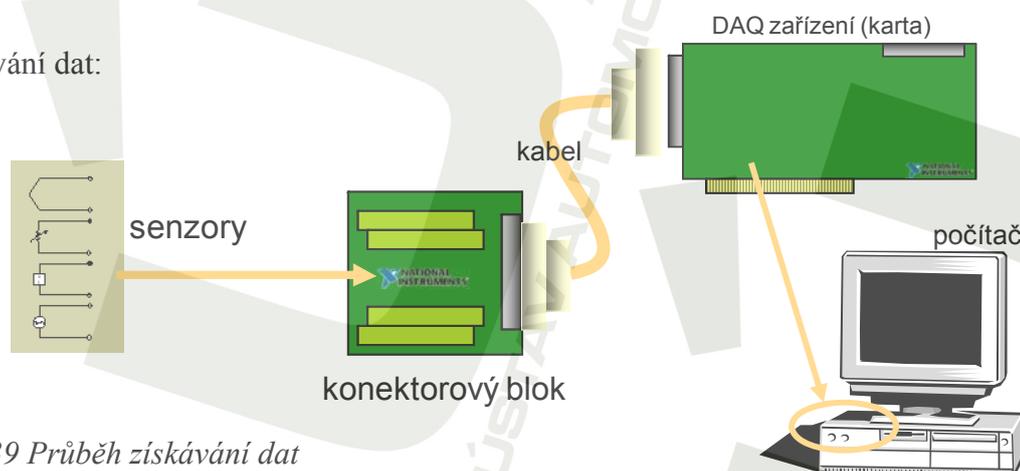
### 5.7.3.3 Zpracování signálů a obrazů pomocí LabView

Měřicí software společnosti National Instruments

Aplikace LabVIEW SignalExpress jedná se o interaktivní **měřicí software, který zjednodušuje záznam údajů, řízení přístrojů a názornost měření.** Aplikace LabVIEW SignalExpress, založená na funkcích grafického programování LabVIEW, umožňujících základní měření, analýzu a vytváření zpráv, je konfiguračním prostředím pro ovládání řady měřicích zařízení.

Naměřená data jsou ukládána na disk počítače nebo do libovolné databáze. V aplikaci LabVIEW SignalExpress stačí několik kliknutí tlačítkem myši k rychlému měření (prostředí programu viz obr. 36, 37), zápisu dat na disk a exportu do tabulkového procesoru, jako je např. Microsoft Excel, OpenOffice, apod. Software disponuje také dalšími potřebnými funkcemi, např. monitorováním alarmů a záznamem provozních stavů (např. teplota, stav oleje).

Získávání dat:



Obr. 39 Průběh získávání dat

Aplikace LabVIEW SignalExpress načte konfiguraci modulárního systému plug-and-play pro sběr dat NI CompactDAQ po jednom kliknutí. Řada NI CompactDAQ s více než 30 moduly na výběr značně usnadňuje mnohá měření, např. RTD, proudové smyčky, digitálních linek, rychlé analogové v/v a analogové v/v s velkým rozlišením. Kombinace hardwaru plug-and-play CompactDAQ připojitelného přes sběrnici USB a aplikace LabVIEW SignalExpress představuje komplexní a snadno použitelné univerzální řešení pro záznam dat, které skutečně zkrátí dobu potřebnou k nastavení systému a k vlastnímu měření.

Obrazovka prostředí LabVIEW SignalExpress - Vyšší produktivita měření. Použití samostatně stojících přístrojů pro provádění opakovaných měření nebo použití několika přístrojů např. pro měření impulzní či přechodové charakteristiky, často obnáší zdoluhavé manuální nastavování přístrojů pomocí knoflíků a tlačítek. Pomocí aplikace LabVIEW SignalExpress a některého z více než 400 modulárních přístrojů různých typů lze takové úlohy snadno automatizovat a zjednodušit. Použitím prostředí LabVIEW SignalExpress k automatizaci mnoha běžných měření, např. charakteristik obvodů, rozmitání kmitočtu a záznamu dat, lze ušetřit mnoho cenných hodin.

Další zvýšení produktivity měření přináší přes 200 analytických a vyhodnocovacích funkcí aplikace LabVIEW SignalExpress, včetně analýzy ve frekvenční i časové oblasti či statistické analýzy. Funkce jsou k dispozici pro analýzu on-line již v průběhu měření. Analýzou dat v reálném čase během sběru dat mohou uživatelé ihned identifikovat poruchy a konstrukční vady a mohou rychle učinit nápravu. Nemusí tedy provádět měření opakovaně po každé změně návrhu. Testovací sekvenci lze pak automaticky vygenerovat do vývojového prostředí LabVIEW a využít ji např. při měření na výrobní lince. Vývoj 4x – 10x rychlejší oproti běžnému programování. [ 24 ]

## 6 Návrh sloupového jeřábu

### 6.1 Zhodnocení ukotvení manipulačního zařízení

Návrh manipulačního zařízení pro pracoviště pro zkoušení hydraulických prvků ve firmě Agrotec, a.s. zásadním způsobem ovlivnila skutečnost, že jsem od firmy Agrotec, a.s. nezískal průkazné informace o použitých stavebních materiálech a celkové statice stavby. Jako manipulační zařízení, které má zabezpečit pohyb břemene v definovaném sektoru pracoviště a přitom nemůže být ukotveno do stěn ani do stropu budovy, jsem navrhl sloupový jeřáb s ukotvením do podlahy. Současná podlaha rovněž nevyhovuje ukotvení manipulačního zařízení, ale je jediným místem na pracovišti, kterou je možno s relativně malými náklady rekonstruovat se zabezpečením požadavku bezpečného ukotvení sloupového jeřábu. Rekonstrukci podlahy je nutné provést i z pohledu ekologie neboť současná betonová podlaha je zcela nasáklá olejem z demontáží a zkoušení hydraulických prvků.

## 6.2 Návrh sloupového jeřábu a výpočty

Pro stanovení skupiny klasifikace mechanismů podle ČSN ISO 4301 - 1 se používá empirický vzorec, který stanoví výpočtovou dobu  $t_m$ .

	M3(1Bm)	M4(1Am)	M5(2m)	M6(3m)
1 - lehká	1-2	2-4	4-8	8-16
2 - mírná	0,5-1	1-2	2-4	4-8
3 - těžká	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-4
4 - velmi těžká	0,125-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1-2

Tab. 11 Skupiny stavu zatěžování

Do vzorce pro výpočtovou dobu  $t_m$  dosazují tyto proměnné:

HW = 3,0 m ..... střední dráha háku

V = 6,0 m/min ..... rychlost zdvihu

ASP = 8 ..... počet cyklů za 1 hodinu

AZ = 16 hod / den ..... denní pracovní doba

$$t_m = (2 \times HW \times ASP \times AZ) : (60 \times V) \quad (1)$$

$$t_m = (2 \times 3 \times 8 \times 16) : (60 \times 6)$$

$$t_m = 2,1 \text{ hod/den}$$

Při zařazení kladkostroje do skupiny stavu zatěžování 2 - střední pak vyhoví skupina mechanismů M5 (2m). [ 13 ]



Obr. 40 Model sloupového jeřábu

Popis	Profil
Nosný sloup	TR 245/10
Rameno jeřábu	IPE 160
Vzpěra ramene	P 8
Otoč na sloupu	P 8

Tab. 12 Seznam profilů jeřábu

Materiál Ocel 11 373.0 Re = 235 MPa, Rm = 360 MPa

### 6.2.1 Kladkostroj

Jako nejvhodnější jsem vybral kladkostroj LIFTKET model STAR 020/53, verze 250/1-6

Typ kladkostroje	LIFTKET 250/1-6	
Nosnost:	250	kg
Rychlost zdvihu:	6	m/min
Počet nosných řetězů	1	
Klasifikace mechanismu dle FEM 9.511	3m	
Rychl. poj. kladkostroje:	20	m/min
Vyložení kladkostroje:	3 000	mm
Zdvih:	2443	mm
Vyložení ramene:	3100	mm
Otáčení ramene jeř.	Ruční	



Tab. 13 Technické údaje kladkostroje a jeřábu [ 6 ]

### 6.2.2 Kombinace zatěžovacích stavů

Z konstrukce je patrné, že nejkritičtější poloha zatížení je na konci výložníku od vlastní váhy jeřábu + kladkostroj s břemenem + setrvačnost (mezní stav únosnosti nebo použitelnosti). Následné výpočty se tedy tykají této kritické poloze zatížení. [ 13 ]

### 6.2.3 Síly působící na jeřáb

břemeno + kladkostroj:

LIFTKET 250/2-4

nosnost  $m_{kl} = 25$  kg

Konstrukce jeřábu 250 kg

max. nosnost  $m_b = 250$  kg

$$F_A = g \cdot (m_{kl} \cdot m_b) \quad (2)$$

$$F_A = 9,81 \cdot (25 \cdot 250)$$

$$F_A = 2698N$$

Setrvačné síly od profilu výložníku a od břemene s kladkostrojem:

