



FAKULTA STROJNÍ  
ZÁPADOČESKÉ  
UNIVERZITY  
V PLZNI

Katedra konstruování strojů

Fakulta strojní

KKS/ZSVS

# Základy stavby obráběcích strojů

Doc. Ing. Václava Lašová PhD



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE  
DO ROZVOJE  
VZDĚLÁVÁNÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

verze - 1.0

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky

# Hledáte kvalitní studium?

## Nabízíme vám jej na Katedře konstruování strojů

Katedra konstruování strojů je jednou ze šesti kateder Fakulty strojní na Západočeské univerzitě v Plzni a patří na fakultě k největším. Fakulta strojní je moderní otevřenou vzdělávací institucí uznávanou i v oblasti vědy a výzkumu uplatňovaného v praxi.

Katedra konstruování strojů disponuje moderně vybavenými laboratořemi s počítačovou technikou, na které jsou např. studentům pro studijní účely neomezeně k dispozici nové verze předních CAD (Pro/Engineer, Catia, NX) a CAE (MSC Marc, Ansys) systémů. Laboratoře katedry jsou ve všední dny studentům plně k dispozici např. pro práci na semestrálních, bakalářských či diplomových pracích, i na dalších projektech v rámci univerzity apod.

Kvalita výuky na katedře je úzce propojena s celouniverzitním systémem hodnocení kvality výuky, na kterém se průběžně, zejména po absolvování jednotlivých semestrů, podílejí všichni studenti.

V současné době probíhá na katedře konstruování strojů významná komplexní inovace výuky, v rámci které mj. vznikají i nové kvalitní učební materiály, které budou v nadcházejících letech využívány pro podporu výuky. Jeden z výsledků této snahy máte nyní ve svých rukou.

V rámci výuky i mimo ni mají studenti možnost zapojit se na katedře také do spolupráce s předními strojírenskými podniky v plzeňském regionu i mimo něj. Řada studentů rovněž vyjíždí na studijní stáže a praxe do zahraničí.

### Nabídka studia na katedře konstruování strojů:

Bakalářské studium (3roky, titul Bc.)		
Studijní program	B2301: strojní inženýrství („zaměřený univerzitně“)	B2341: strojírenství (zaměřený „profesně“)
Zaměření	Stavba výrobních strojů a zařízení Dopravní a manipulační technika	Design průmyslové techniky Diagnostika a servis silničních vozidel Servis zdravotnické techniky

Magisterské studium (2roky, titul Ing.)	
Studijní program	N2301: Strojní inženýrství
Zaměření	Stavba výrobních strojů a zařízení Dopravní a manipulační technika

Více informací naleznete na webech [www.kks.zcu.cz](http://www.kks.zcu.cz) a [www.fst.zcu.cz](http://www.fst.zcu.cz)

Západočeská univerzita v Plzni, 2012

ISBN 978-80-261-0126-0

© doc. Ing. Václava Lašová Ph.D.

## Použité zkratky a značky

Zkratka	Význam
OS	Obráběcí stroj
HŘP	Hlavní řezný pohyb
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
MKP	Metoda konečných prvků
VŘP	Vedlejší řezný pohyb
AVN	Automatická výměna nástrojů
AVO	Automatická výměna obrobků
HPS	Hlavní pohonný systém
VPS	Vedlejší pohonný systém

Veličina	Označení	Jednotky SI
Délkový rozměr	$l$	m
Průměr	$D$	m
Řezná rychlost	$v$	m/s
Řezný odpor	$p$	N/m <sup>2</sup>
Řezná práce	$A$	J
Řezný výkon	$P$	W
Řezné síly ve směru x,y,z	$F_x, F_y, F_z$	N
Tuhost obecně	$k$	N/m
Tuhost posuvná	$k_p$	N/m
Tuhost torzní	$k_t$	N m/rad
Tuhost spojení	$k$	N/m
Styková tuhost	$k$	N/m
Modul průřezu v tahu	$E$	Pa
Smykový modul	$G$	Pa
Kvadratický moment průřezu v ohybu	$I_o$	m <sup>4</sup>
Kvadratický moment průřezu v krutu	$I_k$	m <sup>4</sup>
Plocha průřezu	$S$	m <sup>2</sup>
Napětí normálové	$\sigma$	Pa
Napětí smykové	$\tau$	Pa
Vlastní frekvence	$f$	Hz
Délkový součinitel teplotní roztažnosti	$\alpha$	1/K
Teplotní gradient	$\Delta T$	K
Úhlová rychlost	$\omega$	rad/s
Otáčky	$n$	1/s

Kroutící moment	$M_k$	Nm
Posuvová síla	$F_p$	N
Posuvová rychlost	$v_p$	N
Účinnost	$\eta$	-
Tlak	$p$	Pa
Životnost	$L_h$	hod
Vlastní frekvence	$f$	Hz
Převodový poměr	$i$	-
Počet zubů ozubeného kola	$z$	-
Výkon	$P$	W
Limitní moment	$M_L$	Nm
Jmenovité otáčky	$n_e$	1/s
Regulační rozsah motoru při konstantním výkonu	$r_p$	-
Množství oleje	$Q$	l

OBSAH :

<b><u>POUŽITÉ ZKRATKY A ZNAČKY</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>ANOTACE</u></b> .....	<b>8</b>
<b><u>1. ÚVODEM</u></b> .....	<b>9</b>
<b><u>2. ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE</u></b> .....	<b>11</b>
<b><u>2.1 ZÁKLADNÍ POJMY ZE STAVBY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ ( OS)</u></b> .....	<b>11</b>
<u>2.1.1 Funkce OS</u> .....	11
<u>2.1.2 Energetická bilance</u> .....	11
<u>2.1.3 Základní pojmy z teorie obrábění</u> .....	11
<u>Řezný pohyb</u> .....	11
<u>Řezná rychlost <math>v</math></u> .....	12
<u>Řezný odpor <math>p</math></u> .....	12
<u>Řezná práce</u> .....	13
<u>Řezný výkon</u> .....	13
<u>2.1.4 Sílové a energetické vztahy</u> .....	13
<u>Řezné síly</u> .....	13
<u>Tíhové síly</u> .....	15
<u>Pasívní odpory</u> .....	15
<u>Dynamické síly</u> .....	15
<b><u>2.2 . POŽADAVKY NA OS</u></b> .....	<b>15</b>
<u>2.2.1 Produktivita práce stroje</u> .....	15
<u>Zkracování strojního času</u> .....	16
<u>Zkracování vedlejšího času</u> .....	16
<u>2.2.2 Kvalita práce stroje – pracovní přesnost</u> .....	16
<u>Tuhost</u> .....	17
<u>Dynamická stabilita</u> .....	22
<u>Teplotní stabilita</u> .....	24
<u>Geometrická přesnost</u> .....	25
<u>Okolní podmínky</u> .....	26
<b><u>3. PŘEHLED HLAVNÍCH FUNKČNĚ –KONSTRUKČNÍCH UZLŮ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ</u></b> .....	<b>28</b>
<b><u>3.1. RÁM STROJE</u></b> .....	<b>28</b>
<u>3.1.1 Základní koncepce rámu</u> .....	29
<u>3.1.2 Materiál rámu</u> .....	30
<u>Konvenční materiály rámu</u> .....	30
<u>Provedení kovových rámu</u> .....	31
<u>Nekonvenční materiály</u> .....	32
<u>Progresivní způsoby provedení rámu</u> .....	32
<u>Návrhové a kontrolní výpočty rámu</u> .....	34
<u>Ukládání strojů</u> .....	35
<u>Způsob uložení</u> .....	35
<u>Možnosti uložení stroje</u> .....	35
<b><u>3.2. POHONNÝ SYSTÉM OBRÁBĚCÍCH STROJŮ</u></b> .....	<b>37</b>
<u>3.2.1 Hnací členy - motory</u> .....	38
<u>Elektromotory</u> .....	38

Hydromotory .....	41
3.2.2 <i>Převodové mechanismy – mechanismy ke změně otáček</i> .....	41
Mechanické systémy pro stupňovou změnu .....	42
Mechanické systémy pro plynulou změnu - variátory .....	48
Elektrické systémy pro změnu otáček .....	49
Hydraulické systémy .....	49
Návrh hlavního pohonu s regulačním elektromotorem a stupňovou převodovkou .....	49
3.2.3 <i>Mechanismy přeměny rotačního pohybu v lineární</i> .....	53
Pohybový šroub .....	54
Pastorek a hřeben .....	57
Šnek a hřeben .....	58
Klikové a kulisové mechanismy .....	59
Přímé posuvy .....	60
<b>3.3 SPOJENÍ</b> .....	<b>61</b>
3.3.1 <i>Rovinné vedení</i> .....	61
Přímočará a kruhová vedení kluzná .....	63
Přímočaré vedení hydrostatické .....	67
Přímočará vedení valivá .....	67
Návrhové a kontrolní výpočty .....	70
3.3.2 <i>Uložení</i> .....	71
Uložení hřídelí pohonného systému .....	71
Uložení vřetene stroje .....	72
Kontrolní a návrhové výpočty .....	75
Spojky .....	77
Upínací mechanismy .....	78
<b>3.4. POMOCNÉ FUNKCE</b> .....	<b>81</b>
3.4.1 <i>Mazání</i> .....	82
3.4.2 <i>Chlazení</i> .....	83
3.4.3 <i>Třískové hospodářství</i> .....	86
3.4.4 <i>Manipulace s obrobky</i> .....	85
<b>3.4.5 VÝMĚNY NÁSTROJŮ</b> .....	<b>83</b>
<b>4. PŘEHLED TYPŮ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ</b> .....	<b>88</b>
<b>4.1. TŘÍDĚNÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ</b> .....	<b>88</b>
<b>4.2 SOUSTRUHY A SOUSTRUŽNICKÁ CENTRA</b> .....	<b>89</b>
4.2.1 <i>Univerzální hrotové soustruhy s vodorovnou osou</i> .....	89
Rám hrotového soustruhu .....	90
Pohonný systém hrotového soustruhu .....	93
Vedení a uložení na hrotovém soustruhu .....	94
Příslušenství hrotových soustruhů .....	95
4.2.2 <i>Lícní (čelní) soustruhy</i> .....	99
4.2.3 <i>Revolverové soustruhy, automaty, poloautomaty</i> .....	99
4.2.4 <i>Soustružnická centra s vodorovnou osou</i> .....	101
4.2.5 <i>Svislé soustruhy</i> .....	101
<b>4.3 VRTAČKY</b> .....	<b>104</b>
4.3.1 <i>Stolní a sloupové vrtačky</i> .....	105

4.3.2 Stojanové a otočné vrtačky .....	105
4.3.3 Montážní vrtačky .....	106
<b>4.3.4 Vícevretenové vrtačky, souřadnicové vrtačky</b> .....	107
<b>4.4 VODOROVNÉ VYVRTÁVAČKY – HORIZONTKY</b> .....	108
4.4.1 Stolové horizontky .....	108
Deskové horizontky .....	110
<b>4.5 FRÉZKY</b> .....	120
4.5.1 Konzolové frézky .....	121
4.5.2 Stolové ( ložové ) frézky .....	123
4.3.3 Rovinné frézky .....	125
4.5.3 Speciální frézky .....	128
<b>4.6 BRUSKY</b> .....	128
4.6.1 Hrotové brusky .....	129
3.6.2 Bezhrotové brusky .....	130
3.6.3 Rovinné brusky .....	131
Brusky na nástroje – ostříčky .....	133
<b>4.7 PILY</b> .....	134
4.7.1 Rámové pily .....	134
4.7.2 Kotoučové ( okružní ) pily .....	134
4.7.3 Pásové pily .....	134
<b>4.8 DOKONČOVACÍ STROJE</b> .....	135
4.8.1 Lapovací stroje .....	135
4.8.2 Honovací .....	136
4.8.3 Superfinišovací .....	136
<b>4.9 HOBLOVKY</b> .....	136
<b>4.10 OBRÁŽEČKY</b> .....	137
<b>4.11 PROTAHOVAČKY</b> .....	138
<b>4.12 STROJE NA OZUBENÍ</b> .....	139
<b>4.13 STROJE PRO NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE</b> .....	141
<b>4.14 OBRÁBĚCÍ CENTRA</b> .....	142
<b>4.14.1 Obráběcí centra vertikální – se svislou osou</b> .....	143
<b>5. ZÁVĚR</b> .....	149

## **Anotace**

Účelem publikace je přiblížit principy konstrukce a výpočtů obráběcích strojů a podat základní přehled o bohatém sortimentu těchto strojů. Obráběcí stroje jsou jednou z nejrozmanitějších skupin výrobních strojů a jejich technická úroveň do značné míry určuje stupeň technického vývoje společnosti. Nejrozšířenější jsou obráběcí stroje na kov, v počtu následují speciální obráběcí stroje na dřevo, plasty, keramiku ap. Publikace je zúžena na kovoobráběcí stroje.

Učební text je studijní podporou pro předmět KKS/ ZSVS „Základy stavby výrobních strojů – část obráběcí stroje“ - a je určen studentům 3. ročníku bakalářského studia na Fakultě strojní. Obsahem jsou základní informace a přehledové vědomosti z oboru konstrukce obráběcích strojů. Na tento základ navazují další podrobnější publikace určené studentům magisterského oboru „Stavba výrobních strojů a zařízení“.

V první části publikace jsou připomenuty základní pojmy z technologie obrábění a definovány hlavní požadavky na obráběcí stroj, v další části jsou postupně probírány obecné funkčně - konstrukční skupiny obráběcího stroje s cílem seznámit se zejména s možnostmi technického řešení a s používanými technickými principy ve stavbě obráběcích strojů. V závěrečné kapitole je pak podán klasický systematický přehled typů obráběcích strojů.

Záměrem této publikace je rovněž podnítit zájem studentů o konstrukční obor.



## 1. Úvodem

Technologický proces realizovaný na výrobních strojích je procesem tvarování materiálů, jehož výsledkem jsou kvalitativní změny tvarovaného objektu. Proces tvarování polotovaru probíhá podle příslušné technologie hlavně mechanickými pochody, ale mohou být použity i metody fyzikální nebo chemické.

Základní definice výrobního stroje tedy zní :

**Výrobní stroj je zařízení, které zpracovává materiál nebo polotovar do žádaného tvaru, rozměru a jakosti povrchu funkčních ploch mechanickými, fyzikálními a chemickými pochody.**

Zpracovávaným polotovarem bývá odlitek, výkovek, výlisek, výstřížek nebo svařenec. Zpracování polotovarů na výrobek probíhá buď bez oddělování částí materiálu, nebo s oddělováním částí materiálu, případně i s přidáváním dalšího materiálu nebo polotovaru.

Podle použité výrobní technologie dělíme výrobní stroje na tvářecí, licí, svářecí a obráběcí stroje.

**Obráběcí stroje oddělují materiál z polotovaru ve tvaru třísek** a jsou na nich využívány všechny známé obráběcí technologie.

Z hlediska historického vývoje lze o skutečných obráběcích strojích mluvit až od dob průmyslové revoluce, kdy byly postaveny první stroje využívající jako pohonu lidské síly, nebo u větších strojů síly vodní nebo parní. V 90. letech 18. století byl postaven soustruh s pevně vedeným suportem, který umožňoval pohyb nože podél soustruženého předmětu i kolmo k němu. Autorem této první novodobé konstrukce kovoobráběcího soustruhu byl v letech 1794-1797 anglický mechanik Henry Maudslay. Na dalším vývoji obráběcích strojů se podíleli mnozí známí vynálezci, např. sir Joseph Withworth .

V českých zemích vznikaly první továrny na obráběcí stroje už na přelomu století – např. firma J. Volman v Čelákovících, firma Waverka v Lipníku na Moravě nebo firma Hopfengartner v Holoubkově. Tyto firmy již pod jinými jmény fungují dodnes. V roce 1911 vzniká v plzeňských Škodových závodech firma na výrobu obráběcích strojů – dnešní Škoda Machine Tool a.s., o několik let později na severu Čech firma Arno Plauert, továrna na stroje – dnešní TOS Varnsdorf a.s., posléze ve čtyřicátých letech minulého století i známé baťovské továrny na obráběcí stroje – dnešní Kovosvit MAS Sezimovo Ústí a.s. a Tajmac Zlín a.s. Po druhé světové válce byl v českých zemích v souvislosti s velkým rozmachem těžkého průmyslu zaznamenán i značný rozvoj výroby obráběcích strojů. Kvůli politické situaci českého státu byl ale export strojů výrazně orientován do tehdejšího socialistického bloku.

Po přelomovém roce 1989 se pro české výrobce obráběcích strojů vlivem rozpadu východních trhů situace velmi změnila. V nových podmínkách bylo nutno se prosadit na světových trzích ve velké konkurenci. Paradoxně však tato situace přispěla k velkým inovacím a změnám v konstrukci i výrobě obráběcích strojů a výrobci, kteří se přizpůsobili, se stali úspěšnými vývozci svých výrobků jak do Evropy, tak rovněž na asijské trhy. Doba před 20 lety je charakterizována mohutným nástupem CAD/CAE/CAM systémů do konstrukčních

pracovišť a bez využití těchto systémů si dnešní konstrukční práci nelze představit. Konkurenceschopnými se staly jen stroje, které byly projektovány a konstruovány s pomocí moderních konstrukčních nástrojů, výpočtově kontrolovány a optimalizovány pomocí MKP simulací, ekonomicky hospodárně vyrobeny s využitím všech možností automatizovaných systémů plánování, řízení výroby a informačních technologií a splňovaly nároky zákazníků. Splnění požadavků a přání zákazníka je prioritou pro všechny výrobce strojů – zákazníci požadují určité vlastnosti a parametry strojů, určité funkce a příslušenství stroje, časové termíny dodání, způsob distribuce stroje, jeho oživení na místě uložení a také kvalitní záruční i pozáruční servis.

Od počátku tohoto století je možno pozorovat určitý pokles spotřeby obráběcích strojů na světových trzích, který dnes ještě prohlubuje současná finanční krize. Podle zkušeností z minulých let lze očekávat, že spolu s oživením trhu bude možno pozorovat i kvalitativní vývojový pokrok v oboru konstrukce a výroby obráběcích strojů.

Pro budoucí konstruktéry (nejen obráběcích strojů) je v současnosti samozřejmostí aktivní znalost moderních konstrukčních prostředků a metod – modelování v CAD systémech, výpočty s využitím MKP, znalost systematického konstruování a zásad kreativní technické práce, stejně jako povinné penzum teoretických znalostí. Tyto podpůrné prostředky se pak aplikují v konkrétním konstrukčním oboru, ovšem je nutné znát i souhrn základních odborných vědomostí, jejichž minimum předkládá tato publikace.

## 2. Základní pojmy a definice

### 2.1 Základní pojmy ze stavby obráběcích strojů (OS)

#### 2.1.1 Funkce OS

Základní funkcí obráběcího stroje je obrábět – tj. zpracovávat polotovary do žádaného tvaru, rozměru a jakosti povrchu odebráním materiálu ve tvaru třísek.

Technologický proces při obrábění musí zabezpečovat :

- Vytvoření povrchu obrobku pomocí relativních pohybů nástroje a obrobku
- Oddělení přebytečného materiálu ve formě třísky

#### 2.1.2 Energetická bilance

Z energetického pohledu jde o přeměnu energie hnacího mechanismu na energii spotřebovanou na vytvoření a odvedení třísky z místa řezu.

Tato energie se skládá z :

- Deformační energie pružných a plastických deformací – tj. práce , kterou je nutno vykonat k oddělení třísky, tím je překonán tzv. deformační odpor materiálu .
- Energie tření – tj. práce, která je spotřebovaná na odvod třísky z místa řezu. Závisí na součiniteli tření mezi břitem nástroje a obrobkem a také na úhlech nástroje.

K předávání energie dochází mezi nástrojem stroje a obrobkem.

#### 2.1.3 Základní pojmy z teorie obrábění

##### Řezný pohyb

Řezný pohyb je relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Při obrábění má obecný směr, který lze rozložit do složek. Složka ve směru řezné rychlosti je nazývána hlavní řezný pohyb (HŘP), ostatní složky (rovnoběžné nebo kolmé k obráběné ploše) představují vedlejší řezné pohyby (VŘP).

Podle hlavního řezného pohybu se rozlišují nejběžnější obráběcí technologie.

Hlavní řezný pohyb je rotační

- Rotuje obrobek – soustružení
- Rotuje nástroj – vrtání, vyvrtávání, frézování

Hlavní řezný pohyb je přímočarý

- Pohybuje se obrobek – hoblování
- Pohybuje se nástroj – obrážení, protahování

Na stroji lze dále nalézt také pohyby přestavovací, dělicí, pomocné ap., které se neúčastní vlastního řezného procesu.

Obrábění se děje skládáním řezných pohybů.

Hlavní a vedlejší řezný pohyb jsou svázány vazbou, která může být :

- Geometrická
- Kinematická
- Kopírovací
- Digitální

Geometrická vazba mezi hlavním řezným pohybem a vedlejším řezným pohybem je zabezpečena vzájemným pohybem částí stroje a je vymezena vodicími plochami stroje. Rychlosti pohybů nejsou vázány.

Kinematickou vazbu pohybů zajišťují převodové mechanismy stroje – ozubená kola, vačky apod.

Kopírování je provedeno vymezením pohybu části stroje nebo nástroje podle tvarové šablony, což se použije např. při výrobě ozubení.

Při digitální vazbě jsou pohyby stroje svázány pokyny řídicího systému – to platí pro numericky řízené stroje, které mají ve svém názvu označení NC nebo CNC.

### Řezná rychlost $v$

Řezná rychlost závisí na materiálu nástroje a obrobku, na velikosti třísky a druhu prováděné operace.

Obecně platí : 
$$v = \frac{s}{t} \quad [\text{m/s}]$$

kde  $s$  [m] je relativní dráha nástroje vůči obrobku a  $t$  [s] je čas potřebný k překonání dráhy.

U strojů s HŘP přímočarým je dána rychlostí stolu nebo nástroje, u strojů s HŘP rotačním je dána přímou závislostí otáček a průměru obrobku nebo nástroje:

$$v_{\min} = n_{\min} \cdot \pi \cdot D_{\max}$$

$$v_{\max} = n_{\max} \cdot \pi \cdot D_{\min}$$

V základních jednotkách je řezná rychlost udána v [m/s], v praxi je častěji užíváno jednotek [mm/min].

### Řezný odpor $p$

Řezný odpor je definován jako odpor, který klade materiál nástroji v procesu oddělování třísky. Jeho velikost určují fyzikální vlastnosti materiálu obrobku a velikost průřezu třísky.

Měrný řezný odpor je definován jako poměr řezné síly ve směru hlavního řezného pohybu ku průřezu třísky o velikost  $1 \text{ mm}^2$ . Není stálý a navíc jej ovlivňuje řezné prostředí, kvalita ostří apod.

Měrný řezný odpor je udáván v tabulkách pro určité technologie a řezné podmínky.

Několik příkladů hodnot měrného řezného odporu je v tab. 1.1 [Dobrovolný 1967]

Materiál	Měrný řezný odpor [MPa]		
	soustružení	frézování	vrtání
Uhlíková ocel s $R_m = 400 \text{ MPa}$	2100	3650	2700
Legovaná ocel s $R_m = 500 \text{ MPa}$	2500	5050	4300
Slitiny hliníku	850	1300	1150

Tab. 2.1.: Příklad velikosti měrného řezného odporu

### Řezná práce A

Přivedená energie se mění na řeznou práci, která je dána vztahem :

$$A = F \cdot v \cdot t \quad [\text{J}]$$

kde F je hlavní řezná síla [N], v je řezná rychlost [m/s] a t je čas [s].

### Řezný výkon P

Řezný výkon je řezná práce vztažená na jednotku času a udáván je ve [W], event. [kW]

#### 2.1.4 Silové a energetické vztahy

Požadovaný řezný výkon ovlivňuje přímo návrh pohonného mechanismu stroje. Výkon hnacího členu musí zajistit potřebné řezné síly a zároveň pokrýt veškeré pasívní odpory, vznikající jak během obrábění, tak během přesunu pohyblivých částí stroje.

Síly působící na stroj :

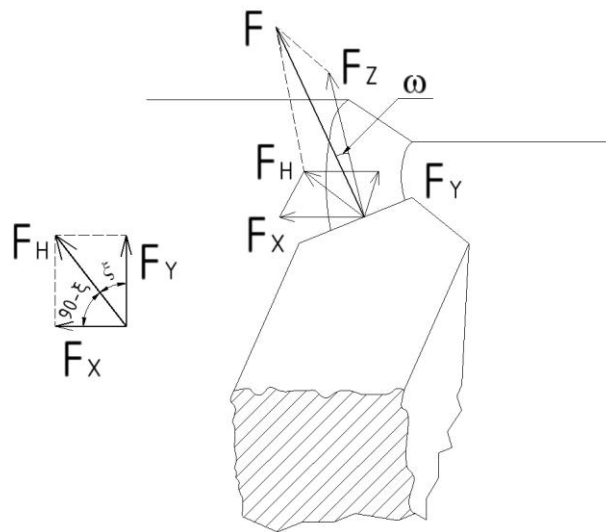
- Řezné síly
- Tíhové síly
- Pasívní odpory
- Moment hnacího členu
- Setrvačné síly ( rozjezd a brzdění)
- Rozběhové a doběhové momenty pohonu

### Řezné síly

Jsou síly, kterými působí nástroj na obrobek během obrábění. Přenášejí se od nástroje do rámu stroje a do jeho základu.

V zásadě jsou rovny řeznému odporu, tj. odporu, který klade materiál nástroji v procesu oddělování třísky.

Při obrábění má síla  $F$  obecnou polohu, jak je patrné z obr. 2.1. Rozkládá se do složky  $F_z$ , která je tečná na směr hlavního řezného pohybu a na složku kolmou na tečnou sílu – na obr. 2.1 je označena  $F_H$ . Tuto  $F_H$  pak dále rozkládáme na  $F_y$  (radiální) a  $F_x$  (ve směru posuvu).



Obr.2.1 Rozklad řezných sil u soustružení

Tečná (tangenciální) řezná síla  $F_z$  je nejdůležitější pro energetické vztahy. U rotačního hlavního řezného pohybu určuje velikost potřebného kroutícího momentu  $M_k$ , u přímočarého hlavního řezného pohybu pak určuje velikost průtažné síly.

Vzájemný poměr složek  $F_z$ ,  $F_y$ , a  $F_x$  je dán celkovými řeznými podmínkami - tj. velikostí posuvu, hloubkou řezu, úhlem řezu, materiálem, stupněm otupení břitu apod.

Pro projekt stroje je potřebné znát jako výchozí parametr pohonu stroje potřebnou tangenciální řeznou sílu. Existují teoretické způsoby, jak potřebnou tangenciální řeznou sílu stanovit, např.

a/ Pomocí měrného řezného odporu

Toto určení je orientační, protože měrný řezný odpor není konstantní. Je udáván v tabulkách pro určité řezné podmínky (materiál obrobku, tvar nože apod.) [Dobrovolný 1967]

b/ Z experimentálně stanovených vztahů

V literatuře lze nalézt komplikované empirické vztahy pro určení tangenciální síly pro jednotlivé obráběcí technologie, které lze použít pro kvalifikovaný odhad potřebné tangenciální řezné síly. [Přikryl 1982]

Specializované firmy pro výrobu nástrojů provedou výpočty řezných sil pro uživatelem zadané obráběcí technologie a řezné podmínky. [ <http://www.coroguide.com> ]

Nadále budeme pro praktické příklady návrhu pohonu prozatím předpokládat, že tangenciální řezná síla je vstupním zadaným parametrem.

### Tíhové síly

Jsou síly, které vznikají vlivem vlastní hmotnosti dílů stroje a rovněž se přenášejí do rámu stroje event. do jeho základu. Zásadním způsobem ovlivňují konstrukci rámu stroje.

### Pasívní odpory

Pasívní odpory je souhrnný pojem označující vliv třecích sil, které působí ve stroji mezi jeho vzájemně se pohybujícími díly. Ovlivňují zejména návrhy pohonných a posuvových mechanismů a vedení stroje.

### Dynamické síly

Jedná se o síly setrvačné, které působí na stroj při rozjezdu a brzdění pohyblivých částí stroje. Z definice setrvačných sil plyne, že jsou dány hmotností pohyblivých dílů a požadovanými zrychleními, event. zpóžděními, pohyblivých částí stroje.

## **2. 2 . Užité vlastnosti OS**

Z hlediska výrobce stroje i jeho budoucího uživatele jsou důležité užité vlastnosti, které charakterizují úroveň technických, ekonomických, estetických i ekologických vlastností stroje, např. ekonomičnost výroby stroje, ekonomičnost montáže i provozu stroje, ekologický provoz, spolehlivost stroje, jeho estetický vzhled apod.

Z technického hlediska jsou základní požadavky na užité vlastnosti obráběcího stroje:

- Vysoká produktivita stroje
- Vysoká kvalita práce stroje

### *2.2.1 Produktivita práce stroje*

Výkonnost - tj. produktivita - obráběcího stroje je množství hodnot vyprodukovaných za jednotku času. Hodnotami může být počet výrobků, velikost obrobené plochy nebo objem odebraných třísek. Produktivita stroje je závislá na výrobním čase.

Celkový výrobní čas je dán :

- časem strojním ( což je čas skutečné práce stroje - operace odebírání třísek, polohování nástroje)
- časem vedlejším ( což je čas potřebný k vyměnění a ustavení obrobku, výměně nástroje, kontrolnímu měření ...).

Zkracovat je třeba celkový čas, ale zejména tu část, která je převládající, což je dáno charakterem výroby. U hromadné výroby a větších sérií je lépe věnovat pozornost zkracování vedlejšího času, u výroby kusové pak vlastnímu zvyšování parametrů stroje a tím zkracování času strojního.

#### Zkracování strojního času

Dobu strojního času je možno ovlivnit zvyšováním otáček a rychlosti posuvů – tj. řezné a posuvové rychlosti. To ovšem klade vyšší nároky na pohony stroje, tuhost stroje a jeho dynamickou stabilitu. U současných strojů je zvyšování parametrů stroje v souladu s moderními trendy v konstrukci obráběcích strojů.

#### Zkracování vedlejšího času

Pro zkrácení vedlejšího času je třeba automatizovat operace mezi obráběcími operacemi. Jedná se zejména o zkvalitnění automatické výměny nástrojů a zrychlení manipulace s obrobky.

- Automatické výměny nástrojů - AVN

V malosériové a kusové výrobě se více setkáme s uplatněním principu „nástroj jde za obrobkem“ – typickým představitelem této metody jsou obráběcí centra, která umožňují vykonat velké množství operací různými nástroji během jednoho upnutí obrobku.

V sériové výrobě je častěji uplatňován princip „obrobek jde za nástrojem“, a stroje vykonávající jednoduchou operaci jsou řazeny do výrobních linek.

- Automatické výměny obrobků – AVO

Nejčastější je použití paletizačních systémů. Na paletě je obrobek ustaven a upnut, vlastní výměna obrobků se pak děje jednoduchou výměnou palet s obrobky. Výměny obrobků mohou být také řešeny využitím manipulačních robotů.

#### *2.2.2 Kvalita práce stroje – pracovní přesnost*

Pracovní přesnost stroje je dána přesností rozměrů a tvaru obrobku a přesností vzájemných ploch na obrobku, který je zhotovován na uvažovaném stroji.

Pracovní přesnost stroje je ovlivněna celkovou koncepcí stroje, přesností jeho výroby a montáže a způsobem jeho provozování.

**Celkovou koncepcí stroje** ovlivní :

- tuhost rámců, spojení, vedení, mechanismů, základu...
- dynamická stabilita stroje
- teplotní stabilita stroje

**Přesnost výroby a montáže stroje** je dána:

- geometrickou přesností stroje, která charakterizuje kvalitu zpracování a montáže funkčních částí a uzlů



**Okolní podmínky** ovlivní pracovní přesnost prostřednictvím:

- kvality a přesností seřízení nástroje,
- způsobem řízení stroje, event. jeho obsluhou,
- prostředím kde je stroj provozován (musí být eliminovány změny teploty, otřesy v okolí, nečistoty)
- návrhem technologie obrábění (postup, řezné podmínky)

Celkovou koncepci stroje nejvíce ovlivní konstruktér, pokud navrhne stroj staticky, dynamicky i teplotně stabilní. Geometrická přesnost je nejvíce ovlivněna kvalitou výroby stroje, protože zde se rozhoduje, jak přesně bude díly stroj vyrobeny a smontovány. Výsledná přesnost stroje je nakonec dána i způsobem řízení, kvalitou obsluhy a celkově poměry v jeho provozování.

### Tuhost

Statická tuhost stroje je faktorem, který zásadně ovlivňuje jeho pracovní přesnost. Je definována jako měřítko odolnosti konstrukce proti deformaci, obecně jako derivace zatížení podle deformace vyvolané tímto zatížením

$$k = dF/dy$$

Tuhost je vektor, má definovanou velikost, směr a působíště. Vyšetřuje – li se deformace ve směru působící síly, jedná se o tuhost přímou. Pokud vyšetřujeme deformace v jiných směrech, než je působení síly, jedná se o tuhost nepřímou, orientovanou.

Rozlišují se dva základní typy deformací – posunutí a natočení, analogicky je definována tuhost v posunutí a natočení – tj. tuhost translační a torzní.

**Translační tuhost** je definovaná poměrem síly  $F$  a posunutí  $\Delta l$  způsobeného deformacemi od zatížení za předpokladu lineární závislosti zatížení na deformaci :

$$k_p = \frac{F}{y} \quad [ \text{N/m} ]$$

nebo poměrem přírůstku síly  $dF$  a přírůstku posunutí  $\Delta l$  způsobeného deformacemi od zatížení za předpokladu nelineární závislosti zatížení na deformaci.

$$k_p = \frac{dF}{dy} \quad [ \text{N/m} ]$$

**Tuhost torzní** je definovaná poměrem momentu  $M$  a natočení  $\Delta \phi$  způsobeného deformacemi v případě lineární závislosti, popřípadě poměrem přírůstku momentu  $dM$  a přírůstku natočení  $d\Delta \phi$  způsobeného deformacemi, je- li vztah zatížení s deformace nelineární.

$$k_t = \frac{M}{\Delta \phi} \quad [ \text{Nm/rad} ]$$

$$k_t = \frac{dM}{d\Delta\varphi} \quad [\text{Nm/rad}]$$

**Dílčí tuhost** jednotlivých dílů stroje lze vyšetřit pomocí vztahů známých z nauky o pružnosti a pevnosti, nebo moderněji pomocí MKP. Pro jednotlivý díl je často závislost mezi zatěžovací silou a deformací považována za lineární.

Podle charakteru zatížení lze dílčí tuhost jednoduchého tělesa definovat v tlaku ( tahu), ohybu, krutu a smyku podle vztahů v tab. 2.2.

Zatížení	deformace	tuhost
Tah, tlak	$y = \frac{Fl}{ES}$	$k = \frac{ES}{l}$
Ohyb a je koeficient uložení nosníku pro vetknutý nosník se silou na konci : a=3, pro prostě podepřený se silou uprostřed : a=48	$y = \frac{Fl^3}{aEI_0}$	$k = \frac{aEI_0}{l^3}$
Smyk	$\varphi = \frac{Fl}{GS}$	$k = \frac{GS}{l}$
Krut	$\varphi = \frac{M_k l_k}{GI_k}$	$k = \frac{GI_k}{l_k}$

Tab. 2.2 : Vztahy pro dílčí tuhosti nosníků

Ve stavbě výrobních strojů převažuje vliv tuhosti ohybové a krutové, méně tahové a tlakové.

Podle charakteru působícího zatížení se rozlišuje tuhost

- Statická – zatížení je stálé.
- Dynamická – zatížení je proměnlivé. Dynamická tuhost je definována jako poměr amplitudy síly k vyvolané výchylce. V systému vzniká vynucený kmitavý pohyb.

**Celkovou tuhostí** stroje rozumíme tuhost soustavy – tj. nejen dílů, ale i jejich spojení, uložení, vedení apod. Charakter celkové tuhosti již nebývá lineární.

**Tuhost se zjišťuje :**

- Výpočtem – kvalita výpočtu je dána možnostmi výpočtáře. Dílčí tuhosti lze pomocí MKP stanovit poměrně přesně. Celková tuhost je pak dána i vazbami mezi jednotlivými částmi stroje. Při užití numerických výpočtových metod je možno vazby

mezi částmi stroje modelovat jako kontaktní úlohu se zadanými parametry tuhosti vazeb – např. šroubů, ložisek, vedení apod.

- Měřením - je třeba znát velikost síly a deformace. Velikost zatěžovací síly se měří dynamometry nebo tenzometry. Velikost deformace se měří úchylkoměry, většinou jako deformace absolutní vztahovaná k tuhému základu.

#### Tuhost lze ovlivnit :

- Materiálem – záleží zejména na modulu pružnosti materiálu E, event. modulu ve smyku G, protože deformace jsou nepřímo úměrné hodnotě E, event. G. Příklady nejběžnějších materiálů a jejich materiálových konstant je v tab. 2.3.

Materiál	E [MPa]
Šedá litina	120 000
Tvárná litina	180 000
Ocel	210 000

Tab. 2.3 Modul pružnosti v tahu pro běžné strojírenské materiály

- Tvarem – zejména kvadratickým momentem průřezu v ohybu a krutu

U jednoduchých nosíkových tvarů lze kvadratické momenty snadno spočítat. Úvahy o základním profilu lze použít zejména při úvodním návrhu tvaru rámu strojů.

Návrhy vhodných tvarů a výztuhy žebrováním se provádí MKP výpočty s využitím tvarově optimalizačních algoritmů.

#### Skládání tuhostí – řazení pružin

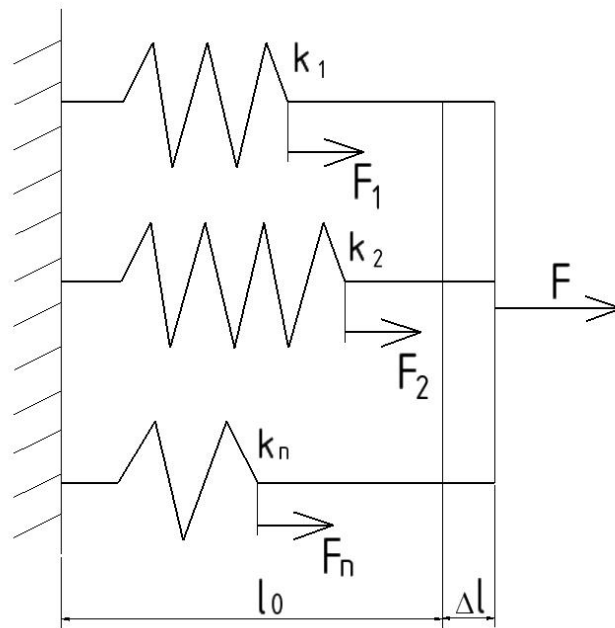
Obráběcí stroj lze teoreticky prezentovat jako systém diskrétních pružin, paralelně, seriově a kombinovaně složených.

Celkovou tuhost stroje  $k_c$  můžeme vyjádřit složením jednotlivých dílčích tuhostí (pružin) a vytvořit tak náhradní model. Pružiny lze řadit paralelně a seriově.

