

Komponenty pohybových os

Tomáš Holkup, Pavel Lysák, Jan Moravec, Jiří Švéda, Matěj Sulitka, Pavel Souček, Martin Mareš

Abstrakt:

Příspěvek se zabývá komponenty pohybových os vystavovanými na veletrhu EMO Milano 2009. Důraz je kladen na novinky a patrné trendy.

1 Úvod

Cílem článku je zmapovat současný stav a novinky v těchto oblastech:

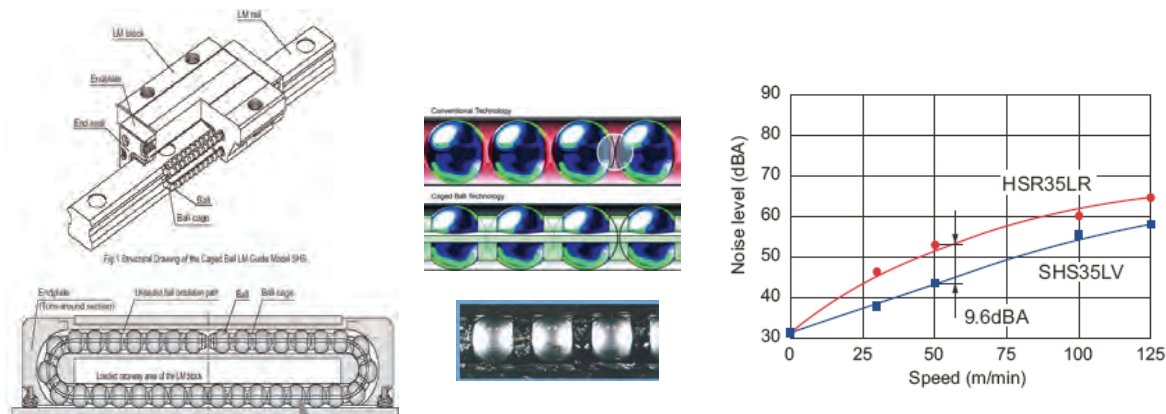
- lineární vedení valivá a kluzná
- kuličkové šrouby, uložení kul. šroubů
- velkopřůměrová ložiska
- převody řemenové (řemeny, řemenice, předepínání, životnosti, atd.)
- ozubené hřebeny a prstence, pastorky, převodovky s eliminací vůlí
- nekonvenční pohybové osy, převody a uložení
- hydrostatická a aerostatická vedení
- možnosti kompenzace pasivních odporů pomocí ŘS

Komponenty pohybových os nezaznamenaly v posledním období výrazný rozvoj. Na EMO Milano 2009 byly prezentovány standardní koncepce s minimem zlepšení. Dílčí modifikace a inovace jsou popsány v následujících tematických kapitolách.

2 Lineární vedení valivá a kluzná

V oblasti valivého a kluzného lineárního vedení bylo prezentováno minimum novinek. Na strojích dominovalo využití kolejnic a vozíků s recirkulací valivých elementů.

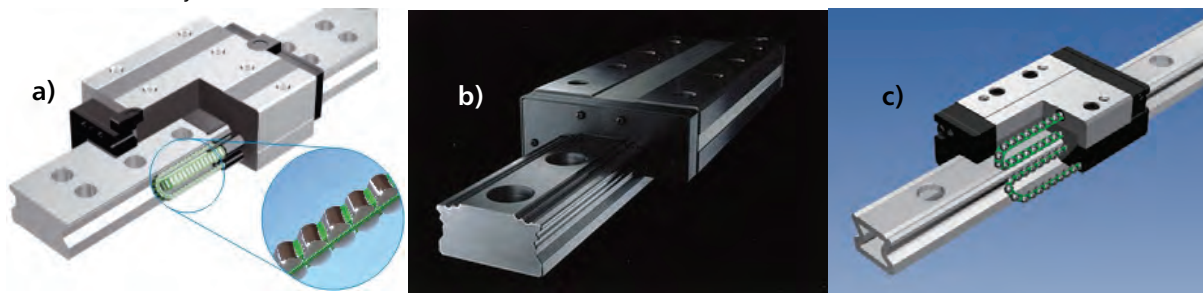
Již v minulých letech prezentovala firma **THK** (J) svůj koncept kuličkového recirkulačního systému s plastovou klecí. Koncept je nyní využit jak u kuličkového lin. vedení, tak u kuličkových šroubů. Výhodou koncepce je potlačení hluku vznikajícího narážením ocelových elementů na sebe (obr. 1), střední hodnota pasivních odporů se však příliš nemění. Novinkou je však využití systému i pro recirkulační vedení válečkové, aktuálně u typů SRG, SRN a SRW, (obr. 2c).