Předpokládané doba zastavení jeřábu  $t = 1$  s

Předpokládané otáčky  $n = 0,65 \text{ min}^{-1}$

Hmotnost IPE 160  $m_{\text{IPE}} = 15,8 \text{ kg/m}$

Rychlost a zrychlení v uzlu 4:

$$v_4 = \frac{\pi \cdot r_4 \cdot n}{30} \quad (3)$$

$$v_4 = \frac{\pi \cdot 0,3 \cdot 0,65}{30}$$

$$\underline{\underline{v_4 = 0,02 \text{ m/s}}}$$

$$a_4 = \frac{v_4}{t} \quad (4)$$

$$a_4 = \frac{0,02}{1}$$

$$\underline{\underline{a_4 = 0,02 \text{ m/s}^2}}$$

Velikost spojitého setrvačného zatížení pak bude:

$$q_4 = a_4 \cdot m_1 \quad (5)$$

$$q_4 = 0,02 \cdot 15,8$$

$$\underline{\underline{q_4 = 0,3 \text{ N/m}}}$$

Rychlost a zrychlení v uzlu 5:

$$v_5 = \frac{\pi \cdot r_5 \cdot n}{30} \quad (6)$$

$$v_5 = \frac{\pi \cdot 3 \cdot 0,65}{30}$$

$$\underline{\underline{v_5 = 0,2 \text{ m/s}}}$$

$$a_5 = \frac{v_5}{t} \quad (7)$$

$$a_5 = \frac{0,2}{1}$$

$$\underline{\underline{a_5 = 0,2 \text{ m/s}^2}}$$

Velikost spojitého setrvačného zatížení pak bude:

$$q_5 = a_5 \cdot m_1 \quad (8)$$

$$q_5 = 0,2 \cdot 15,8$$

$$\underline{\underline{q_5 = 3 \text{ N/m}}}$$

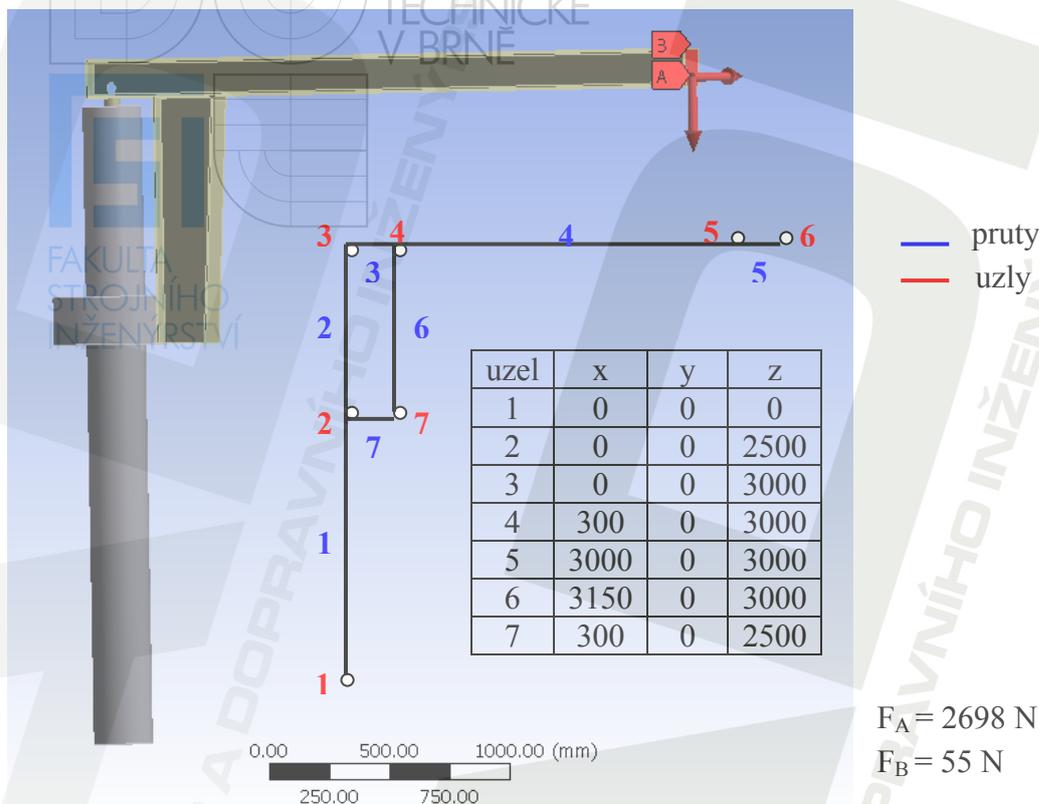
Setrvačná síla od kladkostroje s břemenem působící v uzlu 5:

$$F_B = (m_b + m_{\text{kl}}) a_5 \quad (9)$$

$$F_B = (250 + 25) \cdot 0,2$$

$$\underline{\underline{F_B = 55 \text{ N}}}$$

### 6.2.4 Model sloupového jeřábu v programu Ansys



Obr. 41 Schéma konstrukce + zatěžující síly a souř. uzlů vzhledem k vetknutí počátku s.s.

Model, vytvořený v ProEngineeru jsem převedl do programu Ansys. Pomocí programu Ansys jsem provedl zatížení vypočtenými silami  $F_A = 2698 \text{ N}$  (od břemene s kladkostrojem) a  $F_B = 55 \text{ N}$  (setrvačná síla od kladkostroje). Zatížením až na konci výložníku nahradím spojité zatížení (od setrvačné síly na profilu výložníku).

### 6.2.5 Vnitřní síly na prutech

Síly jsou vypočteny z mezního stavu únosnosti pomocí programu Nexis => jsou větší než při nominálním zatížení.

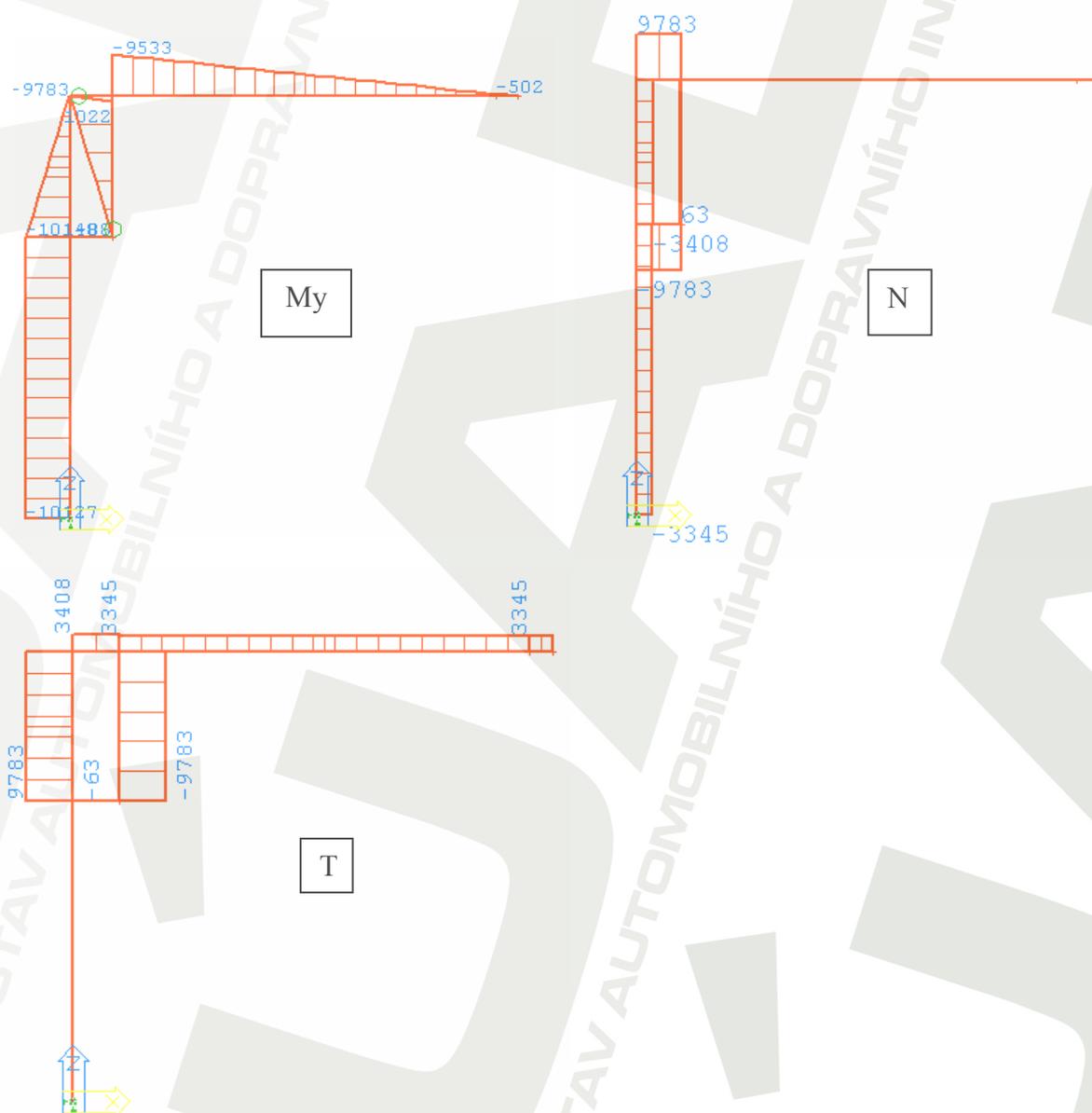
Prut	Kombinace únosnost	dx	N [N]	Ty [N]	Tz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
1	2	0	-3345	59	0	175	-10127	-179
2	2	0	-3408	45	9783	168	-10148	-50
		1000	<b>-3408</b>	45	<b>9783</b>	168	-365	-5
3	2	0	<b>9783</b>	45	<b>3408</b>	-1	0	-174
		300	9783	45	3408	-1	1022	-160

4	2	0	0	58	3345	4	-9533	-164
5	2	0	0	55	3345	4	-502	-8
6	2	0	63	14	-9783	2	-9783	4
		1000	63	14	-9783	2	0	-10
7	2	0	-9783	14	-63	-10	-69	-9
		300	-9783	14	-63	-10	-88	-4

