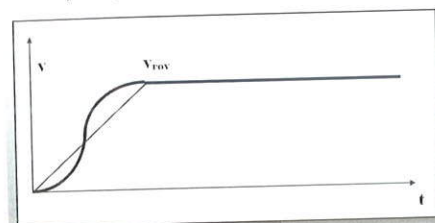


5.3. Posuvové soustavy lineární

ké ochrany pohonu. Motor totiž při vlastním rozběhu rozbíhá na požadovanou rychlost např. dle křivky dané obr. 5.75, a tím musí být dosaženo většího okamžitého zrychlení, čímž podstatným způsobem rostou nároky na urychlující moment a tím i proud.



Obr. 5.75. Rozběhová S křivka

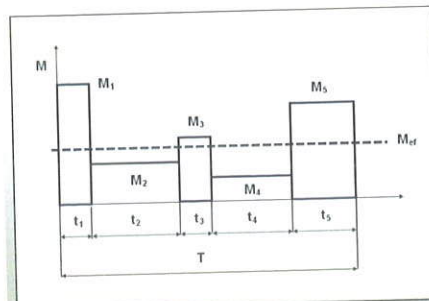
Při přeměně elektrické energie v mechanickou práci vznikají v motoru ztráty projeví se vývinem tepla. U vhodně navrženého servopohonu nesmí střední hodnota ztrát překročit dovolenou hodnotu, aby oteplení motoru nepřevýšilo mez stanovenou pro použitou třídu izolace motoru. Vzhledem k tomu, že u AC pohonů je moment motoru úměrný proudu kotvy, jsou ztráty úměrné druhé mocnině proudu, odpovídá střední hodnotě ztrát efektivní hodnota proudu kotvy, a tedy i momentu.

Pokud bude zatížení pohonu posuvu periodické (obr. 5.76), lze pro výpočet efektivního momentu psát rovnici: (5.79)

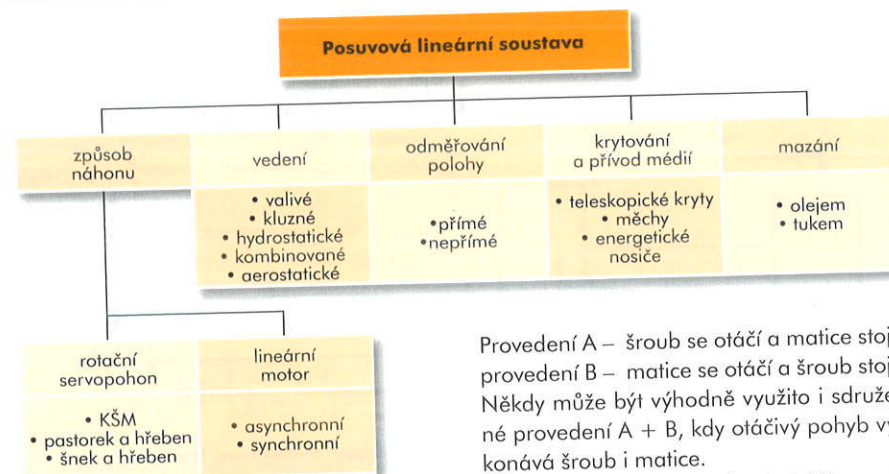
$$M_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n M_i \cdot t_i} \leq M_m$$

Efektivní moment je myšlená konstantní hodnota momentu mající na motor stejné tepelné účinky jako časově proměnný moment s periodou T.

Moment setrvačnosti redukovaný na hřídel motoru J_{RHM} má být pro kvalitní dynamické poměry $J_{RHM} = 1,5 J_{mot}$. Jeho hodnota může nabývat maximálních hodnot $J_{RHM} =$



