Optimalizace průtokových poměrů v mazacích obvodech s progresivními rozdělovači pomocí genetických algoritmů

VUT v Brně
Fakulta strojního inženýrství

doktorand — Ing. Jiří Vepřek, yvepre01@vutbr.cz

školitelé — Prof. Ing. RNDr. Josef Nevrlý, CSc.
Doc. Ing. Pavel Ošmera, CSc.

OBSAH PREZENTACE

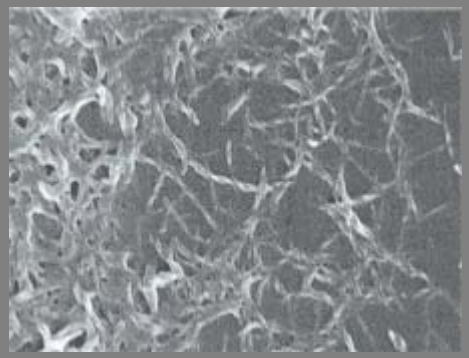
- cíle disertační práce

- Úvod
- Numerické řešení toku plastických maziv
- Experimentální měření
- Optimalizace progresivních mazacích obvodů pomocí genetických algoritmů (GA)
- Publikační činnost
- Závěr

PLASTICKÁ MAZIVA

složení a fyzikální vlastnosti

- Koloidní soustavy
  - mazací olej (70-90%)
  - mýdla kovů lithia, sodíku, vápníku, hliníku (5-30%)
  - antioxidanty, antikorodanty, vysokotlaké přísady (0,5-5%)
- Popis vlastností
  - konzistence (stupnice organizace NLGI)
  - bod skápnutí
  - reologické modely



tvar vláken lithného maziva ve zvětšení 30 000x pod skenovacím mikroskopem SEM [Czarny, 2004]

- Binghamův reologický model B = H-(StV/N)
  - Hookova pružina (1. část)

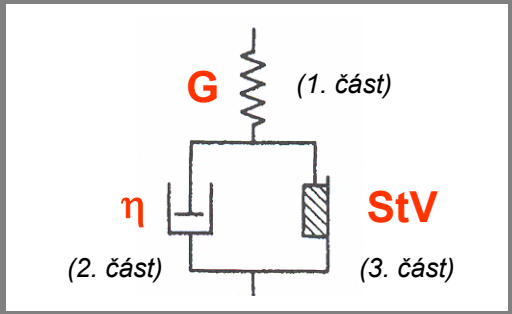
    $\gamma_1 = \frac{\tau_1}{G}$ (1)
  - Newtonův píst (2. část)

    $\gamma_1 = \frac{\tau_1}{G}$ (2)
  - Saint-Venantův model (3. část)

    $\gamma_3 = 0$ $D = 0$ $\tau_3 < \tau_0$ $D \neq 0$ $\tau_3 = \tau_0$ (3)
  - sériové řazení

    $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$ $\tau = \tau_1 = \tau_2$ (4)
  - paralelní řazení

    $\tau = \tau_1 + \tau_2$ $\gamma = \gamma_1 = \gamma_2$ (5)



grafická představa Binghamova reologického modelu [Reiner, 1968], [Giesekus, 1994], [Kvasnica et al., 2004]

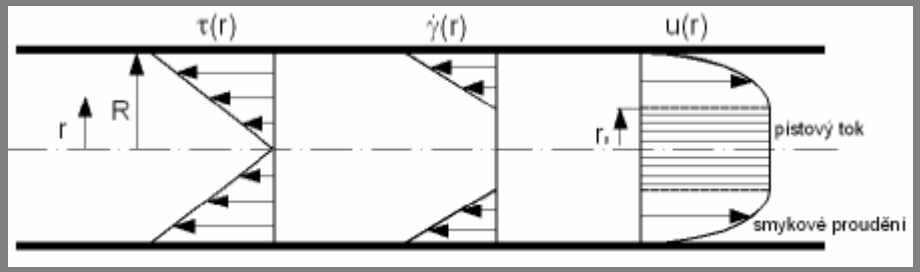
- Výsledné reologické rovnice

$$\gamma_B = \frac{\tau}{G} \quad (\tau < \vartheta) \qquad (6)$$

$$\dot{\gamma} = \begin{cases} \frac{1}{\eta_B} \cdot (\tau - \tau_f) & \text{pro} \quad \tau \geq \tau_f \\ 0 & \text{pro} \quad -\tau_f \leq \tau \leq \tau_f \\ \frac{1}{\eta_B} \cdot (\tau + \tau_f) & \text{pro} \quad -\tau_f \geq \tau. \end{cases} \qquad (7)$$

- Rovnice laminárního toku v potrubí kruhového průřezu

$$v_s = \frac{Q}{\pi \cdot R^2} = \frac{p_z \cdot R^2}{8 \cdot l \cdot \eta_B} \cdot \left[1 - \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{r_0}{R} \right) + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{r_0}{R} \right)^4 \right] \quad \text{pro } \tau >= \tau_0 \qquad (8)$$