— síly působící na ložiska

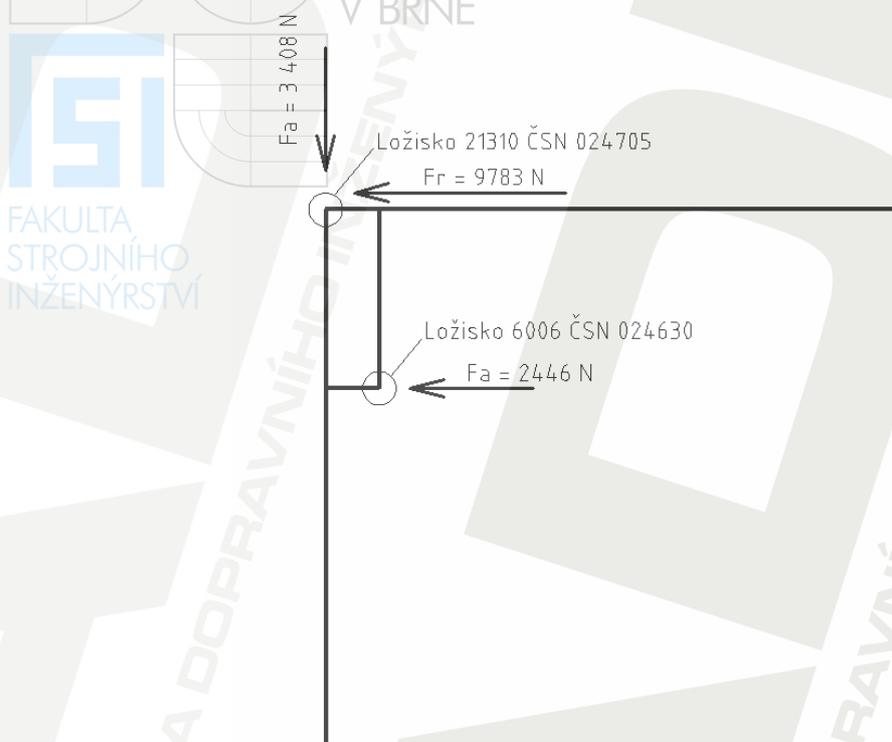
— síly působící ve svarech

Tab. 14 Vnitřní síly na prutech jeřábu



Obr. 42 Průběhy napětí na prutech

### 6.2.6 Volba a kontrola ložisek



Obr. 43 Síly působící na ložiska jeřábu

Ložisko 21310 ČSN 024705:

$$F_r = 9\,783\text{ N}$$

$$F_a = 3\,408\text{ N}$$

Vlastnosti ložiska:

$$C_0 = 81\,500\text{ N}$$

$$C = 120\,000\text{ N}$$

$$X_0 = 1$$

$$Y_0 = 1,8$$

$$F_e = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$$

$$F_e = 1 \cdot 9783 + 1,8 \cdot 3408$$

$$F_e = 15917\text{ N}$$

(10)

Kývavý pohyb ložiska => bezpečnost  $k_0 = 2,5 \div 3,5$

Volím bezpečnost  $k_0 = 3$

Vypočet bezpečnosti:

$$k_0 = \frac{C_0}{F_e}$$

$$k_0 = \frac{81500}{15917}$$

$$k_0 = 5,1 > k_0 \text{ volená} \Rightarrow \text{LOŽISKO VYHOVUJE}$$

(11)

Ložisko 6006 ČSN 024630:

$$F_r = \frac{9784}{4} = 2446 \text{ N} \dots\dots\dots \text{Síla se rozkládá do 4 ložisek} = 2 \text{ čepy}$$

$$F_a = 0 \text{ N}$$

Vlastnosti ložiska:

$$C_0 = 6800 \text{ N}$$

$$C = 10200 \text{ N}$$

$$X_0 = 0,6$$

$$Y_0 = 0,5$$

$$F_e = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \tag{12}$$

$$F_e = 0,6 \cdot 2446 + 0,5 \cdot 0$$

$$\underline{F_e = 1468 \text{ N}}$$

Kývavý pohyb ložiska  $\Rightarrow$  bezpečnost  $k_0 = 1,5 \div 2$

Volím bezpečnost  $k_0 = 2$

Vypočet bezpečnosti:

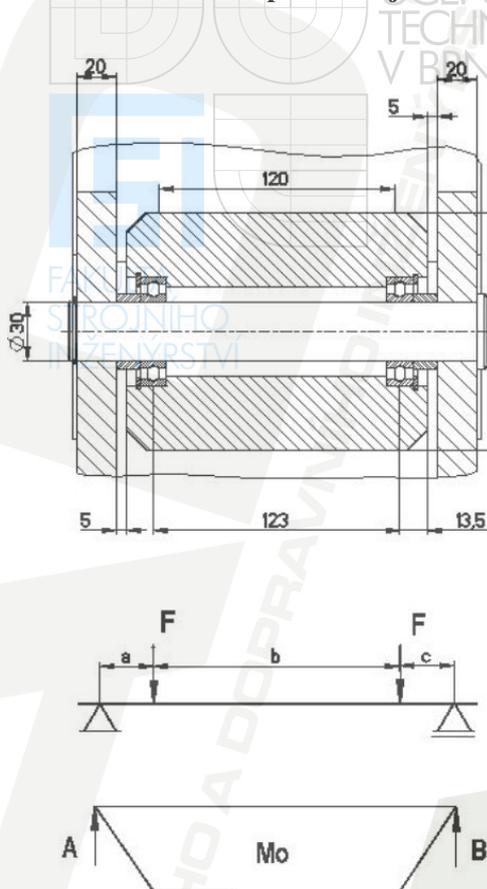
$$k_0 = \frac{C_0}{F_e} \tag{13}$$

$$k_0 = \frac{6800}{1468}$$

$$\underline{k_0 = 4,6} > k_0 \text{ volená} \Rightarrow \text{LOŽISKO VYHOVUJE}$$

Protože jsou síly na ložisku vypočteny z mezního stavu únosnosti, (jsou větší než při nominálním zatížení), ložiska vyhovují s dostatečnou rezervou. [ 13 ]

### 6.2.7 Kontrola čepu otoče jeřábu



$$F = F_r$$

$$a = c = \frac{20}{2} + 5 + 13,5 = 28,5 \text{ mm}$$

$$b = 123 \text{ mm}$$

$$A + B = 2 \cdot F_r$$

$$B \cdot (a + b + c) - F_r \cdot (a + b) - F_r \cdot a = 0$$

$$B \cdot (2 \cdot 28,5 + 123) - F_r \cdot (28,5 + 123) - F_r \cdot 28,5 = 0$$

$$B \cdot 180 = F_r \cdot 151,5 + F_r \cdot 28,5 \Rightarrow \underline{B = F_r}$$

$$A + F_r = 2 \cdot F_r \Rightarrow \underline{A = F_r}$$

Obr. 44 Řez otoči jeřábu

Kontrola čepu na ohyb:

Čep je z materiálu 11 343, zatížení předpokládám míjivé v důsledku zvedání břemene a následného odlehčení po položení břemene na zem.

$$\sigma_{\text{DOH}} = (85 \div 115) \text{ MPa}$$

Výpočtové napětí:

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} \leq \sigma_{\text{DOH}}$$

$$M_0 = F \cdot a$$

$$M_0 = 2446 \cdot 28,5$$

$$\underline{\underline{M_0 = 69711 \text{ N} \cdot \text{mm}}}$$

(14)

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (15)$$

$$W_0 = \frac{\pi \cdot 30^3}{32}$$

$$W_0 = 2650 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} \quad (16)$$

$$\sigma_0 = \frac{69711}{2650}$$

$$\sigma_0 = 26,3 \text{ MPa} \leq \sigma_{D0II} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrola na otláčení čepu:

Vidlice je z oceli na odlitky  $\Rightarrow$  pro míjivé namáhání:

$$p_{DII} = (85 \div 125) \text{ MPa}$$

$$p = \frac{F_r}{2 \cdot 20 \cdot d}$$

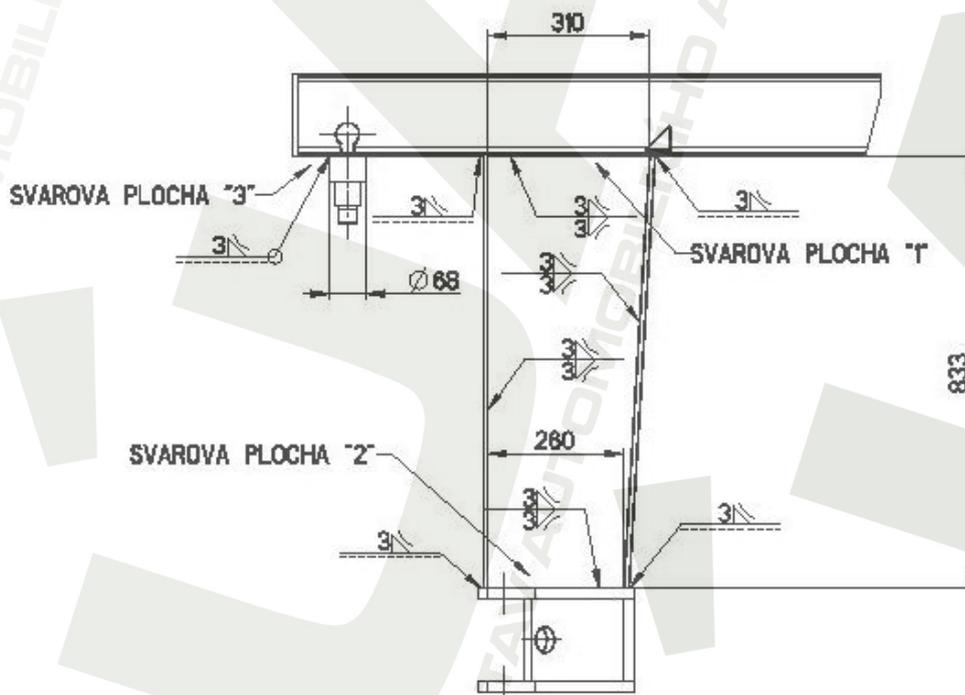
$$p = \frac{2446}{40 \cdot 30}$$

$$p = 2 \text{ MPa} < p_{DII} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (17)$$

Protože jsou síly na čep vypočteny z mezního stavu únosnosti, (jsou větší než při nominálním zatížení), čep vyhovuje s dostatečnou rezervou. [ 13 ]

### 6.2.8 Kontrola svarů ramene

Přehled kontrolovaných svarových ploch je zobrazen na obr. 42.



