

Větvené mazací systémy a jejich proudové poměry –
tribologicko-hydraulické aspekty

PhD student: Ing. Antonín Dvořák
Školitel: Doc. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

Ústav konstruování

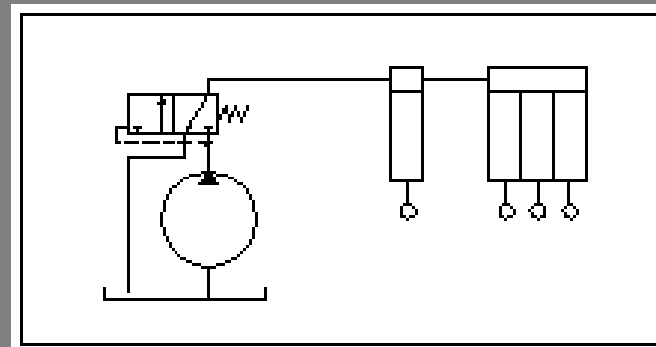
VUT- BRNO
Fakulta strojíního inženýrství
Technická 2, 616 69 BRNO
Mobil: +420 604 762 776
E-mail: anton.dvorak@post.cz

■ OBSAH PREZENTACE

- Současný stav problematiky
 - způsoby mazání (individuální mazání, centrální mazací systémy)
 - optimalizace dodávaného množství maziva do mazaného uzlu
- Cíl a úkol disertační práce
- Důvody proč se zabývat tématy disertační práce
- Experimentální měření
 - parametry plastických maziv
 - mazací přístroje
 - tlakové ztráty
 - progresivní centrální mazací obvod
- Matematické modelování pomocí programu DYNAST
- Výsledky teoretické a experimentální analýzy
- Závěr a zhodnocení disertační práce
- Měření na progresivním centrálním mazacím systému v praxi a využití výsledků měření

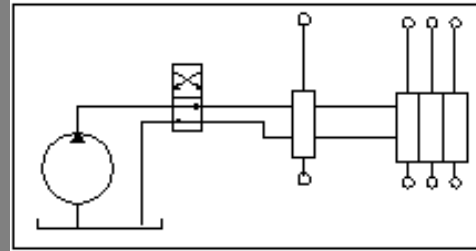
■ ZPŮSOBY A MOŽNOSTI MAZÁNÍ

- individuální mazání
 - mazání olejovou náplní
 - ruční mazání olejem nebo plastickými mazivy
 - mazání rozstřikováním oleje
 - mazání samomaznými kluznými ložisky
- mazání pracovní kapalinou
- centrální mazací systémy
 - jednopotrubní systém

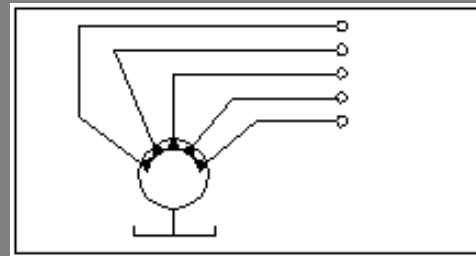


■ ZPŮSOBY A MOŽNOSTI MAZÁNÍ

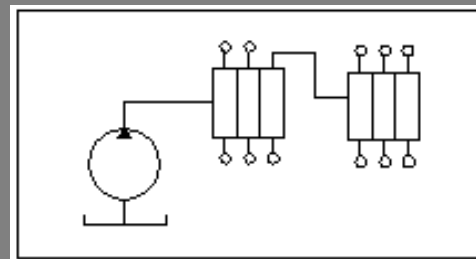
- dvoupotrubní systém



- vícepotrubní systém



- progresivní systém



- speciální mazací systémy

(mazání řetězů, mazání ozubených kol, mazání jeřábových drah, mazání okolků kol, mazání olejovou mlhou)

■ ZPŮSOBY A MOŽNOSTI MAZÁNÍ - PŘÍKLADY



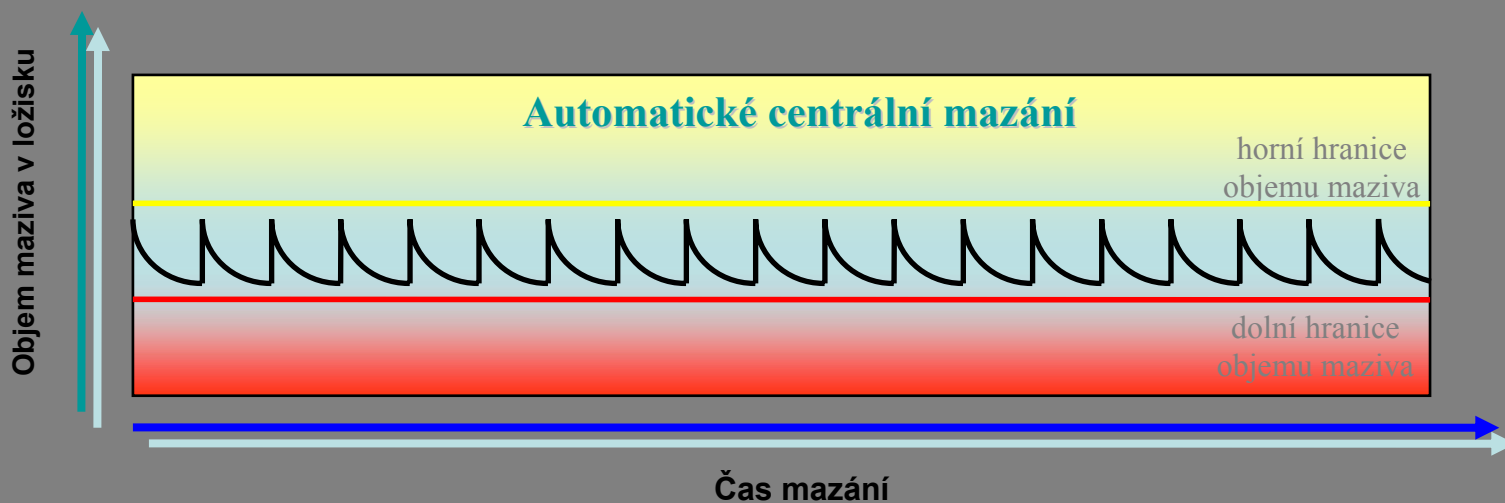
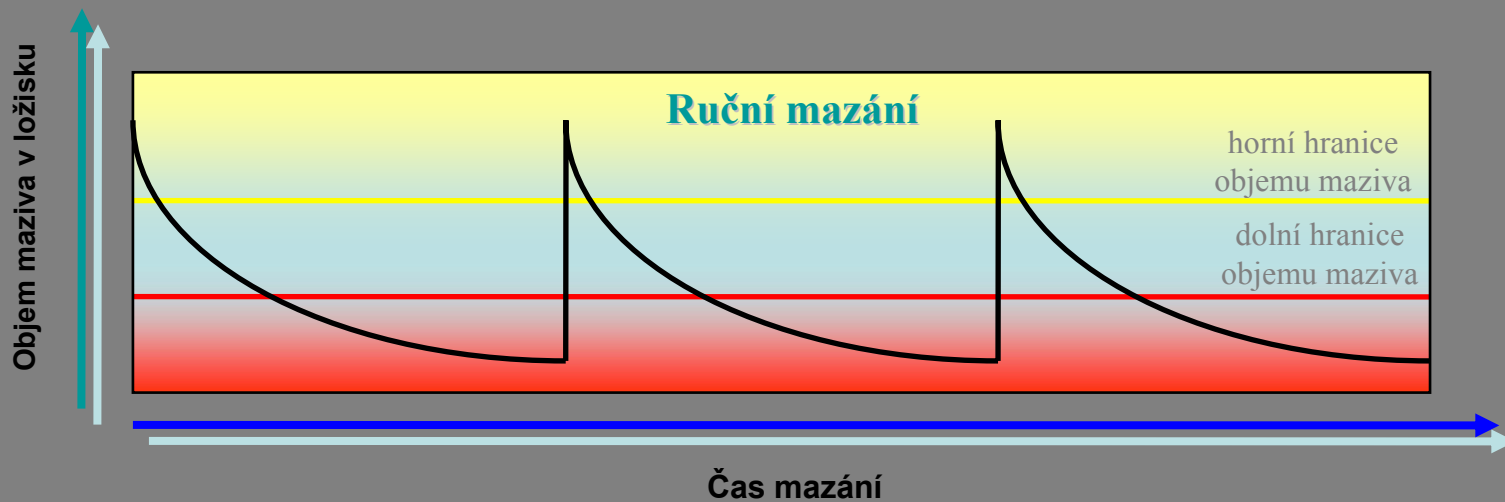
V levo pohled na sudové čerpadlo - doplněním úpravy vzduchu lze použít vzduchem poháněné sudové čerpadlo. Toto provedení je vhodné u rozsáhlejších progresivních CMS, které využívá originálních obalů výrobce.