Budou-li pružiny řazené *paralelně* (vedle sebe), pak se tuhosti sčítají a celková tuhost je součtem tuhostí dílčích :

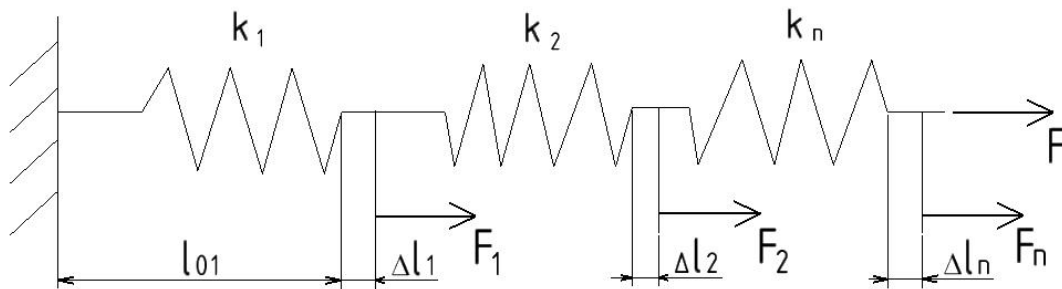
$$k_c = k_1 + k_2 + k_n$$

A zároveň platí, že výsledná síla je součtem sil jednotlivých pružin, tedy :  $F = F_1 + F_2 + F_n$



Obr.2.3 : Pružiny paralelní

U pružin řazených *sériově* (za sebou), se sčítají převrácené hodnoty tuhostí – tedy poddajnosti.



Obr. 2.4 : Pružiny v sérii

$$\frac{1}{k_c} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_n} = p_1 + p_2 + p_n = p_c$$

A zároveň platí, že síly v pružinách jsou si rovny :  $F_1 = F_2 = F_n = F$

**Tuhost styku**

Při kontaktu dvou částí stroje se na výsledné tuhosti soustavy podílí rovněž tuhost styku mezi díly. Styková tuhost je dána jednak mikronerovnostmi – tj.drsností a makronerovností – tj. geometrickou nepřesností tvaru.

Deformace vznikající nepřesností geometrie mají charakter pružných deformací, deformace mikronerovností jsou zprvu pružné, dále však plastické. Na jejich velikost má přímý vliv kvalita plochy ( broušení, zaškrabání...)

Závislost deformace a zatížení není lineární, mezi tlakem a deformací platí vztah :

$$k_{st} = \frac{\Delta p}{\Delta y} , \text{ přičemž přírůstek deformace lze vyjádřit pomocí vztahu :}$$

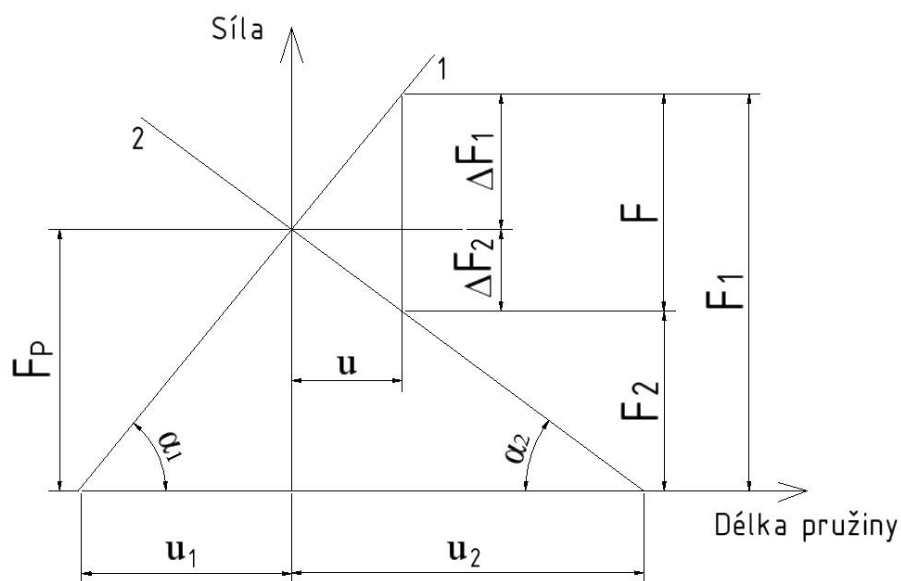
$$\Delta y = C_{st} \cdot p^m$$

kde  $C_{st}$  je součinitel poddajnosti materiálu. Mocnitel  $m$  vyjadřuje vliv materiálový - pro styk kovových ploch  $m = 0,5$ .

[Bolek1989]

### Tuhost spojení

Každé pevné spojení dvou součástí u výrobních strojů se deformuje v důsledku poddajnosti spojovacích součástí (šroubů, klínů apod.) a poddajnosti styků. Při montáži je mezi spojovacími prvky a spojenými součástmi vyvoláno určité předepnutí (silou  $F_p$ ). Při tahovém nebo tlakovém zatížení vnější silou  $F$  se předepnutý spoj chová jako soustava dvou pružin řazených paralelně až do okamžiku, kdy se objeví vůle a spoj odlehne.



Obr.2.5 : Diagram předepnutého spoje – opravit delta l

V diagramu předepnutého spoje čáry 1 a 2 vyjadřují tuhost spojovacích prvků (1) a tuhost spojovaných přírub (2):

$$k_1 = tg \alpha_1 \quad a \quad k_2 = tg \alpha_2$$

Síla  $F_p$  značí velikost předepnutí, síla  $F$  je vnější zatížení spoje.

Vnější zatížení  $F$  se rozdělí v poměru obou tuhostí na síly  $\Delta F_1$  a  $\Delta F_2$  a při vyjádření pomocí tuhostí  $k_1$  a  $k_2$  jednotlivých pružin platí pro výslednou tuhost spojení  $k_{sp}$  vztah :

$$F = \Delta F_1 + \Delta F_2 = k_1 \cdot \Delta l + k_2 \cdot \Delta l = (k_1 + k_2) \cdot \Delta l = k_{sp} \cdot \Delta l \quad \Rightarrow \quad k_{sp} = k_1 + k_2$$

Zároveň platí , že síly v částech předepnutého spoje jsou :

$$\Delta F_1 = F \frac{k_1}{k_1 + k_2} \quad a \quad \Delta F_2 = F \frac{k_2}{k_1 + k_2}$$

### Dynamická stabilita

Kmitání a chvění výrobního stroje během jeho práce je mnohdy jev neoddělitelně spjatý s jeho chodem. Kmitání je škodlivé, protože značně zvyšuje namáhání součástí, způsobuje hluk, a rušivě zasahuje přímo do pracovního procesu stroje.

Dynamická stabilita je definována jako odolnost stroje proti kmitání.

Důsledkem dynamické nestability stroje je zhoršení tvarové přesnosti a kvality povrchu obrobku, znemožnění využití daného výkonu stroje i možnost mechanického porušení nástroje.

Obráběcí stroj je složitý kmitající systém, skládající se hmotných pružných těles, která jsou propojena pružnými vazbami.

Jako stabilní je pak definován takový kmitající systém, jehož amplitudy se nezvětšují.

V teorii kmitání obráběcích strojů se rozlišuje kmitání volné, vynucené a samobuzené, na obráběcím stroji se vyskytují všechny typy kmitání.

### **Volné kmitání**

Volné kmitání je dáno pohybovou rovnicí :  $m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$

Neuvažuje-li se pro jednoduchost tlumení, je volné kmitání dáno pohybovou rovnicí :

$$m\ddot{x} + kx = 0$$

kteřou lze upravit do tvaru

$$\ddot{x} + \Omega^2 x = 0$$

kde hodnota

$$\Omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [1/s]$$

je vlastní úhlová frekvence, která je vlastností soustavy a závisí jen na její hmotnosti a tuhosti, jak je patrné ze vztahu. Touto frekvencí by kmitala soustava po získání náhlého nenulového impulsu.

Častěji se vlastní frekvence udává ve tvaru :  $f = \frac{1}{2\pi} \Omega \quad [Hz]$ .

Ve skutečnosti se v praxi vyskytuje volné kmitání s tlumením, které se po čase ustálí a není nebezpečné. Výjimkou je stav, kdy dojde k rovnosti vlastní frekvence volného kmitání s frekvencí nějaké vnější rušivé síly a nastane jev zvaný rezonance. Rezonance nastává při rovnosti vlastní frekvence a frekvence vnější síly, a pak výchylky značně vzrostou, teoreticky (bez tlumení) až do nekonečna. Rezonančnímu jevu je třeba se vyhnout a konstrukčními úpravami je nutno změnit velikost vlastní frekvence konstrukce, čehož se dosáhne změnou tuhosti nebo hmotnosti dílu.

### Vynucené kmitání

Je dáno pohybovou rovnicí  $m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F(t)$

kde  $F(t)$  je budicí síla periodicky proměnná s časem. Tato síla působí na systém stroj – nástroj – obrobek a vyvolává jeho kmitání.

Kmitání obráběcího stroje je tedy vynuceným tlumeným kmitáním o mnoha stupních volnosti, protože se jedná o systém mnoha hmot vzájemně spojených pružinami a tlumícími elementy.

Budicí síla je v zásadě dvojího druhu :

A/ Nesouvisí s procesem řezání

jedná se o vliv rázů v okolí stroje nebo budicí síla je dána nevyvážeností hřídelí stroje, nepřesnostmi v ozubení, nepřesnostmi vzniklými při montáži stroje apod.

B/ Souvisí s procesem řezání

Tato budicí síla je způsobena kolísáním řezných sil např. při frézování.

### Samobuzené kmitání

Samobuzené kmitání nepotřebuje pro svůj vznik a udržení se žádnou vnější periodickou sílu. Vzniká a udržuje se působením síly vznikající v průběhu kmitání. Jeho frekvence bývá blízká některé vlastní frekvenci části stroje. Jeho amplitudy poměrně rychle narůstají na určitou hodnotu, ustálí se a nevymizí, ani když se mění např. řezné podmínky na takové, které by kmitání původně nevyvolaly. Rozlišují se dva druhy samobuzeného kmitání :

- Relaxační kmitání – nesouvisí s procesem řezání, ale se změnami velikosti třecích sil na vodících plochách. Hnací mechanismus překonává třecí sílu, která je dána součtem tíhy posouvané hmoty a řezné síly násobená koeficientem tření, přičemž systém je v rovnováze. Změní – li se např. řezné síly, nebo okamžitý odpor v převodovém mechanismu, nebo koeficient tření, dojde k trhnutí.
- Samobuzené kmity vyvolané řezným procesem - nastávají jen při určitých řezných podmínkách .

Samobuzené kmitání na obráběcím stroji je škodlivý jev, který snižuje produktivitu stroje i jeho pracovní přesnost.

Opatření proti samobuzeným kmitům :

- Pokusit se zvýšit tuhost některého ze systému stroj – nástroj - obrobek
- Upravit řezné podmínky ( hloubka řezu, úhly nástroje, zvýšení v..)
- Změnit orientaci řezné síly, event. reverze otáček obrobku, nebo nástroje
- Zvýšit tlumicí účinek (použít tlumiče)

Tlumiče lze navrhnout dvojího druhu :

- statické - zvýšíme statickou tuhost obrobku použitím opěr pro jeho podepření
- dynamické –
  - přidá se hmotný člen a pružný prvek, který bude kmitat stejnou frekvencí jako je vlastní frekvence tlumeného členu, ale s opačnou amplitudou
  - přidání se hmotný člen a pružný člen, který bude tlumit ( gumový, olejový tlumič)

### Teplotní stabilita

Teplo vznikající v procesu obrábění má negativní vliv na výsledky obrábění, protože se zhoršuje geometrická přesnost stroje i obráběných ploch.

Lze dělit na

- teplo z okolí
- teplo vzniklé při řezném procesu
- teplo vzniklé pasívními odpory ve stroji.

Při změně teploty částí stroje dochází k teplotním deformacím, změna délkového rozměru  $\Delta l$  je dána vztahem :

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$



kde  $\alpha$  je délkový teplotní součinitel roztažnosti [1/ K]  
 $\Delta T$  je teplotní gradient

Pro změnu objemu platí analogický vztah.

Teplo se ve strojích šíří hlavně kondukcí a konvekcí, méně radiací.

Pro posílení teplotní stability stroje se nabízí některá opatření, hlavně :

- Je třeba omezit zdroje tepla.
  - odstraňovat horké třísky - mohou způsobovat lokální teplotní deformace rámu
  - zdrojem oteplení jsou i motory, brzdy a třecí spojky – doporučuje se umísťovat motory mimo stroj, není – li to možné, izolovat je
  - zajistit mazání ložisek, ozubených kol
  - navrhnout chlazení proudícím vzduchem ( dutými částmi stroje)
  - navrhnout chlazení proudícím olejem ( vřetena, ložiska, převody)
  - odvádět teplo do okolí pomocí přirozeného nebo umělého ochlazování ( klimatizace dílen)
  
- Je třeba minimalizovat vliv nevyhnutelných teplotních deformací
  - volit materiál s malou délkovou roztažností a velkou tepelnou kapacitou  $c$
  - navrhovat symetrické konstrukce ( zejména rám)
  - automaticky kompenzovat teplotní deformace

Během konstrukční přípravy výrobního stroje je třeba provádět kvalitativní analýzu teplotních deformací jeho rozhodujících částí a skupin.

### Geometrická přesnost

Geometrická přesnost stroje je dána především přesností montáže, výroby a celkového seřízení. Pro jednotlivé typy obráběcích strojů jsou postupy pro ověření geometrické přesnosti normalizovány a popsány v předávacích protokolech.

První kontroly se prováděly podle Schlesingerových přejímacích podmínek – v hlavních rysech jsou převzaty všemi průmyslovými státy.

V současnosti se rozdělují obráběcí stroje do tří tříd a tří skupin přesnosti a podle zařazení jsou předepsány zkoušky geometrické přesnosti a potřebné výsledné hodnoty zkoumaných vlastností stroje.

### **Zkoušky geometrické přesnosti**

Stroj je ustaven na základu, vyrovnán a tepelně stabilizován. Během zkoušek se nesmí podmínky měnit. **Měří se bez zatížení.**

- Zkouška přímosti - zejména u vodicích ploch. Měří se vodováhou nebo laserovým interferometrem

- Zkouška přímočarosti pohybu – u suportů, u posuvu hoblovky
- Zkouška rovinnosti – je důležitá u upínacích desek stolů a svislých soustruhů
- Zkouška rovnoběžnosti – u vodicích ploch
- Kolmost – měří se u dvou ploch, např. stůl vůči vedení na stojanu, osa vřetene k upínací ploše stolu
- Souosost – měří se dvěma měřicími trny s úchylkoměrem
- Obvodové házení – důležité pro pracovní vřeteno
- Čelní házení – měří se na dosedacích plochách pro upínadla na pracovních vřetenech

Kromě geometrické přesnosti je hotový stroj dále podrobován dalším zkouškám.

### **Zkoušky pracovní přesnosti –**

Při obrábění rotačních ploch se kontroluje kruhovitost a válcovitost obrobku.

U rovinných ploch se kontroluje rovinnost, rovnoběžnost a kolmost stěn obrobku.

Další kontrolou je přesnost najíždění na polohu stroje, zejména u NC a CNC strojů.

U kopírovacích strojů se kontroluje shodnost obrobeného tvaru s modelem

**Zkoušky spolehlivosti** – zkouška řídicího systému stroje, zkouší se všechny funkce a úplný pracovní rozsah. Zkušební běh trvá aspoň 8 hod bez poruchy.

**Výkonnostní zkoušky** – kontroluje se sklon ke vzniku samobudících kmitů, oteplování dílů stroje a jeho hlučnost.

### Okolní podmínky

Kromě konstrukce a výroby stroje ovlivní jeho pracovní přesnost dále i podmínky okolní, tj. zejména jak je stroj udržován a obsluhován. Jednou ze základních podmínek je samotné ustavení stroje, nesmí být provozován vedle strojů, které působí otřesy podlah a základů, měly by být eliminovány výrazné změny teploty v dílně, v krajním případě u velmi přesných strojů je možný i požadavek klimatizace dílny. Dalším faktorem je lidský činitel – obsluha stroje. Na přesnosti práce se projeví vhodný nebo méně vhodný návrh technologie, tj. řezných podmínek, kvalita a přesnost seřízení nástrojů apod. Dokument zvaný bezpečnostní koncept stroje určuje podmínky provozování stroje a jeho příslušenství se zaměřením na bezpečnost práce obsluhy a okolí.

### **Další studijní literatura :**

Bolek,A.,Kochman,J. : Části strojů I,SNTL, Praha, 1989,04-202-89

Bolek,A.,Kochman,J. : Části strojů II,SNTL, Praha,1990,04-207-90

Hosnedl,S., Krátký,J. : Příručka strojního inženýra 1,Computer Press, 1999, ISBN 80-7226-202-5

Hosnedl,S., Krátký,J. : Příručka strojního inženýra 2,Computer Press, 2000, ISBN 80-7226-055-3

Krátký,J.Hosnedl,S,:Strojní části 2, ZČU v Plzni,1998,55-078-98

Příkrýl,Z.,Musílková,R.:Teorie obrábění, SNTL Praha,1982,04-230-82

**Kontrolní otázky :**

1. Definujte užité vlastnosti obráběcího stroje.
2. Co ovlivňuje pracovní přesnost stroje?
3. Čím lze ovlivnit výslednou tuhost části stroje?
4. Jaké typy kmitání lze nalézt na obráběcím stroji?
5. Definujte geometrickou přesnost obráběcího stroje.

### 3. Přehled hlavních funkčně – konstrukčních uzlů obráběcích strojů

Obráběcí stroje jsou velmi rozmanité - od nejjednodušších stolních strojů s ručním ovládáním až po zcela automatizovaná bezobslužná obráběcí pracoviště velkých rozměrů. Základním požadavkem na obráběcí stroj je držet obrobek a nástroj vůči sobě v přesně definované poloze za klidu i za pohybu a dodat pro obrábění potřebný výkon. Z toho plyne, že z funkčně konstrukčního hlediska lze na všech obráběcích strojích nalézt konstrukční celky, které plní stejnou úlohu. K vyvození hlavního a vedlejšího pohybu je zapotřebí hnacích mechanismů. Tyto mechanismy musí být uloženy v dalších konstrukčních celcích, které plní nosnou funkci – nazývají se rám stroje. Protože se obrábění provádí skládáním řezných pohybů, pohybují se i jednotlivé díly stroje po sobě po přesných vymezeních, tyto dráhy se nazývají vedení stroje. K zachycení reakcí od otáčení vřeten nebo obrobků slouží uzly uložení - ložiska. Ke spojení částí strojů slouží spojovací prvky a mechanismy. Na stroji je dále možno nalézt skupiny sloužící k řízení a kontrole stroje a skupiny pomocné zabezpečující mazání, chlazení, manipulaci s nástroji a třískami a obrobky.

Tyto konstrukční celky mohou být navrženy různými způsoby s využitím celé řady technických principů, které budou probrány v této kapitole.

Mechanické funkčně – konstrukční celky obráběcího stroje se dělí na :

- Nosné uzly – rám stroje
- Pohonné uzly – pohonné a posuvové mechanismy
- Spojovací uzly – pohyblivá a pevná spojení částí stroje
- Pomocné uzly – mazání, chlazení, obslužné manipulace.

Elektricko - mechanické celky zabezpečují řídicí a kontrolní funkce stroje. Detailněji jsou probírány v jiných předmětech. ( KKS/MT, KKS/TDS, KKS/ARVT).

#### 3.1. Rám stroje

Rám výrobního stroje je soustava těles, které mezi sebou přenášejí účinky všech působících statických i dynamických sil.

Na rám stroje jsou kladeny obecné požadavky :

- Statická tuhost – musí být dostatečná k tomu, aby vzniklé deformace nepřekročily dovolené hodnoty vzhledem k rozměrům výrobku. Musí být zachována stálá poloha a tvar jednotlivých částí rámu. Vysoká statická tuhost rámu ovlivňuje i dynamické chování stroje.
- Dynamická stabilita – musí zabezpečit odolnost proti chvění, které způsobuje nekvalitní povrch výrobku . Chvění stroje omezuje využití instalovaného výkonu stroje. Mezní hloubka třísky, kterou lze na stroji odebrat je měřítkem stability stroje a musí být větší než maximální dovolená tříska pro určité řezné podmínky.

- Tepelná stabilita, malé tepelné deformace. Je třeba zajistit dobrý odvod třísek, aby se nestaly zdrojem oteplení na stroji a nevznikaly deformace vyvolané tepelnými změnami.

Tyto vlastnosti rámu přímo ovlivňují pracovní přesnost obráběcího stroje.

Dalšími požadavky na rám stroje je :

- Snadnost manipulace s výrobkem v pracovním prostoru stroje
- Malá plocha zastavěná strojem
- Hospodárnost výroby – jednoduchost rámu, jeho malá hmotnost
- Estetický a ergonomický design rámu stroje.

### 3.1.1 Základní koncepce rámu

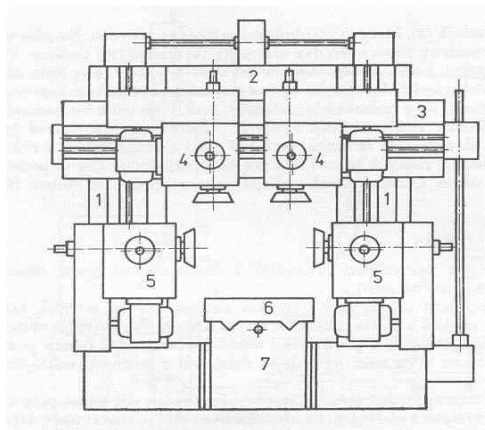
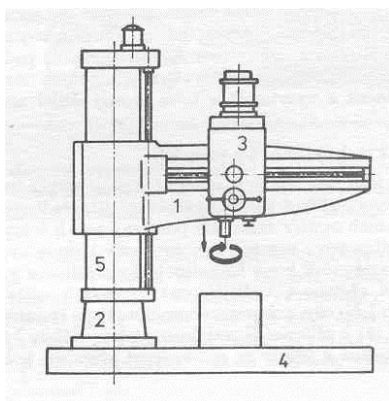
Rámy obráběcích strojů se konstruují jako :

- dělené – spojované předepjatými spoji (šrouby, kolíky, pera, zděře)
- nedělené

Nedělené rámy jsou využity na strojích menších velikostí, u velkých strojů jsou většinou díly rámu ( např. lože) dělené a spojované předepnutými prvky.

Z hlediska celkového tvaru se rámy obráběcích strojů dělí na

- otevřené – typu písmene C
- uzavřené - typu písmene O



Obr. 3.1. : Příklad otevřeného a uzavřeného rámu [Ženíšek 1990]

S ohledem na silový tok jsou lepší uzavřené rámy, vyznačují se lepší tuhostí a většinou jsou méně hmotné. Pracovní prostor je ale přesně vymezen. U uzavřených rámu se dále rozlišují rámy s pevným portálem a s portálem pohyblivým ( gantry).

Typy ráků jsou většinou u konvenčních strojů zavedené pro určité typy obráběcích strojů, jak je uvedeno v tab. 3.1

	Otevřené	Uzavřené
Tuhost	horší	lepší
Manipulace s obrobkem, nástroji, obsluha..	lepší	horší
Omezení maximálního rozměru obrobku	menší	vyšší
Hmotnost	větší	menší
Typy stroje	Soustruhy, horizontky, frézky, vrtačky, brusky	Portálové frézky, karusely, hoblovky

Tabulka 3.1. Typy ráků OS

### 3.1.2 Materiál rámu

Materiál pro rámy strojů má mít vysoký modul pružnosti, nízkou hustotu, malý koeficient teplotní roztažnosti, vysoké měrné teplo, tj. množství tepla potřebné k ohřátí o stupeň, dobrou tepelnou vodivost, která způsobí rychlý odvod tepla, aby nevznikly teplotní deformace a velmi dobré tlumicí vlastnosti. Náklady na výrobu rámu mají být pochopitelně nízké.

#### Konvenční materiály rámu

Nejčastějšími materiály používanými pro konstrukci ráků stroje je litina a ocel. Tyto klasické materiály jsou osvědčené, jejich materiálové vlastnosti jsou díky mnohaletému vývoji v oblasti materiálového výzkumu empiricky ověřené a dokumentované v materiálových listech nebo lexikonech technických materiálů.

Srovnání vlastností konvenčních materiálů je shrnuto v tabulce 3.2.

Materiál	Výhody	Nevýhody
Šedá litina	Levná, nenákladná technologie, dobré tlumicí schopnosti	Nebezpečí vnitřních pnutí v odlitku – 6 měsíců stárnutí nebo žíhat Malý modul pružnosti oproti oceli (E)

Tvárná litina	Vyšší modul pružnosti než šedá litina (E)	Dražší
Ocel	Dobré mechanické vlastnosti, modul pružnosti vyšší než tvárná litina	Menší tlumicí schopnosti než litina

*Tabulka 3.2. : Srovnání vlastností litinových a ocelových rámu*

### Provedení kovových rámu

Klasické provedení rámu je buď formou odlitku nebo svařence. V tab. 3.3 jsou porovnány výhody i nevýhody obou způsobů.

	Výhody	Nevýhody
Odlitky	Nižší materiálové náklady	Je nutno vyrobit model a formu Vychází hmotnější – to je dáno technologickými možnostmi odlévání Časová prodleva kvůli stárnutí odlitku
Svařence	Rychlejší výroba, snadné opravy a změny	Nutnost odstraňovat pnutí vzniklé v dílu svařováním Nutnost vždy obkládat ocelové vodící plochy

*Tabulka 3.3. : Srovnání vlastností odlitků a svařenců*

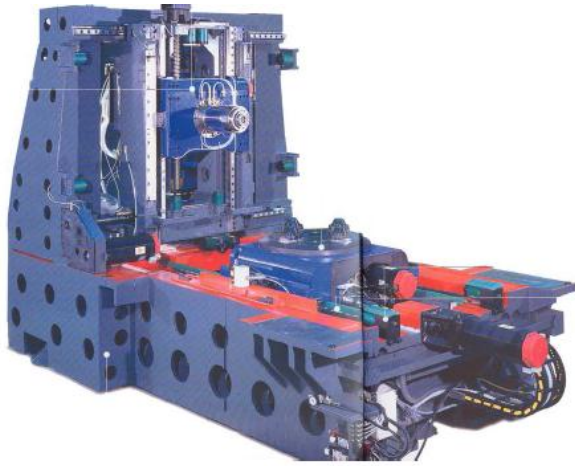
U klasických rámu je nutno sledovat i technologičnost výroby rámu a jejich nákladnost.:

Už při návrhu odlitku je vhodné respektovat některé zásady :

- Odlitky mají mít malé množství následně obráběných ploch
- Tvar odlitku je dán nejen požadavky na jeho tuhost , ale i možnostmi technologie výroby ( jak minimálně silné stěny umí slévárna odlít, jak navrhnout jádra modelu pro odlití otvorů , jak jádra odstranit apod.)
- Uvažovat obtíže s manipulací hmotným odlitkem při výrobě

U svařenců je jednou z výhod možnost dodatečné úpravy rámu.

Pro rámové díly obráběcích strojů se používají litinové odlitky i ocelové svařence. Volba je dána zejména velikostí stroje a počtem vyráběných kusů. Pro opakovanou výrobu je výhodné vyrobit model pro odlitky, při kusové výrobě je mnohdy výhodnější originální svařenec.



Obr. 3.2: Svařovaný a odlitý rám[SpOS 2002]

### Nekonvenční materiály

Pro stavbu ráků jsou využívány i některé materiály méně běžné, alternativní, které mají oproti klasickým materiálům některé zajímavé vlastnosti. Jedná se většinou o materiály, které mají menší tuhost, ale mnohem lepší vlastnosti dynamické i teplotní. Jsou i materiály ekologičtějšími, protože se vyznačují snadnějším způsobem likvidace.

Progresivní způsoby provedení ráků :

- Ráky z minerální litiny
- Ráky z řezaných dílů granitu
- Dutiny ráku jsou vyplněny kovovou pěnou
- Ráky z kompozitních materiálů navinuté na formy pro pohyblivé části ráku

### **Minerální litina – polymerbeton**

Je směs anorganické látky (kamenivo) a spojovacího činidla (epoxydové hmoty).

Minerální litiny se vyrábějí smícháním komponent, jejich setřásáním a následným vytvrzením. Podle výrobců se lze na trhu setkat s minerálními litinami s různými obchodními názvy - EPUCRET, GRANITAN, SCHNEEBERGER apod. - tyto minerální litiny se odlévají do forem. HYDROPOL je speciální minerální litina, která se odlévá do nenosných tenkostěnných svařenců.





Obr. 3.3.: Rám stroje z minerální litiny[Framag 2010]

### **Granit**

Granit je přírodní materiál, který se rovněž vyznačuje velkou dynamickou a teplotní stálostí. Jsou to vlastně žulové bloky, přičemž řezané díly se spojují lepením nebo speciálními závitovými šrouby. Jejich velké využití najdeme u přesných měřicích strojů.



Obr. 3.4.: Rám stroje z granitu[Oelze2010]

### **Vláknové kompozity**

Vláknové kompozity jsou tvořeny vlákny, která jsou prosycená pryskyřicí. Rotační součásti vznikají přesným navíjením na trn, ploché skládáním vrstev a následným vytvrzením v autoklávu.

Tuhost a pevnost takto vzniklého laminátu se řídí jeho skladbou, tj. počtem a tloušťkou vrstev a orientací vláken ve vrstvách, a tak lze do jisté míry mechanické vlastnosti laminátu ovlivnit. Z teoretického hlediska lze docílit při stejných vnějších rozměrech tělesa z kompozitu velmi rozdílných mechanických vlastností právě změnami ve skladbě laminátu.

Použití těchto materiálů je náročné na výpočet, konstrukci i technologii. Vláknové kompozity mají vysokou tuhost a zároveň malou hmotnost. V konstrukci výrobních strojů se uplatní např. jako ramena robotů, držáky nástrojů, nebo jako díly stroje, kde se vyžaduje velmi malá

hmotnost zároveň s tuhostí a vysokou pevností. V poslední době se zkouší vyvinout i větší rámové díly stroje tímto způsobem.

### **Sendvičové struktury**

Sendviče jsou tvořeny potahy a výplní. Potahy sendviče nesou ohybové namáhání, výplně přenášejí smyková namáhání a mají většinou výrazné tlumicí účinky. Pro rámy obráběcích strojů se zkouší využití sendvičů tvořených např. ocelovými potahy vyplněnými kovovými pěny. Kovové pěny se vyrábí z kovových prášků, např. hliníkových, zinkových nebo olověných, které vznikají práškovou metalurgií, jsou smíchány s pěnicím činidlem a slisovány. Polotovary jsou pak vloženy do prostoru, např. do svařence mezi dvě desky, a tím vzniká hybridní struktura typu sendviče. Následuje zahřátí a pěnicí činidlo způsobí rozpínání kovu uvnitř dutiny. Po ochlazení kov ztuhne. Celý sendvič má opět výborné tlumicí vlastnosti. Výrobou kovových pěn se zabývá mnoho firem a jsou nabízeny s různými obchodními názvy, např. Alporas, Alulight, Cymat, apod.

### Návrhové a kontrolní výpočty rámu

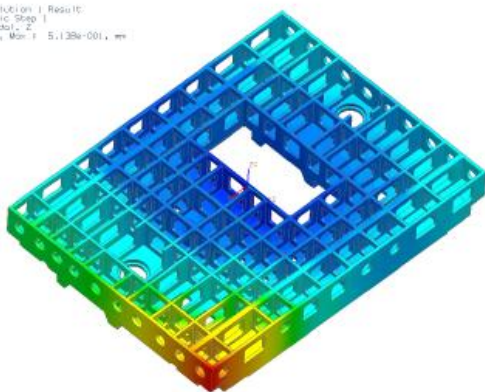
Rámy se kontrolují na statickou a dynamickou tuhost, eventuálně na teplotní deformace. Pevnostně bývají rámy obráběcích strojů předimenzovány. Kontrolují se na ohyb a smyk, event. krut, počítá se redukované napětí v kritických průřezích.

Užívají se buď klasické postupy, např. dlouhé části rámu se počítají jako přímé nebo křivé pruty, ploché díly jako desky. Celková deformace na nástroji se pak získá superpozicí jednotlivých deformací do místa nástroje. U dělených rámu jsou spoje považovány za tuhé.

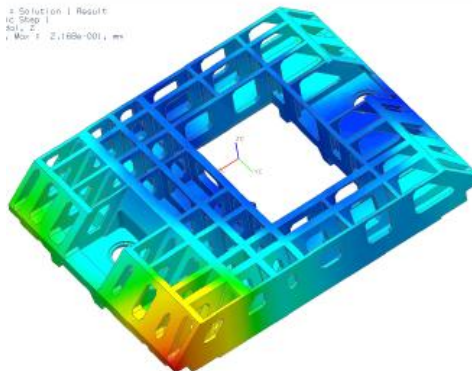
Skutečné rámy se nedají přesně řešit klasickými způsoby, řeší se tedy numericky např. s užitím MKP. Vzhledem k velkým rozměrům a malé tloušťce stěny se osvědčují pro statické a dynamické analýzy náhradní modely z deskových prvků (typu shell). Pro teplotní analýzy je třeba mít prostorový model.

Výpočty jednotlivých dílů rámových konstrukcí jsou většinou prováděny z důvodů porovnání konstrukčních variant a je prováděna tvarová optimalizace, např. hledání nejlehčí varianty o stejné tuhosti.

Solution 1 Result  
IC Step 1  
Max 2  
Min 1 5,138e-001, mm

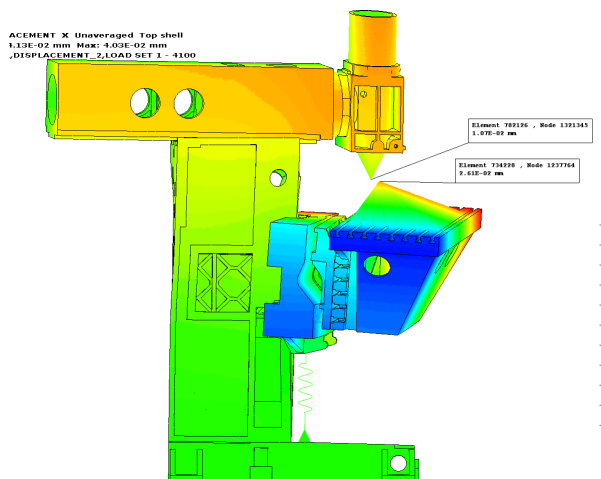


Solution 1 Result  
IC Step 1  
Max 2  
Min 1 2,168e-001, mm



*Obr. 3.5 : Výpočtové posouzení několika variant dílu rámu obráběcího stroje – hledání optimální varianty žebrování dílu*

Pro zjištění mechanického chování rámu stroje je třeba vytvořit kompletní výpočtový model, který zahrnuje i vliv spojovacích vazeb mezi jednotlivými částmi rámu.



*Obr. 3.6 : Výpočtové posouzení celého rámu stroje*

Pevné části rámu se v současné době konstruují velmi tuhé, mohutné, z důvodu dobrého tlumení jsou často vyplňované jiným materiálem

Pohyblivé části mají být rovněž velmi tuhé, ale je možno pozorovat značnou snahu o minimalizaci hmotnosti, aby se zmenšil vliv setrvačných sil.

### Ukládání strojů

Způsob uložení stroje je dán vlastnostmi stroje, hlavně velikostí stroje a velikostí hmotností, které se na něm přemísťují, a také a provozními požadavky. U velkých strojů je uložení považováno za součást rámu. Dále je třeba zohlednit tuhost spodku stroje, velikost rázů vznikajících při obrábění a možnost výskytu rušivých kmitů v okolí.

Možnosti uložení stroje :

- Na podlahu dílny -  
Tak se ukládají malé stroje do 10 t hmotnosti, a to buď na tuhé podložky s podlitím stroje nebo na pružné podložky
- Na samostatný základ –  
Tak se ukládají střední a velké stroje.
  - na zemní vrstvy- obráběcí stroje
  - na pružné prvky - točivé stroje, tvářecí stroje, brusky, stroje na ozubení

Samostatné základy mohou být:

- plošné základy- armované betonové bloky
- hlubinné základy- piloty, šachtové

U velkých strojů by uložení mělo umožnit vyrovnat stroj ve vodorovné poloze. Z toho důvodu se lože strojů upevňují na základ pomocí výškově stavitelných základových šroubů.

Základy je třeba izolovat. Izolace je jednak aktivní , která má za úkol izolovat okolí od účinků stroje a pasívní , která izoluje stroj od vlivu okolí. Provádí se štěrkovými podsypy nebo instalací pružných koberců.

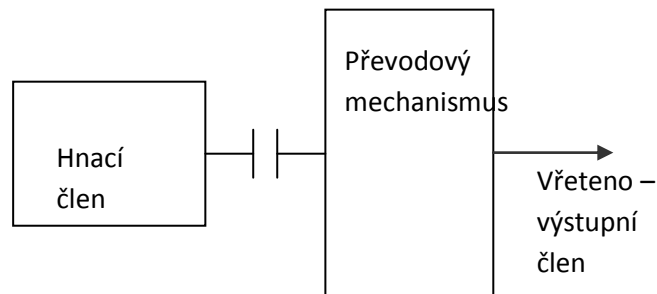
### 3.2. Pohonný systém obráběcích strojů

V pohonných systémech stroje se přeměňuje vstupní energie v energii mechanickou.

Může se měnit i druh pohybu ( rotační v lineární a naopak).

Může se měnit rovněž rozsah rychlostí nebo otáček , momentu nebo síly.

Obecný pohonný systém stroje se skládá z hnacího členu a z převodového mechanismu.



Obr. 3. 7 : Schéma pohonného mechanismu

V hnacím členu se transformuje vstupní energie v energii mechanickou, převodový mechanismus zajišťuje změnu rozsahu výstupních veličin, eventuálně změnu pohybu rotačního v přímočarý.

Parametry pohonného systému jsou :

- Úhlová rychlost  $\omega$  a kroutící moment  $M_k$  pro rotační pohyb, posuvová rychlost  $v_p$  a posuvová síla  $F_p$  pro posuvný pohyb
- celkový převodový poměr pohonu  $i_c$
- celková účinnost pohonu  $\eta_c$
- celková životnost pohonu  $L_h$

Podle toho, který pohyb má pohonný systém zabezpečovat, jsou pohonné systémy děleny na :

- Hlavní pohonný systém – zabezpečuje hlavní řezný pohyb. Převážně se jedná o rotační pohyb.
- Vedlejší pohonný systém – zabezpečuje vedlejší řezný pohyb. Převážně se jedná o posuvný pohyb.
- Pomocné pohony – zabezpečují manipulační, upínací a přídatné funkce, příkladem je dopravník třísek, výměna nástrojů nebo výměna a upínání obrobků.

**Hlavní pohonný systém musí:**

- zajistit možnost nastavení řezných rychlostí v dostatečném rozsahu a s potřebnou přesností
- zabezpečit pro řezný pohyb potřebný výkon a pro hlavní pohonný systém s rotačním motorem musí být zabezpečen konstantní výkon v celém rozsahu otáček
- umožnit rychlou reverzi řezného pohybu

- u strojů s vysokou automatizací zabezpečit přesné polohování výstupního členu
- spolehlivost, životnost, dynamická stabilita, tuhost, teplotní stálost, malá hlučnost

#### **Vedlejší pohonný systém musí :**

- v celém rozsahu rychlosti pracovních pohybů vyvinout potřebnou sílu k překonání řezných, setrvačných a třecích sil
- pro vedlejší pohonný systém posuvový je nutno zabezpečit konstantní posuvovou sílu v celém rozsahu posuvových rychlostí
- zajistit v celém rozsahu rychlosti plynulý pohyb části stroje
- zajistit **přesnou polohu pohybované části stroje ( indexování)**
- spolehlivost, životnost, dynamická stabilita, tuhost, teplotní stálost, malá hlučnost

Na pomocné pohony nejsou kladeny zvláštní požadavky.

