

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

**Modifikace vysokotlakého agregátu pro řeznou kapalinu s návrhem měření  
hydraulických veličin**

*David Šourek*

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šourek** Jméno: **David** Osobní číslo: **492725**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Strojírenství**  
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Modifikace vysokotlakého agregátu pro řeznou kapalinu s návrhem měření hydraulických veličin**

Název bakalářské práce anglicky:

**Modification of the high-pressure aggregate for cutting fluid with a design for measuring hydraulic quantities**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Cílem této bakalářské práce je provést modifikaci vysokotlakého agregátu pro řeznou kapalinu pro stroj SP430 a navrhnout novou metodiku měření hydraulických veličin a ověřit měřením na dodaných frézách firmou Dormet Pramet. Osnova práce: Provést rešerši na využívání řezných kapalin a jejich vlastností, na agregáty pro vysokotlakou procesní kapalinu, na možnosti řízení tlaku u stávajícího agregátu pro procesní kapalinu pro stroj SP430. Dále provést analýzu stávajícího způsobu měření procesní kapaliny na stroji SP430 a navrhnout automatické ukládání a zpracování dat včetně úpravy měřicí aparatury. Nový způsob měření ověřit na dodaných frézách firmou Dormet Pramet a výsledky porovnat s naměřenými daty z předchozího původního způsobu měření. Rozsah textové části: 40 - 60 stran; Rozsah grafické části: Koncepční návrh celé sestavy vysokotlakého agregátu.

Seznam doporučené literatury:

J. Bláha, K. Brad, Hydraulické stroje, SNTL Praha, 1992, ISBN 80-03-00665-1; P. Bach, Laboratorní cvičení z výrobních strojů, ČVUT v Praze, 1992.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Tomáš Krannich, Ph.D. ústav výrobních strojů a zařízení FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

**Ing. Jan Malý ústav výrobních strojů a zařízení FS**

Datum zadání bakalářské práce: **14.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **24.09.2023**

Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 22.5.2023

.....  
podpis

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Tomáši Krannichovi, Ph.D. za jeho vynikající odbornost, ochotu a trpělivost při celém plnění práce. Jeho cenné rady, návrhy a konstruktivní zpětná vazba mi umožnily dosáhnout vyšší úrovně kvality práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Janu Malému, který mi poskytl nepostradatelnou pomoc během realizace experimentu. Rovněž bych ráda poděkovala Ing. Štěpánovi Fialovi, Ph.D., za jeho významný přínos při realizaci měřicího softwaru a hardwaru. Jeho technická zručnost, odborné znalosti a ochota poskytnout pomoc mi umožnily úspěšně vyvinout a implementovat potřebný měřicí systém. Jeho rady a asistence byly pro mě neocenitelné při překonávání technických výzev.

Závěrem patří poděkování i mé rodině a mým blízkým, kteří mě během celého studia podporovali a motivovali.

## Anotace

Autor:	David Šourek
Název BP:	Modifikace vysokotlakého agregátu pro řeznou kapalinu s návrhem měření hydraulických veličin
Rozsah práce:	61 str., 35 obr., 5 tab.
Školní rok vyhotovení:	2022/2023
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Jan Malý
Zadavatel:	ČVUT – Fakulta strojní
Využití:	Autonomní sběr a zpracování dat z měření hydraulických veličin chladících kanálek fréz, včetně automatického nastavování a ustalování tlaku v obvodě
Klíčová slova:	Vysokotlaké chlazení, Vysokotlaké agregáty, Modifikace, Řezné kapaliny, Měřicí program, LabVIEW, Měřicí aparatura
Anotace:	Tato bakalářská práce se zabývá vysokotlakými agregáty pro řeznou kapalinu, metodou měření hydraulických veličin, modifikací vysokotlakého agregátu a vytvoření autonomní měřicí aparatury. V rámci této bakalářské práce byly popsány a analyzovány kroky, které byly provedeny k modifikaci původního vysokotlakého agregátu. Součástí práce je popis měřicí aparatury pro sběr dat, způsob jejich zapojení a navržení softwaru v prostředí LabVIEW pro řízení celého obvodu a získávání hydraulických veličin.

## Annotation

Author:	David Šourek
Title of bachelor dissertation:	Modification of high-pressure aggregate for cutting fluid with design for measuring hydraulic quantities
Extent:	61 p., 35 fig., 5 tab.
Academic year:	2022/2023
University:	CTU in Prague, Faculty of mechanical engineering
Department:	Ú12135 – Department of productions machines and equipment
Supervisor:	Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.
Consultant:	Ing. Jan Malý
Submitter of the theme:	CTU in Prague, Faculty of mechanical engineering
Application:	Autonomous collection and processing of data from measurements of hydraulic parameters in cooling channels of milling machines.
Keywords:	High-pressure cooling, high-pressure units, modification, cutting fluids, measurement program, LabView, measuring instruments.
Annotation:	This bachelor's thesis focuses on high-pressure aggregates for cutting fluid, hydraulic quantities measurement methods, modification of the high-pressure aggregate, and the development of an autonomous measuring apparatus. Within the scope of this thesis, the steps taken to modify the original high-pressure aggregate have been described and analyzed. The thesis also includes a description of the data collection measuring apparatus, including its configuration and the design of software using LabVIEW for controlling the entire circuit and obtaining hydraulic quantities.

## Seznam použitých veličin, jednotek a značek

<u>Označení</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Legenda</u>
A	$[mm^2]$	plocha
c	$[\frac{J}{Kg \cdot K}]$	měrná tepelná kapacita
e	[-]	regulační odchylka
I	[mA]	proud
p	[bar]	měrný tlak
P	[kW]	výkon
Q	$[\frac{l}{min}]$	průtok
t	[s]	čas
T	[°C]	teplota
$T_d$	[-]	derivační časová konstanta
$T_i$	[-]	integrační časová konstanta
U	[V]	napětí
$u_{(t)}$	$[\frac{mm^2}{s}]$	akční zásah
$\eta$	[%]	hydraulická účinnost
$\rho$	$[\frac{kg}{m^3}]$	hustota
$\sigma$	$[\frac{N}{m}]$	povrchové napětí
$\sigma_p$	[Bar]	Směrodatná odchylka tlaku
$\sigma_Q$	$[\frac{l}{min}]$	Směrodatná odchylka průtoku
$\tau$	$[\frac{mm^2}{s}]$	kinematická viskozita

## Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíl práce.....	11
3	Řezné kapaliny a jejich určování .....	12
3.1	Základní parametry řezných kapalin .....	12
3.1.1	Rozdělení řezných kapalin .....	13
3.2	Kapaliny vhodné pro vysokotlaké chlazení.....	15
3.2.1	Esterové kapaliny Vasco .....	15
3.3	Způsob dodávání řezné kapaliny do místa řezu při vysokých tlacích .....	17
3.4	Metody měření základních parametrů řezných kapalin.....	17
3.5	Způsob měření tlaku a průtoku řezné kapaliny .....	19
3.5.1	Snímače pro měření tlaku.....	19
3.5.2	Snímače pro měření průtoku .....	20
4	Vysokotlaké agregáty pro řeznou kapalinu .....	21
4.1	Komponenty vysokotlakého agregátu .....	21
4.1.1	Vysokotlaká čerpadla .....	22
4.1.2	Pohon čerpadla .....	22
4.1.3	Filtrace.....	23
4.1.4	Řízení tlaku ve vysokotlakých agregátech – pojistný blok.....	23



4.2	Firmy zabývající se vysokotlakými agregáty pro řeznou kapalinu .....	24
4.2.1	Firmy v ČR.....	25
4.2.2	Firmy ve Evropě.....	25
5	Agregát pro původní způsob měření hydraulických veličin.....	27
5.1	Původní metodika měření řezných kapalin .....	28
5.2	Zhodnocení původní metodiky měření.....	29
6	Modifikace hydraulického agregátu .....	30
6.1	Návrh vylepšení řízení tlaku v agregátu.....	31
6.1.1	Výběr proporcionálního ventilu .....	32
6.2	Návrh měřicí nádrže s kuzelem .....	32
6.3	Návrh úpravy držáku nástroje .....	33
6.4	Instalace komponentů.....	33
7	Automatické ukládání a zpracování dat.....	35
7.1	Měřicí aparatura.....	35
7.1.1	Sběrnice dat.....	35
7.1.2	Další příslušenství .....	37
7.1.3	Schéma zapojení měřicí aparatury .....	38
7.2	Měřicí program.....	39
7.2.1	Blok pro získávání dat.....	40



7.2.2	Blok pro řízení tlaku v agregátu.....	46
8	Měření hydraulických veličin s novou aparaturou .....	49
8.1	Kalibrační měření s novou aparaturou .....	49
8.2	První měření hydraulických veličin s novou aparaturou .....	50
8.3	Výsledky a poznatky z prvního měření s novou aparaturou .....	51
9	Závěr .....	54
	Seznamy .....	56

# 1 Úvod

V dnešní době je kladen velký důraz na zvyšování kvality výroby obrobků, ať už po stránce kvality povrchu, rychlosti procesu, tak i po ekonomičnosti celého procesu. Důležitou roli v tomto úkolu zastává řezné prostředí, které je utvářeno řeznými médii, v dnešní době převážně řeznou kapalinou. V současnosti se začíná rozšiřovat vysokotlaké chlazení, které oproti konvenčnímu razantně zvyšuje účinnost celého obráběcího procesu.

Mnoho strojírenských firem se potýká s problémem výběru vhodných obráběcích nástrojů k jejich agregátům. Mezi hlavní problémy se řadí volba správné velikosti chladících kanálek pro danou aplikaci. Nesprávná volba velikosti chladících kanálek může vést k nadměrnému opotřebení nástroje, špatné kvalitě povrchu zpracovávaného materiálu, zkrácené životnosti nástroje, a dokonce i k poškození stroje. Proto je důležité najít optimální způsob, jak chladící kanálky nástrojů proměřovat a následně je přiřazovat k vybraným agregátům.

Tato bakalářská práce se věnuje inovaci metodiky měření tlaku a průtoku chladících kanálek fréz od firmy Dormet Pramet na vysokotlakém agregátu stroje SP430. V rámci práce budou provedeny modifikace vysokotlakého agregátu, které umožní přesnější a efektivnější měření tlaku a průtoku chladících trysek fréz. Dále bude vyvinuta nová metodika měření, která bude zahrnovat vyvinutí nového měřícího zařízení a její následné ověření.

## 2 Cíl práce

Tato bakalářská práce má za cíl provést analýzu současného způsobu měření řezných kapalin u stroje SP430 a na základě této analýzy navrhnout nový způsob ukládání a zpracování dat. Tento nový způsob bude aplikován prostřednictvím modifikace existujícího agregátu a vytvořením nové měřicí aparatury.

Při výběru vhodné modifikace je potřeba zohlednit nabídky dostupných agregátů na trhu. Důležité je nalézt takovou modifikaci, která bude schopna splnit požadavky nové metodiky měření. Navrženou modifikaci je pak potřeba správně implementovat do obvodu a celý proces zdokumentovat za pomoci koncepčního návrhového výkresu.

Měřicí aparatura bude zajišťovat sběr a zpracování dat z jednotlivých snímačů. Prvním krokem bude vytvoření hardwaru, který bude schopen sbírat data ze snímačů tlaku a průtoku chladících trysek fréz. Bude nezbytné nalézt vhodnou sběrnici dat, která dokáže pokrýt signály ze všech snímačů a zaručit tak spolehlivý přenos dat. Kromě toho musí být celý hardware přenosný a cenově dostupný.

Software by měl být navržen tak, aby umožnil automatický průběh měření a zároveň poskytoval uživateli jednoduché ovládání. Implementován by měl být v programovacím jazyku LabVIEW a měl by být vybaven funkcemi pro zpracování a vizualizaci dat, které uživateli umožní snadno interpretovat výsledky měření. Je důležité zajistit plnou kompatibilitu mezi hardwarovou a softwarovou částí.

## 3 Řezné kapaliny a jejich určování

Řezná kapalina je speciální druh kapaliny, který se používá k ochlazování při obrábění a mazání nástroje a obrobku. Tato kapalina slouží k optimalizaci výkonu a prodloužení životnosti nástrojů, zlepšení povrchové kvality a snížení tření při obrábění. Je navržena tak, aby plnila několik funkcí současně a byla přizpůsobena konkrétnímu druhu obrábění. [1] [2]

### 3.1 Základní parametry řezných kapalin

Fyzikální vlastnosti kapaliny jsou charakteristiky, které popisují její chování a vlastnosti v různých podmínkách. Mezi tyto vlastnosti se řadí [2]:

- **Hustota  $\rho$ :** Hmotnost látky na krychlový metr  $[\frac{kg}{m^3}]$ .
- **Povrchové napětí  $\sigma$ :** Jev, kdy kapalina působí silou na svůj povrch, za pomoci minimalizace povrchové plochy díky přitažlivým intermolekulárním silám. Značí se jednotkou newton na metr  $[\frac{N}{m}]$ .
- **Kinematická viskozita  $\tau$ :** Viskozita je fyzikální charakteristika kapaliny, která vyjadřuje, jak snadno se kapalina deformuje při pohybu vlivem tečného napětí a jak rychle se tyto deformace šíří mezi sousedními vrstvami kapaliny. Jednotkou je metr čtvereční za sekundu  $[\frac{mm^2}{s}]$ .
- **Měrná tepelná kapacita  $c$ :** Množství tepla potřebného k ohřátí 1 kilogramu látky o 1 teplotní stupeň. Jednotka měrné tepelné kapacity je Joule na kilogram kelvin  $[\frac{J}{kg \cdot K}]$ .

Dále je možné popisovat kapalinu pomocí hydraulických veličin [2]:

- **Průtok  $Q$ :** Množství kapaliny, které protéká hydraulickým systémem za jednotku času. Průtok se obvykle vyjadřuje v litrech za minutu  $[\frac{l}{min}]$  nebo v metrech krychlových za sekundu  $[\frac{m^3}{s}]$ .

- **Měrný tlak  $p$ :** Poměr tlakové síly  $F$  působící kolmo na plochu  $A$ . Základní jednotkou měrného tlaku je pascal [Pa]. V této práci bude při popisu tlaku využívána jednotka bar [bar], která je rovná 0,1 [MPa].
- **Teplota  $T$ :** Popisuje teplotní charakter kapaliny. V Evropě se vyjadřuje v jednotkách stupňů Celsia [°C] nebo Kelvin [K].
- **Hydraulický odpor  $R$ :** Odpor, který působí tekutina na stěny hydraulického obvodu. Hydraulický odpor se měří v pascal sekunda na metr krychlový  $\left[\frac{\text{Pa}\cdot\text{s}}{\text{m}^3}\right]$ .
- **Hydraulický výkon  $P$ :** Hydraulický výkon je rychlost, s jakou hydraulický systém dokáže vykonat práci při daném tlaku. Hydraulický výkon se obvykle vyjadřuje v kilowattech [W].
- **Hydraulická účinnost  $\eta$ :** Účinnost je poměr mezi vstupní a výstupní energií hydraulického systému. Účinnost se obvykle vyjadřuje v procentech [%].

### 3.1.1 Rozdělení řezných kapalin

Řezné kapaliny se dělí na několik kategorií podle jejich složení a vlastností. [1]

#### *vodní roztoky*

Nejlevnější a nejdostupnější kapalinou s velmi dobrým odvodem tepla je voda, která má zároveň mnoho nedostatků a bez patřičné úpravy jí nelze využít jako řeznou kapalinu. Voda se proto musí před použitím změkčit a obohatit o přísady, které budou zabraňovat korozi. Vodní roztok musí být vždy alkalický. Vodní roztoky mají velmi dobrý chladicí a čistící účinek, ale velmi špatný mazací účinek. [2]

#### *Řezné oleje*

Řezné oleje jsou zušlechtěné minerální oleje, které mají vyšší tlakovou únosnost a lepší mazací vlastnosti. Jako další důležité vlastnosti řezných olejů můžeme řadit dobrý chladicí účinek, dobrou ochranu proti korozi a relativně nízkou cenu. Těchto vlastností se docílí za pomoci přísad, jako jsou například mastné látky, organické sloučeniny, nebo pevná maziva. [2]

Mastné látky razantně zvyšují přilnavost oleje a díky tomu zvyšují mazací schopnost, avšak ne za při vysokých tlacích. [1]

Organické sloučeniny vytváří na povrchu předmětu tenkou vrstvu, díky které se usnadňuje kluzký pohyb ploch o sebe. Dají se využít i při vysokých tlacích, ale jejich účinnost razantně klesá při teplotách nad 400 [°C]. [1]

Pevná maziva se volí jako přísada do řezných kapalin kvůli svým mechanickým vlastnostem. Díky své afinitě dokáží vytvořit mezní vrstvu, která zlepšuje mazací vlastnosti a dokáže odolávat i vysokým tlakům. Jejich nevýhodou je špatná rozpustnost v kapalinách, tudíž se musí držet v rozptýleném stavu. [1]

### *syntetické kapaliny*

Syntetické oleje jsou v dnešní době čím dál, tím více využívané, jelikož razantně zvyšují produktivitu práce spojením chladících vlastností vodních roztoků a mazacích vlastností řezných olejů. Díky optimalizaci smáčení také výrazně snižují výnos kapaliny i její spotřebu. Tento druh řezné kapaliny má vysokou provozní stálost a je obzvlášť žádaný kvůli svým hygienickým a ekologickým vlastnostem. [1] [3]

### *emulzní kapaliny*

Druh řezné kapaliny, který je tvořen dvěma navzájem nerozpustnými kapalinami, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky rozptýlené v druhé kapalině. V dnešní době se používá převážně voda a olej, u kterých využíváme užité vlastnosti obou těchto kapalin, tj. chladící účinek vody a mazací účinek oleje. Jelikož kapaliny mohou být v disperzní fázi mohou dvě kapaliny vytvořit dvě emulzní kapaliny a sice olej ve vodě a vodu v oleji. Při obráběcích procesech se převážně využívá první varianta. [1]

Důležitou složkou v emulzních kapalinách jsou emulgátory, které obalí kapičky oleje absorpčním povlakem čímž zabraňují jejich splynutím díky snížením mezi-povrchového napětí emulgovaných kapalin. Právě díky těmto přísadám je možné využívat užité vlastnosti obou kapalin. [1]

Oleje používané v emulzích se dělí do několika kategorií, z nichž každá má své specifické vlastnosti a přednosti. Mezi nejčastěji využívané typy olejů do emulzí patří minerální, esterové a syntetické oleje. [4]

Minerální oleje jsou získávány z ropných surovin a jsou široce dostupné a ekonomicky výhodné. Mají dobrou mazací schopnost, což je v emulzích důležitý faktor pro ochranu nástrojů při obrábění. [1]

Esterové oleje mají vysokou mazací schopnost a poskytují výbornou ochranu povrchů při obrábění. Díky své chemické struktuře jsou esterové oleje také odolné vůči vysokým teplotám a mají dobrou stabilitu při dlouhodobém používání. [2]

Syntetické oleje mají vynikající mazací vlastnosti a odolnost vůči extrémním podmínkám. Syntetické oleje se často používají v přesném strojírenství, jako je vysokorychlostní soustružení. [1]

## 3.2 Kapaliny vhodné pro vysokotlaké chlazení

Kapaliny, které se využívají pro vysokotlaké chlazení jsou vodou mísitelné emulze. Nejdůležitějším požadavkem je, aby během procesu obrábění nedošlo v emulzi k oddělování oleje od vody, čímž by se razantně snížila účinnost chlazení. Mezi další vlastnosti patří nízká pěnivost a vysoká životnost. [4]

Během experimentů bylo zjištěno, že emulzní kapalina na bázi přírodního esteru může být vystavena tlaku až 180 barů, aniž by došlo k fázové separaci oleje od vody. V porovnání s klasickou minerální kapalinou, u které byl zjištěn maximální provozní tlak pouze okolo 60 barů, má tato kapalina výrazně vyšší stabilitu při vyšších tlacích. [4]

### 3.2.1 Esterové kapaliny Vasco

Společnost Blaser Swissslube nabízí řadu esterových kapalin s názvem Vasco ve své produktové nabídce. Tyto kapaliny byly speciálně vyvinuty s ohledem na jejich využití v široké škále průmyslových odvětví, včetně leteckého a automobilového průmyslu.



