

# Vliv poddajnosti pohonů na samobuzené kmitání při obrábění

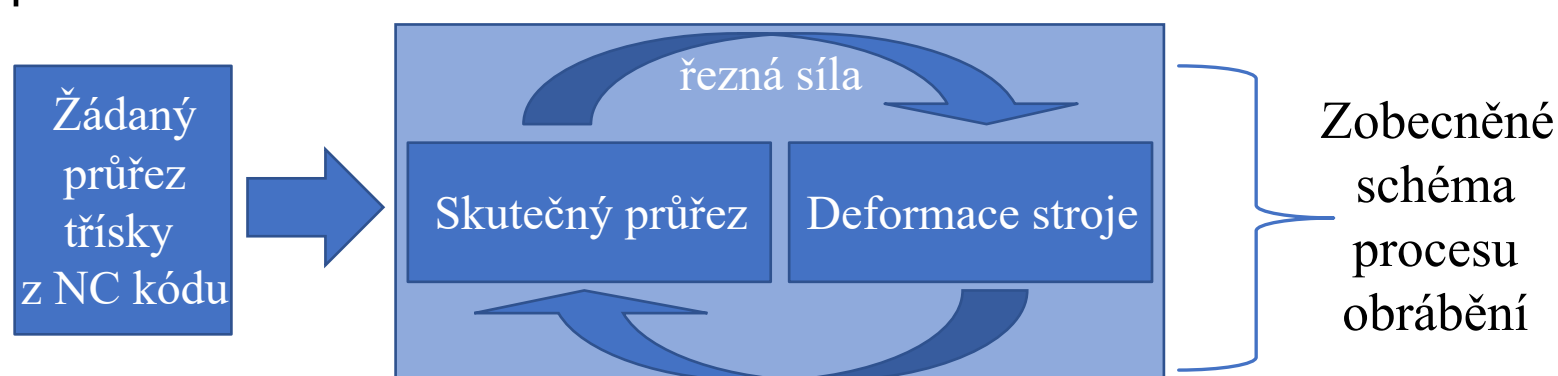
Jan Grau, Pavel Souček, Matěj Sulitka

## Abstrakt

Jsou představeny nově získané poznatky o vlivu nastavení pohonů obráběcích strojů na výslednou stabilitu obráběcího procesu. Hlavní pozornost je věnována dynamické poddajnosti translačních pohybových os strojů. Poznatky o translačních osách jsou využity k citlivostní analýze modelového pohonu. Zohledňují vliv nastavení parametrů řídicího obvodu na výslednou limitní šířku třísky.

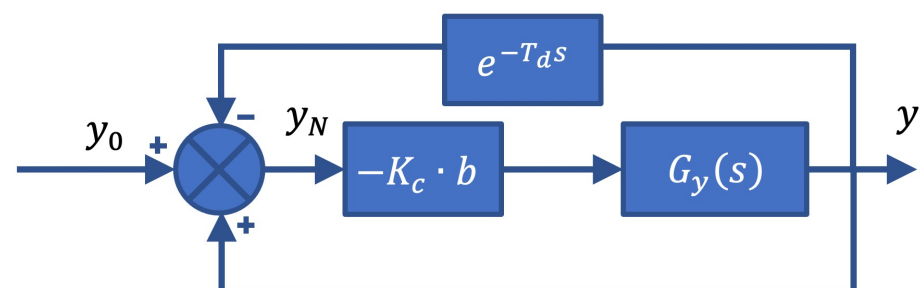
## Samobuzené kmitání

Vznik a působení samobuzeného kmitání (SBK) lze popsat zpětnovazebním obvodem dle obrázku:



Obr. 1: Zpětnovazební popis samobuzeného kmitání

Kritická šířka třísky v případě SBK, kdy dochází k opakovanému obrábění povrchu (zvlněný povrch od předchozího obrábění se superponuje na novou hloubku třísky) je popsána blokovým schématem [1] a následně určena ze vzorce níže.

