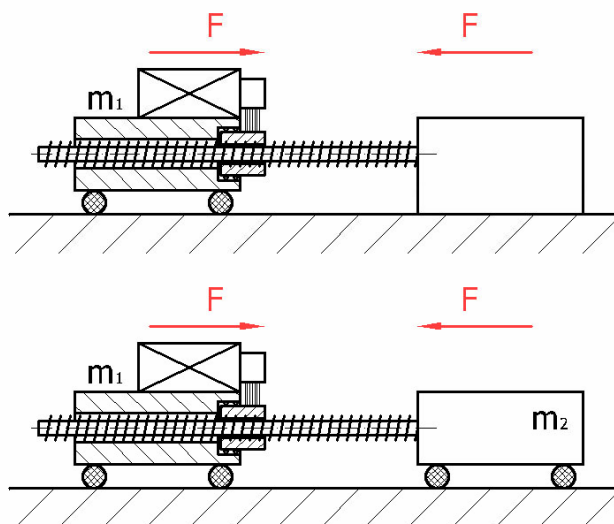


APPLICATION OF THE FLOATING PRINCIPLE ON THE HORIZONTAL MILLING CENTRE

L. Novotný*, M. Kukačka*, P. Rybář*

Summary: *This paper describes some practical results achieved with the usage of the floating principle in machine tools design. It is linked to works presented at the IM2004 conference. The basic idea is as follows. Every feed axis consists of controlled motor, which acts on some movable part (e.g. table) with action force. The reaction force effect is usually captured by the machine frame. The floating principle profits of the usage of this reaction force to increase the relative acceleration between positioned parts and previously fixed – newly movable machine frame. The secondary effect is that the transmission of the reaction force to the frame is suppressed. This leads to suppression of parasitic vibrations of the machine.*

1. Úvod



Obr. 1: Schéma pohonu polohovací osy v možném klasickém uspořádání (nahore) a v uspořádání plovoucím (dole)

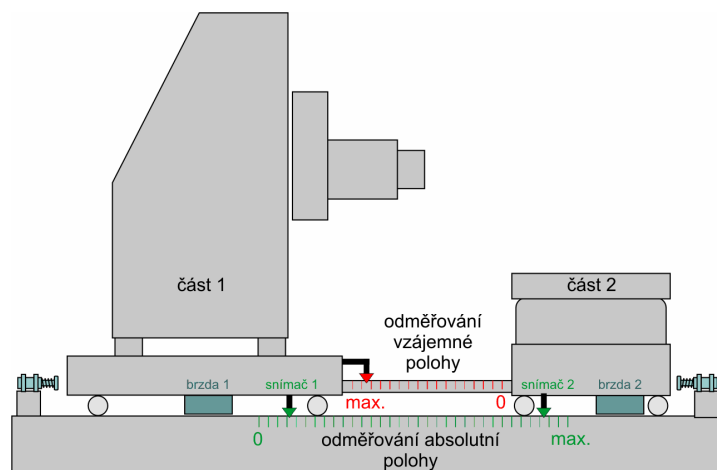
Plovoucí princip je konstrukční úprava pohybové osy. Způsob aplikace a výsledný efekt je zřejmý z obrázku 1. Tam je znázorněn jeden z používaných pohonů pro polohovací osy obráběcích strojů - pohon s pevným kuličkovým šroubem a rotující maticí. Použití plovoucího principu je však možné prakticky s jakýmkoliv typem pohonu včetně lineárního motoru.

V klasickém případě ukázkové konstrukce (schéma na obr. 1 nahore) je šroub vetknut v části, která je pevně spojena s ložem stroje. Motor je pak umístěn na části druhé - polohované. V tomto provedení je reakční síla od motoru přenášena přes šroub a zachytávána do rámu stroje, kde způsobuje vibrace.