Obr. 1: Koncept plastové klece v lin. vedení a kuličkových šroubech firmy THK

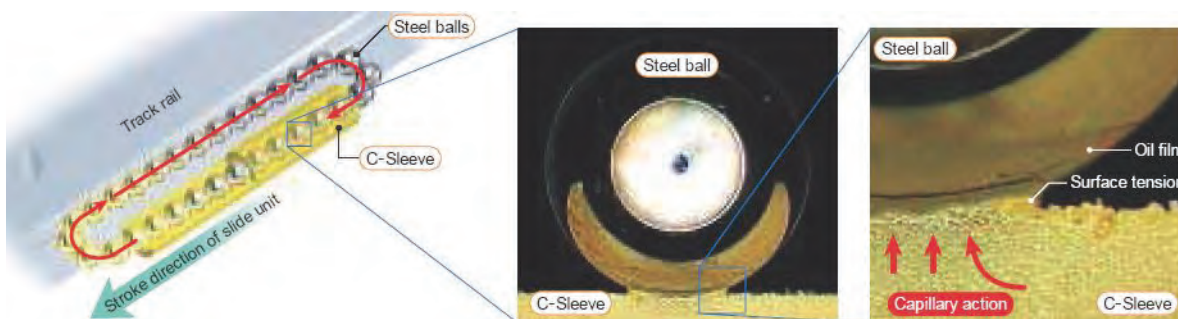
Další novinkou firmy THK je ultralehké vedení s vozíkem z hliníkové slitiny a dutou kolejnicí (obr. 2a). Výsledkem je o 40% lehčí konstrukce, daní pak mírně nižší tuhost. Toto vedení je zaměnitelné se standardními modely, aktuálně jsou k dispozici velikosti typu SSR: 15, 20, 25 a velikosti typu SHS: 25. Dále

bylo prezentováno vedení se zdvojenými kuličkovými drahami (obr. 2b), pro zvýšení únosnosti a tuhosti ve svislém směru. Toto vedení zatím nemá označení, jeho svislá tuhost je údajně vyšší než u srovnatelného modelu s válečky SRG-L.



Obr. 2: Vedení THK a) SRW s válečky a klecí, b) se zdvojenými řadami kuliček, c) ultralehké vedení typu SSR

Firma **IKO** (J) představila klasické recirkulační valivé lineární vedení v různých verzích a velikostech. To je nově vybaveno samomazným systémem C-lube, který dodává mazivo valivým elementům při průchodu recirkulačním kanálem. Takto by bez servisního zásahu mělo vydržet minimálně 20 tis. km nebo 5 let bez nutnosti relubrikace.



Obr. 3: Systém IKO C-lube

Firma **Hiwin** (Taiw) prezentovala na veletrhu několik novinek. V oblasti lineárních vedení se jednalo široké a přitom nízké vedení - typ WE (obr. 4), které je schopno při nízkých zástavbových rozměrech přenášet velice vysoké klopné momenty. Kolejnice disponuje dvěma řadami děr pro šrouby a vozíky je možno objednat buď klasické nebo s montážními otvory v přírubě. Nejedná se však o žádnou revoluční novinku, produkt je spíše snahou vyrovnat se s konkurencí.



Obr. 4: Hiwin WE

Firma **Schneeberger** (D) opět prezentovala nový typ lineárního vedení s integrovaným odměřováním. Jednou z novinek bylo nové překrytování AMSA 3A, které umožňuje provoz v extrémních podmínkách (obr. 5). Krytování dosahuje standardu IP 68 a je odolné tekutinám, chemikáliím a také teplotám. Další představenou inovací bylo inkrementální odměřování AMS integrované do kolejnic vedení (obr. 6). Tímto krokem již kolejnicím nezpůsobuje problém jejich vzájemné napojování.



Obr. 5: AMSA 3A



Obr. 6: AMS incremental

Firma **Bosch-Rexroth** (D) představila své lineární recirkulační vedení bez výraznějších inovací. Novinkou na stánku Bosch-Rexroth byl stůl TKL s integrovaným kuličkovým vedením a integrovaným odměřováním. Pohyb

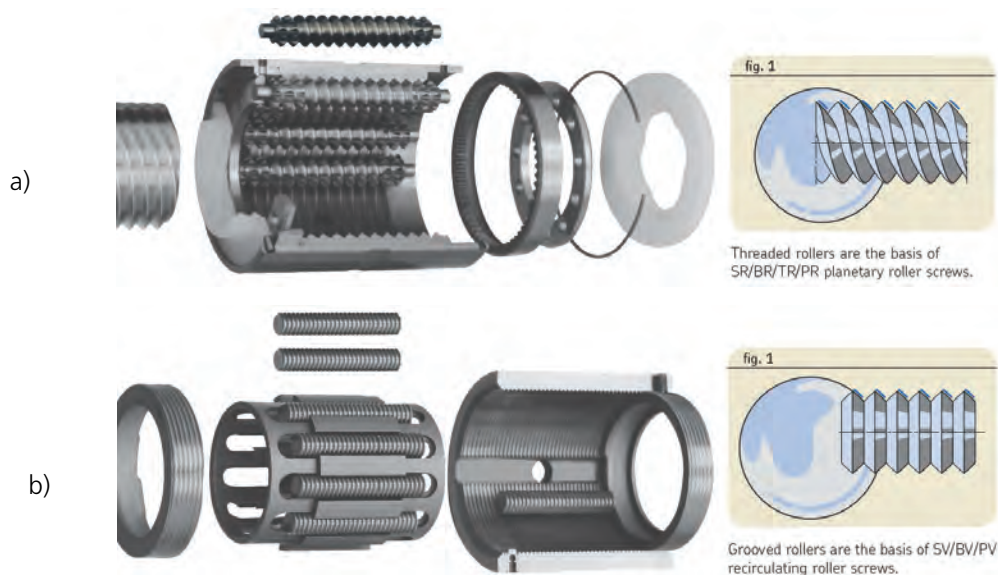
stolu je zajištěn pomocí integrovaného lineárního motoru o maximálním tahu až 7 150N. Maximální délka osy je 4 m, délka stolu se pohybuje mezi 100 až 200 mm. Osu je možné dovybavit brzdou nebo skleněným pravítkem s rozlišením 0,25 μ m (standardní je ocelový proužek s rozlišením 1 000 μ m), krytování je provedeno pomocí měchů. Podobný komplet může být vhodný např. pro přídatné manipulační osy. Na veletrhu EMO byla dále zastoupena firma **NSK** (J). Prezentovala valivá lineární vedení, kuličkové šrouby, přesná ložiska, a však bez výraznějších novinek. Firma **INA** na EMO 2009 chyběla. Podle dostupných informací stále nabízí novinku z předchozího veletrhu v Hannoveru - hydrostatické vedení s kolejnicí HLE45 nahrazující standardní valivé.

