

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

DESKRIPCE RÁMŮ SOUSTRUŽNICKÝCH STROJŮ.

DESCRIPTION OF MACHINE TOOL FRAMES.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

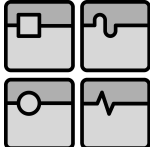
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN MÍČKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2008

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Anotace

Tato práce pojednává formou rešerše o rámech soustružnických strojů.

Jsou v ní obsaženy základní požadavky, které jsou na rámy kladeny. Z nich se blíže věnuje statické a dynamické tuhosti. V dalších bodech jsou zahrnuty způsoby výroby ráků a materiály, které se při výrobě používají. V neposlední řadě uvádí některé příklady konstrukcí jednotlivých částí rámu a způsoby jejich uchycení na základ stroje.

Annotation

This work describes the machine tool frames via background research.

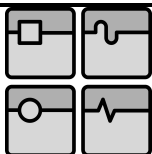
There are basic requirements for the frames included in this work. It is focusing especially on static and dynamic rigidity. Thereinafter you can find in my work all the ways of making the frames and also the materials which are used during their production. Last but not least I am presenting some examples of constructions single parts of the frame and all the ways of their attachment to the ground.

Klíčová slova

Statická tuhost, dynamická tuhost, rám stroje, soustruh, lože, stojan, příčník, požadavky, základ

Key words

Static rigidity, dynamic rigidity, frame of machine, lathe, bed, upright column, rail, requirements, ground

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Bibliografická citace

MÍČKA, M. *Deskripce rámů soustružnických strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.

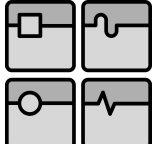
		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
		BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval samostatně, s pomocí rad vedoucího bakalářské práce a na základě uvedené literatury.

V Brně dne 23. 5. 2008

.....
Martin Míčka

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Blechovi Ph.D. za cenné rady, připomínky a účinnou podporu při realizaci této bakalářské práce.

Obsah

1. ÚVOD.....	10
1.1 Základní části soustružnického stroje.....	10
2. ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA RÁMY STROJŮ	11
2.1 Vysoká statická tuhost.....	11
2.2 Dynamická tuhost.....	12
2.3 Dobrý odvod třísek	12
2.4 Efektivní výroba.....	13
2.4.1 Výroba litých rámů	14
2.4.2 Výroba svařovaných rámů	15
2.5 Malá hmotnost.....	16
3. MATERIÁLY PRO KONSTRUKCI RÁMU STROJE	16
3.1 Volba materiálu	16
3.2 Polymerbeton	18
3.3 Kombinované materiály.....	19
3.4 Přírodní žula – Granit	19
3.5 Tradiční materiály – ocel, litiny	20
4. STATICKÁ TUHOST	21
4.1 Statická tuhost v posunutí a kroucení.....	21
4.2 Poddajnost	22
4.3 Styková tuhost.....	23
4.4 Tuhost spojení.....	23
4.5 Konstrukční zásady zvyšování statické tuhosti	24
4.5.1 Konstrukce lože.....	25
4.5.2 Konstrukce příčníků	26
4.5.3 Konstrukce stojanů.....	27
5. DYNAMICKÁ TUHOST	28
5.1 Druhy kmitání v soustružnických strojích	28
5.2 Vlastní (volné) kmitání.....	28
5.3 Kmitání buzené (vynucené).....	29
5.4 Kmitání samobuzené.....	30
5.5 Kmitání způsobené trhavými pohyby.....	32
6. ULOŽENÍ NA ZÁKLAD.....	33
7. ZÁVĚR	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	39

1. Úvod

Rám je základní nosnou konstrukcí každého obráběcího stroje. Rám soustružnického stroje tvoří především lože. U svislých soustružnických strojů pak i stojany a příčnky. Především na vlastnostech těchto základních uzlů závisí v konečném důsledku přesnost obrábění.

V posledních letech jsou, obecně na rámy všech obráběcích strojů, stupňovány nároky na zlepšení jejich vlastností. Jde především o parametry tuhosti pro zachycení rezných a setrvačných sil a parametry tlumení, schopné absorbovat (utlumit) rázy a chvění, vznikající jak při obrábění, tak při zrychlování a zpomalování pohybujících se částí obráběcích strojů. Obráběcí stroje v dnešní době totiž běžně operují se zrychlením (resp. zpomalením) dosahujícím několikanásobku hodnot gravitačního zrychlení $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$, pracovních posuvných rychlostí $50\text{-}60 \text{ m.min}^{-1}$ a hodnot rychloposuvů 100 m.min^{-1} . Je to způsobeno především aplikací vysokorychlostního obrábění, ale i například rozvojem rezných materiálů.

Těmto požadavkům lze vyhovět např. vhodnou volbou materiálu, propracovanější konstrukcí rámu stroje popř. jejich vzájemnou kombinací.

Dále jsou uvedeny základní požadavky kladené na rámy soustružnických strojů a některá možná řešení jak jim vyhovět.

1.1 Základní části soustružnického stroje

Lože - část stroje skříňovitého tvaru, zpravidla s převládající délkou. Většinou spojuje základní části stroje v celek. Na loži jsou vodící plochy (pro stůl, suport nebo další základní části stroje) a případně dosedací plochy pro uložení (připojení) dalších základních částí.

Podstavec - má stejnou charakteristiku jako lože, je však bez vodících ploch a slouží pouze pro uložení dalších základních částí.

Základová deska - spodní část stroje plochého tvaru. Jsou na ní dosedací plochy k uložení dalších základních částí, případně upínací plochy s drážkami pro upnutí stolu nebo obrobku.

Stojan - část stroje skříňovitého tvaru s výškou převládající nad délkou nebo šířkou. Jsou na něm vodící nebo dosedací (příp. upínací) plochy pro uložení dalších základních částí stroje.



Obr. 1.1 Základní části univerzálního hotového soustruhu [3]

Příčník – vodorovně uložená část stroje skříňovitého tvaru s délkou značně převládající nad výškou a šířkou. Je uložen zpravidla pohyblivě na jednom nebo dvou stojanech a jsou na něm vodící plochy pro vřeteník nebo suport.

Vřeteník – část stroje zpravidla skříňovitého tvaru. Je v něm uloženo vřeteno, případně i převodové ústrojí pro změnu otáček vřetena.

Saně – součást pohybující se přímočaře po vodících plochách základní části. Jsou kratší než vodící plochy základní části.

Suport – část stroje sestávající ze soustavy saní, popřípadě smykadel, která umožňuje nastavení nástroje do potřebné polohy vzhledem k obrobku a jeho pohyb v určeném směru a smyslu při obrábění.

Smykadlo - součást pohybující se přímočaře po vodících plochách nebo saní. Je delší než vodící plochy základní části.

Vodící (tažná) hřídel – hřídel zpravidla šestihranného nebo kruhového průřezu. Umožňuje strojní pohyb suportu – smykadla.

Vodící šroub – pohybový šroub jednochodý nebo několikachodý, zpravidla s lichoběžníkovým závitem. Umožňuje především strojní pohyb suportu při řezání závitu [3].



Obr. 1.2 Základní části svislého Soustruhu [3]

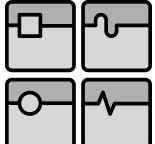
2. Základní požadavky na rámy strojů

2.1 Vysoká statická tuhost

Deformace základních částí rámu stroje má rozhodující vliv na zachování stálé vzájemné polohy základních vodících ploch soustružnického stroje a na zachování jejich tvaru. Tím určuje změnu relativní polohy nástroje a obrobku a ovlivňuje tak podstatně dosažitelnou přesnost práce stroje [2]. Je nutno v plné míře uplatňovat obecné zásady pro zvyšování tuhosti v otázkách volby materiálu, tvaru atd.

Základní části rámu stroje (loží, stojanů), které se vzájemně nepohybují, nebo delší lože skládající se z několika dílů, se spojují šrouby a kolíky, popř. pery. Předpětí spojovacích prvků (šroubů) musí vždy zajišťovat takové spojení, aby výsledná tuhost rámu stroje byla taková, jako kdyby byl vyroben z jediného kusu. Z této podmínky je tedy nutno vycházet při dimenzování spojovacích šroubů a stykových ploch [7].

Obecné zásady pro zvyšování statické tuhosti jsou uvedeny v kapitole 4.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

2.2 Dynamická tuhost

Odolnost stroje proti vzniku všech forem chvění (volné, vynucené, samobuzené) určuje využitelný výkon stroje a dosažitelnou jakost obrobené plochy. Měřítkem dynamické tuhosti soustružnického stroje je mezní dynamický průřez třísky, který má být (u dobrého stroje) vždy větší, než největší průřez třísky, který lze na soustružnickém stroji odebírat (technický parametr) [2]. Obsáhleji je tento bod rozveden v kapitole 5.

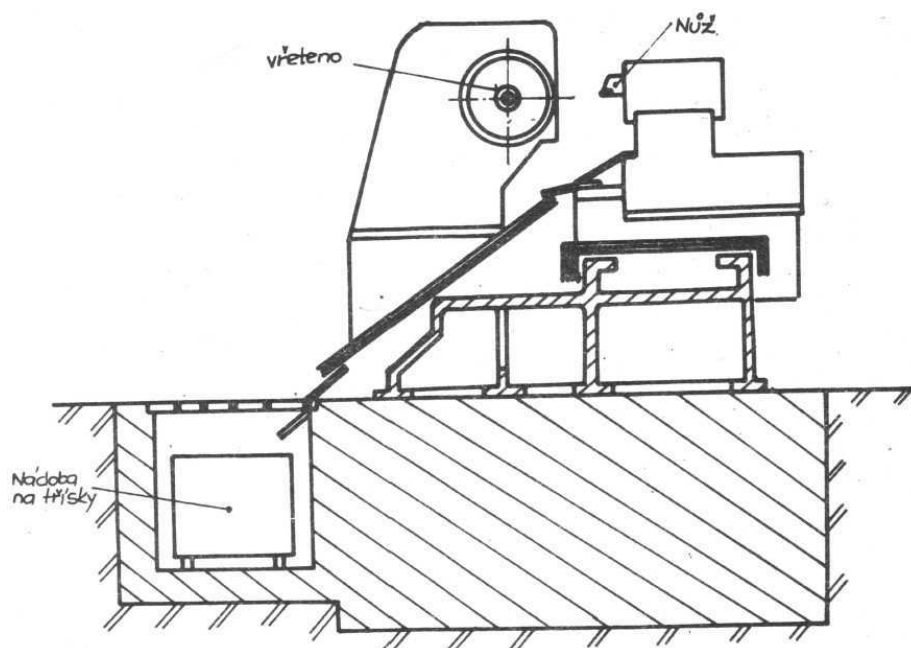
2.3 Dobrý odvod třísek

Tento požadavek je zvlášť důležitý u moderních vysokovýkonných strojů, u nichž vzniká velké množství horkých třísek, které při nedokonalém odstraňování znemožňují práci stroje a svým teplem způsobují tepelné dilatace jeho částí, a tím opět ovlivňují přesnost jeho práce. Vodící plochy, pohonné mechanismy, vodící šrouby, musí být umístěny tak, aby padající třísky nemohly způsobit jejich poruchu nebo brzké opotřebení [2].

Optimální řešením je gravitační odvod třísek. Je nutno také dbát na to, aby plochy stroje, na které třísky dopadají, měli sklon min 50°. Pokud to není možné, je nutno využít intenzivního splachování a odplavování třísek.

Pro umožnění dokonalého a rychlého odstraňování třísek musí být v loži otvory se skloněnými skluzy, kudy třísky padají do vyjímatelných nádob umístěných v základu stroje, obvykle na jeho zadní straně, aby neomezovaly obsluhu stroje.

Moderní výkonné stroje, především stroje hrubovací, produkují velké množství třísek, jejichž dobrý odchod je podmínkou úspěšného provozu těchto strojů. Příklad výkonného, hrubovacího soustruhu o řezné síle 60MPa je uveden na obr. 2.1. Vhodnou koncepcí profilu lože a krytováním je zde dosaženo bezvadného odchodu třísek i ochrany vodících ploch a posunových mechanismů. K dokonalejšímu odchodu třísek byl dále u tohoto stroje zvolen způsob obrábění pod nůž, i když zvládnutí tohoto způsobu obrábění je vzhledem ke značným silám při hrubování velmi obtížné a náročné na tuhost uložení nástroje [2].



