



DIPLOMOVÁ PRÁCE
OPTIMALIZACE MECHANICKÝCH
VLASTNOSTÍ MECHANISMU TETRASPHERE

Vypracoval: Jaroslav Štorkán

Vedoucí práce: prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.

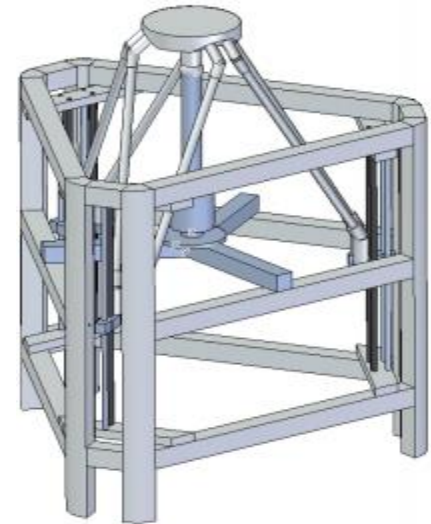
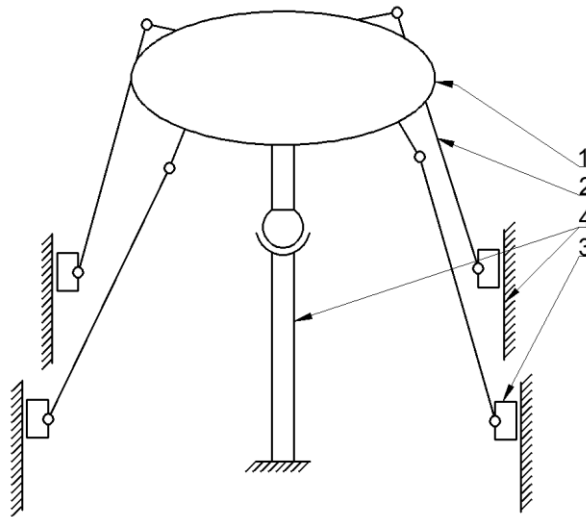
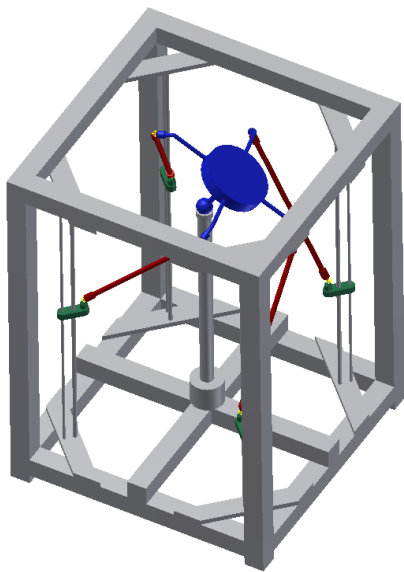
CÍLE PRÁCE

- Sestavit programy pro kinematické, dynamické a elastostatické analýzy mechanismu TetraSphere
- Na základě těchto analýz provést vícekriteriální optimalizaci mechanismu pomocí genetických algoritmů
- Pokusit se nalézt Pareto množinu mechanických vlastností mechanismu z výsledků optimalizace
- Nalézt jedno optimální řešení a určit jeho mechanické vlastnosti



MECHANISMUS TETRASPHERE

- Sférický mechanismus
- Paralelní kinematická struktura, redundantní pohony
- Pracovní prostor: naklopení o 100° do lib. směru



UVAŽOVANÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI

- Pracovní prostor – základní předpoklad
- Dexterita – kinematické vlastnosti a přenos sil v tuhém mechanismu
- Globální dynamika – dosažitelné zrychlení a rychlosti
- Tuhost – deformace a přenos sil v poddajném mechanismu
- Modální vlastnosti – vlastní frekvence, vlastní tvary, ovlivnění zpětnovazebního řízení



DEXTERITA

- Schopnost efektivně přenést síly z pohonů na platformu
- Odhalení singulárních poloh
- Hodnoty jsou přiřazeny polohám

- Nalezení převodů mezi pohony a nezávislými souřadnicemi v maticovém tvaru
- Dexterita definována jako převrácená hodnota podmíněnosti převodové matice

$$\mathbf{S}_{12} = \mathbf{S}_{\varphi z}(\psi)\mathbf{S}_{\varphi x}(\theta)\mathbf{S}_{\varphi z}(\varphi)$$

$${}^1\mathbf{v}_{p_i} = -\mathbf{S}_{12} {}^2\hat{\mathbf{r}}_{2p_i} {}^2\boldsymbol{\omega}_{12}$$

$${}^1\mathbf{r}_{1n_i}^T ({}^1\mathbf{v}_{p_i} - {}^1\mathbf{v}_{v_i}) = 0$$

$${}^1\mathbf{v}_{v_i} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \dot{z}_i$$

$$\mathbf{J}_q {}^2\boldsymbol{\omega}_{12} + \mathbf{J}_z \dot{\mathbf{z}} = 0$$

$$\mathbf{J} = \mathbf{J}_z^{-1} \mathbf{J}_q$$

$$D = \frac{1}{\text{cond}(\mathbf{J})}$$



GLOBALNÍ DYNAMIKA

- Hledání maximálních dosažitelných zrychlení
- Výpočet vztažen ke trajektorii
- Zrychlení závisí na poloze a rychlosti na trajektorii
- Vychází se z inverzní dynamiky
- Předpoklad že $r+1$ pohonů dosahuje limitního momentu