V oblasti kluzného uložení se neobjevily žádné novinky.

3 Kuličkové šrouby a jejich uložení

Tato kapitola je doplněním obdobné kapitoly z předchozího článku "Pohony lineární i rotační a řídicí systémy". Novinky v oblasti recirkulačních kuličkových šroubů byly pouze nepatrné. Firma **Steinmeyer** (D), která na minulém veletrhu prezentovala šroub ETA+ s uváděnými parametry výrazně lepšími než konkurence, na EMO 2009 chyběla. Český zástupce **KSK Kuřim** (Cz) nově nabízí okružované šrouby, které spadají do třídy přesnosti IT5 a představují cenově atraktivní variantu ke šroubům broušeným. Firma **NSK** (J) představila kuličkové šrouby se zesíleným plechovým těsněním proti nečistotám.

Firma **SKF** opět vystavovala své pohybové šrouby (<http://www.linearmotion.skf.com>) s planetovým, nebo recirkulačním ozubeným převodem, vhodné pro nižší posuvové rychlosti a vysoká zatížení např. u tvářecích strojů. Pro průměr 48 mm je uváděna limitní otáčková rychlost 3000 rpm. Pro přesné aplikace jsou nabízeny matice s předpětím. Šrouby mají nižší stoupání než kuličkové, limitem poměru P (stoupání) /D (průměr) je u planetových šroubů obvykle 1/2, u šroubů recirkulačních je tato hodnota ještě výrazně nižší.



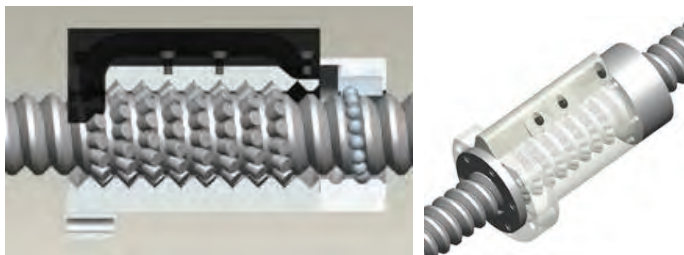
Obr. 7: Pohybové šrouby SKF s a) planetovým a b) recirkulačním převodem



Obr. 8: Kul. matice Bosch-Rexroth 2-start FED-E-B

Firma **Bosch-Rexroth** (D) představila na svém veletržním stánku novinku v oblasti kuličkových matic. Kuličková matice 2-start FED-E-B je dvouřadá matice s přírubou a se zvýšenou únosností se zachováním stejných zástavbových rozměrů jako matice jednořadá (obr. 8). Při rozměru kuličkového šroubu 63x40 je matice schopna dosáhnout statické únosnosti $C_0 = 292 \text{ kN}$ a dynamické $C_d = 104 \text{ kN}$. Maximální posuvová rychlost je 125 m/min.

Novinkou na sánku **Hiwin** (Taiwan) byl válečkový šroub (obr. 9). V těle šroubu jsou jako valivé elementy použity místo kuliček válečky. Šroub tak dosahuje až 2x vyšší únosnosti, díky čemuž dochází k prodloužení intervalu servisních zásahů na dvojnásobek a tuhost šroubu je také až dvojnásobná. Nevýhodou tohoto typu pohybového šroubu je možnost přenosu zatížení pouze v jednom směru. Předepnuté matice zajišťují kuličky které také nesou případné zatížení v opačném směru. Na stánku však již byl vystaven prototyp šroubu s válečky na obou stranách, kde tento nedostatek odpadá.



Obr. 9: Válečkový šroub Hiwin

4 Velkopřůměrová ložiska

Firma THK nabízí kromě standardních řad velkopřůměrových válečkových ložisek typu RU, RA, RA-C, RB a RE nový typ ložiska RW. Jedná se o dvouřadou konstrukci s předpětím "do O", která se vyznačuje vysokou tuhostí a únosností. Ložiska zatím nejsou v katalozích, poptávky je potřeba řešit individuálně. Italská firma **RÖSSL&DUSO** Group Spa (www.rossleduso.com) se zabývá výrobou a obráběním součástí středních a velkých rozměrů (odlitky, výkovky) pro energetický průmysl, stavbu lodí, rafinerie a pro všeobecné strojírenství.