NUMERICKÁ METODA LAX-WENDROFF

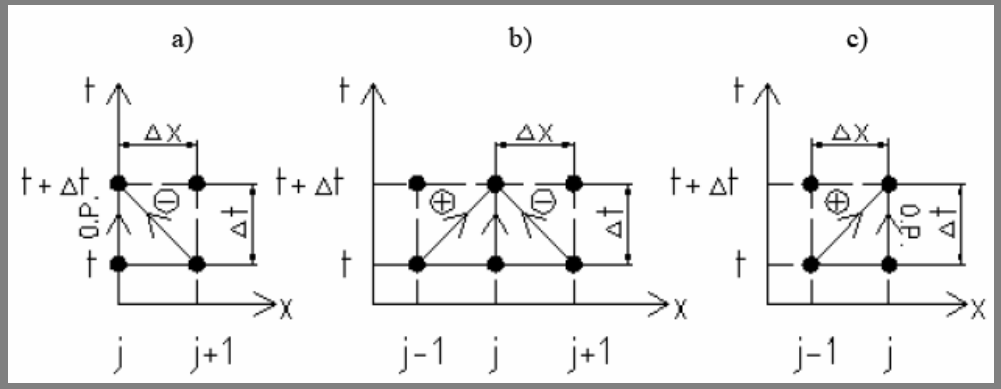
schéma metody, použití

- Vhodné pro řešení pohybových rovnic (p, Q)
- Využití rozvoje funkce do Taylorovy řady
  - polynom 2. stupně

a) krok řešení počátečního uzlu

b) krok řešení vnitřního uzlu

c) krok řešení koncového uzlu



základní schéma metody Lax-Wendroff [Varchola, 2007], [Habán, 2001], [Koiš, 2007]

- Možnost zahrnout a, E, ρ, λ, τ ≠ konst. (např. fce p)

NUMERICKÁ METODA LAX-WENDROFF

základní rovnice

- Základní schéma metody

$$f_{x_j}^{t+\Delta t} = f_{x_j}^{t} + \Delta t \cdot \left.\frac{\partial f}{\partial t}\right|_{x_j} + \frac{\Delta t^2}{2} \cdot \left.\frac{\partial^2 f}{\partial t^2}\right|_{x_j} \quad (9)$$

- Úprava rovnice typu

$$\frac{\partial f}{\partial t} + a \cdot \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \longrightarrow \frac{\partial f}{\partial t} = -a \cdot \frac{\partial f}{\partial x} \quad (10)$$

- Dosazení rovnice (10) do (9) a rozepsání diferencí

$$f_{x_j}^{t+\Delta t} = f_{x_j}^{t} - a \cdot \frac{\Delta t}{2 \cdot \Delta x} \cdot \left(f_{x_{j+1}}^{t} - f_{x_{j-1}}^{t}\right) + a^2 \cdot \frac{\Delta t^2}{2 \cdot \Delta x^2} \cdot \left(f_{x_{j+1}}^{t} - 2 \cdot f_{x_j}^{t} + f_{x_{j-1}}^{t}\right) \quad (11)$$

- Rovnice silové rovnováhy a kontinuity

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\lambda}{2 \cdot D} \cdot |c| \cdot c = 0 \quad (12) \qquad \frac{\partial p}{\partial t} + k \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = 0 \quad (13)$$

NUMERICKÁ METODA LAX-WENDROFF

- výsledné rovnice (Q, p)

- Vnitřní uzlové body (Q, p)

$$Q_{x_j}^{t+\Delta t} = Q_{x_j}^{t} - a_Q \cdot p_{x_{j+1}}^{t} + a_Q \cdot p_{x_{j-1}}^{t} - b_Q \cdot \left|Q_{x_j}^{t}\right| \cdot Q_{x_j}^{t} + c_Q \cdot Q_{x_{j+1}}^{t} - d_Q \cdot Q_{x_j}^{t} + c_Q \cdot Q_{x_{j-1}}^{t} + e_Q \cdot p_{x_{j+1}}^{t} \cdot \left|Q_{x_{j+1}}^{t}\right| - e_Q \cdot p_{x_{j-1}}^{t} \cdot \left|Q_{x_{j11}}^{t}\right| + f_Q \cdot \left(Q_{x_j}^{t}\right)^3 \quad (14)$$

$$p_{x_j}^{t+\Delta t} = p_{x_j}^{t} - g \cdot Q_{x_{j+1}}^{t} + g \cdot Q_{x_{j-1}}^{t} + h \cdot p_{x_{j+1}}^{t} - i \cdot p_{x_j}^{t} + h \cdot p_{x_{j-1}}^{t} + j \cdot \left|Q_{x_{j+1}}^{t}\right| \cdot Q_{x_{j+1}}^{t} - j \cdot \left|Q_{x_{j-1}}^{t}\right| \cdot Q_{x_{j-1}}^{t} \quad (15)$$

- Počáteční a koncové body (Q, p) – zanedbání rovnice (d)

$$Q_{x_j}^{t+\Delta t} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \Delta x}{4 \cdot k \cdot \Delta t} \cdot \left(p_{x_j}^{t+\Delta t} - p_{x_j}^{t}\right) + Q_{x_{j+1}}^{t+\Delta t} \quad (16)$$

$$p_{x_j}^{t+\Delta t} = -\frac{4 \cdot k \cdot \Delta t}{\pi \cdot D^2 \cdot \Delta x} \cdot \left(Q_{x_{j+1}}^{t+\Delta t} - Q_{x_j}^{t+\Delta t}\right) + p_{x_j}^{t} \quad (17)$$