Jakožto esterové kapaliny nabízejí Vasco několik výhod. Jejich vysoká stabilita zaručuje konzistentní vlastnosti a prodlouženou životnost. Díky vynikajícímu oplachovacímu potenciálu jsou schopné efektivně odstraňovat nečistoty a zbytky materiálu z obrobků, což napomáhá udržovat čisté a kvalitní pracovní prostředí. Další důležitou vlastností je jejich schopnost chránit nástroje před opotřebením a korozí. [4]

V rámci nabídky chladicích kapalin Vasco společnosti Blaser Swissslube se mezi produkty s nejvyšší kvalitou a výkonem řadí Vasco 6000 a Vasco 7000. [4]

Vasco 6000 je vysoce efektivní vodou mísitelná chladicí kapalina, která se vyznačuje vynikajícími chladicími vlastnostmi a vysokou tepelnou stabilitou. Tato kapalina je navržena tak, aby poskytovala optimální ochranu nástrojů při obrábění. Její univerzálnost a kompatibilita s různými materiály zajišťuje širokou škálu aplikací, včetně všeobecného obrábění a třískového obrábění litin, titanu a slitin na bázi niklu. [4]

Vasco 7000 je dalším produktem z řady Vasco, který nabízí vysokou výkonnost a ochranu při náročných obráběcích operacích. Tato chladicí kapalina je navržena pro extrémní podmínky obrábění, jako je například vysokorychlostní obrábění, tvrdé obrábění a obrábění slitin na bázi hliníku, niklu, kobaltu nebo chromu. Vasco 7000 se stejně jako Vasco 6000 vyznačuje vynikající tepelnou stabilitou, snižuje tření a opotřebením nástrojů a zajišťuje vysokou kvalitu povrchu obrobeného materiálu. [4]

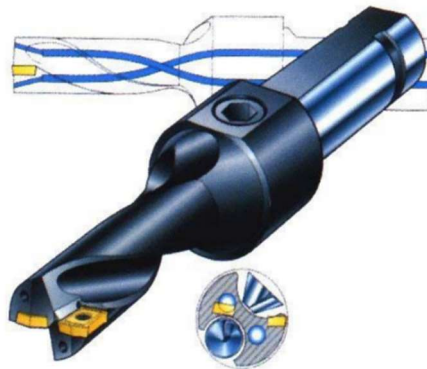
Oba produkty, Vasco 6000 a Vasco 7000, jsou vyvinuty s důrazem na bezpečnost, životní prostředí a udržitelnost. Jsou založeny na pokročilých technologiích, které minimalizují emise a odpad, což přispívá k udržitelnému provozu a příznivému vlivu na životní prostředí. [4]

Pro účely měření hydraulických veličin je využívána kapalina Vasco 7000. Tato volba je založena na její schopnosti udržet své fyzikální vlastnosti i při vysokých tlacích, které se v měření hydraulických veličin vyskytují. Datový list kapaliny je k zobrazení v textové příloze č.3.

### 3.3 Způsob dodávání řezné kapaliny do místa řezu při vysokých tlacích

Nejrozšířenější způsob dodávání řezné kapaliny při využití vyšších tlacích (>40 barů) je vnitřkem nástroje. Jedná se o velmi efektivní způsob, který velmi zvyšuje jak produktivitu při obrábění, tak řezné rychlosti, a to až o 15 %. Může se vyskytovat u všech způsobů třískového obrábění. Chlazení je vedeno skrze držák nástroje, přes upínací části až k břítu. [1]

V případě vrtáků je vnitřní chlazení konstruováno tak, aby řezná kapalina byla dopravována k místu řezu prostřednictvím centrálních otvorů v tělese nástroje (obr. 3.1). Tento princip se uplatňuje nejen u vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami, ale také u tradičních šroubovitých vrtáků vyrobených z monolitních SK a rychlořezné oceli. U soustružení a frézování se využívá převážně u nástrojů s výměnnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů. [1]



Obr. 3.1 Vrták s vnitřním chlazením [1]

### 3.4 Metody měření základních parametrů řezných kapalin

Základní metody měření jsou [5] :

**Přímá metoda měření** je taková metoda, kdy se veličina měří přímo a bezprostředně, například pomocí měřicího přístroje. Příkladem může být měření délky pomocí metru, měření hmotnosti pomocí váhy nebo měření teploty pomocí teploměru.

**Nepřímá metoda měření** je taková metoda, při které se veličina nepřímo určuje pomocí jiných veličin, které jsou s ní spojeny. Příkladem může být měření objemu pomocí hmotnosti a hustoty nebo měření koncentrace látky v roztoku pomocí spektrofotometrie.

Před měřením parametrů rezné kapaliny je nezbytné si stanovit metodiku, podle které se bude postupovat během celého měření. Vytváření metodiky měření hydraulických veličin by mělo zahrnovat následující kroky [5]:

1. **Určení cíle měření:** Nejprve je třeba stanovit cíle měření. To zahrnuje zvolení veličin, které budou měřeny, a požadavků na přesnost měření.
2. **Návrh experimentu:** Druhým krokem je navrhnout experiment, který umožní měřit potřebné veličiny. To zahrnuje výběr vhodných měřicích přístrojů a metod a vytvoření schématu měřicího obvodu
3. **Vytvoření metodiky:** Na základě návrhu experimentu je třeba vytvořit metodiku měření, která bude popisovat přesný postup měření včetně umístění měřicích přístrojů.
4. **Ověření funkčnosti metodiky:** Před samotným měřením je třeba ověřit správnost metodiky měření. Tento krok ověření správného umístění měřicích přístrojů a jejich kalibrace.
5. **Samotné měření:** Po ověření měřicího plánu je třeba provést samotné měření.
6. **Zpracování výsledků:** Po dokončení měření je třeba zpracovat výsledky. Vytvořit potřebné grafy, vypočítat potřebné veličiny a další úkony s tím spojené.
7. **Posuzování výsledků:** Analýza zpracovaných dat a jejich následná interpretace.

Je důležité mít na paměti, že vytváření metodiky měření parametrů rezné kapaliny je proces, který vyžaduje pečlivou přípravu a plánování. Dodržování stanoveného postupu a kalibrace měřicích přístrojů jsou klíčové pro získání přesných a spolehlivých výsledků. [5]

## 3.5 Způsob měření tlaku a průtoku rezné kapaliny

V hydraulických obvodech se pro správnou a efektivní funkci používají různé typy měřících zařízení, která slouží k získání důležitých dat o různých parametrech rezné kapaliny, jako je průtok, tlak a další veličiny. Tyto informace jsou klíčové pro monitorování a řízení hydraulických systémů, aby se dosáhlo optimálního výkonu a spolehlivosti. [6]

### 3.5.1 Snímače pro měření tlaku

Měření tlaku v hydraulických obvodech se provádí převážně porovnáním změny odporu vůči deformaci. Snímače pro měření tlaku jsou nazývané manometry. Existují různé typy manometrů, ale nejčastěji se používají Bourdonovy trubice a kapsové manometry. Bourdonovy trubice jsou vhodné pro měření středně velkých tlaků, zatímco kapsové manometry jsou vhodné pro měření vysokých tlaků. [6]

Snímač pro měření tlaku instalován v hydraulickém obvodu u SP430 (Obr. 3.2) je digitální manometr s proudovým výstupem se sériovou značkou LD3S6C4S. Vybranou stránku datového listu tohoto snímače uvádí příloha č.1.



Obr. 3.2 Digitální manometr Kobold LD [19]

### 3.5.2 Snímače pro měření průtoku

Proud kapaliny je možné měřit buď diferenciálním manometrem, který porovnává velikost tlakového spádu vůči odporu, nebo průtokoměrem, který analyzuje působení pohybové energie na plovák. Existuje mnoho různých typů průtokoměrů, jako jsou například vrtulové průtokoměry, elektromagnetické průtokoměry a ultrazvukové průtokoměry. [6]

Snímač pro měření průtoku vyskytující se v hydraulickém obvodu u SP430 (Obr. 3.3) je digitální průtokoměr s proudovým výstupem se sériovou značkou VKM-8210-C4PR20R. Vybranou stránku datového listu tohoto snímače uvádí příloha č.2.



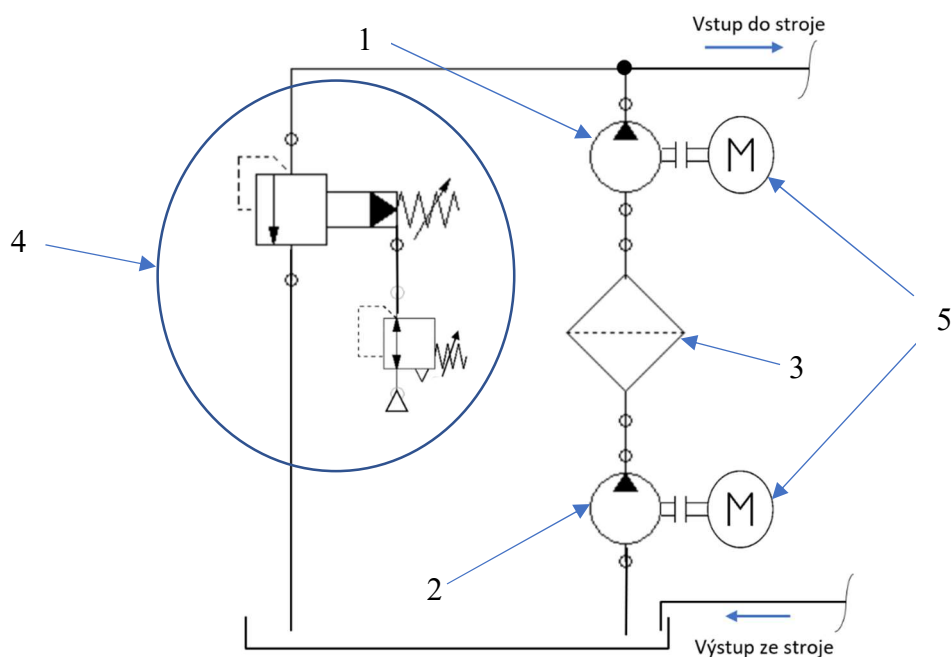
Obr. 3.3 Digitální průtokoměr Kobold VKM [19]

## 4 Vysokotlaké agregáty pro řeznou kapalinu

Vysokotlaké agregáty jsou speciálně navrženy a konstruovány tak, aby spolehlivě dodávaly řeznou kapalinu při požadovaném tlaku a průtoku. Tyto agregáty jsou kritické pro dosažení vysoké úrovně kvality a produktivity v průmyslových procesech obrábění. Jejich správná údržba je klíčová pro úspěšné fungování výrobního procesu. Obecně jsou za vysokotlaké agregáty brány takové agregáty, které dokáží dosáhnout minimálního tlaku 40 [bar]. [7]

### 4.1 Komponenty vysokotlakého agregátu

Na Obr. 4.1 je možné vidět schéma typového vysokotlakého agregátu:



Obr. 4.1 Schéma vysokotlakého agregátu

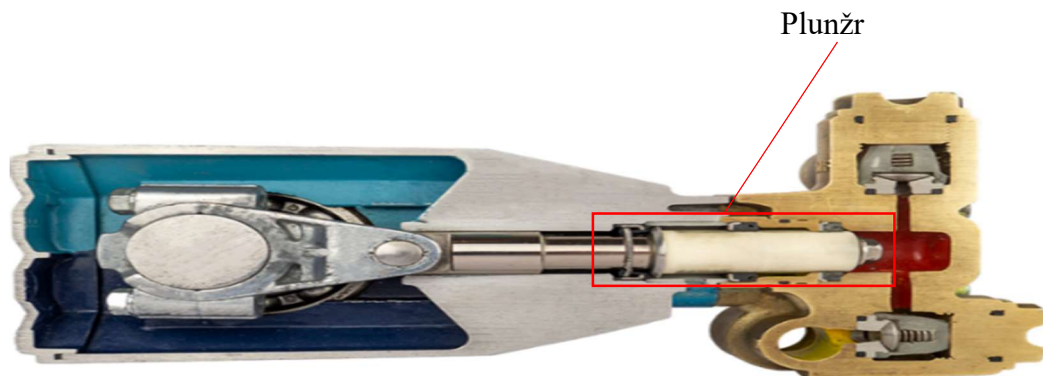
Hlavním prvkem vysokotlakých agregátů jsou speciální čerpadla (1), která jsou schopna vytvářet vysoký tlak a průtok kapaliny. Do agregátů se instalují i podávací čerpadla (2), která při zpuštění obvodu zaplaví hlavní čerpadlo. Čerpaná kapalina prochází skrz filtry (3) zachycující nečistoty, které by případně ovlivnili kvalitu obráběcího procesu.

Další důležitou součástí agregátů jsou pojistné bloky (4), které zajišťují ochranu čerpadla před přetížením a také dokáží ovládat celkový tlak v hydraulickém obvodu. Posledním důležitým prvkem agregátů jsou asynchronní motory (5), které čerpadla pohání. [7]

Filtrace a podávací čerpadlo jsou součástí každého hydraulického agregátu. V práci bude dále uváděno pouze zjednodušené zobrazení a to pouze vysokotlaké čerpadlo.

#### 4.1.1 Vysokotlaká čerpadla

U čerpadel ve vysokotlakém agregátu je potřeba, aby dokázala vyvinout potřebný tlak i průtok a dokázala pracovat nepřetržitě. V praxi se pro čerpání rezných kapalin převážně využívají čerpadla plunžrová. Jedná se o čerpadla hydrostatická, tedy mechanická energie pohonu se přímo mění na tlakovou energii kapaliny. Kinetická energie kapaliny je přitom nepatrná. Kapalina se přemísťuje prostřednictvím výtlačného tělesa (plunžru). (Obr. 4.2). Plunžr svojí velikostí kopíruje pístní válec, ve kterém jsou statické ucpávky. Plunžrová čerpadla jsou díky své konstrukci jednodušší na výrobu. [8] [9]



Obr. 4.2 Řez plunžrovým čerpadlem [9]

#### 4.1.2 Pohon čerpadla

K chodu čerpadla se ve velké míře využívají asynchronní motory s frekvenčním měničem, který dává možnost regulovat otáčky motoru. Pro menší vysokotlaké agregáty je možné využít i stejnosměrné motory. Nevýhodou těchto motorů je nutnost cizího buzení a hrozba zastavení při vyšším zatížení. Proto se u většiny vysokotlakých agregátů

využívají asynchronní motory, které jsou při vyšším zatížení spolehlivější a mají lepší dynamické vlastnosti. Problémem asynchronních motorů je rozsah pracovní rychlosti, která nesmí poklesnout pod minimální otáčky čerpadla, aby se dokázalo dostatečně mazat. Dále je nutno mít na paměti, že se mění i otáčky asynchronního motoru, tudíž u nižších otáček nemusí dosahovat jmenovitého kroutícího momentu. [7]

### 4.1.3 Filtrace

Pro správnou funkci čerpadla je nezbytné, aby kapalina splňovala maximální povolenou velikost nečistot, která je pro daný typ čerpadla stanovena. Pro tuto činnost je před čerpadlem umístěný sací filtr o definované velikosti filtrace. Hrubost sacího filtru se měří pomocí velikosti odporu sání, který je způsoben omezeným průtokem kapaliny skrz filtr. Sací filtr bývá relativně hrubý nebo jemný v závislosti na konkrétním typu čerpadla a jeho účelu. Při výběru velikosti odporu sání sacího filtru je důležité dodržovat specifikace a doporučení výrobce čerpadla. Příliš hrubý sací filtr s větším odporu sání, než povoleným by výrazně zhoršoval účinnost čerpadla. Filtr slouží k ochraně čerpadla před velkými nečistotami, které by mohli čerpadlo mechanicky poškodit. Tato komponenta je vždy součástí agregátu a je navrhována dle čerpadla. Kódování úrovně znečištění je zobrazeno v příloze č.4. [10]

### 4.1.4 Řízení tlaku ve vysokotlakých agregátech – pojistný blok

Nejrozšířenější způsob, jak řídit tlak na hydraulickém agregátu je pojistný blok. Ten mimo jiné také zajišťuje, že se vlivem zátěže vysokotlaký agregát nepoškodí. Pojistný blok je realizován za pomoci tlakových ventilů, které se dle nastavení otevírají a tím upravují celkový tlak v obvodu. Ve vysokotlakých obvodech se mohou vyskytovat pojistné bloky řízené jak hydraulicky, tak i hydraulicko-pneumaticky. Ventily realizující hydraulicko-pneumatické řízení jsou dvoustupňová, kdy za čerpadlem je umístěn první výkonový stupeň, který je tvořen membránou a odděluje hydraulické a pneumatické prostředí. Membránový ventil je pro tuto aplikaci nejvhodnější, jelikož je chemicky odolný vůči mnoha druhům médií a dokáže regulovat velký rozsah tlaků. [7] [6]

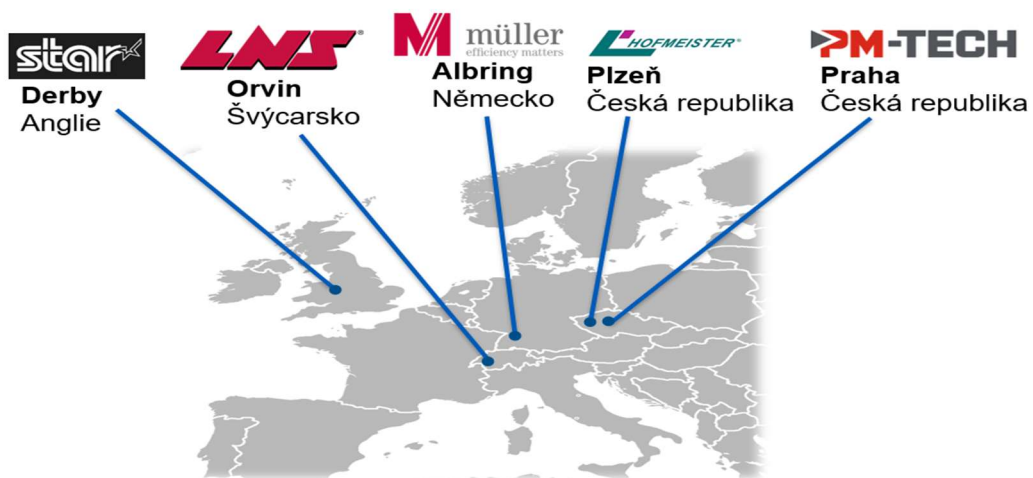


Další z možných variant je čistě hydraulický ventil. Pokud tlak dosáhne nastavenou mez, ventil se otevře a vypustí kapalinu do přepadu. Ventily ve vysokotlakých obvodech jsou nepřímo řízené a sice že mají výkonový a řídicí člen. Výkonový člen je zodpovědný za samotnou regulaci tlaku a vytváření hydraulického výstupu, zatímco řídicí člen slouží k řízení výkonového členu a udržování požadovaných hodnot tlaku. Tato varianta není v obvodech s řeznou kapalinou tak často využívaná jako hydraulicko-pneumatická, jelikož se pojí s rizikem poškození těsnění ventilu chemickými vlastnostmi řezné kapaliny. [7] [6] [10]

## 4.2 Firmy zabývající se vysokotlakými agregáty pro řeznou kapalinu

Existuje mnoho firem, které se specializují na výrobu vysokotlakých agregátů a poskytují tak kvalitní a spolehlivé řešení pro různé výrobní procesy. Tyto firmy se vyznačují nejen kvalitními výrobky, ale také kvalitním servisem a technickou podporou, což je pro úspěšný provoz agregátu klíčové.

Pro účely srovnání produktů bylo vybráno celkem pět firem. Tento výběr zahrnuje tři zahraniční a dvě české firmy (Obr. 4.3). Hlavním cílem tohoto srovnání je provést analýzu a porovnání vlastností a výkonů jejich předních vysokotlakých agregátů



Obr. 4.3 Rozložení vybraných firem v Evropě

## 4.2.1 Firmy v ČR

Na českém trhu lze nalézt omezený počet firem specializujících se na výrobu a dodávku vysokotlakých agregátů. Vzhledem k tomuto faktoru byly vybrány ty společnosti, které mají ve svém portfoliu alespoň jeden model vysokotlakého agregátu.

### *Hofmeister*

Firma Hofmeister se sídlem v Plzni má víc jak 20letou tradici ve vývoji a výrobě příslušenství k obrábění kovů. Orientuje se převážně na automobilový, letecký ale i elektrotechnický průmysl. VCH50/10/H (Obr. 4.4) je nejvýkonnější agregát, který v současné době Hofmeister nabízí. Vyznačuje se především stabilní filtrační schopností a možností aplikace velkého spektra rezných kapalin. Stroj disponuje průměrným rozsahem tlaku (47 [bar]) a průtokem ( $60 \left[\frac{l}{min}\right]$ ). [11]

### *PM-TECH*

PM-TECH je strojírenská společnost z Prahy, která se od roku 2006 věnuje převážně rezným nástrojům. Vysokotlaké jednotky PM-HP jsou jediné agregáty sloužící pro vysokotlaké chlazení nástrojů dlouhotočných automatů a soustruhů, které má firma v nabídce. Stroj PM-HP 150 (Obr. 4.5) nabízí vysoký rozsah tlaku (120 [bar]), za cenu nízkého rozsahu průtoku ( $16 \left[\frac{l}{min}\right]$ ). [12]

## 4.2.2 Firmy ve Evropě

Na globálním trhu je nabídka vysokotlakých agregátů výrazně rozmanitější než v případě české republiky. V rámci výběru byly vybrány tři společnosti, které zaujímají významný podíl na evropském trhu.