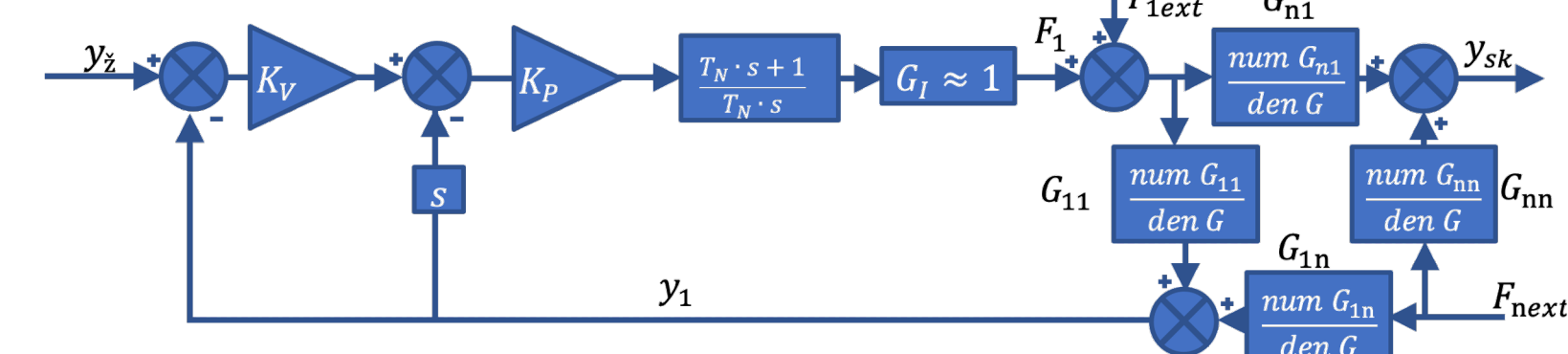


Obr. 2: Zpětnovazební obvod s pevnou časovou vazbou mezi řezy

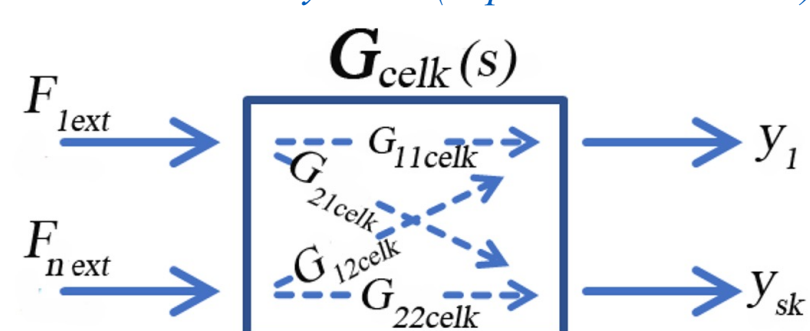
$$b_{krit} = \frac{1}{2K_c |Re G_y(j\omega)|} = fce(\omega)$$

## Propojený model mechaniky a regulace

Jedná se o univerzální studii, která rozšiřuje základní soustavu STROJ – NÁSTROJ – OBROBEK o vliv samotné regulace pohonů. Celý n-hmotový systém pohybové osy s tzv. kaskádní regulací je znázorněn na obr. 3 a obr. 4:



Obr. 3: Kaskádní regulace n-hmotového systému (nepřímé odměřování)