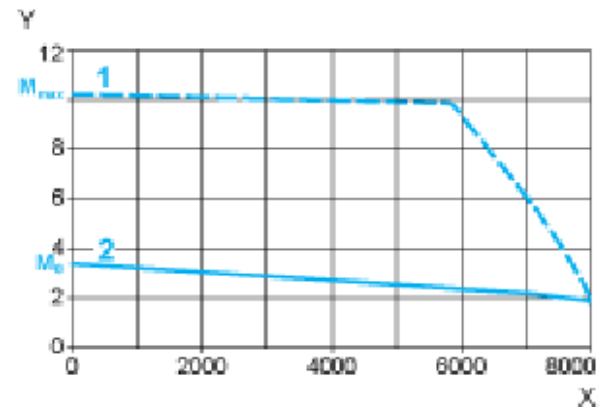
$$\theta = \theta(p) \quad \dot{\theta} = \frac{\partial \theta}{\partial p} d_1$$

$$\ddot{\theta} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial p^2} d_1^2 + \frac{\partial \theta}{\partial p} d_2$$

$$M\ddot{\theta} - \Phi^T \lambda = g + Tn$$

$$[\Phi^T \quad T] \begin{bmatrix} \lambda \\ n \end{bmatrix} = M\ddot{\theta} - g$$

$$n = Ad_1^2 + Bd_1 + C + Dd_2 + V_{red}y_{red}$$

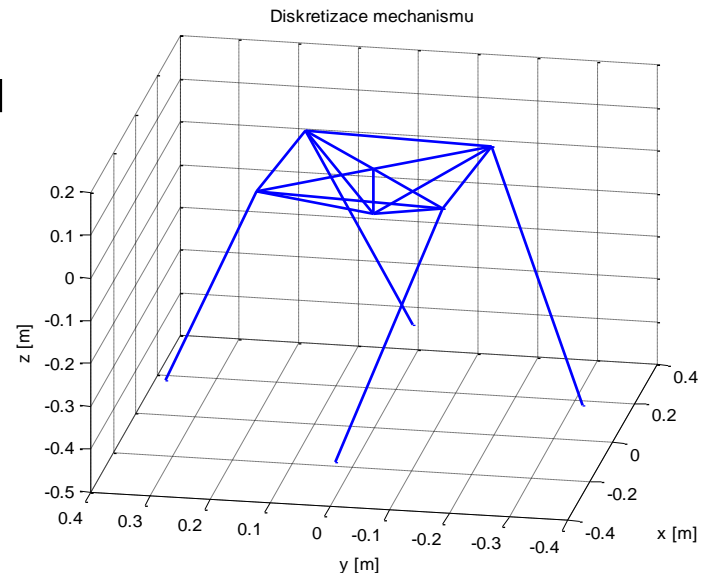


TUHOST

- Určení deformací od působících silových účinků
- Předpokládá poddajná tělesa
- Diskretizace mechanismu prutovou soustavou
- Pruty přenášení tah/tlak jsou spojeny sférickými klouby
- Rám uvažován jako tuhý
- Využito MKP algoritmů

$$K^e = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c_x c_x & c_y c_x & c_z c_x & -c_x c_x & -c_y c_x & -c_z c_x \\ c_x c_y & c_y c_y & c_z c_y & -c_x c_y & -c_y c_y & -c_z c_y \\ c_x c_z & c_y c_z & c_z c_z & -c_x c_z & -c_y c_z & -c_z c_z \\ -c_x c_x & -c_y c_x & -c_z c_x & c_x c_x & c_y c_x & c_z c_x \\ -c_x c_y & -c_y c_y & -c_z c_y & c_x c_y & c_y c_y & c_z c_y \\ -c_x c_z & -c_y c_z & -c_z c_z & c_x c_z & c_y c_z & c_z c_z \end{bmatrix}$$

$$K\Delta = F$$



MODÁLNÍ ANALÝZA

- Hledání vlastních frekvencí a tvarů kmitu
- Uvažuje kombinaci vlivů hmotnosti – setrvačné síly tuhosti – elastické síly
- Vychází z výpočtu tuhosti, využívá stejnou prutovou soustavu a MKP přístup
- Vyhodnocuje se nejnižší vlastní frekvence

$$\mathbf{M}\ddot{\Delta} + \mathbf{K}\Delta = \mathbf{0}$$

$$(\mathbf{M}\lambda^2 + \mathbf{K})\mathbf{u} = \mathbf{0}$$

$$\det(\mathbf{M}\lambda^2 + \mathbf{K}) = 0$$

$$\omega = -i\lambda$$



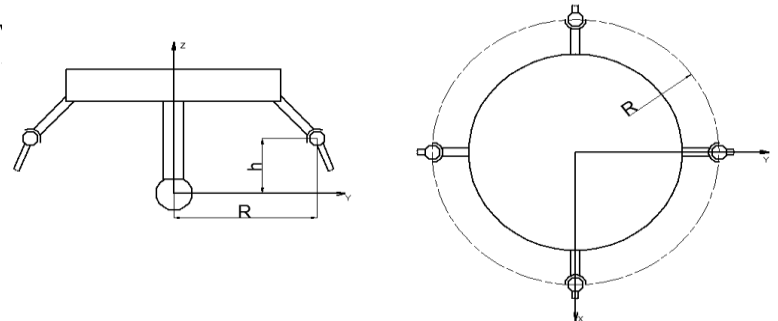
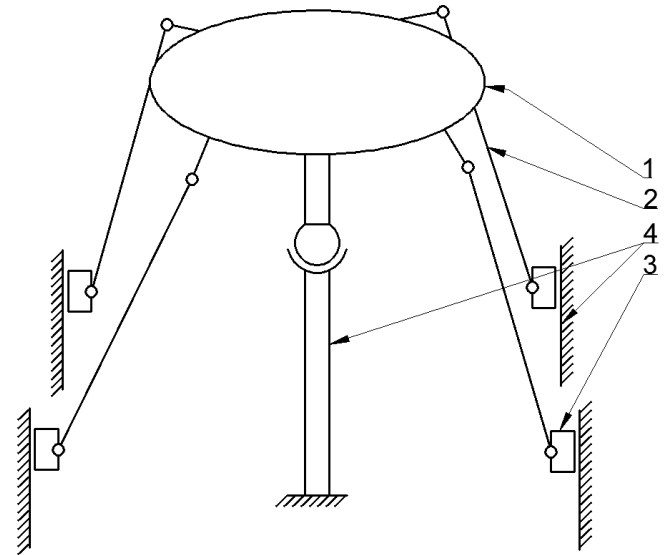
OPTIMALIZACE