#### *3.2.1 Hnací členy - motory*

Motor je základní částí pohonného systému, kde je transformována některá z vstupních energií v energii mechanickou. Motor musí splňovat požadavky nejen energetické, ale i ekonomické, ekologické a další.

Motory se dělí :

podle vstupní energie na

- Elektromotory
- Hydromotory

podle charakteru výstupního pohybu na

- Rotační motory – výstupem je kroučící moment a otáčky
- Lineární motory – výstupem je posuvová síla a rychlost posuvu

Hnací člen je charakterizován výstupními parametry motoru, což jsou kroučící moment motoru  $M_m$ , jmenovité otáčky motoru  $n_e$  pro hnací člen rotační nebo posuvová síla motoru  $F_m$  a posuvová rychlost motoru  $v_m$  pro hnací člen přímočarý. Jedná-li se o regulovatelný hnací člen, pak rozsah těchto parametrů.

Rozsah výstupních parametrů motoru je dán jeho regulačními možnostmi.

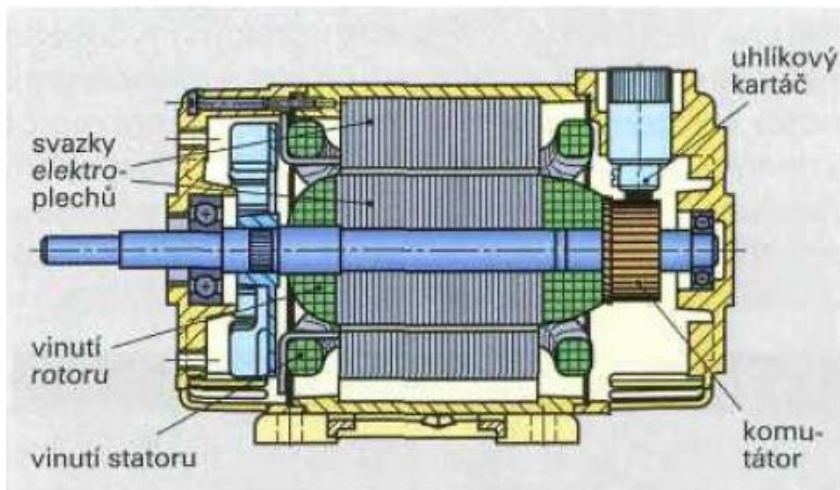
#### Elektromotory

Pro zajištění hlavního i vedlejšího řezného pohybu obráběcího stroje mají nejčastější použití.

#### **Stejnoseměrné motory DC**

Budící vinutí na statoru je napájeno ze stejnosměrného zdroje ( např. sběracím ústrojím), tím vzniká magnetický tok. Kotva je připojena na zdroj stejnosměrného napětí, např. dynamo,

nebo tyristor. Při pohybu kotvy v magnetickém poli se v jejích vodičích indukuje napětí a vzniká proud. Točivý moment je úměrný velikosti proudu  $I$ . Polovina pólů statoru je severní, polovina je jižní. Aby síla na kotvě působila stejným směrem, je třeba vodiče cívky periodicky přepólovávat, což je zajištěno komutátorem. Pokud je komutace zajišťována elektronicky, označují se motory písmeny **EC**. Po doplnění tyristory lze otáčky v jistém rozsahu regulovat.



Obr.3.8.: Stejnosměrný motor[Dillinger2007]

### **Motory na střídavý proud AC**

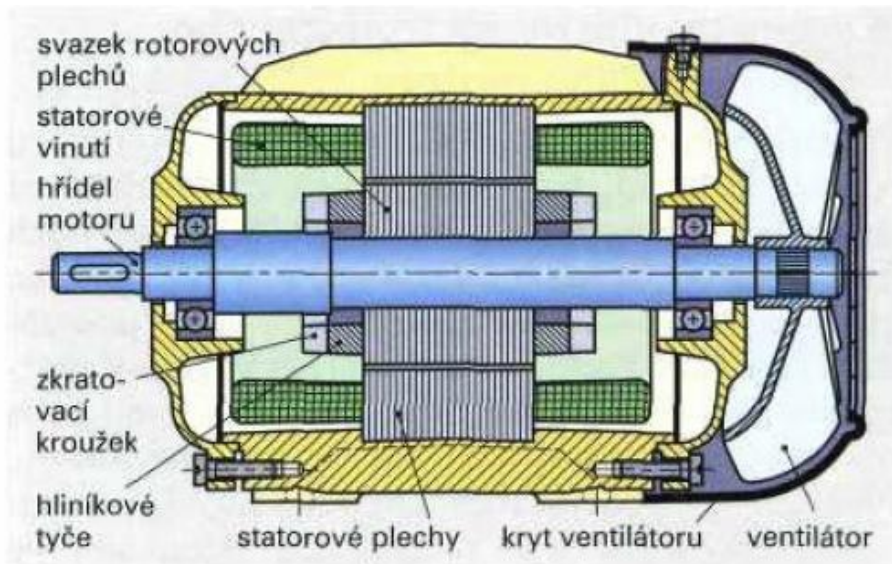
#### *Indukční motory - asynchronní motory*

Vinutí na statoru je napájeno třífázovým (střídavým proudem) a vytváří točivé elektromagnetické pole s otáčkami  $n = 60 f / p$ , kde  $p$  je počet pólů statoru. V otočné kotvě motoru se indukuje napětí, proud protékající kotvou způsobuje točivý moment, protože točivé elektromagnetické pole se snaží rotor unášet s sebou s otáčkami  $n_s$ , které mají malý skluz za otáčkami točivého pole. Skluz otáček motoru bývá 3 – 7 % otáček elektromagnetického pole. Po doplnění frekvenčním měničem lze otáčky motoru v určitém rozsahu plynule regulovat.

(např. motory Siemens PH7, PH4).

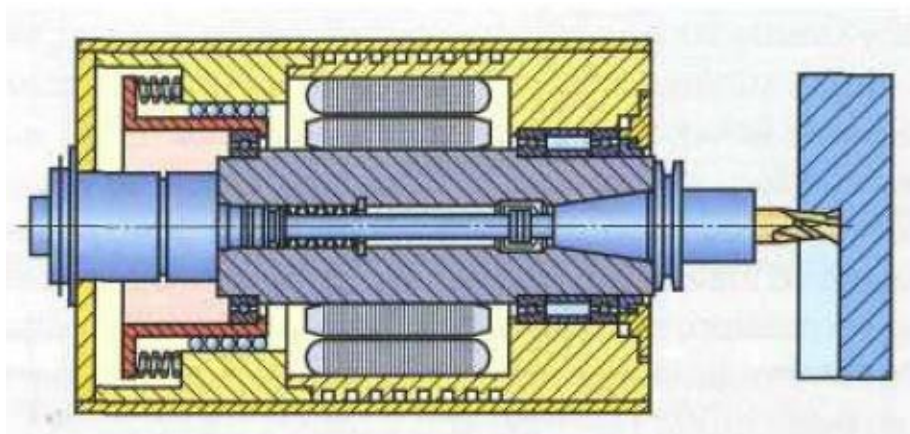
Pro pohon vřeten obráběcích strojů se nejvíce používají regulovatelné asynchronní motory, které dávají vysoký konstantní výkon při velkém rozsahu otáček.





Obr.3.9: Asynchronní motor[Dillinger2007]

Pro hlavní pohon se u velmi moderních strojů zejména pro vysokorychlostní obrábění používá elektrovřeten. Princip elektrovřetene spočívá v tom, že vřeteno stroje je zabudováno jako součást motoru, tj. pracuje jako jeho rotor. Tento pohon má vysokou tuhost, dynamickou stabilitu a je velmi přesný.



Obr.3.10: Elektrovřeteno[Dillinger2007]

### Synchronní motory

Vinutí na statoru je obdobné jako u asynchronních motorů, ale rotor nese permanentní magnety s poly, které jsou střídavě severní a jižní a je buzen z cizího zdroje. Změnami směru magnetického toku ve statoru se rotor pohybuje.

Otáčky rotoru jsou dány počtem párů pólů a frekvencí sítě, v tomto případě jsou otáčky elektromagnetického pole a otáčky rotoru stejné :  $n = n_s = 60 f / \text{pár polů}$ . Po doplnění frekvenčním měničem lze otáčky regulovat v určitém rozsahu plynule.

(např. Siemens, 1FT5,1FT6)

Pro posuvové mechanismy obráběcích strojů se nejvíce používají regulovatelné synchronní motory. Pro tyto pohony je důležitý velký rozsah konstantního kroutícího momentu, který



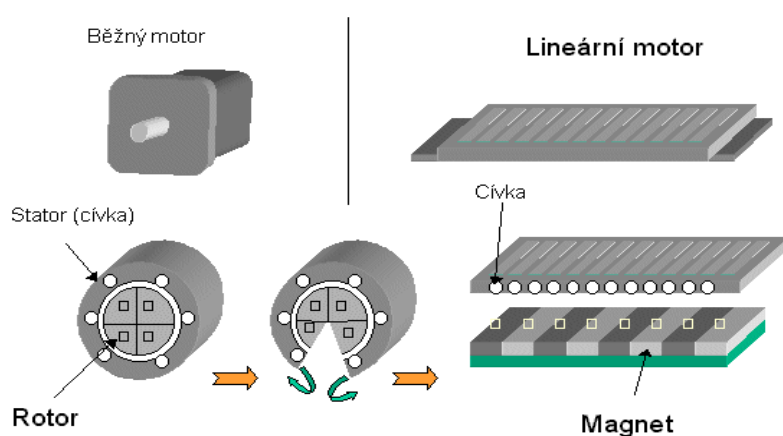
vyvozuje konstantní posuvovou sílu, vysoké hodnoty zrychlení a zastavení a přesné najetí do požadované pozice.

### *Krokové motory*

Jsou zvláštním druhem synchronního motoru. Mají buzení permanentními magnety se značným počtem polů. Ovládací proudové impulsy se přivádí postupně na jednotlivé fáze, rotor se otáčí přetržitě, tak, jak je postupně přitahován na jednotlivé póly. Polohování ( tj. zastavení na zadané pozici) u tohoto motoru je velmi přesné, takže se používá pro posuvové mechanismy, pokud je požadován nízký moment i otáčky.

### *Lineární motory*

Jsou mnohopolové elektrické stroje, jejichž vzduchová mezera je rozvinuta do roviny. Mohou být synchronní i asynchronní a lze je užít pro přímé pohony posuvů.



Obr. 3.11: Srovnání rotačního a lineárního motoru [SpOS 2002]

Lineární motory se vyznačují velmi přesným polohováním, jejich nevýhodou je tepelné a elektromagnetické ovlivňování okolí motoru , takže musí být odstíněny.

### Hydromotory

Využívají tlakové energie pracovního média. Hydraulické obvody se skládají se z hydrogenerátoru - čerpadla, za generátor se klade rozdělovač proudu média (šoupátko nebo ventil), a následuje vlastní hydromotor. Pro hlavní pohony OS se používají málo.

#### *3.2.2 Převodové mechanismy – mechanismy ke změně otáček*

Úkolem pohonných systémů je zabezpečit potřebné relativní pohyby částí obráběcího stroje a obrobku pro uskutečnění rezného procesu, tj. rezné pohyby, a dále pohyby nastavovací a pomocné v požadovaném rozsahu.

Výstupní hodnoty hnacích členů ( $n$ ,  $M_k$  nebo  $v_p$ ,  $F_p$ ) většinou přímo nevyhovují, potřebný rozsah momentů a otáček nebo rychlostí a sil je třeba zajistit pomocí převodových mechanismů.

Změnu převodu mezi hnacím a hnaným hřídelem je možno provést způsoby uvedenými v tab. 3.4 .

Stupňová změna		
Mechanicky		Elektricky
Ozubeným převodem	Řemenovým převodem	Přepólování motoru
Plynulá změna		
Mechanicky	Elektricky	Hydraulicky
Variátory otáček	Frekvenční měniče	Změna odporu tlakového média

Tab. 3.4 : Technické principy pro regulaci parametrů hnacího členu

#### Mechanické systémy pro stupňovou změnu

Mechanické převody vytvářejí kinematickou a silovou vazbu mezi hnacím a hnaným hřídelem.

Pohyb se přenáší :

- Přímou vazbou ( třecí kola, ozubená kola),
- Nepřímou vazbou - mezičlenem ( řemen, řetěz, lano)

#### **Ozubená kola**

Jsou nejčastějším mechanismem používaným v konstrukci obráběcích strojů pro změnu otáček. Jednoduchý mechanismus tvoří jeden pár ozubených kol. Složený mechanismus vznikne vložením dalších hřídelí mezi hnací a hnaný hřídel.

Převodový poměr je definován poměrem otáček hnacího hřídele ku hnanému, takže pro jednotlivé převody platí například :

$$i_{12} = n_1/n_2$$

$$i_{34} = n_2/n_3$$

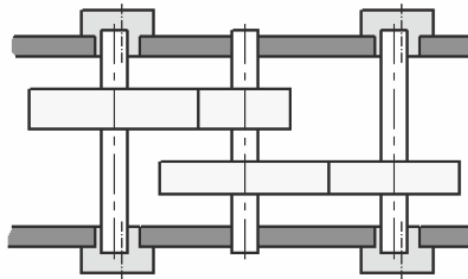
Potom celkový převodový poměr je součinem dílčích poměrů :  $i_{\text{celk}} = i_{12} \cdot i_{34}$  .

Účinnost jednoho zubového záběru je 0,98 pro čelní kola, a 0,96 pro kuželová kola. Celková účinnost převodového systému je dána součinem dílčích účinností jednotlivých převodů.

Převodovky jsou charakterizované výkonem, celkovým převodovým poměrem a rozměry. Konstrukčně se rozdělují se na :

#### *Převod se stálou polohou os*

- s čelními koly
- s kuželovým soukolím
- kombinované
- šnekové



Obr 3.12 : Převodovka se stálou polohou os a s čelními koly [Wikov Gear]

#### *Převod s proměnnou polohou os – planetový mechanismus*

Planetový převod se skládá korunového kola (2), unášeče (U), satelitů (S) a centrálního kola(1). Osy satelitů krouží okolo centrální osy převodu a konají otáčivý pohyb podobně jako planety okolo Slunce. Vstupní a výstupní hřídele jsou souosé. Planetových převodů je konstruováno několik typů, bližší informace jsou v literatuře, např. [Bolek1991].

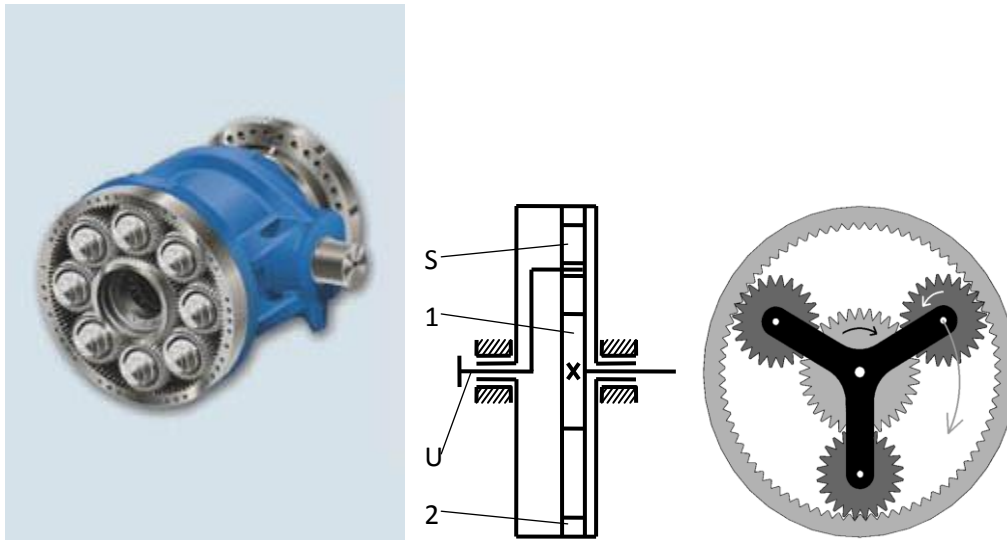
Příklad jednoho typu mechanismu je na obr. 3.13.

Pro určení převodového poměru planetového převodu se užívá následující úvahy :

- pokud je korunové kolo převodovky) pevně spojeno s uložením převodovky, otáčí se výstupní hřídel převodovky (unašeč - U) stejnou úhlovou rychlostí  $\omega_U$  jako vstupní hřídel pevně spojený s centrálním kolem
- Úhlová rychlost unášeče je :  $\omega_U = \omega_1$
- pokud korunové kolo uvolníme od uložení převodovky a současně spojíme s výstupním hřídelem převodovky (unašečem - U), začne se výstupní hřídel otáčet úhlovou rychlostí  $\omega_2$  .
- Úhlová rychlost unášeče je  $\omega_U = \omega_2$

- vztah mezi  $\omega_2$  a  $\omega_1$  je: 
$$\frac{\omega_1 - \omega_U}{\omega_2 - \omega_U} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

Značnou výhodou planetového mechanismu je vysoký převod, možnost realizovat vysoké výkony díky rozdělení silového toku na několik větví. Planetové převodovky mají malé rozměry a nízkou hmotnost. V konstrukci obráběcích strojů se využívají jako nakupované komponenty.



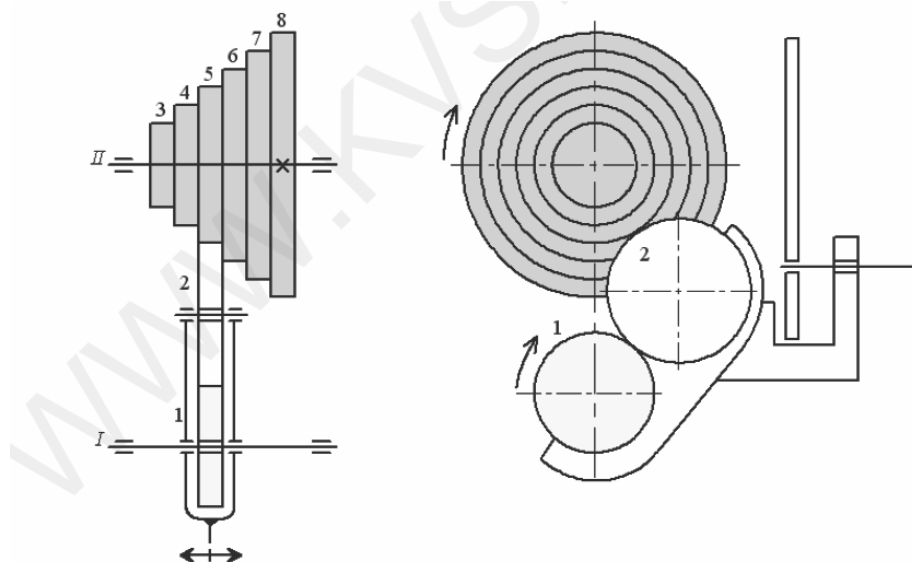
Obr 3.13 : Planetová převodovka [Wikov Gear]

#### Řadící převodovky

mají několik odstupňovaných hodnot výstupů otáček a momentů a v použití s regulačním motorem několik odstupňovaných rozsahů výstupů otáček a momentů. Z konstrukčního hlediska lze užít několika způsobů řazení jednotlivých stupňů.

#### Nortonské ústrojí –

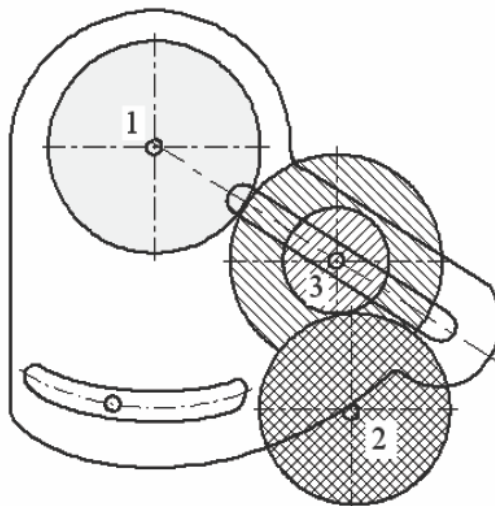
První kolo je posuvné a může zabírat s libovolným kolem z kaskády kol. V záběru jsou jen kola přenášející moment. Závadou mechanismu je malá tuhost přesuvné páky, a celkově je tento systém nemoderní.



Obr 3.14 : Nortonské ústrojí - překreslit

Výměnná kola –

Řazení stupňů výměnou je zdlouhavé, užije se, pokud je třeba změnit celý otáčkový rozsah na delší dobu. Tento způsob lze rovněž využít pro řezání závitů s různým stoupáním. Kola jsou letmo nasazena na hřídelích s pevnou vzdáleností os, mnohdy na drážkový hřídel. Usazení na výkyvném zařízení (lyře), usnadňuje správné uvedení do záběru. Tento způsob nelze automatizovat, takže se na moderních strojích nepoužívá.



Obr 3.15 : Výměnná kola

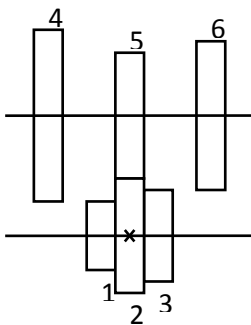
Přesuvná kola –

Změna otáčkových stupňů se děje přesouváním kol do záběru s protikoly, na hřídeli je nasazeno dvoukolí až čtyřkolí na drážkových hřídelích. Do záběru se kola přesouvají za klidu, boky zubů kol musí být sražené, aby došlo k snadnému přesunutí. Nutná je vůle mezi koly, větší než šířka kola, aby se vyloučil záběr obou kol, což způsobuje větší délku převodových

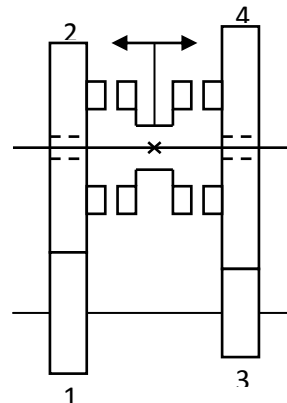
skříní. Snadněji se přesouvají kola menších průměrů. Tohoto způsobu se užívá do převodu 1:4.

Kola se spojkami -

Kola na hřídelích jsou volně uložena, při řazení se s hřídeli spojí spojkou. Tento způsob je oblíbený pro snadnou automatizaci řazení. Nevýhodou je, že v záběru jsou stále všechna kola, i ta běžící naprázdno, což způsobuje hluk. Další nevýhodou je rovněž opotřebení a zahřívání spojek.



Obr.3.16 : Princip přesouvání kol



Obr. 3.17 : Princip řazení spojkami

Předlohový hřídel –

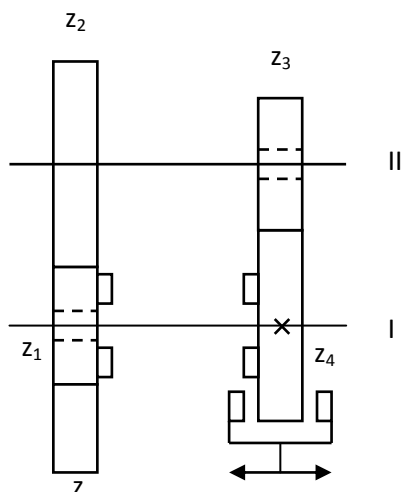
Předloha slouží k zesílení převodu, kde by jednoduchým převodem vycházela příliš velká kola.

Jednoduché předlohy mohou být řešeny přesouváním kol nebo spojkami, jedno z řešení je na obr. 3.16.

Kolo z je hnací. Výstupní hřídel je označen I. Předlohový hřídel je označen II.

Jedna z převodových cest je tedy složena jen záběrem hnacího kola a kola 1, kolo 4 se volně protáčí na hřídeli. Převod je  $i_1 = n_h/n_1$ .

Ve druhé převodové cestě je kolo 4 spojeno s hřídelem I, a tak je celkový převod zesílen přes předlohový hřídel – hřídel II. Celkový převod druhé cesty je  $i_2 = n_h/n_1 \cdot n_1/n_2 \cdot n_3/n_4$ .



Obr.3.18 : Příklad jednoduchého předlohového převodu

Předlohy se často konstruují tak, že některé počty zubů kol jsou stejné :

$$z = z_1 = z_3 \text{ a } z_2 = z_4$$

a zároveň platí  $z_2 = z_4 = 2z_1$  ( nebo  $3z_1, 4z_1$  )

V takovém případě je jeden převodový poměr:  $i_1 = z_1/z = 1$

a převodový poměr druhé cesty:  $i_2 = z_1/z \cdot z_2/z_1 \cdot z_4/z_3 = 4$  ( nebo 9, 16 )

Potom otáčky ve stupních podle obrázku 3.18 při rovnosti zubů  $z_2 = z_4 = 2 z_1$  :

Otáčky v jednom stupni :  $n_1 = n_{\text{hnací}}$

Otáčky v druhém stupni :  $n_2 = \frac{n_{\text{hnací}}}{i_2} = \frac{n_{\text{hnací}}}{4}$

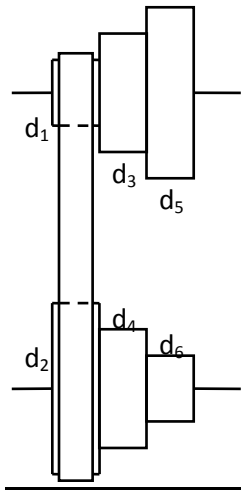
Užitím předlohového hřídele lze dosáhnout vysokých převodových poměrů a ušetřit počet jednotlivých převodů při vyšším počtu stupňů převodovky.

Velmi často jsou řadicí převodovky konstruovány kombinací přesuvných kol s koly řazenými spojkami a s využitím předloh.

### Řemeny

Dalším ze způsobů je použití řemenových převodů. Změny se dějí přehazováním řemenů na řemenice různých průměrů. Součty průměrů řemenic ( vždy hnací a hnané – tj.  $(d_1 + d_2 = d_3 + d_4 = d_5 + d_6)$  ) mají být stejné, aby byl řemen stále napjat. Tento systém řazení je zdlouhavý a nemoderní.

V současnosti je častější užití ozubených řemenů a spíše jen jako náhonové spojení motoru a vstupní hřídele převodovky.



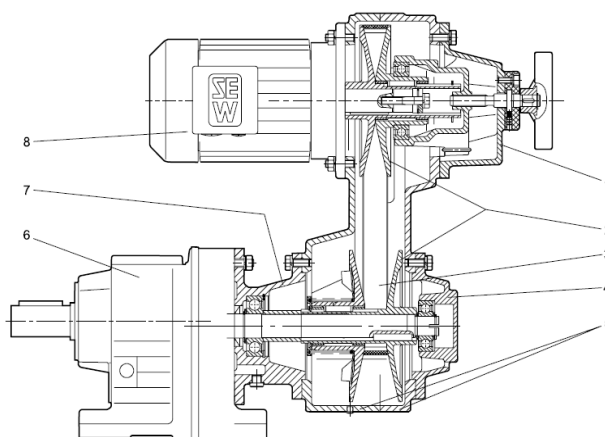
Obr.3.19 : Řazení řemenovým převodem

### Mechanické systémy pro plynulou změnu - variátory

Pro variaci otáček se používá např. široký řemen , řemenice (2) se rozevírají a svírají , čímž je měněn poloměr styku řemene a řemenice, a tím převod.

$$n_{\min} = n \frac{r_{\min}}{r}, n_{\max} = n \frac{r_{\max}}{r}$$

Jiné variátory využívají lamelových řetězů jejichž lamely zapadají do drážek v kuželových plochách kotoučů. Změna převodu se děje přisouváním kotoučů, čímž se řetěz vysune na větší průměr. Regulaci lze provádět za chodu, používají se do převodu 1:6. Tyto systémy se používaly pro menší výkony do 40 kW, v současnosti se užívají málo.



Obr. 3.20 : Schéma variátoru [Weck 2000]



## Elektrické systémy pro změnu otáček

Stupňové změny otáček lze u asynchronních, event. synchronních motorů, docílit změnou počtu pólů. Lze tak získat dvě, nebo tři hodnoty výstupních jmenovitých otáček. Pokud je ke střídavému motoru přidán regulátor s frekvenčním měničem, lze plynule získat velký rozsah výstupních otáček. Hodnota regulačního rozsahu je udávána v katalogu motorů příslušných výrobců.

## Hydraulické systémy

Zařazením hydraulických systémů do pohonu stroje je již z jejich principu umožněna regulace výstupních veličin nastavením průtokových regulátorů hydromotoru. Lze tak získat velký regulační rozsah.

Současný trend spočívá ve značném rozvoji motorů s vysokou regulací, což vede ke zjednodušení, nebo úplnému odstranění následných převodových mechanismů.

## Návrh hlavního pohonu s regulačním elektromotorem a stupňovou převodovkou

Užije – li se střídavý elektromotor s plynulou regulací otáček, lze dosáhnout jistého regulačního rozsahu vlastní regulací motoru. Pokud je ovšem tento rozsah menší, než rozsah požadovaných otáček (nebo momentů) na výstupním členu stroje, je třeba zařadit určitý převodový mechanismus – stupňovou převodovku.

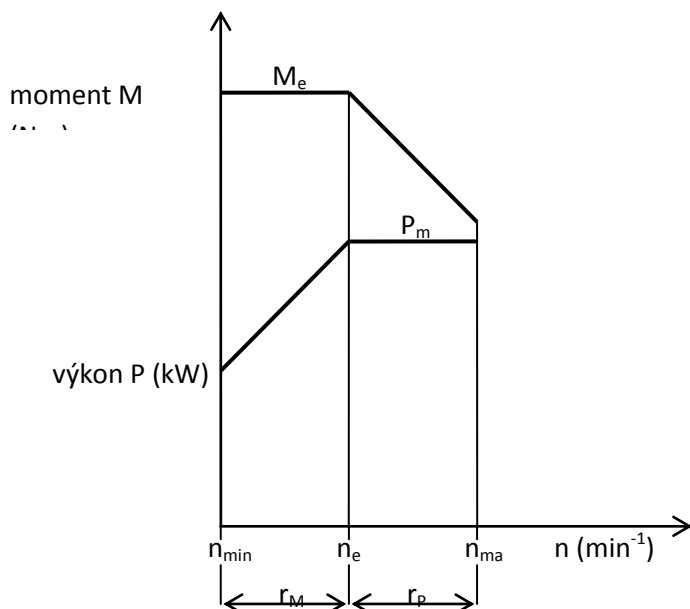
Základními parametry jsou požadavky na výstupní člen (vřeteno) stroje vyplývající z technologie, která bude na stroji používána :

- výkon  $P_v$  na vřetení,
- otáčky  $n_{\max V}$  vřetene
- otáčky  $n_{\min V}$  vřetene
- největší dovolený moment  $M_L$  - omezný, limitní - omezuje možnosti využití výkonu motoru
- omezné otáčky  $n_L$  – spočtou se z  $P$  a  $M_L$
- celková životnost stroje

Podle výkonu je vybrán motor - z katalogu motorů se odečte:

- výkon motoru  $P_m$
- jmenovité otáčky motoru  $n_e$ ,
- maximální otáčky motoru  $n_{\max}$
- z toho plyne rozsah regulace  $r_p$  při konstantním výkonu  $r_p = n_m / n_e$

Charakteristika vhodného motoru pro hlavní pohon je na obr. 3.21.



Obr. 3.21 : Charakteristika motoru hlavního pohonu

Z výše uvedených známých skutečností se stanoví počet potřebných stupňů převodového mechanismu  $p$ .

Pro výpočet počtu stupňů převodovky je třeba znát požadované parametry vřeteně :

- hodnoty jeho maximálních otáček  $n_{\max V}$ ,
- limitních otáček  $n_L$  a
- regulačního rozsahu motoru  $r_p$ .

Pokud je poměr maximálních a limitních otáček vřeteně roven regulačnímu rozsahu motoru, není třeba řadicí převodovky, stačí jen jednostupňová převodovka k úpravě velikosti výstupních hodnot otáček a momentů.

Počet potřebných stupňů je dán vztahem :

$$n_{\max V} / n_L = r_p^p \quad \text{z čehož vyplývá počet stupňů } p : \quad p = \frac{\log\left(\frac{n_{\max V}}{n_L}\right)}{\log r_p}$$

Hodnota  $p$  se zaokrouhlí na celé číslo.

Příklad :

Zadané parametry :

- výkon  $P_v$  na vřetení : 7 kW
- otáčky  $n_{\max V}$  vřeteně : 4000 ot/min
- otáčky  $n_{\min V}$  vřeteně : 0 ot/min
- největší dovolený moment  $M_L$  : 350 Nm

- omezné otáčky  $n_L = \frac{P \cdot 60}{2\pi M_L} = \frac{7000 \cdot 60}{2\pi \cdot 350} = 190,9 \text{ ot/min}$

vybrán motor 1PH7 105

- jmenovité otáčky motoru  $n_e = 1500 \text{ ot/min}$
- maximální otáčky motoru  $n_{\max} = 9000 \text{ ot/min}$
- regulační rozsah motoru  $r_p = n_{\max} / n_e = 9000/1500 = 6$

Počet převodových stupňů :  $p = \log ( 4000/190,9)/ \log 6 = 1,69$ , tj. po zaokrouhlení 2.

Pro zabezpečení parametrů zadaného pohonu je zapotřebí dvoustupňové převodovky.

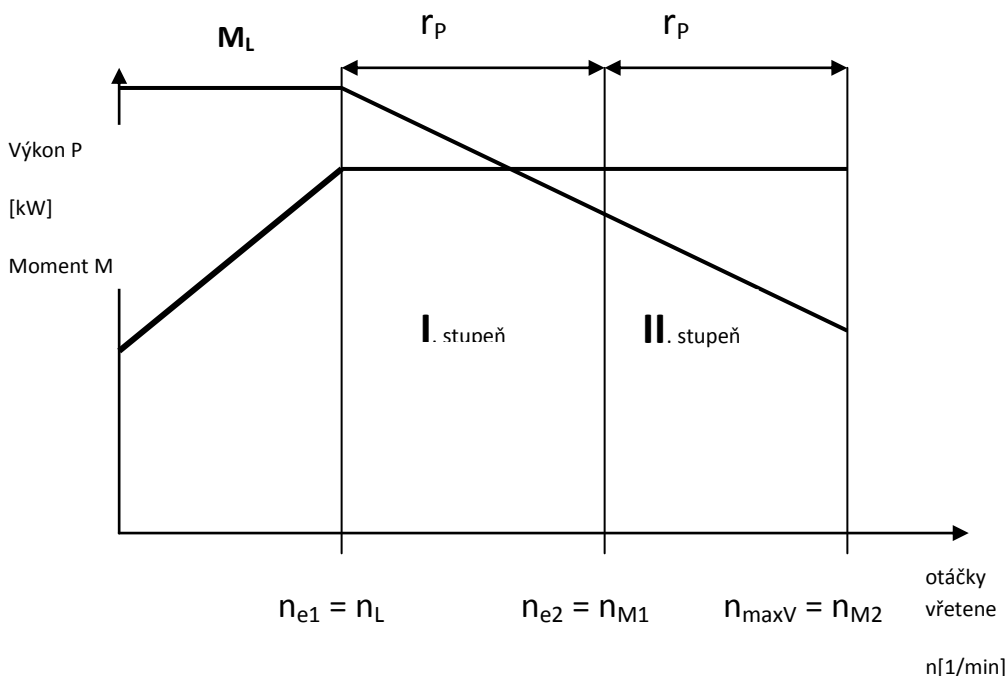
Pokud se zaokrouhluje počet převodových stupňů na celé číslo, může dojít buď k překrytí rozsahů otáček nebo k otáčkové mezeře, která vede k poklesu výkonu mezi jednotlivými stupni. Maximální velikost tohoto překrytí (nebo mezery) je určena normou.

Stupňová převodovka může být zakoupena jako komponenta od specializovaných výrobců, nebo konstrukčně navržena. Dále je popsán postup při návrhu vlastní převodovky.

Máme tedy vypočteno, že pro zabezpečení požadovaných parametrů vřetene a při volbě určitého motoru bude potřeba dvoustupňové převodovky. Z těchto znalostí již lze sestavit digram výstupního členu - viz. obr. 3.22.

Pro jednoduchost nebudeme uvažovat ani překrytí stupňů, ani mezistupňový pokles výkonu.

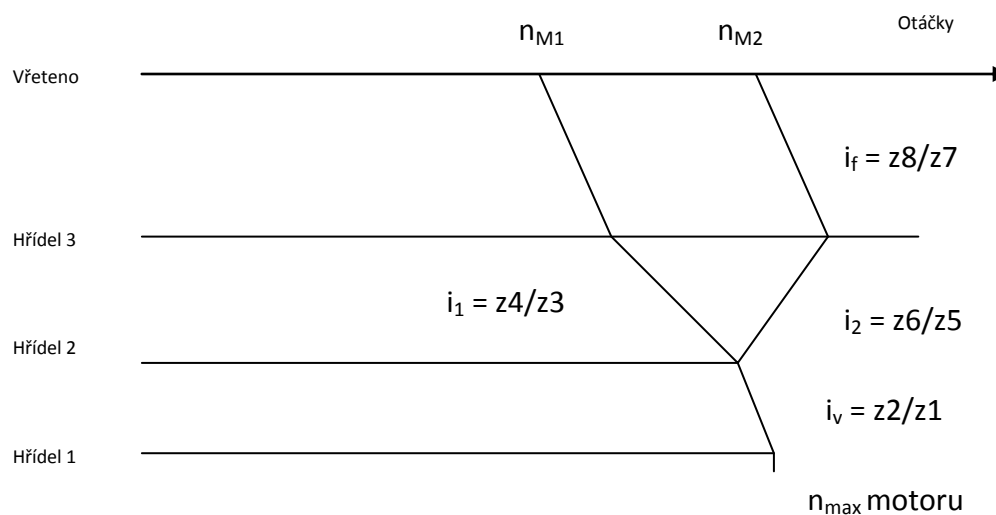
Jmenovité otáčky prvního stupně  $n_{e1}$  ztotožníme s limitními otáčkami  $n_L$ , jmenovité otáčky druhého stupně  $n_{e2}$  jsou rovny maximálním otáčkám prvního stupně  $n_{M1}$  a maximální otáčky vřetene  $n_{\max}$  jsou rovny maximálním otáčkám druhého stupně  $n_{M2}$ .



Obr. 3.22 : Diagram výstupního členu

Podle diagramu výstupního členu lze navrhnout otáčkový diagram – obr.3.23, ve kterém se rozdělí potřebné převodové poměry. Vodorovné osy diagramu označují plánované hřídele

převodovky. Šikmé čáry znázorňují převody. Na hřídeli 1 je hnací člen s vyznačenými maximálními otáčkami motoru  $n_{max}$ . Na výstupním členu (vřetení) jsou vyznačeny maximální otáčky stupňů, kterých se má docílit ( $n_{M1}$  a  $n_{M2}$ ). Mezi hřídelí 1 a výstupním členem (vřetení) je třeba rozdělit jednotlivé převody stupňů. Celkový převod převodovky hlavního pohonu obráběcího stroje se většinou člení na vstupní a finální převod, které jsou společné všem stupňům, a na vlastní převody stupňů  $i_1$  a  $i_2$ .