* Ing. Lukáš Novotný, Ing. Martin Kukačka, Ing. Pavel Rybář: Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní; Horská 3; 128 00 Praha 2; tel.: +420.221 990 916, fax: +420.221 990 999; e-mail: L.Novotny@rcmt.cvut.cz

V případě plovoucího uspořádání (schéma na obr. 1 dole) je reakce využita pro urychlení původně pevné části rámu – nově pohyblivé části plovoucí osy. Takovéto využití reakční síly umožňuje zvýšení vzájemného zrychlení protiběžných částí osy. V případě aplikace na obráběcí stroj jedna z částí představuje část nesoucí obrobek (stůl) a druhá soustavu nesoucí nástroj (v dalším textu je tato součást označena jako plovoucí lože). Z hlediska obrábění je třeba, stejně jako u klasického stroje, řídit přesně polohu nástroje vůči obrobku. Je tedy nutné uzavírat polohovou smyčku z odměřování vzájemné polohy plovoucích částí (viz obr. 2).

2. Aplikace plovoucího principu na osu Z horizontálního obráběcího centra



Obr. 2: Odměřovací systémy v plovoucí ose

Koncepční řešení obráběcího stroje s plovoucím principem bylo provedeno v [1]. Pro aplikaci plov. principu byl jako vhodný navržen stroj pro menší obrobky (cca do 1000 kg) s horizontální osou vřetene. Schéma stroje v plovoucí ose je patrné z obr. 2. Zde je rovněž vidět, že stroj je v této ose vybaven dvěma odměřovacími systémy.

První odměřování udává vzájemnou polohu nástroje vůči obrobku. Tato informace je zavedena do řídicího systému, kde je použita pro uzavření polohové zpětné vazby. Druhý

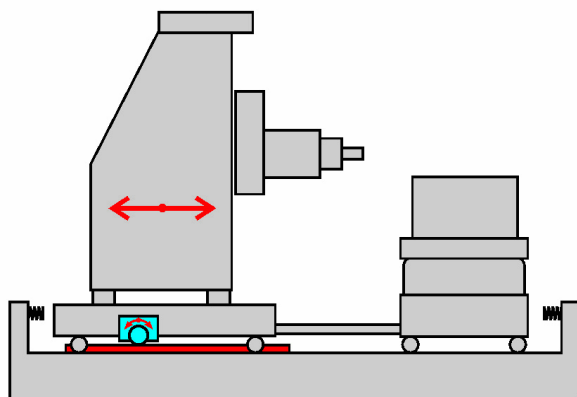
snímač udává polohu jedné, případně obou částí vůči rámu. Signál/signály z něj mohou být použity např. pro nájezdy plovoucích částí do přesně definovaných poloh (automatická výměna nástrojů a obrobků) a pro účely tzv. absolutizace (viz dále).

3. Udržování polohy těžiště soustavy v přijatelných mezích - Absolutizace

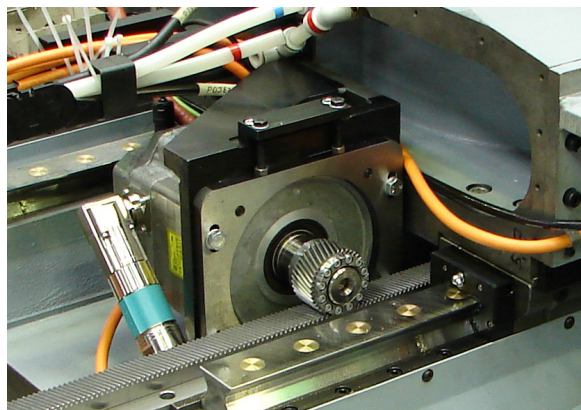
Plovoucí soustava by se v ideálním případě měla pohybovat podle zákona o zachování hybnosti. Poměr rychlostí plovoucích částí by měl odpovídat opačnému poměru jejich hmotností. Společné těžiště soustavy by mělo zůstat nehybné. V reálném případě je ovšem plovoucí osa vystavena celé řadě vnějších sil (pasivní odpory atd.). Důsledkem je, že se soustava jako celek vůči pevnému rámu stroje pohybuje prakticky nedefinovaně. Pokud bychom takovému „plavání“ soustavy nechali volný průběh, došlo by dříve či později v důsledku jejího přemístění ke kolizi jedné z plovoucích částí s rámem stroje. Aby se zabránilo takové kolizní situaci, je stroj vybaven systémem udržování polohy plovoucí soustavy vůči rámu v definovaných tolerancích.