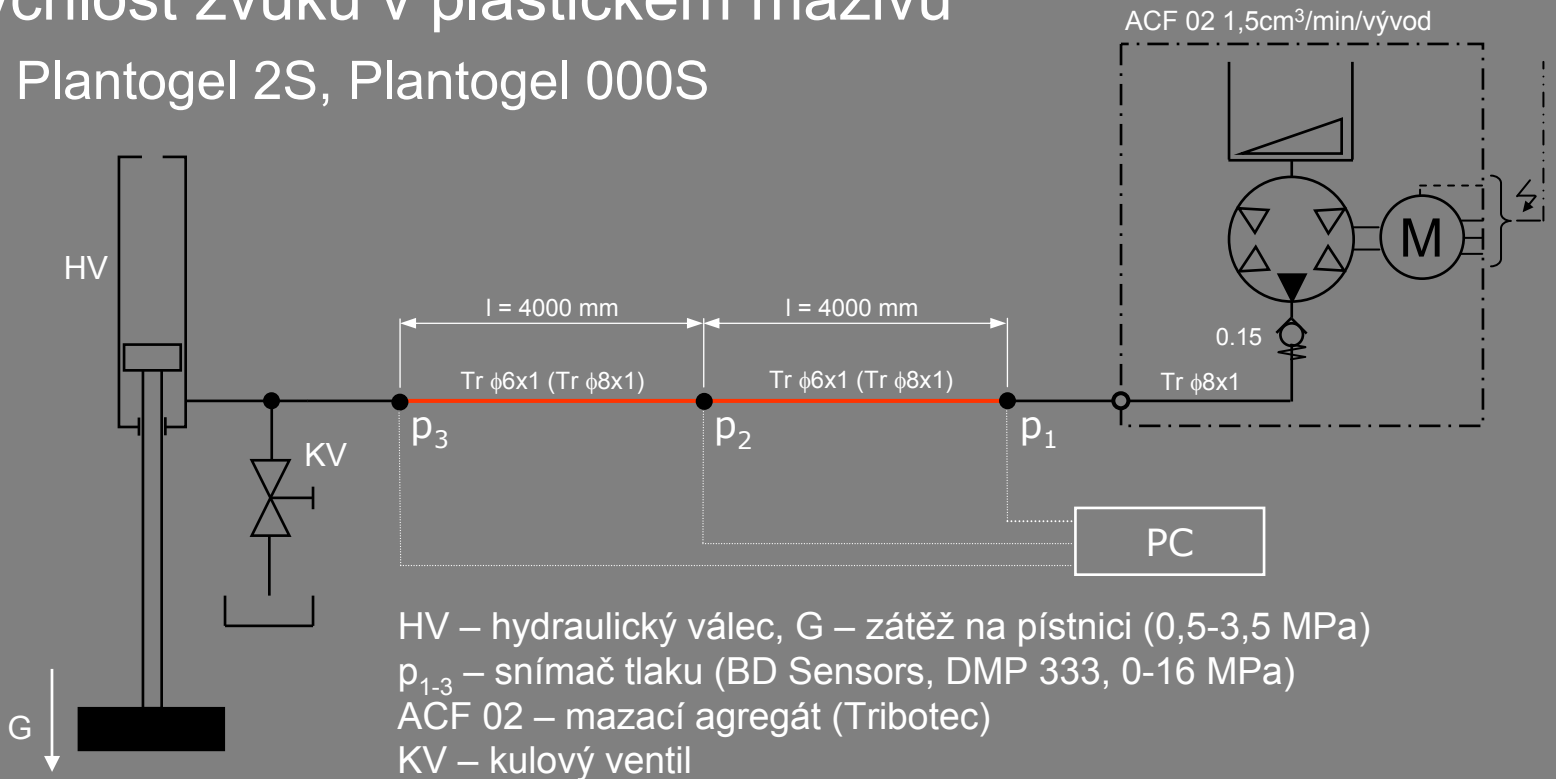
$$Q_{x_j}^{t+\Delta t} = -\frac{\pi \cdot D^2 \cdot \Delta x}{4 \cdot k \cdot \Delta t} \cdot \left(p_{x_{j+1}}^{t+\Delta t} - p_{x_{j+1}}^{t}\right) + Q_{x_j}^{t+\Delta t} \quad (18)$$

$$p_{x_{j+1}}^{t+\Delta t} = -\frac{4 \cdot k \cdot \Delta t}{\pi \cdot D^2 \cdot \Delta x} \cdot \left(Q_{x_{j+1}}^{t+\Delta t} - Q_{x_j}^{t+\Delta t}\right) + p_{x_{j+1}}^{t} \quad (19)$$

EXPERIMENT

- popis měřicí traťě, experimentu – Tribologická laboratoř (OFI)

- Rychlost zvuku v plastickém mazivu
  - Plantogel 2S, Plantogel 000S



HV – hydraulický válec, G – zátěž na pístnici (0,5-3,5 MPa)
p_{1-3} – snímač tlaku (BD Sensors, DMP 333, 0-16 MPa)
ACF 02 – mazací agregát (Tribotec)
KV – kulový ventil
Tr 6x1 a Tr 8x1 – experimentální trubky (zinkováno)