Na veletrhu tato firma vystavovala velkopřůměrové válečkové axiální ložisko pro velké otočné stoly a karusely (obr. 11). Vnější průměr ložiska je 2 550 mm, vnitřní průměr je 2330 mm. Ložisko může nést zatížení až 80 t. Firma je schopna vyrobit podobné ložisko až do vnějšího průměru 2990 mm.



Obr. 10: Ložisko THK - RW



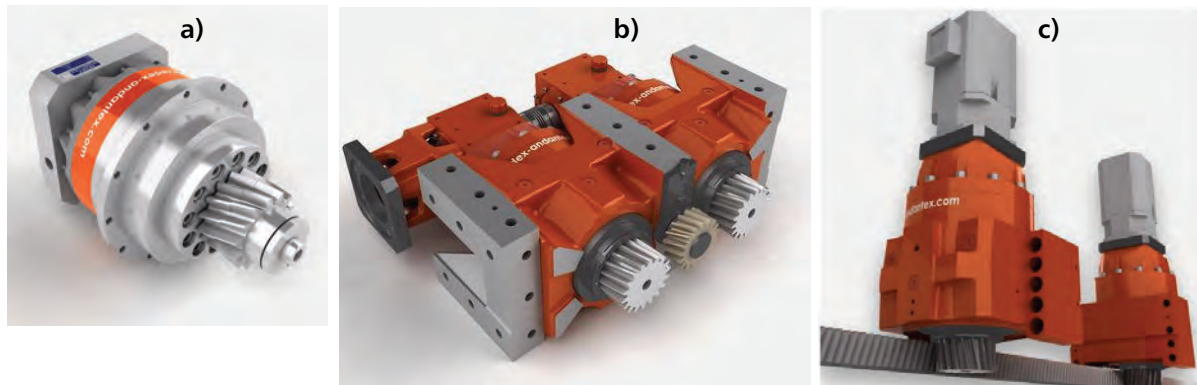
Obr. 11: Velkopřůměrové válečkové axiální ložisko RÖSSL&DUSO

Dále jen heslovitě:

Firma **S.4M** (It) která se specializuje na zakázkovou výrobu a vystavovala svá velkopřůměrová valivá ložiska. Podobně i firma **APB** (A). Firma **FIBRO** (D) představila svůj sortiment otočných stolů hnaných šnekovým soukolím i prstencovými motory. Jako uložení jsou použita valivá nebo hydrostatická ložiska. Firma **OMR** (It) se specializuje na velké otočné stoly. Firma **Sankyo - Seisakusho** (J) se specializuje na malé naklápací otočné stoly. Firma **Demmeler** (D) představila své velkopřůměrové otočné stoly uložené na hydrostatickém ložisku. V některých případech je otočný stůl ještě umístěn na posuvové ose s valivým vedením. Zajímavostí byl otočný stolek firmy **Zollern** (D) průměru 300 mm na aerostatickém ložisku a s přímým pohonem.

5 Ozubené hřebeny a pastorky, převodovky s vnitřním předepnutím

Firma **REDEX-ANDANTEX** představila různé varianty planetové převodovky SPR s či bez pastorku. Přebodovka SPR je přímo určná pro aplikace typu hřeben - pastorek, vyznačuje se velkou torzní a radiální tuhostí. Pro bezvůlové aplikace je možné osadit ji děleným pastorkem s dvěma pootočenými díly (split-pinion), (obr. 12a). Příklad aplikace principu dvou předepnutých pastorků vycházejících z jediné robustní převodové skříně DRP+. Předepnutí je možné vyvozovat buď elektricky za použití dvou motorů (označeno "TwinDRIVE"), nebo připojením k jedinému motoru a vzájemným mechanickým pootočením převodových cest (označeno "DualDRIVE"), (obr. 12b). Řešením umožňujícím pouze "elektrické" předepnutí je princip KRPX - Turnkey (obr. 12c), který využívá dvou sestav pastorek-přebodovka-motor (obr. 12). Podobně jako typ DPR+ i KPRX vyniká vysokou torzní a ohybovou tuhostí.



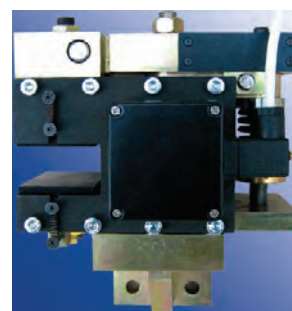
Obr. 12: Pohony firmy REDEX a) SPR s děleným pastorkem, b) DRP+ DualDRIVE, c) KRPX TwinDRIVE

Na EMO 2009 vystavovala i firma **GÜDEL**, která se specializuje na aplikace pro průmyslovou automatizaci. Z její produkce: planetové převodovky pro pohony hřeben-pastorek, výroba ozubení: hřeben-pastorek, komponenty pro šneková soukolí, kola s kuželovým ozubením. Obdobně, hřebeny s přímým nebo šikmým ozubením nabízí firma **Schneberger** (D). Svůj sortiment bezvůlových harmonických převodovek představila firma **Harmonic Drive** (US) využívající svého vlastního typu ozubení, bez výraznějších novinek.

6 Brzdy pohybových os

Německá firma **HEMA Maschinen-und Apparateschutz** (www.hema-schutz.de) vyrábí krytování pohybových os, kloubů, spirálové kryty kuličkových šroubů a brzdy pohybových os. V následujícím jsou představeny novinky firmy se zaměřením na brzdy pohybových os.