Informace z odměřování absolutní polohy (viz obr. 2) je pak spolu s informací o relativní poloze využita pro řízení pomocného pohonu (tzv. absolutizačního), který pomocí silových zásahů udržuje soustavu v přijatelných mezích. Přijatelnými mezemi pro pohyb soustavy se v tomto případě rozumí taková oblast, aby nedošlo ke kolizi plovoucí soustavy s žádnou částí pevného rámu stroje. Pro definované rozpětí hmot obrobku a pro hmotnosti plovoucích částí lze meze, ve kterých by se plovoucí části měly za pohybu nacházet, snadno dopočítat. Pokud dojde k opuštění těchto mezí, bude aktivován přídavný pohon, který přemístí plovoucí

soustavu zpět. Možné provedení takového přídatného pohonu s pastorkem a hřebenem je zřejmé z obr. 3 a 4. Algoritmus pro jeho řízení byl navržen jako co nejjednodušší s ohledem na možnou realizaci standardně dostupnými automatizačními prostředky (PLC řídicího systému).



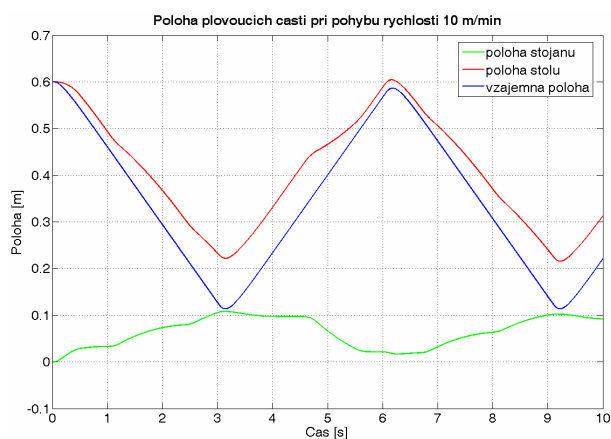
Obr. 3: Schéma absolutizačního pohonu s pastorkem a hřebenem



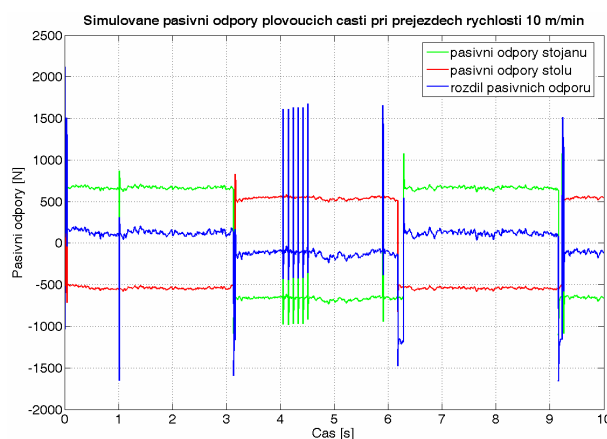
Obr. 4: Realizace absolutizačního pohonu na stroji H50-Float (Tajmac ZPS, a.s.)