V pravo je pohled na progresivní CMS mobilních strojů, pravděpodobně s mazacím přístrojem s pohonem elektromotorem na stejnosměrné napětí.

Progresivní centrální mazací systémy jsou určeny hlavně pro tvářecí, obráběcí, textilní, balicí, transportní atd. stroje, mobilní zařízení (podvozky a technologické nástavby), části technologických komplexů (např. hutí, válcoven, elektráren, cementáren, chemiček, skláren, cukrovarů, pivovarů) atd.



■ OPTIMALIZACE DODÁVANÉHO MNOŽSTVÍ MAZIVA DO MAZANÉHO UZLU



■ CÍL A ÚKOL DISERTAČNÍ PRÁCE

- Cílem disertační práce je pro praxi přijatelný matematický popis stendu centrálního mazacího systému s progresivním rozdělovačem maziva, na kterém probíhalo měření v laboratoři a to tak, aby bylo možné predikovat provozní stavy pomocí simulace, což by významně přispělo k předcházení a řešení krizových situací při provozu systémů v praxi. Tento matematický model ověřit pomocí experimentu. Stěžejním úkolem by měla být však analýza hlavního prvku centrálních mazacích systémů – progresivního rozdělovače maziva.
- Dílčí úkoly disertační práce:
 - zjištění tlakové a průtokové charakteristiky použitých mazacích přístrojů
 - určení tlakové ztráty v kanálcích progresivního rozdělovače maziva,
 - zjištění závislosti odporu proti pohybu maziva na míře otevření přepouštěcího kanálku v progresivním rozdělovači maziva,
 - stanovení závislosti posunutí pístků na protitlaku v jednotlivých výstupech progresivního rozdělovače (na posuvu pístků je závislý objem dodaného maziva do mazaného uzlu),
 - simulace kinematiky a dynamiky progresivního rozdělovače maziva pomocí programu Dynast,
 - simulace tlakové ztráty ve vedení (potrubí) centrálních mazacích systémů pomocí programu Dynast,
 - simulace proudění plastického maziva pomocí programu Fluent (ve spolupráci s VŠB Ostrava),
 - sloučit do jednoho celku všechny jednotlivé simulované části centrálního mazacího obvodu tak, aby představovaly celý laboratorní systém centrálního mazání v dostatečné šíři pro použití při projekci obdobných dalších či jiných centrálních mazacích systémů s progresivním rozdělovačem a nejen s ním.

■ DŮVODY PROČ SE ZABÝVAT TĚMATY DISERTAČNÍ PRÁCE

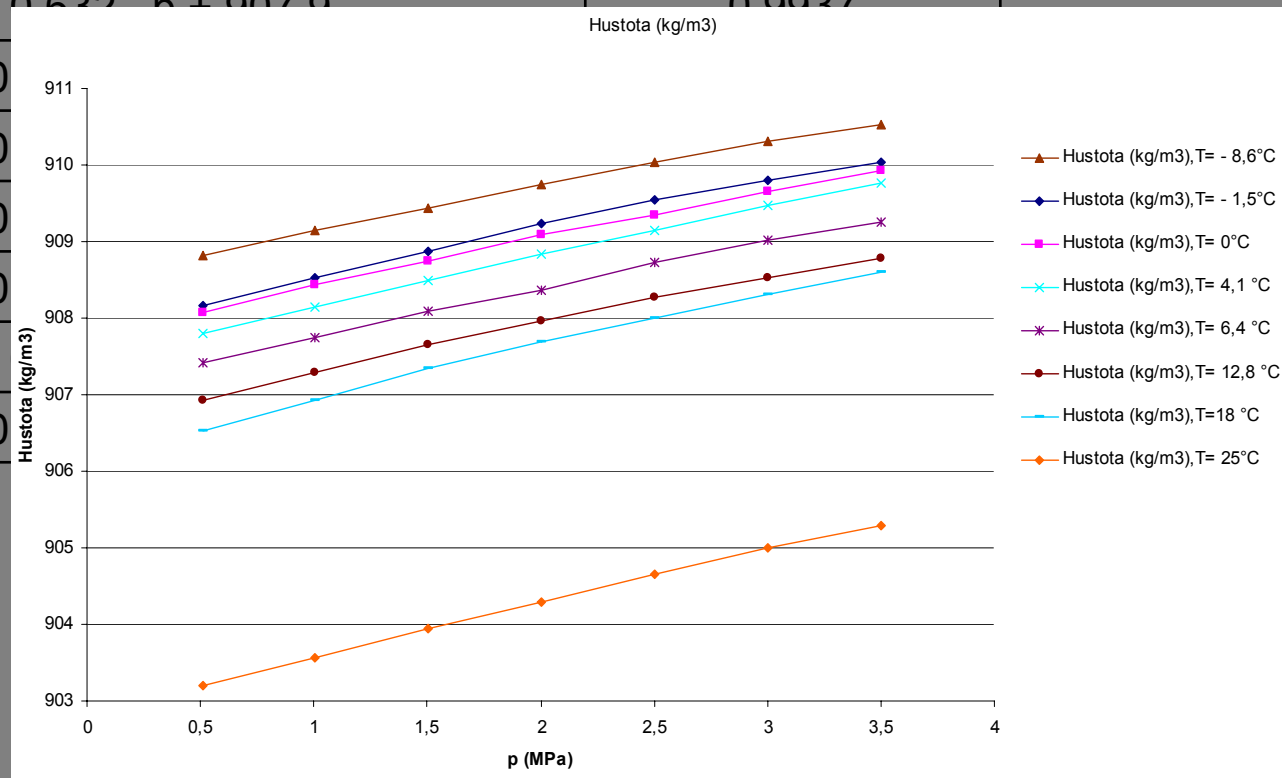
- téma centrálních mazacích systémů nebylo nikde v žádné literatuře takto zeširoka analyzováno (zajímavé obory jako reologie – modely, maziva, měřicí přístroje; tribotechnika; hydrodynamika, výpočetní prostředky – Dynast, Fluent)
- snahou je optimalizovat mazací systémy tak, aby se dosáhlo zlepšení v životnosti, spolehlivosti, mechanické účinnosti a v neposlední řadě také ekologii a hygieně provozu - celkově tak, aby se snížily náklady na provoz
- k dosažení zmíněného bylo nutné se věnovat široké oblasti při výrobě, použití a zpracování plastických maziv a dalšími aspekty souvisejícími s mazacími systémy
- pokud možno vše dát do jednoduchého a srozumitelného tvaru použitelného pro snadné a rychlé projektování centrálních mazacích systémů

■ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

- před samotnými experimenty muselo být navrženo konstrukční a elektronické řešení experimentu, to vše za velice rychlého sledu událostí a při nevelkých finančních možnostech; rozsáhlost a náročnost zvoleného tématu je patrná z množství stanovených úkolů a minimálního množství dostupné literatury zabývající se těmito problémy
- experimentální měření probíhala hlavně v tribologické laboratoři Odboru fluidního inženýrství Victora Kaplana
- byly experimentálně zjišťovány hodnoty pro hlavní i dílčí úkoly disertační práce za různých teplot, pro různé konzistence
- byly zjišťovány hodnoty tlakové ztráty při různém průtoku pro potrubí a hadice různých průměrů, délek a materiálů
- měření bylo prováděno za pomoci měřicího programu ScopeWinu; celý měřicí systém se dále skládal z měřicího zesilovače, ke kterému se připojují snímače měřených fyzikálních veličin a osobního počítače; měřicí program zabezpečuje sběr dat, archivaci naměřených dat, jejich analýzu a případnou prezentaci.