Elektromagnetická brzda HEMA SSB-1000 (obr. 13, obr. 14) je kompaktní univerzální elektromagnetická brzda určená pro obecné použití v konstrukci strojů, dopravníků a jeřábů. Může být použita i v prostředích s vyššími teplotami. Brzda funguje na známém principu, kdy sevření čelistí je zajištěno pružinou a jejich rozevření zajišťuje elektromagnetická síla. Proto může být brzda použita i jako zádrž i jako brzda bezpečnostní. Plovoucí ložisko brzdy kompenzuje drobné axiální nepřesnosti kotouče a pomáhá tak zajišťovat rovnoměrnější rozložení brzdného tlaku. Brzda je navržena pro tloušťky kotouče 20; 25; 30 mm. Vyvinutá přítlačná síla dosahuje 10 kN, brzdny moment (v závislosti na průměru kotouče) dosahuje až 6,5 kNm. Při hmotnosti brzdy 25 kg je tak dosaženo vysokého poměru výkon ku hmotnosti. Inovovaný elektromagnetický systém pomáhá předcházet přehřátí brzdy a snižuje spotřebu energie. Další technické parametry jsou na obr. 14.

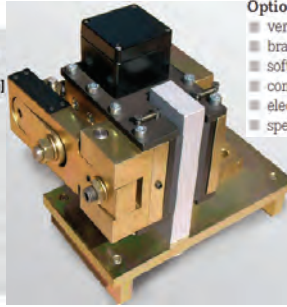


Obr. 13: Elektromagnetická brzda HEMA SSB-1000

Design:

- nominal contact force: 10 kN
- max lining wear: 7 mm per side
- unadjusted lining wear: 0.5 mm per side
- configurable braking torque: 60-100%
- weight: 25 kg
- brake disc diameter: from 350 mm
- rated voltage: 230 - 400 Vac \pm 10%
- rated frequency: 50 - 60 Hz
- rated power: 2 kVA breakaway phase, 10 VA retaining phase
- protection classification: IP 65
- duty cycle: 100% absolute
- max switching frequency: 600 h⁻¹ at 20 °C
- braking torques: see table

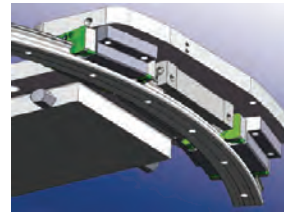
brake disc diameter [mm]	friction coefficient 0.3		friction coefficient 0.4	
	moment [Nm]	moment [Nm]	moment [Nm]	moment [Nm]
355	897		1196	
430	1122		1496	
520	1392		1856	
630	1722		2296	
710	1962		2616	
800	2232		2976	
900	2532		3376	
1000	2832		3776	
1250	3582		4776	
1600	4632		6176	

**Options:**

- vertical/parallel flanged connection relative to brake disc
- brake disc thickness: 20, 25, 30 mm
- softer spring for smaller braking torque range
- condition monitor with up to two sensors
- electric wear limit indicator
- special designs with sintered linings

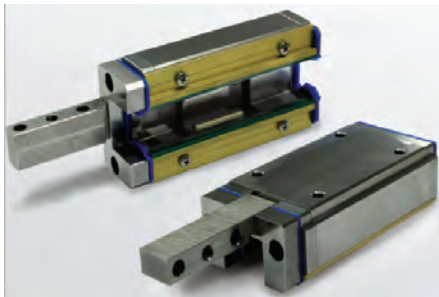
Obr. 14: Parametry a volitelná příslušenství brzdy HEMA SSB 1000

Pro potřeby brzdění či upínání v zakřivených úsecích lineárních vedení nabízí HEMA brzdňý/upínací systém LinClamp S (obr. 15) s adaptovatelnou geometrií čelistí poskytující plně funkční řešení praktických aplikací.

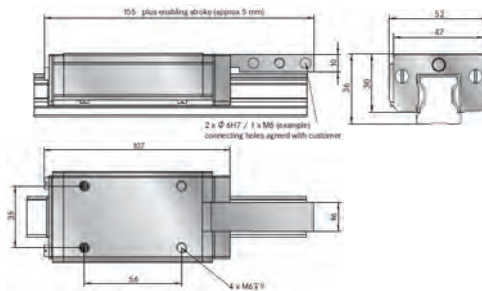


Obr. 15: Brzdňý a upínací systém HEMA LinClamp S

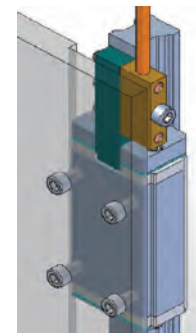
HLVB HEMA Linear Vertical Brake (obr. 16) je bezpečnostní brzda pro vertikálně se pohybující zátěže s vyvažováním. Brzda pracuje na čistě mechanickém principu a je přímo propojena s mechanismem vyvažování osy. Při bezporuchovém provozu vertikální osy je rozevření brzdy zajišťováno silovým působením vyvažování. Brzda je aktivována mechanicky poruchou vyvažování a zabráňuje tak pádu zátěže. Po obnovení správné funkce vyvažování se čelisti brzdy rozevrou a tím je umožněn další provoz vertikální osy. Brzda má kompaktní zástavbové rozměry (tvarem se velmi podobá valivému hnízdu) a montuje se na lineární vedení (obr. 18). Vyrábí se pro velikost kolejnice Bosch Rexroth 25, nominální (tj. minimální) zadržná síla je 1000 N, činnost brzdy se při pádu aktivuje na dráze menší než 10 mm. Rozměry brzdy jsou na obr. 17. Brzdu lze s výhodou použít pro vertikálně posuvné kryty strojů.