- Návrh optimalizačních parametrů
- Volba kritérií
- Optimalizační metoda
- Zpracování výsledků



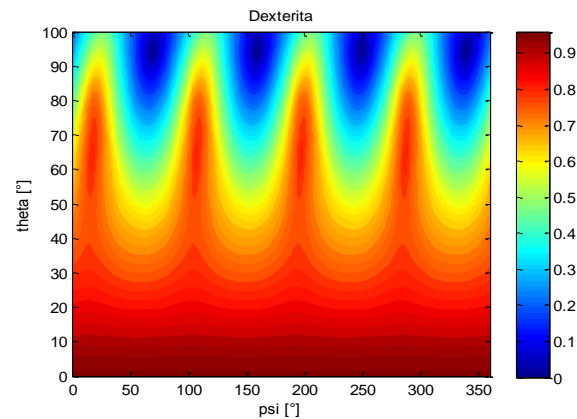
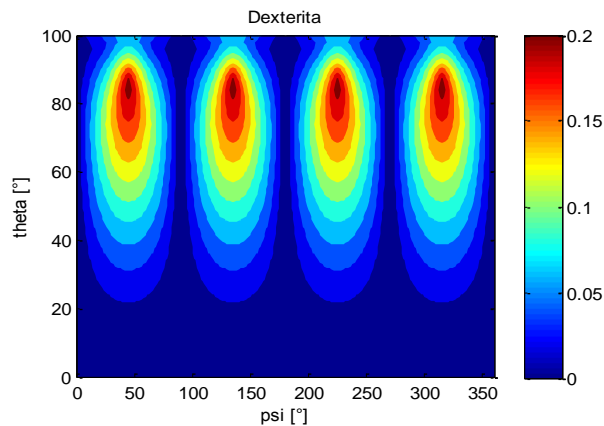
OPTIMALIZAČNÍ PARAMETRY

- Uvažuje se rotační symetrie
- Vzdálenost vozíků od globální osy z je pevná
- Optimalizační parametry:
 - R – vzdálenost vazeb mezi platformou a nohami a osou z platformy
 - h – vzdálenost vazeb mezi platformou a nohami a rovinou x' platformy
 - L – délka nohou
 - A_nohy – průřez nohou
 - A_stopky – průřez stopky
 - k1, k2, k3 – koeficienty závislosti řízení orientace $\varphi = f(\psi, \theta)$



NADBYTEČNÝ STUPEŇ VOLNOSTI

- Poslední Eulerův úhel (úhel rotace) nemá vliv na orientaci normály platformy v prostoru
- Možnosti volby:
 - Nejčastější řešení: $\varphi = -\psi$
 - Modifikace pro TetraSphere: $\varphi = -\psi + konst.$
 - Zobecnění modifikace: $\varphi = -\psi + k_1\theta^4 + k_2\theta^2 + k_3$