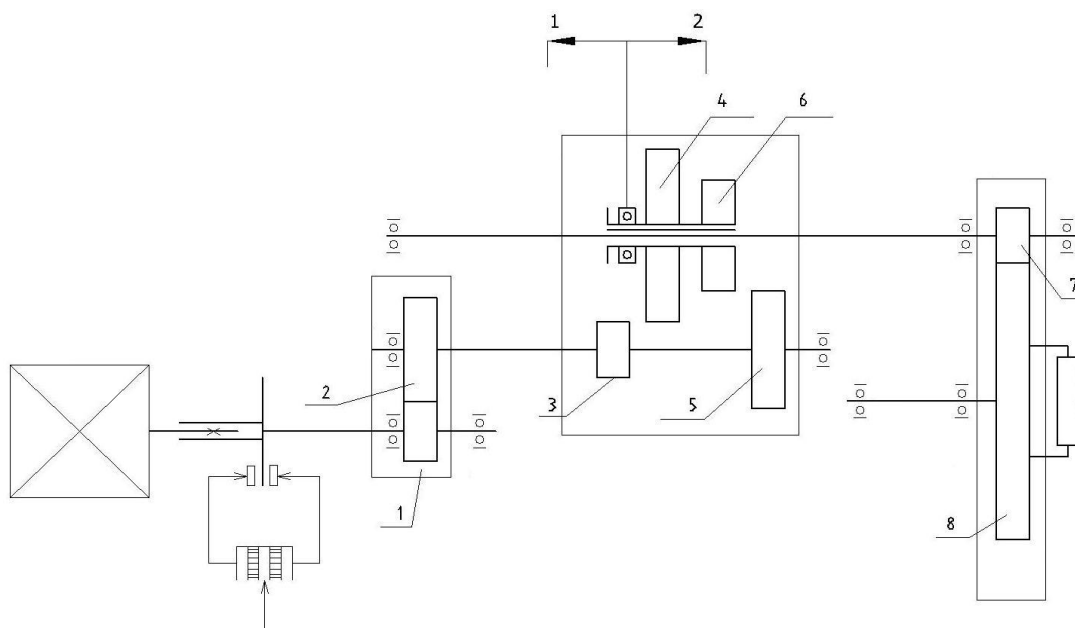
Obr. 3.23 : Otáčkový diagram dvoustupňové převodovky - návrh

Celkové převody stupňů  $i_{1c}$  a  $i_{2c}$  jsou tedy navrženy složením vstupního převodu, finálního převodu a převodu stupňů 1 a 2 :

$$i_{1c} = i_v \cdot i_1 \cdot i_f$$

$$i_{2c} = i_v \cdot i_2 \cdot i_f$$

Podle otáčkového diagramu se nakreslí kinematické schéma převodovky, které je do roviny rozvinutým schématem potřebných převodů. Návrh kinematického schématu je na obr. 3.24. Na schématu je vidět, že bylo zvoleno řazení pomocí přesuvných kol 4 a 6.



Obr. 3.24 : Kinematické schéma dvoustupňové převodovky [ŠMT Plzeň]

Kola 1 a 2 tvoří vstupní převod, kola 7 a 8 tvoří finální převod. Řazení je provedeno přesuvnými koly, takže pro první stupeň jsou v záběru kola 3 a 4, pro druhý stupeň kola 5 a 6.

Celkové převody pro stupně tedy budou realizovány pomocí ozubených kol takto :

$$\text{První stupeň : } i_{1c} = i_{1,2} \cdot i_{3,4} \cdot i_{7,8}$$

$$\text{Druhý stupeň : } i_{2c} = i_{1,2} \cdot i_{5,6} \cdot i_{7,8}$$

Při návrhu převodovky se pak dopočítají konkrétní hodnoty počtu zubů a provede se kontrola převodových poměrů jednotlivých stupňů. Zpětně se zkontroluje výkon navrženého motoru a celkový dosažený převod.

Při návrhu pohonu se pak celá převodovka dimenzuje – kontroluje se ozubení ( rozměrově i pevnostně) stanoví se síly v ozubení, obvodové rychlost, průhyby hřídelí, únosnost ložisek a spojovacích prvků. Pro dimenzování převodovek slouží mnohé výpočtové programy. Konkrétní postupy pro návrh a dimenzování převodovek jsou náplní dalších předmětů v navazujícím studiu.

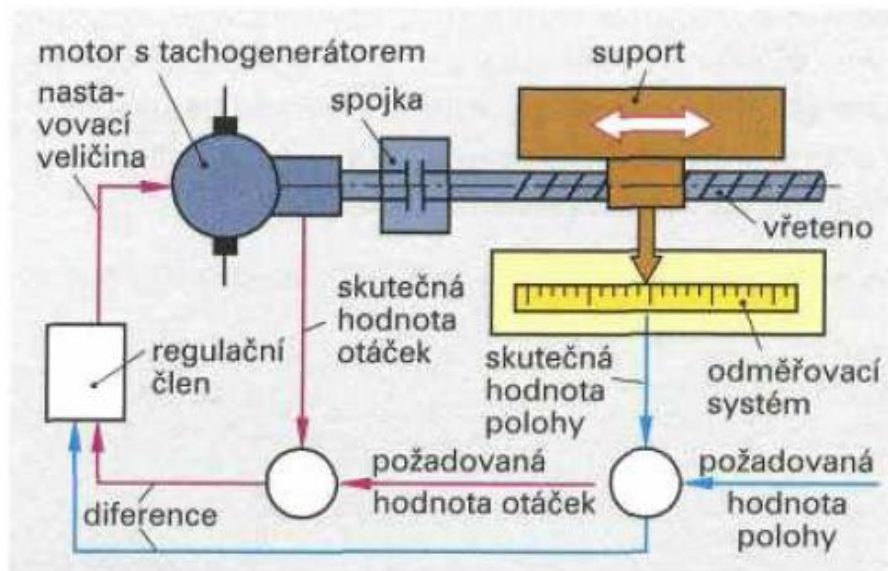
### 3.2.3 Mechanismy přeměny rotačního pohybu na lineární

Pro posuvy na pohybových osách stroje slouží mechanismy, které převedou rotační výstup elektromotoru na přímočarý pohyb pohyblivého dílu rámu. U posuvových mechanismů je třeba kromě regulace otáček hnacího členu posuvovky také regulovat a kontrolovat polohu výstupního posouvaného členu.

V zásadě lze posuvové mechanismy rozdělit na mechanismy :

- bez zpětné vazby
- se zpětnou vazbou

Pro moderní obráběcí stroje je zpětná vazba na hlavních pohybových osách samozřejmostí. Zpětná vazba zaručuje, že posouvaný díl vykoná požadované posuvy v jednotlivých osách a je realizovaná pomocí odměřovacího zařízení jako vazba polohová. Odměřovací systémy mohou být přímé a nepřímé. U přímých systémů se zjišťuje skutečná poloha posouvaného dílu, u nepřímých systémů se poloha přepočítá např. z natočení pohybového šroubu nebo hřídele motoru.



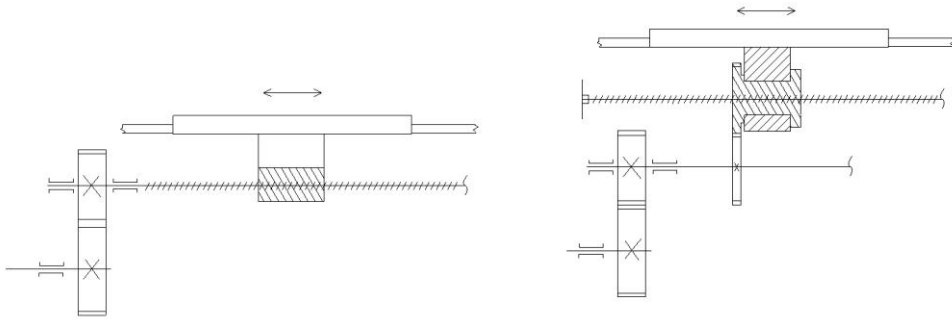
Obr. 3.25 :Regulační smyčka pohonu posuvu [Dillinger2007]

Z hlediska možných technických principů převodu rotačního pohybu v přímočarý se u obráběcích strojů nejčastěji používají pohybové šrouby nebo systém pastorek a hřeben. Novinkou je využití lineárního elektromotoru pro posuvné pohyby, v takovém případě není nutné použití dalšího mechanismu.

### Pohybový šroub

Pohybový šroub je tvořen vlastním šroubem a maticí. U tohoto mechanismu lze rozlišit dva základní případy užívané v konstrukci obráběcích strojů:

- Šroub se otáčí , matice je držena proti otáčení a posouvá se
- Matice se otáčí a posouvá, držen je šroub

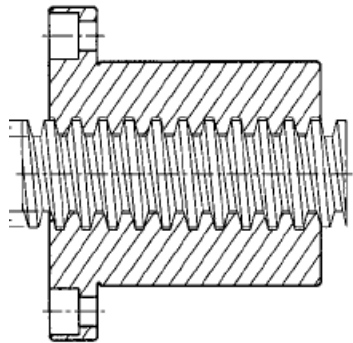


Obr. 3.26: Principy pohybových šroubů

Z hlediska tření jsou v konstrukci obráběcích strojů využívány následující typy pohybových šroubů :

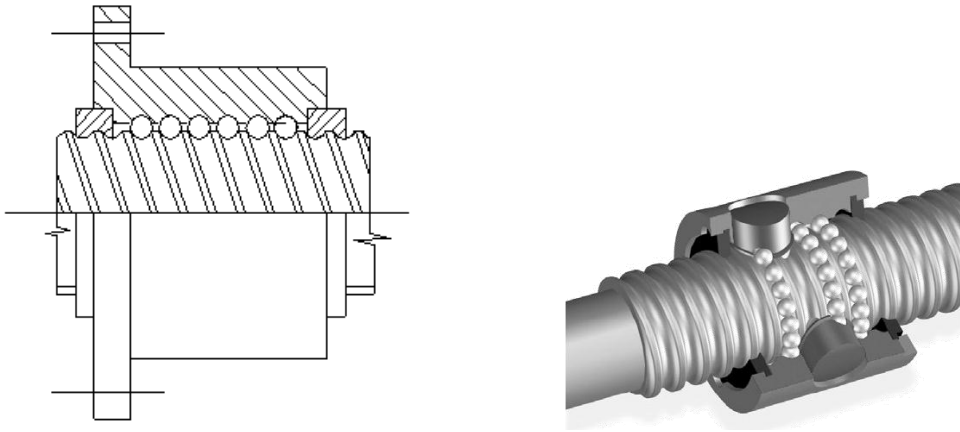
S třením kluzným – jedná se o šroub s lichoběžníkovým( trapezovým), event. pro jednosměrné zatížení pilovým závitem s maticí, která je často dělená na dvě části, aby bylo jejím předepnutím umožněno vymezení vůlí v mechanismu. Šroub bývá ocelový, matice bronzová, výjimečně litinová, která má sklon k zadírání. Používá se pro krátké a méně důležité posuvy, např. výsuv čelistí soustruhu v lícni desce, výsuvy pinol koníka apod. Jejich užití je vhodné také pro menší posuvové rychlosti.

•



Obr. 3.27: Pohybový šroub s trapezovým závitem

- S třením valivým – **kuličkový šroub** . Pro lepší účinnost, menší opotřebení závitů a snadnější vymezení vůlí se dnes používá šroub s třením valivým – kuličkový šroub. V závitech mezi šroubem a maticí obíhají kuličky. Na konci matice jsou kuličky usměrněny do převáděcího kanálku. Tento typ mechanismu se používá pro pohybové osy stroje.



Obr. 3.28 : Matice kuličkového šroubu

#### *Kinematická vazba*

Výhodou pohybových šroubů je přesnost pohybu, protože relativní posuv mezi nástrojem a obrobkem je v přesném vztahu k otáčení nástroje nebo obrobku .

Kinematickou vazbu mezi posuvem a rotací lze vyjádřit vztahem :

$$\frac{v}{\omega} = \frac{h}{2 * \pi},$$

kde  $v$  je posuvová rychlost,  $\omega$  je úhlová rychlost a  $h$  je stoupání pohybového šroubu.

Tento mechanismus umožňuje přesné odměření polohy posouvané části stroje, protože dráhu posuvu lze odvodit od pootočení šroubu. Pro vymezení vůlí v kinematickém řetězci je mechanismus předepínán, např. pomocí dělené matice.

Kuličkové šrouby jsou navrhovány pro pojezdy částí strojů, pro výsuvy pinol , vřeten apod., zvláště u moderních strojů. Omezení jejich použití v konstrukci je dáno zejména délkou, kterou je schopen výrobce dodat. Určitou roli při volbě typu pohybového šroubu hraje i ekonomické hledisko, protože kuličkové šrouby jsou nákladnější.

Bezchybný provoz pohybových šroubů je podmíněn jejich chráněním proti nečistotám vhodným krytím a v případě trapezových šroubů také jejich mazáním.

#### *Výpočtová kontrola pohybových šroubů*

Pohybové šrouby jsou namáhány kombinovaně osovou silou  $F$  na tah nebo tlak a současně momentem  $M_k$  na krut, takže výsledné redukované napětí je třeba srovnat s dovoleným napětím pro materiál pohybového šroubu.

$$\text{Tah-tlak : } \sigma = \frac{F}{S},$$

kde  $F$  je síla ve šroubu,  $S$  je plocha šroubu.

$$\text{Krut : } \tau = \frac{M_k}{W_k},$$



kde  $M_k$  je kroutící moment,  $W_k$  je modul odporu průřezu v krutu

$$\text{Redukované namáhání } \sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{dov}$$

kde  $\sigma_{dov}$  je dovolené namáhání materiálu šroubu.

Tento vztah slouží jen k prvnímu návrhu průměru šroubu, kuličkové šrouby se v praxi dimenzují z hlediska stykových deformací podobně jako valivá ložiska. Parametry pro výpočet jsou statická a dynamická únosnost šroubu a provede se kontrola na trvanlivost podle katalogových vztahů.

U dlouhých pohybových šroubů je třeba provést kontrolu na vzpěr. Je – li tenký štíhlý prut namáhán tlakem ve střední rovině, může po překročení jisté síly dojít k nepřipustným deformacím a ztrátě stability prutu. K takovému stavu může dojít, je-li překročena hodnota mezní štíhlosti prutu. Kontrola na vzpěr se provádí v souvislosti se způsobem uložení konců šroubu do radiálních nebo radioaxiálních ložisek.

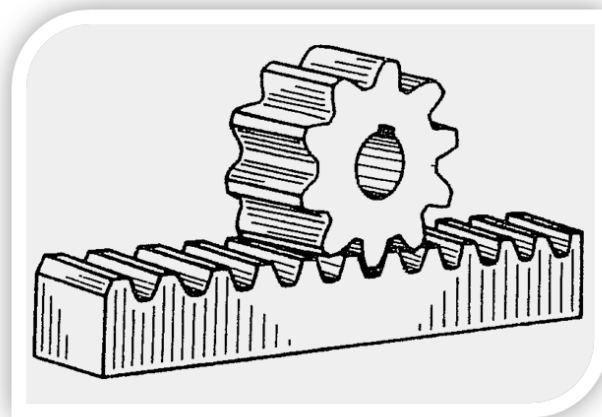
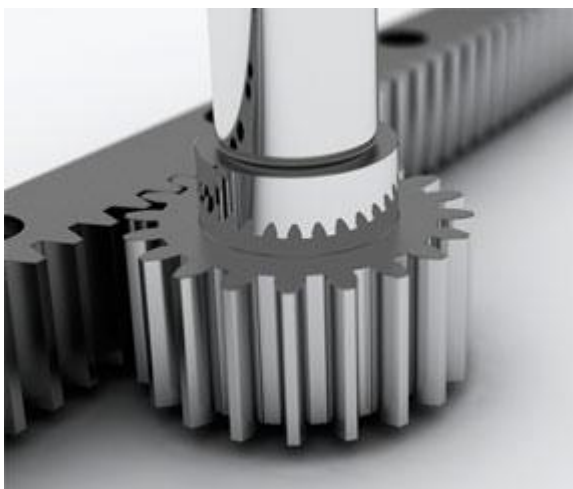
Pro trapezové šrouby se v závislosti na materiálu provádí kontrola tlaku v závitech matice .

Rotující šrouby je třeba kontrolovat i na kritické otáčky, které by způsobily nepatřičné kmitání šroubu. Kritické otáčky jsou určité otáčky, při nichž začne hřídel kmitat, buď kolem spojnic ložisek, je –li hřídel ve svislé poloze, nebo kolem průhybové čáry, je-li hřídel ve vodorovné poloze. Rozkmitání může způsobit i trvalé deformace. Pro rovnost kruhové frekvence s kritickou rostou teoreticky výchylky do nekonečna.

Kritické otáčky skutečných hřídelů se zjišťují pomocí nomogramů nebo programem.

### Pastorek a hřeben

Pastorek a hřeben je dalším mechanismem pro přeměnu rotačního pohybu v přímočarý. Dává menší převod, má dobrou účinnost a větší tuhost. Obvykle má menší přesnost. Pokud má být použit pro odměřování polohy, musí se výrobě hřebenu věnovat vyšší pozornost, zuby se upraví broušením a je nutno vymežit vůli vhodným předepnutím. Pro vymezení vůlí v kinematickém řetězci je mechanismus předepínán za použití dvou pastorků buď s mechanickým nebo elektrickým vzájemným předepnutím.



Obr. 3.29 : Pastorek a hřeben [Gudel2010]

#### *Kinematická vazba*

mezi posuvem a rotací lze vazbu vyjádřit vztahem :

$$\frac{v}{\omega} = \frac{h}{2 * \pi}$$

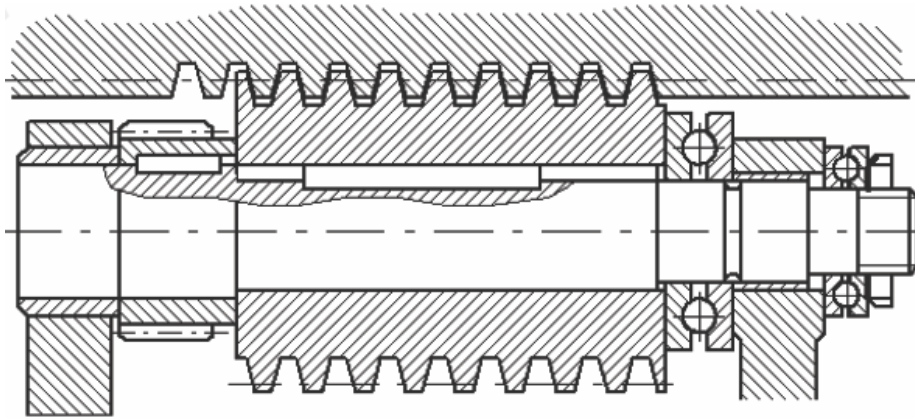
kde h je obvod pastorku =  $\pi \cdot d = \pi \cdot m \cdot z$

Účinnost mechanismu je jako u ozubení , 0.98

Dalšími možnými mechanismy jsou :

#### Šnek a hřeben

Šnekový hřeben tvoří částečnou matici, takže styk mezi šnekem a hřebenem je celkem příznivý. Má malé opotřebení, protože převod je dobře mazán, šnek se brodí v oleji. Jeho nevýhodou je nízká účinnost daná šnekovým ozubením a velké oteplování mechanismu. Pro přesné posuvové mechanismy se používá pouze v provedení hydrostatickém.



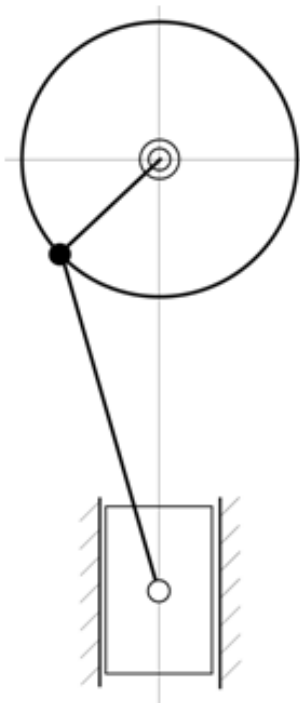
Obr. 3.30 : Šnek a šnekový hřeben

### Klikové a kulisové mechanismy

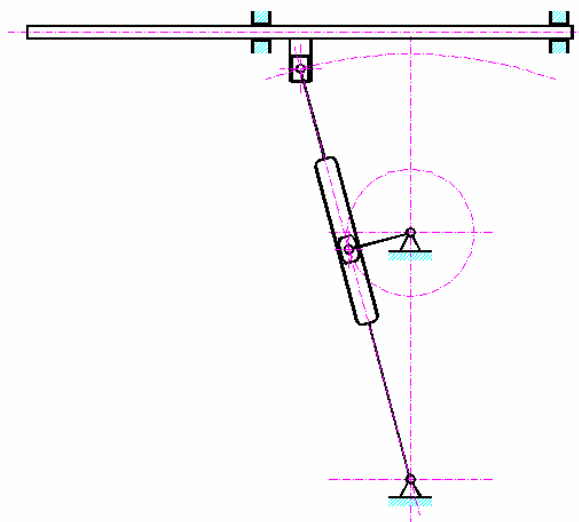
Pro krátké zdvihy je možno využít těchto typů mechanismů. Převedení rotačního pohybu v přímočarý je jednoduché v obou směrech bez rázů v úvratích.

- Klikový mechanismus – skládá se hlavně z pístu, ojnice, kliky a setrvačníku, který slouží jako akumulátor energie.
- Whitworthův mechanismus je kulisový mechanismus s kývavou kulisou. Je užit např. k pohonu smykadel nebo u obrážeček, kde je požadován poměrně krátký zdvih, do 100 mm.

Větší použití těchto mechanismu je u tvářecích strojů.



Obr. 3.31 : Klikový mechanismus



Obr. 3.32 : Whitworthův mechanismus

Volba hnacího členu a následného pohonného mechanismu je ovlivněna aspekty technickými i ekonomickými.

Pro zabezpečení hlavního řezného pohybu se v současné době nejvíce uplatňují regulovatelné asynchronní motory, u velkých strojů s dvou nebo třístupňovou převodovkou. Vedlejší pohonné systémy zabezpečují vedlejší řezný pohyb a jsou na ně kladeny značné nároky, protože jejich přesnost přímo ovlivňuje pracovní přesnost stroje. Charakteristickým znakem je požadavek najetí na přesnou polohu. Pro posuvy obráběcích strojů se nejčastěji užívá synchronních regulačních elektromotorů s kuličkovými šrouby. U nejmodernějších strojů se objevují přímé posuvy.

### Přímé posuvy

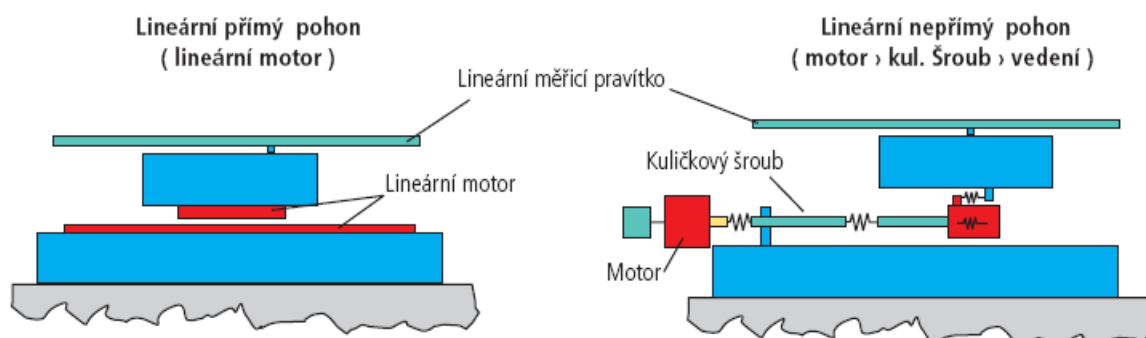
využívají lineárních motorů a odstraňují komplikace s mechanismem převodu rotačního pohybu v přímočarý. Odstraní rovněž omezení mechanickými možnostmi těchto mechanismů. Využívají přímého působení elektromagnetických sil na posouvanou část. Tím se získá vysoká posuvová rychlost, bezvůlové a tuhé uspořádání, schopné vysoké rychlosti a přesnosti.

Jako výhodou přímých posuvů lze uvést, že odpadají vložené převody a jejich nedostatky, zejména kinematické chyby, vůle, poddajnost a nelinearity, omezení kritickými otáčkami a oteplením posuvového šroubu. Přímé posuvy mají vysokou přesnost a dynamickou tuhost, dlouhou životnost a žádné opotřebení. Dosahují vysoké posuvové rychlosti (200 m/min)

Nevýhodou je přímé působení řezného procesu na pohon, při kolísání řezných sil v tomto případě nepůsobí redukcující účinek vložených převodů. Další nevýhodou je vývin tepla z motoru přímo v rámu stroje, takže je nutné chlazení.

Přímé posuvy mají i další konstrukční nevýhody, je nutno krytovat aktivní magnetické části, a eliminovat vliv přitažlivých sil na další části stroje. Dosud je nevýhodou i vyšší cena a malé posuvové síly motoru, což lze obejít užitím více motorů.

Z toho plyne, že nasazení přímých posuvů se uplatní zejména u lehkých suportů a při vysokorychlostním obrábění hlavně lehkých slitin, kde i při velkých posuvech je malý průřez třísky.



Obr. 3.33 : Srovnání lineárního přímého pohonu s klasickým řešením

U konvenčních strojů má užití zřejmě malý smysl – jen pokud je třeba často a přesně polohovat – např. při výrobě tvarově komplikovaných dílů jsou tyto motory rychlejší a dovolují přesnější najetí na polohu.

Užití lineárních motorů přináší celkové změny koncepce obráběcích strojů. Aby bylo možno využít dynamiky pohonu, je třeba přizpůsobit rám stroje, pohyblivé díly musí být lehké, ale velmi tuhé. Musí se uvažovat s přitažlivými silami dílů lineárního motoru, při obrábění oceli jsou zmagnetované i třísky a rovněž obsluha se nachází v magnetickém poli.

Cenově jsou přímé posuvy již srovnatelné s klasickým rotačním pohonem s kuličkovým šroubem.

### 3.3 Spojení

Dalšími funkčně konstrukčními uzly na obráběcím stroji jsou uzly plnicí spojovací funkci. Spojením rozumíme vzájemnou souvislost dílů stroje. Podle charakteru spojení rozlišujeme :

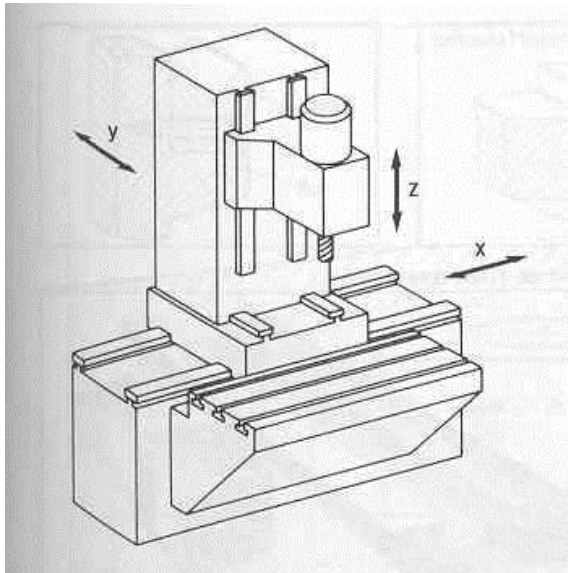
- Spojení pohyblivá
  - Rovinné vedení částí stroje
  - Rotační uložení částí stroje
- Spojení pevná
  - Spojovacími prvky
  - Spojovacími mechanismy

#### 3.3.1 Rovinné vedení

Vedení je systém vodicích ploch na stroji, na nichž se stýkají pohyblivé části stroje. Tato soustava musí zabezpečit pohyb uzlů stroje po geometricky přesných drahách.

Má základní dvě funkce :

- zabezpečit polohu nebo určitý relativní pohyb mezi pevnou a pohyblivou částí stroje
- přenést zatížení z jednoho dílu na druhý



Obr. 3.34: Schéma pohybů stroje – vedení částí rámu po době [Weck2000]]

Rovinná vedení se dělí podle tvaru drah

- Přímočará
- Kruhová

Podle typu tření se dělí na

- kluzná - hydrodynamická
- hydrostatická, aerostatická
- valivá

Provedení vodicích ploch je velmi důležité, protože značně ovlivní kvalitu pohybových os stroje a tím i jeho pracovní přesnost.

Hlavní požadavky na vedení stroje :

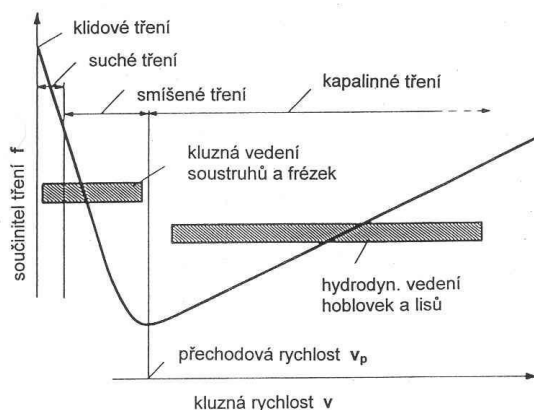
- Přesnost vodicích drah – ovlivní přesnost práce stroje
- Minimální možnou vůli – pro kluzné plochy ( u valivých a hydrostatických vedení je pohyb bezvůlový)
- Vysokou tuhost, která zaručuje přesnost práce stroje. Tuhost je dána stykovými deformacemi kluzných ploch, kontaktními deformacemi valivých těles, deformacemi olejové vrstvy u hydrostatiky podle typu vedení
- Odolnost proti opotřebení – pokud se vedení opotřebují je nutné následné vymezování vůlí vzniklých opotřebením
- Účelné uspořádání vodicích ploch, aby byly zachyceny všechny potřebné síly při co nejmenším počtu ploch
- Malé pasívní odpory, odolnost proti trhavým pohybům, což umožní přesné najetí na požadovanou polohu
- Odolnost proti kmitání
- Vyrobitelnost

## Přímočará a kruhová vedení kluzná

Kluzná vedení jsou vhodná pro přenášení vysokých zatížení a u velkých strojů. Dobře tlumí chvění. Dělí se na vedení:

- S polosuchým třením  
Toto vedení je bez tlakového rozvodu maziva. Vrstva maziva nemá dostatečnou tloušťku, takže stále dochází k dotyku kovů na vrcholcích stykových ploch, takže má velké pasivní odpory a je náchylné k trhavým pohybům. Výhodou je jeho nenáročnost na výrobu a údržbu a dobrá tuhost.
- Hydrodynamické  
Tento typ vedení je založen na hydrodynamickém efektu. Při něm vzniká na principu pohybu šikmé desky v proudu kapaliny hydrodynamický vztlak, který desku nadnáší. Pohyb se děje na základě kapalinného tření, které ovšem vznikne až při vyšších rychlostech a závisí na viskozitě a sklonu desky v kapalině

Vlivem tření vzniká teplo a materiály se opotřebovávají, což jsou negativní jevy. Součinitel kluzného tření se mění s rychlostí kluzného pohybu, jak ukazuje Stribekův diagram



Obr. 3.35 : Stribekův diagram

Při nízkých kluzných rychlostech se v oblasti smíšeného tření mohou objevit trhavé pohyby vlivem poklesu součinitele tření.

Aby se pohyblivá část stroje pohnula, musí hnací síla posuvového mechanismu přemoci odpor tření za klidu, který je vysoký. Jakmile se část stroje začne pohybovat, součinitel tření klesá, ale posuvová síla je stále stejná a její převahou nad pasivním odporem vzniká zrychlující síla, která způsobí trhavý pohyb. Tudíž je potřebné používat materiály, jejichž rozdíl tření za klidu a pohybu není velký a zvýšit tuhost posuvového mechanismu, což bývá nákladné.

## **Materiály kluzných vedení**

### Vedení bez obložení

Pro tento nejlevnější typ vedení se doporučuje užít dvojice materiálů s rozdílnou tvrdostí , protože se méně opotřebovávají.

Koeficient tření u těchto typů vedení je v rozmezí hodnot 0,15 – 0,3.

Používají se kombinace :

- Litina – litina ( mohou vznikat trhavé pohyby)
- Litina – ocel, bronz, ( má vyšší životnost, ale horší kluzné vlastnosti)

### Vedení s obložením

Pro zlepšení kluzných vlastností se vodící plochy obkládají. Nejčastější je obložení plastem, který má dobré frikční vlastnosti, koeficient tření je u těchto materiálů v rozmezí 0,04 – 0,18, takže lze očekávat až poloviční třecí síly.

Velikost poskoku je např. u Metaloplastu 0,4 mm, u stejného vedení v provedení litina – litina je až 1,5 mm.

Pro obložení se užívají materiály :

- Pevné – jsou to tkaniny napuštěné plnidly, lepené speciálními tmely na vodící plochy, např.  
Metaloplast – polytetrafluoretylén  
Turcite B
- Kašovitě – jsou na bázi pryskyřic , nanáší se na předem upravené vodící plochy a obrábí se, lze vytvarovat i odlévané plochy s mazací drážkou  
Gamapest , TLH 11  
SKC3 , Diamant Moglice
- Lité - jsou podobné kašovitým, liší se jen viskozitou, rovněž je možné je po vytuhnutí obrobit.

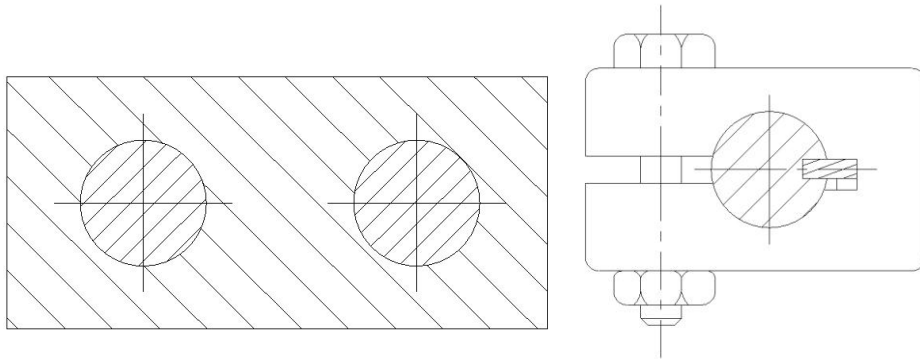
Kluzná vedení se konstruují v několika typech tvarového provedení .

### **Tvary kluzných vedení:**

- Válcové vedení
- Hranolové
- Čtyřboké – vymezení vůle na dvou plochách
- Prizmatické – vymezení vůle jen na jedné ploše
- Rybinové

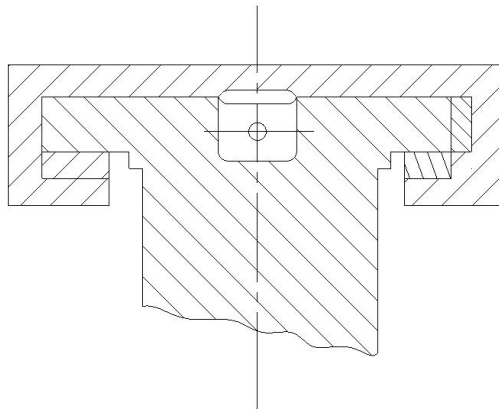
**Válcové vedení** – u tohoto typu vedení je třeba omezit další stupeň volnosti – provede se to zdvojením vedení nebo zajištěním protáčením perem. Používá se u vyvrtávaček v kruhových pinolách, na pinolách soustruhů a u vrtaček.





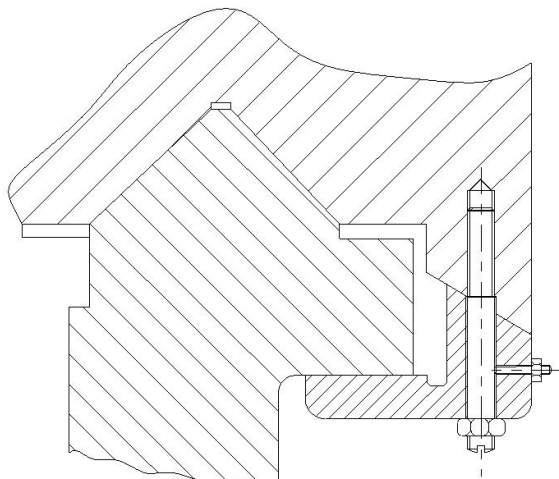
*Obr. 3.36: Válcové vedení*

**Ploché vedení** - má vysokou účinnost . Užívá se u těžkých strojů pro zachycení velkých sil a momentů. Hlavní tlak zachycuje horní plocha. Stranové tlaky zachytí svislé plochy a klopné momenty nebo síly vzhůru vedou lišty připevněné na spodní plochy.



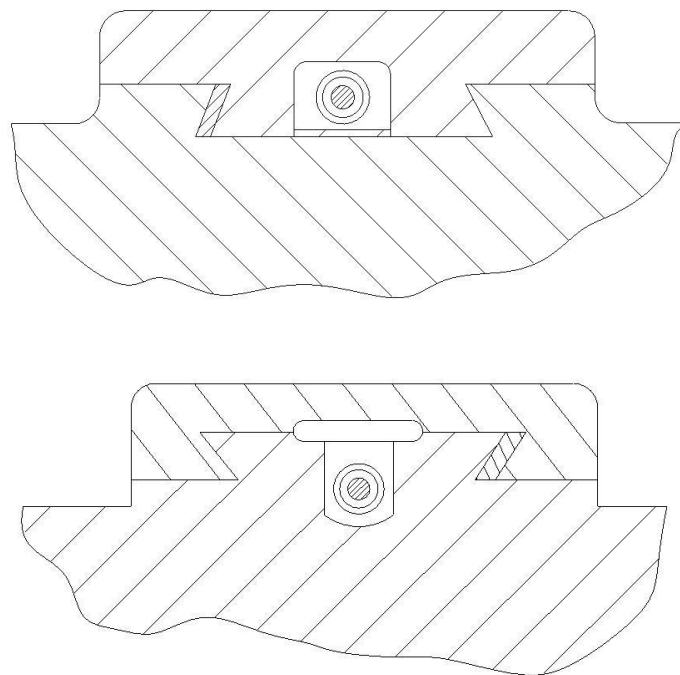
*Obr. 3.37 :Ploché vedení*

**Prizmatické vedení** - u tohoto vedení bývá vrcholový úhel je  $70 - 120^\circ$ . Prizmatické vedení v obráceném provedení se nazývá vedení "V" , jeho hlavní dobrou vlastností je jednoduché mazání. Používá se pro suporty soustruhů, pro vedení stolu hoblovky. Většinou je prizmatické vedení navrženo jen na jedné z vodicích ploch, oboustranné vedení tohoto typu by se obtížně lícovalo. Spodní vedení bývá provedeno opět lištami.



Obr. 3.38: Prizmatické vedení

**Rybinové vedení** – úhel je většinou  $55^\circ$ , navrhuje se ve vnitřním i vnějším provedení. Jeho hlavní výhodou je nízká konstrukční výška vedení. Rybinové vedení má větší třecí účinky než ploché vedení. Vymezení vůle se provádí jen na jedné straně části rybiny.



Obr. 3.39: Rybinové vedení

#### Vymezování vůle u kluzných vedení

se provádí :

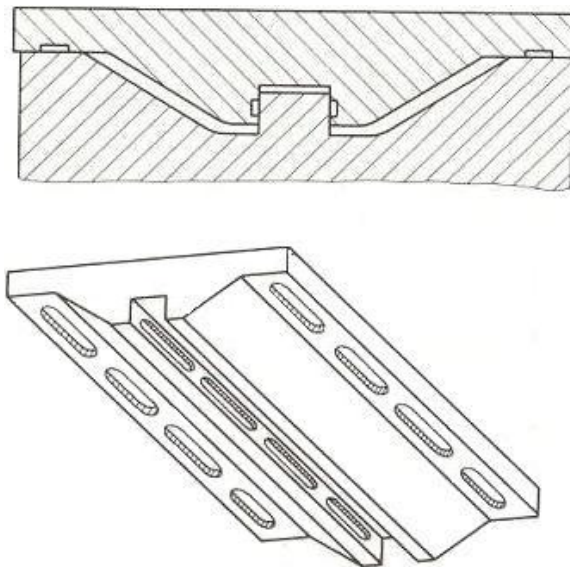
- klínovými lištami. Jsou umístěny na méně zatížených plochách , většinou zdola.
- přítlačnými lištami, které jsou bez úkosu, přitažené šrouby. Toto provedení je méně tuhé

- spodními lištami pro prizmatické vedení

### Přímočaré vedení hydrostatické

Hydrostatické vedení je charakterizováno nosným kapalinným filmem mezi dvěma kluznými plochami. Kapalinné tření je zajištěno přívodem maziva pod tlakem.