Obr. 45 Svarové plochy ramene jeřábu

Pro materiál nosných částí 11 373 namáhaných míjivě  $\Rightarrow \sigma_{DII} = (65 \div 95) \text{ MPa}$

Dovolené napětí svaru:

$$\tau_{Dsv} = 0,65 \cdot \sigma_{DII} \quad (18)$$

$$\tau_{Dsv} = 0,65 \cdot 65$$

$$\tau_{Dsv} = 42,3 \text{ MPa}$$

Svarová plocha (1):

Délka svaru:  $l_1 = 2 \cdot 310 + 2 \cdot 82 + 2 \cdot (82 - 8) \approx 932 \text{ mm}$

Ohyb:

$$\tau_{\perp 1} = \frac{M_o}{W_{osv}} = \frac{0,7 \cdot 3 \cdot M_o}{t \cdot l_1^2} \quad (19)$$

$$\tau_{\perp 1} = \frac{0,7 \cdot 3 \cdot 0,9 \cdot 10^7}{3 \cdot 932^2}$$

$$\tau_{\perp 1} = 7,9 \text{ MPa}$$

Smyk:

$$\tau_{III} = \frac{0,7 \cdot F_{II}}{t \cdot l_1} \quad (20)$$

$$\tau_{III} = \frac{0,7 \cdot 9783}{3 \cdot 932}$$

$$\tau_{III} = 2,5 \text{ MPa}$$

Kombinace:

$$\tau_1 = \sqrt{\tau_{\perp 1}^2 + \tau_{III}^2} \quad (21)$$

$$\tau_1 = \sqrt{7,9^2 + 2,5^2}$$

$$\tau_1 = 8,2 \text{ MPa}$$

$< \tau_{Dsv} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Svarová plocha (2):

Délka svaru:  $l_2 = 2 \cdot 260 + 2 \cdot 82 + 2 \cdot (82 - 8) \approx 832 \text{ mm}$

Smyk:

$$\tau_{II2} = \frac{0,7 \cdot F_{II}}{t \cdot l_2} \quad (22)$$

$$\tau_{II2} = \frac{0,7 \cdot 9783}{3 \cdot 832}$$

$$\tau_{II2} = 2,7 \text{ MPa}$$

$< \tau_{Dsv} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Svarová plocha (3):

Délka svaru:  $l_3 = \pi \cdot 68 \approx 213\text{mm}$

Smyk:

$$\tau_{II3} = \frac{0,7 \cdot F_{II}}{t \cdot l_3} \quad (23)$$

$$\tau_{II3} = \frac{0,7 \cdot 9783}{3 \cdot 213}$$

$$\tau_{II3} = 10,7\text{MPa} < \tau_{Dsv} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Protože jsou síly na svary vypočteny z mezního stavu únosnosti, (jsou větší než při nominálním zatížení), svary vyhovují s dostatečnou rezervou. [ 13 ]

### 6.2.9 Reakce ve vetknutí jeřábu do země

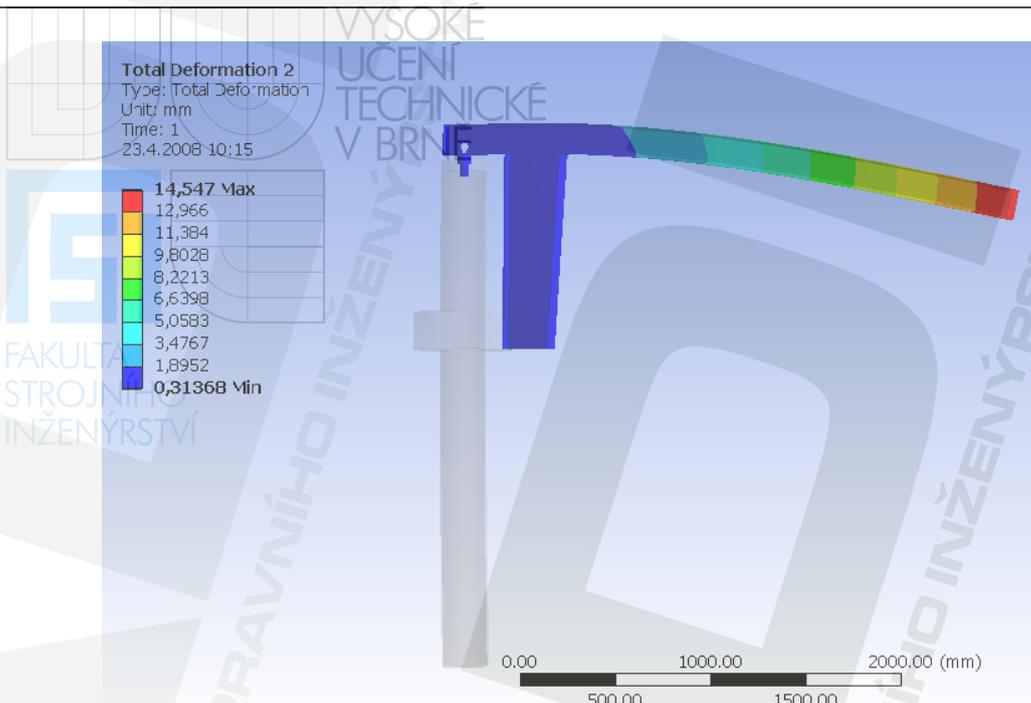
Reakce ve vetknutí jsou vypočteny z mezních stavů únosnosti  $\Rightarrow$  jsou větší než reakce při nominálním namáhání.

uzel	Kombinace únosnost	$R_x$ [N]	$R_y$ [N]	$R_z$ [N]	$M_x$ [Nm]	$M_y$ [Nm]	$M_z$ [Nm]
1	2	0	59,5	3345,0	-178,7	-10536,8	182,2

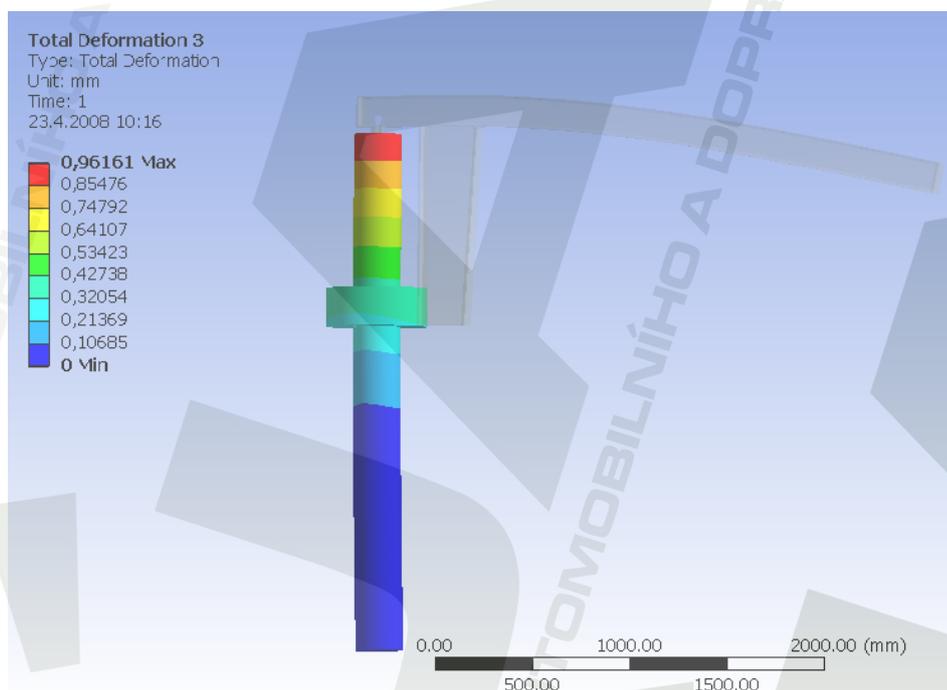
Tab. 15 Reakce ve vetknutí jeřábu do země

### 6.2.10 Deformace prutů

Deformace jsou vyhodnocovány pro mezní stav použitelnosti  $\Rightarrow$  jsou to celkové deformace při nominálním zatížení.