EXPERIMENT

Metoda určení rychlosti zvuku pomocí 3 měřených tlaků

- Stanovení závislosti a = f(p)
- Metoda je založena na výpočtu vynucených oscilací kapaliny užitím metody přenosových matic [Foldyna et. al, 2007]
  - měření časového průběhu tlaků p_1, p_2 a p_3
  - zpracování pomocí diskrétní Fourierovy transformace (DFT), *určení budících frekvencí, amplitud a fází pro všechny měřené tlaky*
  - určení elementů přenosové matice (rychlost zvuku)
- Doplnění numerického modelu
  tok plastického maziva v trubicích mazacího obvodu

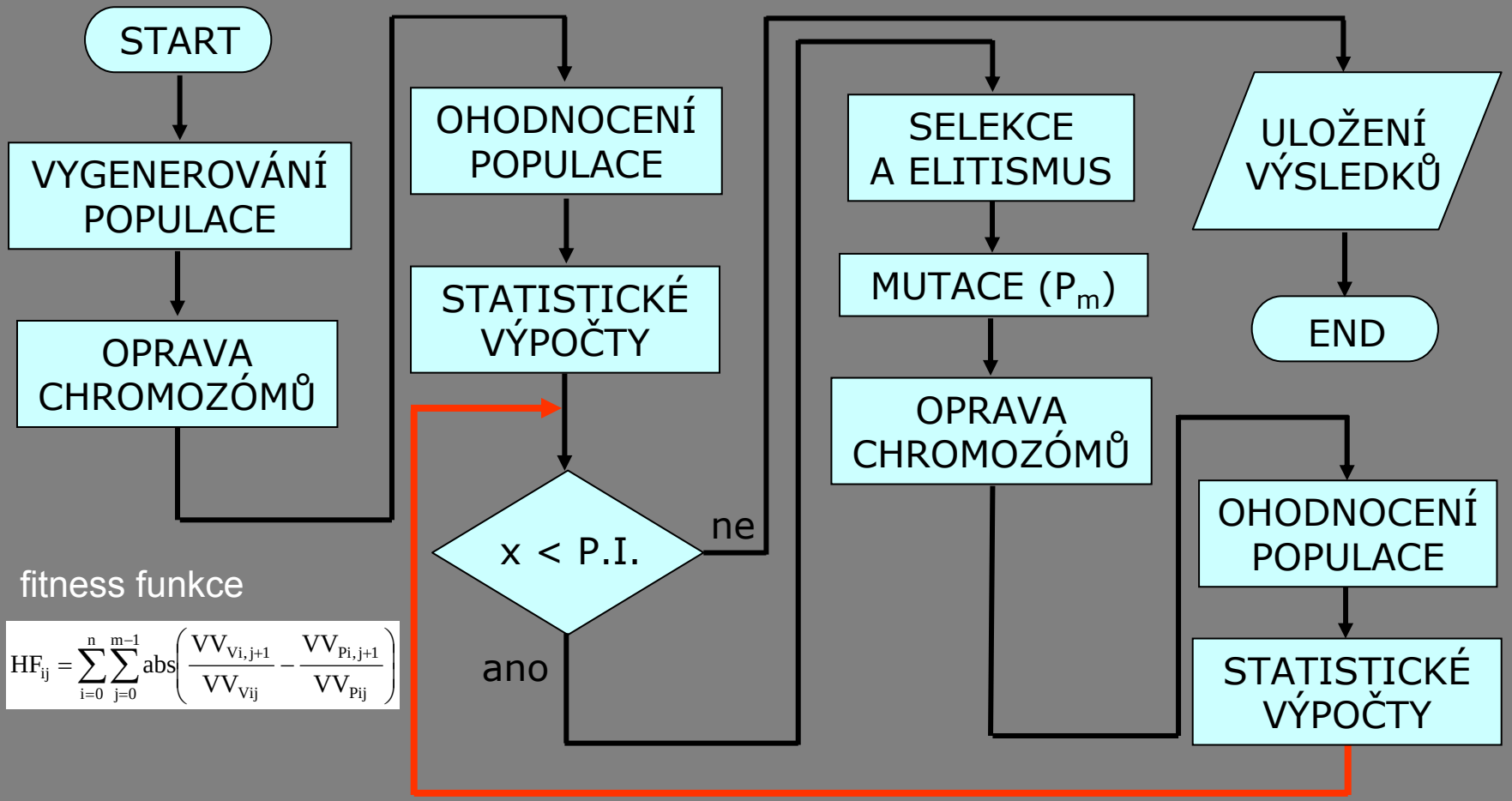
OPTIMALIZACE MAZACÍCH OBVODŮ

- optimalizační programy s GA

- Optimalizace konstrukčních variant progresivních rozdělovačů ZP-A, ZP-B (Delimon)
  - rozdělovače s libovolným počtem sekcí
  - zadání požadavků
    počet sekcí, poměr dělení maziva (cm^3/cyklus)
- Optimalizace mazacích obvodů s progresivními rozdělovači ZP-A, ZP-B (Delimon)
  - návaznost na předchozí program
  - celková optimalizace mazacího obvodu
  - zahrnutí fyzikálních vlastnosti maziva
  - optimalizace z více hledisek (technické, ekologické, ekonomické)