Hydrostatické vedení má velmi malý součinitel tření, udává se 0,0001. Pracovní plochy vedení se nedotýkají ani za klidu, proto se vodící plochy málo optřebovávají. Ve vedení není vůle, vrstva oleje má dobré tlumící schopnosti. Nevýhodou hydrostatických vedení je náročná výroba a nákladný provoz. Vedení se skládá z ložiskových jednotek (buněk), které jsou upevněny na nepohyblivé straně vedení, druhá strana je hladká. Příklad hydrostatických vedení je na obr. 3.40.



*Obr. 3.40: Hydrostatické vedení[Weck2000]*

Základním prvkem hydrostatického vedení je ložisková jednotka (buňka). Olej je do jednotky dodáván čerpadlem a regulačním ventilem je udržován na stálem tlaku  $p_0$ . Tlak je škrcen na pracovní tlak  $p_1$ . Stoupne – li zatížení, zmenší se mezera  $h$  a tlak  $p_1$  stoupne.

Tvary hydrostatických buněk :

- Mezikruží
- Obdélníkové buňky – z energetického hlediska ( tj. je třeba minimální příkon) je vhodné dodržet poměr delší strany ku kratší 1 : 3 a více.

### Přímočará vedení valivá

Valivá vedení se vyznačují malým třením, které je nezávislé na rychlosti pohybu, mají bezvůlové provedení, vysokou tuhost, ale malou schopnost tlumit chvění a jsou náročná na ochranu proti vnikání nečistot. Používají se pro vysokou pracovní přesnost a střední zatížení

Valivá vedení se dělí na :

- Otevřená - zachycují jen zatížení působící tlakem, nesmí odléhat
- Uzavřená – přenesou i klopné momenty

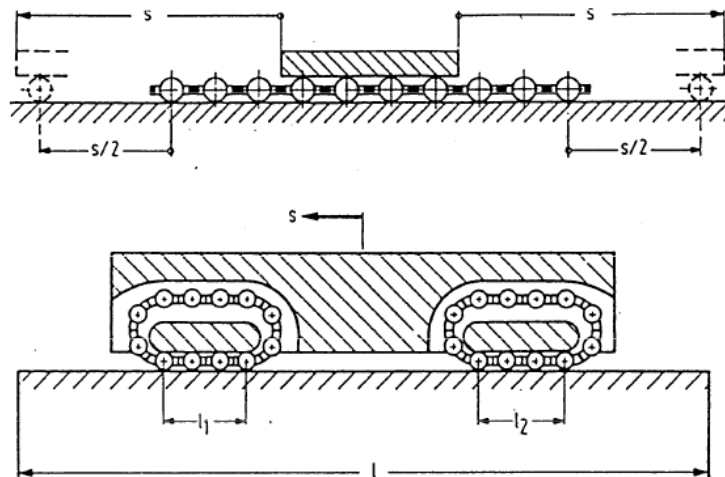
Valivá vedení mohou pracovat :

- Předepnutá – předepnutím se vymezí vůle a zvýší tuhost.
- Nepředepnutá - mohou pracovat ve formě otevřených vedení, uzavřená se používají zásadně s předepnutím

Dle délky zdvihu se dělí na vedení se zdvihem :

- omezeným,
- neomezeným.

Malé zdvihy se realizují tak, že obě části, pohyblivá i nepohyblivá jsou stejně dlouhá a valivá tělíska jsou stále v kontaktu s oběma částmi vedení. Pro velké zdvihy se užívá valivých tělísek s recirkulací - valivých hnízd.



Obr. 3.41: Valivé vedení s omezeným a neomezeným zdvihem []

Dle tvaru valivých těles se valivá vedení dělí na :

- kuličková,
- válečková,
- jehlová

Nejvíce se užívají kuličková a válečková vedení

### Válečková

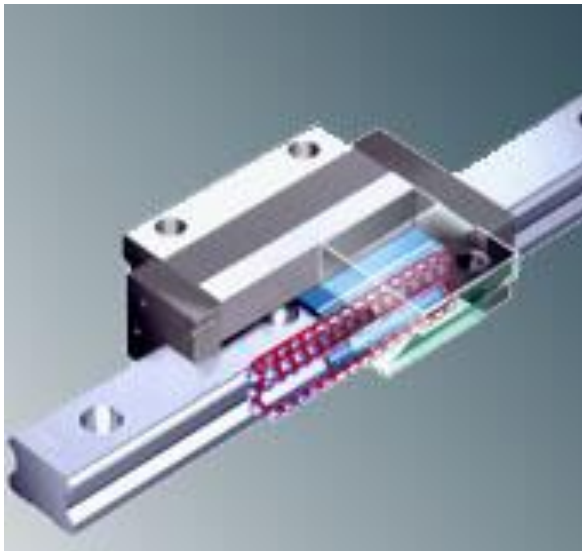
mají větší stykovou plochu, tudíž větší tuhost, únosnost a životnost. Nedodržení přesnosti montáže a vychýlení vodící dráhy může mít za následek hranové zatížení válečků, což způsobí nárůst napětí ve válečku, může vést k odírání a snížení životnosti valivého hnízda nebo až k jeho zaseknutí. Proto se provádí buď zaoblení konců válečků nebo mírné zakřivení drah.

### Kuličková

mají menší tuhost a únosnost, ale jsou méně citlivé na přesnost dosedových ploch.

Valivá hnízda jsou připevněna k pohyblivé části, pevné vodící plochy (pojezdové lišty) jsou na pevné části stroje.

Valivá hnízda jsou velmi tuhá, používají se předepnutá a součinitel jejich valivého tření je 0,003 – 0,005.



Obr. 3.42: Valivé vedení – THK [THK2010]

Valivá vedení jsou typické komponenty obráběcích strojů, které se nakupují od specializovaných firem. Firmy produkující valivá přímočará vedení většinou vyrábí také ložiska. Příklady firem:

- THK – vyrábí především kuličková vedení
- Schneeberger – nabízí válečkové vedení se zaoblenými válečky a rovnými drahami, nabízí i odměřovací zařízení
- INA - vyrábí valivé vedení s válečky se zaoblenými konci, kuličková vedení a vlastní tlumiče a odměřování
- ACCUMAX – produkuje válečková vedení s nepatrně zakřivenými drahami
- SKF
- STAR – nabízí kuličkové vedení s O geometrií

## Návrhové a kontrolní výpočty

### **Kluzná vedení**

Pro odolnost ploch proti opotřebení je třeba, aby tlak byl rozložen co nejrovnoměrněji. Předpokládá se lineární rozložení tlaku – tento předpoklad lze zavést jen v případě, že okolí vodících ploch je velmi tuhé, rám nesoucí vodící plochy musí být mnohem tužší než je tuhost styčných povrchových vrstev ploch.

Výpočet se skládá z

- Stanovení výsledných vnějších sil na každou plochu vedení – zatěžovací soubor
- Výpočet středního a maximálního tlaku na každé ploše
- Porovnání získaných hodnot s hodnotami dovolenými pro určitý materiál.

Příklad dovolených měrných tlaků pro používané materiály :

Litina : 2-3 MPa

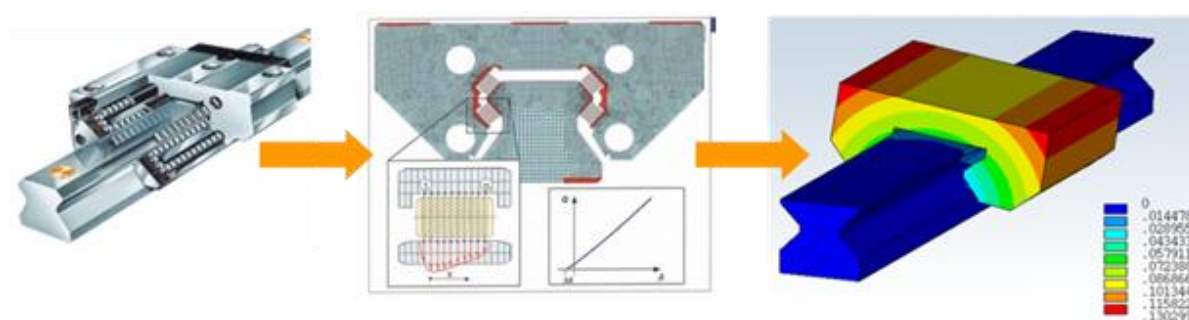
Plasty : 0,8 MPa

Turcite-B : 2 MPa

Na vodící plochy působí :

- Tíhy nesených ( vedených částí stroje)
- Složky řezných sil
- Posuvová síla
- Třecí síly

Z vnějších zatěžovacích sil se pomocí statických podmínek rovnováhy stanoví reakce na vodících plochách. Pomocí rozměrů vodících ploch se vypočte tlak na vodících plochách - od silových reakcí je konstantní, od momentů má přímkový průběh. Odléhá-li vnitřní plocha, je zatíženo spodní vedení a opačně. Pro výpočty tlaků na vedení lze s výhodou využít kontaktní úlohy řešené MKP.



Obr. 3.43: Výpočet valivých vedení s využitím MKP

### Hydrostatické vedení

Určí se počet a rozmístění buněk, z vnějšího zatížení se určí reakce v těchto buňkách. Na základě zvolené tlaku se určí rozměry buněk. Buňky musí být samostatné a nejméně 3 na jedné vodící ploše.

Výpočet se skládá z

- Stanovení výsledných vnějších sil na každou plochu vedení – zatěžovací soubor
- Výpočet tlaku v buňce
- Stanovení potřebného množství oleje

$$Q = k_Q \cdot p \cdot h^3 / \eta$$

Ve vztahu je  $p$  tlak oleje na vstupu do hydrostatické buňky [MPa],  $h$  je tloušťka mezery olejového filmu [m],  $\eta$  je dynamická viskozita oleje [ $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$ ], a  $k_Q$  je součinitel průtoku, který se stanoví z rozměrů buňky. Podrobnosti výpočtu jsou probírány v navazujících předmětech.

### Valivé vedení

Valivé vedení je dimenzováno obdobně jako valivá ložiska, určující je životnost valivého hnízda.

Výpočet se skládá z

- Stanovení výsledných vnějších sil – zatěžovací soubor sil a momentů
- Stanovení dynamického ekvivalentního zatížení pro určité vedení – stanoví se podle katalogu příslušného výrobce.
- Porovnání získaných hodnot s hodnotami dovolenými, které výrobce uvádí v katalogu.
- Výpočet životnosti.

Podrobnosti výpočtu jsou probírány v navazujících předmětech.

#### 3.3.2 Uložení

Funkcí uložení je zabezpečit relativní pohyb mezi pevnou a rotující částí stroje a zachytit působící síly.

#### Uložení hřídelí pohonného systému

Uložení hřídelí má velký vliv na klidný chod převodovky. Hřídele mají být co nejtužší (krátké, s velkým průměrem). K jejich uložení se používají valivá ložiska, protože jsou spolehlivá. K mazání postačí olej rozstříknutý otáčejícími se koly v převodové skříni.

Většinou je hřídel uložen staticky určitě, tj. ve dvou ložiskách.

Ložiska jsou zatížena většinou radiálně. Přídavná axiální zatížení vznikají u kol se šikmými zuby, v důsledku pronutí hřídelů a při užití přesouvaných kol, ale k jejich zachycení většinou stačí axiální únosnost radiálních ložisek s kosouhlým stykem, nebo ložisek kuželíkových. Užití čistě axiálních ložisek je výjimečné.

## Uložení vřetene stroje

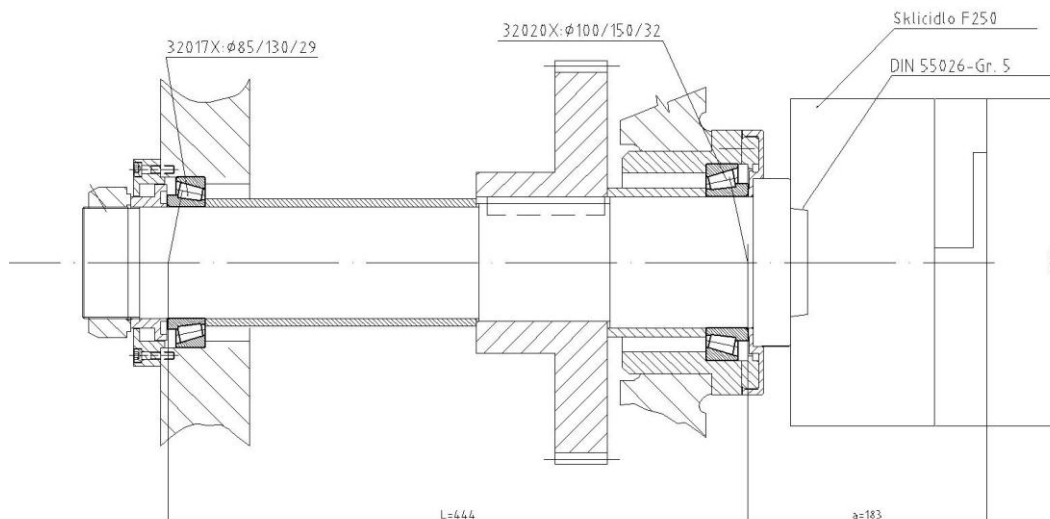
Uložení vřetene stroje musí zaručit nástroji nebo obrobku přesný otáčivý pohyb, tj. takový, při němž se dráhy jednotlivých bodů obrobku nebo vřetene liší od kružnice jen v přípustných odchylkách

Základním požadavkem na uložení vřetene je přesnost chodu – tj. minimální radiální i axiální házení .

Přesnost chodu je ovlivněna :

- Házením ložisek (osa vřetene mění polohu) – volíme přední ložisko velmi přesné, zadní může být v běžné přesnosti
- Neokrouhlým tvarem plochy vřetene– zlepší se zvýšením výrobní přesnosti dílu.

Vřeteno obráběcího stroje je uloženo minimálně ve dvou radioaxiálních ložiskách, u přesných strojů spíše ve dvou radiálních a v minimálně jednom oboustranném axiálním ložisku. Přední radiální ložisko se nazývá hlavní a jeho vliv na přesnost rotace je zásadní. U dokonalého uložení nesmí vřeteno při změně zatížení měnit polohu v prostoru



*Obr. 3.44: Příklad uložení vřetene do kuželíkových ložisek [ŠMT Plzeň]*

Vřeteno musí být rovněž dostatečně tuhé, jeho deformace spolu s deformací jeho uložení má přímý vliv na pracovní přesnost stroje. Uložení vřetene má mít malé pasívní odpory, aby se vyvíjelo málo tepla. Rovněž se žádá malé opotřebení a možnost dodatečného regulování vůle, která vznikne opotřebením. Vyžaduje se klidný chod , valivá tělíska ložisek nesmí být zdrojem kmitání. Konečně má být uložení spolehlivé a s jednoduchou údržbou.

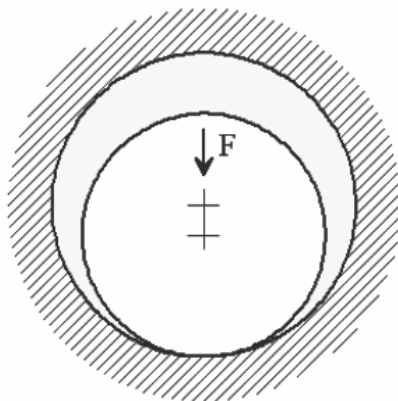
Rozdělení podle typu tření :

- Kluzné
- Hydrostatické, aerostatické
- Valivé



## Kluzná ložiska

Kluzná ložiska využívají tření smíšené a hydrodynamické. V případě uložení vřeten se z této skupiny ložisek užívá spíše ložisek hydrodynamických. Hydrodynamické tření se vytváří teprve při určité rychlosti otáček ložiska, při rozběhu hrozí možnost zadření.



Obr. 3.45: Hydrodynamické ložisko za klidu

Nevýhodou je, že se u hydrodynamických ložisek mění poloha osy otáčení v mezích vůle vřetene a ložiskové pánve v souvislosti se změnou zatížení. Proto se konstruují pánve ložisek např. oválné nebo jsou využívány naklápěcí segmenty uvnitř pánve, které pomohou osu vřetene centrovat. Rovněž hydrodynamická ložiska se více oteplují, zvláště při vyšších otáčkách. Výhodou je jejich malý průměr.

Užívá se materiálové kombinace, např. ocel – bronzová výstelka, nebo výstelka ložiskového kovu nebo kompozice.

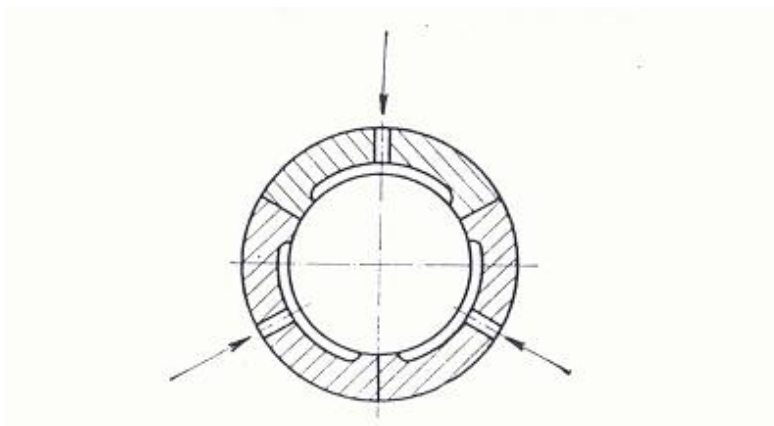
Radiálních kluzných ložisek se používá málo. U brusek se využívají speciální ložiska s vysokými nároky na přesnost, běžná kluzná ložiska najdou uplatnění u levných jednoduchých strojů.

Axiální kluzná ložiska se nepoužívají.

## Hydrostatická, aerostatická ložiska

Tato ložiska využívají nosného média (olejové nebo vzduchové vrstvy) přiváděného do ložiska pod tlakem.

Schema hydrostatického ložiska je na obr. 3.46.



Obr. 3.46: Hydrostatické ložisko[Weck2000]

Vlastnosti hydrostatických ložisek jsou v tab. 3.5.

Výhody	Nevýhody
Vysoká tuhost ( nosná síla ložiska nezávisí na viskozitě oleje ani na otáčkách)	Komplikace s přívody a olejovým hospodářstvím
Klidný chod	Nákladnější provoz
Malý součinitel tření	
Minimální opotřebení, tlumicí schopnosti	

Tab. 3.5 : Výhody a nevýhody hydrostatických ložisek

Základním prvkem ložiska je stejně jako u vedení hydrostatická buňka vytvořená v pevném tělese ( z důvodu snadného přívodu maziva).

Tvary buňky mohou být obdélník nebo mezikružní.

Při provozu ložiska jsou obě plochy ( válcové) odděleny vrstvou média , u ložisek je to až 0,1 mm.

Přesnost ložiska je dána stálostí tloušťky  $h$  maziva. Výpočtově se navrhuje potřebný hydraulický příkon.

Druhy ložisek :

- Radiální
- Axiální
- Kombinace ( na kuželové nebo kulové ploše)

Maziva pro ložiska jsou zpravidla minerální oleje, zabezpečí mazací efekt při havarijní situaci. Při dosednutí snesou krátkodobé přetížení.

Hydrostatická ložiska se užívají u vřeten velkých soustruhů, pro rychloběžná vřetena se užívají ekologická aerostatická ložiska

### Valivá ložiska

Tato ložiska využívají valivého tření. V současné době se používají nejvíce.

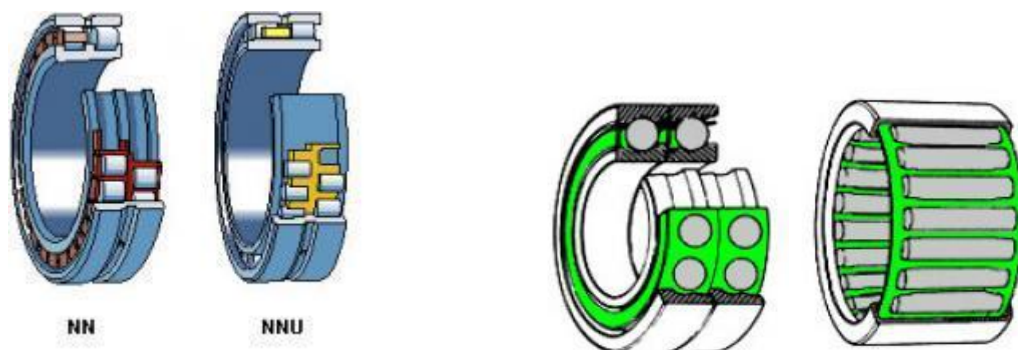
Vlastnosti valivých ložisek jsou v tab. 3.6.

Výhody	Nevýhody
Malé tření, tím malé pasívní odpory a malé oteplování	Nutnost přesné výroby
Vysoká tuhost, lze předepínat	Větší citlivost na rázy
Lze vymezovat vůli	Špatně tlumí chvění

Tab. 3.6 : Výhody a nevýhody valivých ložisek

Podle druhu valivého tělíska se ložiska dělí na :

- Kuličková
- Válečková
- Kuželíková
- Jehlová



Obr. 3.47: Příklad valivých ložisek pro uložení vřeten OS [LOZ]

V katalogích ložisek jsou uvedeny :

- Tabulky radiální a axiální únosnosti typů ložisek
- Tabulky přípustných otáček typů ložisek

### Kontrolní a návrhové výpočty

U uložení vřetene se kontroluje jednak celková tuhost uložení vřetene a kontroluje se únosnost navržených ložisek.

#### **Tuhost uložení vřeten**

Určující je deformace volného konce vřetene, který unáší nástroj nebo obrobek. Pro jednoduché výpočtové přiblížení je vřeteno považováno za nosník na dvou podporách s převislým koncem, jeho celková deformace se skládá z deformace vlastního nosníku a z deformace ložisek.

$$Y_{\text{celk}} = Y_{\text{vřet}} + Y_{\text{lož}}$$

#### **Výpočtová kontrola uložení**

- Hydrodynamická ložiska

Kontrolují se podle normy : navrhne se ložisková vůle, kontroluje se teplota mazací vrstvy a splnění podmínky hydrodynamického mazání, Cílem je stanovení množství oleje

- Hydrostatická ložiska

Kontroluje se potřebné množství oleje, tuhost a tlumení navrženého ložiska

- Valivá ložiska

Kontrolují se podle katalogových vztahů na základní trvanlivost L. V katalogu je pro příslušné ložisko udána statická únosnost  $C_0$  a dynamická únosnost C. Tato hodnota se využije pro výpočet základní trvanlivosti ložiska :

$$L = \left( \frac{C}{F} \right)^P \cdot 10^6 \text{ [ot/min]}$$

kde F je buď radiální nebo axiální zatížení ložiska, pro kombinované radioaxiální zatížení ložiska se stanoví ekvivalentní zatížení  $F_{ekv} = X_0 \cdot Fr + Y_0 \cdot Fa$  , přičemž koeficienty  $X_0$  a  $Y_0$  se odečtou rovněž z katalogu pro příslušné ložisko.

P je koeficient vyjadřující charakter styku – pro bodový styk kuličkového ložiska je roven 3, pro čárový styk pro ostatní ložiska je roven 10/3.

## Spojení pevné

Pevná spojení jsou na obráběcích strojích realizována téměř všemi známými způsoby. Rozlišují se :

- Spoje se spojovacími prvky
  - Čepy
  - Kolíky
  - Pera a klíny
  - Drážkové
- Spoje s využitím tření
  - Nalisování
  - Sevření
- Spoje s přidaným materiálem
  - Svary
  - Pájené
- Lepené spoje
- Spoje s předepjatými elementy
  - Šroubové
  - Zděřové

Na obráběcích stroji se uplatní dále :

- Spojky

- Upínací mechanismy

V pohonných systémech obráběcích strojů se využijí spoje s prvky ( pera, kolíky, drážkování) a spoje s třením – např. nalisování.

Při spojování ráků se využijí spoje s materiálem (svary) a spoje s předepjatými prvky (zděře, šroubové spoje)

Případy pevných spojení jsou probírána ve předmětech KKS / ČMS1.

Další skupinou konstrukčních prvků, které mohou plnit spojovací funkci jsou spojky a spojovací mechanismy.

### Spojky

Funkcí spojek je umožnit přenos točivého momentu mezi dvěma blízkými rotačními částmi – hřídeli. Jejich doplňující funkcí je tlumit torzní kmity, umožnit rozdělení rozměrného dílu, montáž a demontáž, eliminovat nepřesnosti vzniklé při výrobě i při provozu .

Znamé typy spojek :

- Mechanické – pevné, pružné, ovládané ( výsuvné)
- Hydraulické
- Elektrické
- Magnetické

V konstrukci obráběcích strojů se využívají zejména :

**Spojky pevné** – používají se pro trvalé spojení souosých hřídelů ( spojka objímková – perem, kuželovým kolíkem)

**Spojky pružné** – pružné členy pomáhají vyrovnávat nepřesnosti a mají tlumicí účinky

**Spojky výsuvné** – dovolují spojení a rozpojení hřídelů za klidu i za rotace. Ovládané jsou mechanicky, hydraulicky, elektricky.

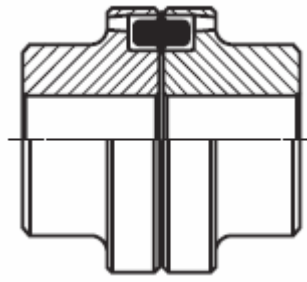
**Zubové spojky** ( čelní, obvodové)- používají se pro velké momenty. Při zasunutí vzniká ráz a při dimenzování těchto spojek je třeba kontrolovat ozubení na ohyb a otláčení.

V konstrukci obráběcích strojů se používají spojky ovládané mechanicky a elektromagneticky.

**Třecí spojky** - jejich využití je zejména pro velké momenty, použití je omezeno jejich oteplováním , při vysokém zatížení je třeba je chladit.

**Kotoučové, lamelové** – využívají se ovládané elektromagneticky

**Pojistné spojky** – použijí se pro ochranu pohonného mechanismu před přetížením.



Obr. 3.48: Pružná spojka [TEA]

### Výpočtový návrh spojky :

Vnější zatížení spojky :

$M_{st}$  – statický moment vyplývající ze zatěžovacích parametrů spojky

$$M_{st} = \frac{P}{\omega} = \frac{9550 * P}{n} \quad [\text{Nm}]$$

Kde  $P$  je přenášený výkon v [ kW]

$n$  jsou otáčky hřídele v [ 1/min]

Maximální moment  $M_{max}$  se stanoví násobením statického momentu dynamickým součinitelem, který je v rozmezí 1-2.

Pak se zvolí z katalogu spojka s nejbližším vyšším  $M_{jmen}$ , než je  $M_{max}$ .

### Upínací mechanismy

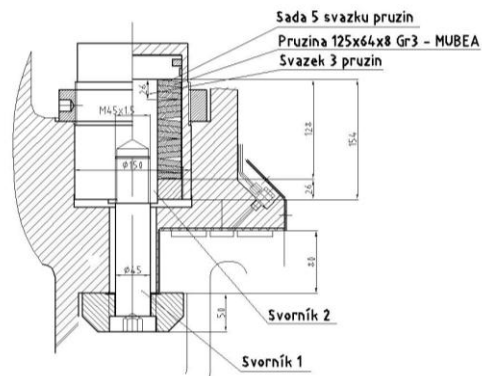
Na rozdíl od spojovacích prvků upínací mechanismy umožňují upnutí a opětné uvolnění spojovaných částí. Mohou být ruční nebo automatické. Požadavky na upnutí jsou :

- bezpečnost
- tuhost
- vhodný je tlumicí efekt

Upínací mechanismy se uplatní při upínání :

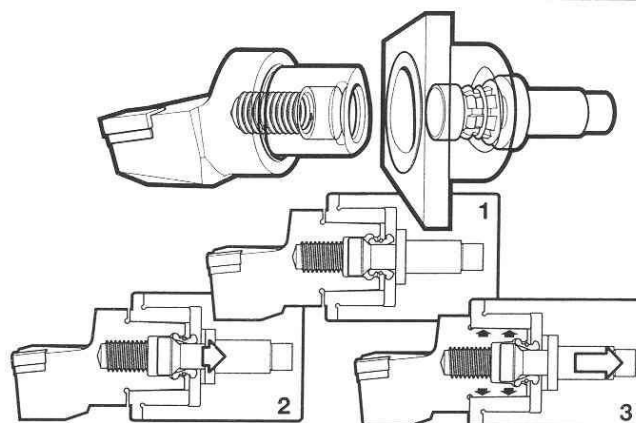
- částí stroje k sobě
- nástroje
- obrobku

Při upínání částí stroje ( např. koníka soustruhu k jeho loži) se zpevní poloha pohyblivé části rámu k pevné. Příklad upínacího mechanismu je na obr 3.49, kde je upnutí realizováno svorníky a svazkem pružin.



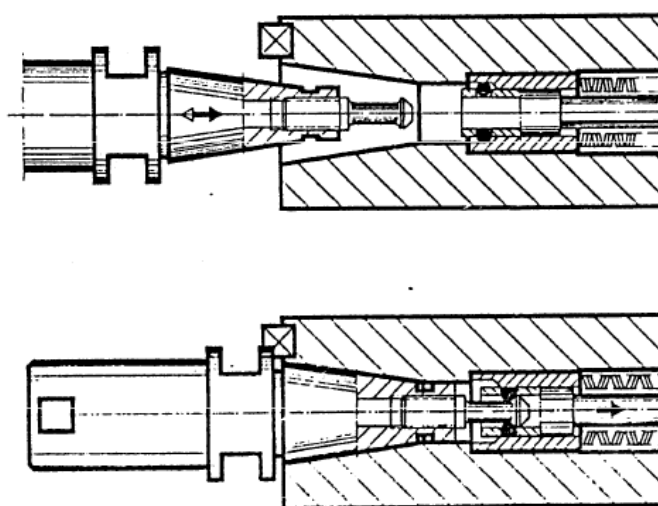
Obr. 3.49: Upínací jednotka [ŠMT Plzeň]

Upínání nerotujícího nástroje se provádí pomocí speciálních sklíčidel nebo do nástrojových kazet, které produkují výrobci nástrojů. Nástroj je vtažen do upínací hlavice a upnut, jak je patrné z obr. 3.50.



Obr. 3.50 : Schéma upínacího systému Coromant Capto [Sandvik 1997]

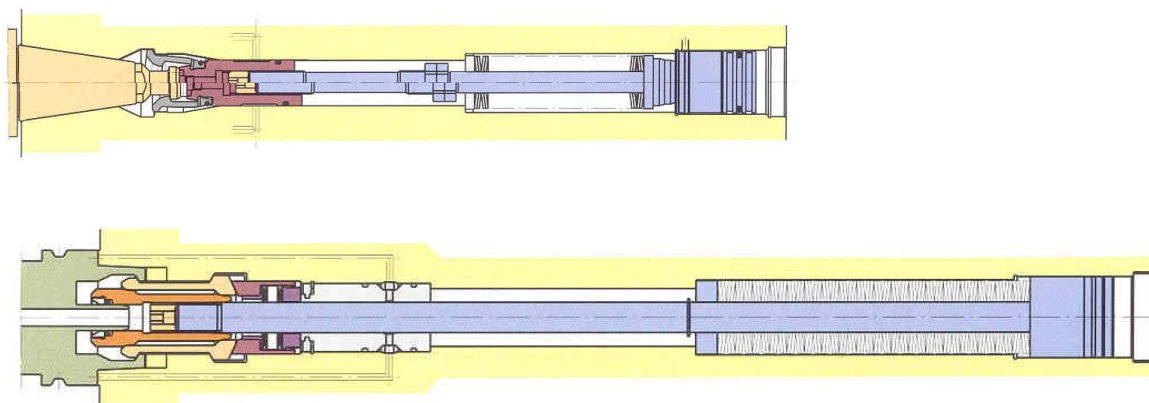
Rotující nástroj je upínán do vřetene upínacím systémem, který většinou kombinuje hydraulickou sílu a pružiny. Konce nástrojů jsou provedeny podle norem buď s kuželovou stopkou ISO nebo kuželem HSK. U kuželové stopky ISO je točivý moment přenášen třením na kuželové ploše stopky nástroje a unášecími kameny.



*Obr. 3.51 : Upnutí nástroje s ISO kuželem*

U kužele HSK je točivý moment přenášen třením na kuželové ploše i na čele, protože kužel dosedá přesně. Rozdíl mezi oběma systémy je patrný z obr. 3.52.

Vlastní upnutí je vyvozeno kuličkovým nebo kleštinovým upínacím mechanismem, za spolupůsobení hydraulické síly a jištění pružinami.



*Obr. 3.52: Kleštinové upínače - nahoře s ISO kuželem, dole s HSK kuželem.*

Upínání obrobku se může provést mnohými způsoby. U rotujících obrobků je třeba obrobek upnout a přenést na něj točivý moment pohonu stroje. Rotující obrobky se upínají buď mezi hroty stroje (u soustruhů, brusek) přičemž točivý moment se přenese pomocí upínacích prvků – sklíčidel nebo čelistí. Pokud obrobek nelze upnout do hrotů, musí sklíčidla a upínací čelisti přenést i tíhu obrobku. Sklíčidla (obr. 3.53) jsou opatřovány menší stroje, u velkých



strojů se používají upínací čelisti, které jsou na rozdíl od sklíčidel samostatné – utahují se postupně. Příklad upnutí obrobku na velkém stroji je na obr. 3.54.



*Obr. 3.53: Sklíčidlo soustruhu[NAR]*



*Obr. 3.54: Lícní deska soustruhu se samostatně ovládanými čelistmi[ŠMT Plzeň 2010]*

Nerotující obrobky se upínají do drážek upínacích stolů speciálními upínkami, nebo je možno využít i elektromagnetických sil.

### **3.4. Pomocné funkce**

### 3.4.1 Mazání

Mazání snižuje třecí odpory a opotřebením funkčních ploch a v převodových mechanismech snižuje hlučnost. Má se přivádět dostatečné množství maziva a toto množství pokud možno automaticky kontrolovat. Na stroji se rozlišují :

- Místa s vyššími nároky na kvalitní mazání – ložiska, spojky, ozubená kola, vodící plochy
- Místa, kde stačí přetržitě mazání.

Způsoby mazání :

Podle počtu mazaných míst se dělí na :

centrální  
jednotlivé

Podle mazacího média se rozlišuje mazání:

olejem  
plastickými mazivy - tukem

Podle oběhu mazacího média jsou mazací soustavy děleny na:

ztrátové ( mazací médium oběhne soustavou jen jednou)  
uzavřené soustavy( mazací médium obíhá stále)  
tlakové ( s působícím tlakem 0,1 – 1 MPa)  
beztlakové

U obráběcích strojů se používá :

- **Ruční mazání**

Jednotlivé přerušované mazání nalitím do maznic, které jsou na stroji označeny.

- **Rozstříkem, broděním**

V uzavřené převodové skříni se některé části brodí v oleji a rozstříkovaný olej formou sprchy maže ostatní místa.

Rozlišení vhodnosti typů mazání se posoudí podle obvodových rychlostí a použitelnosti. Při rozstříku je ozubené kolo ponořeno jen do výše max. tří zubových mezer, tento způsob se používá do obvodových rychlostí 6 m/s, při vyšších rychlostech se olej příliš zahřívá a pění. Při brodění jsou ozubená kola ponořena až po záběr, šneky více než z poloviny. Používá se do rychlostí 4 m/s.

- **Olejovou mlhou**

Tento způsob je vhodný u rychloběžných vřeten. Do prostoru ložisek se přivádí tlakový vzduch a malé množství oleje, v ejektorové hubici se tvoří olejová mlha

- **Oběhové mazání**

Oběhové mazání tvoří uzavřenou soustavu, jedná se o centrální nepřetržitě tlakové mazání, které mnohdy plní více funkcí.

### 3.4.2 Chlazení

Chlazení má odvádět teplo z prostoru obrábění, napomáhat odvodu třísek z obráběné plochy a zvyšovat mazací účinek

Chladicími kapalinami jsou vodní roztoky, minerální a mastné organické oleje nebo emulsní kapaliny

Chladicí soustava se skládá z čerpadla, nádrží, přívodních a vývodních hadic, potrubí, filtračních a sedimentačních zařízení, svodných žlabů a potrubí.

Čerpadla jsou většinou s vlastním elektromotorem, ponorná a samonasávací.

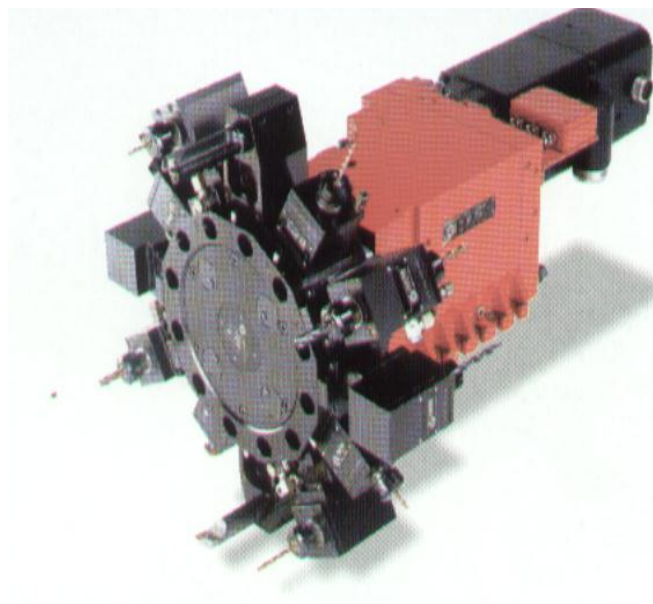
### 3.4.3 Výměny nástrojů

Pro zvýšení produktivity stroje zkrácením mezioperačního času lze využít některý ze systémů automatické manipulace s nástroji.

Systémy pro výměnu nástrojů se dělí na dva základní typy :

- Výměny s nosnými zásobníky nástrojů
- Výměny se skladovacími zásobníky nástrojů

Systémy s nosnými zásobníky nástrojů se vyznačují tím, že nástroj umístěný ve výměnném systému se přímo účastní řezného procesu, a tedy systém výměny musí přenášet řezné síly. Většinou se jedná o zásobník typu revolverové hlavy, do kterého je upnuto několik nástrojů, které se do pracovního procesu zapojí po pootočení celého nosného zařízení. Kromě jednoduchých revolverových hlav s nástroji je možno mezi tyto systémy automatické výměny řadit i zásobníky nesoucí rotující nástroje nebo celá přídatná vrtací a frézovací zařízení. Tyto systémy výměny nástrojů bývají umísťovány přímo ve stroji.