Obr. 46 Celková deformace ramene jeřábu

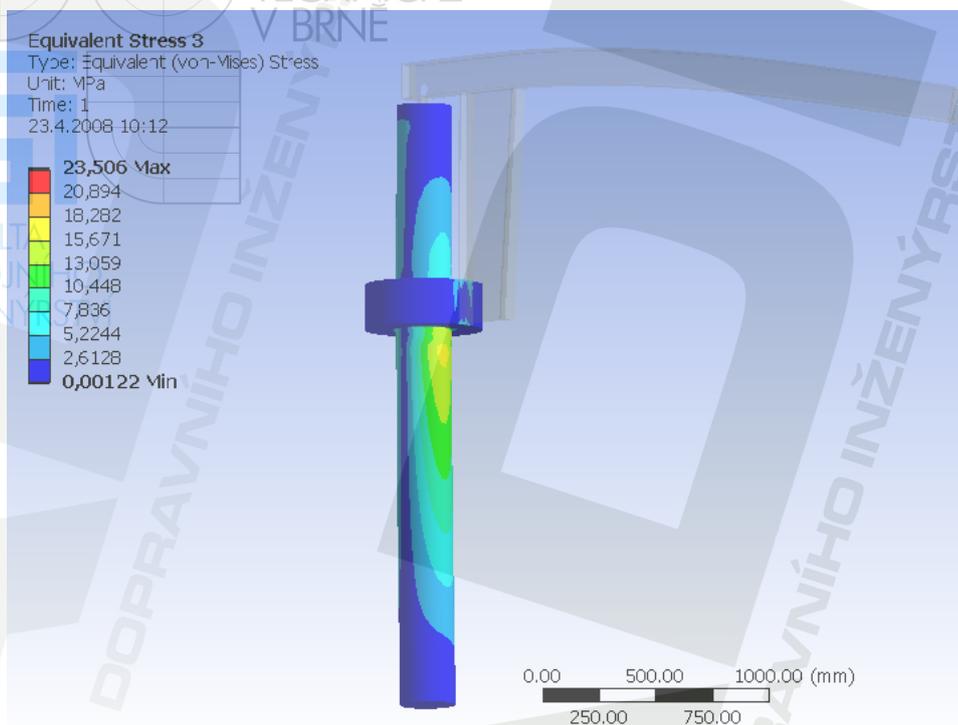


Obr. 47 Celková deformace sloupu jeřábu

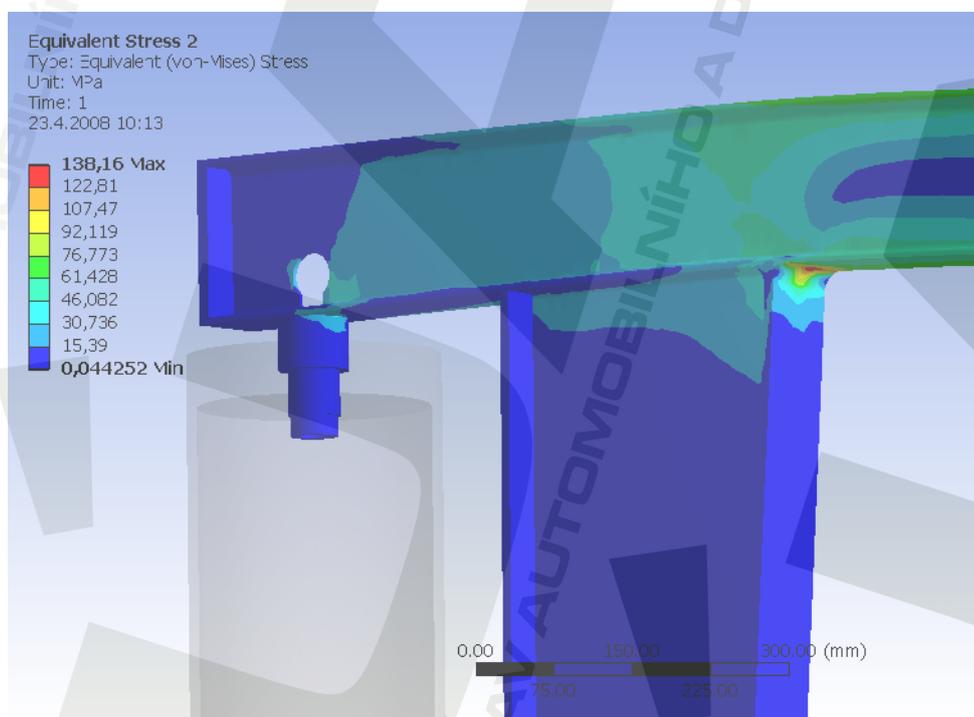
Dovolená deformace sloupu je  $\left(\frac{1}{400} \div \frac{1}{300}\right) \cdot \text{vyložení} = 7,5 \div 10 \text{ mm}$

$1 < 7,5 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

### 6.2.11 Grafické znázornění ekvivalentního napětí pode HMH



Obr. 48 Napětí na sloupu - ekvivalentní napětí



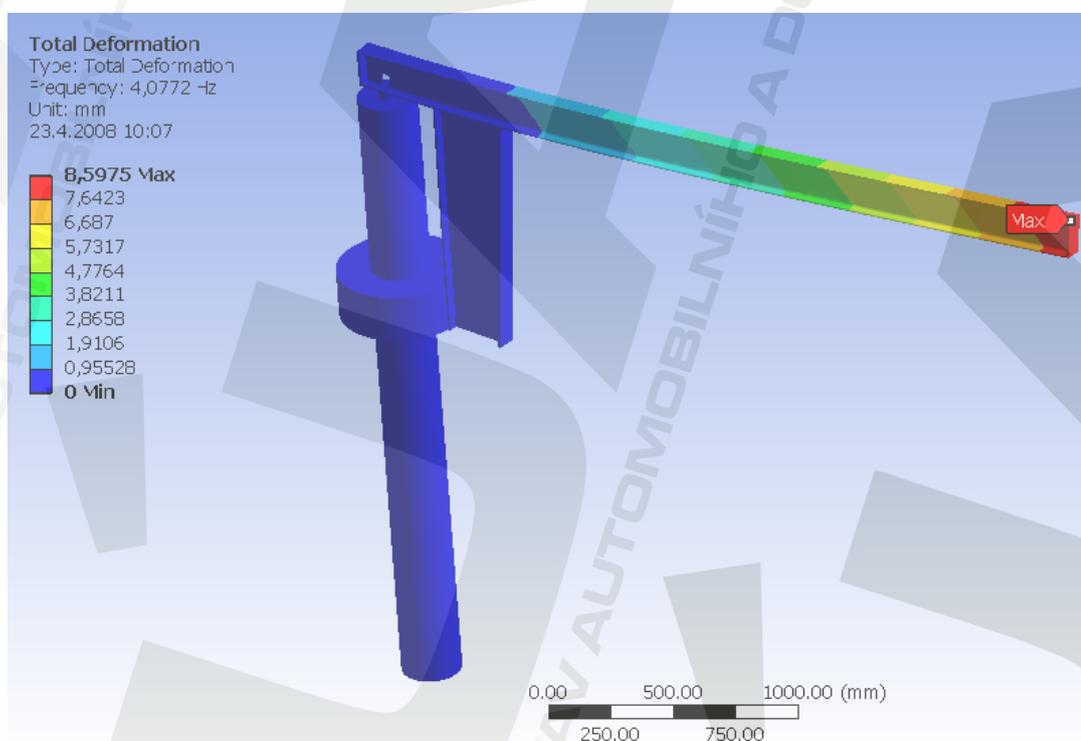
Obr. 49 Napětí na rameni - ekvivalentní napětí (Největší vrubové napětí)

### 6.2.12 Vlastní frekvence kmitání jeřábu

Vlastní frekvence jsem získal výpočtem modelu jeřábu v programu Ansys Workbench. Frekvence kmitání jeřábu by měla být co nejvyšší. Ovlivňuje ji geometrie jeřábu a použité profily. Okrajové podmínky pro frekvenční analýzu jsou z předchozího statického výpočtu.

Číslo frekvence	Hodnota [Hz]	Rovina
1	4,077	vodorovná
2	12,349	svislá
3	15,293	vodorovná
4	20,091	svislá
5	24,624	vodorovná
6	28,562	svislá

Tab. 16 Vlastní frekvence jeřábu



Obr. 50 Tvar první vlastní frekvence

## 7 Zkušební metodiky

### 7.1 Postup zkoušení

Zkoušený prvek se instaluje na zkušební zařízení pomocí příslušné příruby a spojky /viz výkresová dokumentace 2-VK-0007, 2-VK-0008, 3-VK-0011÷0014/ pro daný typ převodníku a připojí se hadicemi do hydraulického obvodu dle schématu str. 22 na obr.8. Před zahájením zkoušky musí být zkoušený převodník zcela zaplněn hydraulickým olejem, pro splnění této podmínky je zde zařazeno plnicí čerpadlo /viz str.22 pozice 8/, které je ovládáno řídicím systémem.

V softwaru počítače je vybrán příslušný převodník a řídicím systémem jsou zajištěny potřebné nastavení před spuštěním vlastního měření. Následně je pomocí klávesnice spuštěno vlastní měření.

Vyhodnocení, sběr naměřených dat, zpracování a archivace je zabezpečováno řídicím systémem. Z naměřených dat lze vytisknout zkušební protokol v podobě charakteristik a tabulek.

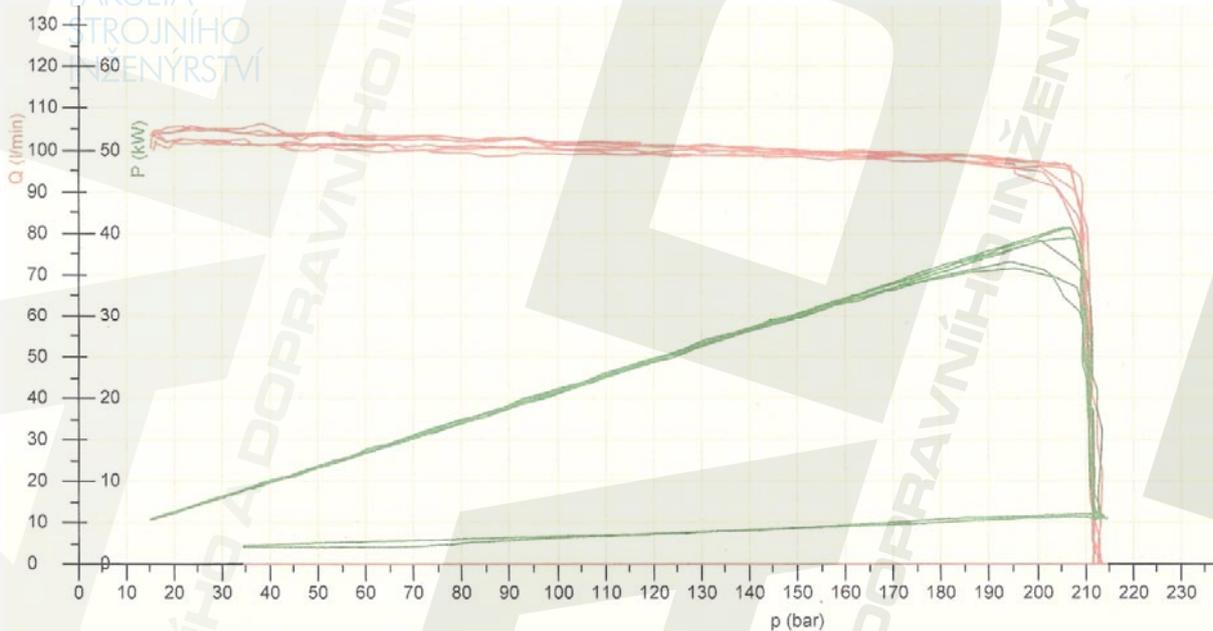
Příklad měření:

- 1) Nastavení otáček.
- 2) Tlak + průtok  $\Rightarrow$  postupné zvyšování tlaku, zaznamenávání měřených údajů při tlaku 50, 100, 150, 200 bar a dále pak po 20-ti barech až po max. tlak 350 bar.
- 3) Hodnotí se výstupní průtok oproti vstupnímu tzv. průtoková účinnost. Povoluje se na každých 50 bar 1% odchylka mezi vstupním a výstupním průtokem.