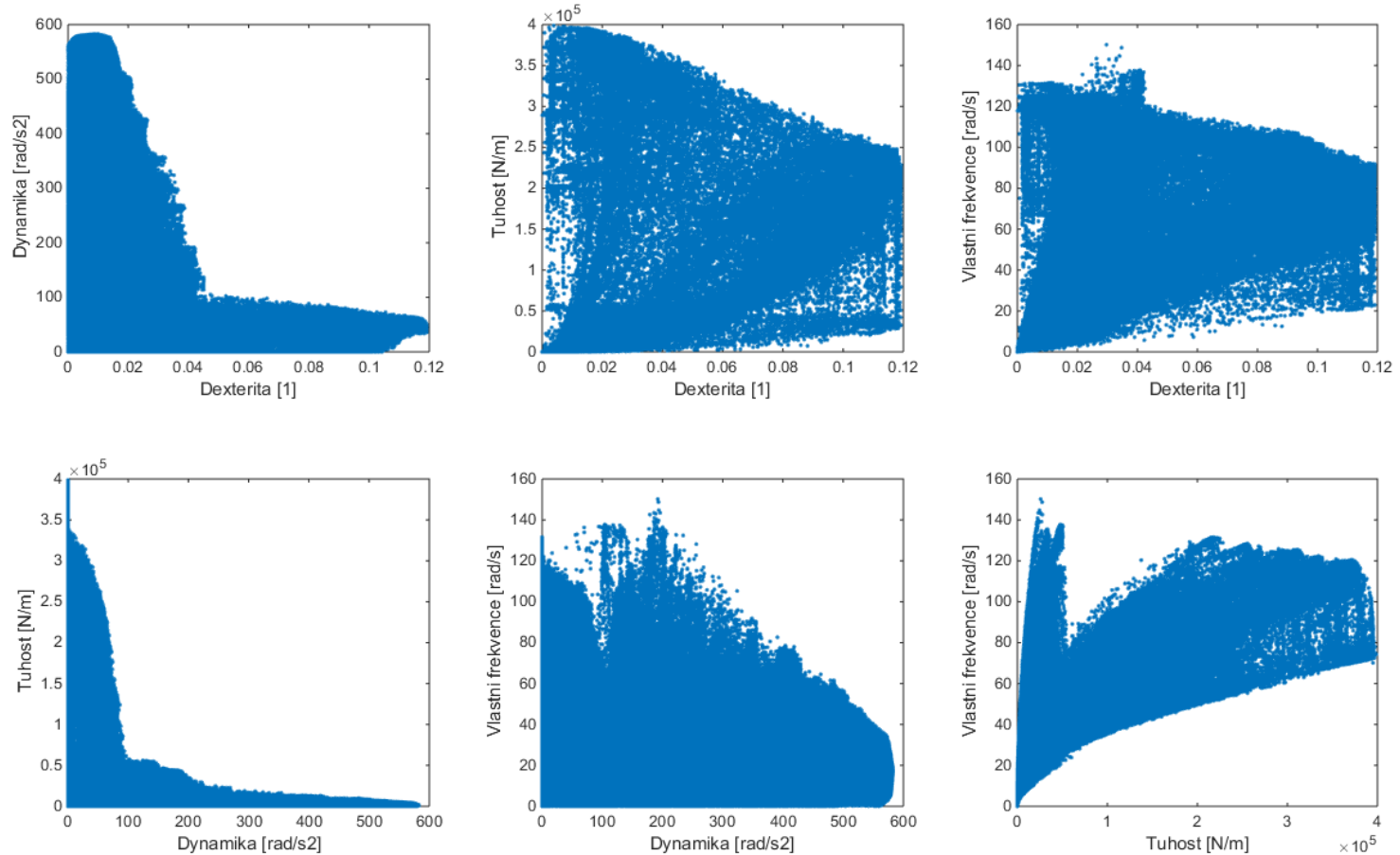
OPTIMALIZAČNÍ METODA - CÍLOVÁ FUNKCE

- Byly využity genetické algoritmy (program GAOT)
- Cílová funkce se maximalizuje
- 600 generací 10 jedinců v generaci
- Cílová funkce byla vážený součet minimální dexterity, dynamiky, tuhosti a vlastní frekvence v pracovním prostoru
- Váhové koeficienty se variují
- K cílové funkci bylo přičteno dodatečné ohodnocení
- Toto ohodnocení zohledňuje rozložení vlastností v pracovním prostoru

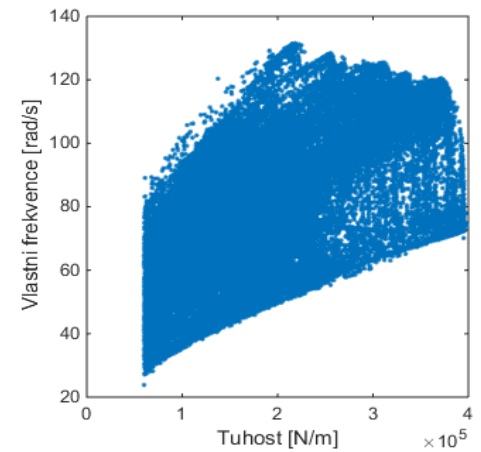
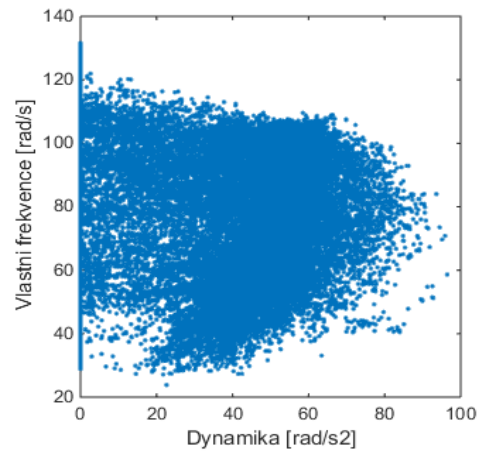
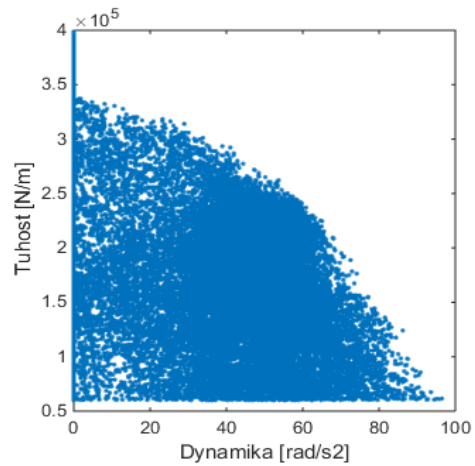
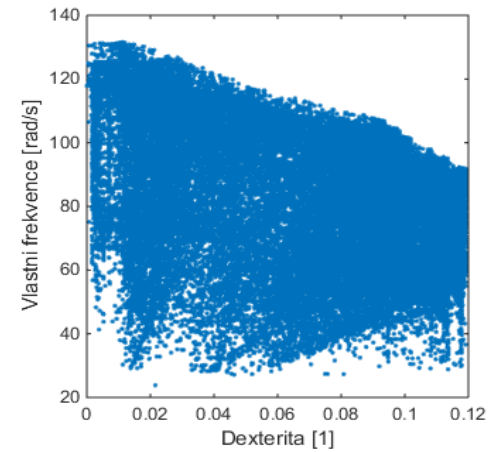
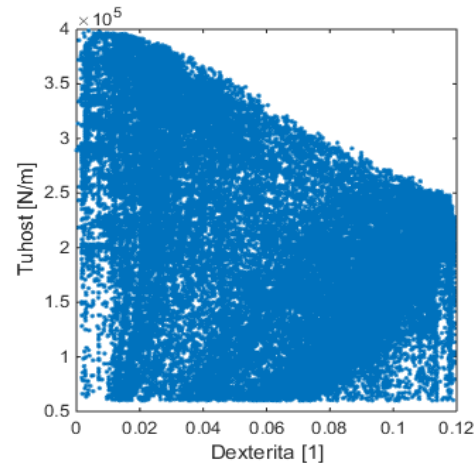
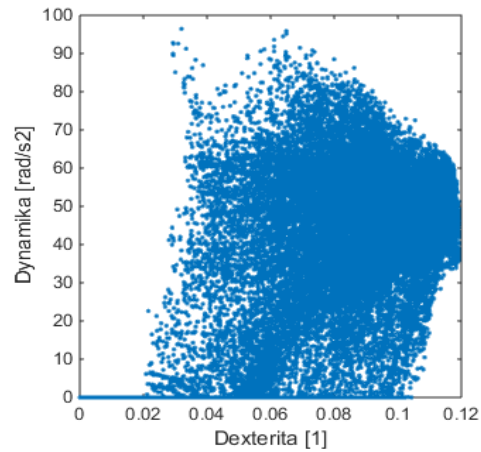
$$CF = v_1 dext_{min} + v_2 dyn_{min} + v_3 tuh_{min} + v_4 omg_{min} + \text{dodatečné_ohodnocení}$$