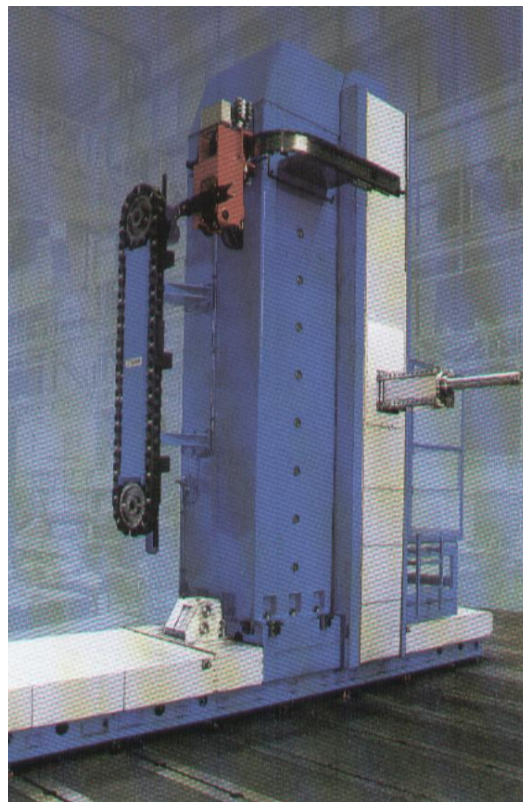
Obr. 3. 55 : Vřetenová hlava - systém výměny nástrojů s nosným zásobníkem

Systémy se skladovacími zásobníky nástrojů se skládají z více členů. Vlastní zásobník je umístěn na stroji nebo mimo stroj, požadovaný nástroj je z něho vyjmut a teprve po upnutí do vřetene je s ním pracováno. Podle toho, jak je nástroj ze zásobníku dopraven do vřetene se rozlišují systémy typu :

- Zásobník – upínač
- Zásobník- podavač- upínač
- Zásobník – manipulátor – podavač – upínač.
- 

V prvním případě je otočný a posuvný zásobník umístěn poblíž vřetene stroje, nástroje jsou z něho vyjímány a navraceny výsuvem vřetene a změna nástroje je umožněna pohybem zásobníku. V případě systému s podavačem je systém doplněn většinou otočným podavačem (chapačem), který jedním koncem vyjme nástroj z vřetene, druhým koncem vybere nástroj ze zásobníku a po otočení tohoto zařízení dojde k výměně nástroje. V třetím systému je vzdálenost zásobníku a vřetene velká, takže po vyjmutí nástroje ze zásobníku musí manipulátor s podavačem dojet na místo výměny a obdobným pootočením provést výměnu nástroje. Použitý nástroj je opět pomocí manipulátoru odvezen k zásobníku a uložen do něj. Jednoduchý systém je používán pro malý počet výměnných nástrojů (do 20 ks), složitější systém s manipulátorem může být použit pro vysokokapacitní skladovací zásobníky, které se musí umístit mimo pracovní prostor stroje. Čas výměny nástroje je ovšem v tomto případě delší.

Vlastní skladovací zásobníky nástrojů se konstruují bubnové, kotoučové a velmi často řetězové. Na obr. 3.56 je příklad řetězového skladovacího zásobníku, který je umístěn na zadní části stroje. Na obr. 3.57 je vidět část automatické výměny nástrojů - manipulátor s otočným podavačem nástrojů.



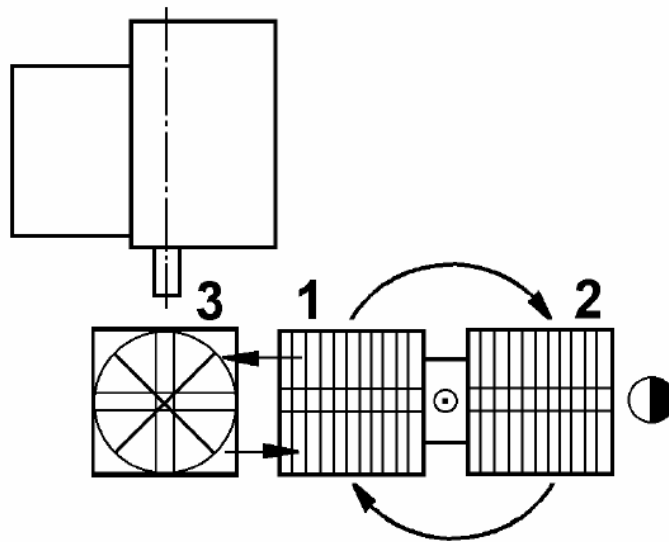
*Obr. 3.56 : Řetězové skladovací zásobníky[ŠMT Plzeň 2010]*



*Obr. 3.57 : Část výměny nástrojů s pojízdným manipulátorem a otočným podavačem nástrojů[ŠMT Plzeň 2010]*

#### *3.4.4 Manipulace s obrobky*

Další z možností, jak zkrátit mezioperační čas je automatická manipulace s obrobky. Pro přesné obrábění je nutno obrobek upnout a přesně ustavit v pracovním prostoru stroje, což by mohlo způsobovat prostoje. Z toho důvodu se používá paletizačního systému. Paleta je mezičlánkem mezi strojem a obrobkem, má jednotné upínací plochy a lze ji rychle ustavit na pracovním stole stroje. Obrobek je na paletu upnut v čase jiné operace stroje na vedlejším obslužném pracovišti. Z manipulačního stolu je pak paleta přesunuta na pracovní stůl a obrobek je vyměněn v mnohem kratším čase, než by bylo ruční upínání rovnou na pracovním stole. Pracoviště s automatickými výměnami palet může být uspořádáno buď s využitím posuvných manipulačních stolů, nebo s užitím otočných stolů, jak je patrné z obr. 3.58. Palet se užívá zejména při obrábění plochých a skříňovitých obrobků, rotační obrobky se většinou mění pomocí manipulátorů a robotů.



Obr. 3.58 : Otočný stůl pro výměnu palet

### 3.4.5 Třískové hospodářství

Odvádění třísek z pracovního prostoru stroje je velmi důležité hlavně proto, že by se horké třísky mohly stát zdrojem nežádoucích teplotních změn na stroji. U ručně řízených strojů odklizení třísek vykonává obsluha, u automatizovaných strojů je samočinný odvod třísek jedním z dalších znaků moderních strojů.

U velkých soustruhů a soustružnických center s vodorovnou osou je odklizení třísek celkem jednoduché, protože třísky odletují od rotujícího obrobku do prostoru pod obrobkem a mohou být vynášeny článkovým dopravníkem do nádob mimo stroj. Dopravníky jsou většinou vodorovné s osou stroje, mohou ale být i příčné. U malých soustruhů padají třísky do skluzů pod pracovním prostorem stroje a odtud přímo do nádoby. V případě svislých soustruhů je nutno zakrývat prostor kolem otočného stolu a odtud odvádět třísky pomocí skluzů na dopravníky umístěné okolo stolu.

U frézovacích a vyvrtávacích strojů a u soustružnických center je rovněž nutno třísky usměrnit a odvést pomocí skluzů na dopravník. K usměrnění odvodu třísek je využíváno proudu řezné kapaliny.

**Další studijní literatura :**

Breník,P.,Píč,J.: Obráběcí stroje – Konstrukce a výpočty, SNTL Praha,1986,04-235-86

Houša,J. a kol.: Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů, SNTLPraha,1985, 04-229-85

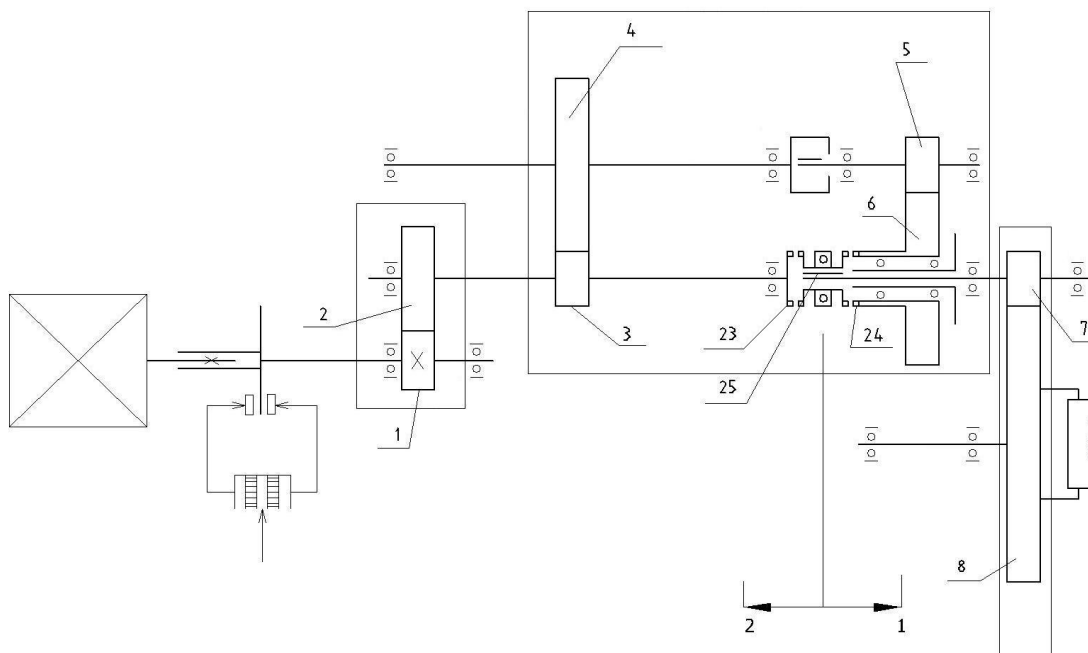
Píč, J.,Breník,P.: Obráběcí stroje,SNTL Praha, 1970, 04-215-70

Zahradník, J. a kol.: Elektrická výzbroj obráběcích strojů, ZČU v Plzni, 2006,ISBN 80-7043-494-5

Ženíšek,J. a kol.: Teorie a konstrukce výrobních strojů II, SNTL Praha, 1998,04-233-88

### Kontrolní otázky :

1. Které typy motorů se užívají v pohonech obráběcích strojů?
2. Jakými způsoby se v pohonech obráběcích strojů realizuje řazení stupňů ?
3. Jaké mechanismy pro přeměnu rotačního pohybu v přímočarý se používají u obráběcích strojů?
4. Vysvětlete princip, výhody a nevýhody hydrostatického vedení na obráběcím stroji.
5. Jaké jsou možnosti pro uložení vřetene obráběcího stroje?
6. Identifikujte převodové cesty na kinematickém schématu a zapište celkové převody stupňů. Řazení je provedeno spojkami.



*Kinematické schéma hlavního pohonu [ŠMT Plzeň]*

## 4. Přehled typů obráběcích strojů

### 4.1. Třídění obráběcích strojů - OS

Třídění obráběcích strojů lze provést podle celé řady aspektů, např. :

- Podle použití ( univerzální, jednoúčelové)
- Podle tvaru břitu nástroje ( s určitou nebo neurčitou geometrií nástroje )
- Podle užití technologie ( konvenční nebo nekonvenční)
- Podle úrovně řízení ( ruční, číslicově řízené NC, počítačově řízené CNC)
- Podle hlavního řezného pohybu ( rotační nebo přímočarý)

V minulosti bylo upřednostňováno třídění podle technologií – tj. podle druhu hlavního řezného pohybu, který stroj vykonává. V současnosti se stroje stávají vícefunkčními a je možno na jednom stroji provozovat více technologických operací, takže je toto třídění méně užíváno a obchodně se stroje více člení podle jejich použití.

V tab. 4.1 je uveden tradiční způsob třídění obráběcích strojů, který bude použit v následující kapitole.

Hlavní řezný pohyb je rotační		Hlavní řezný pohyb je přímočarý	
Rotuje obrobek	Rotuje nástroj	Posouvá se obrobek	Posouvá se nástroj
Soustruhy	Vrtačky, vyvrtávačky, frézky, brusky	Hoblovky	Obrážečky, protahovačky

Tab. 4.1 : Klasifikace OS

#### Parametry OS

U OS jsou obvykle udávány parametry :

- Rozměrové
- Výkonové

Rozměrové parametry OS udávají velikost stroje, pracovní prostor event.rozměry obrobku, který lze na daném stroji obrábět. Často se objevují v typovém názvu stroje. Výkonové parametry OS udávají velikost maximálního točivého momentu, event.maximální průtažnou sílu nebo maximální frézovací sílu.

Dalšími parametry OS mohou být :

- Příkon motoru
- Kvalitativní vlastnosti – rozsah otáček vřeten , rozsah rychlostí pracovních stolů



- Hmotnost stroje
- Stupeň automatizace (NC, CNC – mikroprocesor na stroji, AC – adaptivní řízení)

## 4.2 Soustruhy a soustružnická centra

Soustruhy jsou obráběcí stroje charakteristické tím, že obrobek je upnut ve stroji, otáčí se a je obráběn nástrojem, který koná posuvné pohyby.

Soustruhy jsou nejrozšířenějším typem obráběcích strojů. Podle koncepce se dělí na stroje s vodorovnou osou a stroje se svislou osou. Soustruhy s vodorovnou osou mají dva základní typy – soustruh hrotový a soustruh lícni. Podle použití se soustruhy dělí na stroje univerzální, na kterých lze zhotovit libovolný obrobek, revolverové, které nesou revolverovou hlavu s několika nástroji, takže lze na nich provést jen určité operace, a soustruhy automatické, které mohou vykonávat jen předdefinovanou operaci a poloautomatické, na kterých lze kombinovat automatický cyklus s ruční prací.

Soustruhy lze dovybavit celou řadou příslušenství, takže je možno na nich pracovat i dalšími technologiemi. Pokud jsou stroje opatřeny ještě automatickou výměnou nástrojů a obrobků a počítačovým řídicím systémem, lze je považovat za soustružnická centra.

Na soustružích lze vykonávat tyto operace :

- Obrábět vnější a vnitřní rotační plochy válcové, kuželové, obecné
- Obrábět rovinné plochy kolmé k ose otáčení obrobku
- Řezat závity
- Vrtat, vyvrtávat, hloubkově vyvrtávat
- S přídatnými zařízeními lze brousit válcové plochy
- S přídatným zařízením lze frézovat

### 4.2.1 Univerzální hrotové soustruhy s vodorovnou osou

Hrotové soustruhy jsou soustruhy s vodorovnou osou otáčení obrobku, slouží k obrábění rotačních součástí velké délky. Obrobek je upnut v hrotech stroje, mezi dvěma díly rámu. Hlavní řezný pohyb je otáčení obrobku, vedlejší řezný pohyb je posuv nože.



Obr. 4.1 Hrotový soustruh SUA100 – TOS Čelákovice[CETOS 2010]

Rozměrový parametr :

- oběžný průměr nad ložem ( mezní průměr kružnice opsané kolem osy soustružení, kdy se obrobek ještě může volně otáčet nad vodicími plochami lože)
- vzdálenost mezi hroty ( největší vzdálenost mezi hroty koníku a vřeteníku při zasunuté pinole

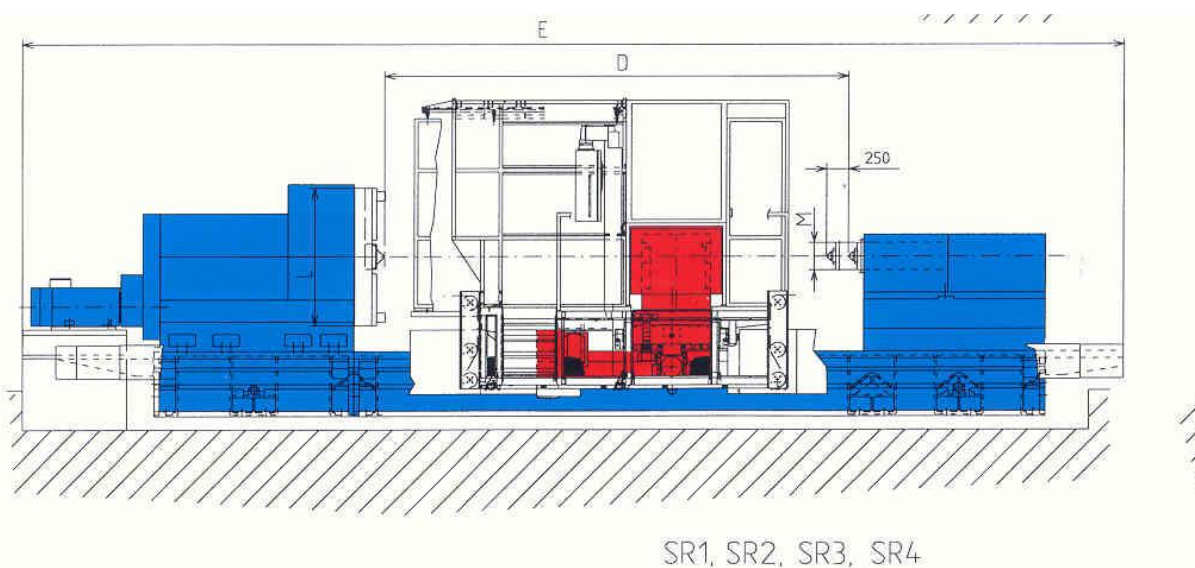
Výkonový parametr : točivý moment, výkon hlavního motoru

### Rám hrotového soustruhu

Hrotový soustruh je příkladem otevřeného rámu typu ležatého C. U malých strojů jsou rámy nedělené, u velkých strojů mohou být dělené spojené předepnutými šrouby.

Rám soustruhu je tvořen pevným ložem ( 1), na kterém je nepohyblivě usazen vřeteník (2), ve kterém je uložen hlavní pohonný systém stroje a jehož výstupním členem je vřeteno ukončené hrotem. Na konci vřetene je podle velikosti stroje osazeno sklíčidlo nebo otočná deska(5) s posuvnými čelistmi, což oboje slouží k přenesení kroutícího momentu pohonu na obrobek. Proti vřeteníku je pohyblivě na loži veden koník(3) rovněž ukončený hrotem.

Na vodicích plochách lože mezi vřeteníkem a koníkem jsou posuvně vedeny suporty. Podélný suport(4) se pohybuje v ose lože a nese příčný suport (6), jehož pohyb je kolmý na osu lože. V tělesech suportu musí být uloženy mechanismy pro vedlejší řezný pohyb. Na příčném suportu jsou upevněny nožové saně nesoucí nástroj, nebo přídatné zařízení, které umožní na soustruhu vyvrtávat nebo frézovat ,a tím rozšířit technologické možnosti stroje. Schéma hrotového soustruhu je na obr. 4.2



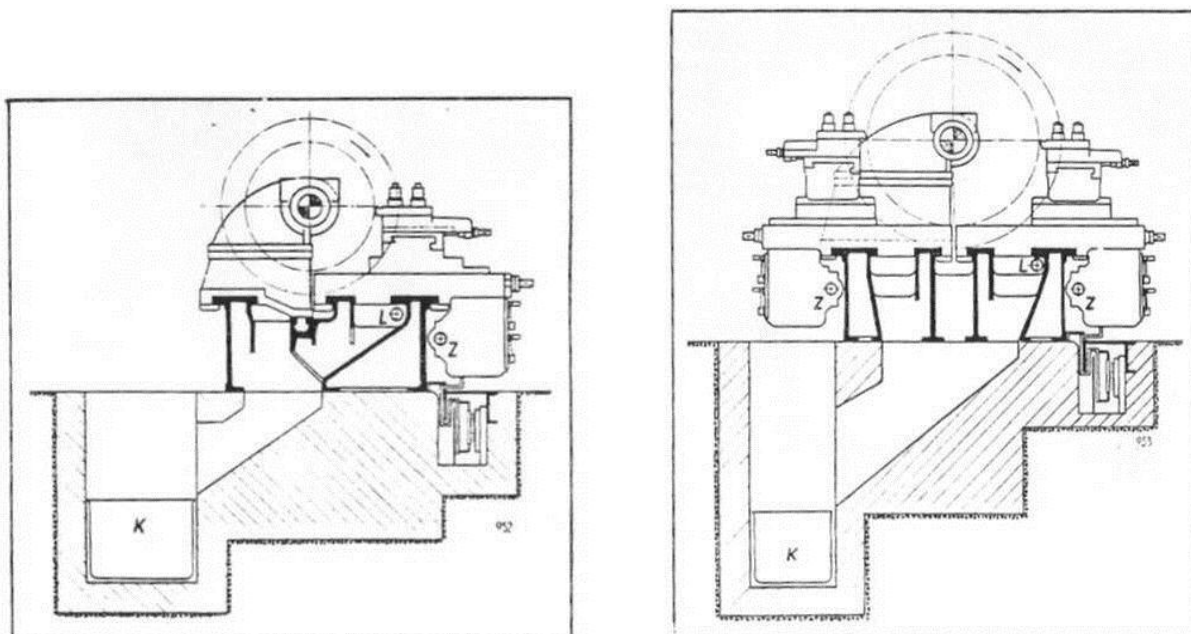
Obr. 4.2 Hrotový soustruh – schéma[ŠMT Plzeň]

Základní díly rámu hrotového soustruhu jsou lože, vřeteník, koník a suporty.

### Lože

Lože je základní nosná část stroje, nepohyblivá, připevněná k základu stroje nebo k podlaze dílny. Délka lože u velkého stroje většinou výrazně převyšuje výšku, pro dosažení dobré tuhosti je třeba navrhnout vhodné žebrování. U velkých strojů není lože samonosné, je vyztužováno základem stroje. Spojení se základem je prováděno speciálními šrouby – fixátory, které umožní vyrovnaní lože do požadované přesnosti. Na horní ploše jsou provedeny vodící dráhy pro posuv dalších částí stroje. U soustruhů s vodorovnou osou je navrhováno lože vodorovné, nebo šikmé. Vodorovné lože je únosnější, tužší, a proto je užíváno spíše u velkých strojů.. Jeho nevýhodou je obtížnější odvod třísek, u šikmého lože je odvedení třísek díky gravitaci snazší. Oproti tomu je nevýhodou šikmého lože jeho menší tuhost a méně příznivý způsob zatížení.

U vodorovného lože se podle velikosti stroje používá dvou – až čtyřdráhových loží. Na obr.4. 3 je patrné, že u třídráhového lože je prostřední dráha společná pro koník a suporty. U čtyřdráhového lože jsou pojezdy samostatné. Na obrázku jsou rovněž vidět skluzy pro odvod třísek.



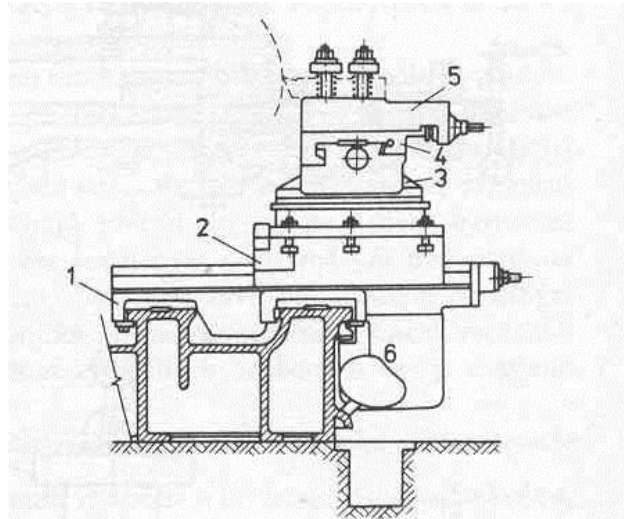
Obr.4.3 : Nákrasy uspořádání vodorovných loží[ŠMT Plzeň]

Lože je zatíženo zejména tíhovými silami všech dalších částí stroje a řeznými silami.

### Vřeteník, koník, suporty

Tyto části rámu mají skříňový charakter a slouží k umístění pohonných a posuvových systémů stroje nebo pracovních vřeten. Jsou bohatě žebrovány, v žebrech jsou umístována ložiska hřídelí pohonného systému. Tělesa převodových skříní plní nosnou funkci kinematických řetězců pohonu, takže nejdůležitější jejich vlastností je dostatečná statická i dynamická tuhost. Málo tuhé skříně přispívají ke vzniku chvění a k nárůstu hluku.

Zatížení skříňových dílů rámu je hlavně tíhovými silami, řznými silami a reakcemi z pohonných mechanismů. Do vřeteníku se přenáší přes hrot vřetene a lícní desku také axiální síla vzniklá upnutím obrobku.



Obr. 4.4 Suporty soustruhu [Breník 1986]

Na obr. 4.4 je schéma suportů stroje. Lože (1) nese podélný suport (2), který umožňuje pojezd po loži. Na podélném suportu kolmo k ose stroje pojíždí příčný suport (3). Na příčném pojezdu jsou nožové saně, nebo je do tohoto místa možno upnout příslušenství stroje.

### Upínací otočná deska

Upínací deska na velkém soustruhu bývá natažena na vřeteno a upevněna nalisováním, nebo předepnuta na kuželové části vřetene a zajištěna předepnutými šrouby. Průměr desky je mnohem větší, než její výška, takže pro dosažení dostatečné tuhosti je upínací deska bohatě žebrována. V desce jsou radiálně posuvně uloženy upínací čelisti, minimálně 4, ale i 6 až 8 ks. Čelisti se pohybují nezávisle na sobě, což při upínání umožňuje vystředit obrobek. Čelisti hrotového soustruhu jsou maximálně nepříznivě namáhány, protože dolní čelist je zatížena upínacím předepnutím a navíc příslušnou částí tíhy obrobku, zatímco horní čelist je zatížena jen předepnutím. Toto zatížení je výrazně míjivého charakteru, takže je nutné výpočtové posouzení čelistí i na cyklické namáhání. Obecně je deska s čelistmi zatížena tíhovými a řznými silami.

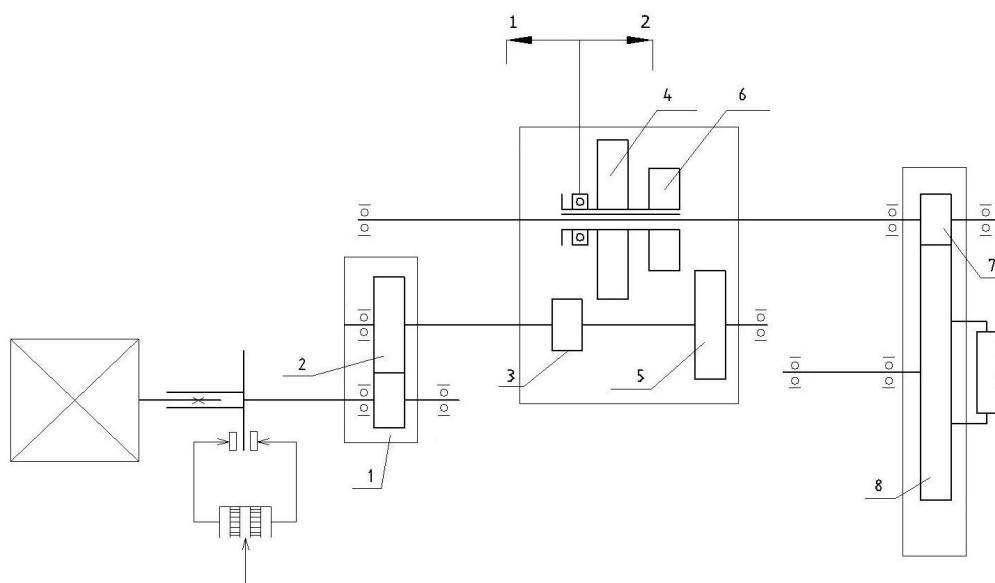


Obr.4.5: Vřeteník velkého soustruhu s lícní deskou [ŠMT Plzeň 2010]

### Pohonný systém hrotového soustruhu

U hrotových soustruhů hlavní pohonný systém uděluje obrodku, který je upnut mezi vřeteníkem a koníkem, rotační pohyb. V naprosté většině případů je využito elektromotoru, u moderních strojů s regulací, a následného převodového mechanismu. Převodovým mechanismem jsou u menších strojů, kde je zapotřebí jen posunout otáčkový a momentový rozsah, nakupované jednostupňové převodovky. U velkých strojů, kdy je zapotřebí rozšířit rozsah výstupních otáček a momentů, jsou zařazeny řadící převodovky, dvou, tří a výjimečně čtyřstupňové. Principiálně se používá přesuvných kol i kol řazených spojkami.

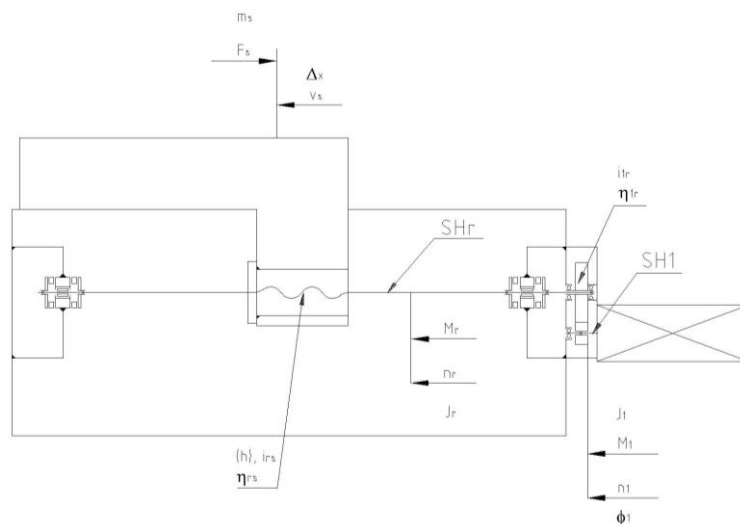
Na obr. 4.6 je příklad kinematického schématu hlavního pohonu velkého soustruhu, kde jsou použita přesuvná kola. Převodovka je dvoustupňová. Směry označení šipek ukazují způsob řazení kol v prvním a druhém stupni. Kola 1 a 2 tvoří vstupní převod, kola 7 a 8 tvoří finální převod. Řazení stupňů je provedeno pomocí kol 3,4,5 a 6.



Obr. 4.6: Kinematické schéma pohonu soustruhu [ŠMT Plzeň]

Posuvové mechanismy zabezpečují pohyb koníku a suportů. Pro tyto pohony se používá opět elektromotorů, většinou synchronních s regulací. Pro převod rotačního pohybu v přímočarý se využívá kuličkových šroubů, a pro velké délky posuvu pak pastorku a hřebenu, většinou z důvodu dobrého předepnutí ve dvoupastorkovém provedení. Zcela okrajové je použití hydrostatického šneku a hřebenu.

Na obr. 4.7 je schéma posuvu suportu soustruhu. Je zde patrný pohon, převodový mechanismus k převodu otáček kuličkového šroubu a vlastní kuličkový šroub s maticí. Kuličkový šroub je z důvodu dosažení vysoké tuhosti oboustranně uložen.

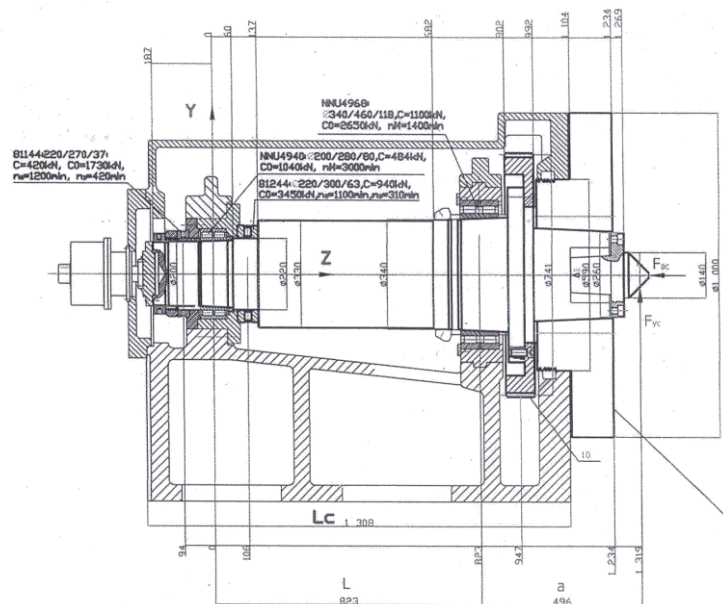


Obr. 4.7 : Schéma posuvového mechanismu – kuličkový šroub s pevnou maticí [ŠMT Plzeň]

### Vedení a uložení na hrotovém soustruhu

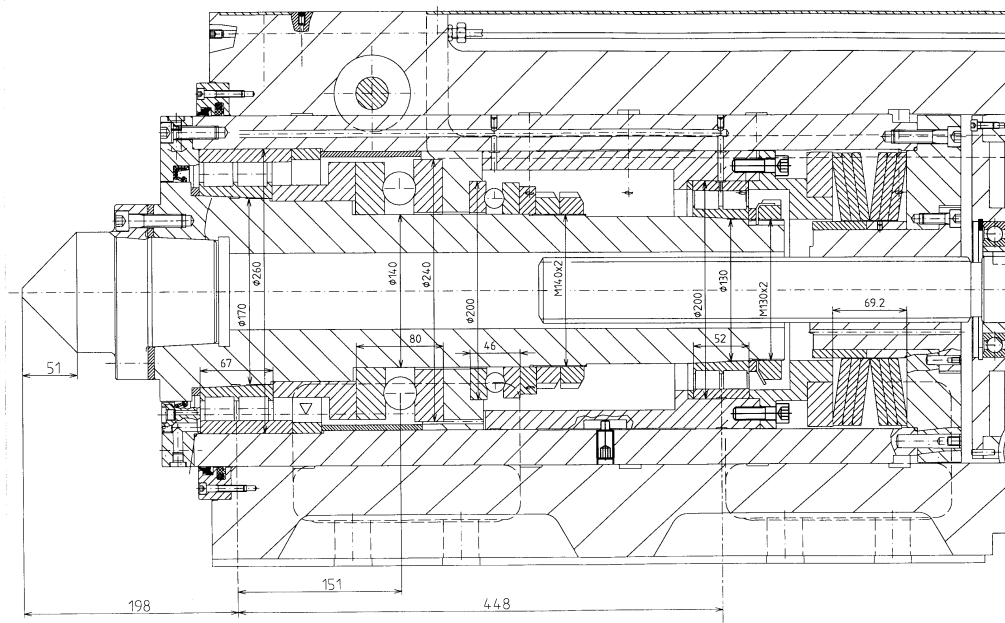
U hrotových soustruhů se užívá všech typů vedení. Pro rovné vodící plochy velkých soustruhů se s výhodou užívá obložených kluzných vedení a vedení hydrostatických. U menších typů strojů se používá častěji valivé vedení

Vřetena hrotových soustruhů se ukládají nejčastěji do valivých ložisek, které zachytí radiální i axiální síly. U menších strojů může být vřeteno uloženo do radioaxiálních ložisek, u velkých strojů je častěji uloženo do minimálně dvou čistě radiálních ložisek a minimálně do jednoho oboustranného axiálního ložiska. U velkých soustruhů může být přední ložisko hydrodynamické nebo hydrostatické. Přední ložisko má zásadní vliv na přesnost chodu vřetene, a tím i na celkovou přesnost práce soustruhu. Axiální uložení vřetene má mít vysokou tuhost. Při dimenzování axiálních ložisek je nutno brát v úvahu axiální sílu, kterou působí obrobek upnutý mezi hroty do tělesa vřeteníku a koníku. Na obr.4.8 je příklad vřeteníku s uloženým vřetenem



Obr. 4.8 Vřeteník s vřetenem [ŠMT Plzeň]

Na obr. 4.9 je pohled na koník velkého soustruhu, kde je vidět odpružení pinoly koníka. Toto odpružení má vyrovnávat teplotní dilatace vzniklé při obrábění rozměrného obrobku.

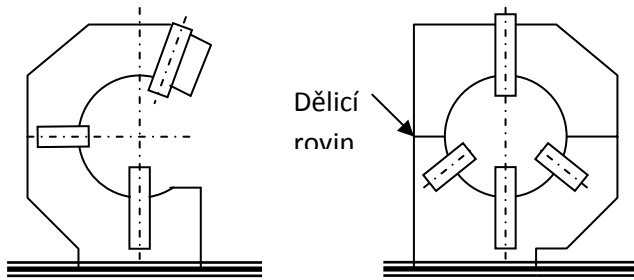


4.9 : Koník soustruhu s odpruženým hrotem [ŠMT Plzeň]

#### Příslušenství hrotových soustruhů

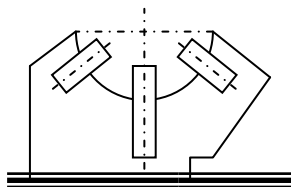
Část příslušenství soustruhů usnadňuje manipulaci a upnutí obrobků . Na velkých vodorovných soustruzích se užívají pro podepření podvalky a opěry.

Opěry jsou zařízení, která umožní podepřít a vycentrovat dlouhý obrobek. Mohou být uzavřeného typu, nebo polouzavřené v podobě písmene C.



Obr. 4.10. Opěry hrotového soustruhu

Podvalek se používá pro podepření obrobku velkého průměru.



Obr. 4.11 : Podvalek používaný na velkém hrotovém soustruhu

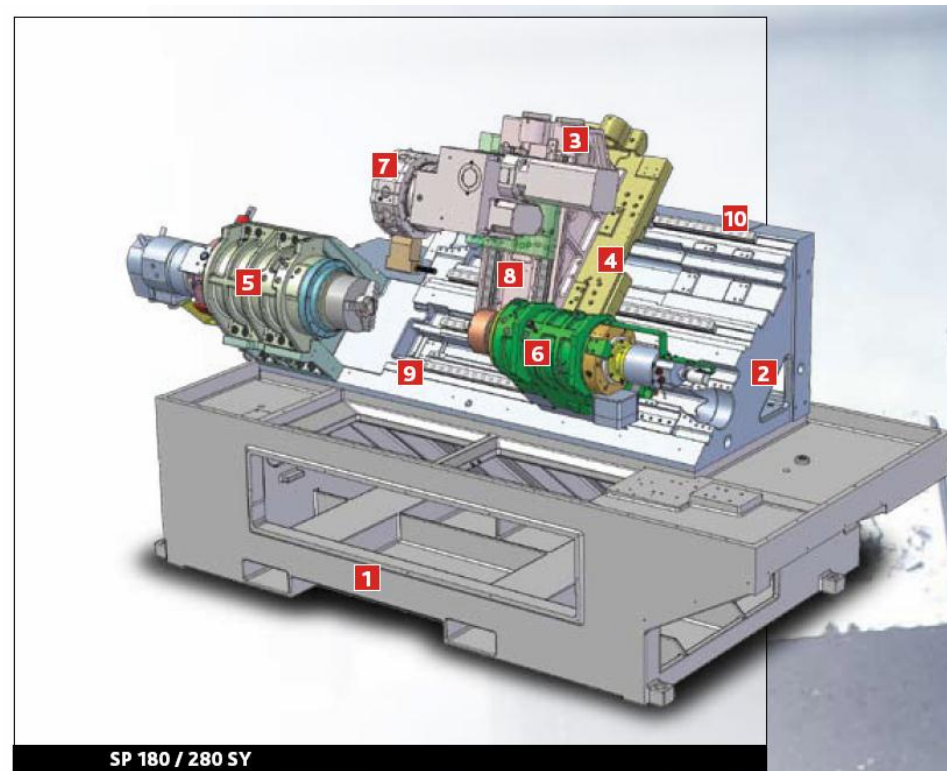
Příslušenství, které rozšiřuje technologické možnosti soustruhů tvoří nožové hlavy k upevnění různých typů nástrojů, přídavná frézovací, vyvrtávací nebo brousící zařízení. Umísťují se na podélný nebo příčný suport stroje.

Speciálním příslušenstvím může být i některý typ automatické výměny nástrojů.

Hrotové soustruhy se vyrábí ve velké škále velikostí. Vývojem a výrobou hrotových soustruhů se zabývá velmi mnoho firem. V rámci ČR jsou nejznámějšími výrobci velkých soustruhů Škoda Machine Tool Plzeň a TOS Čelákovice. Menší stroje všech možných typů, od ručních strojů pro malé výrobce po soustružnická CNC centra, vyrábí celá řada firem, jako zástupce lze jmenovat Kovosvit Mas Sezimovo Ústí,

Příklad malého CNC soustruhu je na obr. 4.12.