OPTIMALIZAČNÍ PROGRAM – č. 1

- algoritmus programu



ústav konstruování

OPTIMALIZAČNÍ PROGRAM – č. 1

- zakódování struktury rozdělovačů ZP-A, ZP-B (chromozóm)

- Objektově orient. platforma JAVA, Netbeans IDE 5.0
- Struktura programu (1 třída)

6 číslic 6 číslic

1. sekce ··· i-tá sekce

A_S B_S C_S D_S E_S F_S A_S B_S C_S D_S E_S F_S

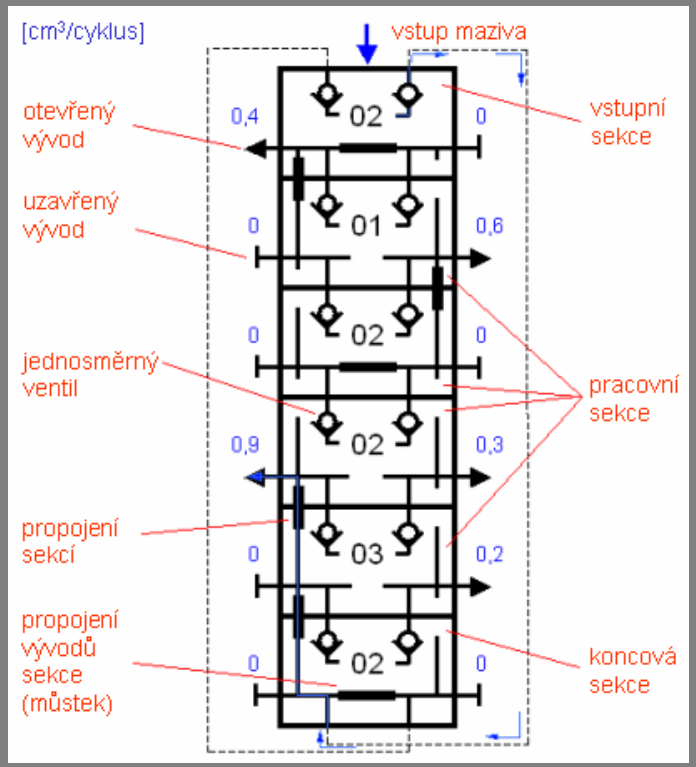
6 číslic

n-tá sekce

A_S B_S C_S D_S E_S F_S

Σ = 36 číslic

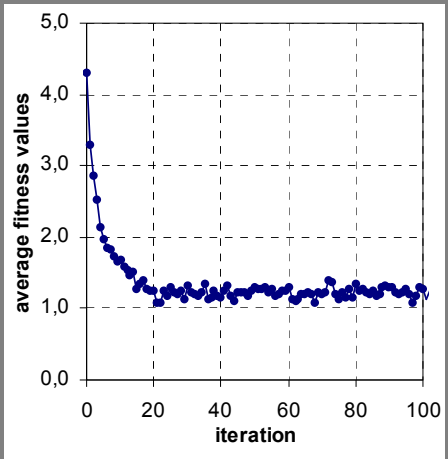
Gene	Gene interpretation
A_s	section size (1 = 0,07; 2 = 0,1; 3 = 0,2; 4 = 0,3 cm^3/per piston stroke)
B_s	outlet port connection – bridge (0 = no, 1 = yes)
C_s	trough canal connection – left side (0 = no, 1 = yes)
D_s	trough canal connection – right side (0 = no, 1 = yes)
E_s	left section outlet (0 = closed, 1 = open)
F_s	right section outlet (0 = closed, 1 = open)



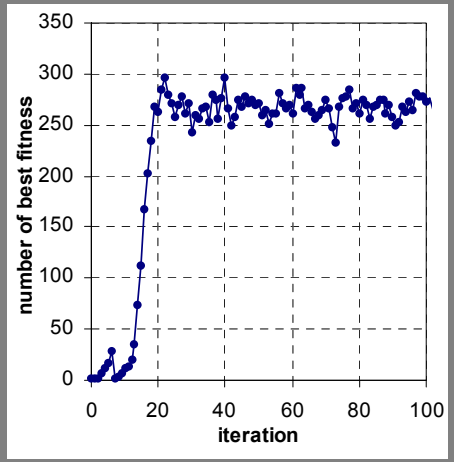
311010 200101 310000 301011 401001 310000

OPTIMALIZAČNÍ PROGRAM – č. 1

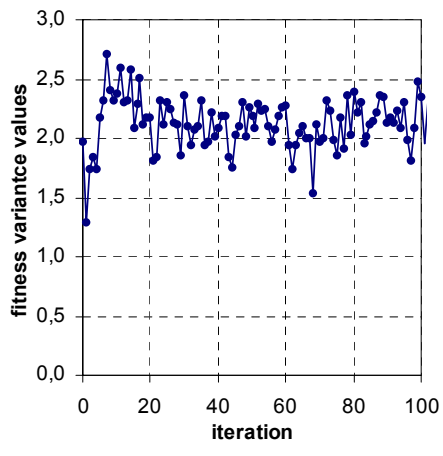
- výsledky (6-ti sekční ZP-A rozdělovač, 6 otevřených vývodů)