Obr. 5.76. Průběh zatížení pohonu posuvu



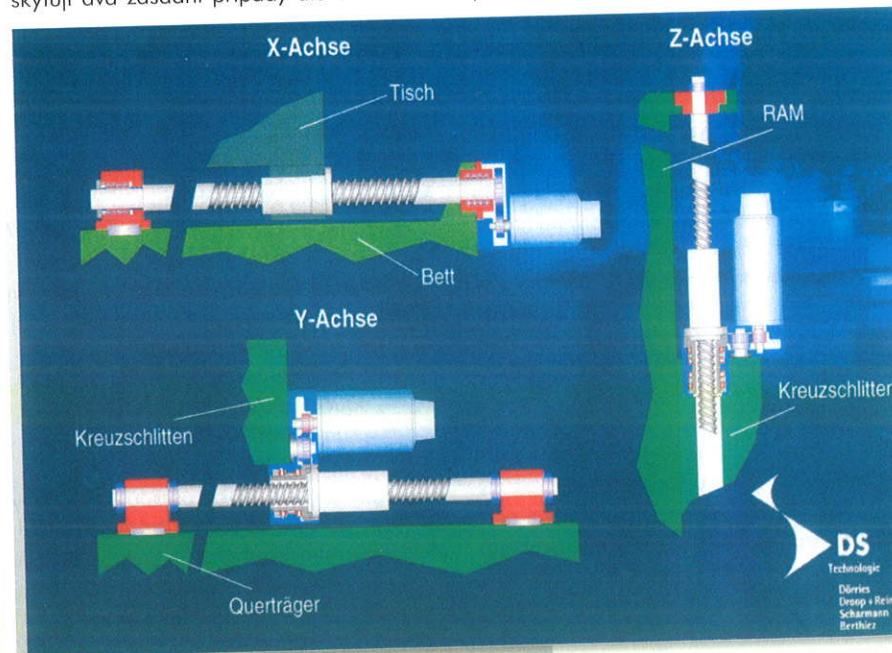
Obr. 5.77. Morfologie posuvové soustavy

3 J_{mot} . Skladbu posuvové soustavy lineární ukazuje obr. 5.77.

Kuličkový šroub a matice

Přímochařý pohyb u CNC obráběcích strojů je buď hlavní posuvový řezný pohyb (nástroje nebo obrobku) nebo pomocný pohyb. Využijeme-li pro náhon kuličkového šroubu a matice (KŠM) (obr. 5.78), vyvozuje motor rotační pohyb, který je přes kuličkový šroub transformován na přímočařý pohyb.

V provedení posuvového systému [1] pomocí pohybového šroubu a matice se vyskytují dva zásadní případy dle obr. 5.79.



Obr. 5.78. Náhon KŠM pomocí servomotoru [DS Technologie]

Provedení A – šroub se otáčí a matice stojí, provedení B – matice se otáčí a šroub stojí. Někdy může být výhodně využito i sdružené provedení A + B, kdy otáčivý pohyb vykonává šroub i matice.

Aby se zmenšilo opotřebení závitů, umožnilo se vymezení vůle a zlepšila se účinnost, zavádějí se šrouby a matice se třením valivým. V závitech mezi šroubem a maticí obíhají kuličky (obr. 5.80). Jejich účinnost bývá 90 % i více. Šroub a matice jsou ocelové, povrchy závitů kalené a broušené. Závity jsou vyrobeny s velkou přesností (dovolená odchylka stoupání např. 0,002 mm na 100 mm).

K hlavním přednostem kuličkového šroubu a matice patří [1] vysoká účinnost, minimální oteplování během provozu, možnost úplného odstranění vůle a možnost vytvoření předpětí (vysoká tuhost a přesnost), malé opotřebení a tím vysoká životnost, potlačení vzniku trhavých pohybů či možnost převodu přímočařého pohybu na rotační.

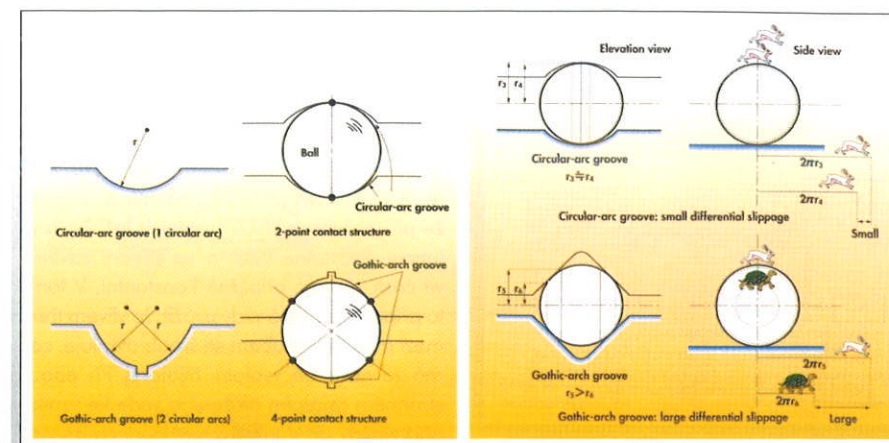


Obr. 5.79. Provedení pohonu pohybového šroubu a matice [NSK, Rexroth]