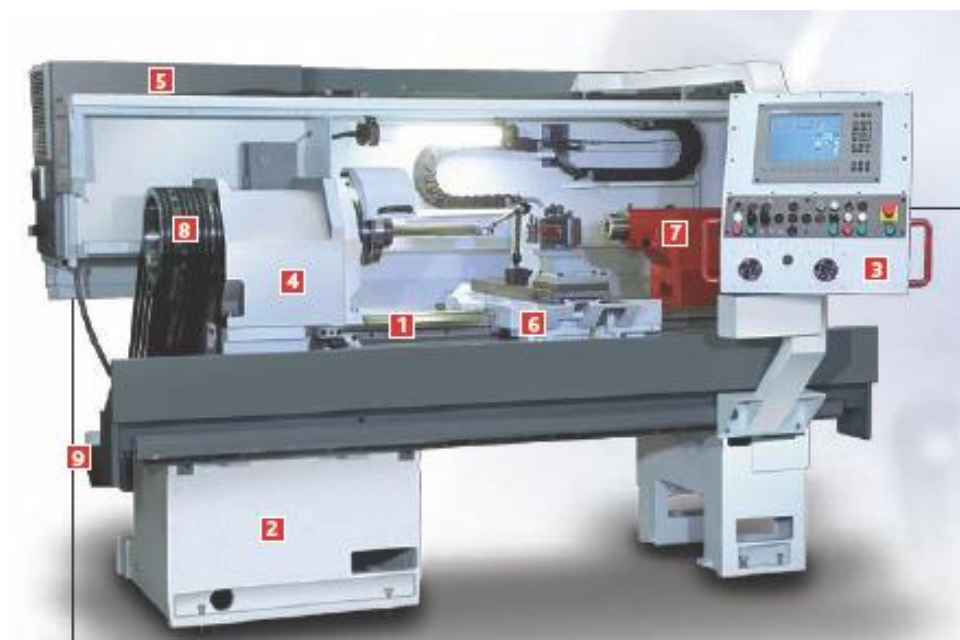




Obr. 4.12 : Stroj SP180/280 Kovosvit Mas [Kovosvit 2010]

Na obrázku je vidět šikmé lože stroje (2) upevněné na základu (1), po kterém je veden koník (6) a suporty (3,4). Vřeteník (5) je upevněn na loži proti koníku. Hlavní pohon je řešen řemenovým převodem, vedení pohybových osy je valivé. Stroj je vybaven sklíčovými pro upnutí obrobku, chlazením nástroje a celou řadou diagnostických členů pro kontrolu nástroje

Ukázkou většího typu CNC soustruhu s oběžným průměrem nad ložem 550 mm od téže firmy může být stroj na obr. 4.13 a 4.14.



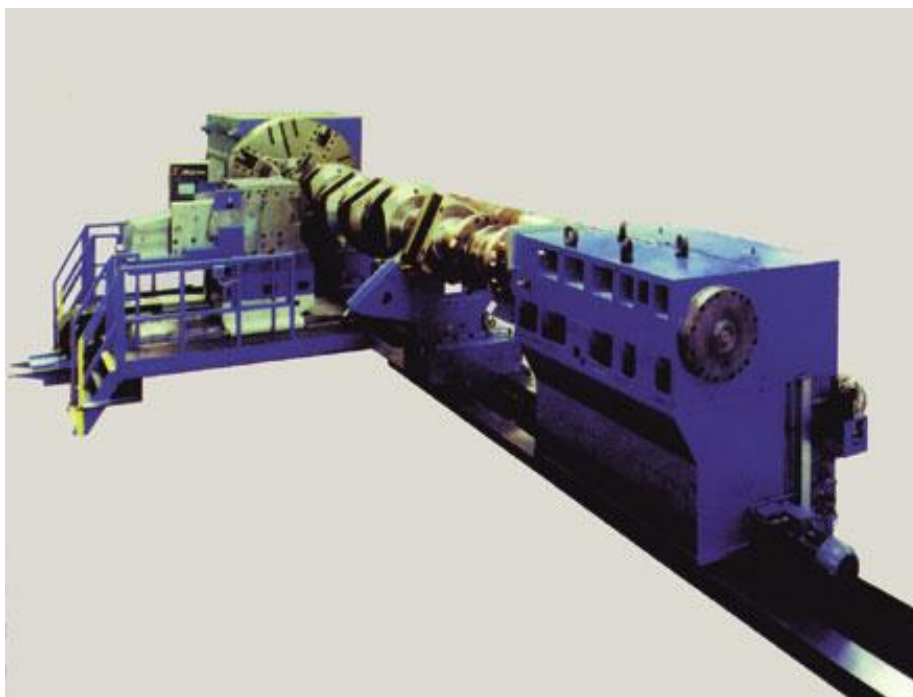
Obr. 4.13 : Stroj MASTURN Kovosvit Mas [Kovosvit 2010]



Obr. 4.14 : Stroj MASTURN Kovosvit Mas – pohled na vřeteník [Kovosvit2010]

Na obrázcích jsou opět vidět hlavní části rámu – lože (1), vřeteník(4) s náhonem hlavního pohonu (8), suport(6) a koník (7). Pohon je řešen regulačním motorem a dvoustupňovou převodovkou (9). Posuvy jsou řešeny kuličkovými šrouby.

Příkladem velkého soustruhu je výrobek firmy Škoda Machine Tool Plzeň na obr. 4.15.



*Obr. 4.15 : Stroj SR4 ze sortimentu ŠMT Plzeň– pohled na koník [ŠMT Plzeň2010]*

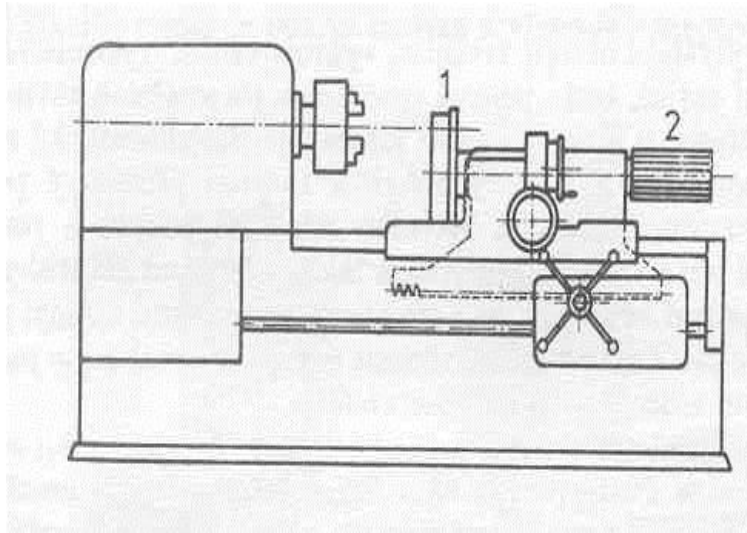
#### *4.2.2 Lící (čelní) soustruhy*

Jsou soustruhy s vodorovnou osou otáčení obrobku , obrobek je upnut v lící desce. Užívají se pro menší součásti plochého tvaru.

Soustruhy nemají koník, lože se suportem tvoří oddělenou část. U těchto strojů jsou časté problémy s upnutím obrobku , který je upnut letmo, což nepříznivě zatěžuje vřeteno stroje. V současné době se vyrábí málo.

#### *4.2.3 Revolverové soustruhy, automaty, poloautomaty*

Revolverové soustruhy jsou koncepčně soustruhy s vodorovnou osou otáčení obrobku, ale nemají koník. Nástroje jsou uloženy ve speciálním zařízení – v revolverové hlavě, kde je uloženo více nástrojů, které se postupně účastní obráběcího procesu. Používají se pro menší součásti, kde je třeba provést více operací ( soustružení, vrtání, řezání závitů). Revolverové hlavy se montují se svislou, vodorovnou i šikmou osou.



Obr. 4.16 : Schéma revolverového soustruhu hlavou vodorovně

Rozměrový parametr :

- Průměr průchozího materiálu ( největší rozměr, který projde vrtáním vřetene)

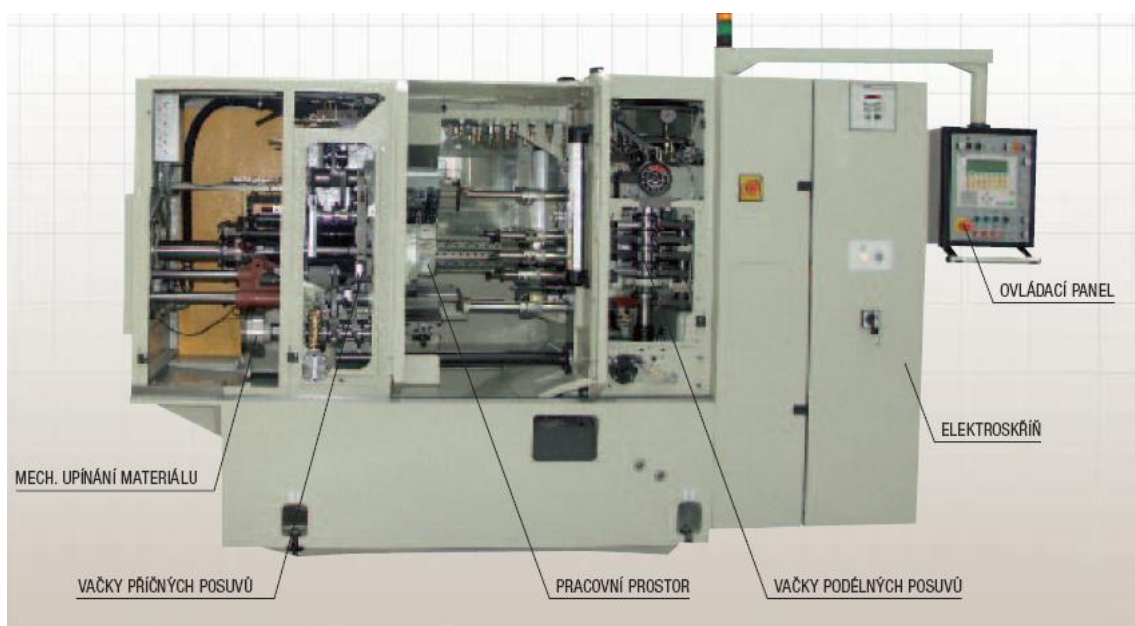
Automat je označení pro stroj, který vykonává pracovní cyklus automaticky. Konceptně je podobný univerzálnímu soustruhu, ale veškeré pohyby automatického pracovního cyklu jsou řízeny, u starších strojů jsou odvozeny od rozvodného vačkového hřídele, který zabezpečuje posuv suportů, u moderních strojů počítačově.

U poloautomatu lze kombinovat automatické operace s ruční prací.

Automaty se mnohdy vybavují více vřeteny najednou, např. 6 – 12 ks .

Příkladem stroje může být stroj MORI-SAY, výrobek firmy Tajmac Zlín na obr. 4.17.

Jedná se o šestivřetenový soustružnický automat s šesti nezávislými podélnými suporty a dalšími suporty pro příčný i křížový pohyb. Řízení je tradiční pomocí vaček.

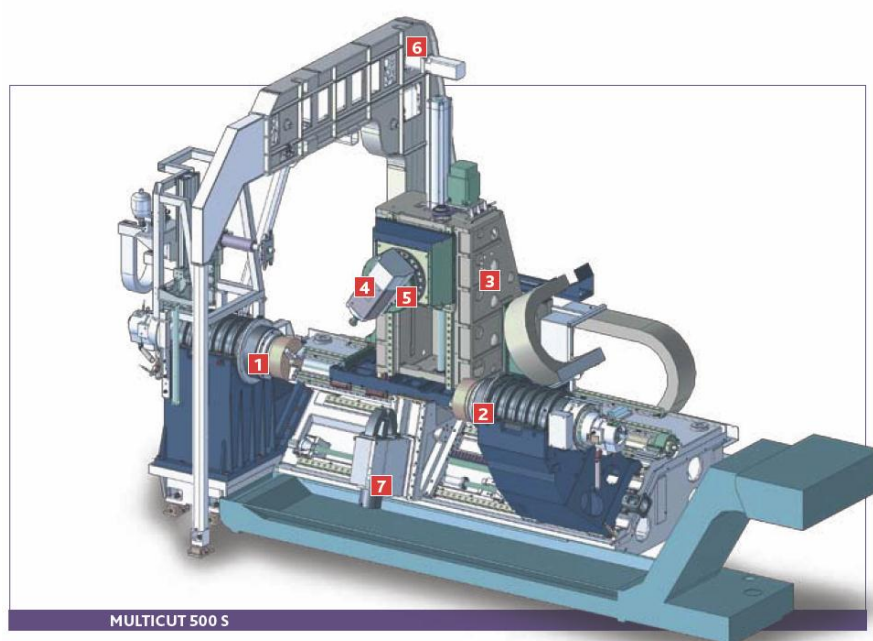


Obr. 4.17 : Šestivřetenový automat MORI-SAY 620 [Tajmac Zlín 2010]

#### 4.2.4 Soustružnická centra s vodorovnou osou

Základním rysem soustružnických center je bezobslužnost pracoviště, takže tyto víceprofesní stroje jsou vybaveny zásobníky nástrojů a automatickou manipulací s obrobky. Jsou určena pro obrábění součástí hřídelového i přírubového charakteru a celou řadu dalších technologických operací.

Příkladem může být stroj MULTICUT od firmy Kovosvit Sezimovo Ústí na obr. 4.18.



Obr. 4.18 : Multifunkční soustružnické centrum MULTICUT[Kovosvit 2010]

Stroj je opatřen dvěma soustružnickými vřeteny (1) a (2). Suport (3) je opatřen svislým zdvihem o velikosti 370 mm a dalším nástrojovým vřetenem schopným natáčení(5,4) pro pětiosé obrábění. Zásobník nástrojů je označen (6).

Rám stroje je tvořen optimalizovanými svařenci o velké tuhosti. Pohybové osy jsou řešeny kuličkovými šrouby. Natáčecí nástrojové vřeteno (zvané osa B) má vlastní pohon průvlekovým motorem. Toto uspořádání umožňuje obrábění součásti více technologickými operacemi a z více stran najednou.

#### 4.2.5 Svislé soustruhy

Svislé soustruhy zvané rovněž karusely jsou soustruhy se svislou osou otáčení obrobku. Obrobek je upnut na vodorovné ploše upínací desky, která se otáčí. Slouží k obrábění



těžkých součástí, jejichž průměr je větší než délka. Svislé soustruhy dále umožňují vrtat, řezat závit, frézovat a brousit a velmi často jsou doplňovány AVN a AVO.

Jejich základní koncepce je :

- Jednostojanové  
Tyto stroje mají otevřený rám , který je nepříznivě namáhán
- Dvoustojanové  
Tyto stroje mají uzavřený rám vyznačující se velkou tuhostí.

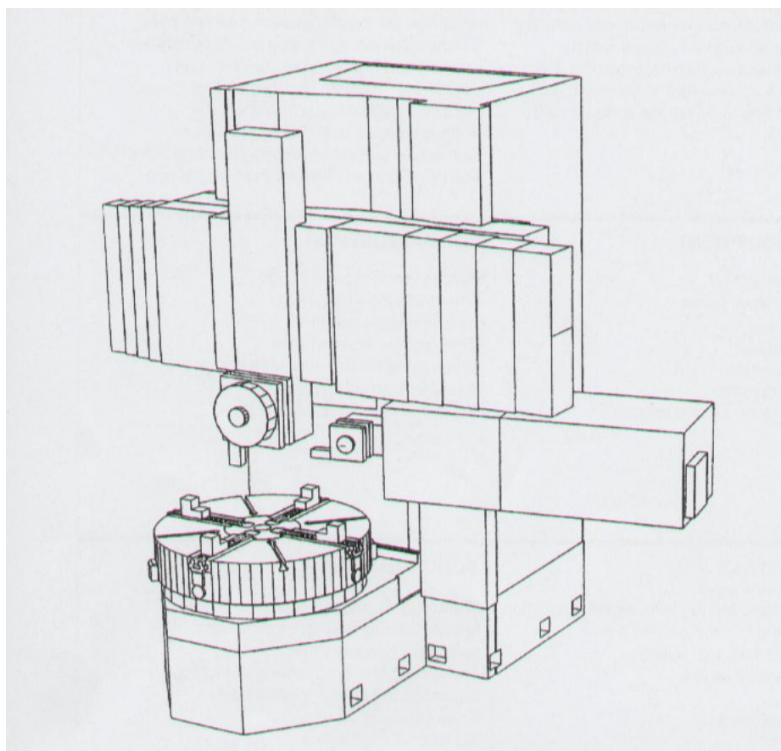
Rozměrový parametr :

- Oběžný průměr ( průměr soustružení nejvíce vysunutým nástrojem)
- Výška soustružení ( největší vzdálenost mezi upínací deskou a nástrojem)

Základními díly rámu svislého soustruhu jsou :

- stojan nebo dva,
- pohyblivý příčnick a pevná příčka
- suporty se smykadly,
- lože s rotační upínací deskou

jak je patrné ze schématu na obr. 4.19.



*Obr. 4.19 : Schéma karuselu [TOS Hulín 2010]*

**Rámy** karuselů jsou většinou lité. Velmi důležitým konstrukčním celkem je upínací deska karuselu, která musí být velmi kvalitně axiálně uložena. Mohutné stojany slouží k vedení

příčnicku, nepohyblivá příčka má zpevňující funkci. Příčník nese výsuvné smykadlo. Pro zefektivnění práce bývají připojeny na stojany pomocné vřeteníky, které umožní opracovat upnutý obrobek dalšími technologiemi.

Pro **hlavní pohon** upínací desky jsou používány regulační střídavé elektromotry, posuvové mechanismy jsou nejčastěji provedeny jako kuličkové šrouby.

**Vedení** smykadla a vřeteníků bývá valivé. Upínací deska je z důvodu přesnosti práce často uložena na hydrostatických kruhových vedeních..

Karusely vyrábí firma TOS Hulín, v jedno i dvoustojanovém provedení. Příkladem dvoustojanového provedení je stroj POWERTURN na obr. 4.20.



*Obr. 4.20 : Svislý soustruh POWERTURN – TOS Hulín[TOS Hulín 2010]*

Velké karusely s průměrem otočné desky od 4 – 8 m vyrábí ČKD Blansko. Používají se pro obrábění náročných dílů vodních turbin. Stroj s označením SKD 50 je na obr. 4.21.

Jedná se o dvoustojanový svislý soustruh s maximálním průměrem obrobku 7 m a maximální hmotnosti 10 t.



*Obr. 4.21 : Dvoustojanový svislý soustruh SKD 50 – ČHD Blansko[ČKD Blansko 2010]*

### **4.3 Vrtačky**

Slouží k obrábění děr šroubovitým vrtákem, výhrubníkem a výstružníkem. Mají rovněž zařízení k řezání závitů. Obrobek je upnut, pohyby rotační i svisle posuvný koná nástroj.

Rozměrový parametr :

- vrtací průměr ( velikost otvoru, který lze vrtat v oceli běžných mechanických vlastností)

lze doplnit eventuálně možným poloměrem otáčení, výškovou přestavitelností vřeteníku

Hlavní konstrukční uzly stroje :

- Rám ( stojan nebo sloup, rameno, vřeteník, pracovní stůl nebo lože),
- Pohonné mechanismy, posuvové mechanismy



- Spojení dílů (vedení kluzná, uložení valivá)

Podle koncepce se dělí na stolní, sloupové, stojanové, otočné.

#### 4.3.1 Stolní a sloupové vrtačky

Slouží pro vrtání menších otvorů. Osa otáčení nástroje je svislá. Obrobek se upíná na desku nebo pracovní stůl. Stolní vrtačky se vyrábí do 20 mm průměru vrtání, sloupové do 60 mm. Sloupové vrtačky mají základovou desku, nosný sloup a posuvný vřeteník s valivým uložením vřetene. Pohonem bývá elektromotor, v lepším provedení regulační. Řazení stupňů pohonu se většinou provádí přesuvnými koly ruční pákou. Používají se pro jednoduché zámečnické práce.



Obr. 4.22 : Sloupová vrtačka [Vrtačky 2010]

#### 4.3.2 Stojanové a otočné vrtačky

Tyto vrtačky slouží pro vrtání větších otvorů - do 80 mm. Osa otáčení nástroje je svislá. Po stojanu je vedeno otočné rameno, které nese posuvný vřeteník. Kombinací těchto poloh lze nastavit nástroj do různých poloh při jednom upnutí obrobku. Stojan stroje je při větším vyložení vřeteníku nepříznivě namáhán, někdy je nutno řešit vyvážení vřetene pružinami. Uložení vřeten je na vrtačkách nejčastěji valivé, pohony jsou řešeny kombinací elektromotoru a vícestupňové převodovky. Pro posuvy vřeteníku může být použito kuličkových šroubů nebo pastorku s hřebenem.

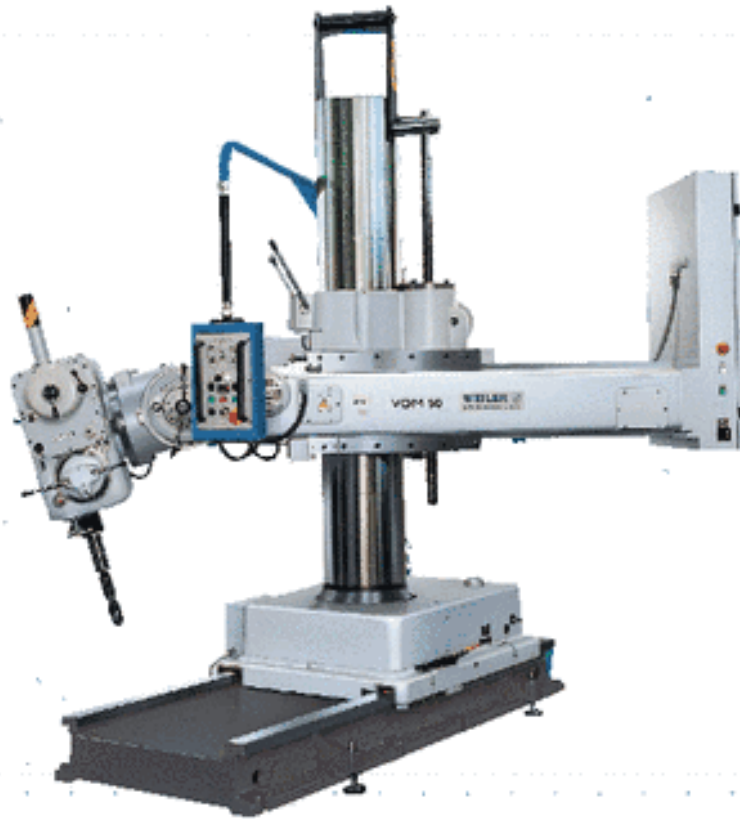
Na obr. 4.23 je otočná vrtačka ze sortimentu Kovosvitu MAS.



*Obr. 4.23 : Otočná vrtačka [Kovosvit 2010]*

#### *4.3.3 Montážní vrtačky*

U montážních vrtaček je vřeteník uložen na přírubě naklápěcí hlavice na konci ramene, takže má vysokou pohyblivost a může zaujmout v prostoru libovolnou polohu. Slouží k vrtání a řezání závitů na rozměrných a těžkých dílech, ke kterým je dopravena jeřábem.



*Obr. 4.24 : Montážní vrtačka VOM 50[Weber 2010]*



*Obr. 4.25 : Montážní vrtačka s pojezdem VSPQ 63 CNC [Weber 2010]*

Pojízdné vrtačky mohou být vybaveny řídicím systémem, jednoduchým zásobníkem nástrojů a lehčími přídatnými frézovacími zařízeními, což rozšiřuje jejich meze použitelnosti.

#### **4.3.4 Víceřetenové vrtačky, souřadnicové vrtačky**

Tyto stroje tvoří základy jednoúčelových výrobních linek. Na souřadnicových vrtačkách lze obrábět otvory bez přípravků a bez předchozího orýsování. Obrobek se upevňuje na souřadnicový stůl, který se pohybuje v ose X a Z pomocí kuličkových šroubů a je valivě uložen.

Řízení pohybu stolu je možné ručně z panelu řídicího systému, nebo automaticky podle předem připraveného NC programu. Opakovaná přesnost nastavení je cca 0,01 mm.

Vícevřetenové vrtačky mají až 70 nástrojů, takže mohou vrtat velký počet otvorů současně. Používají se v hromadné výrobě.

Českými výrobci vrtaček jsou např. firma Heltos Slavonice, která vyrábí menší stroje, Kovosvit MAS a Weiler Holoubkov.

#### 4.4 Vodorovné vyvrtávačky – horizontky

Vodorovné vyvrtávačky jsou velmi univerzální stroje. Hlavním řezným pohybem je otáčení. Otáčí nástroje, posuvné pohyby může konat nástroj i upnutý obrobek. Na stroji lze:

- vrtat šroubovým vrtákem, vystružovat,
- vyvrtávat přesné otvory nožem
- srovnávat čelní plochy
- řezat závity
- frézovat čelními frézami
- soustružit válcové i kuželové plochy vnější i vnitřní
- soustružit čelní plochy
- frézovat a vyvrtávat s využitím speciálních zařízení

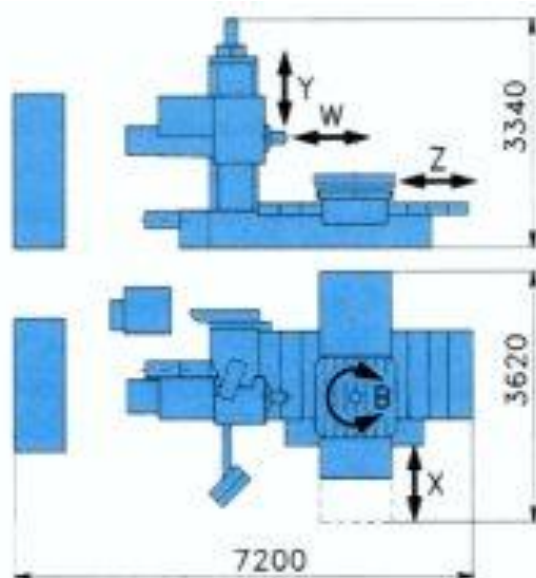
Rozměrový parametr :

- Vnější průměr vrtacího vřetene - podle průměru vřetene se rozlišují stroje malé do 80 mm, střední do 160 mm a těžké do 300 mm

Podle koncepce se horizontky dělí na stolové, deskové, s příčným stolem a přenosné. Hlavními českými výrobci horizontek je TOS Varnsdorf a Škoda Machine Tool Plzeň.

##### 4.4.1 Stolové horizontky

**Rám** stolové horizontky se skládá z pevného lože (3), stojanu(2), který může být pevný nebo přestavitelný. Po stojanu se svisle pohybuje posuvný vřeteník(1) s vodorovně výsuvným smykadlem nebo pinolou. Ze smykadla se vysouvá vrtací a frézovací vřeteno. Obrobek je upnut na stole(4), který může konat podélný i příčně posuvný pohyb, díky křížově uspořádaným ložím. Stůl může být navržen i otočný, jak je patrné z obr. 4.26



*Obr. 4.26 : Nákres stolové vodorovné vyvrtávačky s označením pohybových os*

*[TOS Varnsdorf 2010]*

Na obr. 4.27 je obrázek stolové vyvrtávačky .



*Obr. 4.27 : Stolová vodorovná vyvrtávačka [TOS Varnsdorf 2010]*

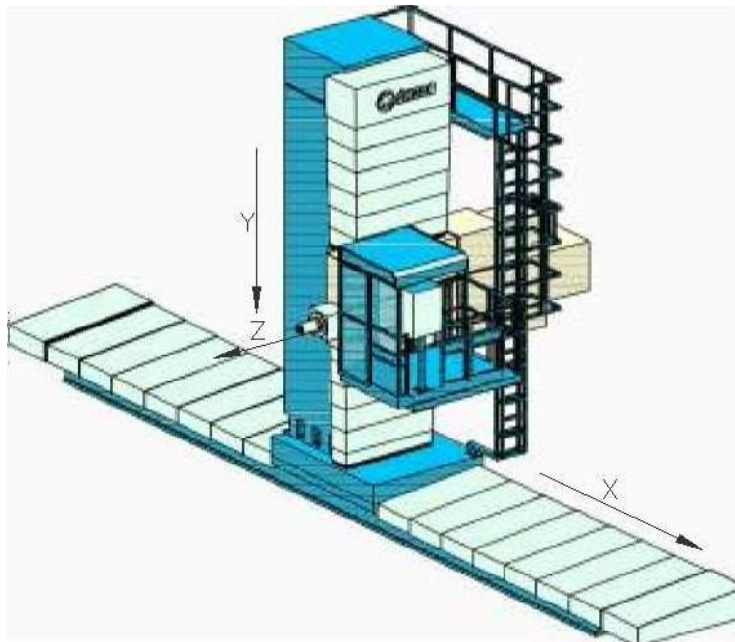
Lože je hlavní nosný díl rámu. Bývá nízké, ve vodorovném provedení se dvěma dráhami pojezdu stolu. Z důvodu vysoké tuhosti je nutno ho žebrovat. Nejčastější je použití litinových odlitků, méně časté je využití svařenců na všech dílech rámu horizontky. Stojan stroje je dutý odlitek, bohatě žebrovaný, který má vodící dráhy pro svislý posuv vřeteníku, uvnitř stojanu je umístěno závaží pro vyrovnaní tíhy vřeteníku. Z vřeteníku se vysouvá vřeteno, které je u některých typů stroje podepřeno tělesem smykadla nebo pinoly.

**Pohony** horizontek jsou řešeny regulačními motory s následnými převodovými mechanismy. **Posuvy** jsou navrhovány regulačními elektromotory s kuličkovými šrouby, u velkých pojezdů se uplatní mechanismus pastorek a hřeben. Vřetena jsou uložena do válečkových dvouřadých ložisek, častěji do speciálních vřetenových ložisek s kosoúhlým stykem. U CNC strojů je samozřejmostí přesné odměřování polohy a bohaté příslušenství ve formě přídavných zařízení a automatických výměn nástrojů.

### Deskové horizontky

**Rám** deskových horizontek má jiné uspořádání, hlavním znakem je stojan posuvný po loži. Po stojanu se svisle pohybuje vřeteník s vodorovně výsuvným smykadlem nebo pinolou, ze kterého se vysouvá ještě vřeteno. Obrobek se upíná na zvláštní deskové pole nebo na otočný stůl, který pak tvoří se strojem technologické pracoviště. Schéma deskové vyvrtávačky je na obr. 4.28.

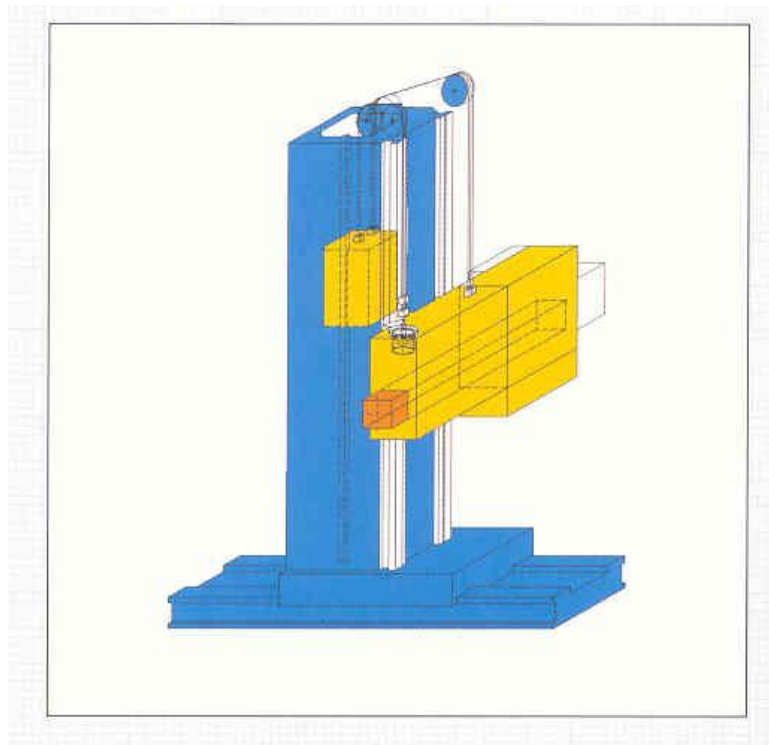
Lože deskové vyvrtávačky je tuhý, bohatě žebrovaný odlitek ze šedé litiny, výjimečně ocelový svařenec. Lože je vodorovné se dvěma hlavními vodícími plochami. Stojan deskových vyvrtávaček je dutý, velmi tuhý odlitek, který nese vřeteník a stejně jako u stolové horizontky bývá uvnitř stojanu nebo na jeho zadní stěně umístěno závaží pro kompenzaci tíhy vřeteníku stroje. U deskových horizontek je nutné velmi dobře optimalizovat tuhost stojanu vůči jeho hmotnosti, protože se jedná o pohyblivý díl rámu. Tuhost a dynamická stabilita stojanu je velmi žádoucí, na druhé straně jeho velká hmotnost by způsobila vyšší energetické náklady na jeho posuv, vyšší nároky na parametry posuvových mechanismů a rovněž by vzrostlo negativní působení setrvačných sil při rozjezdech a brždění pojezdu stojanu. Z tohoto důvodu bývá stojan stroje pečlivě optimalizován pomocí MKP.



Obr. 4.28 : Schéma deskové vodorovné vyvrtávačky s označením pohybových os [ŠMT Plzeň]

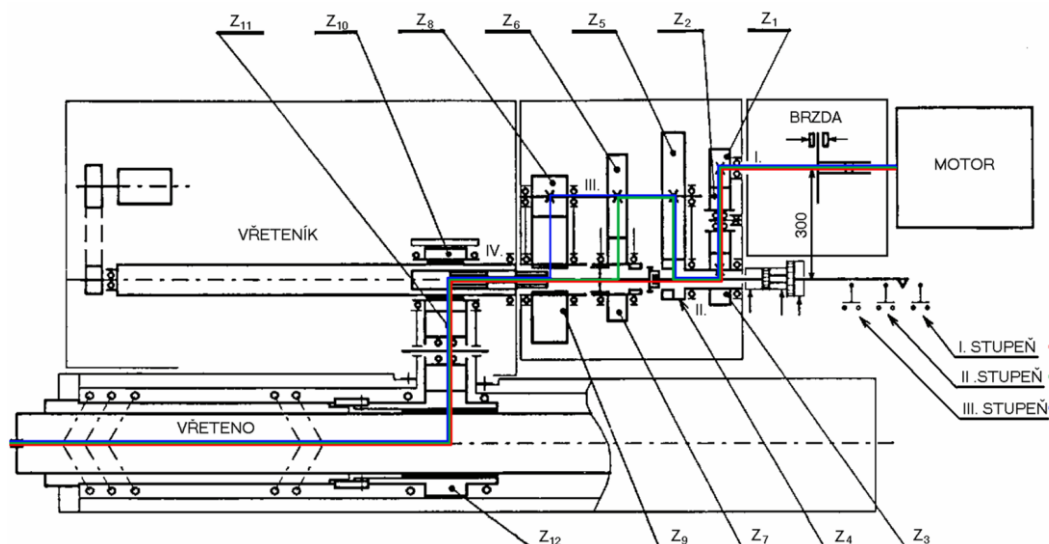
Na obr. 4.29 je patrné, jak je realizováno zavěšení vřeteníku a jeho vyvažování závažím buď uvnitř stojanu nebo na jeho zadní stěně. Z vřeteníku se vysouvá smykadlo nebo pinola. Smykadlo nebo pinola je hranolový díl, který při svém maximálním výsuvu podepírá vysunuté vřeteno, zvyšuje jeho tuhost a umožňuje tak, aby výsuv nástroje byl co největší. Rozdíl mezi smykadlem a pinolou je jen ve způsobu realizace výsuvu, u pinoly zůstává mechanismus výsuvu ve vřeteníku, u smykadla se pohybuje spolu s tělesem.

Vlivem tíhy a posléze i řezných sil dochází k poklesu konce vřetene, což je nutné kompenzovat. Děje se tak na základě závěsu na přední straně vřeteníku, nebo jinými, většinou patentovanými způsoby. Výsledky kompenzace průhybu konce vřetene jsou jedním z ukazatelů kvality stroje.



Obr. 4.29 : Zavěšení vřeteníku [ŠMT Plzeň]

**Hlavní pohon** horizontek je řešen regulačním elektromotorem, v případě velkých strojů je doplněn dvou- třístupňovou převodovkou, která slouží k rozšíření spektra výstupních otáček a momentů vřetene. Řazení stupňů se provádí kombinací přesuvných kol a kol se spojky.



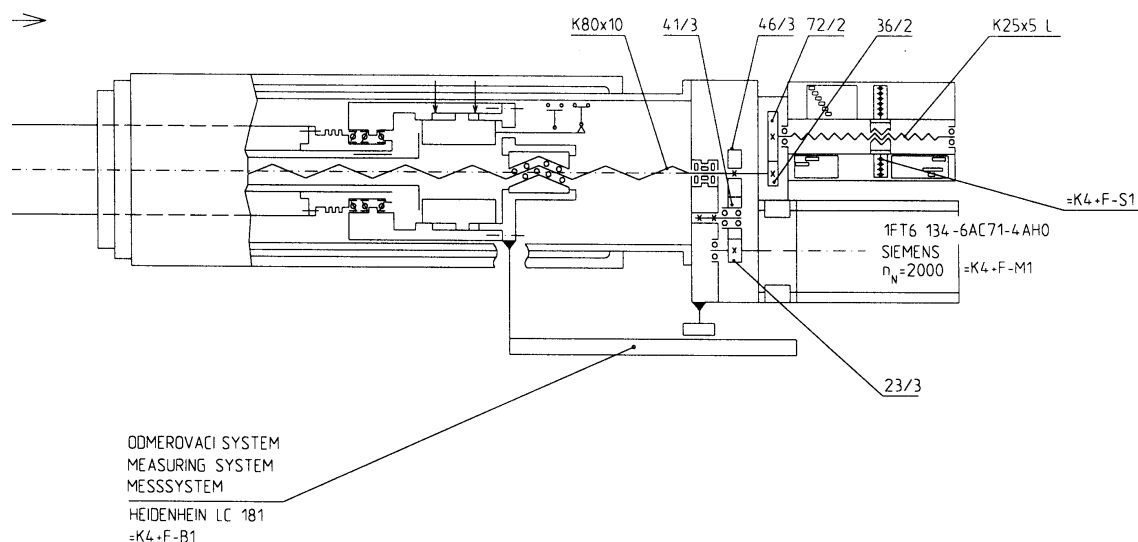
Obr. 4.30 Schéma hlavního pohonu horizontky [ŠMT Plzeň]

Hlavní pohon horizontky je umístěn ve vřeteníku stroje, což představuje jistou konstrukční náročnost, protože prostor pro pohon je značně omezen. Hnací člen je uložen v zadní části



vřeteníku. Vzhledem k tomu, že vřeteník se pohybuje po stojanu, je rovněž nutno navrhnout hlavní pohon nejen z hlediska jeho tuhosti, ale i hmotnosti.