■ ZÁVISLOST HUSTOTY PLASTICKÉHO MAZIVA MOGUL EKO-L1 NA TLAKU A TEPLOTĚ

Teplota T (°C)	Polynom	Hodnota spolehlivosti R (1)
-8,6	$\rho = 0,5771 \cdot p + 908,56$	0,9969
-1,5	$\rho = 0,632 \cdot p + 907,9$	0,9937
0	$\rho = 0$	
4,1	$\rho = 0$	
6,4	$\rho = 0$	
12,8	$\rho = 0$	
18	$\rho = 0$	
25	$\rho = 0$	



■ REOLOGIE PLASTICKÝCH MAZIV

- viskozita závisí na řadě parametrů - není konstantní

$$\eta = \eta \left(S, T, p, \dot{\gamma}, t, u \right)$$

kde: S – parametr, charakterizující fyzikálně-chemické složení měřené látky

T – parametr, charakterizující vliv teploty látky

p – tlak

$\dot{\gamma}$ - rychlost smykové deformace

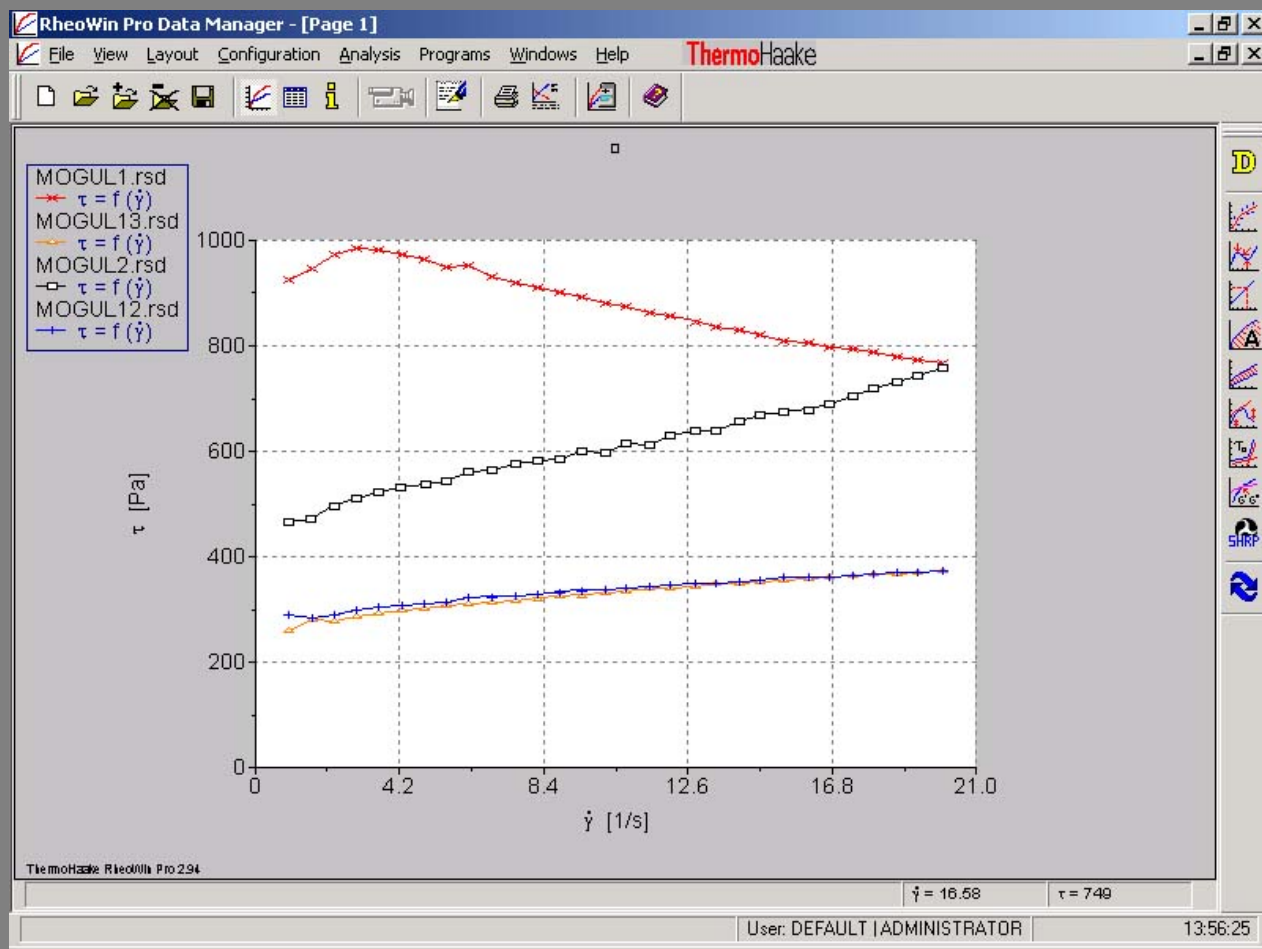
t – čas; tento parametr znamená, že viskozita závisí na “historii”, tzn. na tom, zda byla kapalina v klidu nebo pohybu, jak dlouho a jak intenzivně byla hnětena (tixotropie, reopexie)

u – elektrické napětí; tento parametr znamená, že reologické chování některých látek závisí na působení elektrického pole

- složení maziva: zpevňovadlo, základní olej, zušlechťovací přísady

■ ZÁVISLOST SMYKOVÉHO NAPĚTÍ NA RYCHLOSTI SMYKOVÉ DEFORMACE

- na požádání byly některé výsledky zaslány přímo od výrobce Korama Kolín
- bylo nutné se seznámit s programem RheoWin pro vyhodnocování měření plastických maziv
- stanovení parametrů plastického maziva potřebných pro matematickou simulaci
- z obrázku je zřetelně vidět tixotropie plastického maziva MOGUL EKO-L1



■ VZTAHY PRO MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ V POTRUBÍ – REOLOGICKÝ MODEL

- Herschell – Bulkley

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$$

$$\tau_{\max} = \frac{\Delta p \cdot R}{2l}$$

kde: n - index toku

K - součinitel konzistence (Pa.sⁿ)

τ_0 - počáteční smykové napětí (Pa)

$\dot{\gamma}$ - rychlost smykové deformace (1/s)

R – poloměr světlosti potrubí (m)

l - délka potrubí (m)

Δp - tlaková ztráta (MPa)

Q - průtok (m³/s)

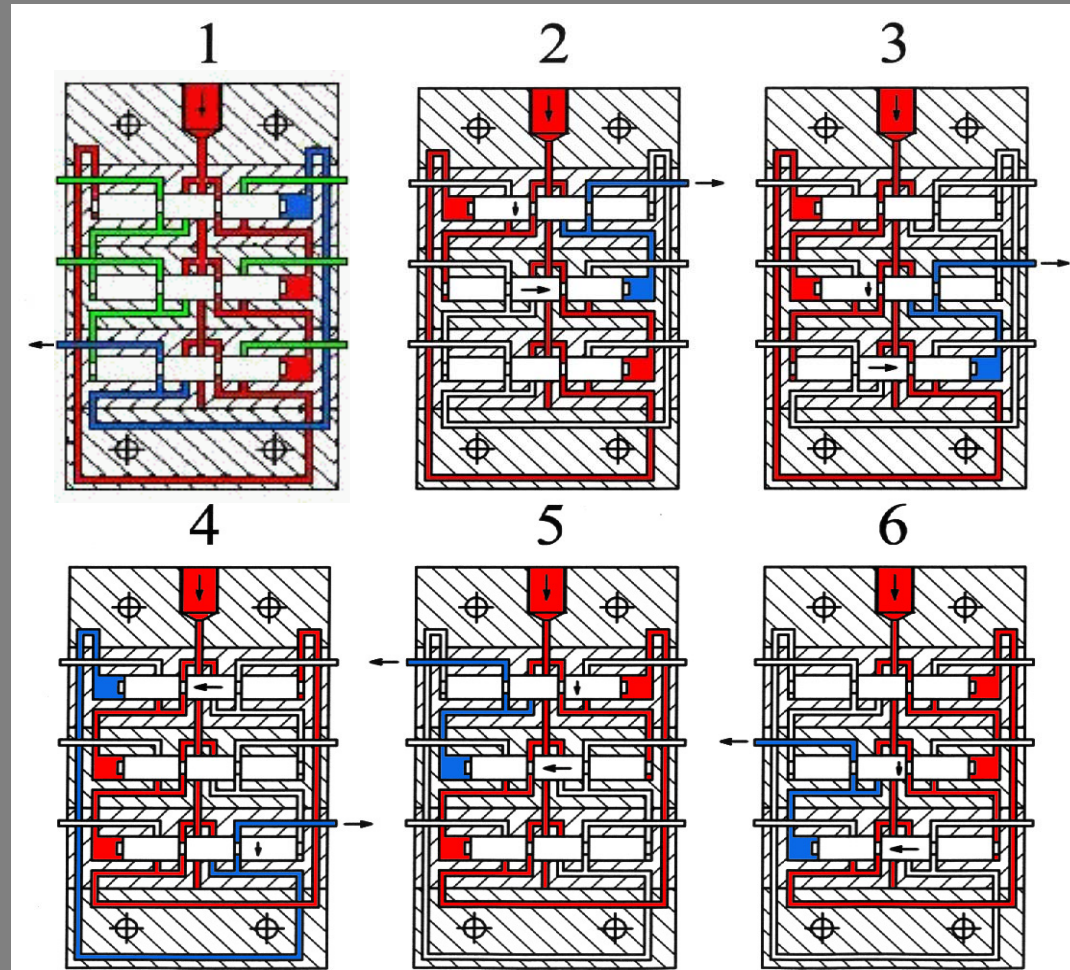
$$\dot{\gamma} \approx d_{ekv} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot R^3}$$