Obr. 2.1 Odvod třísek výkonného soustruhu [2]

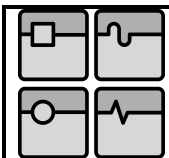
U strojů, kde nelze použít gravitační odvod třísek se využívají různé typy dopravníků třísek:

- magnetických, rotačních nebo pásových, vhodných pro drobné, ale i menší vinuté třísky magnetických materiálů
- mechanických, článkových vhodných pro všechny druhy třísek
- harpunovitých s přímočarým vratným pohybem, které jsou určeny zejména pro ocelové, vinuté třísky
- šnekové dopravníky s lícovaným (opracovaným) šnekem s korytem pro drobné a menší vinuté třísky

Tyto dopravníky se umísťují většinou v základě. Umístění má být provedeno tak, aby co nejméně narušovalo souvislost základu stroje a aby umožňovalo dobrou přístupnost dopravníku při jeho údržbě a opravách.

2.4 Efektivní výroba

Tento požadavek vyplývá z obecného požadavku na hospodárnost konstrukce. Volbou vhodné technologie lze do značné míry ovlivnit zbytkové napětí v materiálu, které způsobuje postupnou změnu tvaru základních dílů rámu stroje, a tím ovlivňuje jeho přesnost. Tvar loží, stojanů a ostatních částí rámu soustružnického stroje je dán nejen požadavky uvedenými v předchozím, ale také volbou materiálu a technologií výroby - jiný bude u odlitku, jiný u svařence [2].

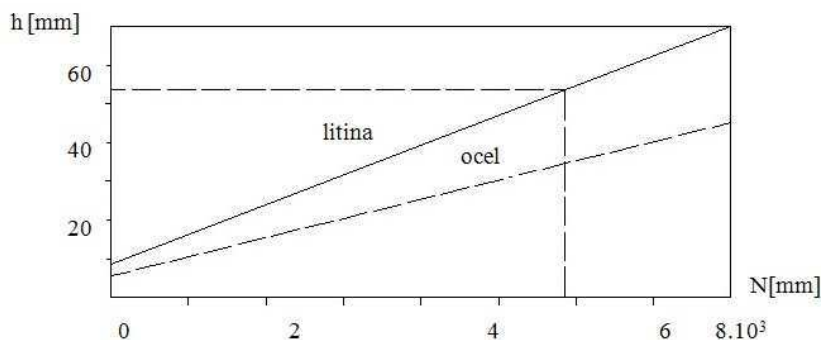


2.4.1 Výroba litých rámu

Odlévané rámy jsou vždy těžší než svařované, a to z těchto důvodů:

- Litina má menší modul pružnosti v tahu i ve smyku, proto je nutno volit při požadavku stejné tuhosti u odlitku tlustší stěny než u součásti svařované ocelového plechu.
- Průřezy namáhané v kroucení nedají se u odlitků vytvořit zcela uzavřené, proto je nutno volit tlustší stěny a hustší vyžebrování.
- Z důvodu technologických (se zřetelem na možnosti odlití) je nutno volit u odlitků větší tloušťku, než by bylo třeba podle požadované tuhosti [7].

Určení tloušťky stěny odlitku se provádí dle charakteristického rozměru N , které je závislé na rozměrech odlévané součásti. Tomuto číslu je přiřazena tloušťka stěny (viz obr. 2.2) Tvar odlitku by měl být co nejjednodušší a téměř vždy je po konstrukčním návrhu upravován na technologické zvyklosti příslušné slévárny. Stává se tak běžně, že musí dojít ke kompromisu mezi technologií a konstrukcí [3].



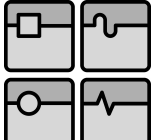
Obr. 2.2 Tloušťka stěny odlitku ze slitiny železa [3]

Z obecných zásad, které je potřeba při navrhování všech odlitků dodržet, je to např. nutnost snadné manipulaci, možnost čištění po vyjmutí z formy, přiměřenou hmotnost, přístup k opracovaným plochám, technologii lití, tvarovou a funkční správnost odlitku (spíše rovné plochy), rovnoměrné tuhnutí ve všech částech odlitků, plynulé přechody stěn se zaoblením, polohu při odlévání (vůli mezi navazujícími odlitky).

U šedé litiny volíme takovou polohu, aby obrobené vodící plochy byly ve spodku formy. Se zřetelem na tuto zásadu jsou velmi obtížně odlévatelné např. stoly karuselů, které na vrchu mají upínací plochu s upínacími drážkami, na spodku pak vodící plochy. Obkládání vodících ploch (plastickými hmotami nebo neželeznými kovy) usnadnilo značně volbu polohy při lití a zlevnilo celý proces.

Při navrhování odlitků loží, stojanů i ostatních dílů rámu stroje musí konstruktér zachovat následující požadavky:

- Vhodnou volbou tvaru obrobku i obráběných ploch musí být umožněno rychlé, snadné a jednoznačné upínání.
- U velkých součástí je nutno respektovat možnost snadného obracení upravením vhodných otvorů nebo háků k zachycení lana.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- Je nutné vyvarovat se obrobených ploch skloněných proti osám určenými základními plochami, neboť upínání velkých a těžkých obrobků (aby se umožnilo jejich obrábění) je obtížné, zdlouhavé a proto velmi nákladné. Navíc je zde i zvýšené nebezpečí úrazu.

Pro kontrolu tvaru, rozměrů a hmotnosti odlitků je směrodatný výkres odlitku nebo postupový výkres. Zbytky po nálitcích a vtocích musí být ve slévárně odstraněny jak na obráběných, tak i neobráběných plochách. Hrubé odlitky nesmějí mít povrchové vady, které by byly na závadu - jednak funkční závady (nenalité žebra apod.), jednak vycezeniny či jiné vnitřní vady. Dále se prověřují mechanické vlastnosti materiálu odlitku a jeho chemické složení. Mohou být předepsány i mechanické zkoušky (tah, tlak, tvrdost apod.) [3].

2.4.2 Výroba svařovaných rámů

Lože a stojany vyráběné touto metodou mají oproti odlitým tyto výhody:

- Není třeba modelu, což představuje snížení výrobních nákladů především při výrobě malého počtu stejných kusů.
- Kratší dodací lhůty (odpadá výroba modelu).
- Větší modul pružnosti oceli proti litině umožňuje větší svařence i při zmenšení jeho tíhy.
- Lze vyrobit zcela uzavřené profily, mající vysokou tuhost v kroucení při poměrně malé tíze. U odlitků se toho dosáhnout nedá.
- Ukáže-li se potřeba, lze hotový svařenec dodatečně upravit či zesílit.

Naopak nevýhodou svařovaných loží a stojanů je prakticky nemožnost použít základního materiálu, z kterého jsou vyrobeny, pro výrobu vodících ploch. Proto musí být vodící plochy vytvořeny na lištách z vhodného materiálu a přišroubovány a přikolíkované (ve výjimečných případech i přivařeny) k tělesu lože nebo stojanu. V takových případech mohou být vodící plochy litinové nebo ocelové, s kalenými činnými povrhy, popřípadě u saní obložené barevným kovem nebo umělou hmotou.

Nepočítáme-li cenu modelu, bývají obvykle náklady na odlití nižší než na svařování. Proto je výhodné volit svařované díly u strojů vyráběných buď jednotlivě, nebo v malých počtech kusů.

Dříve panoval názor (podložený zkouškami s jednoduchými tyčemi), že litinové díly lépe tlumí kmitání než svařované. Podrobnější a hlubší pokusy a zkoušky však dokazují, že tento názor není zcela správný. Spoje v místech svarů působí tlumivě, neboť se v nich těsně stýkají části, které se při kmitání vzájemně pohybují. Přesto, že jsou to pohyby nepatrné, přispívá tření při nich vzniklé k tlumení chvění. K tlumení chvění dále přispívá možnost provedení nepravidelného vyztužení profilu.

Jako materiálu se používá ocelového plechu s nízkým obsahem uhlíku, který je dobře svařitelný. Na jeho mechanických vlastnostech nezáleží, neboť lože a stojany soustružnických strojů jsou velmi málo namáhány, na deformace nemá prakticky jakost oceli vliv.

U zvlášť velkých strojů vznikají v posledním období snahy pro úspory kovového materiálu, který je nahrazován betonem a jinými nekovovými materiálu (plastbeton, polymerbetonem aj.). O těchto alternativních materiálech je více řečeno v kapitole 3.

Při volbě mezi litinovým odlitkem a ocelovým svařencem je rozhodující hledisko hospodárnosti, neboť oba druhy se dají vytvořit tak, že funkčně zcela vyhovují.

Pro zavedení svařovaných konstrukcí by závody potřebovaly speciální vybavení (stejně jako jsou vybaveny pro výrobu odlitků), což by jen přispělo k podstatnému snížení výrobních nákladů [7].

2.5 Malá hmotnost

Lože, stojany, příčníky jsou nejrozměrnějšími částmi soustružnických strojů, a proto má tento požadavek, uplatňovaný právě u nich, rozhodující význam na hospodárné využití materiálu spotřebovaného na výrobu. Snaha po snižování hmotnosti nesmí však mít nepříznivý vliv na ostatní požadované vlastnosti – tuhost a odolnost proti chvění [2].

3. Materiály pro konstrukci rámu stroje

3.1 Volba materiálu

Pro konstrukci rámu soustružnických stroje lze využít různé materiály, doposud nejčastěji pak šedou litinu, ocel i ocelolitinu, ale v poslední době ve stále větší míře i různé neželezné materiály, zejména beton a polymerbeton. Při volbě druhu materiálu je nutno vždy posuzovat zejména základní fyzikální vlastnosti daného materiálu, které přímo ovlivňují technické a provozní vlastnosti stroje:

- | | | |
|-----------------------------------|-----|---|
| - pevnost (tah, tlak, ohyb, krut) | = > | bezpečnost proti trvalé deformaci a zlomení |
| - specifická hmotnost | = > | hmotnost, statické a dynamické vlastnosti |
| - modul pružnosti (v tahu, smyku) | = > | statická a dynamická tuhost |
| - útlum chvění | = > | dynamické vlastnosti |
| - kluzné vlastnosti, tvrdost | = > | tření a opotřebení v kluzných zónách |
| - zbytkové napětí | = > | trvalá přesnost (dlouhodobá) |
| - tepelná roztažnost, vodivost | = > | tepelná stabilita |

V tabulce na obr. 3.1 jsou porovnány některé fyzikální parametry materiálů používaných ve stavbě soustružnických strojů. Jedná se jak o tradiční materiály (oceli na odlitky, litiny), tak i některé alternativní materiály jako např. polymerbeton, beton či granit.

Parametr	Modul pružnosti [MPa]	Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	Součinitel teplotní roztažnosti [K]	Pevnost v tahu [MPa]
Materiál				
Ocel St 37	$2,1 \cdot 10^5$	7850	$11,1 \cdot 10^{-6}$	350 ... 470
Ocelolitina	$1,7 \cdot 10^5$	7400	$9,5 \cdot 10^{-6}$	400 ... 700
Šedá litina 20	$0,8 - 1,1 \cdot 10^5$	7200	$9,0 \cdot 10^{-6}$	100 ... 200
Měď	$1,2 \cdot 10^5$	8950	$16,2 \cdot 10^{-6}$	200 ... 400
Hliník	$0,7 \cdot 10^5$	2700	$23,8 \cdot 10^{-6}$	120 ... 400
Mosaz	$0,9 \cdot 10^5$	8500	$19,0 \cdot 10^{-6}$	300 ... 700
Titan	$1,1 \cdot 10^5$	4500	$10,8 \cdot 10^{-6}$	500 ... 1200
Beton	$0,2 \cdot 10^5$	2500	$11,0 \cdot 10^{-6}$	5 ... 10
Polymerbeton	$0,4 - 0,6 \cdot 10^5$	2300 - 2500	$8,2 - 14,0 \cdot 10^{-6}$	20 ... 40
Granit	$0,9 \cdot 10^5$	3000	$8,0 \cdot 10^{-6}$	50
Al. oxid – keramika	$2,4 \cdot 10^5$	3400	$4,3 \cdot 10^{-6}$	320

Obr. 3.1 Fyzikální vlastnosti materiálů rámu [3]

Kromě těchto základních vlastností materiálů je nutné při volbě uvažovat ještě výrobně-technická a ekonomická hlediska a to zejména:

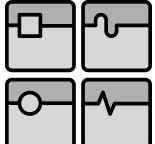
- cena materiálu,
- hospodárnost ve výrobě,
- obrobitelnost
- možnost sváření resp. odlévání apod.