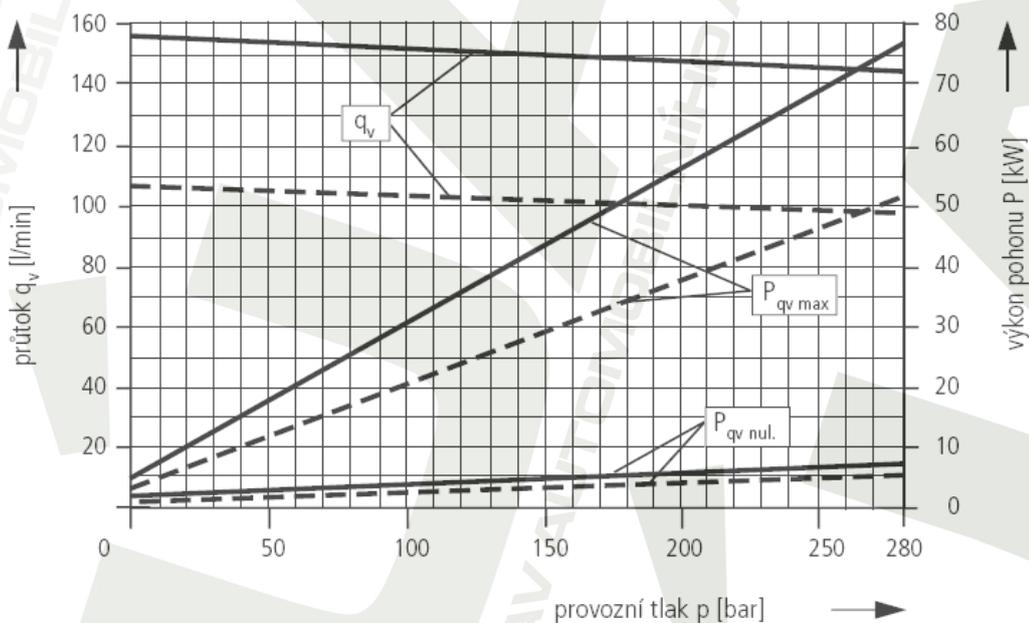
### 7.1.1 Zkušební protokol

Příklad pro zkoušený prvek: Hydrogenerátor A10VSO71

Jedná se o regulační axiální pístový hydrogenerátor s šikmou deskou pro hydrostatické pohony otevřených obvodů. Plynulá změna průtoku je realizována naklopením šikmé desky. Červeně: závislost průtoku na tlaku hydrogenerátoru při otáčkách  $1500 \text{ min}^{-1}$ . Zeleně: závislost výkonu na tlaku při  $Q_{\text{max}}$  (změnou naklopení desky) a  $Q_{\text{min}}$  (změnou naklopení desky). Hydraulicky olej dle normy ISO VG 46 DIN 51519,  $t = 50^\circ \text{ C}$ .



Graf 5 Skutečné, naměřené hodnoty: výkon a průtok v závislosti na tlaku



Graf 6 Požadované hodnoty: charakteristika pro porovnání [ 15 ]

---  $n = 1500 \text{ min}^{-1}$   
—  $n = 2200 \text{ min}^{-1}$

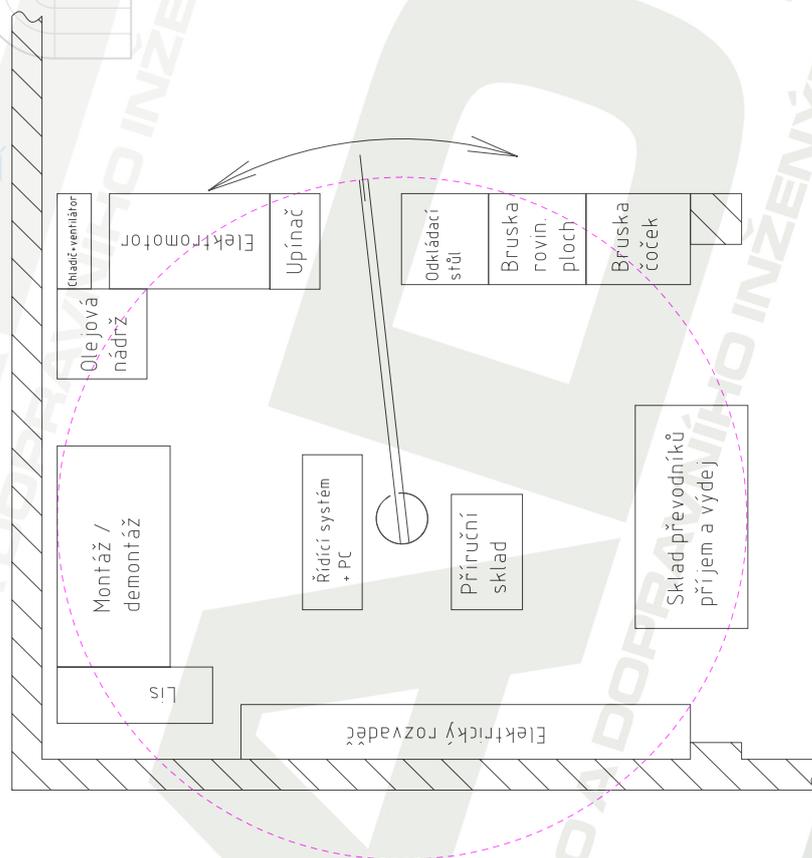
### 7.1.2 Seznam měřených veličin

POZ.	NÁZEV VELIČINY	SYM- BOL	JED- NOTKA	ROZSAH	PŘESNOST	MĚŘICÍ ZARÍZENÍ
4	TEPLOTA HYDR.KAPALINY V NÁDRŽI	$t_{ON}$	°C	-25 až +120	± 0,5%	TEPLOMĚR PTP 50
12	TLAK HYDR.KAPALINY – ZÁTĚŽOVÁ VĚTEV (VSTUP)	$p_{ZV1}$	bar	0 až 400	< ± 0,5 %	SNÍMAČ TLAKU PA 3020
39	TLAK HYDR.KAPALINY – ZÁTĚŽOVÁ VĚTEV (VÝSTUP)	$p_{ZV2}$	bar	0 až 400	< ± 0,5 %	SNÍMAČ TLAKU PA 3020
13	TEPLOTA HYDR.KAPALINY - ZÁTĚŽOVÁ VĚTEV (VSTUP)	$t_{ZV1}$	°C	0 až +140	± 0,1 %	SNÍMAČ TEPLoty TA 3130
38	TEPLOTA HYDR.KAPALINY - ZÁTĚŽOVÁ VĚTEV (VÝSTUP)	$t_{ZV2}$	°C	0 až +140	± 0,1 %	SNÍMAČ TEPLoty TA 3130
14	PRŮTOK HYDR.KAPALINY - ZÁTĚŽOVÁ VĚTEV (VSTUP)	$q_{ZV1}$	L/min	2 až 600	< ± 0,1 %	PRŮTOKOMĚR VC1 FIPS
42	PRŮTOK HYDR.KAPALINY - ZÁTĚŽOVÁ VĚTEV (VÝSTUP)	$q_{ZV2}$	L/min	2 až 600	< ± 0,1 %	PRŮTOKOMĚR VC1 FIPS
23	TLAK HYDR.KAPALINY – REGULAČNÍ VĚTEV 1	$p_{RV1}$	bar	0 až 400	0,6 %	MANOMETR 312.20
27	TLAK HYDR.KAPALINY – REGULAČNÍ VĚTEV 2	$p_{RV2}$	bar	0 až 400	0,6 %	MANOMETR 312.20
18	OTÁČKY MOTORU - KMITOČET	$f_M$	Hz	0 až 10 000	0,5 %	SNÍMAČ OTÁČEK M441
36	MNOŽSTVÍ SVODOVÉHO PRŮTOKU	$V_{SP}$	ml	0 až 8000	1,0 %	ODMĚRNÝ VÁLEC

Tab. 17 Seznam měřených parametrů hydraulických prvků

## 8 Návrh logistiky pracoviště

Nově navržené organizační uspořádání pracoviště oprav a zkoušení hydraulických převodníků je patrné z následujícího obrázku :



Obr. 51 Návrh nového uspořádání pracoviště

Nové řešení organizace provozu oprav a zkoušení převodníků bylo vytvořeno s ohledem na technologičnost oprav a zajištění plynulého postupu všech činností od příjmu až po výdej. Organizační náležitosti provozu byly podpořeny vytvořením příjmu a výdeje hydraulických převodníků včetně vytvoření nových skladových prostor pro tyto převodníky. Opravárenská část byla vylepšena umístěním demontážního a montážního stolu k největšímu zdroji denního světla tj. k oknům, umístěním zdrojů znečištění (jednoúčelových strojů pro broušení dílů) co nejdále od demontážního stolu, doplnění pomocného odkládacího stolu k jednoúčelovým strojům a umístěním sloupového jeřábu do míst ve kterém bude zajištěno potřebné pokrytí prostorů ramenem jeřábu s kladkostrojem. Zkušební část byla vylepšena novým návrhem hydraulického obvodu zkušebního zařízení a jeho propojením s řídicím pracovištěm s PC pro sběr a vyhodnocování naměřených údajů.