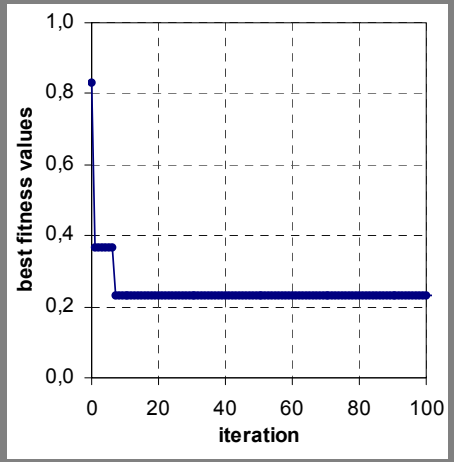
průměrná hodnota fitness v populaci
500 jedinců
200 iterací
P_m = 1/30
selekce t = 3



počet nejlepších jedinců z celkové populace
500 jedinců
200 iterací
P_m = 1/30
selekce t = 3



rozptyl fitness v populaci
500 jedinců
200 iterací
P_m = 1/30
selekce t = 3

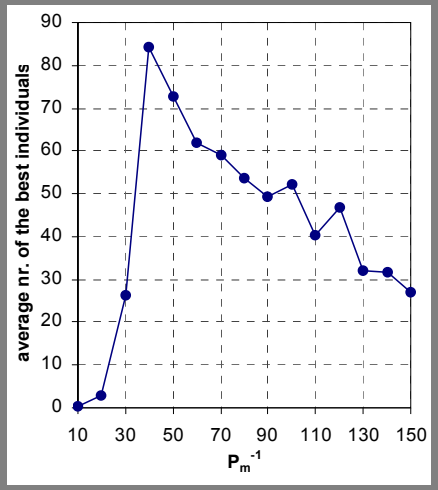


nejlepší hodnota fitness v populaci
500 jedinců
200 iterací
P_m = 1/30
selekce t = 3

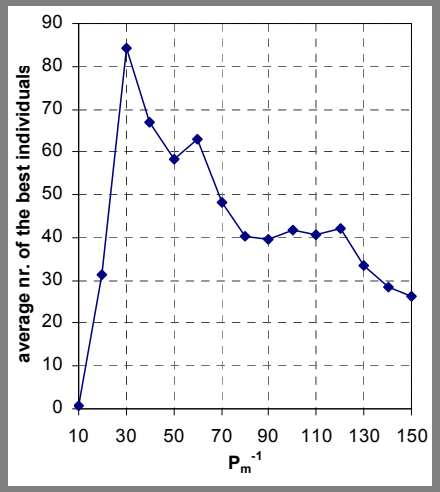
[Vepřek, 2008]

OPTIMALIZAČNÍ PROGRAM – č. 1

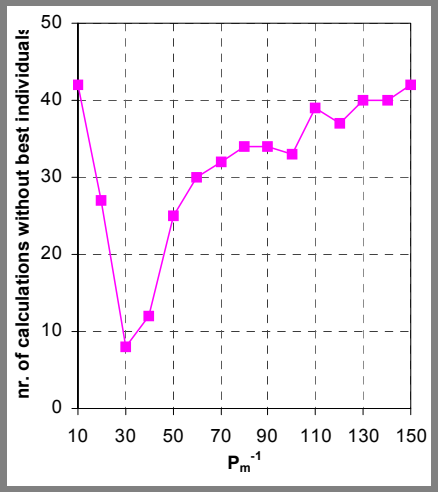
- volba parametrů GA



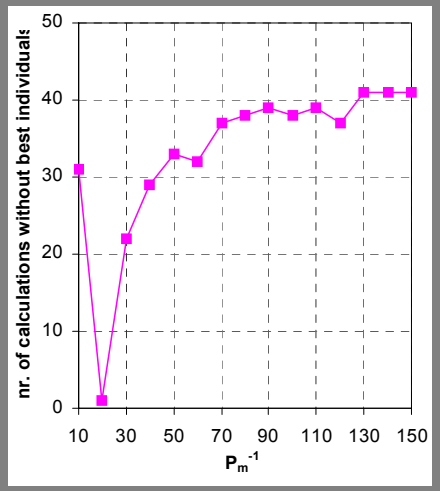
průměrný počet nejlepších jedinců v populaci
500 jedinců
200 iterací
selekce t = 2
P_m = 1/10-1/150



počet nejlepších jedinců z celkové populace
500 jedinců
200 iterací
selekce t = 3
P_m = 1/10-1/150



počet výpočtů bez nejlepších jedinců
500 jedinců
200 iterací
selekce t = 2
P_m = 1/10-1/150



nejlepší hodnota fitness v populaci
500 jedinců
200 iterací
selekce t = 3
P_m = 1/10-1/150

[Vepřek, 2008]