VÝSLEDKY

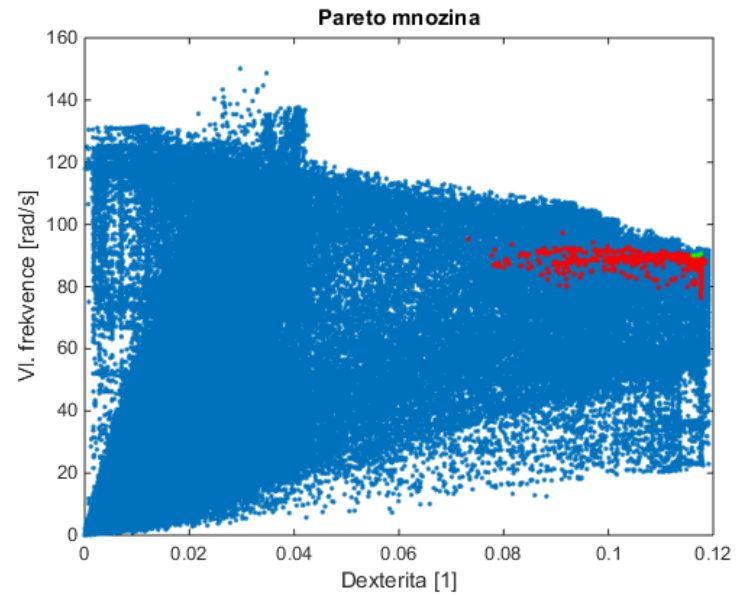
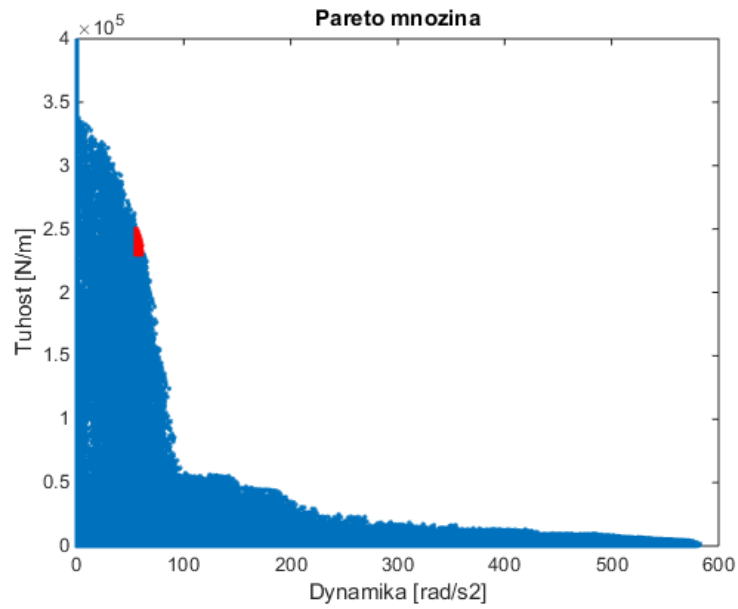
ZOBRAZENÍ JEDINCŮ V PROSTORU KRITÉRIÍ



