



## ISSUES AT LINEAR MOTION SYSTEMS

L. Novotný\*, J. Marek\*\*

**Summary:** *Linear guiding of machine tools is a very important design element. It can be made as a straight linear guiding or as a curved type, either with the limited stroke length or with the unlimited stroke length. At machine-tool motion axes the rail heads travel in the paths even some meters long; therefore, the guiding with the unlimited stroke length is used in principle. There are many particular design types available, and these are related to their manufacturer in many cases. The article deals with practical application, design and MKP calculations at particular machine tools. The influences of the machine design on the resulting behaviour of the technical object – of a machine tool are shown by means of rigidity calculations.*

### 1. Úvod

V současné době se využívá ve stavbě obráběcích strojů pro realizaci posuvu v jednotlivých osách elektromechanická posuvová soustava nebo náhon lineárními servomotory. V případě elektromechanické posuvové soustavy je digitální (méně často analogový) elektrický servomotor napojen na hřídel kuličkového šroubu. Kuličkový šroub je připojen na posuvový stůl (saně), který je veden po vedení, které může být valivé, kluzné anebo kombinované. Totéž platí i o náhonu pomocí lineárního motoru.

Se zřetelem na požadavky CNC obráběcích strojů, zvyšují se nároky na dokonalou plynulost posuvových pohybů a vzniká požadavek na dosažení co nejmenšího rozptylu velikosti dráhy při najíždění na požadovaný rozměr. Tyto mimořádně vysoké požadavky nejsou splnitelné kluzným vedením hydrodynamickým se zřetelem na vznik trhavých pohybů. Jedním z řešení tohoto systému je, jak již bylo uvedeno, vedení se třením kapalným (hydrostatické), jiným je vedení valivé. Valivého vedení se začalo používat u nejpřesnějších strojů.

### 2. Lineární profilová vedení

Přednosti tohoto vedení jsou obdobné jako při použití valivých ložisek namísto kluzných pro uložení hřídelů. Je to především:

- celkově menší součinitel tření a nepatrný rozdíl mezi součinitelem tření za klidu a za pohybu, což má velký vliv na odstranění trhavých pohybů při nepatrných rychlostech,

\* Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.: Detašované pracoviště TOSHULIN, a.s., Čechyňská 18, 602 00 Brno; tel.: +420.543 255 093; e-mail: [lubomir.novotny@toshulin.cz](mailto:lubomir.novotny@toshulin.cz),

\*\* Doc. Dr. Ing. Jiří Marek: TOSHULIN, a.s., Wolkerova 845, 768 24 Hulín; tel.: +420.573 327 202; e-mail: [jiri.marek@toshulin.cz](mailto:jiri.marek@toshulin.cz)

na druhé straně jako nevýhody valivého vedení lze uvést:

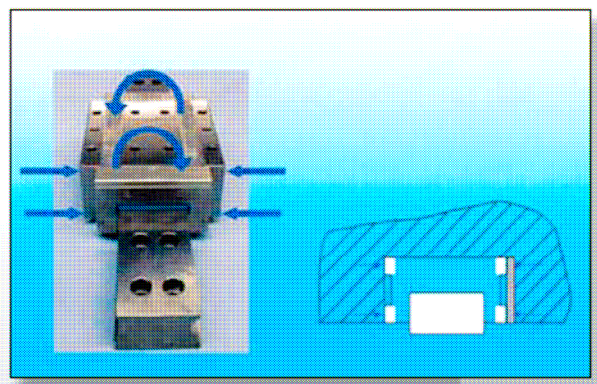
- vysoká náročnost na přesnost výroby a tím někdy vyšší ceny,
- větší rozměry než vedení kluzná,
- menší schopnost útlumu chvění.

Valivé elementy jsou používány dvojí a sice kuličky a válečky. Válečkové vedení je únosnější a používá se pro větší silové zatížení. Kuličky jsou vhodnější pro rychloběžnější aplikace. V našem příspěvku budeme dále zkoumat vlastnosti tzv. profilového valivého vedení, které je progresivním prvkem v konstrukci přímočarých os obráběcích strojů.