Obr. 4: Grafická interpretace čtyřpólu systému

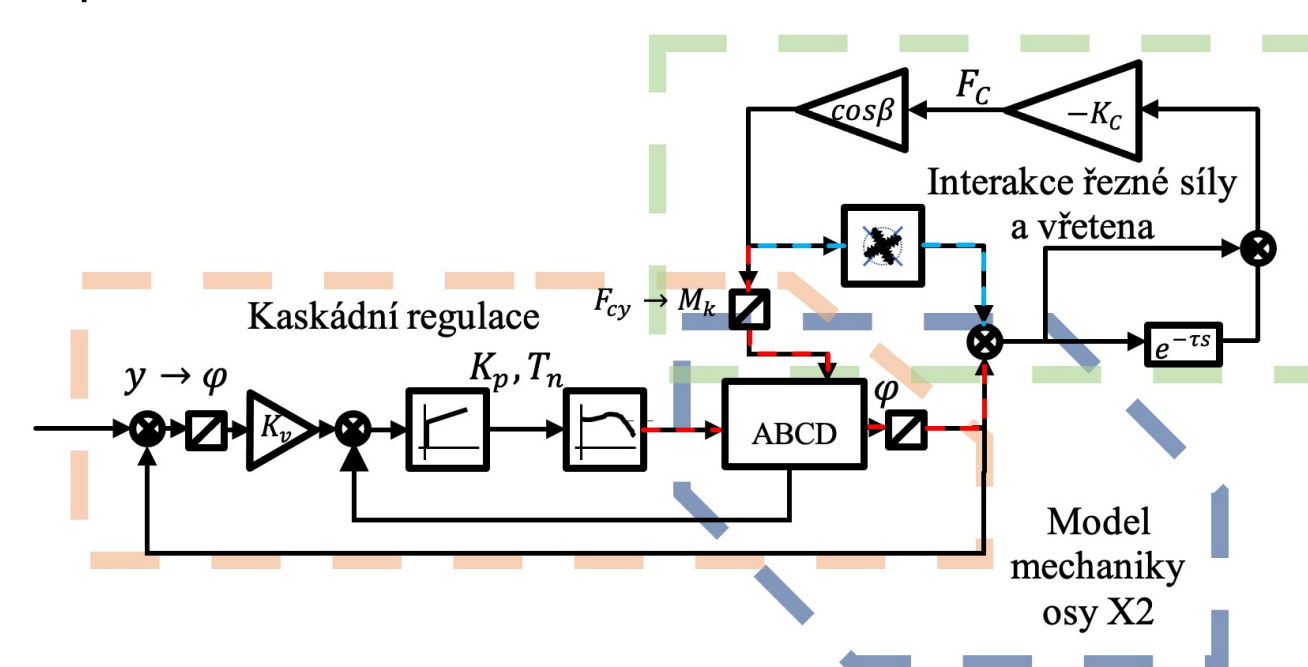
$G_{11} \dots G_{nn}$  jsou prvky matice poddajnosti mechaniky,  $G_{11celk} \dots G_{nncelk}$  jsou prvky matice poddajnosti mechaniky s regulací,  $A_{reg}$  je přenos regulace. Obě matice jsou symetrické.

Tab. 1: Přenosy systému

Nepřímé odměřování	Rovnice celého systému	Dynamická poddajnost
$F_{next} = 0$ $F_1 = -y_1 A_{reg}$	$y_1(s) = G_{11}[-y_1 A_{reg} + F_{1ext}]$	$G_{11CELK}(s) = \frac{y_1}{F_{1ext}} = \frac{G_{11}}{1 + A_{reg} G_{11}}$
	$y_{sk}(s) = G_{n1}[-y_1 A_{reg} + F_{1ext}]$	$G_{12CELK}(s) = \frac{y_{sk}}{F_{1ext}} = \frac{G_{n1}}{1 + A_{reg} G_{11}}$
$F_{1ext} = 0$ $F_1 = -y_1 A_{reg}$	$y_1(s) = -y_1 A_{reg} G_{11} + G_{1n} F_{next}$	$G_{21CELK}(s) = \frac{y_{sk}}{F_{1ext}} = \frac{G_{n1}}{1 + A_{reg} G_{11}}$
	$y_{sk}(s) = -y_1 A_{reg} G_{n1} + G_{nn} F_{next}$	$G_{22CELK}(s) = \frac{y_{sk}}{F_{next}} = \frac{G_{nn}}{G_{nn} + A_{reg}(G_{nn} G_{11} - G_{1n}^2)} = \frac{G_{nn}}{1 + A_{reg} G_{11}}$

## Stabilita středně velkého soustružnického centra

Identifikace náhradního modelu dynamiky pohybové osy středně velkého CNC soustruhu je provedena složením modelů skupiny vřeteníku a nožového suportu.