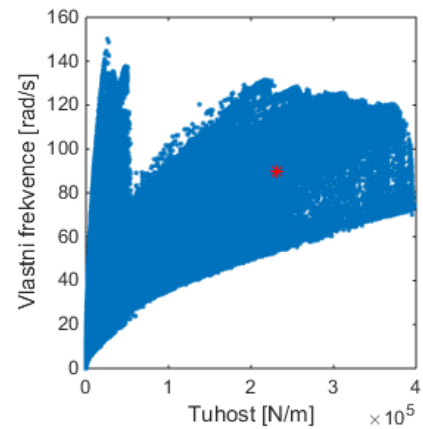
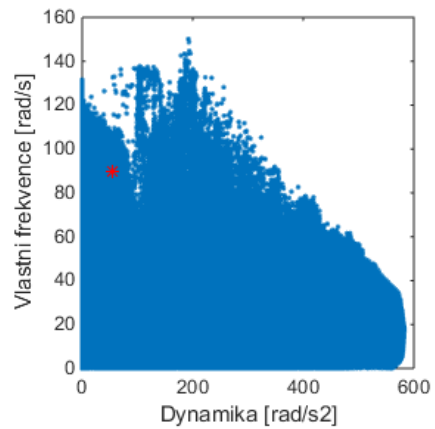
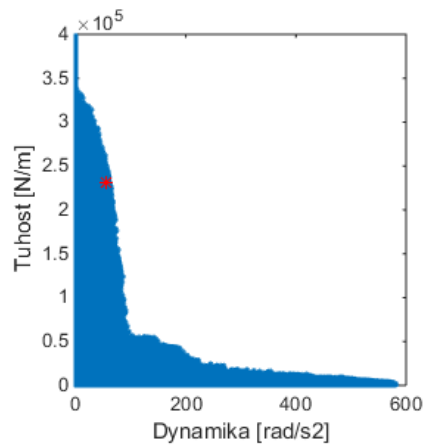
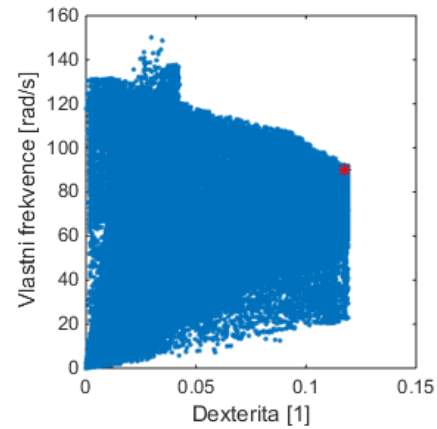
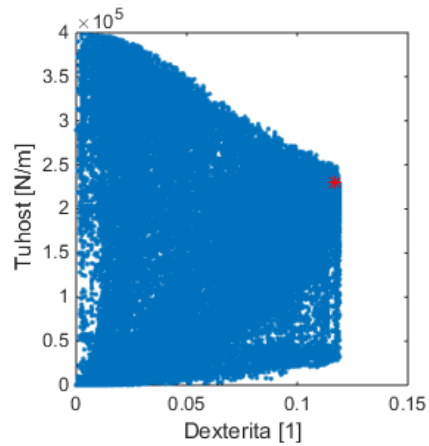
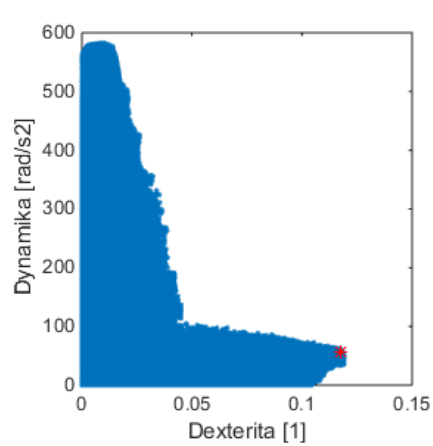
ZOBRAZENÍ VÝZNAMNÉ ČÁSTI PARETO MNOŽINY