■ FUNKCE PROGRESIVNÍHO ROZDĚLOVAČE MAZIVA

- plastické mazivo dodávané HG

- plastické mazivo oddělené pístky progresivního rozdělovače od tlakové větve

- plastické mazivo vytlačované progresivním rozdělovačem



■ MĚŘICÍ A VYHODNOCOVACÍ ZAŘÍZENÍ



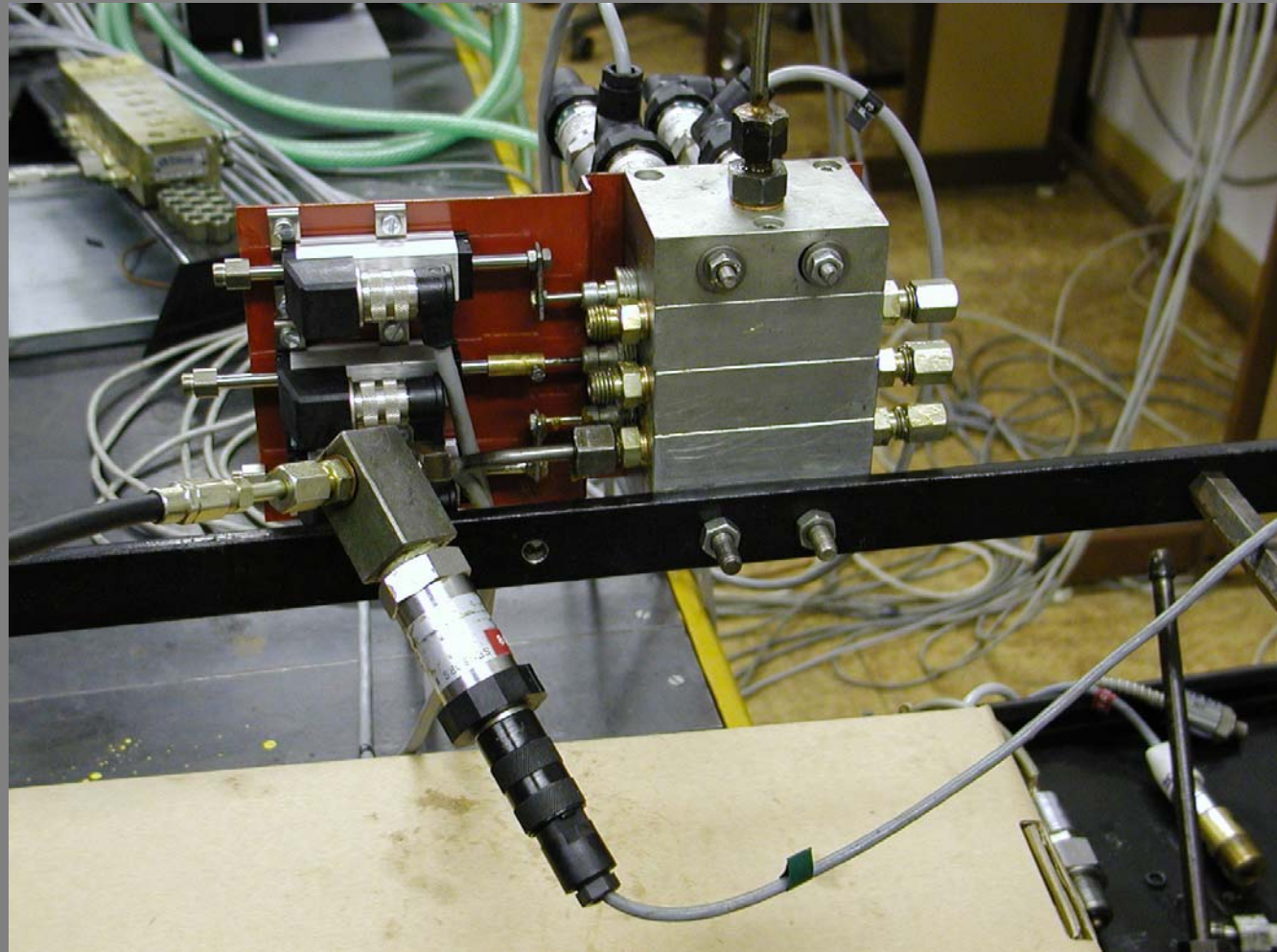
Měřicí přípravek se snímačem pohybu a snímačem zrychlení

Měřicí osobní počítač, zdroj napětí a proudu pro snímače a měřicí zesilovač



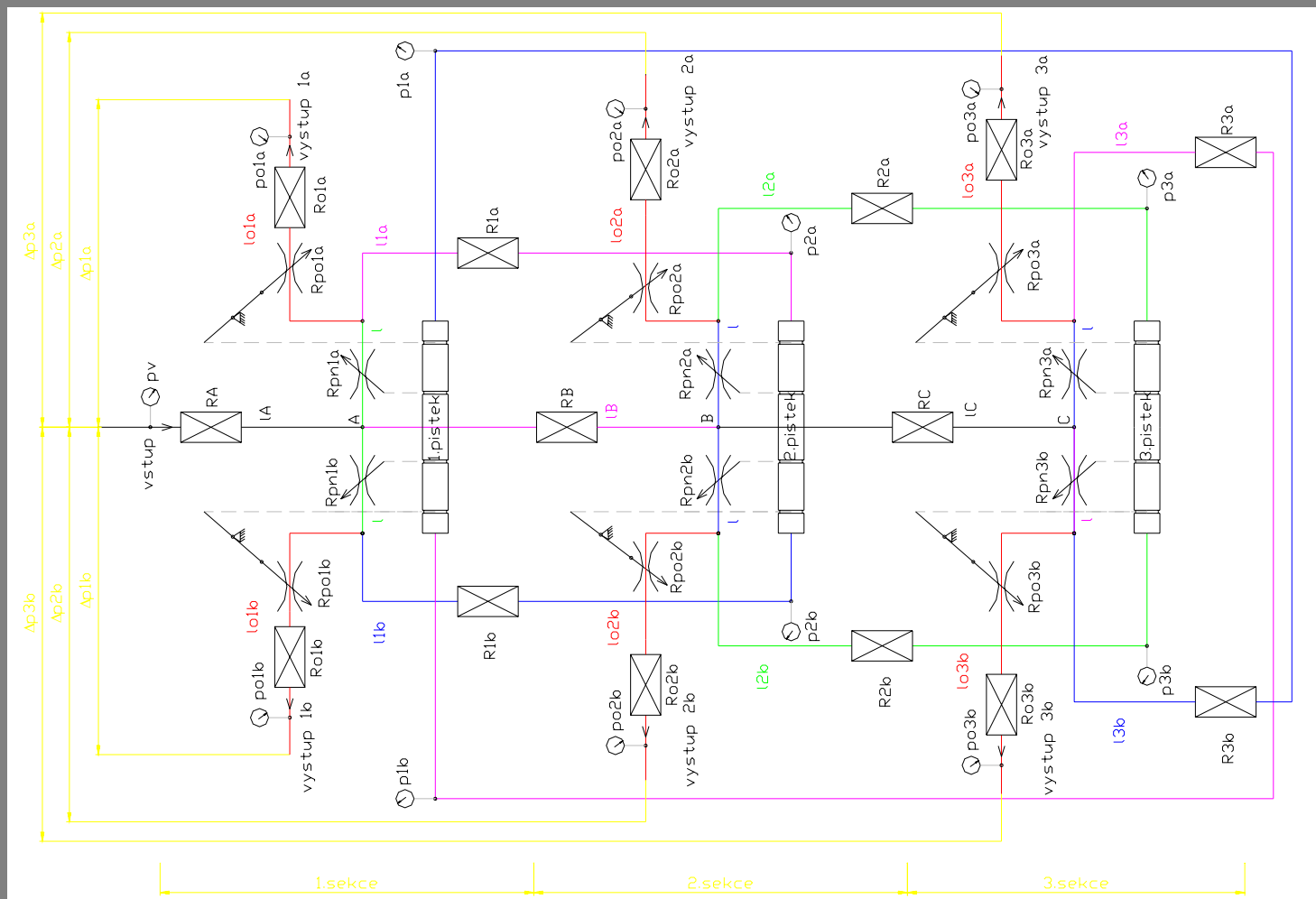
■ MĚŘICÍ A VYHODNOCOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Progresivní
rozdělovač s
instalovanými
snímači tlaku
a polohy