Požadavky na vlastnosti konstrukčních materiálů se neustále zvyšují vlivem vývojových tendencí ve smyslu zvyšování výrobnosti a přesnosti soustružnických strojů. Tradiční materiály (ocel, litina) jsou v posledních letech doplňovány dalšími materiály pro skladbu rámu strojů na bázi betonu a zejména speciálních, tzv. polymerbetonů.

V tabulce na obr. 3.2 jsou uvedeny základní mechanické a tepelné vlastnosti používaného a v praxi ověřeného polymerbetonu (Rhenocast fy Schneeberger), ve srovnání s vlastnostmi klasických materiálů (ocel St 37, litina GG 20).

Č.	Druh materiálu Parametr	Šedá litina s lam. grafit. GG 20	Ocel neleg. St 37	RHENOCAST
1.	Modul pružnosti E [kMPa]	88 ... 113	210	40 – 45
2.	Pevnost v tahu [MPa]	200 ... 300	350 ... 470	15 – 20
3.	Pevnost v tlaku [MPa]	720	–	100 – 120
4.	Pevnost v ohybu [MPa]	290	–	28 – 30
5.	Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	7150	7850	2350 – 2450
6.	Koeficient tlumení	0,0045	0,0023	0,03 – 0,1
7.	Měrná tuhost [–]	$(12,3 - 15,8) \cdot 10^2$	$27,3 \cdot 10^2$	–
8.	Koeficient tepelné roztažnosti [K ⁻¹]	$10 \cdot 10^{-6}$	$12 \cdot 10^{-6}$	$11,5 - 14 \cdot 10^{-6}$
9.	Tepelná vodivost [W.mk ⁻¹]	50	50	1,5 – 2
10.	Specifická tepelná kapacita [J.kgK ⁻¹]	500	450	1200

Obr. 3.2 Mechanické a tepelné vlastnosti materiálů rámu [3]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Z porovnání vyplývá, že pevnostní ukazatele polymerbetonu se blíží parametrům některých kovových materiálu, např. hliníkových slitin. Zavedeme-li pro srovnání nový ukazatel tzv. měrné tuhosti (dané podílem modulu pružnosti ke specifické hmotnosti), jsou výsledky ještě příznivější ve prospěch polymerbetonu. Ukazují, že využitím polymerbetonu lze při stejné váze rámu stroje docílit vyšší parametry tuhosti, než při využití např. šedé litiny. Proti je ovšem postavena otázka ceny – alespoň prozatím [2].

3.2 Polymerbeton

Využití polymerbetonu pro konstrukci rámu soustružnických strojů přináší některé další specifické vlastnosti a požadavky, z nichž lze uvést zejména:

- Rám z polymerbetonu má podstatně lepší, dynamické vlastnosti (koeficient tlumení je $5 \div 12$ x vyšší než u litiny či oceli).
- Rám z polymerbetonu je tepelně stabilní. Je to dáno lepšími parametry tepelných dilatací a tepelné vodivosti. Stojan či lože z polymer-betonu je prakticky „necitlivý“ na změny teploty okolí a rovněž velmi málo přenáší teplo od zdrojů místního ohřevu (motory, pohony) na stroji.
- V praxi lze využít i princip „vylití“ vnitřního prostoru stávajícího ocelového nebo litinového dílu spodní stavby směsí polymer-betonu a tím výrazně zlepšit parametry tuhosti a stability.
- Další možnost využití dává princip „vylití“ tenkostěnné (ocelové) konstrukce rámu polymerbetonu. Vnější tvar, včetně připojovacích prvků, nahrazuje formu, díky čemuž se nemusí provádět pracné a drahé žebrování a vnitřek se vyplní polymerbetonem. Přitom se musí respektovat některé zásady, jako např.:
 - minimální tloušťka stěny polymer-betonu má být 80mm
 - všechny plochy ocelové konstrukce musí být odmaštěné, čisté a suché
 - plnicí otvory mají být pokud možno z jedné strany
- Při výrobě rámu stroje z polymer-betonu je nutno použít technologií odlévání do forem, které mohou být dřevěné nebo kovové. Dřevěné formy mají menší životnost (cca 20 odlití) a přesnost (cca ± 1 mm), ale jsou levné. Pro sériovou výrobu jsou vhodnější formy kovové (hliník, litina, ocel) s vysokou životností (až 1000 odlití) a přesností (cca $\pm 0,05$ mm).
- Některé funkční a připojovací plochy (vedení, závitové otvory, plochy pro manipulaci a polohování) musí být do rámu z polymerbetonu vhodně zality, s potřebnou pevností spojení. Je to dáno nižšími parametry pevnosti, tzn., že síly musí přenášet tento materiál jen v relativně velké ploše. Síly koncentrované na malé plochy (závitový otvor) nemůže přenášet. Proto mají být do základního tělesa pro všechny tyto případy vloženy a zality vhodné tvarované kovové konstrukční prvky (ocel, litina). Dimenze a tvar vestavných prvků je nutno volit tak, aby byla zvětšena styková plocha s polymerbetonem

pro přenos daného zatížení a aby byl vytvořen vhodný „zámek“ (bajonet, T-drážka, spirála, apod.). Rozměry vestavného prvku se volí tak, aby se např. dříve porušil závit ve vložce, než aby došlo k uvolnění celé vložky.

S postupným vývojem polymerbetonových materiálů se požadavky na rozměry vestavných prvků snižují. Obzvláště zvýšenou pozornost je nutno věnovat připojení vodicích ploch s ohledem na zajištění vysoké a dlouhodobé přesnosti, např. 0,005/2000mm. Doporučuje se dimenzovat vestavné prvky vedení tak, aby měrné tlaky působící na styčnou plochu v polymerbetonu nepřesáhly hodnotu $0,5\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ [2].

3.3 Kombinované materiály

Stále častěji jsou využívány i tzv. kombinované materiály pro stavbu rámu soustružnických strojů, zejména ocel a nekovaná hmota (např. polymerbeton, uvedený v bodě 3.2). Pro konstrukci rámu z kombinovaného materiálu musíme nejprve svařit tenkostěnnou ocelovou konstrukci. Tuto konstrukci, která nám tvoří spolu s připojovacími prvky formu musíme vyčistit, odmastit, vysušit. Konstrukci následně „vylijeme“ polymerbetonem, který nám tím nahradí konstrukčně a finančně náročná žebra. Přitom musíme dodržet minimální rozměr tloušťky stěny polymerbetonu, a to 80mm.

Typickým představitelem je Dem-Tec (viz obr. 3.3) nebo DUO-COM (Waldrich Coburg). Jako výhody jsou uváděny vysoká tuhost, výrazná redukce kmitů při obrábění, geometrická stabilita dílů, velmi dobré tlumení, minimální teplotní roztažnost či snadná výroba [3].



Obr. 3.3 Struktura Dem-Tec materiálu [3]

3.4 Přírodní žula – Granit

Opracované monolitní bloky z přírodní žuly (těžené většinou v oblasti jižní Afriky- proto častý název Granit Afrika) nejsou zatím až tak častým jevem v oblasti konstrukce rámu soustružnických strojů. Používají se především v konstrukci měřicích přípravků - stoly, pravítka, přesných souřadnicových měřicích strojů a speciálních, vysoce přesných obráběcích strojů (především souřadnicových vyvrtávaček). Ale i v konstrukci soustružnických strojů je použití Granitu pro jeho dobré vlastnosti stále častější (např. vřeteník i lože CNC soustruhu fy Hemburg).

Masivní bloky Granitu tvoří většinou nepohyblivé stoly (lože), příčníky apod. Pracovní plochy těchto bloků jsou velmi jemně a přesně opracovány a slouží i jako vodicí plochy většinou aero-statických vedení pro posuv dalších uzlů stroje.

Důvodem pro použití těchto materiálů je jejich vysoká tvarová stabilita, vysoká tuhost, nízký součinitel teplotní roztažnosti (v porovnání s ocelí zhruba poloviční), velmi nízký součinitel tepelné vodivosti, vysoká odolnost proti opotřebení atd. I v oblasti loží a ráků z granitu působí na trhu speciální firmy, jež tyto nosné struktury pro výrobce obráběcích strojů vyrábějí, např. Microplan Group, Ergbert Reitz Naturstechnik, JFA CNC, East Star, atd. [6]

3.5 Tradiční materiály – ocel, litiny

Přes zmíněné výhody alternativních materiálu, obzvláště polymerbetonu, je většina výrobců stále konzervativní. Hlavním konstrukčním materiálem jsou tak i nadále ocel a litina. To je dáno především množstvím zkušeností s jejich zpracováním a přiměřenou cenou. Snaha vyrobit nosnou soustavu sériově vyráběných soustružnických strojů z těchto tradičních materiálů s co nejlepšími vlastnostmi tak vede výrobce především k optimalizaci konstrukce pomocí využití sofistikovaných výpočtových metod a ke zlepšování vlastností použitých materiálů [4].

Ocelí a litin používaných pro konstrukci ráků je velké množství a vlastnosti jednotlivých tříd se liší. Obecně však platí, že velmi dobře splňují požadavky na tuhost a pevnost lože a ráku stroje, bohužel se však vyznačují nízkým vlastním tlumením (viz. Obr. 3.1, 3.2). Díky novým způsobům tepelného zpracování se však objevují nové materiály s lepšími vlastnostmi než klasické litiny.

Physical Properties	Metric
Specific Gravity	7.34 g/cc

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	280 - 550
Tensile Strength, Ultimate	345 - 448 MPa
Tensile Strength, Yield	172 MPa
Modulus of Elasticity	152 GPa
Modulus of Rupture	0.641 GPa
Compressive Strength	1380 MPa
Poissons Ratio	0.330
Izod Impact Unnotched	40.7 - 54.2 J
Fatigue Strength	207 MPa
Machinability	52.0 %
Shear Modulus	65.5 GPa

Thermal Properties	Metric
CTE, linear 68°F	12.1 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$
Shrinkage	1.30 - 1.50 %

Obr. 3.4 Fyzikální, mechanické a tepelné vlastnosti litiny Meehanite [5]

Jedním z příkladů je i litina Meehanite. Je to speciální litina s velmi jemnou strukturou, která zlepšuje její mechanické vlastnosti a tlumení. Konkrétní příklad fyzikálních, mechanických a tepelných vlastností jednoho z druhů litiny Meehanite jsou uvedeny v tabulce na obr. 3.4.

Lože a stojany konstruované z tohoto materiálu mají výbornou tuhost a tím zajišťují vysokou tuhost celého stroje a často jsou zdrojem tuhosti nabudovaných pohybových struktur.

Z hlediska rostoucího počtu aplikací především u asijských výrobců je možno tento materiál považovat za odpověď zastánců litých dílů na rostoucí množství svařovaných konstrukcí a experimenty s alternativními materiály [4].