Obr. 5: Blokové schéma analyzovaného soustruhu

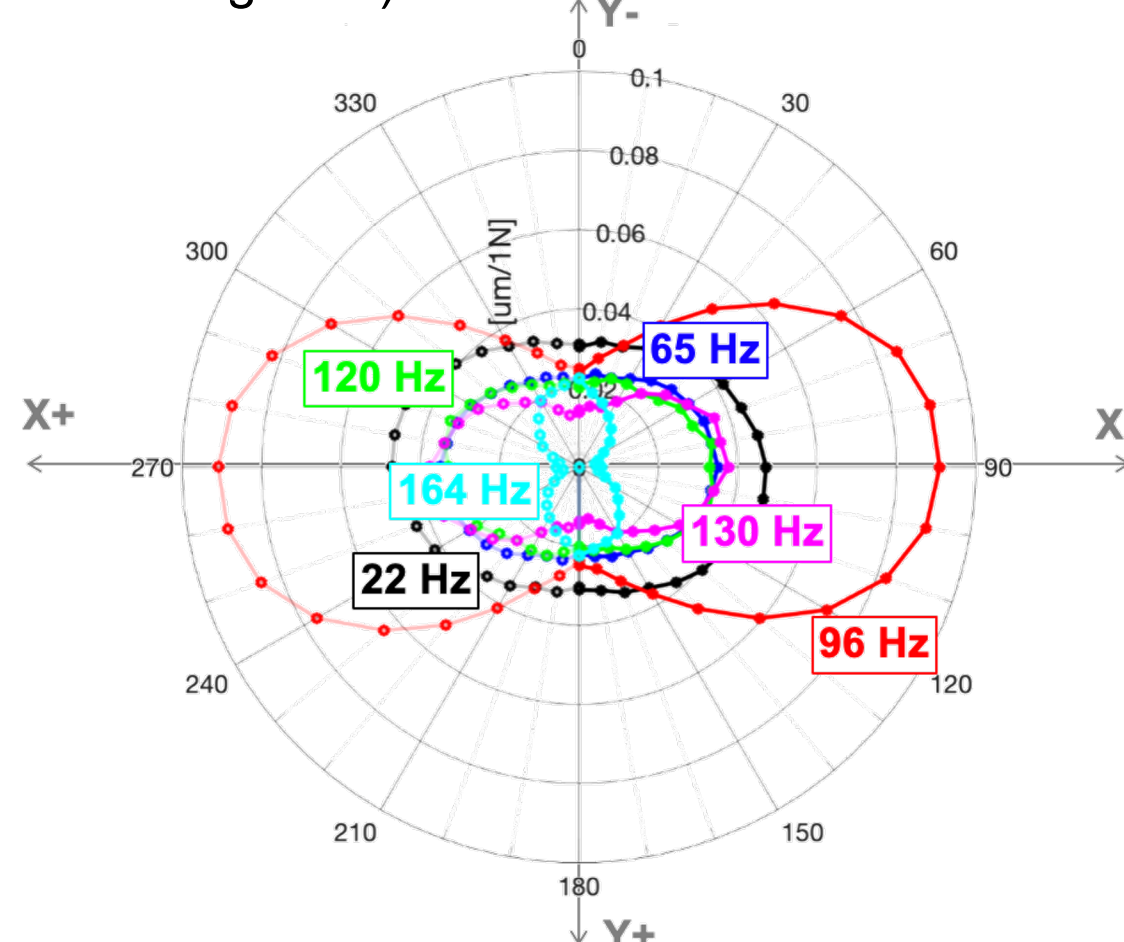
Propojené modely regulace a mechaniky osy X2 a vřetena jsou svázány vzájemnou silovou interakcí, vznikající řezným procesem – řeznou silou [2].

Tab. 2: Hodnoty parametrů regulace posuvové osy X2 soustruhu

	$K_p$ [(m/min)/mm]	$T_n$ [ms]	$K_v$ [Nms/rad]	Limitní tříska [mm]	Poměr lim. třísky [%]
1. SET	7	10	3	23.6	100
2. SET	2	10	1	21.1	89.4
3. SET	1	10	0,5	18.1	76.7
4. SET	5	10	2	23.3	98.7

## Stabilita středně velkého obráběcího centra

Náhradní model dynamiky stroje je sestaven z modelu křížového stolu (osy X, Y) a modelu vřetena (měřením polárního diagramu).