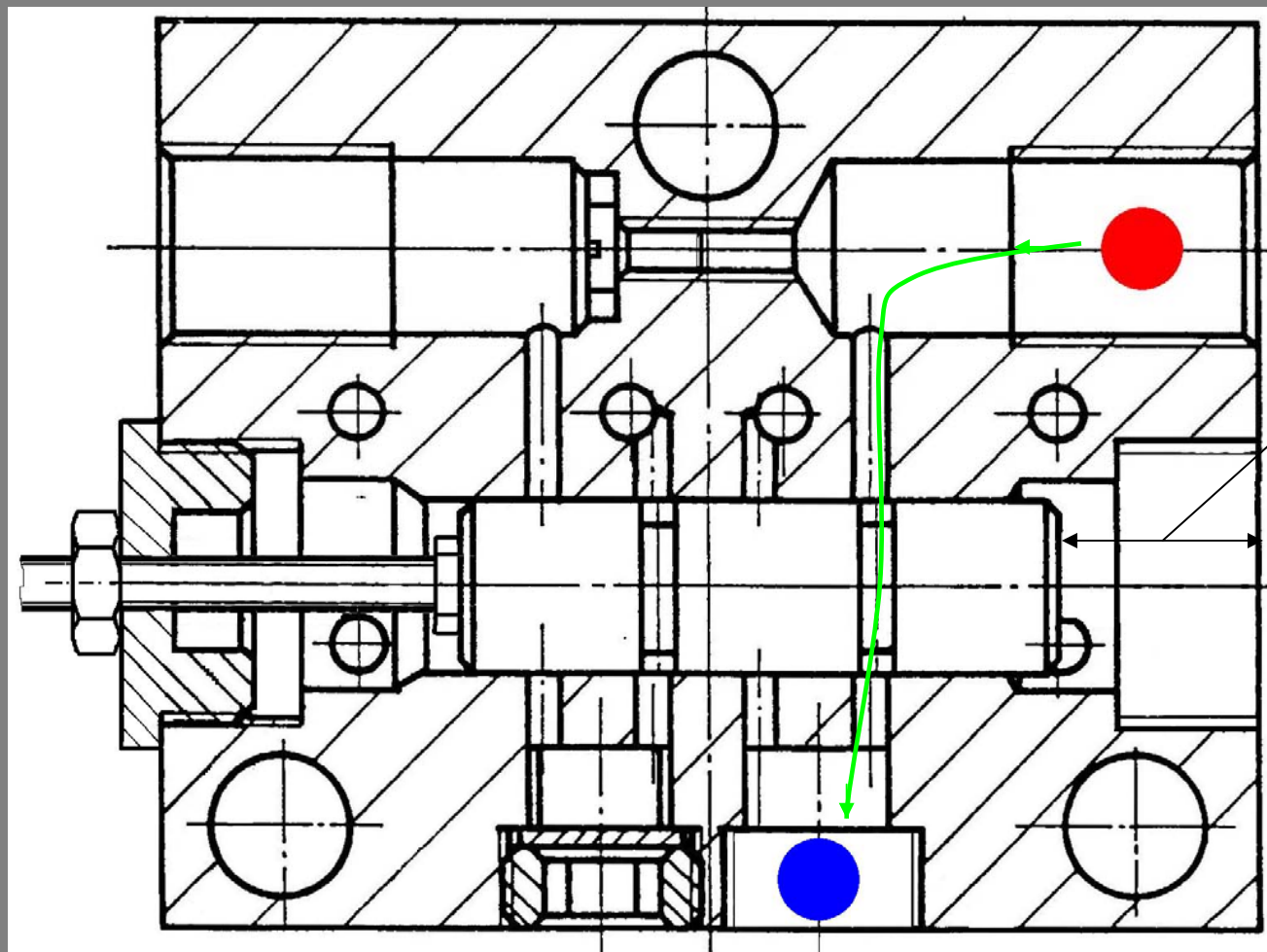


■ SCHÉMA ŘAZENÍ ODPORŮ V PROGRESIVNÍM ROZDĚLOVAČI MAZIVA

Hydraulické schéma progresivního rozdělovače se znázorněnými proměnnými odpory proti pohybu schématicky spřaženými s pístkami