### *Star GB*

Star GB je renomovaná společnost specializující se na výrobu a dodávku CNC obráběcích strojů. Firma byla založena v roce 1989 a od té doby si vybudovala vynikající pověst ve světě strojírenského průmyslu. Firma sídlí v anglickém Derby je předním

dodavatelem agregátů pro společnosti ve Velké Británii. Kromě agregátu pro řeznou kapalinu se věnuje taky stroji pro tvorbu řezné mlhy. Řada HYDRAJET nabízí mnoho variant vysokotlakých agregátů, kde stroj TS20-2000 (Obr. 4.6) je ten nejnákladnější. [13]

### LNS


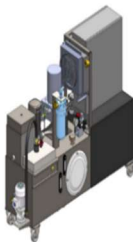



Švýcarská firma se již od svého založení roku 1973 věnuje vysokotlaké technice a po akvizici americké firmy ChipBlaster v roce se jedná o jednu z nejlepších firem co se vysokotlaké techniky týče. Vysokotlaké stroje z řady V2 nabízí možnost proměnného průtoku, který výrazně zvyšuje efektivitu obrábění. V2-120 (Obr. 4.7) je vlnkovou lodí řady, který zvládne spolehlivě uchládit i stroje o výkonu 60 [kW] [14]

### Müller Hydraulik

Společnost Müller byla založena v roce 1990 Petrem Müllerem jako firma zabývající se hydraulickými komponenty. V letech 2001-2003 se rozšířila do oblasti výzkumu a vývoje vysokotlakých agregátů pro obrábění. Tímto krokem se společnost Müller začala aktivně angažovat ve vývoji a inovacích v oblasti vysokotlaké technologie. Získala si reputaci jako spolehlivý dodavatel a výrobce vysokotlakých agregátů, které nacházejí uplatnění ve všech odvětvích strojírenství. Vybraný agregát Combiloop CL4G (Obr. 4.8) se kromě svojí výkonností vyznačuje především svým tlakem (300[bar]) [15]

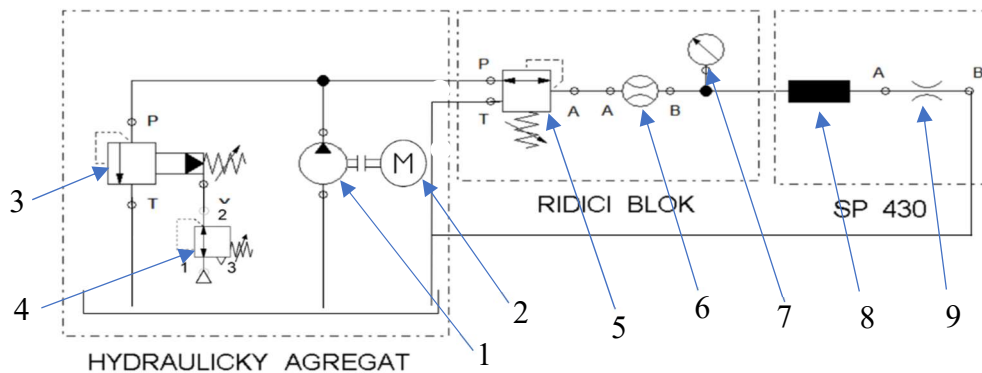
Parametry vybraných vysokotlakých agregátů jsou zobrazeny v Tabulka 4-1:

*Tabulka 4-1 Parametry vybraných vysokotlakých agregátů*

Hofmeister	PM-TECH	Star	LNS	Müller
VCH50/10/H	PM-HP 150	HYDRAJET TS20-2000	V2-120	Combiloop CL4G
				
<i>Obr. 4.4 VCH50/10/H [11]</i>	<i>Obr. 4.5 PM-HP 150 [12]</i>	<i>Obr. 4.6 TS20-2000 [13]</i>	<i>Obr. 4.7 V2-120 [14]</i>	<i>Obr. 4.8 Combiloop CL4G [15]</i>
Max. Hodnoty: p= 47 [bar] Q= 60[l/min] P=7,5[kW]	Max. Hodnoty: p=160 [bar] Q=16[l/min] P=7,3[kW]	Max. Hodnoty: p=140 [bar] Q= 20[l/min] P=10,7[kW]	Max. Hodnoty: p= 70 [bar] Q= 120[l/min] P=11[kW]	Max. Hodnoty: p= 300 [bar] Q= 34[l/min] P=16[kW]

## 5 Agregát pro původní způsob měření hydraulických veličin

Původní zapojení se skládá z vysokotlakého agregátu, řídicího bloku a obráběcího stroje SP 430. Kapalina je nasávána čerpadlem a za pomoci pojistného bloku jsou nastaveny požadované parametry tlaku a následně putují přes řídicí blok do stroje SP 430. Schéma obvodu je možné vidět na Obr. 5.1:










Obr. 5.1 Schéma původního hydraulického obvodu

Čerpadlo (1), které se nachází v hydraulickém agregátu je plunžrové a bylo dodáno firmou Hammelmann. Čerpadlo je poháněno asynchronním motorem SIEMENS (2). Pojistný blok je realizován za pomoci membránového ventilu (3) od firmy Hammelmann a redukčního pneumatického ventilu (4) od firmy SMC. Řídicí blok obsahuje přímo řízený redukční ventil Rexroth (5), pro který nepředstavuje řezná kapalina potíže díky své konstrukční jednoduchosti. Dále blok obsahuje manometr (6) a průtokoměr (7) od firmy Kobold. Držák nástroje (8) ve stroji SP 430 je dodán firmou Sandvik. Fréza (9) umístěná v držáku je od firmy Dormet Pramet.

Tlak v obvodu je regulován prostřednictvím pojistného bloku, konkrétně pomocí membránového ventilu, jehož membrána je ovládána pneumatickým redukčním ventilem. Kromě toho je na řídicím bloku umístěn redukční ventil, který přesně upravuje tlak na měřenou požadovanou hodnotu. Komponenty v obvodu a jejich parametry jsou k nahlédnutí v Tabulka 5-1:

*Tabulka 5-1 Komponenty v původním obvodu*

Čerpadlo	Elektromotor	Pneumatický ventil	Membránový ventil	Hydraulický ventil	Manometr	Průtokoměr
Hamelmann	SIEMENS	SMC	Hamelmann	Rexroth	Kobolt	Kobolt
						
Rozsah: Q=0-49 [l/min] P= 0-180 [bar]	Příkon: P=18,5[kW]	Rozsah: Q =0-1200 [l/min] P= 0-10 [bar]	Rozsah: Q=0-500 [l/min] P= 0-1800 [bar]	Rozsah: P=0-200 [bar]	Rozsah: P=0-250 [bar] Výstup: 4-20 [mA]	Rozsah: Q=5-50 [l/min] Výstup: 4-20 [mA]

## 5.1 Původní metodika měření rezných kapalin

Před měřením bylo nezbytné nastavit počáteční tlak. Pojistný blok se nastavoval mechanicky pomocí tlaku na redukčním pneumatickém ventilu. Vzduch nastavil tlak na výkonové části pojistného bloku vysokotlakého agregátu. Tlak začínal od hodnoty 50 [bar] a zvyšoval se do 180 [bar]. Důvodem bylo postupné maření hydraulického výkonu po menších hodnotách tlaku.

Následně bylo nutné přejít k řídicímu bloku u stroje SP430, kde za pomocí hydraulického redukčního ventilu byla nastavena první měřená hodnota 5 [bar] která byla zvyšována zvoleným krokem, až do hodnoty nastavené na pojistném bloku (50 [bar]). Při každém nastavení byly hodnoty ručně odečítány z průtokoměru a manometru.

Po dosažení nastaveného tlaku na pojistném bloku bylo nutné se vrátit k agregátu, zvýšit tlak na o dalších 50 [bar] a opět se vrátit k nastavování hodnot na hydraulickém redukčním ventilu u SP430. Celý proces byl opakován, dokud nedošlo k dosažení maximálních hodnot vysokotlakého agregátu (180 [bar]).

## 5.2 Zhodnocení původní metodiky měření

Původní metodika pro provedení měření vyžadovala značný čas a dvě osoby pro plynulé nastavení tlaku jak na pojistného bloku vysokotlakého agregátu, tak i na redukčním ventilu v řídicím bloku. Kromě toho bylo nutné zůstat u agregátu, dokud se tlak nenastavil na požadovanou hodnotu, což vyžadovalo kontinuální sledování, aby se minimalizovala rizika v podobě výrazné diference tlaku. Během analýzy byl zjištěn další nedostatek související s netěsností držáku nástroje (Obr. 5.2). Tato netěsnost představovala problém, neboť umožňovala nekontrolovaný průtok řezné kapaliny.



Obr. 5.2 Ukázka netěsnosti v držáku nástroje ve stroji SP430

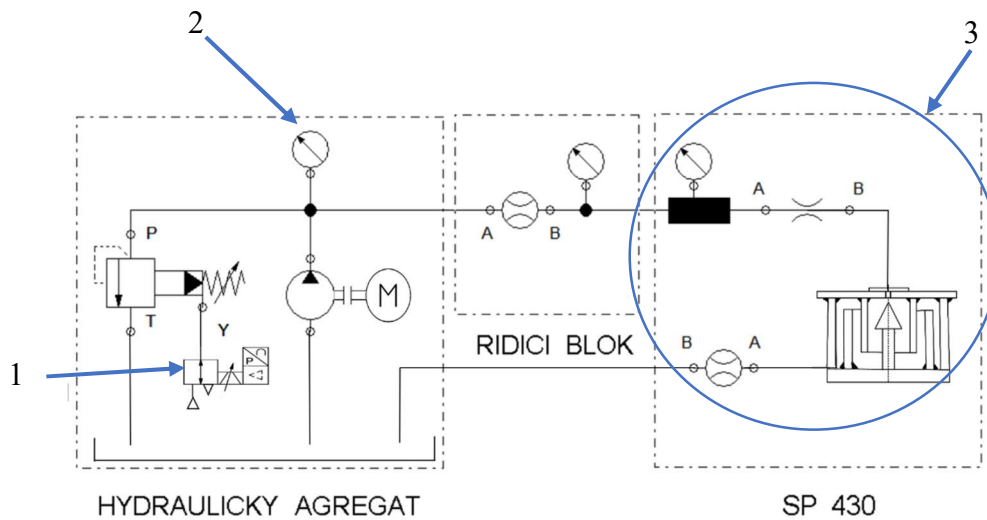
Další náročnost této metodiky spočívala v manuálním odečítání hodnot, které zvyšovalo určitou míru nepřesnosti a samotný čas ručního záznamu značně prodlužoval dobu měření. Během prvního měření, s cílem zjištění nedostatků v metodice, byla zjištěna směrodatná odchylka tlaku  $\sigma_p = 1,157$  [Bar] a průtoku  $\sigma_Q = 0,319$  [ $\frac{l}{min}$ ]. Tyto hodnoty byly nezbytné pro posouzení přesnosti nové metodiky.

Z tohoto hodnocení vyplynulo, že bylo nezbytné věnovat pozornost metodám nastavování tlakových hodnot na pojistném bloku a navrhnout opatření, která by umožnila vyloučit používání redukčního ventilu a přenést jeho funkce na pojistný blok. Dále bylo nutné se zaměřit na způsob získávání hodnot ze snímačů a vyvinutí autonomního způsobu záznamu dat.

## 6 Modifikace hydraulického agregátu

Po analýze trhu bylo zřejmé, že současné čerpadlo agregátu je dostačující vzhledem k průměrným parametrům vysokotlakým agregátům, které nabízí trh. Nejvyššího tlaku dosahuje agregát od firmy Müller Hydraulics ( $p=300$  [bar]) a největšího průtoku agregát od firmy LNS ( $Q=120$  [ $\frac{l}{min}$ ]). V oblasti příkonu také dominoval agregát od firmy Müller Hydraulics ( $P = 16$  [kW]) .

Schéma nového obvodu se všemi potenciálními členy je vyobrazeno na Obr. 6.1:



Obr. 6.1 Schéma modifikovaného obvodu

Pro úpravu tlaku v obvodu bylo nutné nalézt ventil řízený elektrickým signálem a sice ventil proporcionální (1). Tento ventil lze ovládat pomocí elektrického signálu, a tudíž odpadne potřeba přechodů k agregátu během měření. Navíc toto řešení umožnilo odstranit redukční ventil na řídicí aparatuře a přenést jeho funkce na proporcionální ventil. Tento typ ventilů plní funkci regulátoru, a tedy vyžaduje zpětnou vazbu pro správné fungování. S ohledem na tento fakt bylo nezbytné doplnit výstup z čerpadla o další snímač tlaku (2), ze kterého je získávána tato zpětná vazba.

Aby byly hodnoty tlaku a průtoku co nejpřesnější, bylo nutné také navrhnout nový způsob zaznamenávání dat co nejbližně měřené trysce. Navržené zařízení má být kompaktní a jednoduše přenosné (3).

## 6.1 Návrh vylepšení řízení tlaku v agregátu





Jak bylo psáno výše, prvním krokem modifikace agregátu bylo vyvinout způsob automatického řízení tlaku a sice vylepšení pojistného bloku proporcionálním prvkem. Existují dvě možnosti vylepšení pojistného bloku. První varianta je vylepšení náhradou celého pojistného bloku za hydraulický ventil, který je přímo zařazen do obvodu (hydraulicko-elektrické řízení). Druhé řešení je výměna pouze pneumatického ventilu a sice pouze řídicí části která řídí tlak na membráně a ta následně řídí tlak v obvodu (hydraulicko-pneumaticko-elektrické řízení).

Byly vybráni 4 zástupci renomovaných firem, od kterých se posuzovali nejvhodnější ventily pro danou aplikaci. Jedná se o firmy Bosh Rexroth a Parker u ventilů hydraulických a Festo a Norgren u ventilů pneumatických. Ventil měl být nepřímo řízený a proporcionální a mít tyto parametry:

- Hydraulický:  $Q = 100 \left[ \frac{l}{min} \right]$ ,  $p = 200$  [bar]
- Pneumatický:  $Q = 1000 \left[ \frac{l}{min} \right]$ ,  $p = 10$  [bar]

Pro hydraulický ventil byly parametry nastaveny tak, aby byl vyhovující i pro případné budoucí vylepšení agregátu. V případě pneumatických ventilů se jedná o parametry u kterých bude zaručena správná funkčnost membránového ventilu. Na základě těchto požadavků byly vybrány tyto ventily (Tabulka 6-1):

*Tabulka 6-1 Varianty modifikace pojistného bloku*

Náhrada celého bloku		Náhrada pouze řídicí části	
Bosh Rexroth	Parker	Festo	Norgren
DBEME	R6V03	VPPI	VP23
			
<i>Obr. 6.5 DBEME [22]</i>	<i>Obr. 6.2 R6V03 [21]</i>	<i>Obr. 6.3 VPPI [20]</i>	<i>Obr. 6.4 VP23 [23]</i>
Rozsah: $p=0-200$ [bar] $Q=0-275$ [l/min]	Rozsah: $p=0-210$ [bar] $Q=0-250$ [l/min]	Rozsah: $p=0-10$ [bar] $Q= 0-1500$ [l/min]	Rozsah: $p=0-10$ [bar] $Q=0-2500$ [l/min]



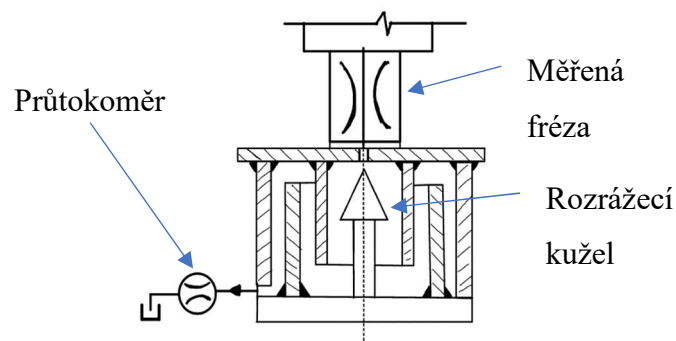
### 6.1.1 Výběr proporcionálního ventilu

V první fázi výběru ventilu bylo prioritou pořízení hydraulické varianty s cílem eliminovat konstrukčně složitější kombinaci pneumatického a membránového ventilu. Hydraulický ventil by teoreticky nabízel lepší ovladatelnost a menší rozměry. Avšak, jak pro ventily od společnosti Bosch Rexrot (Obr. 6.5) tak od Parker (Obr. 6.2), bylo zástupci uvedeno, že nemohou zaručit chemickou odolnost ventilu vůči řezné kapalině. Z tohoto důvodu se hydraulicko-pneumatické řízení stalo jedinou možnou alternativou.

Ventil VP23 (Obr. 6.4) se vyznačuje širším rozsahem regulovatelného tlaku oproti ventilu VPPI (Obr. 6.3). Přestože měl tento ventil výhodu v rozsahu tlaku, rozhodujícími faktory pro výběr byly cena a dodací lhůta, kdy ventil od Festa byl o polovinu levnější a měl možnost dřívějšího dodání než ventil VP23. Z těchto důvodů byl nakonec vybrán ventil VPPI-5L-3-G18-0L10H-V1-S1 od společnosti Festo. Všechny parametry tohoto ventilu jsou k nahlédnutí v příloze č.5.

## 6.2 Návrh měřicí nádrže s kuželem

Pro získávání co nejpřesnějších hodnot průtoku u zkoumaných fréz byla navržena varianta měření průtoku za pomoci odměrné nádrže s rozrážecím kuželem. Návrh měřicí nádrže je možné vidět na Obr. 6.6:



Obr. 6.6 Návrh měřicí nádrže s kuželem

Nádrž je umístěna na výstup z frézy. Kužel, který se nachází naproti trysce rozráží vodní paprsek. Řezná kapalina následně přetéká z vnitřní nádrže do vnější, kde je na odtoku umístěn průtokoměr.

### 6.3 Návrh úpravy držáku nástroje

Pro získávání hodnot tlaku byla navržena speciální úprava držáku nástrojů, do které je přímo implementován manometr. Hlavním cílem této modifikace je co nejvíce zredukovat ztráty způsobené netěsnostmi původního držáku, a tudíž získávat co nejpřesnější hodnoty tlaku u měřených fréz. Návrhový model je vyobrazen na Obr. 6.7:

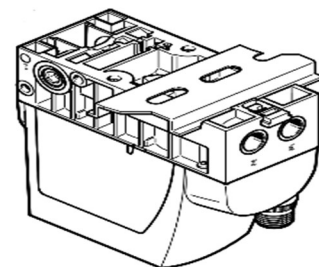


Obr. 6.7 Návrhový model upraveného držáku nástroje

### 6.4 Instalace komponentů

Všechny nově zakoupené komponenty bylo nezbytné správně aplikovat do hydraulického obvodu. Ventil lze uchytit na objekt v obvodu a to buď umístěním šroubů do předpřipravených otvorů na zadní straně ventilu, nebo nasunutím na DIN lištu.

V případě ventilu VPPI byla provedena volba uchycením za pomoci DIN lišty (Obr. 6.8), která byla umístěna na místě původního pneumatického ventilu, tedy na desce u sacího filtru. Tato volba přináší několik výhod, zejména z hlediska možnosti snadného přesunu ventilu v případě potřeby.



Obr. 6.8 Uchycení ventilu na DIN

Pro monitorování tlaku byl za čerpadlo umístěn manometr LD od firmy Kobold. Tento manometr slouží k získání zpětné vazby o aktuálním tlaku v systému. Díky této informaci je možné lépe řídit proporcionální ventil za pomoci PID regulace.

Pro automatizaci systému byly všechny snímače a proporcionální ventil vybaveny spojovacím kabelem od firmy FESTO. Tento kabel propojuje snímačů se sběrnici dat a umožňuje jejich komunikaci. Díky tomuto spojení mohou být naměřené hodnoty okamžitě zpracovávány a vyhodnocovány v rámci celého systému. To zajišťuje rychlejší odezvu na změny a umožňuje lepší řízení a kontrolu procesu.

Realizace úpravy držáku nástroje a měřící nádrže nejsou v práci detailně řešeny. Tyto návrhy pouze vyobrazují další možnou modifikaci měření.

## 7 Automatické ukládání a zpracování dat

Jak bylo zmíněno výše, problémem původní metodiky byl mimo jiné také způsob získávání dat. Po doplnění obvodu o další digitální snímač bylo dalším úkolem zajistit sběr dat. Požadavkem byl automatická akvizice dat s minimálním zásahem člověka. K vylepšení bylo tedy nutné zajistit jak hardwarovou, tak softwarovou část, která bude celý měřicí proces ovládat.

### 7.1 Měřicí aparatura

U hardwarové části měřicí aparatury se kladl důraz na jednoduchost konstrukce a cenovou dostupnost. Další důležitým požadavkem byla možnost aparaturu jednoduše přenášet pro případ, kdy by byla potřeba proměřovat jiné stroje. Aby se mohlo měření realizovat na dálku bylo nutné zajistit možnost bezdrátového ovládání. Dále bylo žádané, aby aparatura mohla mít 12 analogových vstupů pro získávání signálu.