OPTIMALIZAČNÍ PROGRAM – č. 2

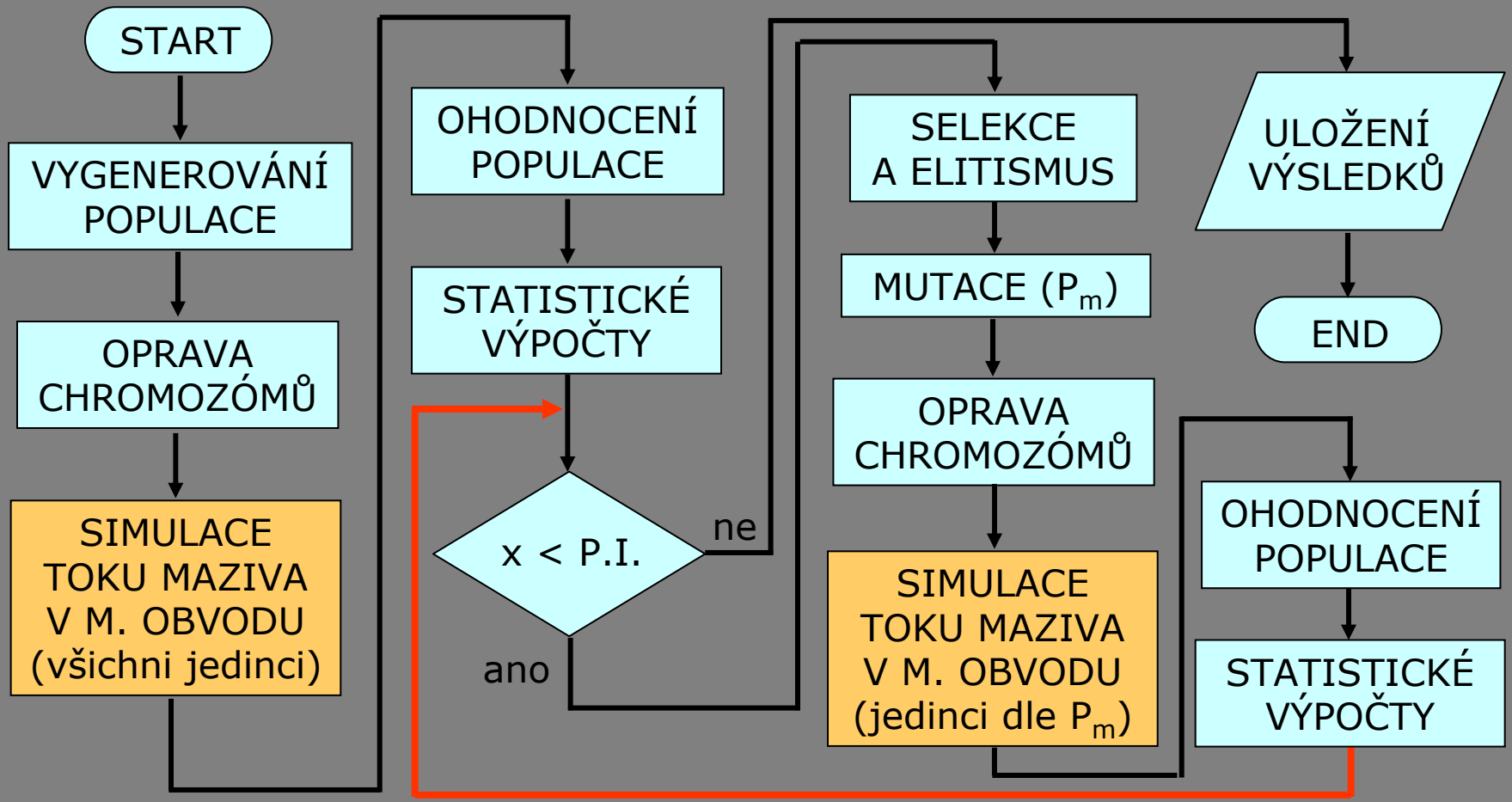
struktura a popis programu

- Objektově orient. platforma JAVA, Netbeans IDE 5.5
- Struktura programu (8 tříd)
  - Spusteni.java → řízení programu (metoda main())
  - Generator.java
  - Oprava.java
  - Fitness.java
  - Statistika.java
  - Selekce.java
  - Mutace.java

  → genetický algoritmus (jádro programu)
  - Simulace.java → numerický model reol. r., Lax Vendroff

OPTIMALIZAČNÍ PROGRAM – č. 2

- algoritmus programu



OPTIMALIZAČNÍ PROGRAM – č. 2

- zakódování struktury mazacího obvodu (chromozóm)

108 číslic (0-1) a (1-4)	9 číslic (0-1)	48 číslic (0-1)
progresivní rozdělovače	potrubí od hl. rozdělovače	potrubí od vedl. rozdělovačů
I A B C	materiál, délka, průměr	materiál, délka, průměr