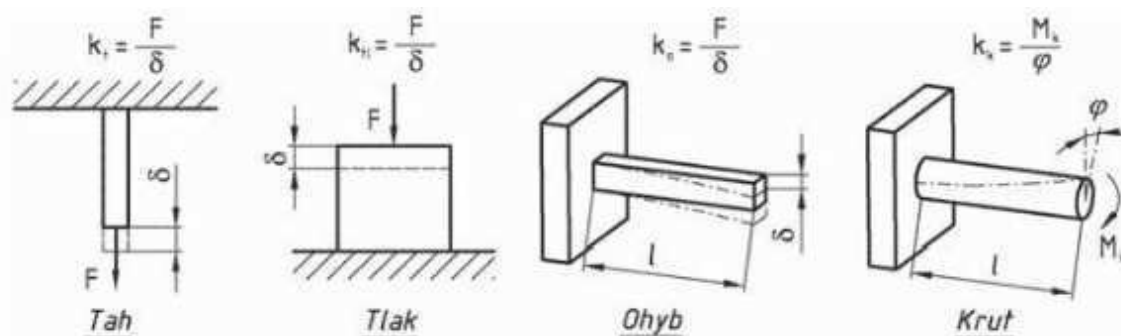
4. Statická tuhost

Při návrhu převážné většiny součástí a uzlů obráběcích strojů je určujícím hlediskem hledisko tuhosti a ne jenom pevnosti – pro dimenzování součástí je zde rozhodující velikost deformace vyvolaná zatížením.

4.1 Statická tuhost v posunutí a kroucení

Podle charakteru statických zatížení a sil vznikajících v technologickém procesu a vlivem silových složek hmotnosti vyskytují se nejčastěji 4 druhy zatížení a tomu odpovídající typy statické tuhosti dle obr. 4.1.

Deformace smykové jsou zpravidla zanedbatelné a rovněž deformace v tahu a tlaku jsou s ohledem na tvar a rozměry součástí i charakter vnějších zatížení nepatrné a proto se tuhost v tlaku a tahu až na některé zvláštní případy nevyšetřují.



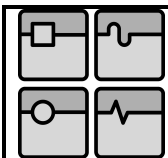
Obr. 4.1 Druhy statické tuhosti [3]

Statická tuhost se určuje buď samostatně, pro každou součást stroje zvlášť tzv. dílčí tuhost nebo pro celou soustavu součástí různými způsoby spolu spojených – tuhost celková.

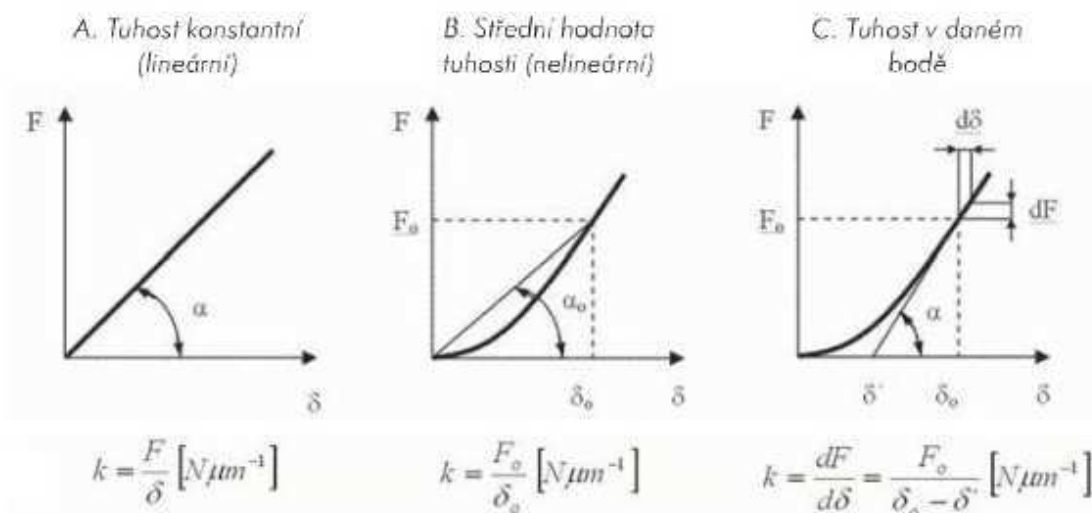
Dílčí tuhost se vyšetřuje tehdy, má-li se kontrolovat vhodnost volby rozměrů, tvaru a materiálu uvažované součásti. Dá se zjistit obvykle s dostatečnou přesností početné aplikací metod nauky o pružnosti a pevnosti. Měří-li se deformace vůči základu stroje, mluví se o tuhosti absolutní, měří-li se relativní deformace dvou součástí vůči sobě, mluví se o tuhosti relativní. Například pro přesnost práce soustruhu je směrodatná relativní tuhost mezi nástrojem a obrobkem [3].

Pro určení hodnoty statické tuhosti se využívají definice dle obr. 4.2, podle daných konkrétních podmínek:

- Tuhost je konstantní v celém rozsahu zatěžování. Vyskytuje se velmi zřídka a jen pro samostatné dílce bez spojovacích ploch při zatěžování v mezích Hookova zákona.
- Tuhost není konstantní a pro určení střední hodnoty tuhosti v daném rozsahu zatížení ($0 < F < F_0$) platí vztah uvedený v obr. 4.2.



C. Tuhost není konstantní a hodnota tuhosti v daném bodě je dána tangentou tečny.



Obr. 4.2 Definice statické tuhosti [3]

Touto definicí lze určit, jaké deformace vyvolá další zatížení předepnutého spoje danou silou F_0 .

Obdobné definice platí pro tuhost v kroucení:

$$s_K = \frac{M_K}{\varphi} \left[\text{Nm} \cdot \text{rad}^{-1} \right]$$

Charakteristiky tuhosti mohou mít různý tvar podle konkrétních podmínek vyšetřovaného uzlu [2].

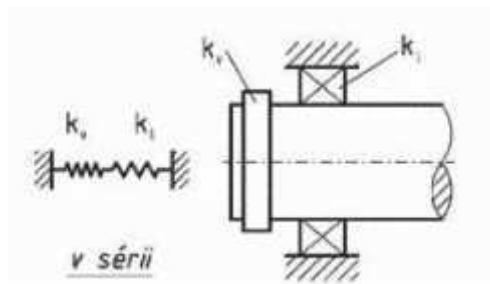
4.2 Poddajnost

Někdy je výhodné zavést pojem poddajnost, což je převrácená hodnota tuhosti:

$$c = \frac{1}{k} = \frac{\delta}{F} \left[\mu\text{m} \cdot \text{N}^{-1} \right]$$

Poddajnost určuje, jakou deformaci vyvolá jednotkové zatížení. Např. při sériovém uspořádání prvků s různou tuhostí dle obr. 4.3 je celková deformace konce vřetena dána součtem deformace vřetena δ_v a deformace uložení δ_L :

$$\delta = \delta_v + \delta_L$$



Obr. 4.3 Příklad sériového uspořádání [3]

Obráběcí stroj představuje zpravidla systém mnoha prvků a uzlů vzájemně propojených. Analýzou rozdělení a přenosu sil vznikajících deformací se zjišťuje vliv jednotlivých prvků na celkovou tuhost rámu (popř. celého stroje) [3].

4.3 Styková tuhost

Jak bylo zjištěno měřeními na soustružnických strojích, tvoří značnou část výsledných deformací deformace styků. Tyto deformace pocházejí jednak od deformací výstupků povrchových mikronerovností, vznikajících při obrábění, jednak od deformací makronerovností styčných ploch, které jsou dány tvarovými geometrickými nepřesnostmi [2].

Styková tuhost se definuje jako poměr mezi jmenovitým měrným tlakem p , mezi styčnými plochami a deformací δ povrchových vrstev v místě styku dvou těles v normálním směru:

$$k_{STYK} = \frac{p}{\delta} [N \cdot mm^{-3}]$$

Deformace výstupků povrchových mikronerovností se skládají z nepružných a pružných. Při prvním zatěžování převládají deformace nepružné, při druhém a dalším zatěžování převládají deformace pružné. Při prvním zatěžování vzniká tedy určité zpevnění povrchových vrstev, čímž se styková tuhost zvyšuje.

Deformace makronerovností jsou pouze pružné.

Pro docílení co nejlepších hodnot stykové tuhosti se doporučuje volit co nejvyšší jakost povrchu styčných ploch a stykové plochy volit s co největší předepnutím [3].

4.4 Tuhost spojení

Každé pevné spojení dvou součástí se deformuje v důsledku poddajnosti spojovacích součástí (šroubů, klínů, apod.) a poddajností styků. Při montáži je mezi spojovacími prvky a spojenými součástmi vyvoláno určité předepnutí. Podle druhu zatížení se rozeznávají deformace spojení v tahu nebo tlaku (účinkem zatížení silou kolmou ke styčné ploše), ve smyku (účinkem silou nebo dvojicí rovnoběžnou se styčnou plochou) a v natočení, v rovině kolmé ke styčné ploše (účinkem zatížení

dvojicí v rovině kolmé ke styčné ploše). Spojení jednotlivých uzlů rámu stroje jsou nejčastěji realizována jako vícenásobné, šroubové spoje [3].

Tuhost šroubového spoje je ovlivněna především:

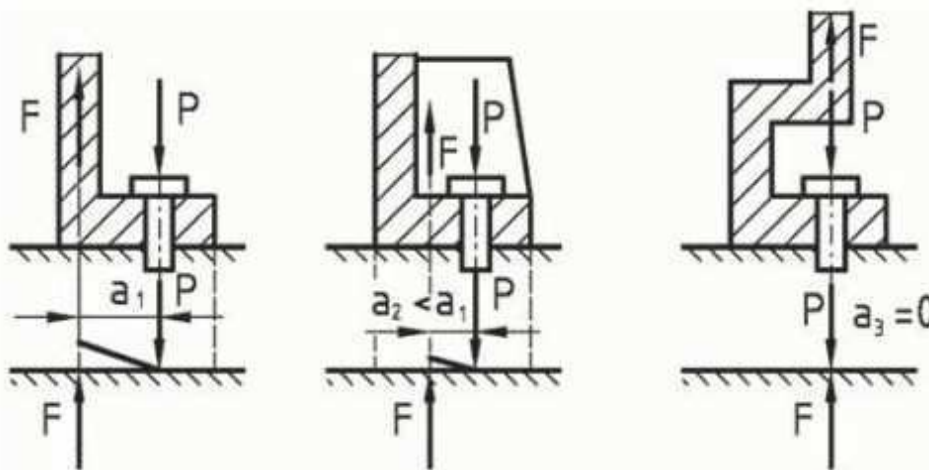
- o pevností šroubu (druh materiálu)
- o tuhostí příruby
- o stykovou tuhostí dosedacích ploch (viz bod 4.3)

Při konstrukci přírubových spojení jednotlivých dílů rámu stroje, je vhodné dodržovat tyto obecné zásady:

- rozměry základny příruby volíme co největší (pro snížení „pákového“ účinku)
- vzdálenost osy šroubů od nosné stěny (rozměr a) volíme co nejmenší, při respektování technologické výroby
- sílu příruby (rozměr h) volíme co největší pro zvětšení kontaktní zóny spoje

Přenos sil se v přírubovém spoji koncentruje do míst, kde jsou jednotlivé díly spojeny šrouby a vzájemně předepnuty. To vede k ohybovému namáhání příruby a vzniku místních deformací. Na obr. 4.4 je znázorněn princip ohybového namáhání různých provedení přírub. Je zřejmé, že umístěním šroubů co nejbližší k nosné stěně, mohou se deformace výrazně snížit.

Umístěním šroubů do roviny nosné stěny se vyloučí zcela chybové namáhání příruby ($a_3 = 0$). Přitom se samozřejmě částečně sníží tuhost základního profilu o vybrání pro komůrky a rovněž se poněkud zvýší pracnost. Tuhost spojení na principu komůrek je však velmi dobrá a proto se v praxi poměrně často využívá [2].



Obr. 4.4 Tuhost přírubových spojení [3]

4.5 Konstrukční zásady zvyšování statické tuhosti

Obecně platí, že součásti obráběcího stroje, pro jejichž dimenzování je kritériem tuhost, musí mít takový tvar, aby se dosáhlo co největší tuhosti, při co nejnižší spotřebě materiálu.

Rám CNC soustružnického stroje musí přenášet jak ohybové, tak i krutové zatížení. Je nutné a žádoucí studovat tyto dva základní druhy namáhání. Staticky lze

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

vyhodnocovat prvky rámu stroje, pokud není jejich geometrie příliš složitá a pokud je zatížení ohybové nebo krutové.