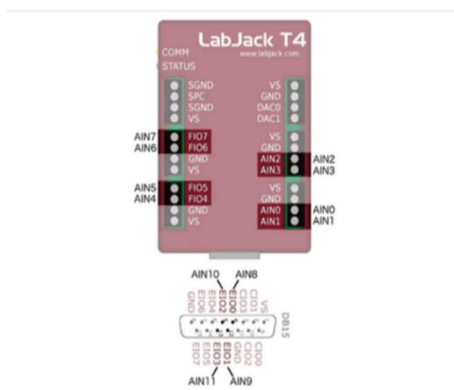
#### 7.1.1 Sběrnice dat

Měření se neobejde bez vhodné karty pro sběr dat, která slouží pro přímé měření, popřípadě generování signálu počítačem. Karty zpravidla obsahují analogové vstupy a analogové výstupy. Analogové vstupy jsou určeny k získávání dat tím, že převádí analogové průběhy na digitální. Důležitým parametrem pro analogové vstupy jsou jejich rozlišení, rozsah, maximální vzorkovací frekvence a v neposlední řadě také jejich počet. Analogové výstupy slouží k řízení určitých komponentů (ventil, elektromotor atd.) tím, že vysílají elektrické signály, přičemž se hodnotí stejné parametry jako u vstupu. [16]

Nejvíce sběrnic dat na trhu nabízí National Instrument (NI). Tato americká firma mimo jiné poskytuje programovací software LabVIEW, vhodný k programování systému pro měření a analýzu signálu. Měřicí karty NI mají vysokou přesnost (DAQ NI PXIe-6363 má s rozsahem  $\pm 0,5$  V maximální odchylku  $100 \mu\text{V}$  [16]), avšak s tím se pojí i vysoká cena. K proměřování hydraulických veličin by karta od NI byla zbytečně předimenzovaná a nákladná.

Další významnou společností, která dodává sběrnice dat, je LabJack. Tato společnost nabízí cenově dostupné verze karet, které jsou pro měření hydraulických veličin z technického hlediska naprosto dostačující.

Byla vybrána karta LabJack T4 (Obr. 7.1), která nabízí 4 vysokonapěťové a 8 nízkonapěťových analogových vstupů, 2 analogové výstupy (Tabulka 7-1) a 16 digitálních I/O (vstup/výstup). Zařízení je možné propojit s počítačem buď přes USB kabel anebo přes ethernet [17].



Tabulka 7-1 Rozsah napětí na analogových vstupech [17]

		Built-in Analog Inputs															
AIN		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T4		AIN (0-3) High-Voltage $\pm 10V$				AIN (4-11) Low-Voltage 0-2.5V						N/A					

Obr. 7.1 LabJack T4 se zobrazenými vstupy a výstupy [17]

Jelikož základná karta obsahuje přístup pouze ke čtyřem nízkonapěťovým vstupům, byla dokoupena rozšiřující svorkovnice CB15 (Obr. 7.2), která poskytuje přístup ke zbylým vstupům.



Obr. 7.2 LabJack T4 s rozšiřující svorkovnicí CB15

[17]

Parametry rozšířené karty jsou následující [17]:

- 12 analogových vstupů (12bit)
  - 4x  $\pm 10$  [V]
  - 8x 0-2,5 [V]
- 16 digitálních I/O
- 2 analogové výstupy (10-bit, 0-5[V])
- Napájení: 5[V]

Analogový signál z manometru a průtokoměru je proudový. Bylo tedy nezbytné pořídit ke kartě převodníky, aby signál vstupující do karty byl napěťový. Zakoupený převodník LJTick-CurrentShunt převádí proud 4-20 [mA] na napětí 0,47-2,36 [V]. Další převodník LJTick-DAC slouží k ovládní proporcionálního ventilu.

### 7.1.2 Další příslušenství

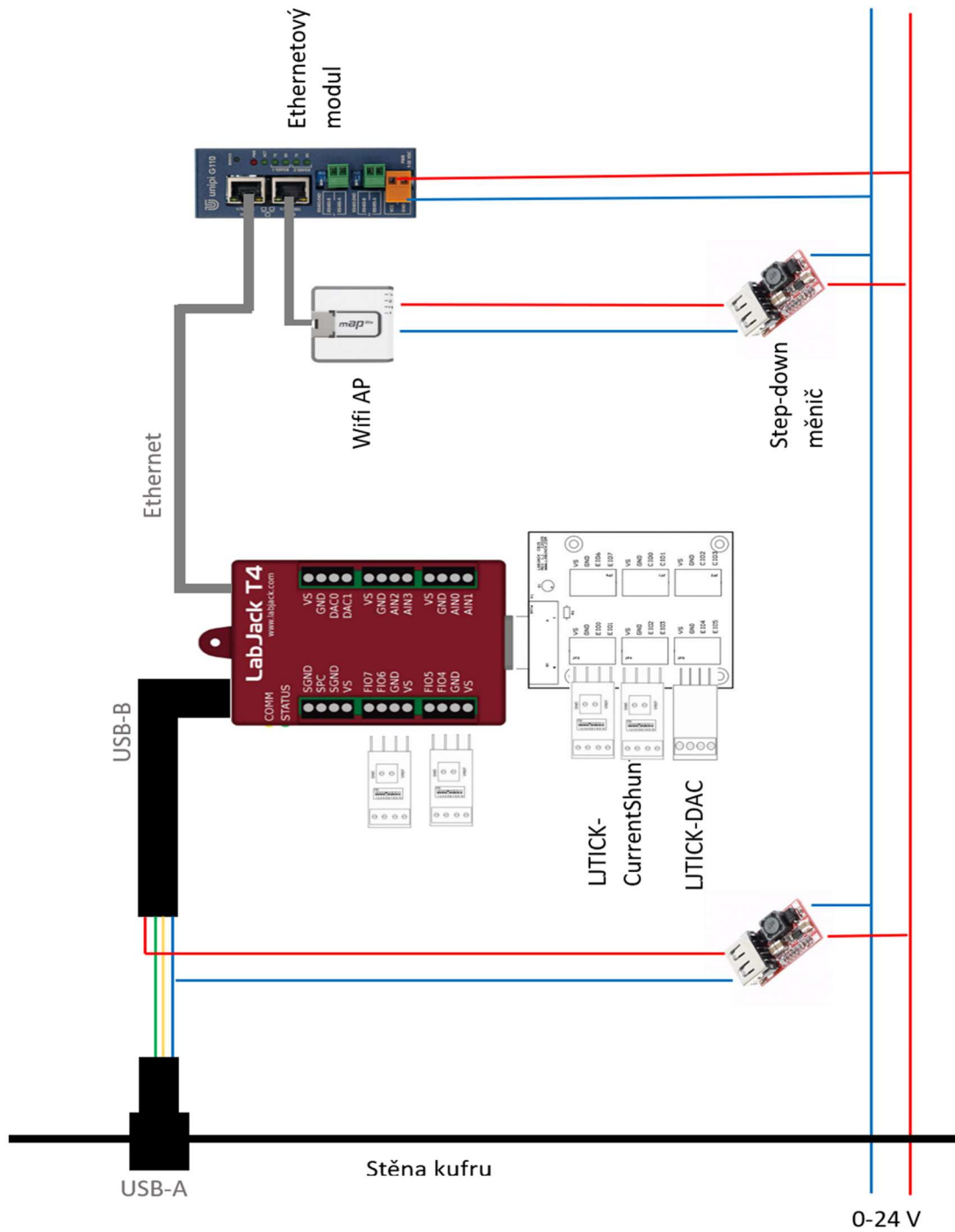
Pro realizaci bezdrátového ovládní byl zakoupen ethernetový modul Unipi Gate G110, který se využívá jako rozhraní mezi zařízeními. V kombinaci s Wifi AP (access point) MikroTik mAP lite umožňuje bezdrátové připojení.

Pro zajištění napájení měřící karty a Wifi AP bylo nutné pořídit dva step-down měniče, které převádějí napětí na stabilní hodnotu 5 V. Tyto měniče slouží k přesnému napájení obou zařízení a k zajištění jejich správné fungování.

Aby byl splněn požadavek na mobilitu celé soustavy, všechny výše zmíněné komponenty jsou umístěny v ochranném kufru Xenotec. Tento kufr poskytuje ochranu před vnějšími vlivy, jako jsou nárazy, prach nebo vlhkost, a umožňuje snadné přenášení celého systému na různá pracoviště.

### 7.1.3 Schéma zapojení měřicí aparatury

Na Obr. 7.3 je možné vidět výsledné zapojení měřicí aparatury v přenosném kufříku:



Obr. 7.3 Schéma zapojení měřicí aparatury

## 7.2 Měřicí program

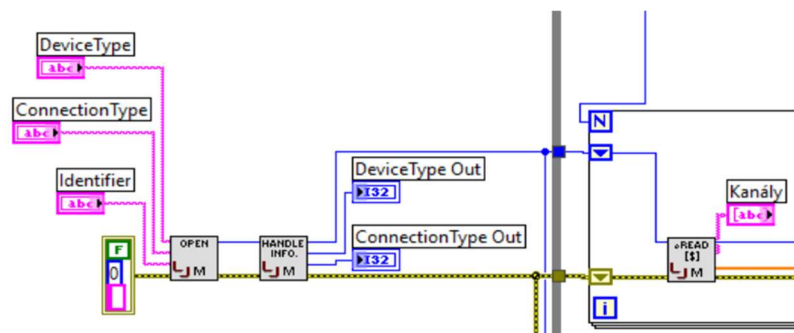
Program, pro ovládání měřicí aparatury byl vytvořen v programovacím jazyku G od firmy National Instrument. LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) slouží jako programovací a vývojové prostředí ke grafickému programování. Software je vhodný k programování systémů pro analýzu signálů a řízení. [16]

Měřicí program se sestává z těchto částí:

- Blok pro získávání dat
- Blok pro řízení tlaku

Cílem měřicího programu je dosáhnout automatického průběhu celého měření, včetně sběru dat a ovládání ventilu, a tudíž minimalizovat nutnost zásahu uživatele během samotného měření. Program automaticky získává data z měřicího zařízení a řídí ventil na pojistném bloku. Díky tomuto automatickému přístupu se snižuje závislost na manuálním zásahu uživatele během měření, která se může soustředit na přípravu experimentu, nastavení parametrů a vyhodnocení výsledků. Během samotného měření může být program spuštěn a uživatel se může věnovat jiným úkonům nebo sledovat průběh měření na dálku. Uživatelské rozhraní je zobrazeno v příloze č.6.

LabVIEW je navržen převážně pro sběrnicové daty od NI. Jelikož je k měření využívána sběrnice od firmy LabJack není možné využít jak funkce *NI MAX* (program sloužící k nastavování karty), tak ani funkce *DAQ Assist* (program sloužící k načítání sběrnice.). Bylo tedy zapotřebí implementovat do LabVIEW speciální podprogramy (Obr. 7.4) od firmy LabJack k načítání, nastavování a ovládání sběrnice dat T4.

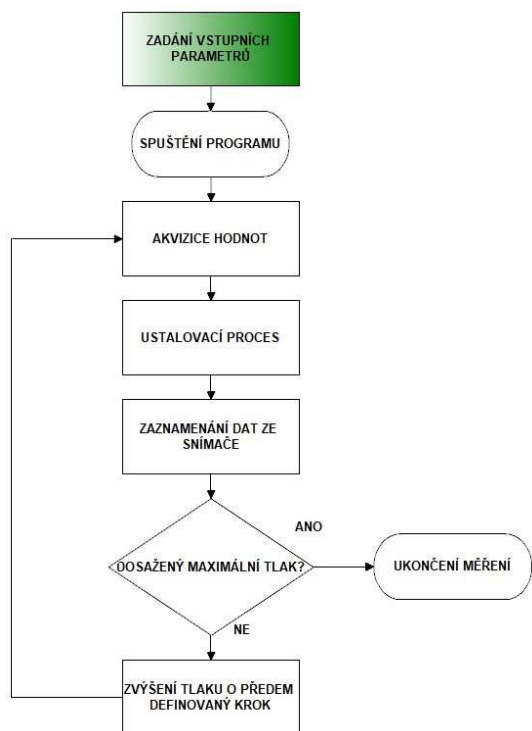


Obr. 7.4 Podprogramy pro načítání LabJack T4

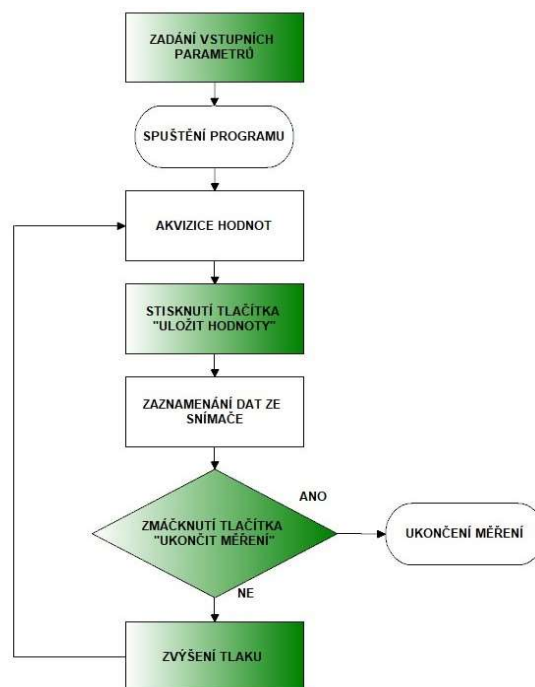


## 7.2.1 Blok pro získávání dat

Blok pro získávání dat je hlavní částí celého softwaru. Na Obr. 7.5 je zobrazeno schéma fungování programu v automatickém režimu zatímco Obr. 7.6 vyobrazuje schéma ručního režimu programu. Zeleně zvýrazněné bloky signalizují, že je vyžadována interakce uživatele.



Obr. 7.5 Blok automatického režimu



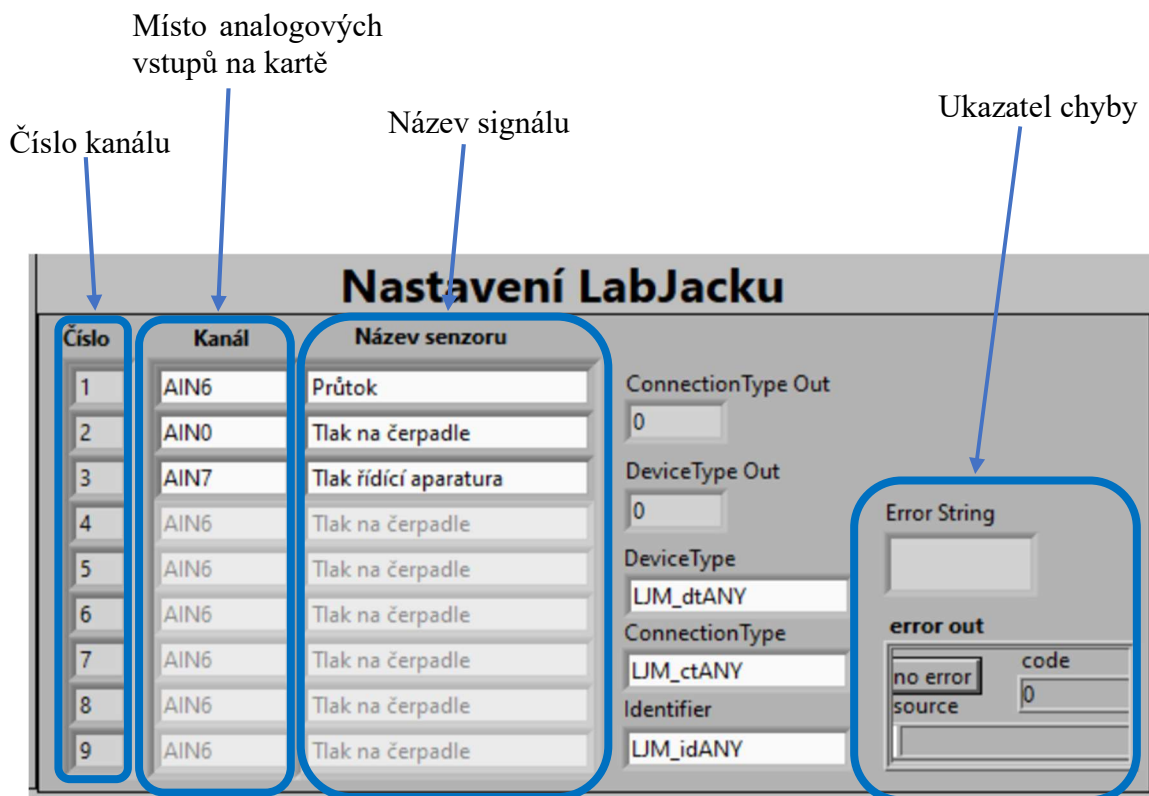
Obr. 7.6 Blok ručního ukládání

V případě, že si uživatel vybere automatické měření probíhá celé měření autonomně. Program sbírá data ze snímačů a upravuje tlak na pojistném bloku dle předem nastaveného kroku. Při dosažení maximální nastavené hodnoty tlaku se data zapíší do souboru a program se ukončí.

Pokud uživatel nechce provést měření v automatickém režimu může program provozovat v ručním režimu. V tomto režimu uživatel pomocí programu nastavuje tlak na pojistném bloku a za pomoci tlačítka „uložit data“ ukládá aktuální data do souboru. Pokud si uživatel přeje ukončit měření zmáčkne tlačítko „ukončit měření“ čímž zapíše data do souboru a celý program ukončí.

### Příprava programu

Před iniciací programu je nutné nejdříve vhodně nastavit výstupy karty. K těmto účelům je v programu zaimplementován blok s názvem „Nastavení LabJacku“ (Obr. 7.7). V tomto bloku uživatel musí nastavit kanály vstupů a vhodně je pojmenovat. Tento krok je nutné před spuštěním programu překontrolovat, jelikož tyto parametry nelze během měření jakkoliv upravovat.



Obr. 7.7 Blok "Nastavení LabJacku"

Dalším nastavením, které lze provést pouze před spuštěním programu, je volba typu souboru, do kterého budou data uložena, a název souboru. Výchozím nastavením je Excelový soubor, který poskytuje širokou škálu možností pro zpracování a analyzování dat. Nicméně je také možné přepnout na textový soubor, pokud uživatel preferuje tento formát. Ukázka je možná vidět v příloze č.7. Před spuštěním je nutné určit „referenční tlak“.

Pokud chce uživatel provozovat měření v automatickém režimu musí také nastavit maximální měřený tlak a velikost kroku, kterým do něj bude postupovat.

### *Spuštění programu*

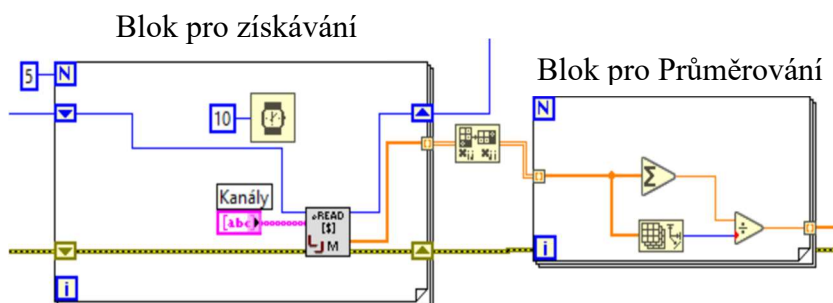
Při spuštění měřicího programu je uživatel vyzván, aby vybral místo uložení souborů, které budou obsahovat data z nadcházejícího měření. Tento příkaz je realizován funkcí *File Dialog Express VI*. Názvy souborů jsou ve tvaru: „\*volitelný název\*-DATUM-ROK-HODINA-MINUTA-VTEŘINA“ kde časový údaj v názvu je čas spuštění programu.

Při spuštění program také kontroluje, jestli jsou všechny veličiny nadefinovány správně a případně zda některý ze zadaných parametrů nepřesahuje možnosti agregátu (maximální nastavený tlak v automatickém režimu bude vyšší, než dokáže čerpadlo vyvinout).

### *Získávání a úprava hodnot ze snímačů*

Realizace bloku pro získávání a úpravu hodnot ze snímačů je vyobrazena na Obr. 7.8. Přes blok *LJM READ* jsou získávány hodnoty ze snímačů, které jsou následně za pomoci iteračního cyklu *for loop* uspořádávány do matice  $m \times n$  kde hodnota  $m$  je počet měřených veličin a hodnota  $n$  počet cyklů *for loop*. Pro jednoduché určování vzorkovací frekvence byl do obvodu dodán blok *Wait*, který udává, jak dlouho má celý cyklus čekat, než provede další iteraci. V tomto případě je čekání cyklu nastaveno na 10 milisekund před další akvizicí vzorku, tudíž vzorkovací frekvence je  $f_s = 100$  Hz.

Získaná data jsou poslána do druhé iterační smyčky *for loop* ve které jsou hodnoty průměrovány. Toto je uskutečněno, když výsledek funkce *Add Array Elements*, která sečte hodnoty jednoho parametru, je vydělen výsledkem funkce *Array Size*, která naopak zjišťuje počet hodnot v jednom parametru.