■ MĚŘENÍ ODPORU PROTI POHYBU PRO TOK PLASTICKÉHO MAZIVA PŘES ZÁPICH NA PÍSTKU PROGRESIVNÍHO ROZDĚLOVAČE MAZIVA



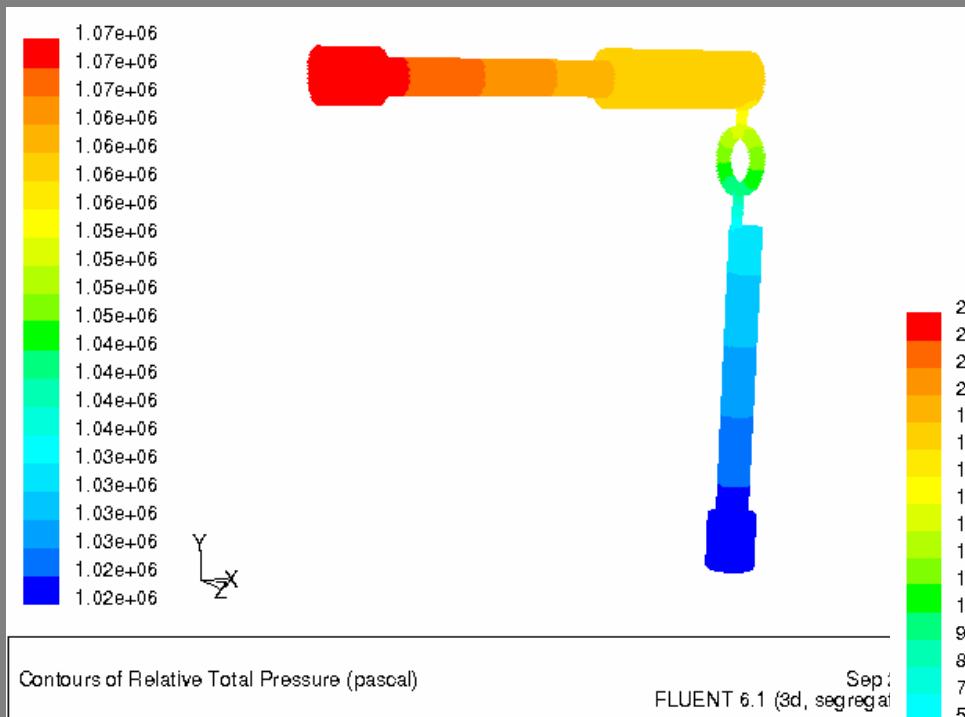
Vstup maziva

x

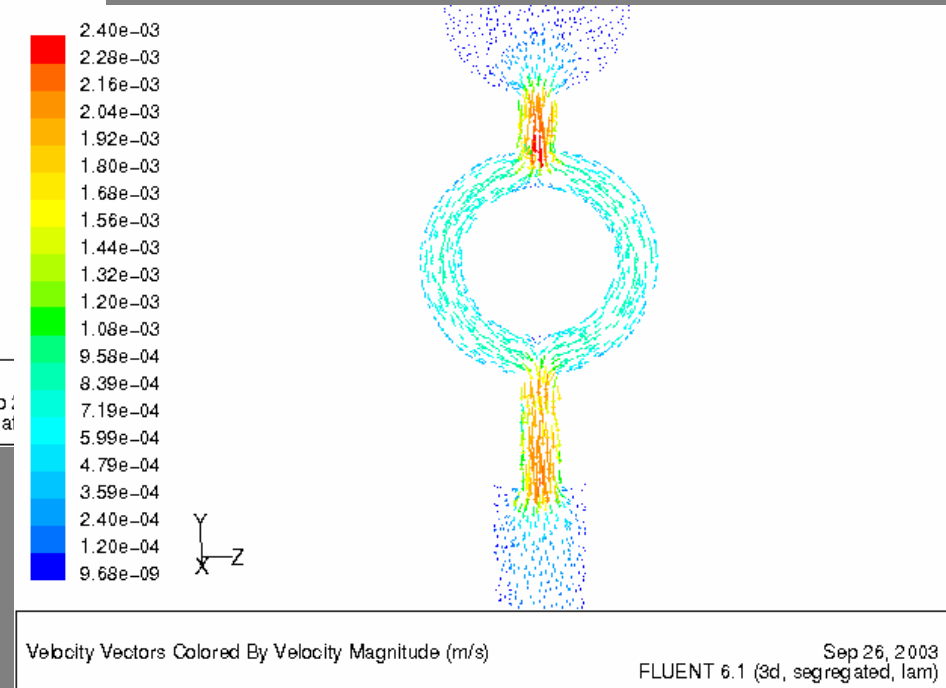
Měřená vzdálenost a z toho vypočítaná plocha otevření kanálku

Výstup maziva

■ GRAFICKÝ VÝSTUP Z PROGRAMU FLUENT



Rozložení tlaku
při toku
plastického maziva

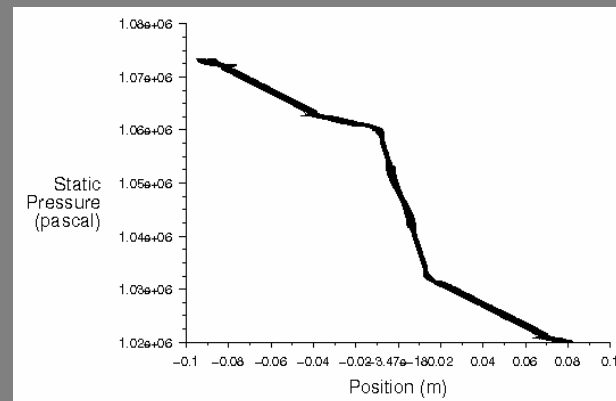


Vektory rychlosti
při toku
plastického maziva

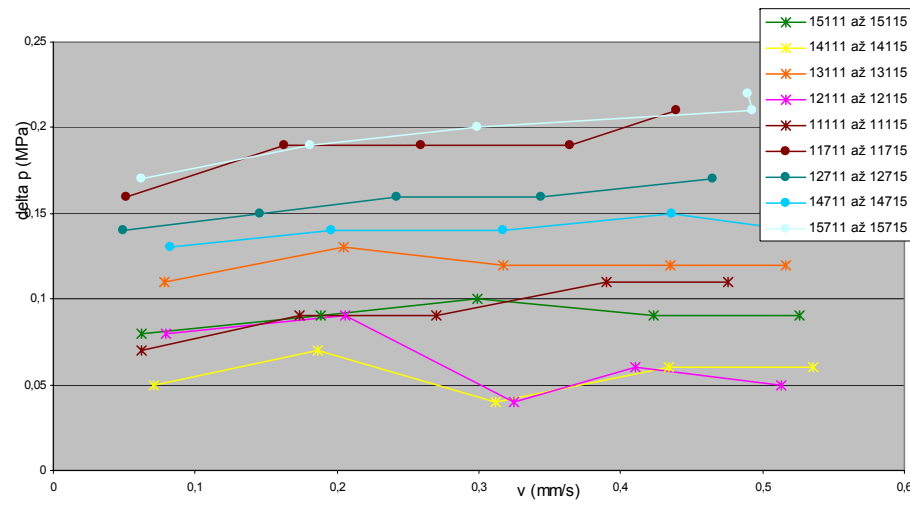
■ VÝSLEDKY VÝPOČTU PROGRAMU FLUENT, MĚŘENÍ A FOTO PŘÍPRAVKU PŘI MĚŘENÍ



Foto měřicího přípravku pro měření proměnného odporu proti pohybu při toku maziva přes zápich na pístku

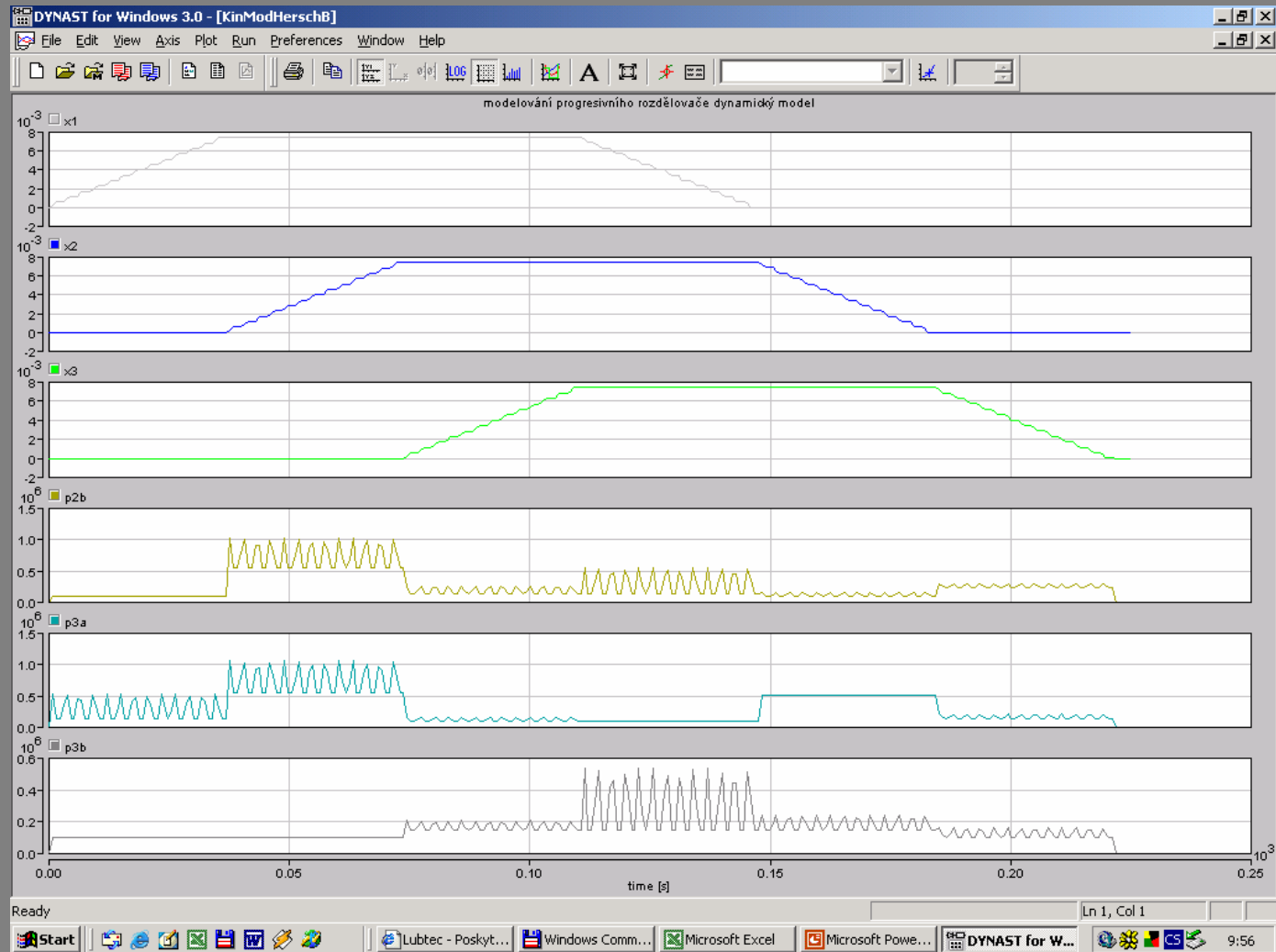


Tlaková ztráta v závislosti na střední rychlosti toku plastického maziva MOGUL EKO-L1