Výrobci kuličkových šroubů a matic používají dvě provedení profilu drážky pro odvalování kuliček a šroubu matice (obr. 5.80): a) s gotickým profilem – toto provedení se používá nejčastěji a rovněž náš výrobce (KSK Kuřim) je využívá pro svoje výhody, ke kterým patří zejména vysoká přesnost, možnost vymezení vůle a možnost předpnutí;

b) s kruhovým profilem – toto provedení je výrobně jednodušší, má však horší účinnost, dochází k většímu zatížení kuliček vlivem malého úhlu styku β . Někteří zahraniční výrobci tento profil používají často v provedení nekaleném. Šroub je vyroben tvářením, válcováním profilu, sice s menší přesností, ale velmi levně.

Profily kuličkového šroubu se mohou vyrábět okružovacím frézováním a posléze do-



Obr. 5.80. Gotický a kruhový profil závitů kuličkového šroubu [THK]

končovat broušením. Jiný způsob výroby realizuje firma Rexroth, kdy profil závitů šroubu válcuje (obr. 5.81). Šrouby bývají v závislosti

mocí spojky přes vložený převod (řemen, ozubená kola), přes vloženou převodovku či kombinací uvedených.

ODCHYLKA STOUPÁNÍ NA DÉLCE ZÁVITU 300 mm [mm]	BROUŠENÝ ZÁVIT			VÁLCOVANÝ ZÁVIT	
	IT 1	IT 3	IT 5	IT 5	IT 7
	0,006	0,012	0,023	0,023	0,052

TRÍDA PŘESNOSTI	JMENOVITÝ PRŮMĚR ŠROUBU [mm]										
	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
BROUŠENÝ ZÁVIT	IT 1	200	250	250	350	700	1 200	1 500	2 000	2 500	3 000
	IT 3	250	300	320	500	1 100	1 800	2 500	3 000	3 500	4 000
	IT 5	300	350	500	800	1 500	2 500	3 500	4 000	4 500	5 000
VÁLCOVANÝ ZÁVIT	IT 5		4 000	5 000	6 000	6 000	6 000	6 000			
	IT 7		4 000	5 000	6 000	6 000	6 000	6 000			

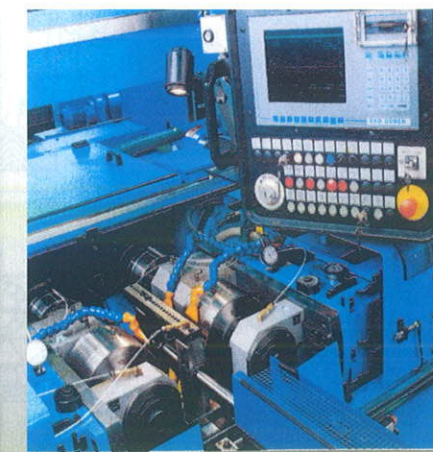
Tab. 5.15. Třída přesnosti KŠM [KSK Kuřim]

ti na délce vyráběny v různých třídách přesnosti a v různých délkách závitové části. Každý výrobce uvádí různé. V tab. 5.15 jsou uvedeny typické hodnoty pro KSK Kuřim.