Toto je možné u prvků majících jediný hlavní směr deformace a lze je považovat za nosníky (např. stojany). Odolnost prvků rámu (loží, příčníků, stojanů) lze zlepšit účelným žebrováním [3].

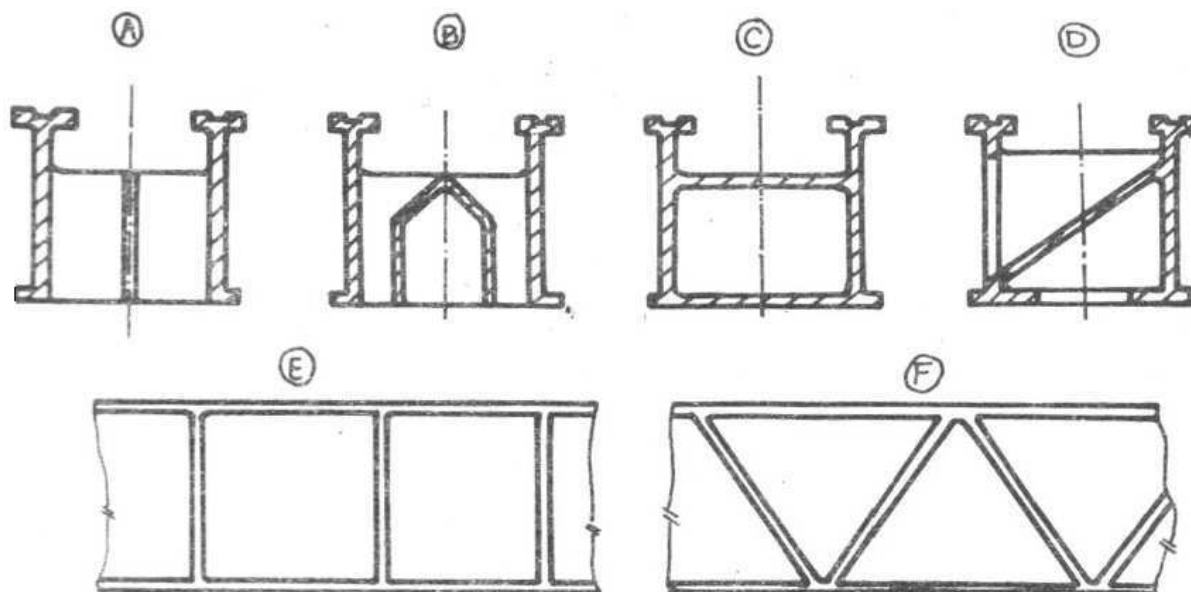
4.5.1 Konstrukce lože

Je základní nosnou částí stroje, která musí zajišťovat vysokou tuhost zejména v ohybu a kroucení. Speciálním požadavkem je tuhost tvaru, kterou lze dosáhnout vhodným upevněním na tuhý betonový základ příslušně dimenzovanými základovými šrouby (viz kapitola 6).

Konstrukční řešení musí dále umožňovat jednoduchou a levnou výrobu. Lože je většinou vyráběno ze šedé litiny. Dalším požadavkem je nízká hmotnost, neboť lože je nejrozměrnější část stroje a má tedy značný význam hospodárné využití materiálu na jeho výrobu. Snahy o snižování hmotnosti nesmí nepříznivě ovlivnit dobrou statickou a dynamickou tuhost [1].

Dobrá tuhost v ohybu a krutu se docílí vhodným profilem lože, pokud možno uzavřeným a vyztuženým žebry. Běžně používaná konstrukční řešení loží (např. CNC strojů) jsou však na jedné straně otevřená. Je to dáno z výrobních a technologických důvodů (žebrování, přístupy apod.) Tím že nevyužijeme uzavřeného tvaru, projeví se to negativně na výsledné tuhosti rámu stroje.

Dobrou tuhost lože soustruhu lze podstatně ovlivnit i volbou žebrování dle obr. 4.5. Při žebrování **F** je tuhost, zejména v krutu, podstatně větší než podle **E**, avšak průchod třísek ložem je ztížen. Uzavřený profil lože **C** je na kroucení velmi tuhý a dělá se u strojů, které nepotřebují propady pro třísky. U menších strojů je možné řešení **D**, první svislá stěna s podélnou šikmou stěnou tvoří téměř uzavřený profil značné tuhosti nejen v ohybu, ale i krutu. Zvýšení tuhosti rovněž přispěje uspořádání zdvojené mezistěny dle **B** s patřičným sklonem pro skluz třísek [2].

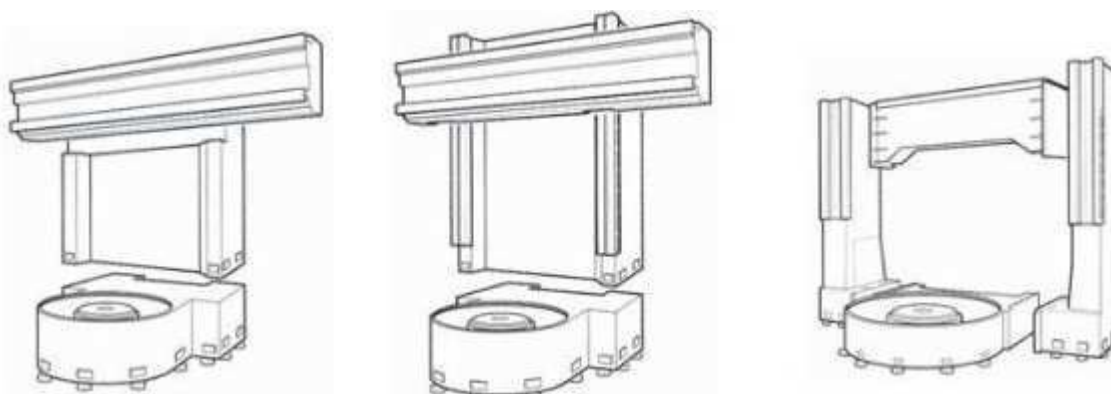


Obr. 4.5 Varianty profilu lože soustruhu [2]

4.5.2 Konstrukce příčníků

Příčníky mívají skříňovitý uzavřený tvar, vhodně uvnitř vyžebravaný se zřetelem na dosažení maximální tuhosti v kroucení a ohybu. Protože dovnitř těchto dílů jsou umísťovány jen málo rozměrné pomocné mechanismy, mohou být žebra provedena přes celý průřez, jak odpovídá požadavku vysoké tuhosti. Při tom je však třeba dbát i na požadavek ekonomického využití materiálu [2].

Příčníky se, podobně jako stojany, u soustružnických strojů používají pouze v konstrukci rámců svislých soustruhů (tzv. karusely) popř. soustruhů univerzálních (tzv. obráběcí centra). Příčník je buď pevný, nebo pohyblivý (viz obr. 4.6)

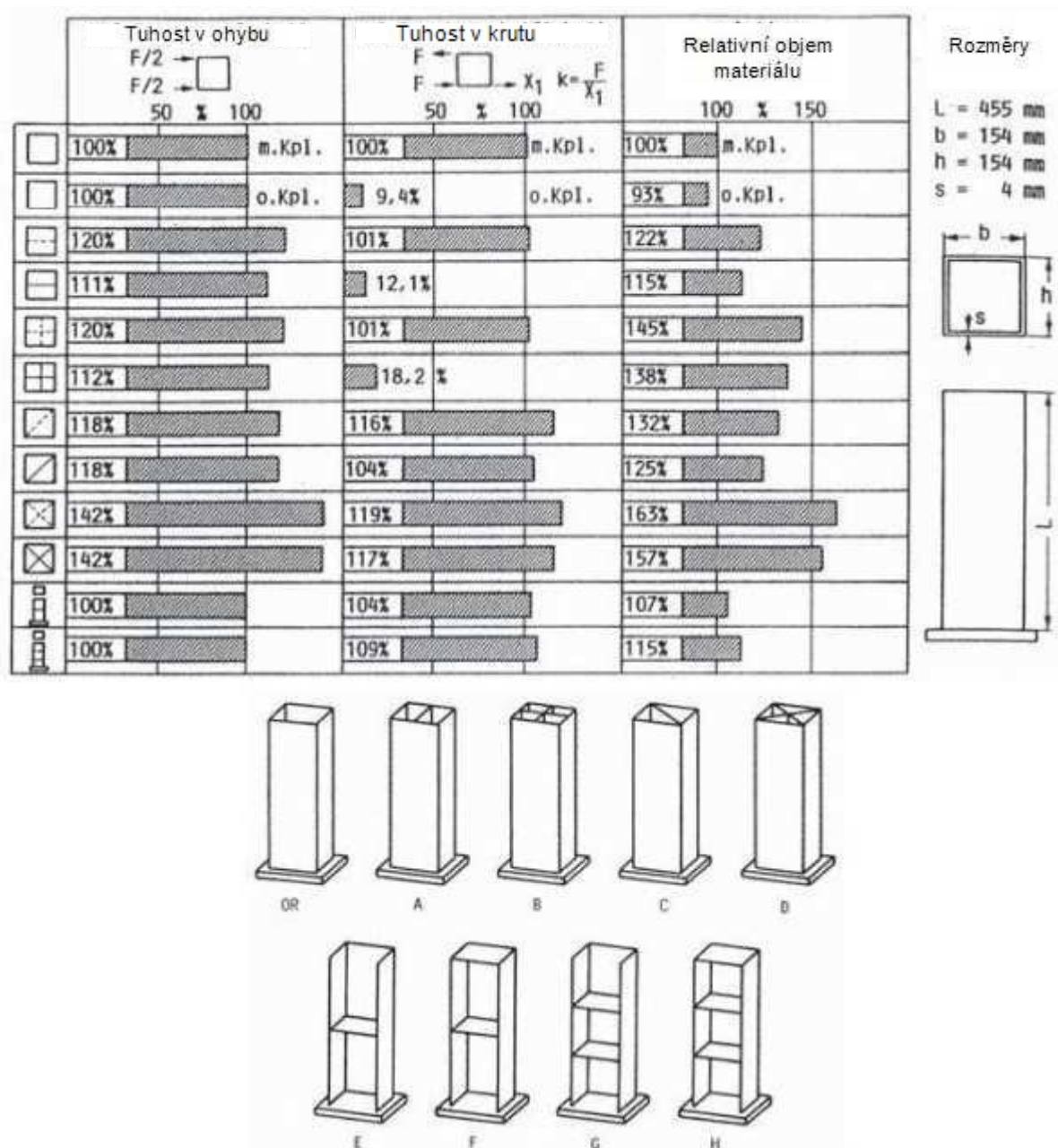


Obr. 4.6 Typy rámců svislých soustruhů [SIRMU] [3]

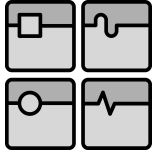
4.5.3 Konstrukce stojanů

Stojany soustružnických strojů jsou zásadně konstruovány jako uzavřené duté profily. Stojan a jeho tvar se ztuzuje obvykle nízkými vnitřními žebry o tloušťce stěn, protože jeho dutiny se často využívají k průchodu protizávaží pro suporty, vřeteníky apod.

Na obr. 4.7 jsou uvedené možnosti žebrování, které byly testovány pomocí metody konečných prvků na studii provedené prof. Weckem. Svary stojanů byly virtuálně zatíženy silami a momenty. Za základní je zvolen profil bez žebrování, se kterým jsou všechny ostatní srovnány.



Obr. 4.7 Odolnost stojanů vůči krutu a ohybu [3]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 28
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

5. Dynamická tuhost

Vedle statického zatížení mají při konstrukci uzlů soustružnických strojů značný význam časově proměnlivá, dynamická zatížení. Dynamickou tuhostí rámu máme na mysli odolnost vůči kmitání.

5.1 Druhy kmitání v soustružnických strojích

Kmitání soustružnických strojů je jevem velmi škodlivým. Zvyšuje značně namáhání součástí (často až na mez pevnosti materiálu), je pramenem otřesů, které obtěžuje okolí a způsobuje hluk. V soustružnických strojích zasahuje přímo do pracovního procesu, neboť zhoršuje jakost obráběné plochy a snižuje trvanlivost nástrojů. Někdy dosahuje takové intenzity, že znemožňuje práci stroje za daných hospodárných řezných podmínek, a tím snižuje produktivitu práce.