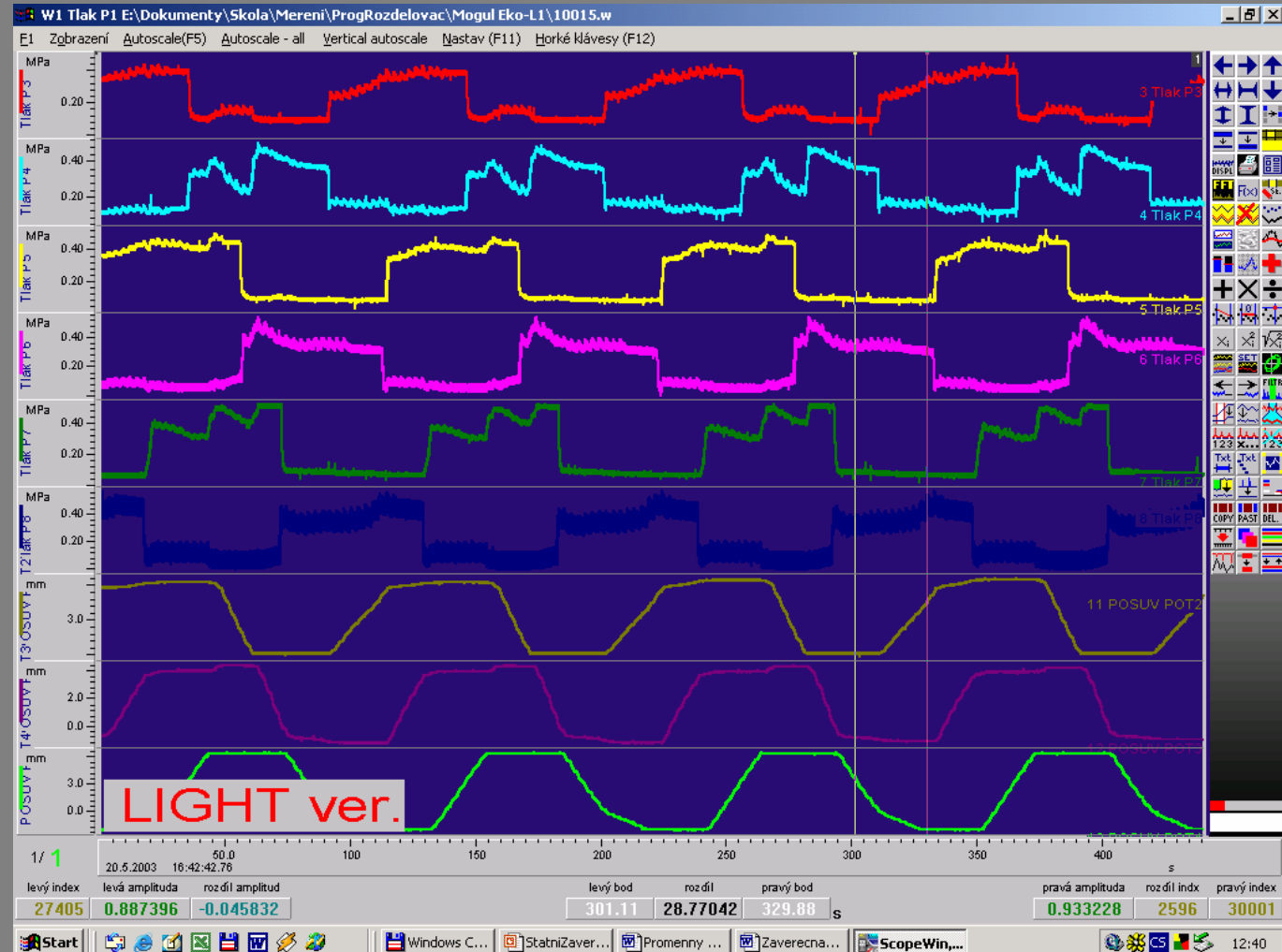


■ GRAFICKÉ OKNO PROGRAMU DYNAST

Posuvy pístků a tlak uvnitř pracovních prostor progresivního rozdělovače

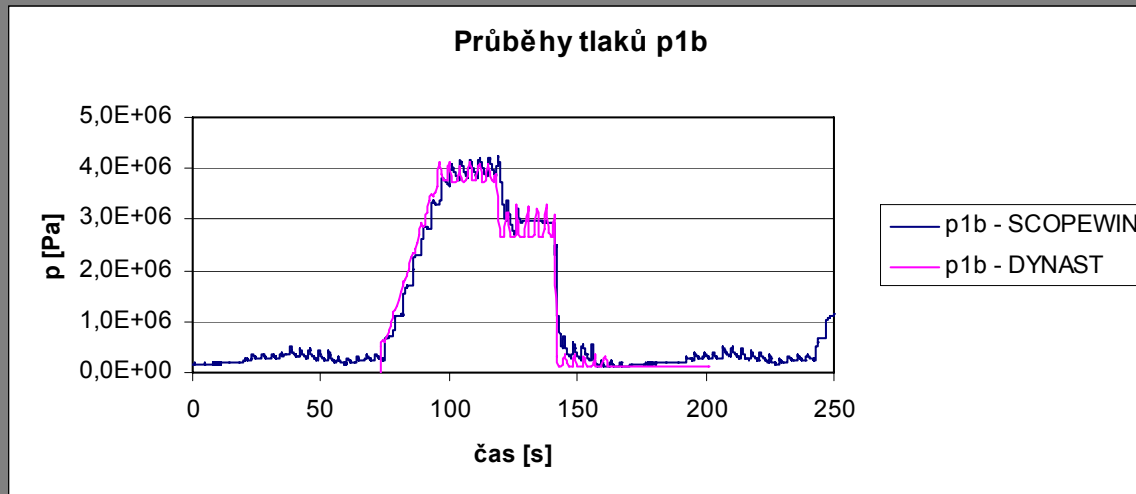
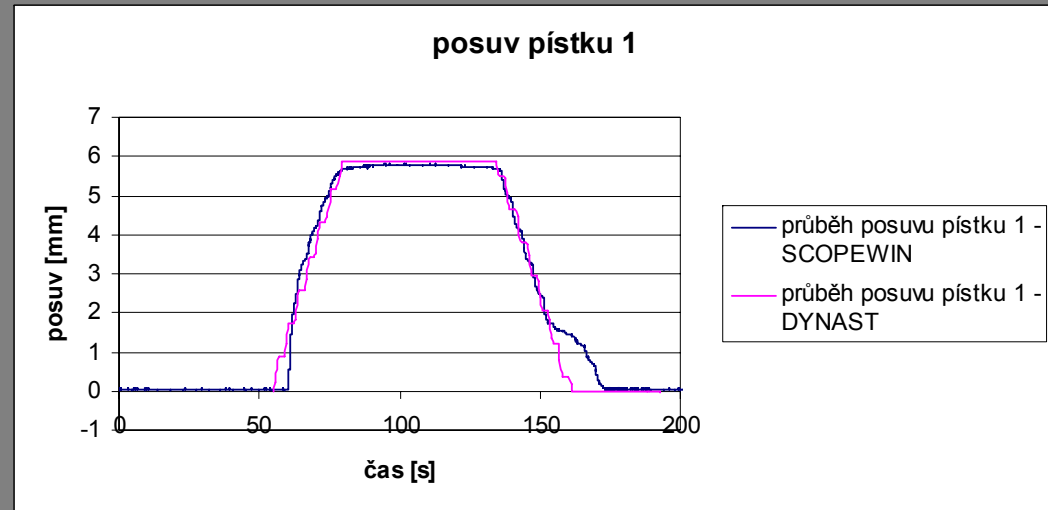


NAMĚŘENÉ ÚDAJE PROGRESIVNÍHO ROZDĚLOVAČE POMOCÍ PROGRAMU SCOPEWIN



Tlak uvnitř pracovních prostor a posuvy písků progresivního rozdělovače

■ SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ A MATEMATICKÝCH SIMULACÍ



■ ZÁVĚRY A ZHODNOCENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

- byla zmapována aplikovatelnost daných matematických vztahů a modelů dle velikosti průtoku maziva hydraulickým vedením při předpokládaných možných nepřesnostech výpočtů – na to lze konstatovat, že výběr vztahů pro newtonské nebo nenewtonské kapaliny je zanedbatelný, pohybujeme-li se v určité ohraněné oblasti p - Q charakteristiky daného prvku
- byly proměřeny a otestovány dva mazací přístroje, přičemž byla naznačena myšlenka použití plynule regulovatelného zdroje maziva
- byly naměřeny parametry několika typů plastických maziv
- byly nasimulovány a experimentálně změřeny tlakové ztráty v potrubí a kanálcích progresivního rozdělovače za různých provozních podmínek
- byl uskutečněn matematický model progresivního rozdělovače (ve třech etapách) a celého experimentálního stendu, jeho simulace a naladění a taktéž jeho experimentální ověření
- byly vyjmenovány podněty k dalšímu postupu, které by navazovali na tuto práci a přispěli k dalšímu rozvoji výzkumu tlakových a proudových poměrů v progresivních rozdělovačích