Rotační AC servopohon je ke kuličkovému šroubu připojen (obr. 5.82) přímo po-

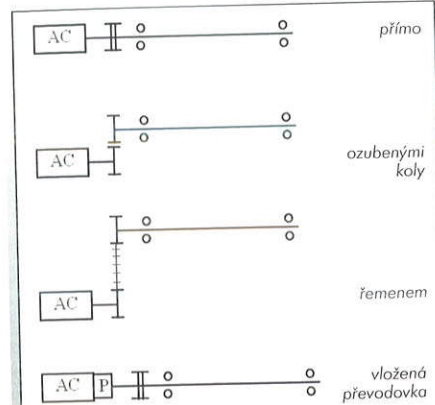


Obr. 5.81. Výroba profilu závitů šroubu válcováním [Rexroth]



Obr. 5.82. Připojení AC servopohonu k kuličkovému šroubu

5.3. Posuvové soustavy lineární



Obr. 5.82. Způsoby napojení AC servopohonu na kuličkový šroub

lizováno pěti různými způsoby (tab. 5.17). Pro uložení konců kuličkového šroubu jsou používána ve většině případů valivá ložiska včetně upevňovacích matic od specializovaných výrobců (obr. 5.83).

Důležitým parametrem pohybového mechanismu pomocí šroubu a matice je jeho statická tuhost, kterou ovlivňuje způsob axiálního uložení. Při jednostranném axiálním ulo-

žení dochází během zdvihu k poklesu tuhosti. Při oboustranném axiálním uložení a předepnutí je výsledný průběh statické tuhosti podstatně příznivější. [1] U tohoto provedení je však nutno uvážit vliv dilatací a oteplování pohybového šroubu během provozu, které by mohly být příčinou zadření. Je zřejmé, že při uložení ve dvou axiálních ložiskách je tuhost podstatně vyšší a ve střední zdvihové části zůstává přibližně konstantní. V tomto případě je nutné vždy uvážit, že vlivem tření mezi maticí a šroubem se šroub otepluje, což má za následek teplotní dilatace. Při oboustranném axiálním uložení to vede ke vzniku přídatných sil. V takových případech lze použít způsob, že se ve „studeném“ stavu šroub předepne na tah – během provozu (ohřívání) se nejprve zruší předepnutí na tah a dalším ohříváním na provozní teplotu vznikne axiální předepnutí potřebné pro docílení tuhosti posuvového systému. Takové řešení lze však využít jen na základě důkladné znalosti všech provozních parametrů systému. [1]

Všeobecně lze pro uložení pohybového šroubu stanovit některé hlavní konstrukční zásady: [1]

- přednostně volit pro velká zařízení ložiska s přímkovým stykem válečková, jehlová;
- minimalizovat počet opěrných, vložených kroužků, neboť každá styková plocha snižuje tuhost;
- připojovací a dosedací plochy mají být opracovány s vysokou jakostí povrchu;
- všechny prvky uložení (příruby aj.) mají mít maximální tuhost;
- jednotlivá ložiska je vhodné předepnout.

Případy možného uložení a vliv na výpočet vzpěrné síly a kritických otáček ukazuje tab. 5.18.

Kritické otáčky (critical speed) jsou dány [Star]: (5.80)

$$n_{KRIT} = \Delta_{LOZ} \cdot \frac{d}{L^2} \cdot 10^{-7} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

kde:

Δ_{LOZ} – korekturní faktor dle typu uložení (tab. 5.18)

d – průměr šroubu [mm]

L – délka šroubu (tab. 5.18)

Typ převádění kuliček	Poznámka
<p>převáděcí trubka</p>	Pro těžké zatížení. Několik převáděcích trubek. Užití pro masovou výrobu a běžná stoupání.
<p>deflektor</p>	Pro nižší zatížení. Převádění v rámci jednoho závitu. Užití pro malá stoupání.
<p>převáděcí kanál</p>	Pro střední zatížení. Několik převáděcích kanálů. Užití pro velká stoupání (čtvercové šrouby).

Tab. 5.16. Převádění kuliček v KŠM [NSK]

Způsob předepnutí	Poznámka
<p>vymezovací podložka</p>	Pomocí nabroušené podložky je mezi maticemi nastaveno předpětí. Užití pro delší matice s výbornou tuhostí.
<p>pružina</p>	Předpětí je provedeno pomocí pružiny. Užití pro delší matice a malé zatížení (menší tuhost).
<p>diference ve stoupání</p>	Předpětí je provedeno pomocí nabroušené rozdílného stoupání. Užití pro střední dílky matic s dobrou tuhostí.
<p>výběr kuliček</p>	Předpětí je dáno výběrem kuliček. Užívá se pro krátké matice s menší tuhostí.
<p>dělená matice</p>	Předpětí je dáno směrným spojením. Užití pro krátké matice s menší tuhostí.