Obr. 7.8 Načítání a průměrování dat

### *Ukládání dat*

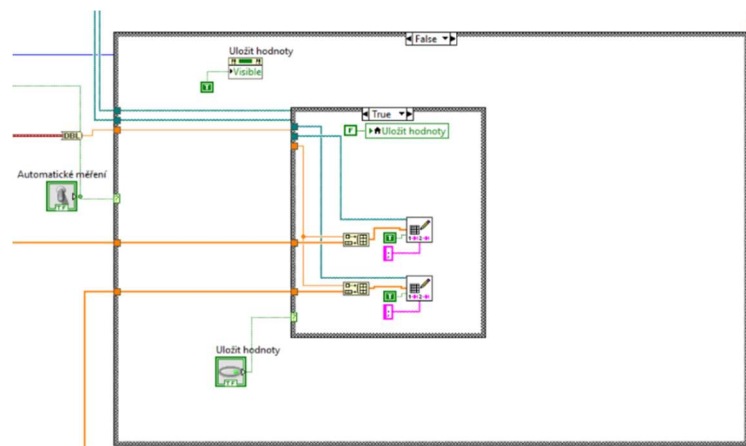
Data jsou ukládána ve dvou různých formátech jednotek. Prvním formátem je jednotka, ve které byl signál původně získán a to ve voltech ([V]). Druhým formátem je jednotka tlaku ([bar]) a průtoku ( $[\frac{l}{min}]$ ). Záznam ve voltech slouží jak ke kontrole správnosti převodu jednotek, tak pro případnou výměnu rozsahu jednoho ze snímačů. Pro ukládání dat v jednotkách tlaku a průtoku bylo nezbytné vytvořit v programu převodový poměr, čímž se usnadní výsledná práce s daty. Signál ze snímačů je proudový. Tato veličina se ve výše zmíněném poměru (Podkapitola 7.1.1) převádí na napětí. Napětí se pak, dle rozsahu snímačů převádí na danou veličinu.

Program umí pracovat ve dvou režimech. Automatický a ruční režimu ukládání.

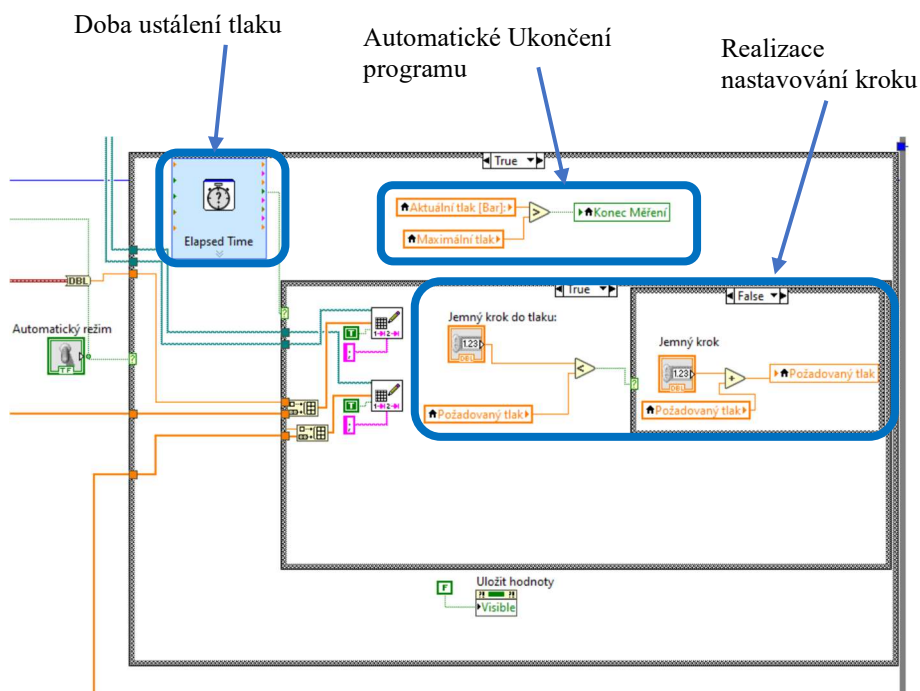
Při aktivaci automatického režimu se využívá čekací funkce „Elapsed time“ k realizaci zápisu do souborů. Tato funkce slouží k pravidelnému vysílání signálu každých X definovaných sekund, na základě kterého se uloží aktuální hodnoty ze snímačů. Dále se postupně zvyšuje tlak na pojistném bloku, až do dosažení maximálního limitu stanoveného uživatelem. Po dosažení této hodnoty se měření automaticky ukončí. Časový interval čekací funkce je odvozen z poznatků z prvního kalibračního měření s novou aparaturou. Dále díky zkušenostem z kalibračního měření byla do programu přidána funkce „jemného kroku“, která umožňuje uživateli nastavit různé velikosti kroků na různých úrovních tlaku. Tím se zajistí jemnější krok při nižších tlacích a větší krok při vyšších tlacích. Tato funkce umožňuje uživateli přesnější a efektivnější nastavení měření

Pokud chce uživatel provozovat program v ručním režimu bylo do programu přidána funkce, která zaručí zápis dat pouze pokud to bude vyžadováno. Hodnoty se tedy zapíší do souboru, pokud uživatel stiskne spínače „uložit data“.

Těchto funkcí je docíleno za pomoci *case structure*, ve které jsou umístěny bloky, které realizují zápis hodnoty do souboru. Tato struktura je grafickou interpretací funkce "if". Ruční režim ukládání je vyobrazeno na Obr. 7.9 a automatické ukládání na Obr. 7.10. Na první pohled je možné si všimnout, že v realizaci ručního ovládání v LabVIEW je jednodušší. V automatickém režimu bylo nutné přidat více funkcí, aby bylo možné řídit další aspekty procesu. Patří sem například ovládání velikosti kroku, určení délky doby ustálení tlaku a také automatické ukončení měření. Tyto dodatečné funkce byly nutné pro zajištění automatizovaného a řízeného ukládání dat.



Obr. 7.9 Case Structure pro ruční ovládání



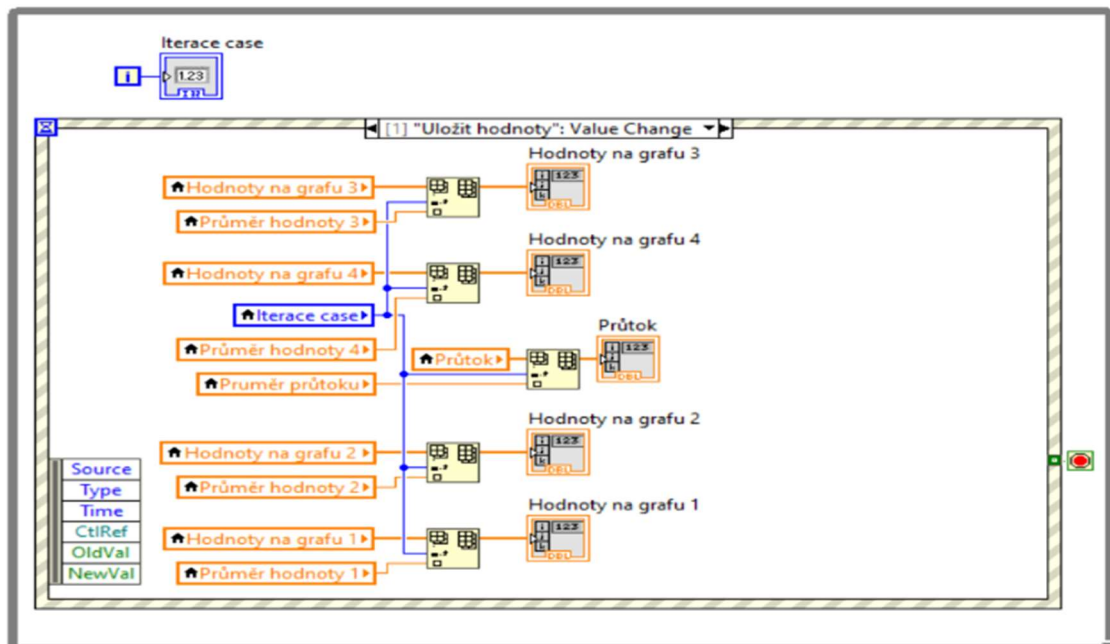
Obr. 7.10 Case Structure pro automatické ovládání

## Tvorba grafů

V rámci programu jsou dostupné grafy, které jsou určeny jak ke kontrole průběhu měření, tak k výstupní vizualizaci. Program poskytuje dva typy grafů pro zobrazení dat.

První typ grafu zobrazuje p-Q závislost v reálném čase. Tento graf ukazuje hodnoty naměřené ze snímačů během celého měření. Tento graf má převážně kontrolní charakter a umožňuje uživateli sledovat průběh měření a ověřovat jeho správnost. Uživatel může během měření vybrat u kterého ze snímačů chce vidět aktuální hodnoty zadáním čísla kanálu (určení referenčního tlaku).

Druhým typem jsou p-Q grafy, které zobrazují hodnoty zapsané do souboru uživatelem, a to podle místa, kde byly tyto hodnoty získány. Tento druh grafů umožňuje uživateli analyzovat a porovnávat data z různých míst. Tato funkce je uskutečněná za pomoci *event structure* (Obr. 7.11). Když se stiskne spínač „uložit hodnoty“ provede se zápis hodnot nejen do vybraného souboru, ale také do matice, ze které se grafy vykreslují. Pro vkládání hodnot do matic je využívána funkce *Insert Into Array*. Přes stejnou funkci je realizováno i vykreslování v automatickém režimu.



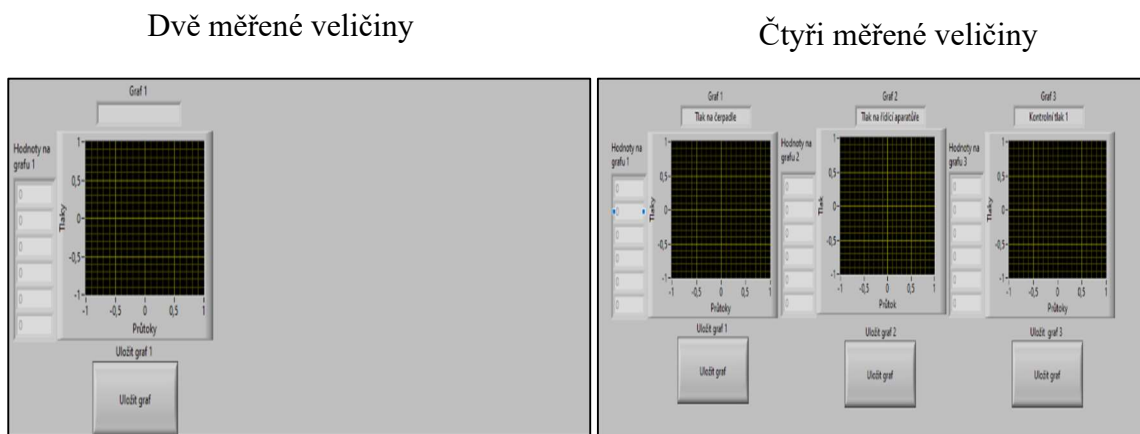
Obr. 7.11 event structure pro tvorbu grafů

Hodnoty jsou vykreslovány také do kombinovaného grafu, kde je možné vidět hodnoty všech tlaků a průtoků na všech snímačích v jednom obrazu.

Aby uživatelské rozhraní během měření bylo přehledné, jsou zobrazovány pouze grafy, které jsou v daném měření aktivní. Jelikož pro generování jakýchkoliv grafů jsou nutné dvě hodnoty, je vztah, který definuje počet zobrazených grafů následující:

“počet zadaných hodnot“-1=“počet zobrazených grafů“

Zobrazení grafů v závislosti na zadaných hodnotách je možné vidět na Obr. 7.12:



Obr. 7.12 Příklad zobrazení grafů v měřícím programu

## 7.2.2 Blok pro řízení tlaku v agregátu

Jedinou funkcí této části programu je nastavování tlaku na pojistném bloku na požadavek uživatele. Požadavkem je, že přechod musí být plynulý, přiměřeně rychlý a nastavené hodnoty by se neměly výrazně vychylovat od hodnot požadovaných. Ovládaný prvek je vybraný proporcionální ventil z kapitoly 6.1.1. Nejvhodnější pro realizaci těchto požadavků je využití PID regulace. PID (Proporcionální, Integrovaná, Derivativní) regulace je způsob řízení systémů, který kombinuje tři základní složky – proporcionální, integrovaná a derivativní – pro dosažení stabilního a přesného chování systému. Je to jedna z nejrozšířenějších a nejjednodušších metod regulace, která se využívá v různých oblastech a aplikacích. [18]

### *PID regulace*

Regulátory typu PID jsou spojité, lineární a jak bylo psáno výše je podle požadavků na výsledný přenos tvořeny třemi složkami [18]:

- Proporcionální (P)
- Integrovní (I)
- Derivační (D)

*Proporcionální člen* nastavuje hodnotu akční veličiny  $u$  úměrně k regulační odchylce  $e$ . Chování lze popsat vztahem (7-1) kde  $r_0$  představuje proporcionální konstantu zesílení [18]

$$u(t) = r_0 \cdot e(t) \quad (7-1)$$

*Integrovní člen* akční veličinu  $u$  nastavuje úměrně k integrálu regulační odchylky  $e$  popsáno vztahem (7-2), kde  $T_I$  představuje časovou integrovní konstantu. [18]

$$u(t) = \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (7-2)$$

*Derivační člen* derivuje odchylku  $e$ , díky které předvídá budoucí vývoj regulační odchylky a podle toho upravuje akční zásah  $u$  ve vztahu (7-3) kde  $T_D$  představuje časovou derivační konstantu. [18]

$$u(t) = T_D \cdot \frac{\partial e(t)}{\partial t} \quad (7-3)$$

Při spojení všech tří složek dostaneme vztah pro PID regulátor (7-4) [18]:

$$u(t) = r_0 \cdot e(t) + \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \cdot \frac{\partial e(t)}{\partial t} + u_0 \quad (7-4)$$

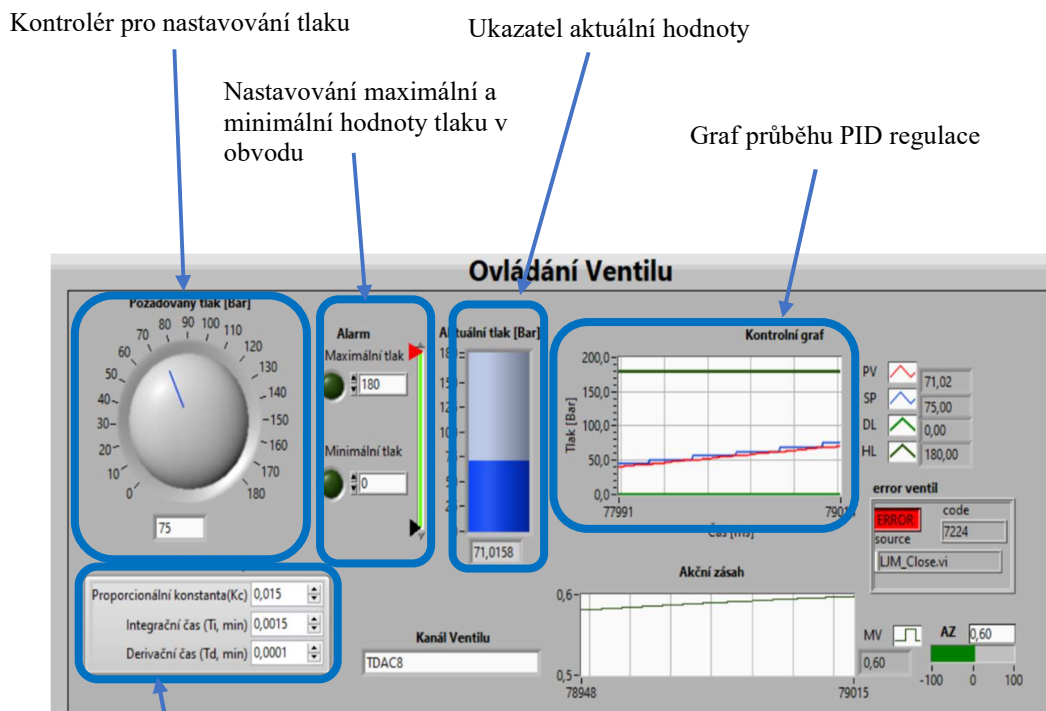


### Realizace PID regulátoru v LabVIEW

Pro integraci regulace do prostředí LabVIEW, bez nutnosti manuálního zápisu matematického vztahu (7-4), existuje bloková funkce PID VI. Tato funkce byla využita i v případě PID regulaci v měřícím programu pro nastavování hodnot tlaku na pojistném bloku.

Je třeba zdůraznit, že ovládání proporcionálního ventilu v rámci programu slouží výhradně pro ruční měření, kdy uživatel chce nastavit konkrétní hodnoty tlaku. V automatickém režimu se tento panel nepoužívá, protože se ovládání tlaku provádí pomocí algoritmu, který automaticky upravuje ventil tak, aby dosáhl požadovaného tlaku.

Díky bloku vyobrazeném na Obr. 7.13, který poskytuje uživateli možnost sledovat průběh PID regulace, je možné efektivně regulovat tlak na pojistném bloku čerpadla. Je možné nastavit také rozsah měření za pomoci přidané funkce „Alarm“. To přispívá k vyšší přesnosti a flexibilitě při měření dat a řízení procesů. Uživatel si může také podle potřeby nastavovat PID konstanty, pokud by chtěl upravovat čas a průběh nastavování požadovaného tlaku.



Obr. 7.13 Uživatelské rozhraní pro ovládání proporcionálního ventilu

Blok pro úpravu PID konstant

## 8 Měření hydraulických veličin s novou aparaturou

Po aplikaci všech modifikací, včetně vytvoření měřicí aparatury a softwaru, bylo nezbytné ověřit funkčnost těchto úprav měřením. Provedeno bylo jak kalibrační měření, sloužící k ověření správného nastavení měřícího zařízení, tak i kompletní měření chladících kanálků.

### 8.1 Kalibrační měření s novou aparaturou

Prvním krokem byla kalibrace všech snímačů v hydraulickém obvodu. Tento proces zahrnoval porovnání výstupů snímačů s přesnými referenčními hodnotami a následné doladění jejich citlivosti tak, aby byly schopny přesně měřit a registrovat změny v hydraulickém systému. Byly využívány nově jak nově nainstalovaný manometr Kobold LD na čerpadle, tak stávající na řídicí aparatuře

Při přípravě měření bylo nezbytné také zajistit, aby byly všechny potřebné komponenty měřícího systému v dobrém stavu a bez jakýchkoliv závad. To zahrnovalo kontrolu těsnosti hadic, ventilů a filtrů, stejně jako ověření funkčnosti a správného připojení snímačů.

Během kalibračního měření byly monitorovány pouze 3 konkrétní hodnoty, které byly postupně nastavovány na pojistném bloku. Měřící program tedy fungoval v ručním režimu. Po dosažení každé z těchto hodnot byly hodnoty tlaku na čerpadle a řídicí aparatuře odečteny jak za pomoci měřícího programu, tak za manuálně. Pro minimalizaci chyby spojené s použitím různých snímačů bylo zajištěno, že odečítání hodnot tlaku probíhalo ze stejných snímačů. Každý snímač byl vybaven displejem, který zobrazoval aktuální hodnotu tlaku. Výsledky jsou zaznamenány v Tabulka 8-1:

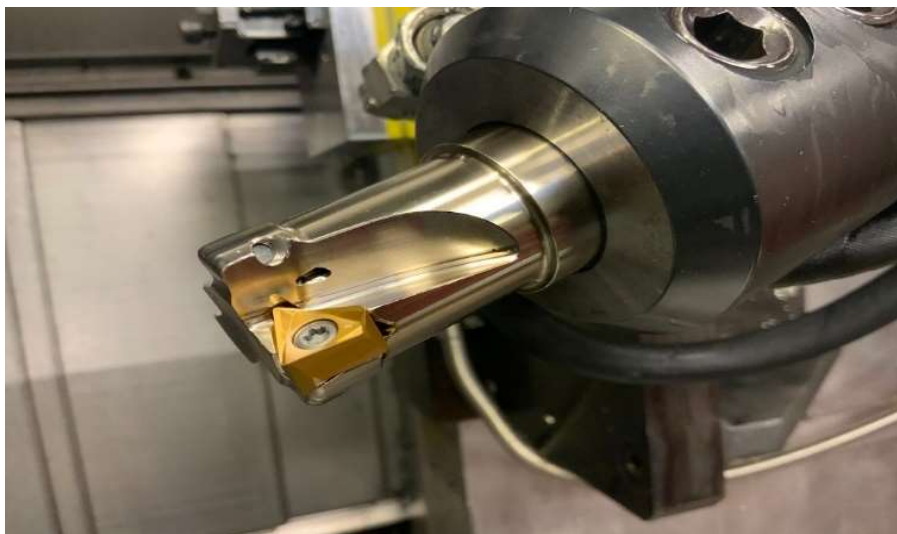
*Tabulka 8-1 Hodnoty získané během kalibračního měření*

	Odečítání hodnot ručně		Odečítání hodnot softwarově	
	Tlak Čerpadlo	Průtok aparatura	Tlak Čerpadlo	Průtok aparatura
1. Nastavení	29,9	10,2	30	10,4
2. Nastavení	60	13,8	60,1	13,9
3. Nastavení	90,1	18,6	89,9	18,5

Je možné vidět, že hodnoty, které zaznamenal software se s minimální odchylkou shodují s hodnotami odečítanými ručně. Toto měření ukázalo, že software navržený k měření dat funguje správně a je možné ho využít k měření hydraulických veličin chladících kanálků fréz.