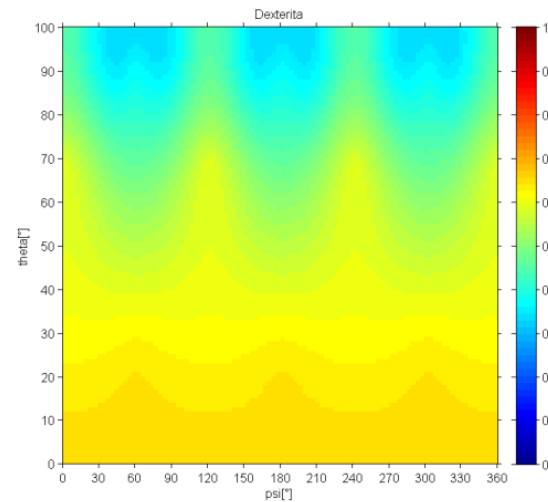
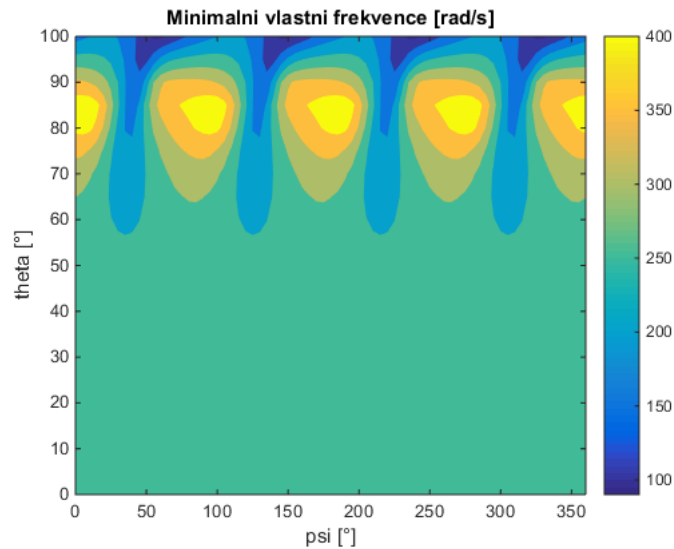
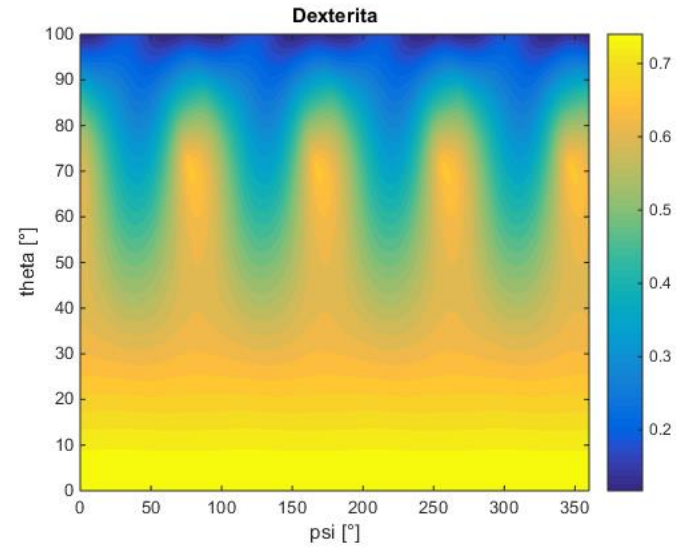
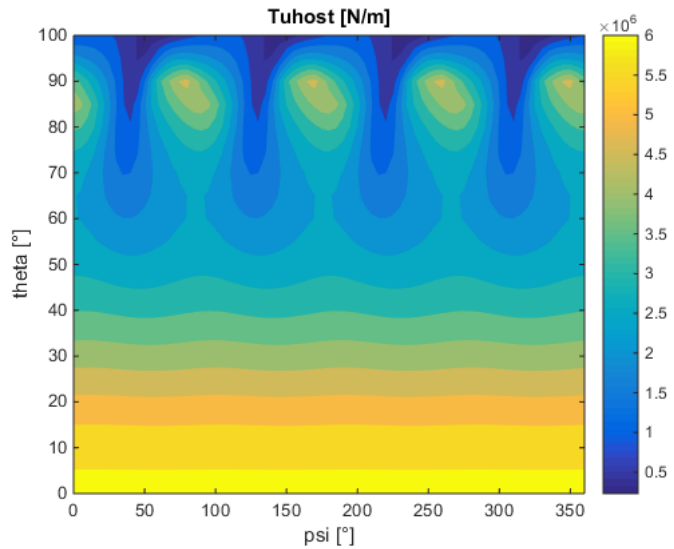
VOLBA OPTIMÁLNÍHO ŘEŠENÍ