Profilové valivé vedení je jeden ze způsobů provedení vedení pohyblivých částí CNC obráběcích strojů. Jejich masové nasazení začalo až když výrobci obráběcích strojů počali vyrábět sériově, a bylo třeba mít spolehlivé vedení pohybových skupin. První vedení tohoto druhu bylo zapatentováno v roce 1944 v Německu a USA a bylo to kuličkové pouzdro na válcové tyči.

V roce 1978 americká Kearney & Trecker užila jako první na světě valivého profilového vedení od firmy THK (Japonsko). Princip profilového valivého vedení je založen na obíhání omezeného počtu valivých elementů (kuliček nebo válečků) po profilu kolejnice, která plní funkci lišt šroubovaných k loži. Valivé elementy obíhají uvnitř vozíku. U kuličkového vedení lze použít obdobně jako u kuličkových šroubů gotický (4 bodový dotyk) nebo kruhový (2 bodový dotyk) profil. Podle uspořádání mohou valivé elementy obíhat po kolejnici v tzv. „O“ nebo „X“ uspořádání. Obdobně jako druh valivého elementu tak i toto uspořádání ovlivňuje výslednou tuhost uložení stolu. Volba počtu vozíků, druh valivého elementu a uspořádání je odvislé od konkrétních zatěžovacích provozních podmínek, zatěžovací podmínky určují také způsob uložení vozíku a kolejnice.

Pro zvýšení tuhosti a odolnosti proti klopným momentům, se kolejnice dělají dvojitě široké aby ji bylo možno připevnit dvěma řadami šroubů (obr.1).



Obr.1 Profilové valivé vedení s dvojitou šířkou kolejnice provedení Bosh-Rexroth

### 3. MKP analýza základní stavby obráběcího stroje

Svislá obráběcí centra pro rotační součásti jsou technologicky mnohostranná výrobní zařízení. Historicky jejich konstrukce vychází z karuselů (svislé soustruhy) a jejich primární technologickou operací je soustružení. Přesto jsou na témže stroji vedle soustružení běžné vrtání a vyvrtávání, frézování, broušení. Zatížení MKP modelu odráží reálné provozní zatížení. Sledovány jsou zátěžné stavy při prostém upnutí obrobku tak i při zatížení vlivem

obráběcích operací. Přímočarý pohyb obrobku ve směru osy Y není běžnou technologickou možností těchto strojů. V tomto příspěvku je prezentována simulace pohybová osy Y, tj. saně na kterých je umístěn pohon desky a upínací deska. Saně se pohybují po lineárním vedení, jehož kolejnice jsou uloženy na loži, které je pevně spojeno s betonovým základem stroje.

Geometrický model je vytvořen v programu 3D CAD programu. FE model je vytvořen pomocí elementů z knihovny systému ANSYS. Byly použity elementy MESH, SOLID95, SOLID45, BEAM. Prvky MESH systém nepoužívá pro řešení a slouží pouze jako podpůrný prostředek pro tvorbu mapované objemové sítě. SOLID95 je 3D kvadratický objemový element s 20 uzly a méně, se 3 stupni volnosti v každém uzlu (posuvy UX, UY, UZ). BEAM4 je dvouuzlový (tříuzlový) prutový prvek s šesti stupni volnosti v každém krajním uzlu (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ). Zanedbatelnou, přitom důležitou část modelu tvoří prvky typu CONTA a TARGET. MKP síť byla mapovaná tak i automaticky generována.

Vytvořený geometrický CAD model byl importován do systému ANSYS a na něm provedeny booleovské operace pro vytvoření objemové geometrie, na které lze postavit konečnoprvkovou síť. Na upraveném modelu byla vytvořena síť z výše uvedených elementů.

Představu o velikosti FE modelu udává počet elementů E a uzlů N modelu (jednotlivých variant) použitých pro tvorbu FE sítě. Uvedené modely obsahovaly více než dvě stě tisíc elementů.