Tab. 5.17. Vymezení vůlí mezi maticí a šroubem [NSK, Rexroth]

Pro provozní otáčky pak platí vztah: (5.81)

$$n_{prov} = n_{krit} \cdot 0,8 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

(buckling load)
Vzpěrná síla je dána: (5.82)

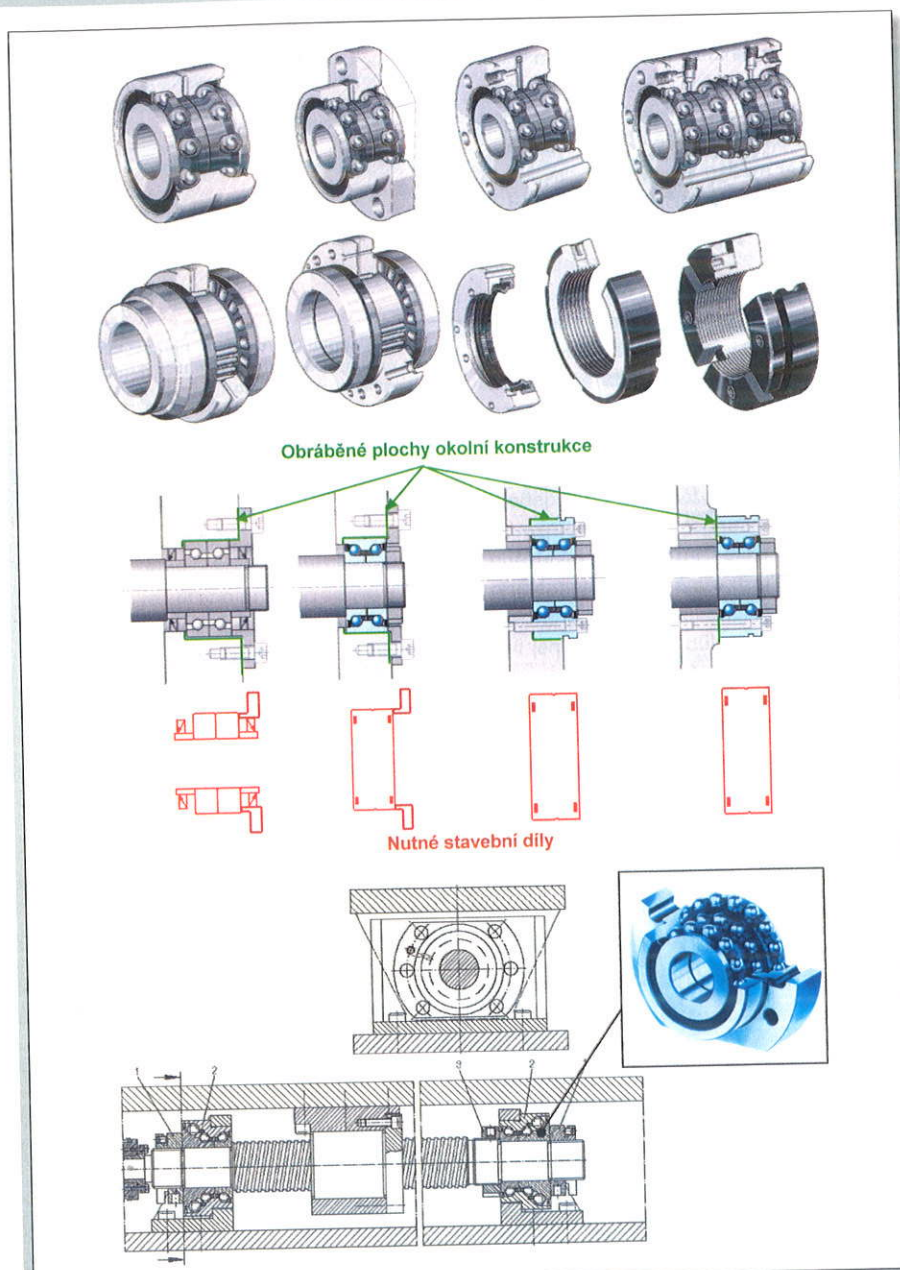
$$F_{krit} = \Delta_{LOZ} \cdot \frac{d}{L^2} \cdot 10^{-4} \text{ [N]}$$