Obr. 8: Polární diagram dynamické poddajnosti vřetena

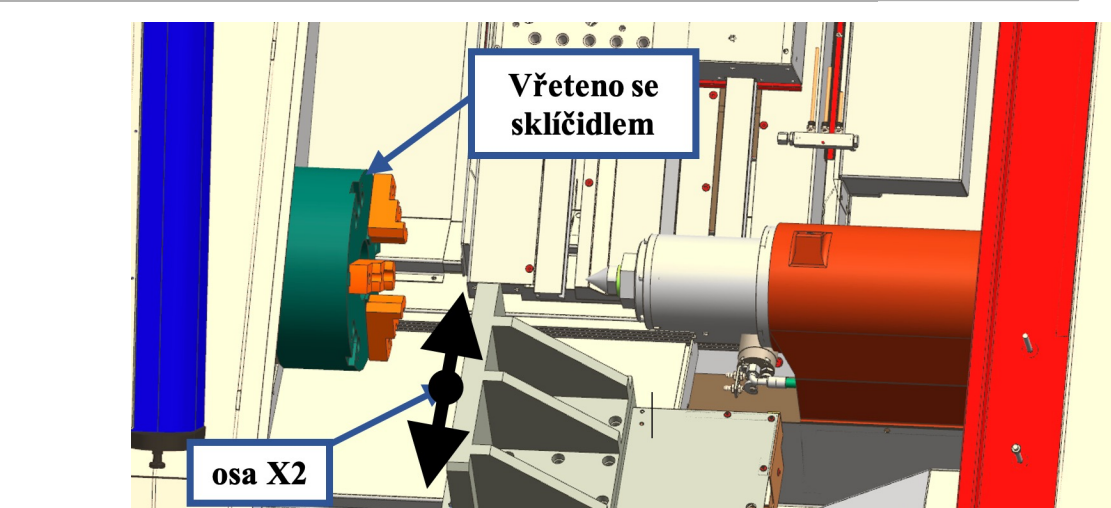
Osa X stroje je modelována jako jednohmotový regulační systém, osa Y jako dvouhmotový. Vřeteno je uvažováno jako hmota, které je umožněn rovinný pohyb v rovině shodné s rovinou stolu. Propojením obou skupin byl sestaven model popisující chování stroje [3].

Tab. 3: Hodnoty parametrů regulace a kritické šířky třísky

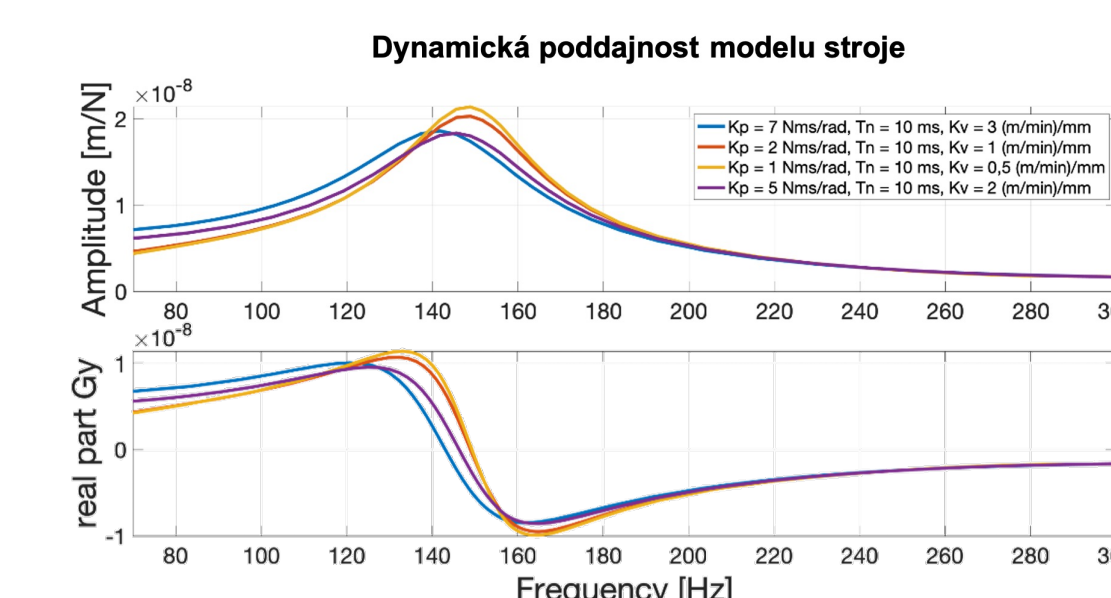
	$K_V X$ a $K_V Y$	$b_{krit}$	poměr
1. SET	1 (m/min)/mm	9,2 mm	109,5 %
2. SET	4 (m/min)/mm	8,4 mm	100 %
3. SET	5 (m/min)/mm	8,25 mm	98,2 %

## Závěr

- Vliv SBK (popsaného zpětnovazebním obvodem zahrnujícím mechanické i regulační členy) na stabilitu je obecně nedostatečně prozkoumané téma.
- Matematické dynamické modely strojů jsou experimentálně verifikovány na reálných konstrukcích.
- Modelované systémy dokazují vliv regulačních konstant na poddajnost na konci nástroje. V nezanedbatelném rozpětí obráběcích parametrů je ovlivněna i výsledná stabilita obráběcího procesu.
- Potenciálem dalšího výzkumu je zohlednění prostorové směrové dynamické poddajnosti, stavby pohybových os, geometrie nástroje a řezných podmínek.