VOLBA OPTIMÁLNÍHO ŘEŠENÍ

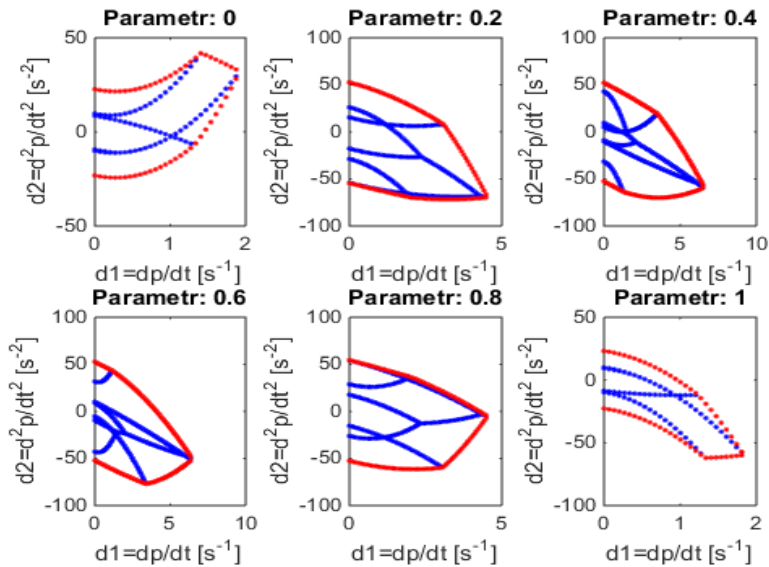


VLASTNOSTI VÝSLEDNÉHO ŘEŠENÍ

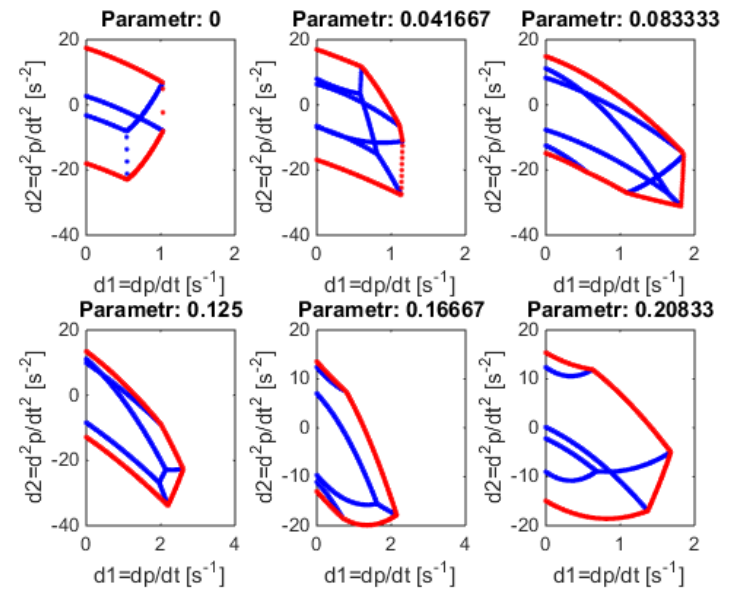


VLASTNOSTI VÝSLEDNÉHO ŘEŠENÍ

Trajektorie s konstantní precesí



Trajektorie s konstantní nutací

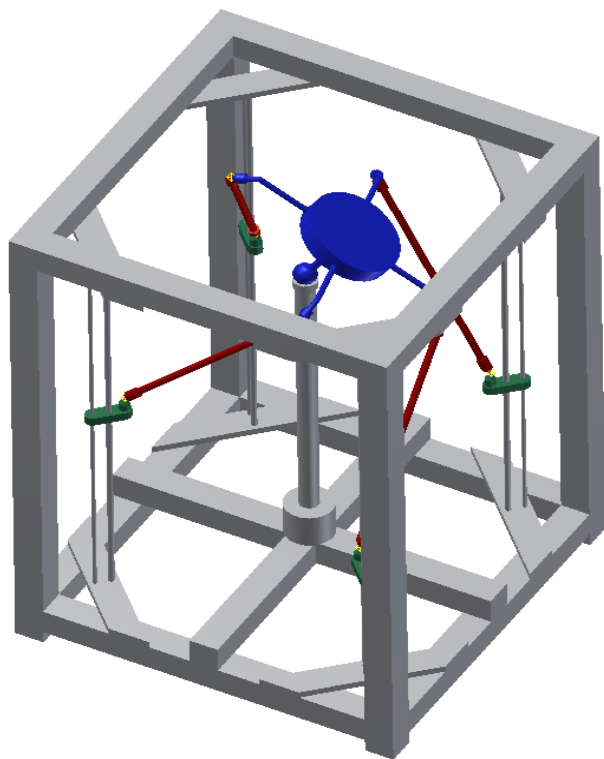


ZÁVĚR

- Cíle diplomové práce naplněny
- Vytvořeny výpočty pro jednotlivá kritéria
- Provedena vícekriteriální optimalizace
- Nalezena Pareto množina
- Vybráno optimální řešení a jeho vlastnosti
- Navíc navržené řízení orientace podáno jako patentová přihláška



DĚKUJI ZA POZORNOST



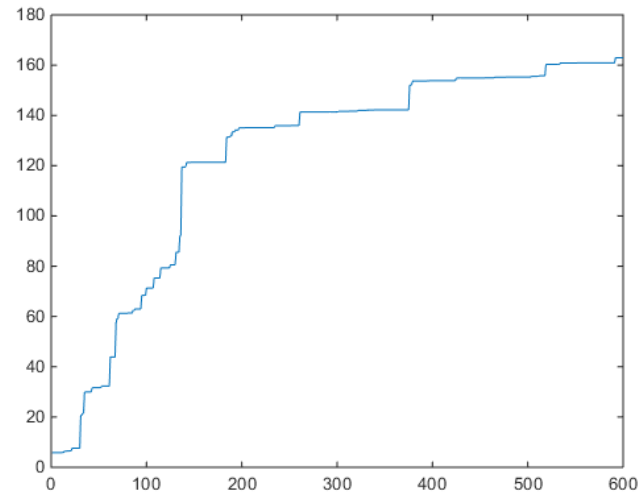
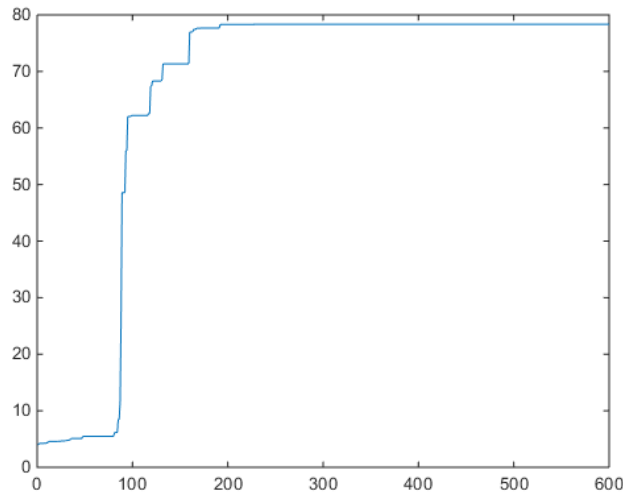
OPTIMALIZACE POLOHOVÁNÍ TŘETÍHO ÚHLU JAKO REDUNDANTNÍHO

- Analyzovaný mechanismus uvažován jako naklápěcí hlava obráběcího stroje
- Pak třetí úhel je redundantní a lze ho užít pro optimalizaci, jak bylo ukázáno
- Pokud předepsány všechny tři úhly, není co optimalizovat
- Nastavení všech tří úhlů pro funkci manipulace nebude optimální pro polohování naklápěcí hlavy



UKÁZKY VÝVOJE CÍLOVÉ FUNKCE V ZÁVISLOSTI NA GENERACI

- Ve většině optimalizací výsledky začaly stagnovat okolo 200 generace (obr. vlevo)
- V některých případech výsledky zjevně nedokonvergovali a bylo by potřeba více generací (obr. vpravo)



VOLBA VÁHOVÝCH KOEFICIENTŮ

- Hodnoty váhových koeficientů:
{0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1}

- Počet kombinací:

$$11^4 = 14\,641$$

- Podmínka součtu váhových koeficientů:

$$\sum_{i=1}^4 v_i = 1$$

- Tuto podmínku splňuje 256 kombinací váhových koeficientů