■ ZÁVĚRY A ZHODNOCENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

NÁHLED NA POLOVINU OTEVŘENÝCH DOLNÍCH VRAT
LEVÉ PLAVEBNÍ KOMORY



POHLED NA UMÍSTĚNÍ MAZACÍHO
PŘÍSTROJE A KONTROLNÍ KOSTKY

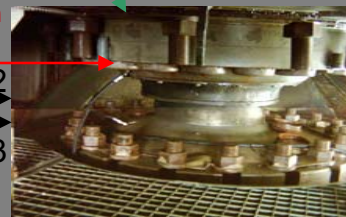


POHYBLIVÝ PŘÍVOD MAZIVA A
KABELU BEZKONTAKTNÍHO
SNÍMAČE KE VRATŮM



Tlaková ztráta
v
přivodním
potrubí

HORNÍ LOŽISKO VRAT SE
DVĚMA PŘÍVODY MAZIVA



Tlaková ztráta na výstupních
potrubích z ZP-B do MM

Tlaková
ztráta na
výstupním
potrubí z
ZP-B do MM

Tlaková ztráta na
výstupech
progressivního
rozdělovače ZP-B

PROGRESIVNÍ ROZDĚLOVAČ ZP-B
UVNITŘ VRAT S KONTROLOU
BEZKONTAKTNÍM SNÍMAČEM

Měření tlakových ztrát na dolních vratech plavebních komor vodního díla Gabčíkovo

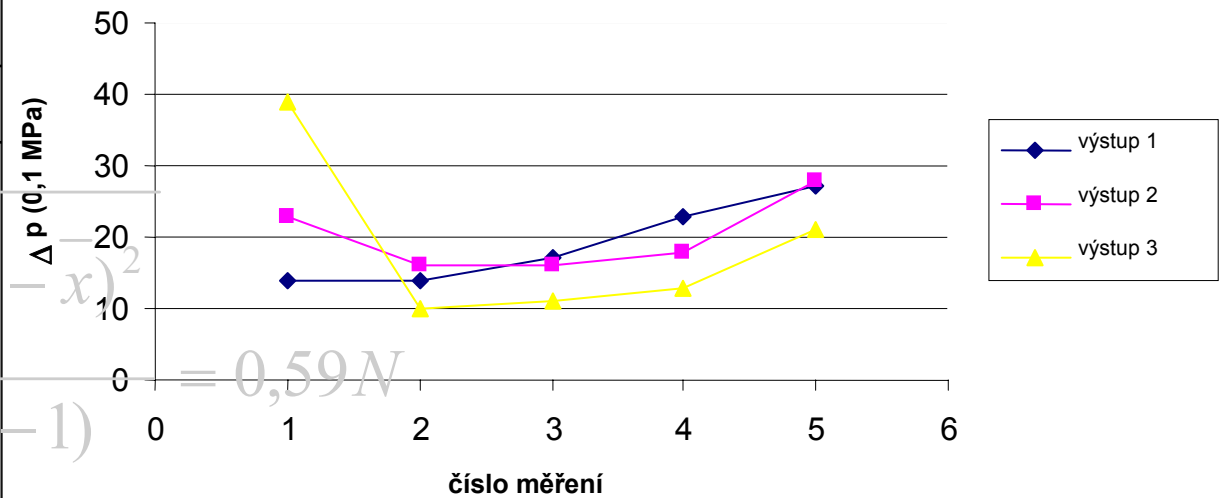
V disertační práci je velké množství naměřených dat z experimentálních měření s velkou přesností. Toho se dá s výhodou použít v projekční praxi pro dnes čím dál častěji nasazované PLC - automatické systémy řízení. Statistické vyhodnocení dat lze použít pro samokontrolu CMS (např. prasklá hadice, netěsnost vedení, ucpané mazací místo, zhoršování stavu čerpacích jednotek, atd.)

■ ZÁVĚRY A ZHODNOCENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Statistické vyhodnocení měření z praktického nasazení progresivního centrálního mazacího systému na dolních vratech plavebních komor vodního díla Gabčíkovo

počet měření	kontrolní kostka pk (0,1MPa)	před ZP-B p0 (0,1MPa)	tlaková ztráta na přívodním potrubí Δp (0,1MPa)	1. výstup ze ZP-B p1 (0,1MPa)	tlaková ztráta na progresivním rozdělači -výstup 1 Δp (0,1MPa)	2. výstup ze ZP-B p2 (0,1MPa)	tlaková ztráta na progresivním rozdělači -výstup 2 Δp (0,1MPa)	3. výstup ze ZP-B p3 (0,1MPa)	tlaková ztráta na progresivním rozdělači -výstup 3 Δp (0,1MPa)
1	110	48	62	34	14	25	23	9	39
2	106	46	60	33	14	22	19	10	39
3	96	45	51	32	16	17	13	11	39
4	99	52	47	31	17	18	18	13	39
5	112	63	49	30	18	23	21	21	39
aritmetický průměr	104,6	50,8	53,8	32,0	15,8	20,0	18,8	12,8	39,0
směrodatná výb.odchylka	6,9	7,3	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9

Tlaková ztráta v progresivním rozdělovači ZP-B -
- zapojená mazací místa



$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

■ ZÁVĚRY A ZHODNOCENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE



NYNÍ



Trend automatických systémů centrálních mazacích systémů - praktické nasazení řídicího, ovládacího a kontrolního systému s možností dálkového zasílání povelů směrem k mazacímu obvodu nebo poruchových hlášení mazacího obvodu přes GSM do diagnostického centra – v praxi bylo již vyzkoušeno posílání základních poruchových hlášek.

■ VYBRANÉ VLASTNÍ PUBLIKACE NEBO SPOLUATORSTVÍ

- [1] Dvořák, A.: Matematický model progresivního rozdělovače maziva, FSI junior konference 2002, ISDN 80-214-2290-4, Brno, 2002.
- [2] Dvořák, A.: Mazací systémy, pohyb šoupátek progresivního rozdělovače maziva, VI. mezinárodní vědecká a odborná konference Riadenie tekutinových systémov, Rájecké Teplice, Slovensko 7. 11. – 9. 11. 2001, s. 30 – 35.
- [3] Dvořák, A.: Obecné vlastnosti maziv I., FSI VÚT Brno, Hydraulika a pneumatika, Časopis pre hydrauliku, pneumatiku a automatizačnú techniku, 2002, roč. IV, č. 3, s. 10 – 17.
- [4] Dvořák, A.: Obecné vlastnosti maziv (III.), FSI VÚT Brno, Hydraulika a pneumatika, Časopis pre hydrauliku, pneumatiku a automatizačnú techniku, 2003, roč. V, č. 1, s. 17 – 19.
- [5] Dvořák, A.: Simulace tlakové ztráty toku plastického maziva vedením mazacích systémů – komparace měření a výpočtů, Hydraulika a pneumatika 2003, Medzinárodná vedecká konferencia, Častá – Píla, hotel HYDROSTAV, Slovensko, 5. – 6. jún 2003, s. 21 - 27.
- [6] Dvořák, A.: Tlakové ztráty při proudění plastického maziva vedením mazacích systémů, XXII. mezinárodní vědecká konference kateder a pracovišť mechaniky tekutin a termomechaniky, Sborník z mezinárodní vědecké konference, Liberec, Česká republika, Doubice – České Švýcarsko, 4. – 6. června 2003, s. 117 – 122.
- [7] Nevrlý, J., Dvořák, A.: Ekologická plastická maziva, Sborník přednášek Tribotechnika v teorii a praxi, Česká tribotechnická společnost, sekce tribotechnika Eduka Praha, Hotel Orlík, Vystrkov u Orlické přehrady, 22. – 23. října 2002.
- [8] Špondr, P., Dvořák, A.: Centrální mazací systémy v těžebním průmyslu, Konference Tribotechnika v provozních podmínkách a její význam pro údržbu strojů a zařízení - sborník přednášek, Hotel Hrubá Skála, 12. – 13. října 2004, vydala Ostrava, říjen 2004, s. 53 – 57, ISBN 80-248-0640-1.