## 8.2 První měření hydraulických veličin s novou aparaturou

Po úspěšném ověření funkčnosti aparatury bylo možné přistoupit k měření chladících kanálků fréz modifikovanou metodikou. Toto měření bylo provedeno za použití softwaru v automatickém režimu. Měřeny byly frézy PX3 (Obr. 8.1) a PX4 dodané firmou Dormet Pramet. Provedené měření bylo rozděleno do dvou fází s různými kroky zvyšování tlaku. Nejdříve bylo použito jemného kroku zvyšování tlaku o hodnotu 2 [bar], který se postupně zvyšoval až do dosažení hodnoty 20 [bar], která představovala mezní hodnotu v obvodu. Po překročení této hranice bylo zvoleno rychlejší zvyšování tlaku o hodnotu 5 [bar], a to až do dosažení maximálních hodnot čerpadla. Nastavování tlaku v obvodu bylo realizováno výhradně pomocí proporcionálního ventilu, přičemž redukční ventil byl zcela otevřen.

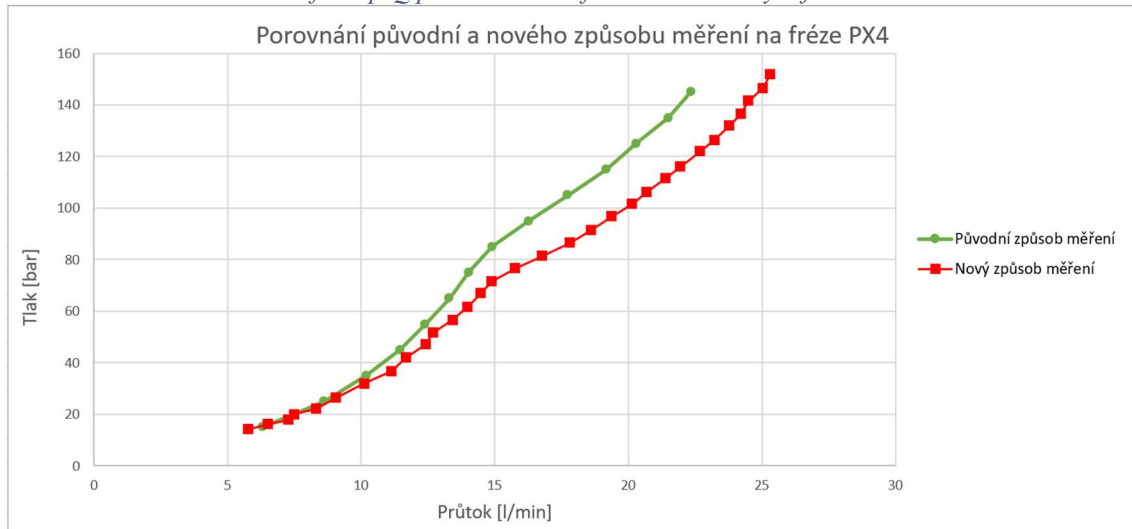


Obr. 8.1 Fréza PX3 uchycená v držáku nástrojů

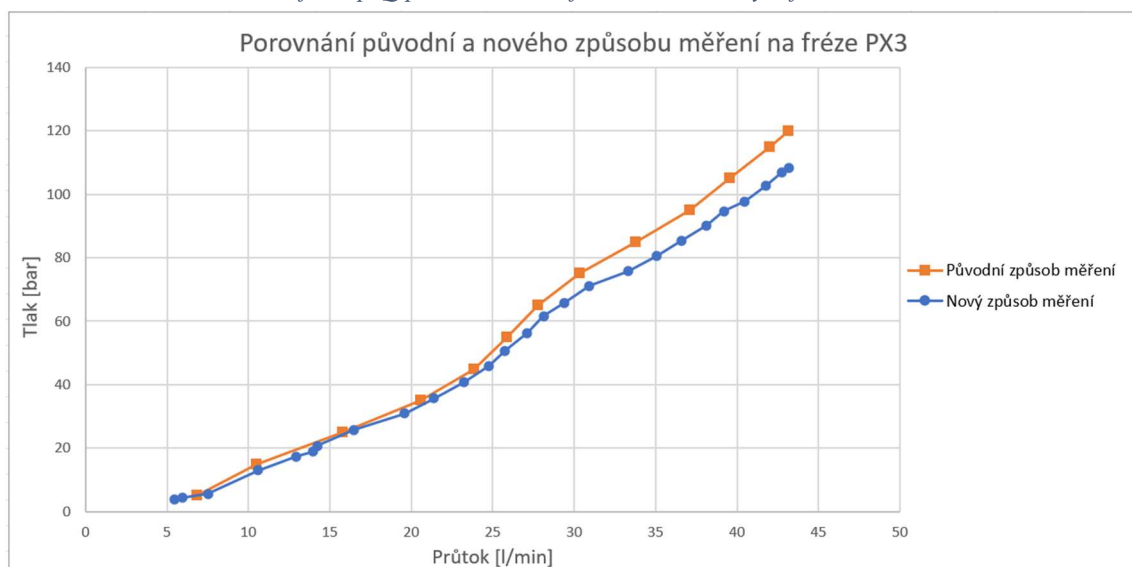
### 8.3 Výsledky a poznatky z prvního měření s novou aparaturou

Porovnání zprůměrovaných výsledků původní a modifikované metodiky je možné vidět v Graf 8-1 a Graf 8-2 :

*Graf 8-1 p-Q původní a modifikované metodiky – fréza PX4*



*Graf 8-2 p-Q původní a modifikované metodiky – fréza PX3*

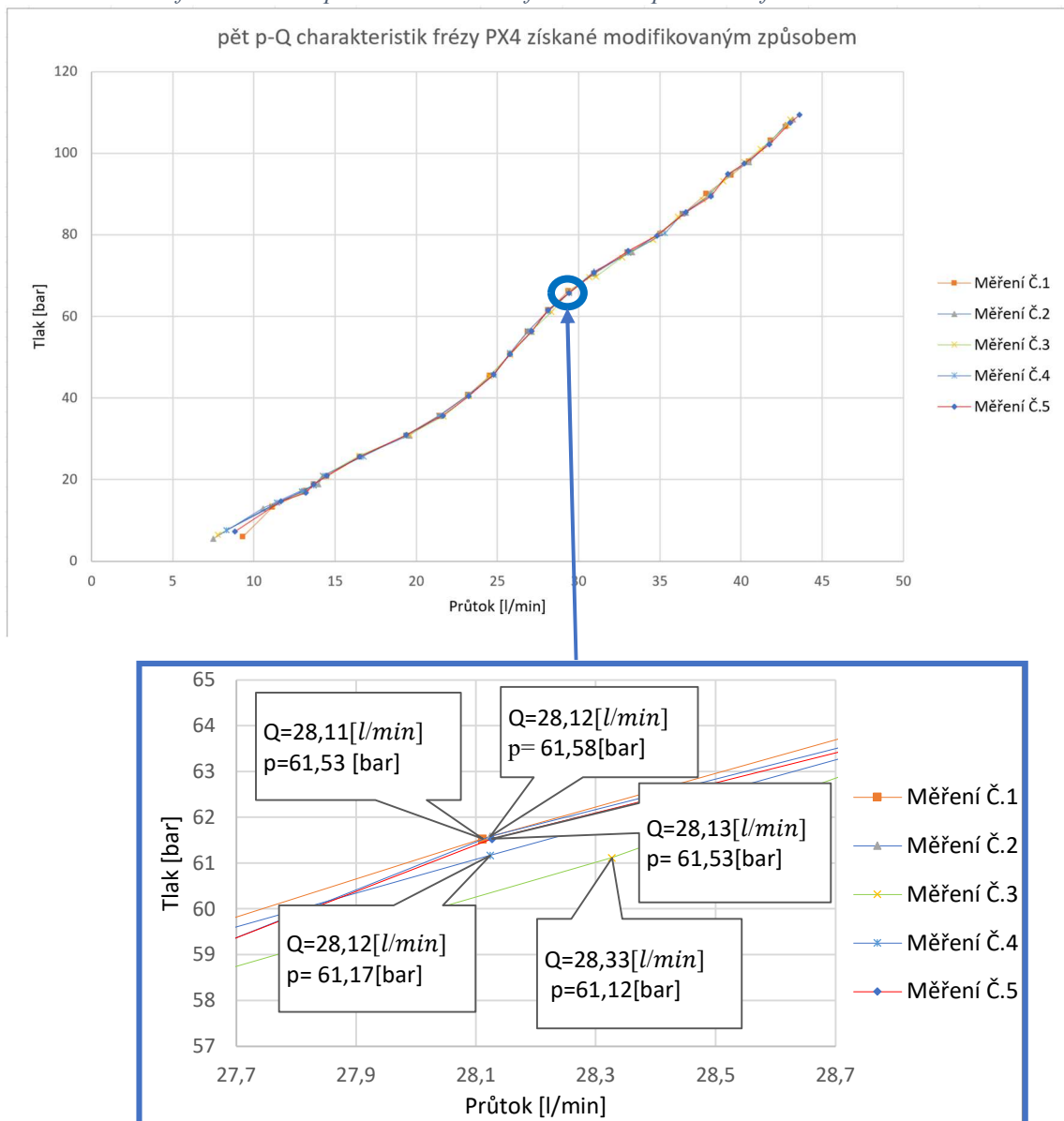


Po analýze grafů je zřejmé, že křivka modifikovaného způsobu měření vykazuje nižší tlak než způsob původní při vyšších průtocích u obou fréz. Pro objasnění této nesrovnalosti bylo pro kontrolu provedeno další kalibrační měření, které zahrnovalo postupné nastavování tlaku a následné odečítání hodnot jak ručně, tak softwarově,

podobně jako při předchozím kalibrační měření v kapitole 8.1. Během těchto experimentů byl obvod testován i jinými senzory stejného rozsahu s cílem odhalit případný defekt nebo nepřesnost senzoru. Po provedení všech těchto opatření byly zaznamenány malé odchylky (<1%), tudíž bylo usouzeno, že měřicí aparatura pracuje v pořádku.

Výsledky ukázaly, že měření s novou aparaturou poskytuje hodnoty s menším rozptylem tlaku:  $\sigma_p = 0,1$  [bar] a průtoku:  $\sigma_Q = 0,06$  [ $\frac{l}{min}$ ]. Oproti původnímu měření, kde byl rozptyl tlaku:  $\sigma_p = 1,157$  [bar] a průtoku  $\sigma_Q = 0,3$  [ $\frac{l}{min}$ ]. Ukázka opakovatelnosti modifikovanou metodikou je možná vidět na grafu 8-3:

Graf 8-3 Ukázka opakovatelnosti modifikovaného způsobu na fréze PX4 s detailem



Při použití modifikované metodiky pro měření hydraulických veličin je potřeba pouze jedna osoba, která je zodpovědná za zadání vstupních parametrů a případnou kontrolu procesu. Díky implementovanému softwaru do aparatury dochází ke značnému zkrácení celkového času měření. Průměrný čas měření se snížil o 80 procent na hodnotu přibližně 3 minuty na jeden cyklus měření. Tato redukce času je přímým výsledkem automatizace procesu, která eliminovala časově náročné ruční kroky, jako je odečítání dat ze snímačů a nastavování redukčního ventilu.

Díky správně nastavenému PID regulátoru na proporcionálním ventilu nedocházelo k odchylkám tlaku při vyšších hodnotách. Tato úprava umožnila udržovat stabilní tlakové podmínky v systému i při zvyšování tlaku. Jedním z identifikovaných nedostatků byla neschopnost proporcionálního ventilu správně nastavit tlak v rozmezí 0-8 [bar]. Tento jev je dán velkým rozsahem membránového ventilu ( $p=0-1800$  [bar]), který je konstruován pro regulaci větších tlaků.

Je důležité poznamenat, že během měření nebyl aplikován upravený držák s manometrem a nádrž s rozrážecím kuželem. Tyto vylepšení by mohli ještě více zlepšit přesnost měření a snížit riziko chyby.

## 9 Závěr

Tato práce se zaměřovala na analýzu původní metodiky měření hydraulických veličin chladicích kanálek fréz a její následné vylepšení. Nejdříve bylo nezbytné identifikovat všechny nedostatky, které původní měření mělo. Mezi ty nejzávažnější patřilo ruční odečítání dat ze snímačů, což značně zvyšovalo chybovost měření a celkové trvání. Dalším nedostatkem bylo ruční nastavování tlaku na pojistném bloku a redukčním ventilu umístěném na řídicí aparatuře.

Prvním krokem byla úprava hydraulického obvodu. Před tímto krokem bylo důležité provést důkladnou analýzu trhu s vysokotlakými agregáty, což pomohlo lépe porozumět požadavkům zákazníků a trendům v oboru. V tomto konkrétním případě bylo rozhodnuto, že současné plunžrové čerpadlo ve vysokotlakém agregátu plně vyhovuje daným kritériím. Tento závěr byl odvozen na základě srovnání současného čerpadla s ostatními vysokotlakými agregáty na trhu. Komponentem, který však vyžadoval modifikaci, byl pojistný blok.

Původní pojistný blok se skládal z membránového ventilu, který byl zařazen v obvodu, a z pneumatického redukčního ručně ovládaného ventilu, který řídil tlak na membráně hydraulického ventilu. Od pojistného bloku byla požadována možnost nastavovat tlak elektrickým signálem. K tomuto účelu byl vybrán proporcionální pneumatický ventil VPPI od firmy Festo.

Dalším vylepšením hydraulického obvodu bylo přidání digitálních manometrů pro elektronické zaznamenávání dat. Tento snímač byl přidán za čerpadlo, jelikož slouží jako zpětná vazba pro proporcionální ventil. Dále byl pro frézu navržen způsob měření hydraulických veličin a to za pomoci odměrné nádrže s kuželem a držáku nástroje s manometrem. U těchto zařízení se jednalo pouze o návrh a jejich realizace nebyla součástí této práce.

Po modifikaci vysokotlakého agregátu bylo nezbytné vyvinout způsob automatického měření a ukládání dat. Zde byla vytvořena přenosná měřicí aparatura, jejíž hlavní částí je sběrnice dat LabJack T4. Tato sběrnice dat sbírá signály ze snímačů a řídí proporcionální ventil. Kvůli bezdrátovému ovládní byla pořízena kombinace ethernetového modulu a Wifi AP. Celá měřicí aparatura je uložena v měřicím kufru z důvodu snadné přenositelnosti a ochrany.

Po sestavení měřicí aparatury byl následně vytvořen i měřicí program, který byl vytvořen v programovacím jazyku LabVIEW a sestává se ze dvou částí. Propojení mezi programem a hardwarem bylo zajištěno speciálním podprogramem od firmy LabJack. První část, konkrétně část měřicí, slouží převážně k práci se signály získané ze snímačů. Měření může probíhat v automatickém nebo v ručním režimu. V automatickém režimu se zadají pouze počáteční parametry a celé měření proběhne bez nutnosti lidského zásahu. Při použití ručního režimu se data ukládají na stisknutí tlačítka, kdy tlak na pojistném bloku taktéž nastavuje uživatel avšak pouze v programu. Druhá část programu je určena k řízení pneumatického ventilu. To je realizováno za pomoci PID regulace, při které je zpětná vazba pro regulátor brána ze snímače umístěného za čerpadlem.

Po provedení modifikace agregátu a vytvoření měřicí aparatury bylo provedeno kalibrační měření nového zařízení. Z tohoto měření vyvstal požadavek na zjemnění kroku při nižších hodnotách tlaku a program byl proto upraven. Poté bylo provedeno celé měření. Výsledná data ukázala, že hodnoty získané novou metodou se liší od výsledků získaných původní metodikou. Po provedení kontrolního měření nebyly zaznamenány výrazné odchylky (<1%). Stejných výsledků bylo stanoveno i po měření s jinými senzory. Těmito kroky byla ověřena funkčnost měřicí aparatury.

Výsledky modifikované metodiky ukazují, že se směrodatná odchylka tlaku snížila o 91 procent a průtoku o 80 procent. Celý proces se zkrátil o 80 procent na průměrný čas 3 minuty. Modifikovaná metodika tedy nabízí rychlejší a efektivnější měření tlaku a průtoku chladících kanálků s mnohem menší odchylkou než původní metodika.



## Seznamy

### Seznam použité literatury

- [1] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1.část* [online]. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění, 2003 [cit. 2022-07-03]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf). VUT v Brně.
- [2] BUMBÁLEK, Bohumil, Bohuslav OŠŤÁDAL a Emil ŠAFR. *Řezné kapaliny*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [3] KŘÍŽ, Petr. Syntetické obráběcí kapaliny pro budoucnost. *MM Spektrum* [online]. 2011, **2011**(7), 2 [cit. 2022-10-02]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/synteticke-obrabeci-kapaliny-pro-budoucnost>
- [4] *Blaser Swissslube* [online]. Švýcarsko: Blaser, 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://blaser.com/cs/>
- [5] BACH, Pavel. *Laboratorní cvičení z výrobních strojů*. 3. přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1990. ISBN 80-01-00264-0.
- [6] PROKEŠ, Josef. *Hydraulické mechanismy v automatizaci*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973. Automatizace a regulace.
- [7] BLÁHA, Jaroslav a Karel BRADA. *Hydraulické Stroje*. 1. vydání. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1992. ISBN 80-03-00665-1.
- [8] MELICHAR, Jan. *Hydraulické a pneumatické stroje: část čerpadla*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04383-7.
- [9] *What Are Piston and Plunger Pumps?* [online]. North Ridge House: North Ridge Pumps, 2019 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: [https://www.northridgepumps.com/article-87\\_what-are-piston-pumps](https://www.northridgepumps.com/article-87_what-are-piston-pumps)
- [10] OPLATEK, František. *Hydraulické mechanismy Výrobních strojů, servomechanika*. 1. vydání. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. ISBN 80-7200-204-X.