Ve skutečnosti je kmitání v soustružnických strojích velmi složitým jevem, neboť jde o soustavu hmotných a pružných těles, různými způsoby spolu spojených, které se při kmitání vzájemně ovlivňují. Sestavení a řešení pohybových rovnic, které by přesně popisovaly tyto jevy, by proto bylo velmi obtížné, ne-li nemožné. Proto se zavádějí tyto zjednodušující předpoklady:

- Absolutní tuhé hmoty jsou uloženy na nehmotných pružinách. V tom případě mluvíme o tzv. diskrétních hmotách a diskrétních pružinách.
- Pružiny mají lineární charakteristiky, tj. síla je úměrná deformaci. Zanedbává se vliv vlivů mezi jednotlivými stýkajícími se součástmi.

Řešení za prvního předpokladu dávají výsledky, které se celkem dobře shodují se skutečností. Druhý předpoklad platí pro deformace materiálu, pro něž platí Hookeův zákon. Pro materiály, pro něž tento zákon neplatí a pro deformace povrchových vrstev v místech styků dvou součástí platí lineární závislost deformace na zatížení pouze pro velmi malé deformace, jaké se obecně při kmitání vyskytují [2].

U obráběcích strojů se vyskytují 4 základní druhy kmitání:

- kmitání vlastní (volné)
- kmitání buzené (vynucené)
- kmitání samobuzené
- trhavé pohyby (Slip Stisk)

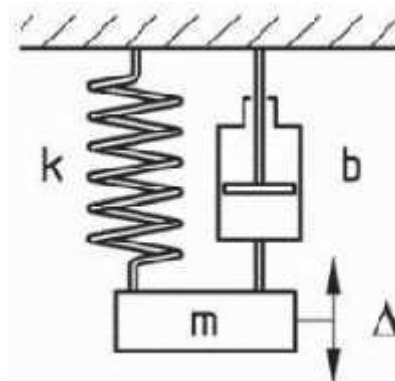
5.2 Vlastní (volné) kmitání

Vlastní kmitání vzniká vychýlením tuhé pružně uložené hmoty z klidové polohy účinkem síly nebo rázu s jejich následujícím zánikem. Velikost síly je přímo úměrná výchylce z klidové polohy (ale opačného znaménka) [3].

Vlastní netlumené kmitání se v praxi nevyskytuje, proto se jím nebudeme blíže zabývat.

Fyzikální model vlastního tlumeného kmitání je na obr. 5.1. Na nehmotné pružině o tuhosti k je zavěšeno těleso o hmotnosti m . Prodloužení pružiny účinkem tíhy nebereme v úvahu, protože způsobuje pouze posunutí klidové polohy, kolem které hmota m kmitá. Tlumení zajišťuje píst o tlumící konstantě b .

Příčinou vzniku vlastního tlumeného kmitání může být např. záběr nástroje, zapnutí spojky v pohonu, ráz přenesený z vnějšího okolí na stroj apod. Soustava se uklidní tím dříve, čím má lepší tlumení a vyšší statickou tuhost. Proto lze obvykle zanedbat jejich vliv na obrábění [2].



Obr. 5.1 Vlastního netlumeného a tlumeného kmitání [3]

5.3 Kmitání buzené (vynucené)

Vzniká tehdy, působí-li na soustavu pružně uložených a navzájem pružně spojených hmot periodicky proměnlivá rušivá síla. Charakteristickým znakem je to, že frekvence vynuceného kmitání se shoduje s frekvencí budící síly.

Příčinou vzniku mohou být vlastnosti stroje nebo vlastní řezný proces.

Vlastnosti stroje:

- nevyváženost rotujících součástí (nástroje, vřetena, obrobku, hřídelů, ozubených kol, spojek, rotoru elektromotoru apod.)
- setrvačné síly prvků, které konají přímočarý nebo kruhový vratný pohyb (saně, smykadla, kulisy, vačky, apod.)
- nesymetričnost rotačních částí (hřídele s drážkou), kdy se projeví proměnlivá hodnota tuhosti a vznikne periodická deformace během otáčení
- periodické síly vnější přenášené z okolí přes základ na stroj

Řezný proces:

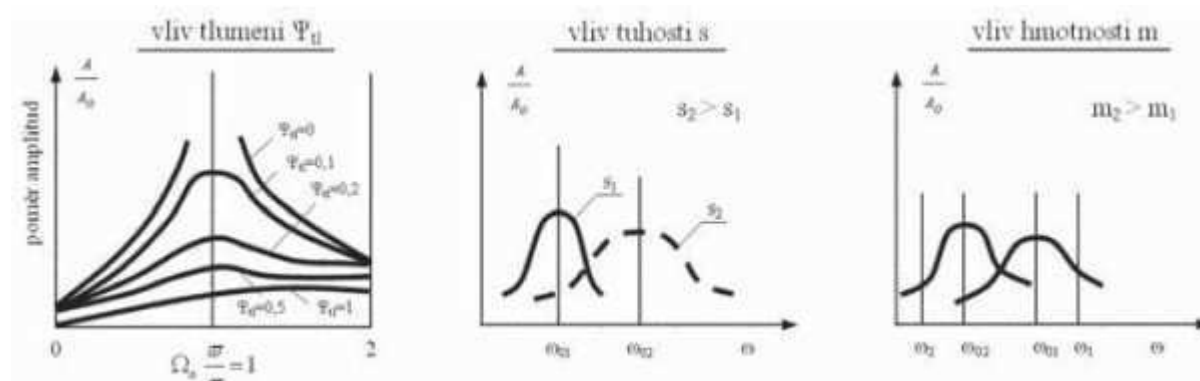
- změna průřezu třísky (např. při soustružení polotovaru šestihranu)
- kmity vyvolané vlastním řezáním mají značnou amplitudu a projevují se hlavně při hrubování a v menší míře při dokončování

Na obr. 5.2 jsou znázorněny průběhy rezonančních charakteristik pro různé hodnoty tlumení. Pro docílení dobré dynamické tuhosti je nutno zajistit, aby mezní hodnoty budící frekvence ω byly dostatečně menší nebo větší než hodnota vlastní frekvence

ω_0 . V prvním případě, kdy $\frac{\omega}{\omega_0} \ll 1$ a který se vyskytuje nejčastěji, má hlavní význam

vysoká statická tuhost, protože hodnota ω_0 je jí přímo úměrná. Zvýšením statické tuhosti dle obr. 5.2 se sníží amplituda kmitání a zvýší se vlastní frekvence na hodnotu ω_{02} .

U strojů, které pracují v oblastech pouze vysokých rychlostí v relativně malém rozsahu, může být vhodnější druhý případ, kdy $\frac{\omega_0}{\omega} \gg 1$. V tomto případě má hlavní význam volba co největší hmoty (viz obr. 5.2) [2].



Obr. 5.2 Vliv různých parametrů na dynamickou stabilitu [3]

Uvedme některé zásady, jejichž dodržování přispěje k vyloučení vzniku vynuceného kmitání:

- rotující součásti (hřídele, ozubená kola atp.) je nutno dokonale dynamicky vyvážit na speciálních strojích pro vyvažování
- zvýšením tuhosti rozhodujících částí stroje má podstatný vliv na zvýšení frekvence vlastních kmitů technologické soustavy, a tím se potlačí vliv budící síly, jestliže je nelze odstranit
- je třeba zvýšit jakost ozubených kol, ložisek a dalších rozhodujících součástí a zdokonalit jejich montáž
- uložením obráběcího stroje na zvláštní základ se zabrání přenosu chvění z okolí na stroj

5.4 Kmitání samobuzené

Samobuzené kmity vznikají mezi obrobkem a nástrojem bez periodického vnějšího budícího účinku a projevují se hlukem (drnění) a stopami chvění na obrobeném povrchu. Technologická soustava je uvedena do samobuzeného kmitání prvním impulsem, který vyvolá výchylku z rovnovážné polohy nástroje a obrobku. Vyvolané samobuzené kmitání bude probíhat bez přívodu energie z vnějšku a jeho periodická proměnlivost bude závislá pouze na vlastním kmitovém procesu.

Energie přiváděná na kmitající systém nahrazuje ztráty vzniklé tlumením. Frekvence kmitání je určena vlastnostmi kmitajícího systému a je velmi blízká vlastní frekvenci některého rozhodujícího členu systému.

Jde o častý případ kmitání, jehož budící síla je vyvolána vlastním procesem řezání. Důležité však je, že toto kmitání se objevuje jen v určitém rozmezí řezných podmínek a změnou těchto podmínek lze stabilizovat řezání. Přitom však frekvence kmitání není závislá na otáčkách obráběcího stroje [2].

Řada vědeckých pracovníků se zabývala a dosud zabývá tímto problémem, ale jeho podstata není dosud plně objasněna. Je známo více teorií, které příčinu vzniku samobuzeného kmitání vidí v různých jevech. Nejdůležitější jsou dvě, nejvíce teoreticky a experimentálně propracované teorie:

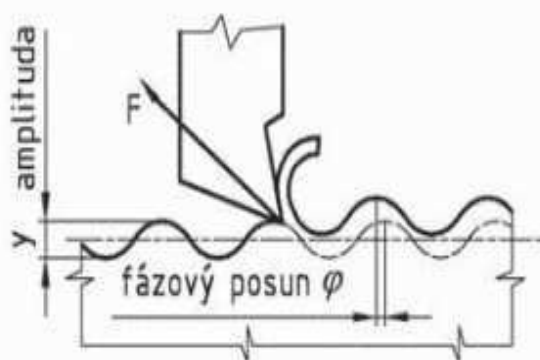
- Vlnitost obrobeného povrchu - reprodukční princip.
- Směr řezné síly nesouhlasí se směrem maximální vazby – princip polohové vazby.

5.4.1 Reprodukční princip

Pro model reprodukčního kmitání, znázorněný na obr. 5.3, jsou stanoveny tyto předpoklady:

- obráběná plocha je již zvlněná, jde tedy o sekundární buzení
- obrobek a nástroj jsou dokonale tuhé

Při řezání zvlněné plochy se periodicky mění průřez třísky, tím se mění velikost řezné síly, která svou periodičností vyvolá samobuzené kmitání. Amplituda druhé třísky je posunuta od první a vázový úhel φ .



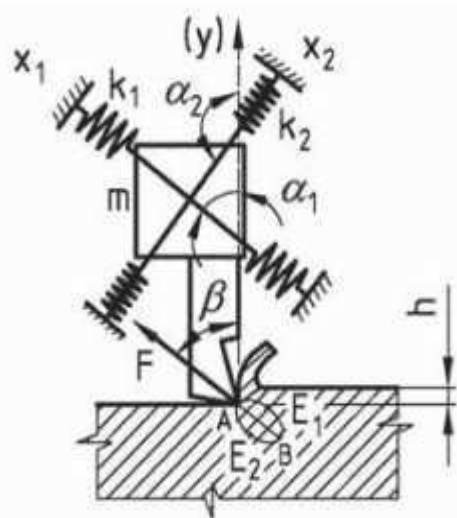
Obr. 5.3. Reprodukční princip [3]

Podmínkou stability řezného procesu v tomto případě je, aby výška vlny každé následující třísky byla menší než předcházející, tj. poměr amplitud výchylky po sobě jdoucích třísek musí být menší než 1 [3].

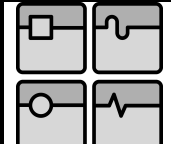
5.4.2 Princip polohové vazby

Jak je uvedeno na obr. 5.4, předpokládáme, že nástroj kmitá v nárysné rovině ve dvou směrech a jeho špička opisuje elipsu. V první polovině dráhy z bodu A do B řezný odpor působí proti tomuto pohybu, takže kmitavému pohybu se odebírá energie. V druhé části pohybu z bodu B do A řezný odpor působí ve směru pohybu a energie kmitání je tím o hodnotu E_2 vyšší.

Je-li přivedená energie E_2 větší než E_1 , vlivem přebytku energie $\Delta E = E_2 - E_1$ se překoná tlumení a systém je udržován ve stálém kmitání.