Funkčnost absolutizačního algoritmu a další charakteristiky chování plovoucí osy byly testovány na simulačním modelu, sestaveném v prostředí Matlab Simulink. Některé výsledky jsou presentovány na obrázcích 5 až 8. Na obr. 5 je demonstrován simulovaný pohyb plovoucích částí při cyklických přejezdech konstantní rychlostí. Modře je vynesena řízená vzájemná poloha stolu vůči stojanu, červeně je pak vynesena absolutní poloha stolu vůči pevnému loži a zeleně absolutní poloha stojanu. Na obě části působí kromě zrychlujících sil (vnitřní síly soustavy) ještě síly od pasivních odporů (vnější síly). Jejich simulovaný průběh je vykreslen na obr. 6. Na plovoucí soustavu jako na celek působí rozdíl dílčích třecích sil (modrý průběh pasivních odporů), který jak již bylo řečeno vychyluje těžiště soustavy z klidové polohy a způsobuje tak nežádoucí posun plovoucí soustavy jako celku vůči pevnému rámu stroje. Na obr. 7 jsou červenou a modrou čarou definovány meze, kde by se měl při pohybu nacházet stojan stroje. Zeleně je pak simulována jeho skutečná poloha. Při opuštění stanovených mezí se uvede do provozu absolutizační pohon, který odpovídajícími silovými zásahy upraví polohu plovoucí soustavy vůči loži stroje. Patříčné simulované akční zásahy pro daný modelový příklad jsou vyneseny na obr. 8. Oproti velikosti zrychlujících sil pohonu osy mají velikosti zásahů absolutizačního pohonu prakticky zanedbatelnou velikost (činí max. jednotky procent).

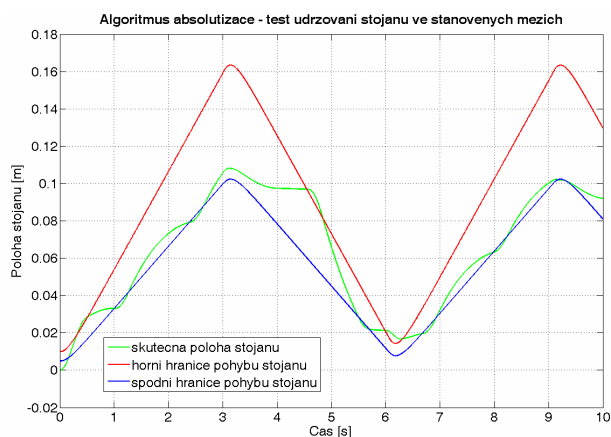
Po prvních testech na prototypu stroje lze říci, že se chování skutečného stroje velmi blíží chování predikovanému na simulačním modelu a navrhovaný způsob absolutizace se ukázal i přes svoji jednoduchost jako dostatečně efektivní.



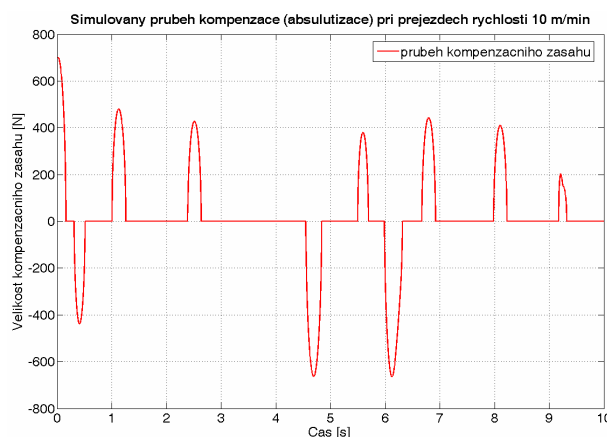
Obr. 5: Poloha samostatných plovoucích částí vůči loži / vzájemná poloha plov. částí



Obr. 6: Simulované pasivní odpory samostatných plovoucích částí / rozdíl pasivních odporů



Obr. 7: Udržování plovoucí soustavy ve stanovených mezích za pomoci absolutizačního pohonu



Obr. 8: Simulované silové zásahy absolutizačního pohonu pro udržení plovoucí soustavy v definovaných mezích