Obr. 16: HLVB HEMA Linear Vertical Brake



Obr. 17: Rozměry brzdy HEMA HLVB



Obr. 18: Instalovaná brzda HEMA HLVB

DiscClamp DSC 670 (obr. 19) je prstencová hydraulická brzda vhodná pro otočné stoly. Prostřednictvím 36 pístků vyvine při tlaku 50 bar brzdňý moment až 12 000 Nm. Vnitřní průměr brzdy je 670 mm. Další projekt DiscClamp firmy HEMA bude zaměřen na nouzové brzdění vysokootáčkových vřeten.



Obr. 19: DiscClamp DSC 670

7 Hydrostatická vedení a další hydrostatické aplikace

Hydrostatické vedení se vyznačuje takřka nulovým třením při pohybu, což je výhodné u velmi přesných strojů s požadavkem na minimální polohovací krok. Další vlastností je výborné tlumení vibrací, které je výhodné u strojů pro tvrdé obrábění a u velkých strojů obecně. Nevýhodou je potřeba přídatných zařízení zajišťujících přívod a odvod oleje a složitější konstrukční návrh.

7.1 Firma Hyprostatik Schönfeld

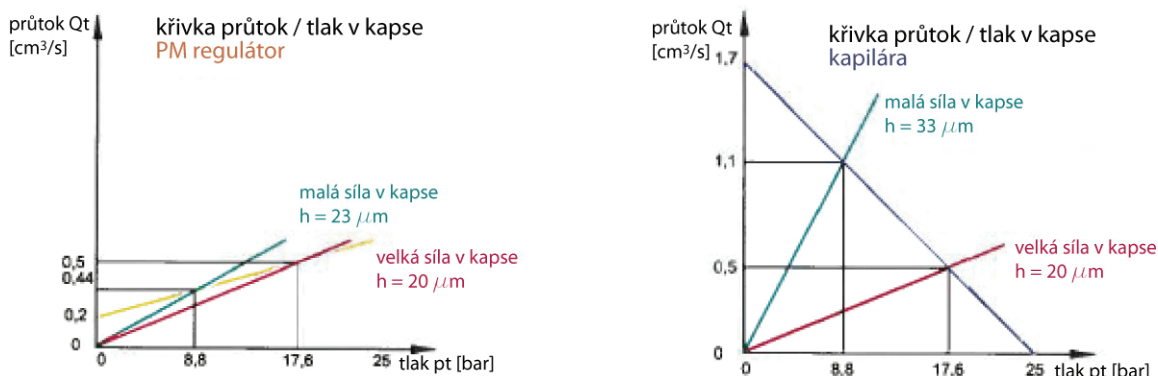
Firma Hyprostatik se pohybuje na trhu s hydrostatickými (HS) komponenty pohybových os obráběcích strojů od roku 1991. Stěžejní produkt PM regulátor průtoku (Progressive volume flow controller), (obr. 20), jehož aplikace je tradičně hlavním předmětem stánku Hyprostatiku na veletrhu EMO.

Jeho výhodou je výrazné zvýšení statické tuhosti v porovnání se standardním kapilárovým systémem. Zatímco při použití kapilár při zvyšování zátěže roste tlak v HS kapse a průtok HS buňkou klesá, charakteristika PM regulátoru je přesně opačná. Při zvyšování tlaku v HS kapse regulační prvek poskytuje vyšší průtok kapsou a snaží se udržet konstantní škrtící mezeru (obr. 21). Jako největší výhody používání PM regulátorů oproti konstantnímu hydraulickému odporu kapilár uvádí Hyprostatik:

- 3x až 5x vyšší statická tuhost
- redukce průtoku oleje a spotřeby energie čerpadla
- tlak v kapse nezávislý na viskozitě a teplotě tlakového média
- tlak v HS kapse může být 2 až 90 % tlaku čerpadla
- menší počet kapes ve vedení



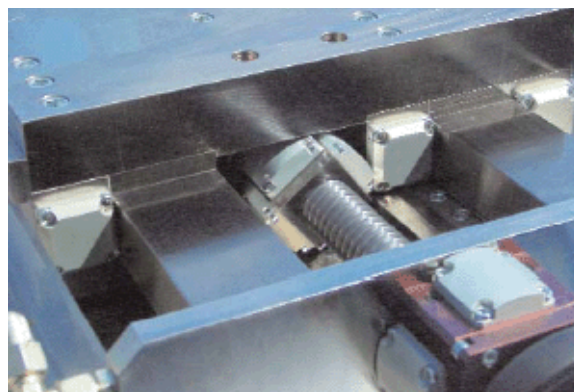
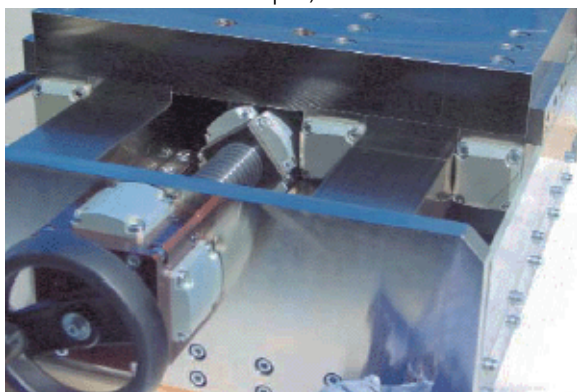
Obr. 20: PM regulátor průtoku.