Pro provozní axiální sílu pak platí: (5.83)

$$F_{prov} = \frac{F_{krit}}{2} \text{ [N]}$$

Stanovení trvanlivosti kuličkových šroubů se provádí pomocí výpočtu ekvivalentních otáček a zatížení [KSK Kuřim]. V případě proměnných otáček a proměnného zatížení se pro výpočet trvanlivosti dle ISO 3408 používají hodnoty n_m a F_{mo} , kde n_m (min⁻¹) jsou střední otáčky a F_{mo} (N) je střední vnitřní axiální zatížení (tj. střední

5.3. Posuvové soustavy lineární



Obr. 5.83. Valivá ložiska KŠM [INA FAG]

zatížení, které zahrnuje vnější axiální zatížení a předepnutí (5.84)

$$n_m = \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{100} \cdot n_j \quad [\text{min}^{-1}]$$

kde: q – poměrná doba působení v % (obr. 5.84) (5.85)

$$F_{ma(1),(2)} = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n F_{a(1),(2)j}^3 \cdot \frac{n_j}{n_m} \cdot \frac{q_j}{100}} \quad [\text{N}]$$

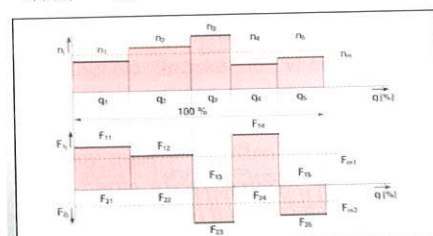
a pro konstantní otáčky, (5.86)

$$F_{ma(1),(2)} = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n F_{a(1),(2)j}^3 \cdot \frac{q_j}{100}} \quad [\text{N}]$$

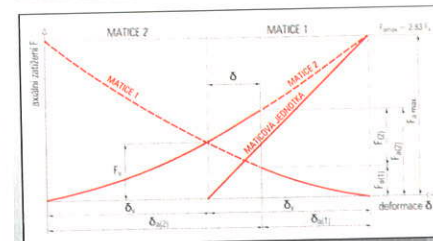
kde F_a je vnitřní axiální zatížení, které se vypočítá dle: (5.87)

$$F_{a(1),(2)} = F_v \cdot \left(1 + \frac{F_{1,2j}}{2,83 \cdot F_v}\right)^{3,2} \quad [\text{N}]$$

kde F_v je předepnutí (standardně $F_v = 0,1 \cdot C_a$), F je síla od vnějšího axiálního zatížení, indexy 1, resp. 2 označují směr zatížení a indexy (1), resp. (2) označují příslušnost k matici 1, resp. 2 (obr. 5.85)
Pozn.: Pokud $F_{1,2j} \geq 2,83 \cdot F_v$ pak platí $F_{a(1),(2)j} = F_{1,2j}$



Obr. 5.84. Ekvivalentní otáčky kuličkového šroubu [KSK Kuřim]



Obr. 5.85. Průběh sil a deformací v předepnuté matici KŠM [KSK Kuřim]

Trvanlivost kuličkového šroubu lze vyjádřit (5.88) v otáčkách:

$$L_{1,2} = \left(\frac{C_a \cdot f_m}{F_{ma(1),(2)}}\right)^3 \cdot 10^6 \quad [\text{min}^{-1}]$$

v hodinách:

$$L_h = \frac{L_{1,2}}{n_m \cdot 60} \quad [\text{hod}]$$

kde:

C_a – základní dynamická axiální únosnost [N] odpovídající stálému neměnnému zatížení, které KŠ může teoreticky přenášet při trvanlivosti 1 milionu otáček,
 f_m – koeficient vlivu jakosti a stavu materiálu (standardně je $f_m = 1,25$).