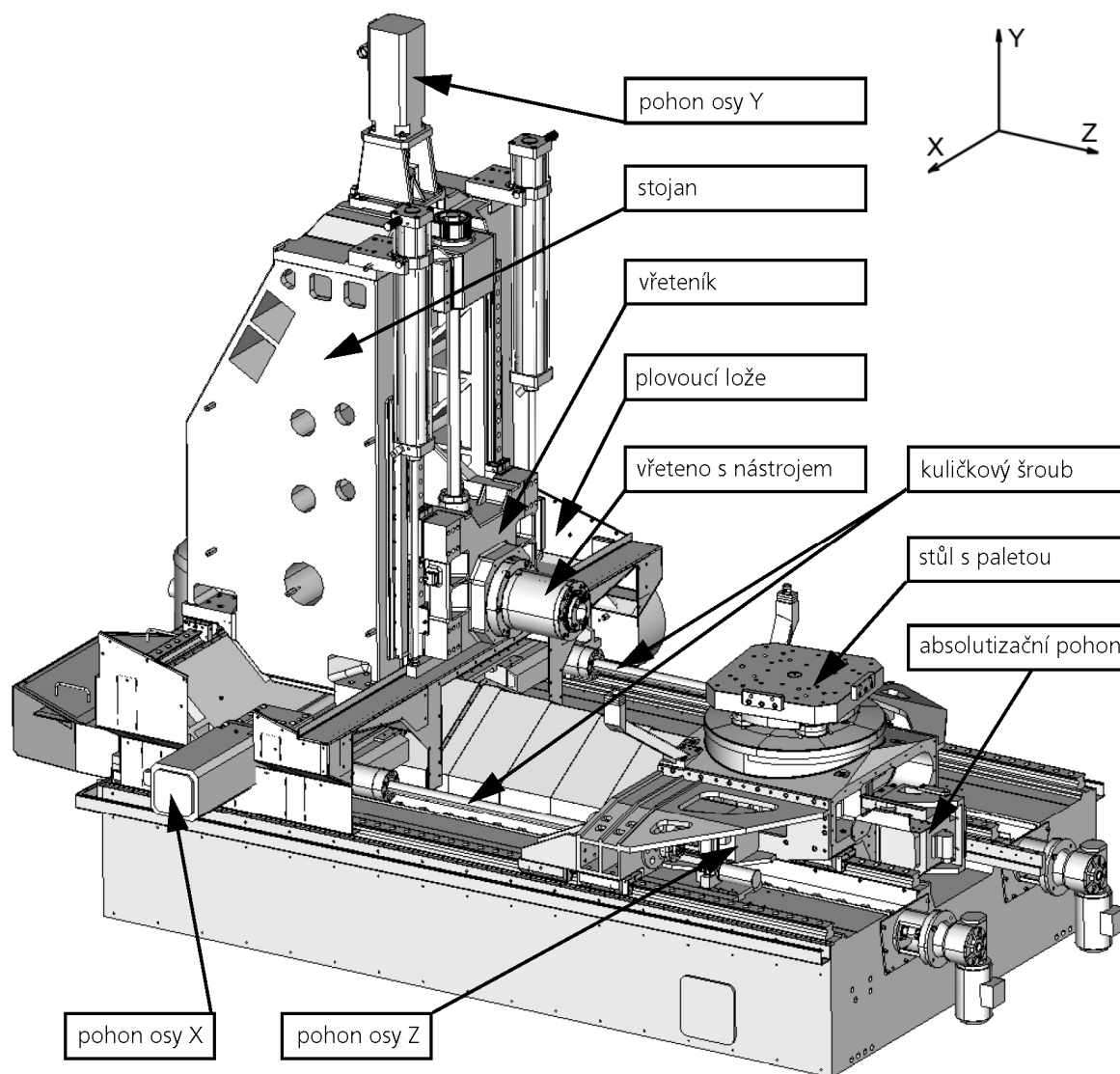
4. Prototyp stroje H50-Float

H50-Float je obráběcí centrum pro obrobky do 800 kg. Stroj má 3 lineární osy s pohony kuličkovými šrouby a jednu rotační osu – stůl s prstencovým motorem. Plovoucí princip je v souladu s koncepcí [1] aplikován na ose Z. Pro dosažení vyšší tuhosti je v této ose použito pohonu se dvěma kuličkovými šrouby a s gantry regulací (oba pohony jsou řízeny samostatně).