V příspěvku jsou prezentovány tyto tři polohové stavy:

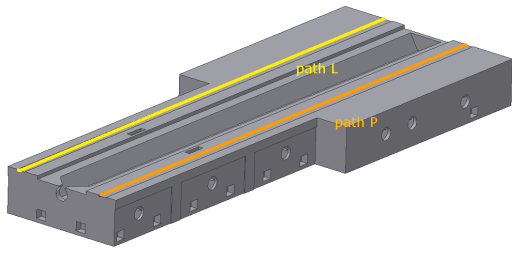
1. FE model I: FE model reprezentující lože, saně a lineární vedení v poloze soustružení.
2. FE model II: FE model reprezentující lože, saně a lineární vedení v poloze +900mm (ANSYS GCS),
3. FE model III: FE model reprezentující lože, saně a lineární vedení v poloze -900mm (ANSYS GCS),

Zatížení modelu bylo opět uvažováno v několika variantách. FE model je zatěžován gravitačním zrychlením Země, které působí na jednotlivé díly této pohybové skupiny (upínací desku, uložení upínací desky...) a obrobek. Hmotnosti největších částí se pohybují do dvaceti tun. Vedle toho je soustava těles zatěžována silami od obráběcího procesu, které byly aplikovány jako vektorové veličiny do konkrétního místa v prostoru (místo řezu) a pomocí prvků BEAM přeneseny na model rámu stroje.

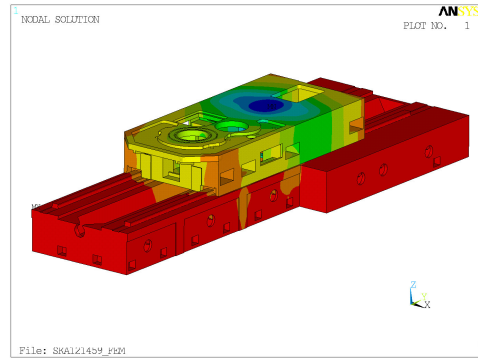
V příspěvku jsou prezentovány tyto tři polohové stavy:

materiál hlavních částí	42 2425
hustota:	$7,23 \cdot 10^{-9} \text{ t.mm}^{-3}$
modul pružnosti litiny (EX):	$1,259 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
Poissonova konstanta (PRXY)	0,25

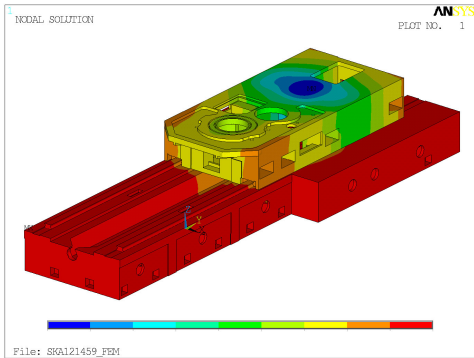
Na přiložených obrázcích jsou ukázky z výpočtů. Obrázky 2 až 8 jsou ukázky z MKP analýzy rámu stroje. Výpočty potvrzují, že lokální deformace a tedy netuhosti konstrukce mají významný vliv na konečné vlastnosti obráběcího stroje. Na obrázku 9 je příklad saní obráběcího stroje, kde je naopak ukázána netuhost v místě spojení vozíku. Přednesené výsledky nemohou být prezentovány v plném rozsahu (výpočtové zprávy těchto konkrétních simulací obsahuje desítky stran), ale také z důvodu ochrany duševního vlastnictví firmy.



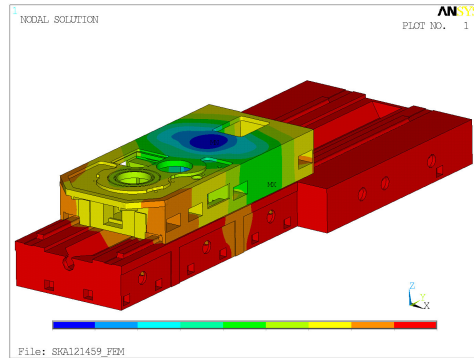
Obr. 2 Rám stroje – lože (PATH)



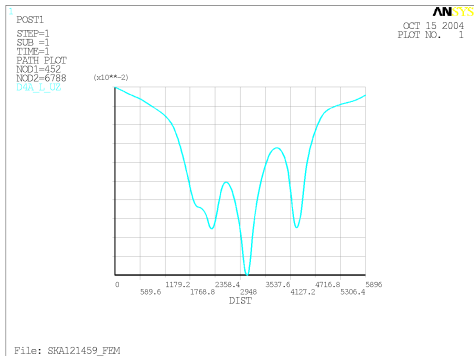
Obr. 3 Posuv UZ [mm] (varianta I)