## 9 Ekologie pracoviště

Ve smyslu zákona č.185/2001Sb. a vyhlášek Ministerstva životního prostředí č.381/2001Sb. (stanovuje Katalog odpadů a Seznam nebezpečných látek) a č.383/2001Sb. (stanovuje podrobnosti nakládání s odpady) je každá organizace nakládající s nebezpečnými odpady povinna zabezpečit svoje provozy proti úniku nebezpečných látek.

Rekonstrukce celé podlahy pracoviště oprav a zkoušení hydraulických prvků bude provedena s ohledem na zabezpečení ekologie provozu a zamezení úniku nebezpečných látek. Pod celé zkušební zařízení bude instalována záchytná vana o objemu 350 litrů, která by zajistila zachycení hydraulického oleje i v případě úniku celého obsahu nádrže.

Vnitřní směrnice o odpadovém hospodářství v Agrotec, a.s. stanovují způsob likvidace nebezpečných odpadů z běžného provozu pracoviště, způsob čištění a údržby záchytné vany a podlahy a rovněž postupy pro případ havárie.

## 10 Závěr

V této diplomové práci byla provedena úprava stávající zkušebny hydraulických prvků (hydrogenerátorů a hydromotorů) v současné době umístěné ve firmě Agrotec,a.s. servisní středisko stavební divize Brno. Vzhledem k rozsáhlým cílům stanovených v zadání diplomové práce bylo nutné přistoupit k řešení modernizace zkušebny v následujících třech samostatných krocích :

- 1) návrh úpravy hydraulického obvodu pro zkoušení a diagnostiku regulačních a neregulačních axiálních pístových převodníků, postup měření a vyhodnocování výsledků zkoušek hydraulických převodníků
- 2) návrh, výpočty a zpracování výkresové dokumentace manipulačního zařízení pro upevňování hydraulických prvků do zkušebního zařízení a manipulaci po celém pracovišti
- 3) návrh řešení organizace pracoviště se změnou organizačního uspořádání dílčích pracovišť vedoucí k zajištění lepší průchodnosti výrobků pracovištěm

Pro zajištění kroku 1 bylo nutné v první fázi seznámit se se současným hydraulickým obvodem včetně jeho zdokumentování, s typy zkoušených převodníků včetně prostudování jejich parametrů, funkce a požadavků na zkoušení a neposlední řadě zjištění způsobu současného zkoušení a jeho nedostatků a potřeb pro jednoduché, ale jednoznačné přezkoušení převodníků s dokladováním jejich jakosti před jejich uvolněním do provozu. Z analýzy výsledků první fáze vyplynuly dílčí body úpravy hydraulického obvodu a bylo přistoupeno k druhé fázi a to k detailnímu zpracování návrhu nového hydraulického obvodu včetně časově náročného zjišťování použitelných prvků do obvodu s ohledem na jejich parametry, dostupnost a cenovou relaci. Výsledkem kroku 1 je v této diplomové práci návrh nového hydraulického obvodu s jeho detailním popisem a zdokumentování všech použitých prvků obvodu. Nový hydraulický obvod plně vyhovuje potřebám pro zkoušení daných typů převodníků v Agrotec,a.s. Pro účely upínání hydraulických převodníků na zkušební zařízení a připojení k asynchronnímu motoru byla vypracována výkresová dokumentace potřebných připojovacích přírub a spojek.

Pro zajištění kroku 2 bylo nutné navrhnout vhodné manipulační zařízení. S ohledem na stav a potřeby pracoviště byl zvolen sloupový jeřáb. V rámci diplomové práce byl proveden vlastní návrh sloupového jeřábu s výběrem vhodného kladkostroje a vytvořeny modely všech jednotlivých dílů jeřábu s následným provedením potřebných kontrolních výpočtů. Na základě vyhovujících výsledků kontrolních výpočtů bylo přistoupeno k vypracování výkresu sestavy sloupového jeřábu včetně definování všech prvků sestavy v rozpise a vypracování detailního výrobního výkresu ramene jeřábu. Vzhledem k rozsahu diplomové práce bylo v souladu s pokyny vedoucího DP ustoupeno od detailního vypracování výkresové dokumentace ostatních vyráběných dílů. Byly vypracovány modely těchto dílů,

definovány materiály a polotovary pro jejich výrobu, provedeny kontrolní výpočty a tak vypracování detailní výkresové dokumentace je již rutinní záležitost.

Pro zajištění kroku 3 bylo nutné seznámit se s průběhem opravy hydraulických převodníků na pracovišti tj. od příjmu převodníků k opravě, přes demontáž, opravu dílů převodníků na jednoúčelových strojích až po zpětnou montáž, přezkoušení s vyhodnocením vyhovění požadavkům jakosti a výdej převodníků z pracoviště. Nové řešení organizace provozu oprav a zkoušení převodníků bylo vytvořeno s ohledem na technologičnost oprav a zajištění plynulého postupu všech činností od příjmu až po výdej.

Veškeré úpravy pracoviště oprav a zkoušení hydraulických převodníků byly v průběhu návrhu i v konečné fázi přezkoumány z pohledu ekologie, environmentálních aspektů a provozní bezpečnosti pracoviště. Pro výrobní i opravárenské firmy je zajištění jakostních výrobků, bezpečnosti práce, splnění přísných ekologických požadavků a minimalizace energetické náročnosti výrobních provozů základním předpokladem trvalé prosperity firmy.

Modernizace pracoviště oprav a zkušebny hydraulických prvků v servisním středisku stavební divize firmy Agrotec, a.s. v Brně, dle návrhu této diplomové práce, zajistí kontrolu hydraulických převodníků po opravě v potřebném rozsahu pro dokladování jakosti těchto výrobků a celkové zefektivnění provozu.

## 11 Seznam použitých zdrojů

- [ 1 ] DORR H., EVALD R., HUTTER J., KRETZ D., LIEDHEGENER F., SCHMITT A.:  
Proporcionální technika a servotechnika; SNTL – Praha, 1986
- [ 2 ] DRAŽAN F., KUPKA L. a kolektiv; Jeřáby I ; SNTL – Praha, 1986
- [ 3 ] DRAŽAN F., KUPKA L. a kolektiv; Jeřáby II ; SNTL – Praha, 1974
- [ 4 ] JANDA P.; DIPLOMOVÁ PRÁCE – Diagnostika rotačních pístových hydromotorů,  
Brno 1999
- [ 5 ] JURÁŠEK O.; Teorie nosných konstrukcí; Vysoké učení technické, Brno - 1989
- [ 6 ] Katalog LIFTKET - Krankomponenten
- [ 7 ] Katalog SKF ložiska, a.s.
- [ 8 ] LEINVEBDR J., VÁVRA P., Strojnické tabulky, ALBRA - Úvaly, 2005
- [ 9 ] MELICHAR J., BLÁHA J., BRADA K.; Hydraulické stroje, konstrukce a provoz;  
vydavatelství ČVUT – Praha, 2002
- [ 10 ] NEPORAŽ F., PEŇÁZ V., NEVRLÝ J., TŘETINA K.; Modelování systémů  
s hydraulickými mechanismy; BOSCH REXROTH, spol. s.r.o. - 2002
- [ 11 ] ONDRÁČEK E., VRBKA J., JANÍČEK P.; Mechanika těles – pružnost a pevnost,  
Vysoké učení technické, Brno - 2002
- [ 12 ] PIVOŇKA J. A KOLEKTIV; Tekutinové mechanismy; SNTL – Praha, 1987
- [ 13 ] RŮŽIČKA P.; DIPLOMOVÁ PRÁCE – Návrh typové řady sloupových jeřábů, Brno  
2002
- [ 14 ] Projektování hydraulických systémů, BOSCH REXROTH, spol. s.r.o. - 2002
- [ 15 ] Technické listy BOSCH REXROTH, spol. s.r.o. - 2007
- [ 16 ] <http://www.ifm-electronic.cz>
- [ 17 ] <http://www.kracht.eu>
- [ 18 ] <http://www.zpanp.cz>
- [ 19 ] <http://www.into.cz>
- [ 20 ] <http://www.laar.cz/>
- [ 21 ] <http://www.argo-hytos.com/>
- [ 22 ] <http://cs.dinel.cz/>
- [ 23 ] <http://www.rawet.cz>
- [ 24 ] <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1725>
- [ 25 ] <http://www.controlengcesko.com/>
- [ 27 ] <http://digital.ni.com/worldwide/bwcontent.nsf/>
- [ 28 ] ŽÍDEK J.; Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW - VŠB-TU  
Ostrava, říjen 2002
- [ 29 ] ŠTĚTINA J., JAROŠ M., RAMÍK P.; Virtuální laboratoř - Experimentální metody -  
Brno 2003