Základem konstrukce stroje je robustní litinové lože se zalitými pískovými jádry v celém objemu základny. Na loži jsou umístěny čtyři rovnoběžné kolejnice valivého vedení, které vedou přes celou délku lože. Dále jsou zde integrovány dva šnekové dopravníky pro vynášení třísek z pracovního prostoru.

Po vedeních umístěných na loži se vůči sobě pohybují stůl s paletou a „plovoucí lože“ se stojanem. Plovoucí lože je součást, která plní funkci křížových saní, spojujících základní lože a stojan. Tato součást je s ohledem na dosažení maximální tuhosti a min. hmotnosti

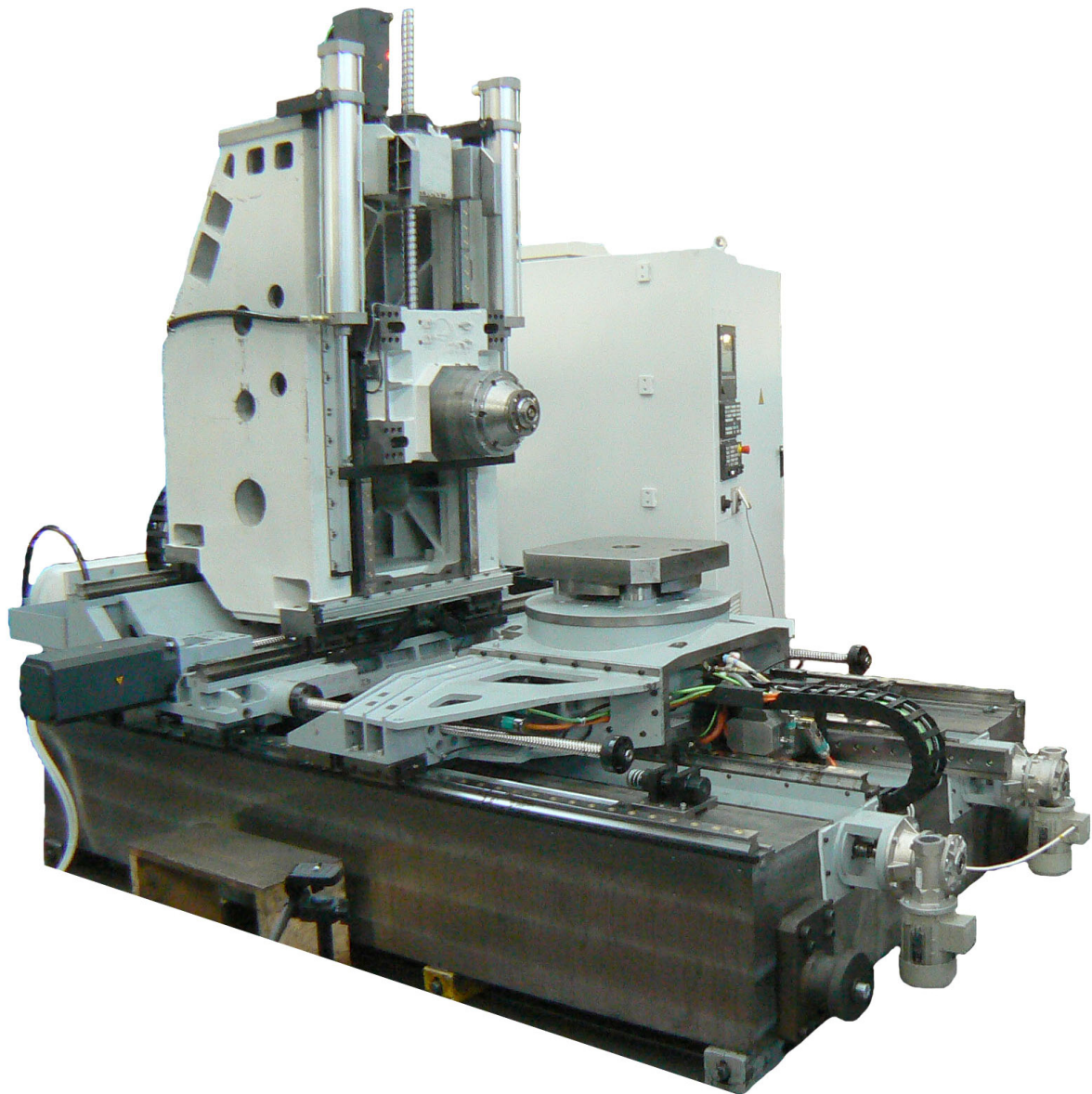
konstruována jako bohatě žebrovaný ocelový svařenec. Na přední části plovoucího lože jsou umístěny příruby pro pevné připojení kuličkových šroubů pohonu osy Z. Šrouby jsou plovoucím loži jednostranně vetknuty.