Obr. 5.4 Princip polohové vazby [3]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 32
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

K dalším předpokladům patří:

- Řezný odpor je závislý na okamžitém průřezu třísky.
- Systém má dva stupně volnosti a je bez tlumení.
- Obrobek i nástroj jsou dokonale tuhé.
- Nástrojový držák o hmotnosti m je uložen na dvou pružinách k_1 , k_2 , které mohou kmitat ve dvou na sebe kolmých směrech (x_1) a (x_2). Úhel α je daný normálou k obráběnému povrchu a směrem pružiny o menší tuhosti.

Vhodnou orientací polohy systému vzhledem k normále (y) lze příznivě ovlivnit vznik samobuzených kmitů.

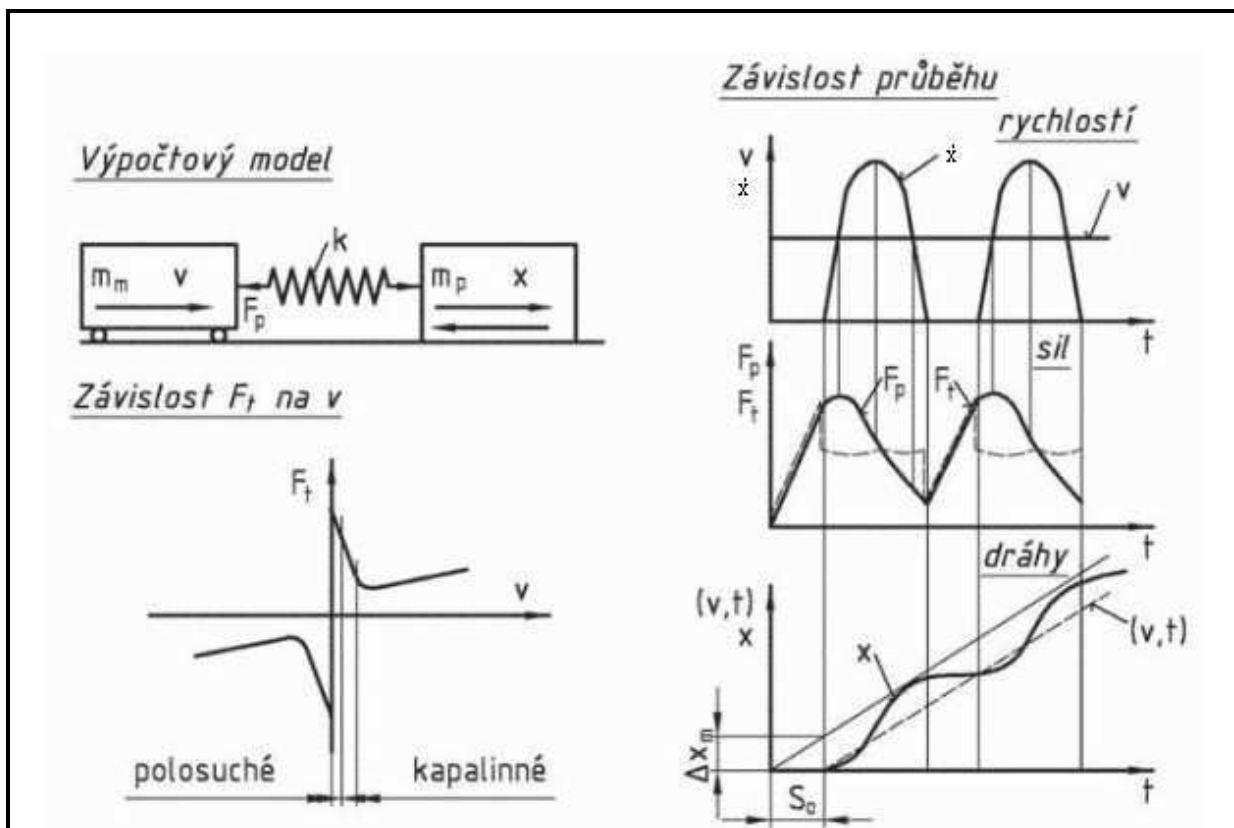
Mírou stability obrábění je zpravidla mezní šířka třísky, která se určuje pro jednotlivé druhy obrábění (např. podélné soustružení, zapichovací soustružení) [2].

Závěrem lze tedy říci, že hlavní prostředek jak zabránit samobuzenému kmitání vidíme ve zvyšování tuhosti všech částí technologické soustavy. Je to otázka volby vhodných rozměrů základních částí soustružnického stroje (např. lože). Je nutno ovšem připomenout, že ne ve všech případech vyšší tuhost a vyšší frekvence přináší větší odolnost proti kmitání. Tento paradox lze vysvětlit „principem polohové vazby“ [3].

5.5 Kmitání způsobené trhavými pohyby

Při velmi malých rychlostech posuvu (řádově desetiny milimetru za sekundu) nebývá za určitých podmínek pohyb suportů, stolů, stojanů soustružnických strojů plynulý, ale je přerušovaný (trhavý). Účinkem tohoto jevu se zhoršuje vzhled obrobené plochy, na níž se při soustružení objevují v místech, kde se pohyb suportu zpomalil nebo zastavil, lesklé proužky.

Vznik trhavých pohybů lze vysvětlit jako důsledek nelineárního průběhu závislosti mezi rychlostí posouvané části po vedení a třecí silou ve vedení. Na obr. 5.5 je znázorněn teoretický princip vzniku trhavých pohybů včetně závislosti průběhů jednotlivých parametrů při tomto jevu.

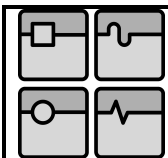


Obr. 5.5 Princip trhavých pohybů [3]

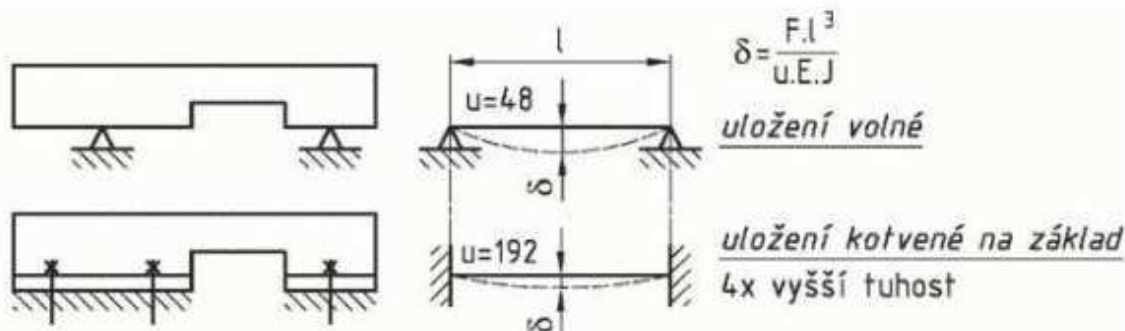
Vytvoří-li se olejový film mezi třecími povrchy teprve vzájemným pohybem vodících ploch pohyblivé a nepohyblivé části, je tečná reakce z klidu bezprostředně před vznikem pohybu větší než síla tření za pohybu. To pak způsobuje trhavý, přerušovaný pohyb posouvané části podle časových průběhů rychlostí v , $\dot{x}$, dráhy x , třecí síly F a síly F_p v pružině posunového systému zjednodušeného na fyzikální a výpočtový model. V modelu vlevo hmotnost m_m na valivém vedení se zanedbatelnými pasivními odpory představuje zredukovanou hmotu pohonného motoru posuvu, pružina výslednou zredukovanou torzní poddajnost pohonného systému a hmotnost m_p posuvnou část a pasivními odpory ve vedení [2].

6. Uložení základ

Správně dimenzovaný základ a uložení soustružnického stroje na základ přispějí ke zvýšení tuhosti stroje. Tuhé spojení stroje se základem zvýší celkovou tuhost dle obr. 6.1 na několikanásobek.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 6.1 Princip uložení stroje na základ [3]

Uložení stroje na základ musí být provedeno v potřebné přesnosti (zpravidla 0,02 mm/ 1m, nebo i 0,005/ 1m u velmi přesných strojů). Ustavení stroje se provádí různými konstrukčními principy a musí respektovat zejména tato hlediska:

- možnost ustavení a zajištění stroje v potřebné poloze,
- možnost zvýšení celkové tuhosti stroje volbou správného základu,
- aktivní a pasivní izolace proti dynamickým, rušivým vlivům.

Volba provedení základu a principu uložení závisí od druhu stroje a požadavků na jeho přesnost a tuhost. V praxi se využívají různé druhy uložení strojů na základ dle obr. 6.2.

Druh uložení stroje na základ			
Použití - vlastnosti	Volné ustavení na zákl. desce - podlaze	Uložení na samostatném izolovaném základě	uložení na samostatném základě
Oblast využití	malé (lehké) stroje	přesné obr. stroje	střední a velké obráběcí stroje
tuhost. obr. stroje	vlastní tuhost dobrá (rám samonosný)	celk. tuhost rámu nízká (rám nesamonosný)	celková tuhost rámu nízká (rám nesamonosný)
účel ukládacích prvků	tlumení + ustavení stroje	tlumení - ustavení stroje - tuhé spjení se zákl.	ustavení stroje + tuhé spojení se základem

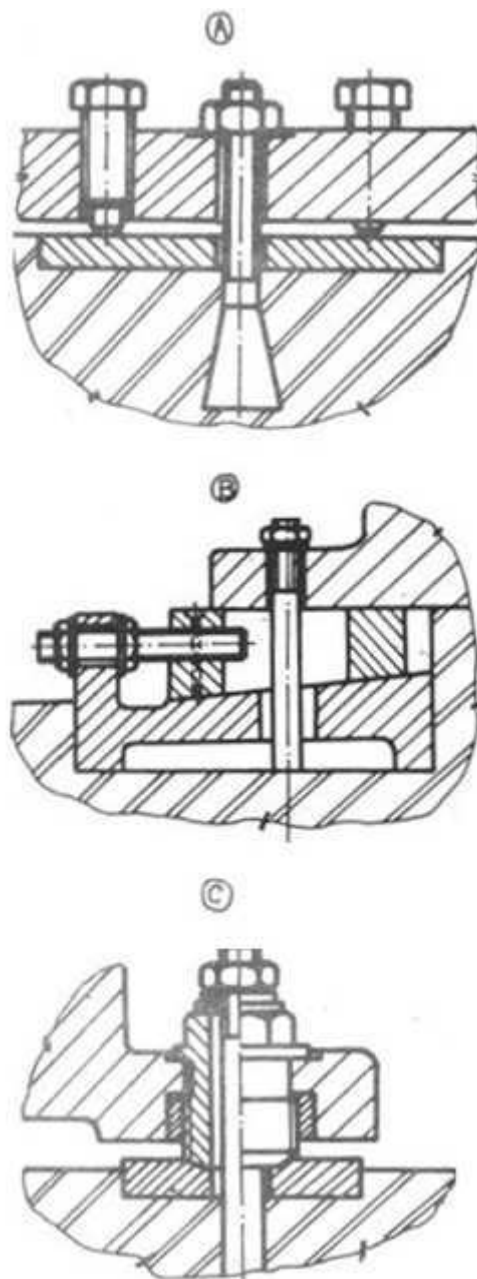
Obr 6.2 Členění uložení strojů na základ [3]

Pro uložení rozměrově malých soustruhů s dostatečně tuhým (samonosným) rámem se použije uložení přímo na podlahu haly. Ustavující prvky zde plní i funkci tlumení. Uložení přesných obráběcích strojů vyžaduje dokonalejší základ. Hmota základového bloku se spojí tuhými ustalovacími prvky s rámem stroje a celý systém je dále uložen samostatně na prvcích zajišťujících aktivní i pasivní tlumení. Většina rozměrných soustružnických strojů se ukládá na samostatné, dle druhu a velikosti stroje dimenzované, základy. Pro izolaci od vnějších rušivých vlivů (sousední stroje), je základový blok oddělen spárami.