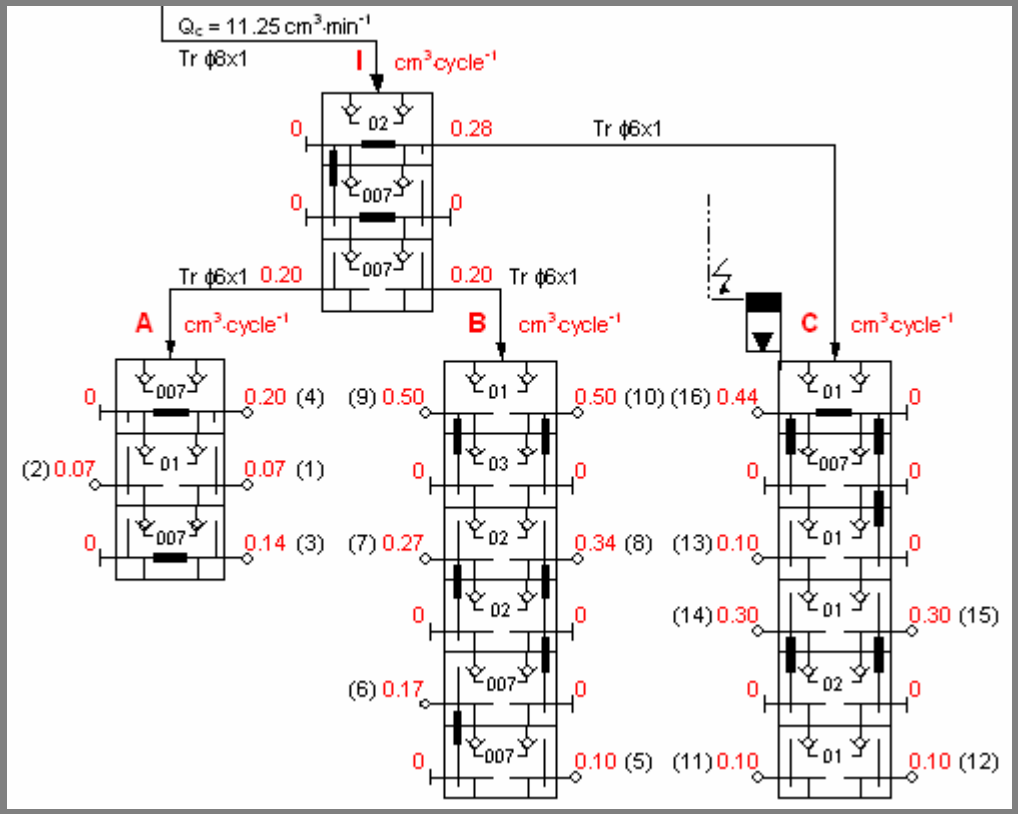
3 číslice (1-3)

hierarchie mazacího obvodu

I – A, I – B, I – C

celkový počet číslic: Σ = 168

I	3 sekce, 3 vývody
A	3 sekce, 4 vývody
B	6 sekcí, 6 vývodů
C	6 sekcí, 6 vývodů
materiál	1 typ
průměr	2 možnosti
délka	2 možnosti



ústav konstruování

POSTUP NÁVRHU MAZACÍHO OBVODU

- standardní řešení bez použití programu

- požadavky mazacích míst (cm^3/pracovní cyklus mazacího obvodu)
- určení variant rozdělovačů ZP-A, ZP-B
- stanovení nejmenšího počtu pracovních cyklů vedlejších rozdělovačů
- zaokrouhlení počtu cyklů nahoru

[Vepřek, 2008]

lub. point / lub. group	distributor	lubricant volume (cm^3)						number of cycle (-)		
		requirement		program/calculation				min.		real
		w. period		cycle		min. cycle				
		LP	Σ	LP	Σ	LP	Σ	LP	round	calculation and rounding
1	A	0.70	5.00	0.07	0.48	0.84	5.76	10.00	12	> 12
2		0.80		0.07		0.84		11.43		
3		1.50		0.14		1.68		10.71		
4		2.00		0.20		2.40		10.00		
5	B	0.30	5.00	0.10	1.88	0.30	5.64	3.00	3	> 3
6		0.50		0.17		0.51		2.94		
7		0.70		0.27		0.81		2.59		
8		0.90		0.34		1.02		2.65		
9		1.30		0.50		1.50		2.60		
10		1.30		0.50		1.50		2.60		
11	C	0.50	7.10	0.10	1.34	0.60	8.04	5.00	6	(8.12/8.04) * 6 = 6.06 ↓ 7
12		0.50		0.10		0.60		5.00		
13		0.50		0.10		0.60		5.00		
14		1.60		0.30		1.80		5.33		
15		1.60		0.30		1.80		5.33		
16		2.40		0.44		2.64		5.45		
A	I	5.00	17.10	0.20	0.68	5.80	19.72	28.80	29	> 29
B		5.00		0.20		5.80		28.20		
C		7.10		0.28		8.12		28.71		

PUBLIKAČNÍ ČINNOST

- odborné časopisy, konference

publikace za rok 2008

[1] Design of Progressive Distributors in Centralized Lubrication Systems by Genetic Algorithms. Jiří Vepřek. Hydraulika i Pneumatyka. Wroclaw. 2008. Poland. (potvrzeno)

[2] Determinig Genetic Algorithm Operators in the Program for Optimisation of Progressive Distributors. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Soft Computing Applied in Computer and Economic Environment*. Kunovice, 2008. Jiří Vepřek.

připravované publikace

[3] Numerical Simulation of Grease Flow in Lines of Lubrication Systems.

[4] Design of Centralized Lubrication Systems with Progressive Distributors by Genetic Algorithms.

ZÁVĚR

pokračování v řešení cílů disertační práce

- Dokončení tvorby numerického modelu
  tok plastického maziva v trubicích mazacího obvodu
- Experimentální stanovení rychlosti zvuku v plastickém mazivu
- Tvorba optimalizačního programu
  optimalizace mazacích obvodů s progresivními rozdělovači pomocí GA
- Publikace