Obr. 21: P/Q charakteristiky PM regulátoru a kapiláry v konkrétním HS systému

Aplikace PM regulátoru v kombinaci s čerpadlem a kapsou je možná v několika případech:

- vedení pro lineární nebo rotační pohyb
- uložení matic pohybových šroubů, axiální ložiska šroubů (na veletrhu byla ukázka modelu celé pohybové osy, obr. 22)
- uložení vysokorychlostních vřeten (bylo prezentováno vřeteno s upínacím rozhraním HSK100 a max. otáčkami 6 000 rpm)



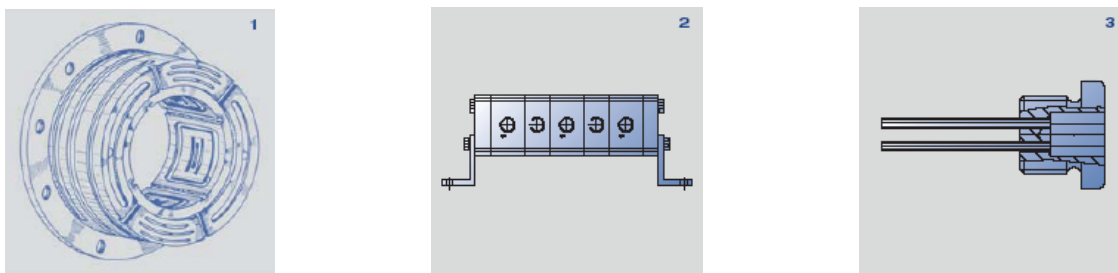
Obr. 22: Model pohybové osy na základě principu Fy Hyprostatik

Dle informací firmy lze HS vedení s PM regulátory použít pro jakékoliv reálné posuvové rychlosti. Kritériem návrhu je pak maximální přípustné silové zatížení, které vzhledem k rychlosti vystupuje v nepřímé úměře. Návrh vedení (rozměrů kapes a parametrů čerpadla) musí vždy probíhat s ohledem na vlastnosti PM regulátoru, proto na výjimky není možné jen nahradit původní kapiláru.

Aplikace produktů firmy Hyprostatik byly vidět u firem **UNION** (vrtací a frézovací stroje), **ROTTLER** (speciální obráběcí stroje), **KELLENBERGER** (brusky) a další.

7.2 Firma Zollern

Druhým významným výrobcem komponent pro HS vedení, prezentujícím na veletrhu EMO 2009, byla německá firma Zollern. Její kořeny sahají až do roku 1708, kdy byla založena jako slévárna. Od té doby se firma Zollern rozrostla a pokryla velkou část potřeb technických odvětví (vedle slévárenství také výroba profilů, dopravní technologie, ložiska a prvky pro strojírenství). V oblasti komponent HS vedení pohybových os firma Zollern představuje tři přístupy k řízení průtoku a tlaku v kapse, (obr. 23).



Obr. 23: HS komponenty pro řízení tlaku či průtoku firmy Zollern. 1) ložisko s předběžným škrcením (Bearing Clearance Compensator); 2) dělič průtoku; 3) kapilární trubičky

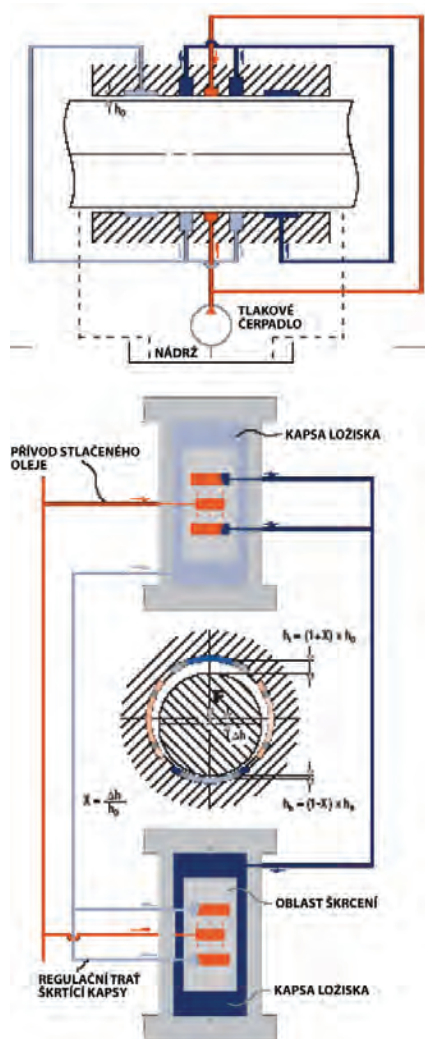
Nejzajímavějším přístupem je předběžné škrcení **Preliminary Throttle - Bearing Clearance Compensator**. Vlastní rovina ve středu každé kapsy je obrobena ve stejné výši jako plochou ložiska. Drážka pro tlak z čerpadla D_p , která je spojena čerpadlem, je vyfrézovaná ve středu každé rovny. Drážky pro tlak kapsy D_k jsou umístěny zleva a zprava drážky pro tlak z čerpadla. Hydraulický olej o určitém tlaku z čerpadla protéká z D_p do stran k drážkám D_k a zásobuje tak ložisko na druhé straně systému vedlejšími kanály (obr. 24).