## 12 Seznam použitých zkratk a symbolů

Symbol	Jednotky	Název
A	N	Reakce v uložení čepu
B	N	Reakce v uložení čepu
C	N	Základní dynamická únosnost ložiska
$C_0$	N	Základní statická únosnost ložiska
D	mm	Vnější průměr kluzného ložiska (pouzdra)
$D'$	mm	Největší průměr kluzného ložiska (pouzdra)
$F_A$	N	Svislá síla od hmotnosti kladkostroje s břemenem
$F_a$	N	Axiální síla na ložisko
$F_e$	N	Ekvivalentní zatížení ložiska
$F_r$	N	Radiální síla na ložisko, čep
$F_B$	N	Setrvačná síla od kladkostroje s břemenem
$M_O$	N.mm	Ohybový moment
$M_x$	N.mm	Moment kolem osy x, reakce ve vetknutí
$M_y$	N.mm	Moment kolem osy y, reakce ve vetknutí
$M_z$	N.mm	Moment kolem osy z, reakce ve vetknutí
N	N	Normálová síla v prutu
N	-	Bliže nespecifikováno
P	kW	Výkon
Q	l/min	Průtok
R	mm	Poloměr
$R_e$	MPa	Mez kluzu oceli
$R_m$	MPa	Mez pevnosti oceli
$R_x$	N	Reakce ve vetknutí v ose x
$R_y$	N	Reakce ve vetknutí v ose y
$R_z$	N	Reakce ve vetknutí v ose z
$T_y$	N	Posouvající síla v ose y
$T_z$	N	Posouvající síla v ose z
VI	-	Virtuální přístroje (virtual instrumentation)
$W_O$	mm <sup>3</sup>	Průřezový modul v ohybu
$W_{Osv}$	mm <sup>3</sup>	Průřezový modul v ohybu svaru
$X_0$	-	Součinitel ložiska pro radiální statické zatížení
$Y_0$	-	Součinitel ložiska pro axiální statické zatížení
a	mm	Vzdálenost (rameno) působící síly

$a_4$	$m.s^{-2}$	Zrychlení v uzlu 4
$a_5$	$m.s^{-2}$	Zrychlení v uzlu 5
$b$	mm	Vzdálenost (rameno) působící síly
$c$	mm	Vzdálenost (rameno) působící síly
$d$	mm	Průměr čepu
$d'$	mm	Průměr osazení čepu
$dx$	mm	Vzdálenost na prutu od počátku prutu
$f$	Hz	Vlastní frekvence kmitání
$g$	$m.s^{-2}$	Tíhové zrychlení
$k$	-	Vypočtená bezpečnost ložiska
$k_0$	-	Zvolená bezpečnost ložiska
$l$	mm	Otačovaná délka kluzného ložiska
$l_{1,2,3}$	mm	Délka svarové plochy 1, 2 nebo 3
$l'$	mm	Délka ohybu čepu, délka kluzného ložiska (pouzdra)
$m_{IPE}$	$kg.m^{-1}$	Jednotková hmotnost profilu IPE 160
$m_b$	kg	Hmotnost břemene
$m_{kl}$	kg	Hmotnost kladkostroje
$n$	$min^{-1}$	Otáčky elektromotoru
$n$	$min^{-1}$	Předpokládané otáčky jeřábu
$p$	MPa	Otlačení vidlice
$p_a$	MPa	Axiální otlačení ložiska (pouzdra)
$p_D$	MPa	Dovolené otlačení ložiska (pouzdra)
$p_{DII}$	MPa	Dovolené otlačení čepu pro míjivé zatížení
$p_r$	MPa	Radiální otlačení ložiska (pouzdra)
$q_4$	$N.m^{-1}$	Spojité setrvačné zatížení působící v uzlu 4
$q_5$	$N.m^{-1}$	Spojité setrvačné zatížení působící v uzlu 5
$r_4$	m	Poloměr otáčení uzlu 4
$r_5$	m	Poloměr otáčení uzlu 5
$t$	s	Předpokládaný čas zastavení otáčení jeřábu
$t$	mm	Tloušťka koutového svaru
$v_4$	$m.s^{-1}$	Obvodová rychlost otáčení v uzlu 4
$v_5$	$m.s^{-1}$	Obvodová rychlost otáčení v uzlu 5
$\pi$	-	Ludolfovo číslo
$\sigma_{DOII}$	MPa	Dovolené ohybové napětí pro míjivé zatížení
$\sigma_{DII}$	MPa	Dovolené tahové napětí pro míjivé zatížení
$\sigma_0$	MPa	Vypočtené ohybové napětí

$\tau_{Dsv}$	MPa	Dovolené napětí svaru
$\tau_{\perp}$	MPa	Napětí od kolmé síly na svarovou plochu
$\tau_{II}$	MPa	Napětí od síly vodorovné se svarovou plochou
①	-	Použitý přístroj ze současného obvodu
ZZ	-	Zkušební zařízení

### 13 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obr. 1 Funkční schéma současného zapojení ZZ.....	10
Obr. 2 Hydraulický tester Owatonna Y 96.....	14
Obr. 3 Uspořádání současného pracoviště.....	15
Obr. 4 Axiální pístový hydrogenerátor s nakloněným blokem - Bosch Rexroth.....	17
Obr. 5 Schéma zapojení A7VO.....	17
Obr. 6 Axiální pístový hydrogenerátor s nakloněnou deskou - Sauer-Danfoss.....	19
Obr. 7 Schéma zapojení hydromotorů SMF.....	21
Obr. 8 Funkční schéma modernizovaného ZZ.....	22
Obr. 9 Dvojité zubové čerpadlo PGH4 + PGH3.....	27
Obr. 10 Řez zubovým čerpadlem PGH.....	28
Obr. 11 Varianty provedení čerpadla s elektromotorem [ 15 ].....	29
Obr. 12 Proporcionální redukční ventil.....	30
Obr. 13 Řez proporcionálním red. ventilem.....	30
Obr. 14 Rozvaděč.....	31
Obr. 15 Řez rozvaděčem.....	31
Obr. 16 Rozvaděč 3/2.....	32
Obr. 17 Snímač teploty.....	33
Obr. 18 Tlakový snímač typu PA 3020.....	34
Obr. 19 Průtokoměr Kracht.....	34
Obr. 20 Schéma zubového průtokoměru.....	35
Obr. 21 Manometr.....	35
Obr. 22 Proporcionální tlakový ventil.....	36
Obr. 23 Řez proporcionálním tlakovým ventilem.....	36
Obr. 24 Frekvenční měnič typ 616PC5/P5.....	38
Obr. 25 Snímač otáček.....	39
Obr. 26 Rozměry a zapojení snímače otáček.....	40
Obr. 27 Schéma vzduchového filtru.....	41
Obr. 28 Snímače hladiny.....	41
Obr. 29 Instalace snímače hladiny.....	42

---

Obr. 30 Teploměr .....	43
Obr. 31 Stávající chladič .....	44
Obr. 32 Ventilátor na chladiči .....	44
Obr. 33 Pojistné ventily .....	44
Obr. 34 Funkční schéma modernizovaného ZZ – varianta 2 .....	45
Obr. 35 Čelní panel přístroje spolu s blokovým diagramem .....	49
Obr. 36 Čelní panel .....	50
Obr. 37 Blokový diagram .....	50
Obr. 38 Měřicí a řídicí karta, příklad konektorového bloku .....	51
Obr. 39 Průběh získávání dat .....	52
Obr. 40 Model sloupového jeřábu .....	54
Obr. 41 Schéma konstrukce+ zatěžující síly a souř. uzlů vzhledem k vetknutí počátku s.s. ...	57
Obr. 42 Průběhy napětí na prutech .....	58
Obr. 43 Síly působící na ložiska jeřábu .....	59
Obr. 44 Řez otočí jeřábu .....	61
Obr. 45 Svarové plochy ramene jeřábu .....	62
Obr. 46 Celková deformace ramene jeřábu .....	65
Obr. 47 Celková deformace sloupu jeřábu .....	65
Obr. 48 Napětí na sloupu - ekvivalentní napětí .....	66
Obr. 49 Napětí na rameni - ekvivalentní napětí (Největší vrubové napětí) .....	66
Obr. 50 Tvar první vlastní frekvence .....	67
Obr. 51 Návrh nového uspořádání pracoviště .....	71
Tab. 1 Soupis prvků stávající zkušebny .....	12
Tab. 2 Technické parametry zkušebny .....	14
Tab. 3 Zkoušené hydraulické prvky .....	16
Tab. 4 Technické parametry hydrogenerátorů A7VO .....	18
Tab. 5 Technické parametry hydrogenerátorů SPV 20, 22 a 23 .....	20
Tab. 6 Technické parametry hydromotorů SMF 20, 22 a 23 .....	21
Tab. 7 Použité prvky modernizovaného ZZ .....	25
Tab. 8 Technické parametry dvojitého zubového čerpadla PGH4 + PGH3 .....	27
Tab. 9 Technické parametry asynchronního motoru .....	38
Tab. 10 Technické parametry snímače hladiny [ 22 ] .....	42
Tab. 11 Skupiny stavu zatěžování .....	54
Tab. 12 Seznam profilů jeřábu .....	55
Tab. 13 Technické údaje kladkostroje a jeřábu [ 6 ] .....	55
Tab. 14 Vnitřní síly na prutech jeřábu .....	58

---

Tab. 15 Reakce ve vetknutí jeřábu do země.....	64
Tab. 16 Vlastní frekvence jeřábu.....	67
Tab. 17 Seznam měřených parametrů hydraulických prvků.....	70
Graf 1 Závislost tlaku na otáčkách.....	17
Graf 2 Závislost průtoku na tlaku hydrogenerátorů A7VO, při otáčkách 1500 min <sup>-1</sup> .....	18
Graf 3 Závislost průtoku na tlaku hydrogenerátorů SPV, při otáčkách 1500 min <sup>-1</sup> .....	20
Graf 4 Charakteristika $\Delta p$ - $q_V$ .....	32
Graf 5 Skutečně, naměřené hodnoty: výkon a průtok v závislosti na tlaku.....	69
Graf 6 Požadované hodnoty: charakteristika pro porovnání [ 15 ].....	69

## 14 Seznam příloh

č.1 Jeřáb sloupový č.v. 1-VK-0001.....	2 listy
č.2 Rameno č.v. 1-VK-0002.....	1 list
č.3 Spojka SPV 20,22 č.v. 3-VK-0011.....	1 list
č.4 Spojka SPV 23 č.v. 3-VK-0012.....	1 list
č.5 Spojka A7V 107 č.v. 3-VK-0013.....	1 list
č.6 Spojka A7V 160 č.v. 3-VK-0014.....	1 list
č.7 Příruba 1 č.v. 2-VK-0007.....	1 list
č.8 Příruba 2 č.v. 2-VK-0008.....	1 list