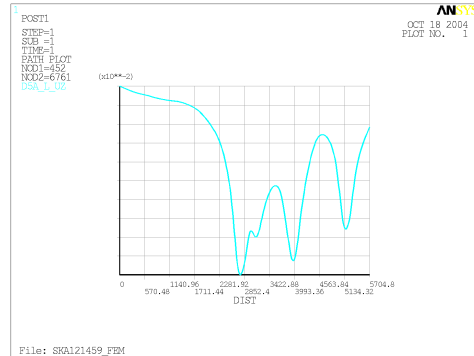
Obr. 4 Posuv UZ [mm] (varianta II)



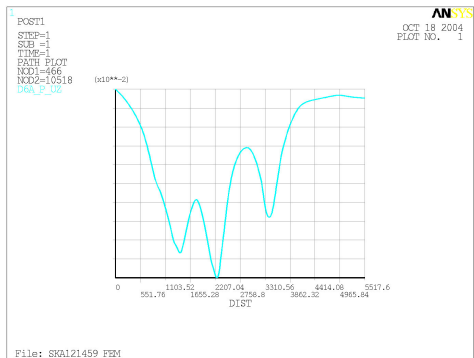
Obr. 5 Posuv UZ [mm] (varianta III)



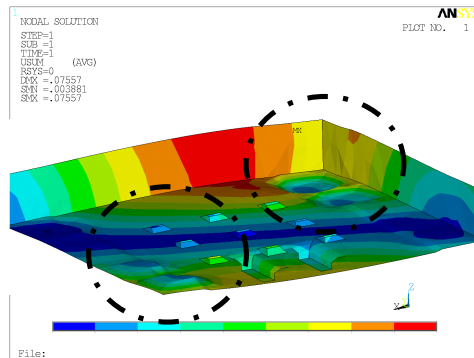
Obr. 6 Posuv UZ [mm] (PI, varianta I)



Obr. 7 Posuv UZ [mm] (PI, varianta II)



Obr. 8 Posuv UZ [mm] (PI, varianta III)



Obr. 9 Saně obráběcího stroje

#### 4. Závěr

Jak je vidět z malého přehledu MKP analýzy, výsledky jsou velmi pestré. Odborné učebnice ani výrobci lineárních valivých vedení neposkytují konkrétní návody na konstrukční provedení základu lineárních vedení, tj. montážní plochy, jejich okolí a vztahu montážní plochy k okolí, funkci, způsobu zatěžování. Správné konstrukční řešení je předmětem know-how výrobních firem.

V příspěvku byly zkoumány vlastnosti profilového valivého vedení použitých pro konstrukci přímočarých os u svislých soustruhů ve spojení s rámem stroje. Shrňme na závěr jejich vlastnosti.

Výhody profilového valivého vedení jsou:

- bezvúlový chod,
- vysoká přesnost polohování,
- snadnější kompenzace nepřesností ustavení a nepřesnosti obrobení dosedacích ploch,
- snadnější instalace,
- vysoké posuvové rychlosti,
- při správně dimenzovaném vedení minimální pružné deformace,
- při správném dimenzování možnost vysokého zatížení,
- snadná údržba,
- při návrhu dodavatelskou firmou poměrně přesný výpočet životnosti.

Oproti výhodám stojí i nevýhody:

- u velkých strojů a tím i velkých zatížení nutnost většího počtu vozíků a kolejnic, nebo větší profil vedení.

Jak je patrné z výše uvedeného, některé vlastnosti byly potvrzeny, některé vyvráceny. To nevyklučuje konstatovat, že se jedná o velmi progresivní prvek nasazovaný v konstrukci obráběcích strojů a je nutné studovat konkrétní podmínky nasazení. Stroje TOSHULIN jsou velmi často dodávány spolu se zpracovanou technologií. Výsledky uvedené MKP analýzy slouží pro ověření vlastností stroje v přípravných a vývojových fázích a tedy posouzení, zda stroje budou schopny splňovat přísné požadavky v celém pracovním rozsahu.

#### 5. Literatura

ANSYS Inc. (2002) *User`s Manual For Revision 7*, ANSYS Inc., Canonsburg

Borský, V. (1991) *Základy stavby obráběcích strojů*. Skriptum ES VUT Brno

Höschl, C. (1985) *Kontaktní úlohy a lisované spoje*. ČSVTS Praha

Marek, J. (2006) *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. MM Publishing s.r.o Praha