Hlavními výhodami jsou :

- kompaktní koncepce
- není potřeba dodatečného nastavení po montáži
- vysoké rychlosti (50 m/s)
- použití nízkoviskózních kapalin
- konstantní tlak v kapse
- vysoká přesnost
- vysoká tuhost
- velmi efektivní tlumení

Použití **děliče průtoku** je dalším způsobem jak zásobovat HS kapsy tlakovým médiem. HS systémy (uzavřené i otevřené) s děličem průtoku se vyznačují nízkou tlakovou ztrátou mezi čerpadlem a kapsou a vysokou tuhostí.

Kapilární trubičky jsou vyráběny o vnitřních průměrech 4 až 8 mm a jsou zabudovány do šroubu s vnitřním šestihranem pro dobrou manipulaci a nastavování. Firma Zollern počítá s kapilárami v aplikacích s malými posuvovými rychlostmi, pro otevřené ložiskové systémy nebo jednotlivé HS kapsy. Kapiláry vyžadují nastavení před implementací do HS systému.

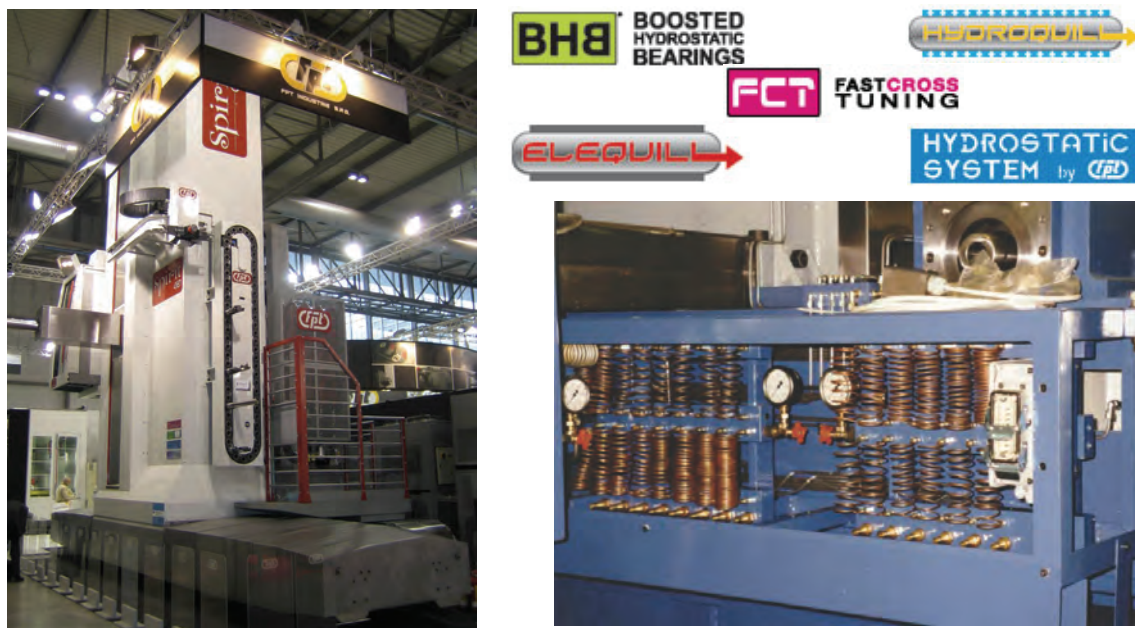


Obr. 24: Princip předběžného škrcení

Aplikace produktů firmy Zollern byla inzerována např. na brousicích strojích italské firmy Tacchella Macchine (PROFLEX4, PULSAR C3.75 a PULSAR C1.60).

7.3 Uplatnění HS na konkrétních strojích

Na vystavených strojích se hydrostatické nebo hydrodynamické lin. vedení a uložení vřetena objevilo např. na bruskách firem **Gioria a Okamoto**. Časté je využití HS pro uložení velkých rotačních stolů, např. **Škoda Machine Tool** nebo **ČKD Blansko**. Italská firma **FPT** představila velký frézovací stroj Spirit vybavený HS na vedeních všech pohybových os. Ten je určený pro potřeby výkonného obrábění velkých obrobků s vysokou přesností a je vybaven vlastním systémem MACHES (Multi Axis Control Hydrostatic Electronic System). Parametry HS jsou standardní: tlak kolem 60 bar, výška škrťící mezery do 50 μm a rozměry kapes jsou zhruba formátu A5.



Obr. 25: Stroj SPIRIT firmy FPT s HS systémem MACHES.

8 Shrnutí a závěr

Na veletrhu EMO Milano 2009 nebyly v oblasti komponent pohybových os prezentovány žádné převratné změny. Pokračují dílčí trendy ve snižování pasivních odporů, zlepšování těsnosti proti nečistotám, zvyšování tuhosti a únosnosti. Stále také platí, že teprve správným výběrem a aplikací komponent pro daný účel je možné plně využít jejich vlastností. Ke správnému výběru ve fázi konstrukce napomáhají jak praktické zkušenosti z provozu, tak výpočtové modely.