Obr. 6: Pracovní prostor soustruhu



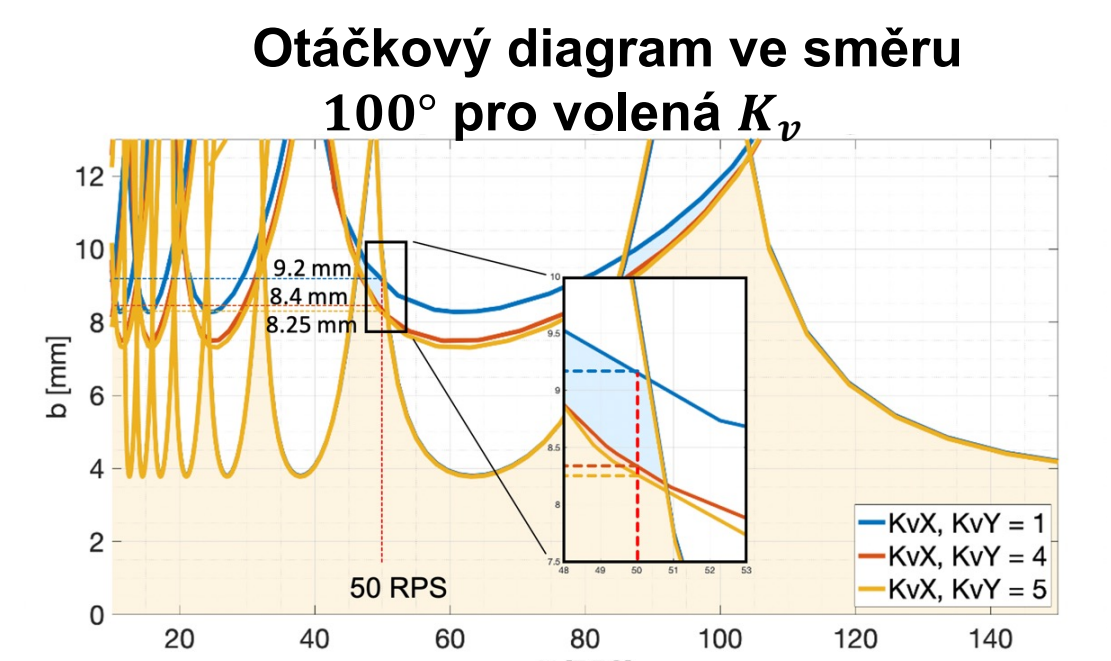
Obr. 7: Dynamická poddajnost modelu stroje

Výsledky simulace propojeného modelu dokazují, že vlivem rozdílného nastavení regulačních konstant dochází ke změně výsledné dynamické poddajnosti na nástroji. Pro hodnoty vypočtené tloušťky limitní třísky je možné sledovat její až 25% rozdíl.

## Stabilita středně velkého obráběcího centra



Obr. 9: Středně velké obráběcí centrum



Obr. 10: Otáčkový diagram analyzovaného stroje

Pro pro různé hodnoty polohového zesílení  $K_V$  diagram stability demonstruje posun limitní šířky třísky v rozmezí od 8,25 mm do 9,2 mm v oblasti 50 ot/s.

[1] SOUČEK, P. a BUBÁK, A. Vybrané statě z kmitání v pohonech výrobních strojů. Praha : České vysoké učení technické, 2008. 978-80-01-04048-5.  
[2] GRAU, J., M. SULITKA a P. SOUČEK. INFLUENCE OF LINEAR FEED DRIVE CONTROLLER SETTING IN CNC TURNING LATHE ON THE STABILITY OF MACHINING. Journal of Machine Engineering. 2019, 19(2), 18-31. DOI: 10.5604/01.3001.0013.2221. ISSN 1895-7595. Dostupné také z: <https://jme.publisherspanel.com/gicid/01.3001.0013.2221>  
[3] GRAU, J., M. SULITKA a P. SOUČEK. The Influence of Servo Drive Control on the NC Vertical Milling Machine Dynamic Compliance. J. Manuf. Mater. Process. 2020, 4, 111. DOI: 10.3390/jmmp4040111. ISSN 2504-4494. Dostupné také z: <https://doi.org/10.3390/jmmp4040111>