Pozn.: V předchozím výpočtu je uvažováno s předepnutou maticí. U matice s vůlí se do vzorce pro výpočet $L_{1,2}$ dosadí místo střední vnitřní síly $F_{ma(1),(2)}$ střední síla od vnějšího zatížení F_{m12} pro proměnné otáčky: (5.89)

$$F_{m1,2} = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n F_{1,2j}^3 \cdot \frac{n_j}{n_m} \cdot \frac{q_j}{100}} \quad [\text{N}]$$

Způsob uložení	Schéma	Poznámka
levý konec axiálně uloženo		L (critical speed) = vzdálenost určující kritické otáčky L (buckling load) = vzdálenost určující vzpěrnou sílu
pravý konec axiálně uloženo		$\Delta_{LOZ} = 27,4$
levý konec axiálně uloženo		
pravý konec radiálně uloženo		$\Delta_{LOZ} = 12,1$
levý konec axiálně uloženo		
pravý konec volný		$\Delta_{LOZ} = 4,3$

Tab. 5.18. Způsoby uložení kuličkového šroubu [NSK]

pro konstantní otáčky:

$$F_{m1,2} = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n F_{1,2j}^3 \cdot \frac{q_j}{100}} \quad [\text{N}]$$

Výsledná trvanlivost oboustranně zatíženého kuličkového šroubu s předepnutou maticí nebo maticí s vůlí je dána: (5.90)

v otáčkách:

$$L = \left(\frac{10}{L_{(1)}^9} + \frac{10}{L_{(2)}^9}\right)^{\frac{9}{10}} \quad [\text{min}^{-1}]$$

v hodinách:

$$L_h = \frac{L}{n_m \cdot 60} \quad [\text{hod}]$$

Korekce trvanlivosti s ohledem na požadovanou spolehlivost

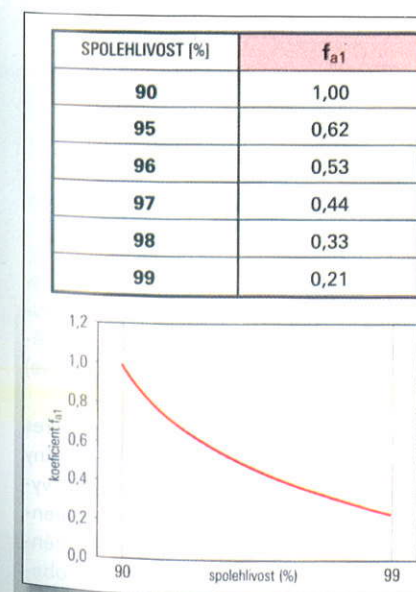
(5.91) v otáčkách:

$$L_a = L \cdot f_{a1} \quad [\text{min}^{-1}]$$

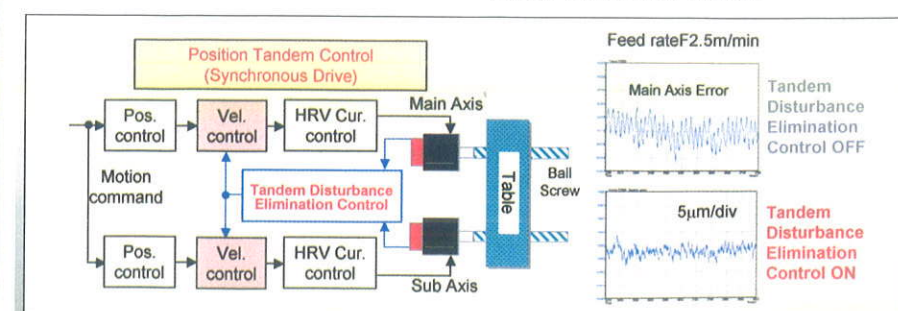
v hodinách:

$$L_{ha} = L_h \cdot f_{a1} \quad [\text{hod}]$$

kde faktor spolehlivosti f_{a1} je dán obr. 5.86. Některé posuvové souřadnice s KŠM mají tandemový náhon (obr. 5.87). Výhodou je větší akcelerace, dosažení větší síly (zejména pro dynamiku pohonu) a menší cena než u lineárních motorů.



Obr. 5.86. Spolehlivostní faktory KŠM [KSK KUŘIM]



Obr. 5.87. Tandemový náhon posuvové osy [Fanuc]