- [11] *HOFMEISTER s.r.o.* [online]. Plzeň: HOFMEISTER s.r.o., 2016 [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://www.hofmeister.cz/>
- [12] *PM-TECH s.r.o.* [online]. Praha 5: PM-TECH, 2006 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.pm-tech.cz>
- [13] *Star Micronics GB Ltd* [online]. Derby: Star Micronics, 2016 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://stargb.com/>
- [14] *LNS* [online]. Orvin: LNS, 2021 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://lns-europe.com/>
- [15] *Müller Hydraulik* [online]. Zimmern ob Rottweil: Müller Hydraulik, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://muellerhydraulik.de/en/>
- [16] *National Instrument* [online]. Austin: NI, 2023 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://www.ni.com/>
- [17] *LabJack* [online]. Schaumburg: LabJack, 2023 [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://labjack.com/>
- [18] HOFREITER, Milan. *Základy automatického řízení*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012. ISBN 978-80-01-05007-1.
- [19] *Kobold* [online]. Brno: Kobold, 2023 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.kobold.com/cs>
- [20] *FESTO* [online]. FESTO: FESTO, 2022 [cit. 2022-10-22]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/>
- [21] *Bosch Rexroth* [online]. Rexroth: Bosch, 2017 [cit. 2022-10-22]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com>
- [22] *Parker* [online]. Ohio: Parker, 2017 [cit. 2022-10-22]. Dostupné z: <https://www.parker.com>
- [23] *NORGREN* [online]. NORGREN: NORGREN, 2022 [cit. 2022-10-22]. Dostupné z: <https://www.norgren.com/cz/cs>
- [24] *ČSN ISO 4406: Hydraulické kapaliny - Kapaliny - Metoda kódování úrovně znečištění pevnými částicemi.*

## Seznam použitého softwaru

- Autodesk Inventor Professional 2024
- Notability
- Microsoft Office 365
- FESTO FluidSim 5
- NI LabVIEW 2021

## Seznam obrázků

Obr. 3.1 Vrták s vnitřním chlazením [1].....	17
Obr. 3.2 Digitální manometr Kobold LD [19] .....	19
Obr. 3.3 Digitální průtokoměr Kobold VKM [19].....	20
Obr. 4.1 Schéma vysokotlakého agregátu.....	21
Obr. 4.2 Řez plunžrovým čerpadlem [9].....	22
Obr. 4.3 Rozložení vybraných firem v Evropě .....	24
Obr. 4.4 VCH50/10/H [11] .....	26
Obr. 4.5 PM-HP 150 [12].....	26
Obr. 4.6 TS20-2000 [13].....	26
Obr. 4.7 V2-120 [14].....	26
Obr. 4.8 Combiloop CL4G [15].....	26
Obr. 5.1 Schéma původního hydraulického obvodu.....	27
Obr. 5.2 Ukázka netěsnosti v držáku nástroje ve stroji SP430 .....	29

Obr. 6.1 Schéma modifikovaného obvodu.....	30
Obr. 6.2 R6V03 [21] .....	31
Obr. 6.3 VPPI [20] .....	31
Obr. 6.4 VP23 [23].....	31
Obr. 6.5 DBEME [22].....	31
Obr. 6.6 Návrh měřicí nádrže s kuželem.....	32
Obr. 6.7 Návrhový model upraveného držáku nástroje .....	33
Obr. 6.8 Uchycení ventilu na DIN lištu [20].....	33
Obr. 7.1 LabJack T4 se zobrazenými vstupy a výstupy [17].....	36
Obr. 7.2 LabJack T4 s rozšiřující svorkovnicí CB15 [17].....	36
Obr. 7.3 Schéma zapojení měřicí aparatury .....	38
Obr. 7.4 Podprogramy pro načítání LabJack T4.....	39
Obr. 7.5 Blok automatického režimu .....	40
Obr. 7.6 Blok ručního ukládání.....	40
Obr. 7.7 Blok "Nastavení LabJacku" .....	41
Obr. 7.8 Načítání a průměrování dat.....	42
Obr. 7.9 Case Structure pro ruční ovládání.....	44
Obr. 7.10 Case Structure pro automatické ovládání .....	44
Obr. 7.11 event structure pro tvorbu grafů.....	45

Obr. 7.12 Příklad zobrazení grafů v měřicím programu .....	46
Obr. 7.13 Uživatelské rozhraní pro ovládání proporcionálního ventilu.....	48
Obr. 8.1 Fréza PX3 uchycená v držáku nástrojů.....	50

## Seznam tabulek

Tabulka 4-1 Parametry vybraných vysokotlakých agregátů.....	26
Tabulka 5-1 Komponenty v původním obvodu .....	28
Tabulka 6-1 Varianty modifikace pojistného bloku .....	31
Tabulka 7-1 Rozsah napětí na analogových vstupech [16].....	36
Tabulka 8-1 Hodnoty získané během kalibračního měření.....	49

## Seznam grafů

Graf 8-1 p-Q původní a modifikované metodiky – fréza PX4.....	51
Graf 8-2 p-Q původní a modifikované metodiky – fréza PX3.....	51
Graf 8-3 Ukázka opakovatelnosti modifikovaného způsobu na fréze PX4 s detailem .....	52

## Seznam Příloh

### Textové přílohy

- Příloha č.1: Datový list k manometrům LD od firmy Kobolt [18] .....P1
- Příloha č.2: Datový list k průtokoměrům VKM od firmy Kobold [18] .....P2
- Příloha č.3: Datový list řezné kapaliny Vasco 7000 [4].....P3
- Příloha č.4: Úroveň znečištění dle normy ISO 4406 [24] .....P8
- Příloha č.5: Parametry proporcionálního ventilu VPPI [19].....P8
- Příloha č.6: Uživatelské rozhraní v LabVIEW .....P11
- Příloha č.7: Ukázka dat v textovém a v excelovém souboru.....P12

### Výkresová dokumentace

- Koncepční návrh modifikace agregátu      BP0288-01-0001K

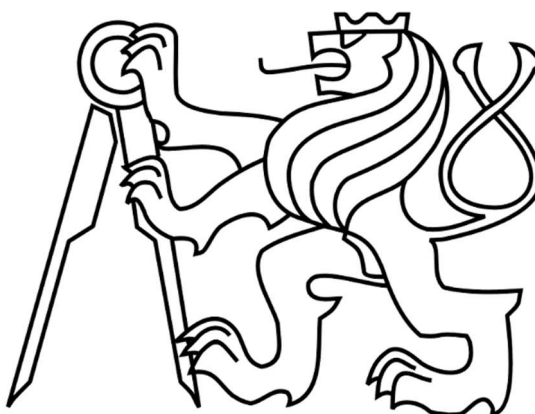
### Elektronické přílohy:

- Text závěrečné práce (.pdf)
- 3D CAD model agregátu (.stp)
- Výkres konceptního návrhu modifikace agregátu (.pdf)
- Měřicí program (.vi)

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Modifikace vysokotlakého agregátu pro řeznou kapalinu s návrhem měření  
hydraulických veličin

# TEXTOVÉ PŘÍLOHY

*David Šourek*

2023

BP0288

# Příloha č. 1

## Datový list k manometru LD3S6C4S od firmy Kobolt [19]

Digital Manometer with LCD Display Model MAN-SD/-LD


**Order Details** (Example: MAN-SD1S 5 AD 0)

Version	Power supply	Model	Mechanic connection*	Measuring range*	Electric connection
Standard	9 V battery	MAN-SD1S...	5 = G ¼ male 6 = G ½ male R = ¼" NPT male S = ½" NPT male	AD = -1...0 bar A1 = -1...+1.5 bar A2 = -1...+3 bar A3 = -1...+5 bar A4 = -1...+9 bar A5 = -1...+15 bar B1 = 0...+0.6 bar B2 = 0...+1 bar B3 = 0...+1.6 bar B4 = 0...+2.5 bar B5 = 0...+4 bar B6 = 0...+6 bar B7 = 0...+10 bar B8 = 0...+16 bar B9 = 0...+25 bar B0 = 0...+40 bar C1 = 0...+60 bar C2 = 0...+100 bar C3 = 0...+160 bar C4 = 0...+250 bar C5 = 0...+400 bar C6 = 0...+600 bar C7 = 0...+700 bar D7 = 0...+1000 bar D8 = 0...+1600 bar	0 = none
Relay output	9 V battery	MAN-SD2S..			S = connector M12x1 K = 0.5 m cable
Output 0-2 V	9 V battery	MAN-SD3S...			
Standard	24 V <sub>DC</sub>	MAN-LD1S...			S = connector M12x1
Relay output	24 V <sub>DC</sub>	MAN-LD2S...			
Output 4...20 mA	24 V <sub>DC</sub>	MAN-LD3S...			

\* Please specify other connections (¼ UNF for refrigeration technology, M16, etc.) and special measuring ranges in plain text. Measuring ranges starting at 1000 bar are primarily to be connected to the process with G ½ or M16x1.5 female.

**Order Details** (continued)

Automatic switch-off times	Other options (please specify in plain text)
without = continuous operation (standard except MAN-SD1) B = 4 minutes C = 8 minutes (standard MAN-SD1) D = 16 minutes E = 32 minutes F = 64 minutes	Display in mbar, PSI, hPa etc. conversion rate 1-10/s

**Accessories for round connector M12x1**

Electrical connection	Other options (please specify in plain text)
M12-box, screw terminals, 5-pole	ZUB-KAB-12D500
M12-box, 2 m cable, 4-pole	ZUB-KAB-12K002
M12-box, 5 m cable, 4-pole	ZUB-KAB-12K005
M12-box, Quick-on, 4-pole	ZUB-KAB-12Q000



## Příloha č. 2

### Datový list k průtokoměru VKM-8210-C4PR20R od firmy Kobold [19]

Viscosity-compensated flowmeter with compact electronics model: VKM-8...

Measuring range l/min oil approx.	Pressure loss $\Delta P$ [bar] at rated flow*		Brass	Stainless steel	Output	Connection		Flow direction
	min.	max.						
0.01...0.063**	0.02	1.0	VKM-8101...	VKM-8201...	..C0R.. = compact electronic 24 V <sub>DC</sub> , 2 x PNP ..C0M.. = compact electronic 24 V <sub>DC</sub> , 2 x NPN ..C4P.. = compact electronic 24 V <sub>DC</sub> , 4-20 mA, 1 x PNP ..C4N.. = compact electronic 24 V <sub>DC</sub> , 4-20 mA, 1 x NPN	..R08 = G ¼	..N08 = ¼ NPT	B = from bottom T = from top L = from left R = from right
0.1...0.4	0.03	0.8	VKM-8102...	VKM-8202...		..R08 = G ¼	..N08 = ¼ NPT	
0.2...1.1	0.05	1.1	VKM-8103...	VKM-8203...		..R15 = G ½	..N15 = ½ NPT	
0.5...1.8	0.07	1.2	VKM-8104...	VKM-8204...		..R15 = G ½	..N15 = ½ NPT	
0.8...3.1	0.05	0.9	VKM-8105...	VKM-8205...		..R20 = G ¾	..N20 = ¾ NPT	
3...8.1	0.05	0.8	VKM-8106...	VKM-8206...		..R20 = G ¾	..N20 = ¾ NPT	
4...12.6	0.08	1.1	VKM-8107...	VKM-8207...		..R25 = G 1	..N25 = 1 NPT	
5...18	0.05	1.1	VKM-8108...	VKM-8208...		..R25 = G 1	..N25 = 1 NPT	
4...36	0.1	0.4	VKM-8109...	VKM-8209...				
5...50	0.15	1.1	VKM-8110...	VKM-8210...				
7...63	0.15	1.1	VKM-8111...	VKM-8211...				
8...72	0.15	1.1	VKM-8112...	VKM-8212...				

\* Pressure loss refers to water

\*\* Viscosity range 70...400 mm<sup>2</sup>/s

## Příloha č. 3

### Datový list řezné kapaliny Vasco 7000 [4]

Datum vydání: 16.06.2015 Datum revize: 30.6.2019 Originální list Blaser: 18.3.2019	<b>BEZPEČNOSTNÍ LIST</b> podle č. 1907/2006 ES článek 31 a nařízení Komise EU č. 830/2015. <b>Vasco 7000 Art. 02870-01</b> Verze 3.6.	<b>Blaser.</b> SWISSLUBE
---	---	-----------------------------


1z7

**ODDÍL 1: Identifikace látky/směsi a společnosti/podniku:**

1.1. Identifikátor výrobku: Vasco 7000 Art. 02870-01  
1.2. Příslušná určená použití směsi a nedoporučená použití: Chladicí a mazací řezná, vodou ředitelná emulzní kapalina na rostlinné bázi. Používat pouze k danému účelu.  
1.3. Podrobné údaje o dodavateli bezpečnostního listu:  
Obchodní jméno: Blaser Swissslube CZ, s. r. o. – výhradní dovozce produktu do ČR.  
Místo podnikání: Jihlavská 2, 664 41 Troubsko  
Telefon: 541 225 211  
Fax: 541 225 199  
E-mail: brno@blaser.com  
Odborně způsobilý zpracovatel bezpečnostního listu:  
Obchodní jméno: Petr Čermák TRIBOTECHNIKA  
Telefon: 545 227 509  
E-mail: pcermak2008@volny.cz  
1.4. Telefonní číslo pro naléhavé situace: 224 919 293, 224 915 402, 224 914 575  
Toxikologické informační středisko Praha  
(24 hodin denně)

**ODDÍL 2: Identifikace nebezpečnosti:**

2.1. Klasifikace směsi:  
Klasifikace dle Nařízení ES č. 1272/2008:  
Skin Irrit. kat. 2 H315, Eye Irrit kat. 2 H319, Aquatic Chronic kat. 3 H412



2.2. Prvky označení:  
Signální slovo: Varování  
Standardní věty o nebezpečnosti:  
H315 – Dráždí kůži  
H319 – Způsobuje vážné podráždění očí  
H412 – Škodlivý pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky pro vodní organismy  
Pokyny pro bezpečné zacházení  
P280 – Používejte ochranné rukavice/ochranný oděv/ochranné brýle/obličejový štít  
P273 – Zabraňte uvolnění do životního prostředí  
P332+P313 – Při podráždění kůže: Vyhleďte lékařskou pomoc/ošetření.  
P362+P364 – Kontaminovaný oděv svlékněte a před opětovným použitím ho vyperte.  
P305+P351+P338 – PŘI ZASAŽENÍ OČÍ: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování  
P337+P313 – Při podráždění kůže nebo vyrážce: Vyhleďte lékařskou pomoc/ošetření  
P501 Odstraňte obal odevzdáním na sběrné místo odpadů

2.3. Další nebezpečnost:  
Není uvedena.  
Směs neobsahuje žádné chemické látky perzistentní, se schopností bioakumulace, ani toxické PBT, nebo považované za velmi perzistentní, ani velmi schopné bioakumulace vPvB.

**ODDÍL 3: Složení/informace o složkách**

3.2. Směs: Směs syntetického esterového oleje, emulgátorů a inhibitorů.  
3.3.



Datum vydání: 16.06.2015 Datum revize: 30.6.2019 Originální list Blaser: 18.3.2019		<b>BEZPEČNOSTNÍ LIST</b> podle č. 1907/2006 ES článku 31 a nařízení Komise EU č. 830/2015. <b>Vasco 7000 Art. 02870-01</b> Verze 3.6.		<b>Blaser.</b> SWISSLUBE	
2z7					
Směs obsahuje tyto nebezpečné látky:					
Chemický název dle IUPAC Indexová čísla nejsou	Obsah%	Výstražný symbol GHS	H-věty	Číslo ES	Číslo CAS
Karboxylová kyselina neutralizovaná alkanolaminem	> 20 < 30	GHS07 Varování - -	Acute Tox.4 H312 Aquatic Chronic 3 H412	nemá	nemá
Ester kyseliny fosfodithiové s alkanolaminem	>1-4,9	GHS09 - GHS07 Varování GHS07 Varování	Aquatic Chronic2 H411 Skin Irrit. 2 H315 Eye Irrit. 2 H319	nemá	nemá
Karbonová kyselina s neutrálním alkanolaminem	> 5-15	GHS07 Varování GHS07 Varování	Skin Irrit. 2 H315 Eye Irrit.2 H319	nemá	nemá
Alkanolamin neutralizovaný	>1-4,9		STOT RE 2 H373 Acute Tox.4 H302 Skin Irrit.2 H315 Eye Irrit.2 H319	nemá	nemá
Karbonová kyselina směs s alkanolaminem	< 1-4,9	GHS07 Varování GHS07 Varování GHS07 Varování	Acute Tox.4 H302 Skin Irrit. 2 H315 Eye Irrit. 2 H319	nemá	nemá
Sodná sůl 2-mercaptopyridine-n-oxid, monohydrát Biocid TP13	< 0,1	GHS09 Varování GHS09 Varování GHS07 Varování GHS07 Varování GHS07 Varování GHS07 Varování GHS07 Varování GHS07 Varování	Aquatic Acute.1 H400(M=100) Aquatic Chronic.1 H410(M=10) Acute Tox.4 H302 Acute Tox.4 H312 Acute Tox.4 H332 Skin Irrit.2 H315 Eye Irrit.2 H319	223-296-5	3811-73-2
2-Butyl-benzo(d)isothiazol-3-on Biocid TP 13	< 0,1	GHS07 Nebezpečí GHS07 Nebezpečí GHS09 GHS05 Nebezpečí Varování GHS09	Skin Corr.1B H314 Skin Sens.1 H317 Eye Dam.1 H318 Aquatic Acute 1 H400(M=10) Aquatic Chronic 1	ELINCS 420-590-7	4299-07-4



Datum vydání: 16.06.2015 Datum revize: 30.6.2019 Originální list Blaser: 18.3.2019	<b>BEZPEČNOSTNÍ LIST</b> podle č. 1907/2006 ES článek 31 a nařízení Komise EU č. 830/2015. <b>Vasco 7000 Art. 02870-01</b> Verze 3.6.	<b>Blaser.</b> SWISSLUBE	
	<b>Varování</b>	<b>H410/M=1</b>	

3z7

**ODDÍL 4: Pokyny pro první pomoc:**

4.1. Popis první pomoci  
Provést opatření dle kap. 4.3.

4.2. Nejdůležitější akutní a opožděné symptomy a účinky:  
Způsobuje vážné podráždění očí a dráždění kůže.

4.3. Pokyn týkající se okamžité lékařské pomoci a zvláštního ošetření:  
Při nadýchání:  
Vyvést postiženého na čerstvý vzduch. V případě trvajících obtíží přivolat lékaře.  
Při styku s kůží:  
Omýt vodou a jemným mýdlem, ošetřit ochranným krémem. V případě potíží vyhledat lékařskou pomoc.  
Při zasažení očí:  
Vyplachovat několik minut proudem vody a vyhledat lékařskou pomoc.  
Při požití:  
Nevyvolávat zvracení a přivolat lékaře.

**ODDÍL 5: Opatření pro hašení požáru:**  
Směs je hořlavou kapalinou IV. třídy dle ČSN 65 0201.

5.1. Hasiva:  
CO<sub>2</sub>, vodní paprsek, hasící prášek.  
Nevhodná hasiva:  
Přímý proud vody.

5.2. Zvláštní nebezpečí vyplývající z látky, nebo směsi:  
Možnost vzniku toxických plynů při požáru.

5.3. Pokyny pro hasiče:  
Dýchací přístroj nezávislý na okolním prostředí.

**ODDÍL 6: Opatření v případě náhodného úniku:**

6.1. Opatření na ochranu osob, ochranné prostředky a nouzové postupy:  
Zajistit běžné pracovní pomůcky a pracovní oděv pro práci s ropnými látkami.

6.2. Opatření pro ochranu životního prostředí:  
Zabránit úniku do povrchových, podzemních vod a okolní půdy.

6.3. Metody a materiál pro zamezení úniku a čištění:  
Odstranit pomocí vhodného sorbentu, uložit do vhodných obalů a likvidovat dle kap. 8 a kap. 13.

6.4. Odkaz na jiné oddíly:  
Odpad likvidovat dle kap. 13. Další informace v kap. 7 a 8.

**ODDÍL 7: Zacházení a skladování:**

7.1. Opatření pro bezpečné zacházení:  
Zachovávat provozní předpisy pro práci s ropnými látkami. V případě tvorby aerosolů zajistěte odsávání.  
Používejte pracovní oděv a pomůcky pro práci s ropnými látkami. Při manipulaci se směsí nekouřte, nejíst, nepít. Pokožku, přicházející do přímého styku se směsí ošetřete ochranným krémem. Zamezte vniknutí směsi do očí. Zamezte úniku směsi do odpadních vod a kanalizace.

7.2. Podmínky pro bezpečné skladování látek a směsí včetně neslučitelných látek a směsí:  
Skladujte v prostorách dle ČSN 65 0201. Skladujte v originálních uzavřených obalech. Zabraňte vystavení obalů se směsí přímému slunečnímu záření. Skladovací teplota 0 °C až + 40 °C. Expirační doba použití je 24 měsíců.  
Neskladujte společně s oxidujícími látkami a s kyselinami.

7.3. Specifické konečné/ specifická konečná použití:  
Pouze k danému účelu dle technických informací dovozce.

**ODDÍL 8: Omezování expozice směsí / osobní ochranné prostředky/:**

8.1. Kontrolní parametry:  
Dle Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. nejsou dány. Doporučená hodnota NPK-P: 10 mg/m<sup>3</sup>.

8.2. Omezování expozice:



Datum vydání: 16.06.2015 Datum revize: 30.6.2019 Originální list Blaser: 18.3.2019	<b>BEZPEČNOSTNÍ LIST</b> podle č. 1907/2006 ES článek 31 a nařízení Komise EU č. 830/2015. <b>Vasco 7000 Art. 02870-01</b> Verze 3.6.	<b>Blaser.</b> SWISSLUBE
---	---	-----------------------------

4z7

Zajistit technická opatření k účinnému odsávání, měření NPK-P a nepřekročení limitních hodnot expozice.  
Ochrana dýchacích cest:  
Není nutná, v případě nepřekročení přípustných expozičních limitů.  
Ochrana rukou:  
Při práci se směsí používejte ochranné rukavice odolné proti ropným látkám. Před prací se směsí ošetřete ruce pracovním ochranným krémem.  
Ochrana očí:  
V případě rozstřiku používejte ochranné uzavřené brýle nebo obličejový štít.  
Ochrana kůže:  
Používejte vhodný pracovní oděv a uzavřenou obuv, případně gumovou zástěru.  
V každém případě zabraňte požití směsi.  
Zamezte úniku do kanalizace a mimo pracovní prostor strojů, nebo zařízení. V případě odsávání použijte v systému účinný odlučovač olejové mlhy.

#### **ODDÍL 9: Fyzikální a chemické vlastnosti:**

##### 9.1. Informace o základních fyzikálních a chemických vlastnostech:

Skupenství (při 20°C): kapalina  
Barva: světlehnědá  
Zápach (vůně): specifická  
Hodnota pH: 8,8 – 9,5 při 50 g na litr vody  
Bod varu (°C): > 250  
Bod vzplanutí (°C): 134  
Třída nebezpečnosti dle ČSN 65 0201: IV.  
Hořlavost (pro pevné a plynné látky): nestanovuje se  
Meze výbušnosti - horní mez (% obj.): nestanoven  
dolní mez (% obj.): nestanoven  
Samozápalnost: není  
Oxidační vlastnosti: nejsou  
Tenze par (při 20°C): neuvедena  
Hustota (při 20°C): 0,98 g/cm<sup>3</sup>  
Rozpustnost (při 20°C)  
ve vodě: emulguje  
v tucích: nerozpustná  
Rozdělovací koeficient n/oktanol/voda: není stanoven  
Viskozita při 40 °C : 72 mm<sup>2</sup>/s  
Hustota par: nestanovena  
Rychlost odpařování: nestanovena

##### 9.2. Další informace: Směs neobsahuje minerální olej

Index lomu: 1,431  
Mísitelnost: s vodou emulguje  
Vodivost: nestanovena  
Bod tání: není  
Teplota vznícení: neuvедena  
Bod tuhnutí: < 0 ° C

#### **ODDÍL 10: Stálost a reaktivita:**

##### 10.1. Reaktivita:

Směs reaguje se silnými oxidanty a kyselinami.