Obr. 9 Virtuální model stroje H50-Float

Obě plovoucí platformy jsou vybaveny nejen dostatečným počtem valivých hnízd, ale též tzv. „clamping“ hnízdy. Jedná se o speciální svěrné vozíky, s jejichž pomocí lze vybranou plovoucí část hydraulicky zafixovat ke kolejnicím valivého vedení a simulovat tak chování osy v klasickém uspořádání. Tato možnost umožňuje získat představu o tom, jakého bylo aplikací plovoucího principu získáno přínosu. Použití svěrných hnízd umožňuje též polohování s nezafixovanou soustavou vůči rámu. To může být žádoucí např. při výměně palet či nástrojů při požadavku bezobslužného plně automatizovaného provozu.

Z hlediska použití ve výrobě se stroj H50-Float chová jako standardní obráběcí centrum vybavené řídicím systémem Siemens - Sinumerik 840 Di.



Obr. 10: Fotografie prototypu stroje H50-Float

4. Závěr

Ve spolupráci VCSVTT a Tajmac ZPS, a.s. byl vyvinut a postaven prototyp horizontálního obráběcího centra s plovoucí posuvovou osou Z. Aplikace plovoucího principu umožňuje nejen potlačení přenosu vibrací do rámu stroje, ale též v závislosti na hmotnosti obrobku zvýšení dosažitelného zrychlení v plovoucí ose v závislosti na hmotnosti obrobku cca o 10 až o 20%. Na tyto procentuální hodnoty se lze též dívat jako na energetické úspory při zrychlování a brzdění pohybové osy. V současném provedení je stůl stroje H50-Float konstruován pro obrobky do hmotnosti 800 kg. Po patřičné úpravě ložiska otočného stolu by však bylo možné obrábět i obrobky těžší, u kterých by se přínos plovoucího principu projevil ještě výrazněji. Stroj je vybaven standardním řídicím systémem a z hlediska zacházení se prakticky nijak neliší od standardního řešení.

5. Poděkování

Tyto výsledky byly získány za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci podpory projektu výzkumu a vývoje 1M684077000. Prototyp stroje H50 Float byl realizován ve spolupráci s Tajmac ZPS, a.s. v rámci projektu 1H-PK/60 programu MPO POKROK.

6. Literatura

- [1] Novotný, L. (2003) *Horizontální frézovací stroj s plovoucí osou posuvu*. Výzkumná zpráva 2-04-03, VCSVTT, ČVUT
- [2] Novotný, L. (2004) *Plovoucí uspořádání pohonů posuvů u obráběcích strojů*. Inženýrská Mechanika 2004, Inženýrská akademie ČR, 2004, ISBN 80-85918-88-9
- [3] Souček, P. & Bubák, T. (2002) *Vysoce dynamické pohony posuvů obráběcích strojů*. Výzkumná zpráva, VCSVTT, ČVUT FSI, Praha
- [4] Zelený, J., Novotný, L. (2004) *Seismically balanced high precision machine tools*. Matador 2004, Manchester, Great Britain