K uložení soustružnických strojů se používají tuhé (klínové) nebo pružné podkládací prvky, z nichž nejčastěji používané jsou uvedeny na obr. 6.3, 6.4.

Nejjednodušší princip pomocí šroubové podložky s jedním nebo dvěma odtlačovacími šrouby **A** má poměrně menší tuhost než klínová podložka **B** - asi o 1/3. Je to ovlivněno stykovou deformací mezi šroubem a opěrnou maticí a dále deformací závitu. Další nevýhodou je, že zde vzniká moment, který deformuje lože. Tuto deformaci neodstraní ani symetrické uspořádání (se dvěma odtlačovacími šrouby), neboť nelze zajistit stejné uložení obou šroubů. Zmíněnou nevýhodu odstraňuje provedení s dutým odtlačovacím šroubem (provedení **C**), vlastní tuhost se tím však nezvyšuje.

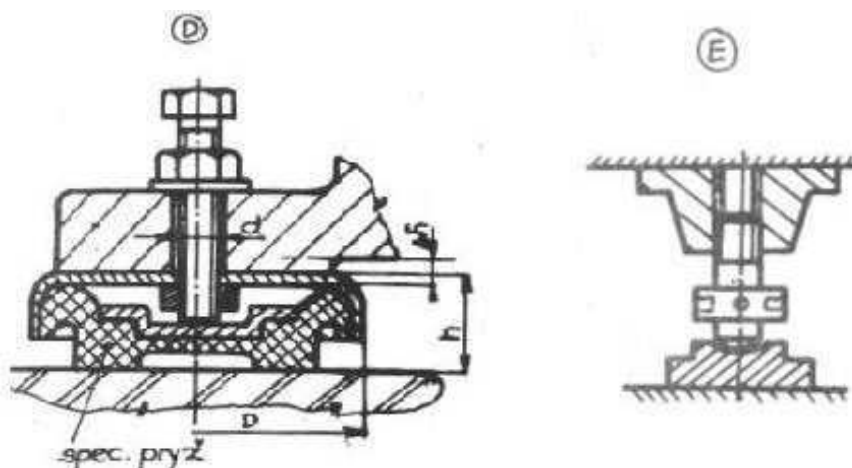
Princip klínové podložky **B** vykazuje vysokou tuhost uložení, což je dáno malým počtem stykových ploch. Nevýhodou je vznik třecí síly mezi podložkou a strojem vznikající při svislém ustavování. Tuhosti klínových podložek jsou cca 600 až 800 $\text{N} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, podmínkou je však vysoká jakost opracování styčných ploch. Při zvlášť přesném opracování a dolícování lze docílit i vyšších hodnot tuhosti až do 2000 $\text{N} \cdot \mu\text{m}^{-1}$. Zmenšení třecí síly lze docílit vhodným mazáním funkčních ploch při stavění. Existují rovněž složitější principy klínových podložek, kde vliv třecí síly odpadá, ovšem za cenu zvýšení počtu stykových ploch a tedy nižší tuhosti.



Obr. 6.3 Stavitelné prvky pro ukládání soustružnických strojů [2]

Pro ukládání soustružnických strojů přímo na podlahu menší velikosti se používají pružné **D** nebo pevné **E** stavitelné podložky dle vyobrazení v obr. 6.4.

Úkolem pružných podložek je zajistit potřebnou přesnost uložení stroje, ale i vnitřní tlumení soustavy stroj – podlaha, nebo stroj – základový blok. Použitá pryž musí být odolná vůči působení olejů a chladicích kapalin a musí mít dobré tlumicí vlastnosti. Tento princip lze použít pouze u strojů se samonosným rámem.



Obr. 6.4 Stavitelné prvky pro ukládání soustružnických strojů přímo na podlahu [2]

Na společném základu mohou být uloženy jen hrubovací nebo malé stroje.

Každý stroj, který provádí náročné operace, musí mít vlastní základ (dokončovací soustružnické stroje, těžké soustružnické stroje apod.)

Velikost základu lze přibližně určit dle obr. 6.5.

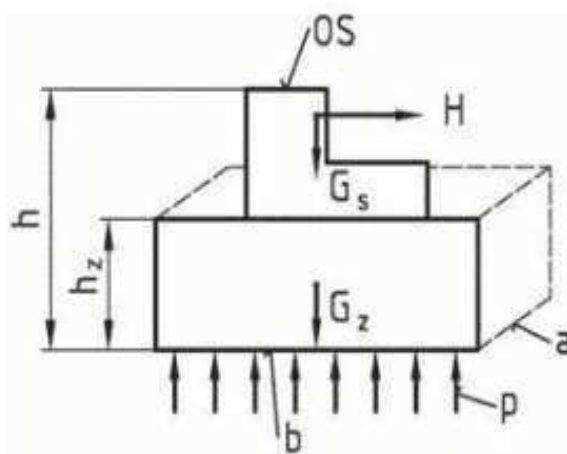
Nejprve se určí potřebná hmotnost základu G_z ze vztahu:

$$G_z = G_s \cdot K_z$$

G_s je hmotnost stroje

K_z je koeficient nabývající hodnot:

- (0,6 ÷ 1,5) pro stroje s klidným chodem
- (2 ÷ 3) stroje s dynamickým charakterem zatížení při práci



Obr. 6.5 Určení velikosti základu [3]

Z hmotnosti G_z se stanoví objem V a z objemu hloubka základu h_z , neboť rozměry a, b jsou dané rozměry stroje:

$$V = a \cdot b \cdot h_z$$

Při navrhování základu je nutno uvážit některé další zásady:

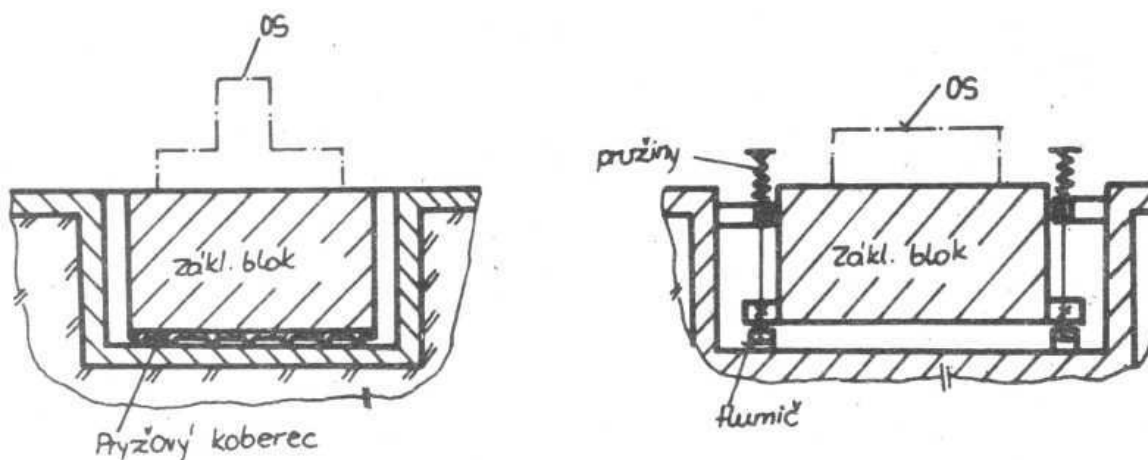
- dovolený měrný tlak základu na podklad má být volen (podle kvality podkladu)
- hloubka základu h_z má být větší než hloubka zamrzání půdy
- těžiště základu T a těžiště soustružnického stroje mají být totožné (leží nad sebou)

Podrobný výpočet hloubky základů z hledisek deformací základového bloku při působení vah přesouvaných hmot je prakticky možný jen při využití samočinného počítače.

Přibližně lze hloubku základového bloku, pro stroje do váhy 30 tun, pro požadavky běžné přesnosti obrábění určit rovněž dle vztahu:

- pro soustruhy $h_z = 0,3 \cdot \sqrt{L}$
 - pro karusely $h_z = 0,6 \cdot \sqrt{L}$
- kde L je délka základu [m]

Při pružném uložení je základový blok usazen na pružném elementu (pryžový koberec, ocelové pružiny včetně tlumičů apod.) dle obr. 6.6, který společně s hmotou stroje a základu zajišťují žádanou hodnotu frekvence vlastních kmitů.

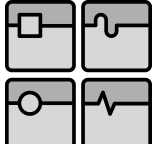


Obr. 6.6 Pružné uložení soustavy „stroj + základ“ [2]

Potřebnou frekvenci vlastních kmitů stroje a základu (jako celku) je třeba určit individuálně podle velikosti stroje a s přihlédnutím k požadované přesnosti obrábění i k frekvencím a amplitudám rušivých kmitů v okolí stroje. Dle zkušeností lze stanovit informativní hodnoty vhodných frekvencí vlastních kmitů dle tabulky na obr. 6.7.

Požadavky na přesnost stroje	Hodnota frekvence vlastních kmitů (Hz)	Vhodný princip uložení
zvýšená	12 – 18	zemina, event. + pryžový koberec
vysoká	5 – 15	pryžový koberec
mimořádně vysoká	< 5	ocelové pružiny + tlumič

Obr. 6.7 Frekvence vlastních kmitů pružných základů [3]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 38
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Při použití pružných prvků (koberec, pružiny) je nutné zajistit, aby se základový blok stýkal jen s těmito elementy. Proto se celý základový blok ukládá do betonové schránky (vany), jejíž vnitřní rozměry jsou větší než rozměry bloku.

Izolace kmitů (chvění) vzhledem k danému stroji může být pasivní nebo aktivní. Oba druhy se zajišťují stejným způsobem, tj. pružným uložením stroje. Pasivní izolace znamená ochranu stroje před účinkem vynucených kmitů, které se na stroj přenáší z okolí. Aktivní izolace naopak chrání okolí před kmitáním vznikajícím na stroji [2].

7. Závěr

V této bakalářské práci byla provedena rešerše rámu soustružnických strojů. Jejich typů, způsobů výroby a konstrukce, používaných materiálů atp., a vliv těchto faktorů na celkové provozní vlastnosti rámu stroje.

Navzdory četným novinkám, které se od poloviny devadesátých let až dodnes v oboru obráběcích strojů objevily, jsou současné trendy u výrobců mnohem konzervativnější. Jako nejčastěji používaný materiál stále vítězí oceli a litiny, kterých existuje nepřeberné množství. Z tohoto, je jako příklad, blíže rozvedena nově vzniklá slitina Meehanite.

Tato tendence způsobuje, že výrobci se orientují především na zdokonalování systému konstrukce a idealizování výpočtových metod. I tady se ovšem drží zažitých a osvědčených principů. Základním požadavkem na rámy stroje zůstává velká statická a dynamická tuhost, čímž se zajistí vysoká tuhost celého stroje a často i tuhost nabudovaných pohybových struktur. Vzhledem k velké rozmanitosti možných konstrukčních řešení rámu soustružnického stroje, jsou v této práci uvedeny jen některé základní příklady.

Seznam použité literatury

[1] BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. 1. vydání. Brno: VUT v Brně, 1992. s. 216. ISBN 80-214-0470-1

[2] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. 2. vydání. Brno: VUT v Brně, 1991. s. 214. ISBN 80-214-0361-6

[3] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006, duben [cit. 23. 5. 2008]. Dostupné na WWW: <http://www.mmspektrum.com/special-konstrukce-cnc-obrabecich-stroju/>

[4] KOLÁŘ, Petr. Konstrukční řešení současných obráběcích strojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, listopad [cit. 23. 5. 2008]. Dostupné na WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrukcni-reseni-soucasnych-obrabecich-stroju>

[5] AUTOMATION CREATIONS, Inc. *Matweb* [online]. [cit. 23. 5. 2008]. Dostupné na WWW: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatID=18221&ckck=1>

[6] VANĚK. Beton a přírodní žula při výrobě loží a rámů obráběcích strojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003 [cit. 23. 5. 2008]. Dostupné na WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/beton-a-prirodni-zula-pri-vyrobe-lozi-a-ramu-obrabecich-stroju>

[7] BORSKÝ, Václav. Jednoúčelové a víceúčelové obráběcí stroje II. díl. 2. vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1990. s. 200. ISBN 80-214-0175-3