##### 10.2. Chemická stabilita:

Směs je za běžných podmínek stabilní.

##### 10.3. Možnost nebezpečných reakcí.

Se silnými oxidujícími látkami a kyselinami.

##### 10.4. Podmínky, kterým je třeba zabránit:

Zamezte vystavení směsi v obalech přímému slunečnímu ohřevu a kontaktu se silnými oxidanty a kyselinami.

##### 10.5. Neslučitelné materiály:

Oxidující látky a směsi a kyseliny.



Datum vydání: 16.06.2015 Datum revize: 30.6.2019 Originální list Blaser: 18.3.2019	<b>BEZPEČNOSTNÍ LIST</b> podle č. 1907/2006 ES čl. 31 a nařízení Komise EU č. 830/2015. <b>Vasco 7000 Art. 02870-01</b> Verze 3.6.	<b>Blaser.</b> SWISSLUBE
---	--	-----------------------------

5z7

10.6. Nebezpečné produkty rozkladu:  
Vznikají oxidy uhlíku, dusíku a sloučeniny fosforu.

#### ODDÍL 11: Toxikologické informace:

##### 11.1. Informace o toxikologických účincích:

- a.) Akutní krátkodobá toxicita):  
LD 50 orálně, potkan (mg/kg): > 2 000 - < 5 000 (stanoveno výpočtem)  
LD 50 dermálně, potkan nebo králík (mg/kg): neuváděna  
LD 50 inhalačně, potkan pro aerosoly nebo částice (mg/m<sup>3</sup>): > 5 100/4 hod. (stanoveno výpočtem)  
ATE LD 50 orálně 16 949 mg/kg  
LD50 dermálně 4 021 mg/kg  
Ester kyseliny fosforečné s alkanolaminem LD 50 orálně 8 928 mg/kg  
LD 50 dermálně 7 877 mg/kg  
Alkanolamin: LD 50 orálně: > 2 000 mg/kg potkan
- b.) Žíravost/dráždivost pro kůži: Dráždí kůži.  
c.) Vážné poškození/podráždění očí: Způsobuje vážné podráždění očí  
d.) Senzibilizace dýchacích cest/ kůže: Nesplňuje kritéria pro tuto klasifikaci.  
e.) Mutagenita v zárodečných buňkách: Nesplňuje kritéria pro tuto klasifikaci.  
f.) Karcinogenita: Nesplňuje kritéria pro tuto klasifikaci. Výluh v DMSO < 3%.  
g.) Toxicita pro reprodukci: Nesplňuje kritéria pro tuto klasifikaci.  
h.) Shrnutí posouzení CMR: Nesplňuje kritéria pro tuto klasifikaci.  
i.) Toxicita pro specifické cílové orgány/ jednorázová expozice: Způsobuje vážné podráždění očí a kůže.  
j.) Toxicita pro specifické cílové orgány/ opakovaná expozice: Způsobuje vážné podráždění očí a kůže.  
k.) Nebezpečnost při vdechnutí: Nesplňuje kritéria pro tuto klasifikaci.  
l.) Zkušební u člověka: Může způsobit vážné podráždění očí a dráždění kůže.  
m.) Provedení zkoušek na zvířatech: neprovedeno

#### ODDÍL 12: Ekologické informace:

##### 12.1. Toxicita:

LC 50 96 hod. ryby (mg/l): neuváděna  
LC 50 46 hod. dafnie (mg/l): neuváděna  
EC 50 72 hod. řasy (mg/l): neuváděna  
CSB – Wert test 1 620 mgO<sub>2</sub>/mg  
BSB – Wert test 0,23 mgO<sub>2</sub>/mg

##### 12.2. Perzistence a rozložitelnost:

Informace nejsou k dispozici. Test biologické rozložitelnosti nebyl proveden.

##### 12.3. Bioakumulační potenciál:

Informace nejsou k dispozici.

##### 12.4. Mobilita v půdě.

Informace nejsou k dispozici.

##### 12.5. Výsledky posouzení PBT a vPvB.

Neobsahuje látky s uvedenými účinky.

##### 12.6. Jiné nepříznivé účinky:

Škodlivá pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky.

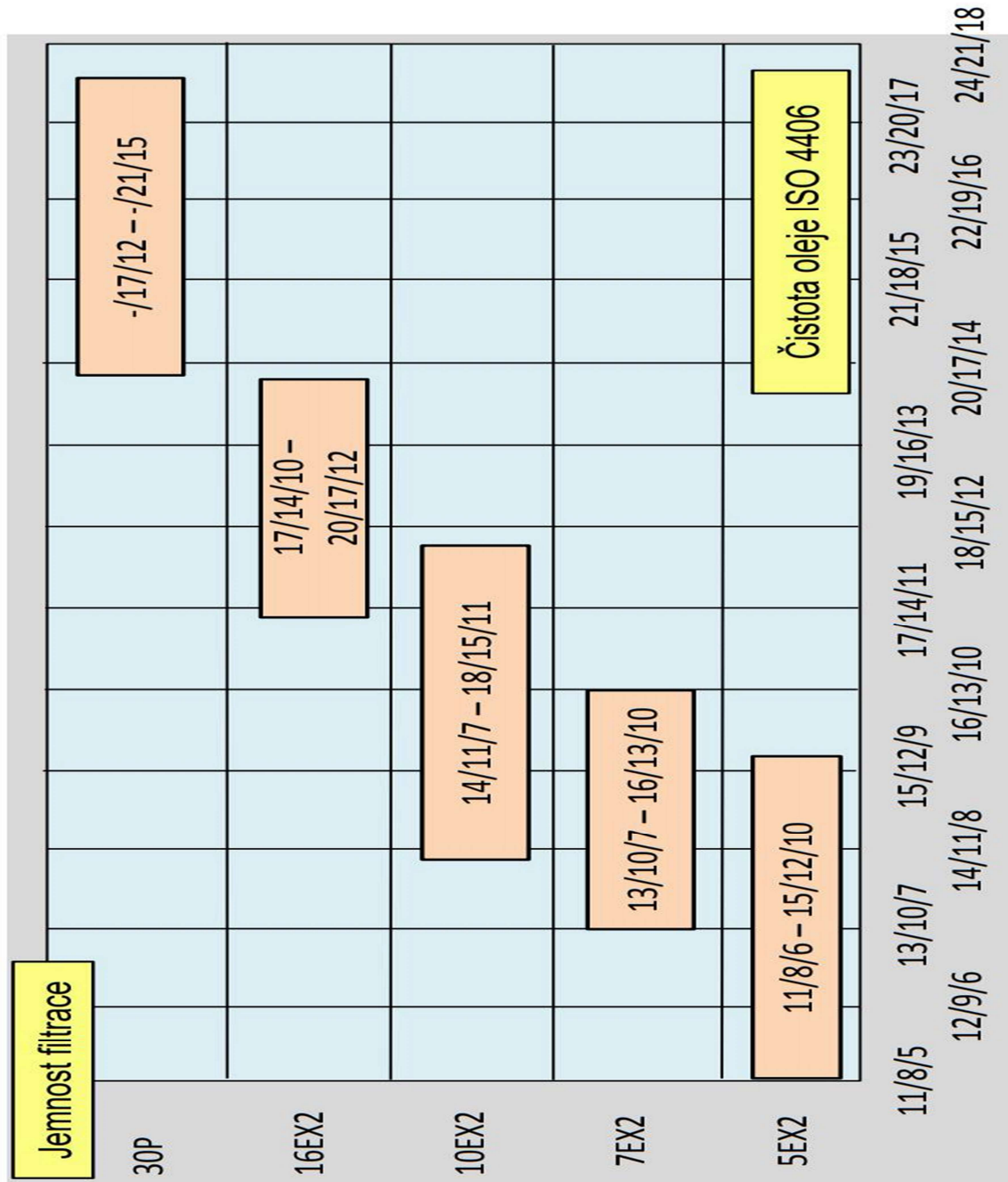
#### ODDÍL 13: Pokyny pro odstraňování:

##### 13.1. Metody nakládání s odpady:

V případě rozlité směsi postupovat dle bodu 6.3.  
Směs likvidovat dle zákona o odpadech č. 185 / 2001  
Směs likvidovat dle zákona o odpadech č. 185 / 2001 Sb.  
Kód odpadu dle vyhlášky č.381/2001 Sb.:  
N 12 01 10, N 12 01 09  
Použité obaly recyklovat dle zákona o obalech č.66/2006 Sb.  
Kód odpadu:

## Příloha č. 4

Úroveň znečištění dle normy ISO 4406 [24]

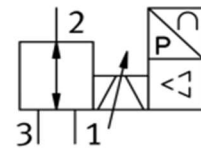


## Příloha č. 5

### Parametry proporcionálního ventilu VPPI [20]

**Proporcionální redukční ventil  
VPPI-5L-3-G18-0L10H-V1-S1**

Číslo dílu: 8104668

**FESTO**


#### Technické údaje

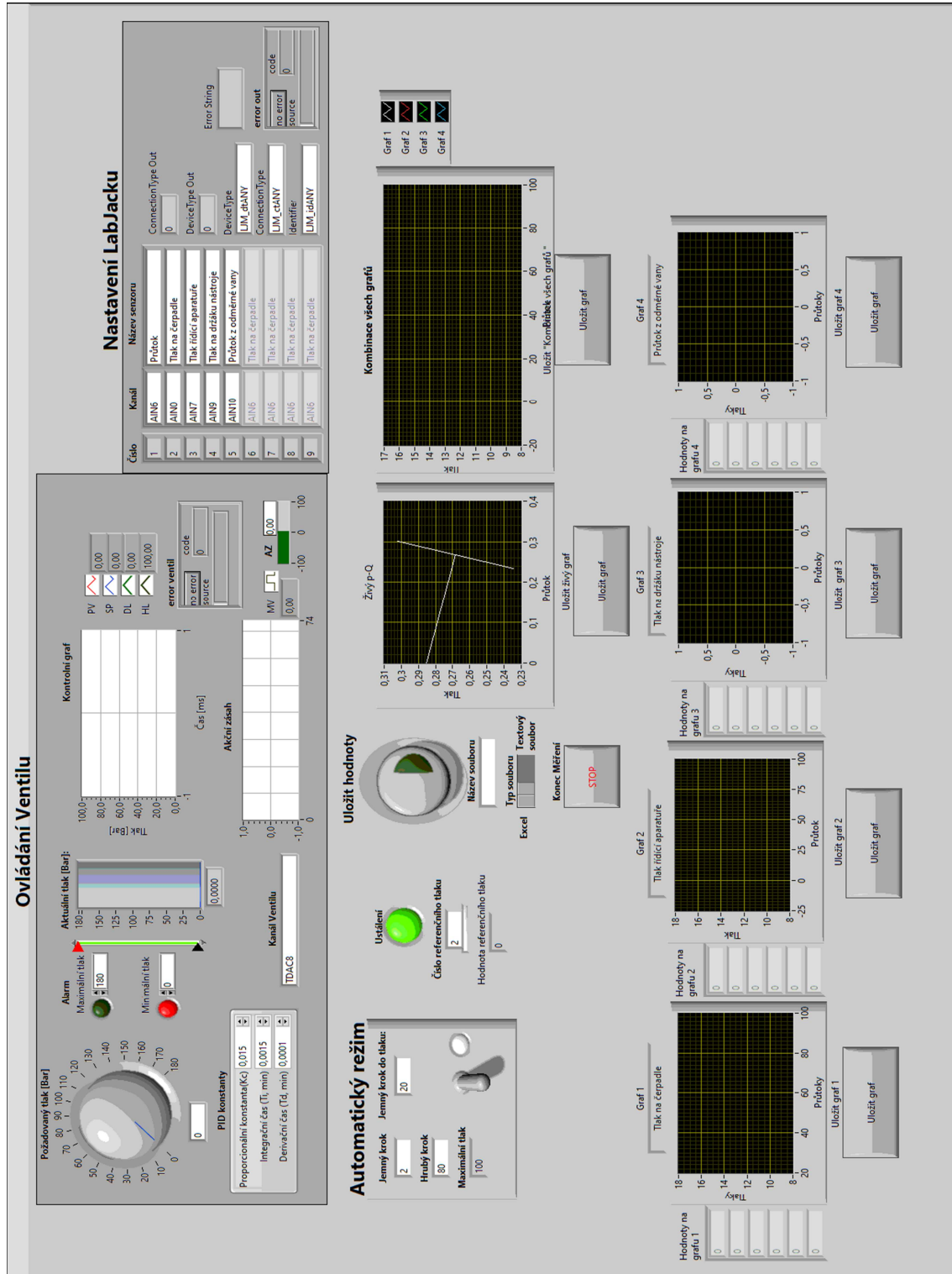
Parametr	Hodnota
Jmenovitá světlost přívodu tlaku	5 mm
Jmenovitá světlost odvětrání	5 mm
Druh ovládání	elektrick.
Princip těsnění	měkké
Celkový únik	5 l/h
Směr proudění	není reverzibilní
Montážní poloha	libovoln.
Konstrukce	Sedlový ventil s vratnou pružinou
Odolnost zkratu	pro všechna elektrická připojení
Max. délka vedení	30 m
Zadání požadované hodnoty	0 - 10 V PWM
Vstupní odpor	100 kOhm
Bezpečnostní upozornění	Bezpečnostní poloha VPPI, v klidu uzavřeno
Symbol	00997299
Ochrana proti přepólování	pro všechny elektrické připojky
Způsob návratu do základní polohy	mechanická pružina
Rozměry Š x D x V	42,2 mm x 95,3 mm x 94,3 mm
Způsob řízení	přím.
Funkce ventilu	třicestný proporcionální redukční ventil
Způsob indikace	LED
Provozní tlak	10 bar ... 12 bar
Rozsah regulace tlaku, MPa	0 MPa ... 1 MPa
Rozsah regulace tlaku	0 bar ... 10 bar
Vstupní tlak 1	0 bar ... 13 bar
Vstupní tlak 1 MPa	0 MPa ... 1.3 MPa
Tlak na roztržení	40 bar
Normální jmenovitý průtok	1400 l/min
Normální jmenovitý průtok 2-3	750 l/min
Rozsah provozního napětí, DC	21.6 V ... 27.6 V
Jmenovitý proud	0.15 A
Max. proudový příkon	525 mA
Max. elektrický příkon	14.5 W
Jmenovité provozní napětí DC	24 V
Rozsah signálu, analogový výstup	0 - 10 V



Parametr	Hodnota
Min. zatěžovací odpor, napěťový výstup	2 kOhm
Přesnost analogového výstupu v $\pm$ % FS	1 %FS
Provozní médium	stlačený vzduch podle ISO 8573-1:2010 [7:4:4] netečné plyny
Upozornění k provoznímu/třídícímu médiu	provoz s přimazáváním není možný
Certifikát	RCM Mark
Značka KC	KC-EMC
Značka CE (viz prohlášení o shodě)	podle směrnice EU-EMV podle směrnice EU-RoHS
Značka UKCA (viz prohlášení o shodě)	podle předpisů UK pro EMC podle předpisů UK RoHS
Odolnost vibracím	test použití v dopravě, stupeň 2, podle FN 942017-4 a EN 60068-2-6
Odolnost nárazům	zkouška odolnosti nárazům, stupeň 2 podle normy FN942017-5 a EN 60068-2-27
Třída odolnosti korozi KBK	2 - mírné nároky na odolnost korozi
Shoda s LABS	VDMA24364-B1/B2-L
Vhodnost pro použití v potravinářství	viz rozšířené informace o materiálu
Teplota média	0 °C ... 50 °C
Stupeň krytí	IP65
Okolní teplota	0 °C ... 50 °C
Skladovací teplota	-20 °C ... 70 °C
Klimatická třída	3K3 dle EN 60721
Jmenovitá nadmořská výška použití	< 3000 m NHN
Upozornění k použití	Výrobek je vhodný výhradně pro průmyslové účely. V obytné zóně musejí být případně provedena opatření pro odrušení.
Hladina akustického výkonu	62.5 dB(A)
Hladina akustického výkonu ve vzdálenosti 1 m	51.9 dB(A)
Hmotnost výrobku	365 g
Linearita	0.9 %FS
Hystereze	0.4 %FS
Opakovatelnost	0.4 %FS
Celková přesnost	1,1 % FS
Teplotní součinitel	0.02 %/K
Elektrické připojení 1, funkce	Výstup skutečné hodnoty Vstup požadované hodnoty napájení
Elektrické připojení 1, druh připojení	konektor
Elektrické připojení 1, připojovací technika	M12x1, kódování A podle EN 61076-2-101
Elektrické připojení 1, počet pinů/vodičů	5
Elektrické připojení 1, schéma zapojení	00994083
Elektrické připojení 1, utahovací moment	1.5 Nm
Způsob upevnění	s průchozí dírou pro šroub M4 montážní lištou
Připojení pneumatiky 1	G1/8
Pneumatické připojení 2	G 1/8
Pneumatické připojení 3	G1/8
Max. utahovací moment šroubení	8.5 Nm
Upozornění k materiálu	v souladu s RoHS
Materiál tělesa	zesílený PA
Materiál těsnění	HNBR PTFE

# Příloha č. 6

## Uživatelské rozhraní v LabVIEW



**Ovládání Ventilu**

Alarm: Maximální tlak 180, Minimální tlak 0

Požadovaný tlak [Bar]: 0

Ustálení: Číslo referenčního tlaku 2, Hodnota referenčního tlaku 0

**Automatický režim**

Jemný krok 20, Hrubý krok 80, Maximální tlak 100

**Nastavení LabJacku**

Číslo	Kanal	Název senzoru	Průtok	Tlak na čerpadle	Tlak na řídicí aparatuře	Tlak na držáku nástroje	Průtok z odměrné vany	Tlak na čerpadle	Tlak na čerpadle	Tlak na čerpadle
1	AIN6									
2	AIN0									
3	AIN7									
4	AIN9									
5	AIN10									
6	AIN6									
7	AIN6									
8	AIN6									
9	AIN6									

Connection Type Out: 0, Device Type Out: 0, Device Type: LIM\_dANY, Connection Type: LIM\_ctANY, Identifier: LIM\_idANY

**Kombinace všech grafů**

Uložení: Graf 1, Graf 2, Graf 3, Graf 4

**Uložení hodnoty**

Uložení: Graf 1, Graf 2, Graf 3, Graf 4

**Uložení grafů**

Uložení: Graf 1, Graf 2, Graf 3, Graf 4



## Příloha č. 7

### Ukázka dat v textovém a v excelovém

Čas	Průtok	Tlak na čerpadle	Tlak řídicí aparatura
3766749891	7,507	5,532	4,418
3766749901	10,588	13,016	11,902
3766749911	12,938	17,355	16,241
3766749921	13,953	18,914	17,8
3766749931	14,228	20,759	19,645
3766749941	16,496	25,697	24,583
3766749951	19,583	30,868	29,754
3766749961	21,403	35,675	34,561
3766749971	23,227	40,69	39,576
3766749981	24,759	45,888	44,774
3766749991	25,757	50,747	49,633
3766750001	27,109	56,282	55,168
3766750011	28,124	61,583	60,469
3766750021	29,407	65,845	64,731
3766750031	30,942	71,094	69,98
3766750041	33,293	75,797	74,683
3766750051	35,041	80,527	79,413
3766750061	36,586	85,386	84,272
3766750071	38,127	90,167	89,053
3766750081	39,198	94,663	93,549
3766750091	40,478	97,781	96,667
3766750101	41,751	102,614	101,5
3766750111	42,759	106,928	105,814
3766750121	43,195	108,279	107,165

Čas	Průtok	Tlak na čerpadle	Tlak řídicí aparatura
3766749891	7,507	5,532	4,418
3766749901	10,588	13,016	11,902
3766749911	12,938	17,355	16,241
3766749921	13,953	18,914	17,8
3766749931	14,228	20,759	19,645
3766749941	16,496	25,697	24,583
3766749951	19,583	30,868	29,754
3766749961	21,403	35,675	34,561
3766749971	23,227	40,69	39,576
3766749981	24,759	45,888	44,774
3766749991	25,757	50,747	49,633
3766750001	27,109	56,282	55,168
3766750011	28,124	61,583	60,469
3766750021	29,407	65,845	64,731
3766750031	30,942	71,094	69,98
3766750041	33,293	75,797	74,683
3766750051	35,041	80,527	79,413
3766750061	36,586	85,386	84,272
3766750071	38,127	90,167	89,053
3766750081	39,198	94,663	93,549
3766750091	40,478	97,781	96,667
3766750101	41,751	102,614	101,5
3766750111	42,759	106,928	105,814
3766750121	43,195	108,279	107,165