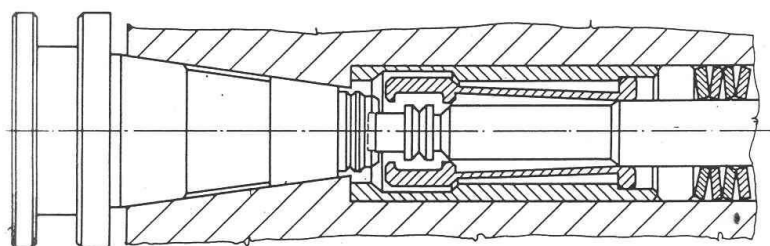
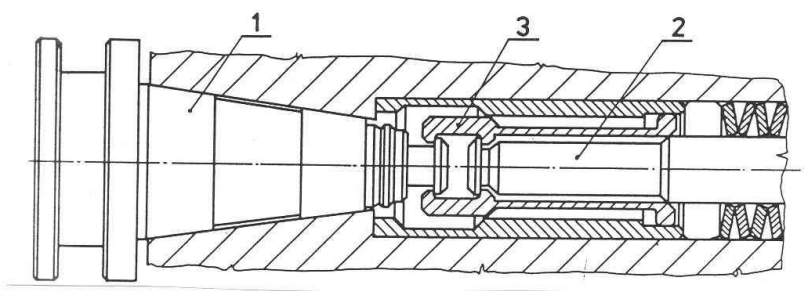
**Posuvový mechanismus** pro pojezd stroje v ose X je umístěn ve spodku stojanu a podle délky potřebného pojezdu je řešen kuličkovým šroubem, nebo pro větší délky hřebenem a dvěma předepnutými pastorky. Posuvový mechanismus pro posuv v ose Y je většinou řešen kuličkovým šroubem, užívá se obojího provedení, s rotujícím šroubem a drženou maticí i s rotující maticí a drženým šroubem. Výsuv smykadla ( pinoly) a vřetene je nejčastěji navržen kuličkovým šroubem.



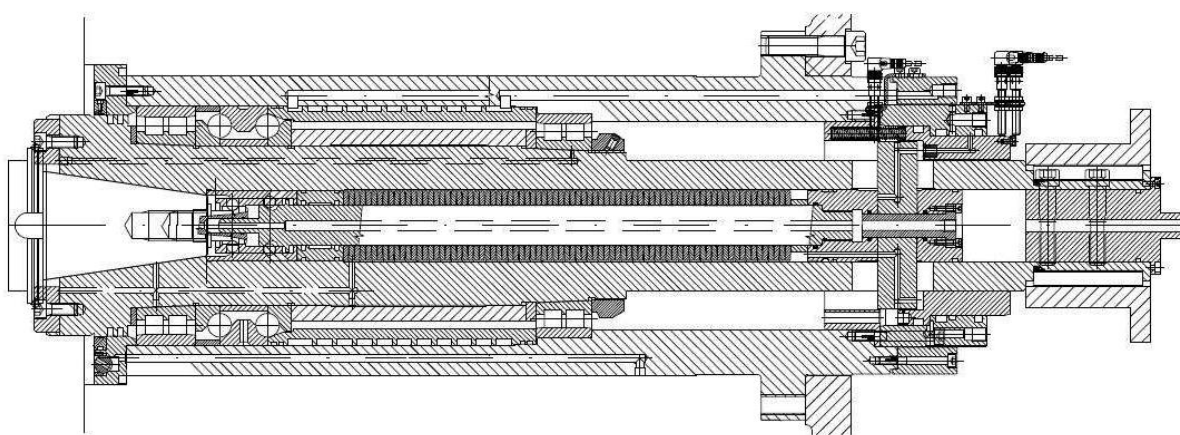
Obr. 4.31 Schéma výsuvu vřetene horizontky [ŠMT Plzeň]

**Vedení** jsou na horizontkách u menších strojů valivá s užitím lineárních vedení vyráběných známými firmami ( Schneberger, INA..). U velkých strojů bývá vedení kombinované. Na loži hlavní tíhu stroje nesou shora a na bočních plochách vedení hydrostatická, spodní vedení bývá valivé. Pohybová osa Y má u velkých strojů rovněž kombinované vedení. Výsuv pinoly je u menších strojů opět řešen valivými vedeními, u velkých se používá hydrostatické vedení. Obecně lze říci, že použití valivých vedení je omezeno jejich únosností. Hydrostatická vedení jsou velmi přesná, tuhá, ale náročná na výrobu i na provoz, protože je nutno realizovat prostor na umístění hydraulických agregátů pro jejich napájení.

**Uložení** vřetene je dalším konstrukčním uzlem, který velmi ovlivňuje výslednou kvalitu stroje. Vřetena horizontek se ukládají do valivých ložisek, většinou do speciálních vřetenových ložisek kuličkových s kosoúhlým stykem v různých kombinacích. Ve vřetení je speciálním upínačem upnut nástroj. Upnutí je většinou realizováno kleštinami, které působením hydraulické síly upnou nástroj. Upnutí je jištěno pružinami, jak je patrné z obr. 4.32.



Obr. 4.32: Upnutí nástroje do vřetene [ŠMT Plzeň]



Obr. 4.33: Příklad uložení vřetene [TOS Kurim2010]

Příslušenství

Vodorovné vyvrtávačky jsou velmi často doplňovány celou řadou příslušenství, které jednak k rozšiřují technologické možnosti stroje a jednak zkracují mezioperační čas. Automatické výměny nástrojů jsou na horizontkách většinou řešeny skladovacím zásobníkem nástrojů, který bývá umístěn na zadní stěně stojanu stroje. Vozík výměny nástrojů se pohybuje na svém vedení na stěně stojanu a dopravuje potřebný nástroj do upínače ve vřetení. Otočným chapačem je pak provedena programovaná výměna nástroje a nepotřebný nástroj je opět odvezen do zásobníku. Zásobník tvoří řetěz, do kterého jsou uloženy nástroje buď v technologickém pořadí, v jakém budou na stroji používány, nebo jsou vybírány ze zásobníku podle svých kódů.



*Obr. 4.34: Jezdec a chapač výměny nástrojů [ŠMT Plzeň 2010]*



Obr. 4.35: Zásobník výměny nástrojů [ŠMT Plzeň 2010]

Přídavnými technologickými zařízeními jsou nejčastěji frézovací a vyvrtávací zařízení. Přídavná frézovací zařízení umožňují na vodorovné vyvrtávače frézovat celou řadou nástrojů. Připevňují se na čelo smykadla buď šrouby, nebo automatickými upevňovači. Frézovací zařízení jsou buď jednoosá, nebo natáčecí ve dvou osách. Zcela speciální frézovací zařízení umožňují otočný i výkyvný pohyb, takže lze nástroj natočit do velké škály poloh.



Obr. 4.36: Přídavná frézovací zařízení ze sortimentu ŠMT Plzeň [ŠMT Plzeň 2010]

Vyvrtačací zařízení slouží k vyvrtavání otvorů o velkém průměru. Nasazují se také na čelo smykadla. Na vyvrtačacím zařízení jsou posuvně uloženy proti sobě dva nože a při rotaci zařízení je vyvrtaván otvor. Příklad vyvrtačacího zařízení je na obr. 4.37.



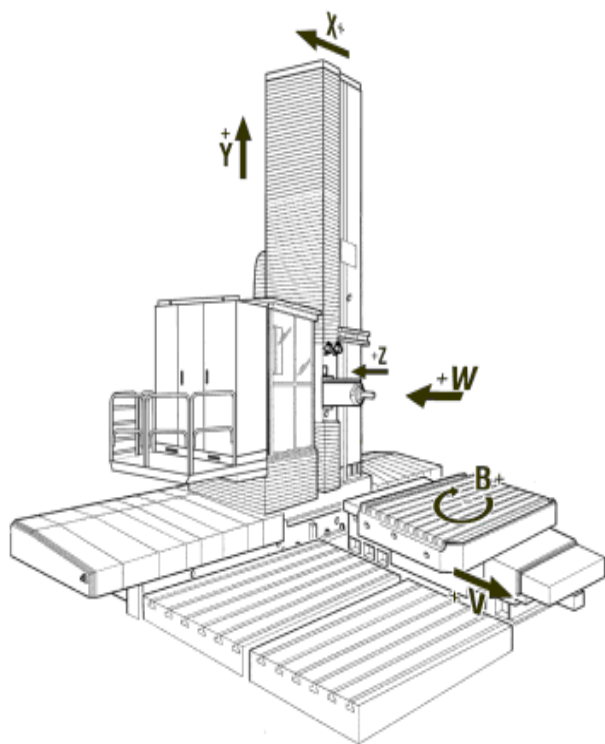
*Obr.4 .37: Přídavné vyvrtačací zařízení ze sortimentu ŠMT Plzeň [ŠMT Plzeň 2010]*

Všechna tato přídavná zařízení jsou na pracovišti horizontky ukládána do speciálních úložišť, odkud jsou strojem automaticky nabírána a upínána. Automatické výměny příslušenství i nástrojů, integrované odměřování pohybů stroje a počítačové řízení chodu a práce stroje naplňují znaky bezobslužných velmi moderních pracovišť.

Deskové vyvrtačky jsou velmi často doplňovány speciálními **otočnými stoly**, které slouží k upnutí obrobku a k jeho polohování do potřebné pozice.

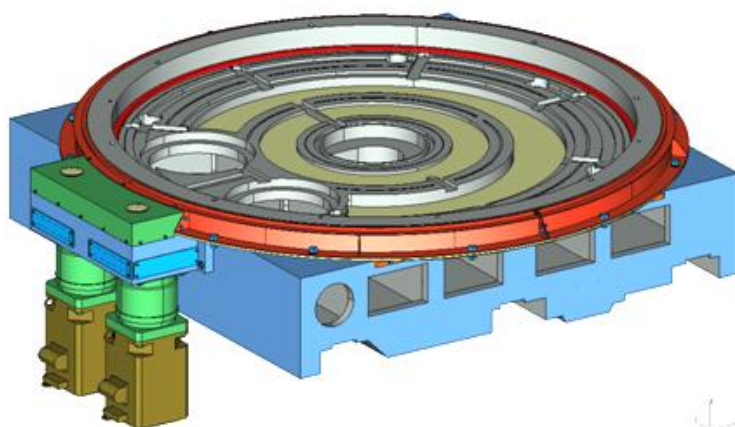
U otočných stolů je rozměrovým parametrem jednak velikost upínací desky a také únosnost otočného stolu. Jejich **rám** se skládá z lože, posuvných saní a otočné desky. Většinou se umísťují na vlastní základ, který je kolmý na základ vyvrtačacího stroje, jak je patrné z obr. 4.38.

Lože otočného stolu je odlitek ze šedé litiny, u menších stolů se používá i ocelový svařenec. Horní vedení bývá podle únosnosti stolu v 2-5 dráhovém provedení. U menších stolů je valivé, u velkých otočných stolů je často hydrostatické. Mezi vnitřními drahami je uložen posuvový mechanismus pro pojezd saní – kuličkový šroub, nebo pro delší pojezd pastorek a hřeben.



Obr. 4.38: Desková vyvrtávačka s otočným stolem [TOS Varnsdorf 2010]

Saně otočného stolu jsou nesymetrický komplikovaný odlitek, který má na své spodní části přímočaré vedení a na horní části jsou kruhové dráhy pro otáčení desky ( pro velké stoly opět většinou hydrostatické ) - pohled na saně shora je na obr. 4.39.

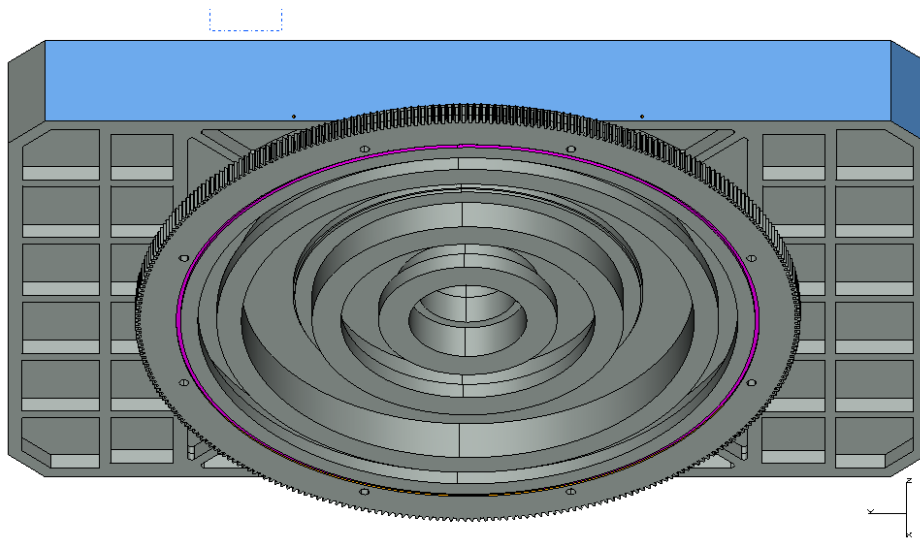


Obr.4.39 : Saně otočného stolu se dvěma motory

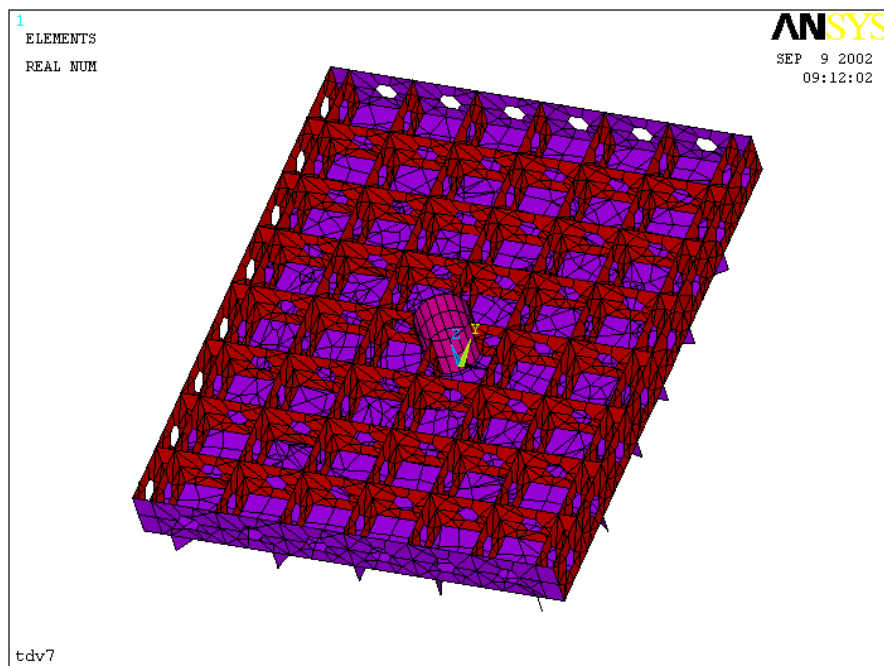
Deska otočného stolu je nízká, její délka a šířka výrazně převyšují výšku. Z toho důvodu bývá velmi bohatě žebrována a je používán i kvalitnější materiál pro odlitky, temperovaná litina

nebo litá ocel, protože je žádoucí, aby tuhost desky byla v každé poloze otočení stolu vysoká a nedocházelo po zatížení obrobkem k nadměrnému průhybu nepodepřených rohů desky.

Na obr. 4.40 je pohled odspodu na desku otočného stolu.



Obr. 4.40 : Deska otočného stolu

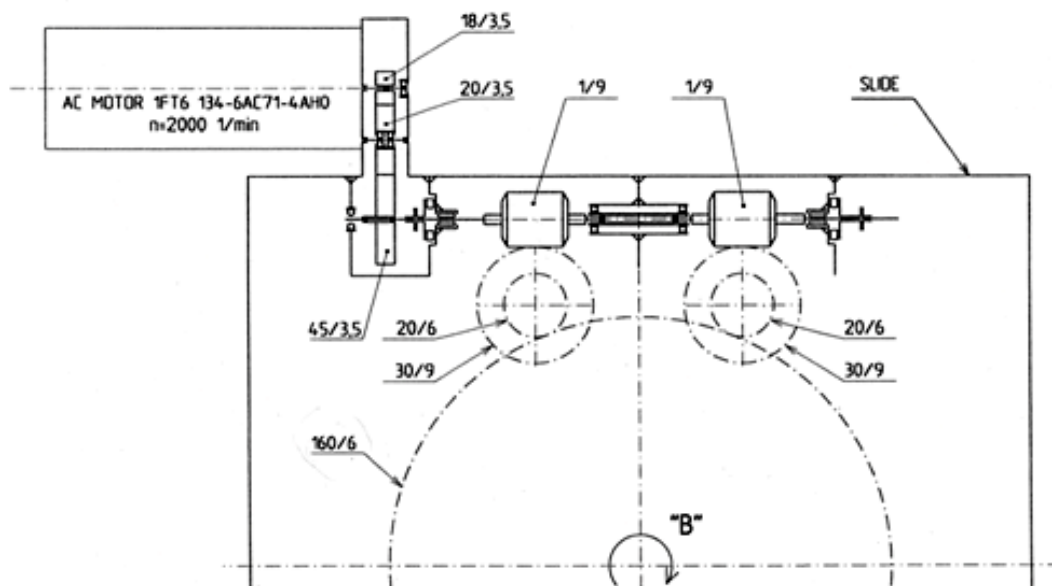


Obr. 4.42 – Příklad žebrování otočné desky stolu

V saních otočného stolu je umístěna pohonná jednotka pro otáčení desky se svým převodovým mechanismem. Otáčení desky je realizováno ozubeným věncem na obvodu desky, který je poháněn dvěma předepnutými pastorky. Předepnutí je velmi důležité pro přesné polohování stolu, tj. zastavení na definované pozici. Pokud by v kinematickém řetězci pohonu otáčení byly vůle, přesné najetí by nebylo realizovatelné. Předepnutí se provádí elektricky nebo mechanicky. Při elektrickém předepnutí systémem Master – slave jsou použity dva motory, každý pastorek má samostatný motor, přičemž pomocný motor slouží k vymezení vůlí. Použije-li se jen jeden motor, jsou pastorky předepnuté mechanicky

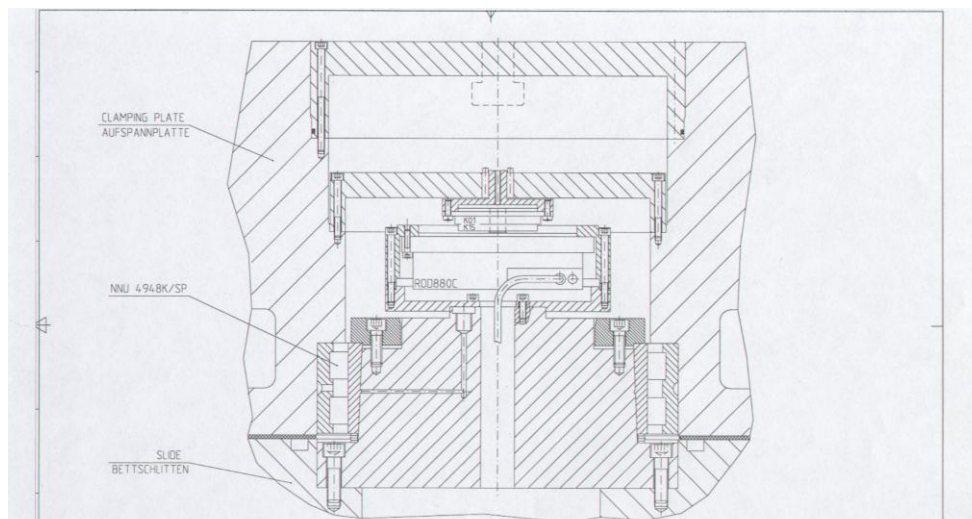


pomocí pružin. Jiný systém umožňuje využít posuvných šnekových mechanismů. K předepnutí dojde axiálním posunutím obou šneků na drážkovaných hřídelích, jak je vidět z obr. 4.41.



Obr.4.41 : Mechanismus otáčení desky s posuvnými šneký[ŠMT Plzeň]

Uprostřed saní je centrální ložisko pro otáčení desky. Centrální uložení je valivé do přesných, např. válečkových ložisek. Příklad uložení středu je na obr. 4.42.



Obr.4.42 : Příklad uložení středu desky stolu [ŠMT Plzeň]

Otočné stoly jako příslušenství horizontek většinou produkují výrobci horizontek, menší otočné stoly používané jako přípravky nabízí řada specializovaných výrobců.

## 4.5 Frézky



Na frézkách lze pracovat sousledným i nesousledným frézováním a vykonávat řadu dalších technologických operací. Hlavní rotační pohyb koná nástroj, posuvné pohyby koná většinou obrobek. Konvenční frézky mají málo shodných konstrukčních znaků.

#### 4.5.1 Konzolové frézky

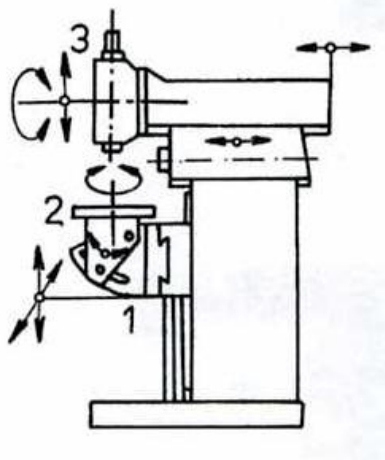
Konzolové frézky se užívají pro běžné frézovací operace, k obrábění rovinných i tvarových ploch menších a středních součástí. Navrhují se v provedení se svislou i vodorovnou osou vřeteně. Výrobce menších frézek je v Česku TOS Olomouc nebo Strojtos Lipník.

Rozměrový parametr :

- šířka stolu

**Základem rámu** konzolové frézky je podstavec s pevně přišroubovaným stojanem. Charakteristickým znakem rámu je svisle přestavitelná konzola (1), která se pohybuje po stojanu. Konzola nese příčné křížové saně se stolem(2).

Vřeteně je uloženo vodorovně nebo svisle . U univerzálních konzolových frézek je možno přestavit polohu vřeteníku (3) a rovněž stůl stroje je otočný. Frézky se vyrábí v ručním i CNC provedení v mnoha velikostech. Schéma konzolové frézky je na obr. 4.43.

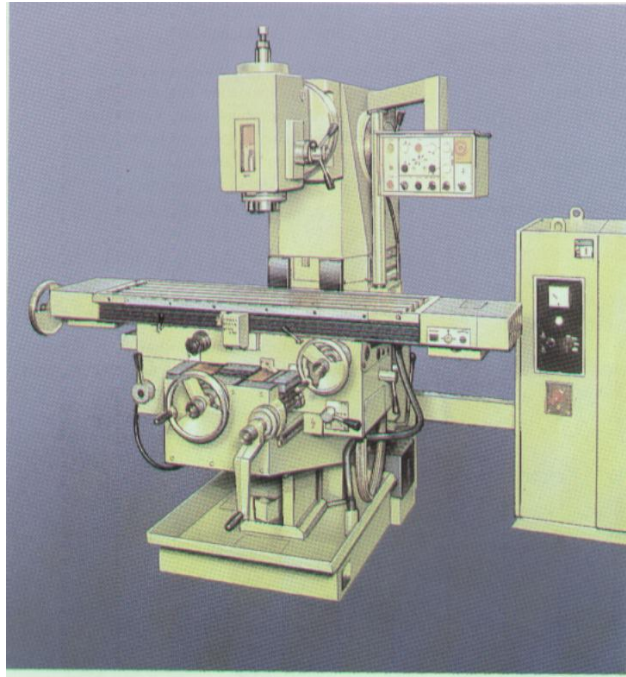


Obr. 4.43 : Schéma konzolové frézky v provedení se svislým vřetenem [Ženíšek 1990]

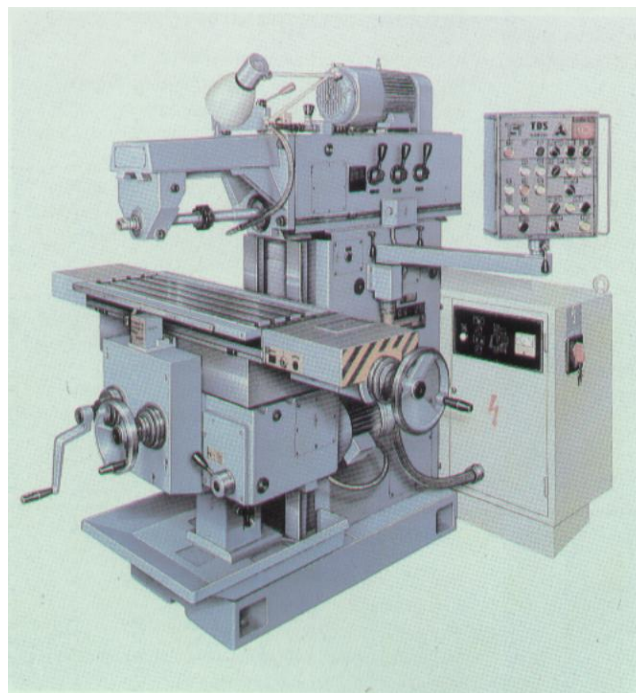
**Pohony a posuvy** frézek jsou realizovány u jednoduchých provedení stupňovou změnou otáček s přesuvnými koly s reverzací pohybu motorem, u CNC řízených strojů se používají regulační motory s plynulou změnou otáček. Posuvy se realizují většinou pohybovými šrouby.

**Vedení** bývá kluzné nebo valivé, uložení vřeten převládá valivé. Frézky se doplňují přídatnými frézovacími zařízeními, které umožňují vykonávat i speciální frézovací operace.

Na obr. 4.44 je starší konzolová frézka v provedení se svislým vřetenem, na obr. 4.45 v provedení s vodorovným vřetenem.



*Obr. 4.44 : Konzolová frézka v provedení se svislým vřetenem[Katalog2001]*



*Obr.4.45 : Konzolová frézka v provedení s vodorovným vřetenem – výrobce TOS Olomouc [Katalog2001]*



*Obr. 4.46 Moderní konzolová frézka ( výrobce Strojtos Lipník) – na vřeteníku je připevněno  
přídavné frézovací zařízení. [Strojtos2010]*

#### 4.5.2 Stolové ( ložové ) frézky

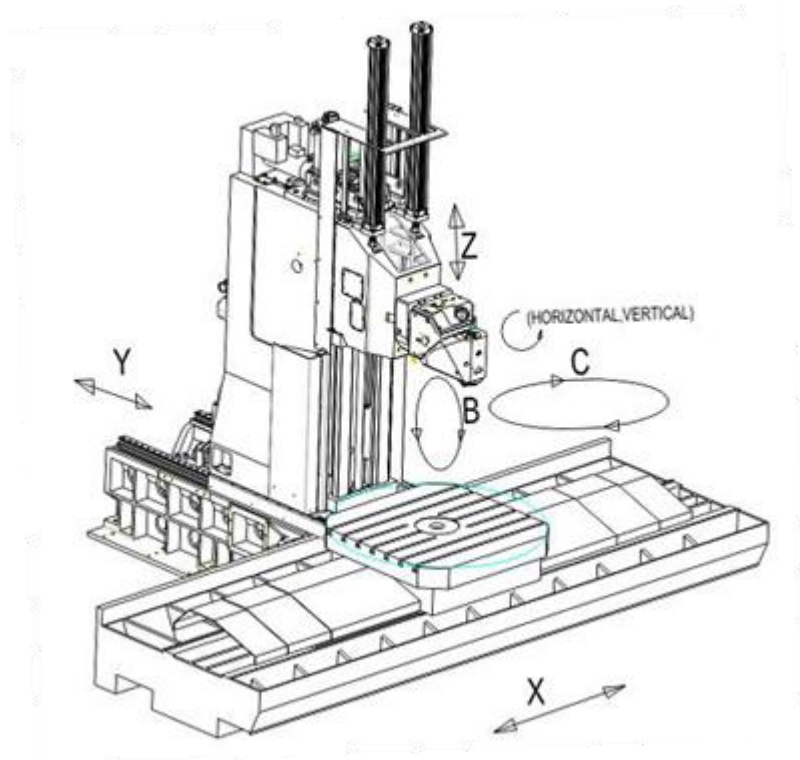
Stolové frézky , někdy nazývané také ložové, jsou robustnější, užívají se pro obrábění těžších obrobků upnutých na stole.

Rozměrový parametr

- upínací plocha stolu ( š x d ) , cca od 800 do 5000 mm, hmotnosti obrobku cca 5 t.

Stolové frézky se vyrábí ve svislém a vodorovném provedení, s pohyblivým stolem, méně často s pohyblivým stojanem. Vřeteník je posuvný po stojanu.

**Rám** stroje se skládá z lože, na kterém je pevně nebo pohyblivě posazen stojan, který nese vřeteník. Po loži pojíždí stůl, který se může i otáčet. Na obr.4.43 je schéma stolové frézky s vyznačenými směry pohybu dílů stroje. Osou X je nazýván pojezd stolu po loži stroje. Osa Y je pohyb stojanu po stojanovém loži. Osa Z je označení pro svislý pohyb vřeteníku po stojanu. Otočné pohyby může vykonávat stůl i frézovací zařízení připevněné na vřeteníku stroje.



Obr. 4.47: Schéma ložové frézky s pohyblivým stojanem



Obr. 4.48: Ložová frézka – TOS Kuřim [Kuřim2010]

Pro **pohonné a posuvové mechanismy** je u frézek v CNC provedení využíváno regulačních elektromotorů, pro posuvy se nejvíce uplatní kuličkové šrouby.

U frézek se používá valivých vedení i vedení kluzných. Stroje jsou vybavovány celou řadou příslušenství v podobě výměnných frézovacích zařízení, výměn nástrojů, u moderních strojů

je samozřejmostí odměřování polohy, chlazení a ofukování nástroje, automatické dopravníky třísek a možnost zapojení některého systému automatické výměny obrobků.

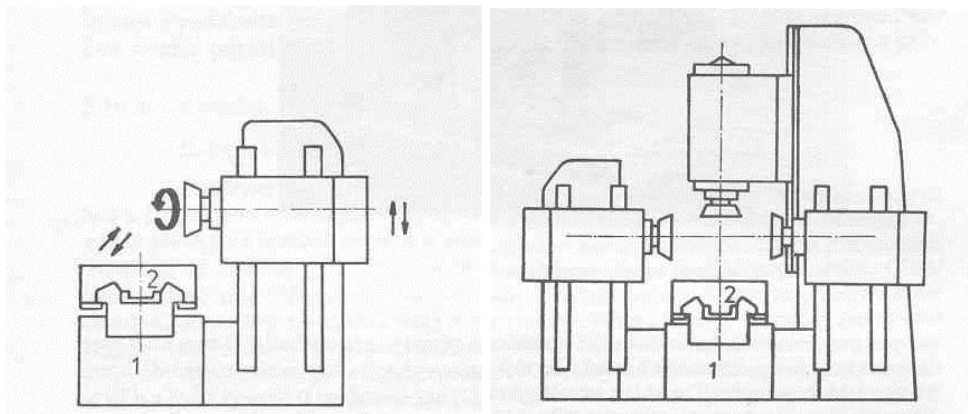
#### 4.3.3 Rovinné frézky

Rovinné frézky se koncepčně podobají frézám stolovým a slouží k obrábění rovinných i tvarových ploch nebo drážek na velmi rozměrných součástech. Podle osy vřetenice se rozlišují vodorovné a svislé rovinné frézky. Ve dvoustojanovém propojeném provedení se frézka nazývá portálová .

Rozměrový parametr :

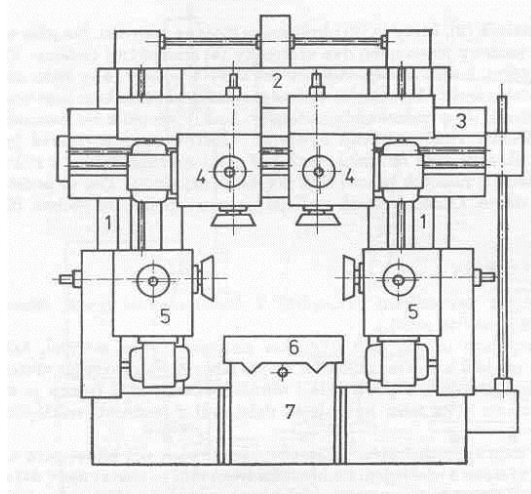
- šířka stolu ( 800 – 4000 mm)

**Rám** rovinné frézky s jedním stojanem se skládá z lože (1), stolu(2), stojanu a vřeteníku. Někdy je stroj koncipován se dvěma nepropojenými stojany, které nesou další posuvné vřeteníky, jak je patrné z obr. 4.49.



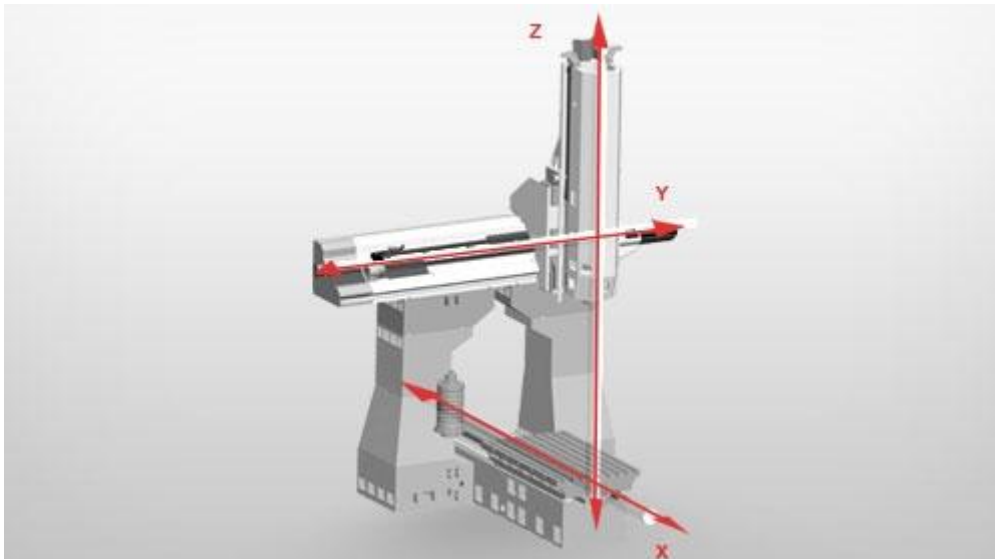
Obr. 4.49 : Schéma rovinných frézek [Ženíšek 1990 ]

Frézky se konstruují rovněž s uzavřeným tvarem rámu jako portály. V portálovém provedení má stroj lože (7) a posuvný stůl (6). Dva stojany (1) jsou spojené pevnou příčkou (2). Část rámu s označením 3 je výškově přestavitelný příčník. Na příčníku nebo i na stojanech jsou neneseny vřeteníky (4 až 5).



Obr. 4.50 : Schéma portálové frézky [Ženíšek 1990 ]

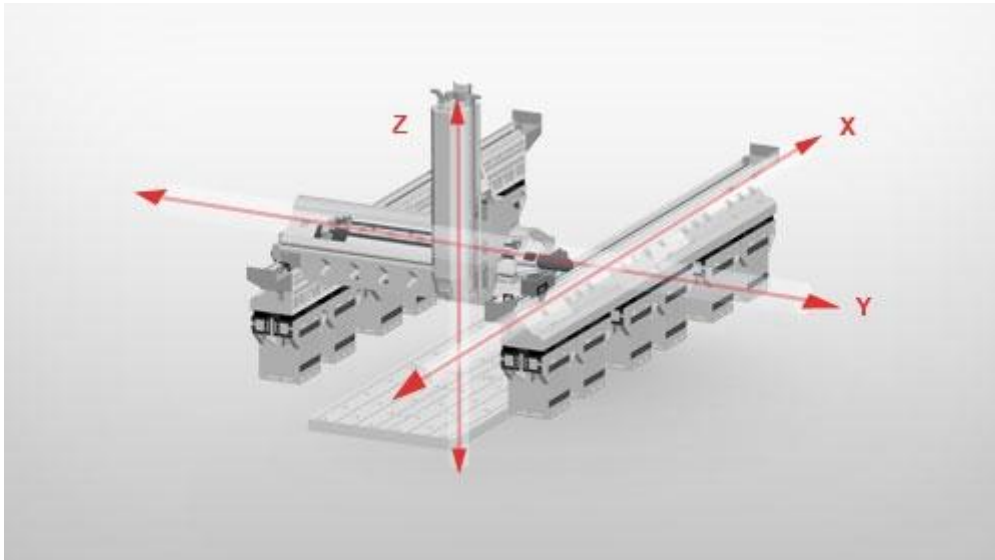
U obráběcích strojů dalšího portálového typu jsou stojany spojeny pohyblivým příčnickem, který nese smykadlo. Pojezd v ose X obstarává stůl, v ose Y se pohybuje příčník a svislý směr je zajištěn pohybem smykadla. Schéma pohybových os je na obr. 4.51.



Obr. 4.51 : Schéma pohybových os stroje s pevným portálem [Strojírna Týc 2010]

V provedení, kterému se říká gantry, je portál stroje ve směru osy X posuvný po podstavcích, ve směru Y se pohybuje příčník a stejně jako u pevného portálu je svislý směr zajištěn výsuvem smykadla. Portálové frézovací stroje vyrábí např. TOS Kuřim, Strojírna Týc Mýto a další. Na obr. 4.53 je pevný portálový stroj ze sortimentu TOS Kuřim.





*Obr. 4.52 : Schéma pohybových os u gantry provedení [Stroírna Týc 2010]*



*Obr. 4.53 : Portálová frézka – TOS Kuřim [Kuřim2010]*

**Pohonné a posuvové** mechanismy jsou nejčastěji realizovány regulačními elektromotory, posuvy kuličkovými šrouby a v důsledku dlouhých pojezdů dvoupastorkovým mechanismem s hřebenem.

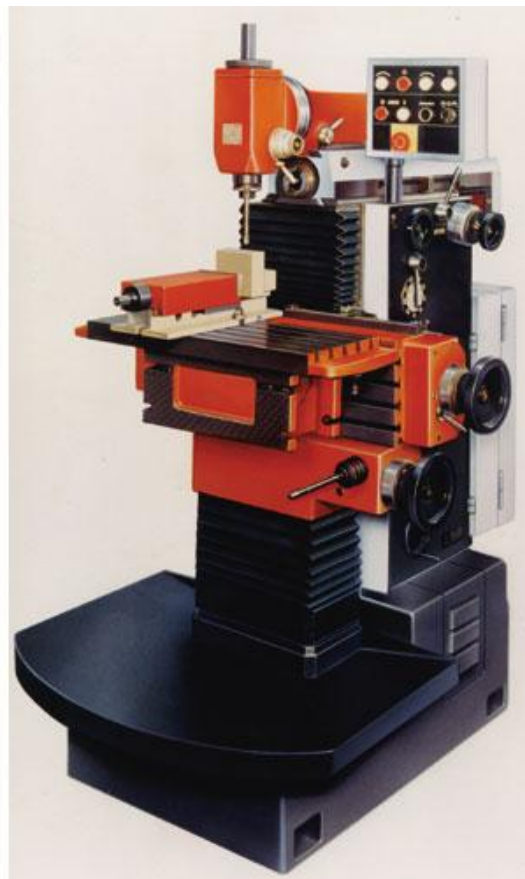
**Vedení** se používají nejčastěji kluzná, vřetena jsou uložena do přesných valivých ložisek. U rovinných frézek je časté bohaté příslušenství v podobě přídatných technologických zařízení a výměny nástrojů stejně jako bylo popsáno u vodorovných vyvrtávaček.

#### 4.5.3 Speciální frézky

Pro frézování speciálních tvarů se vyrábí jednorúčkové frézky, např. na úzké drážky, na kola kolejových vozidel, na různé typy ozubení a zejména na nástroje.

Na obr. 4.54 je nástrojařská frézka, na které lze obrábět šablony, zápustky, raznice i speciální měřidla. Vyznačuje se velkou přesností práce. Široký sortiment zvláštního příslušenství umožňuje frézování rovinných, šikmých a kruhových ploch, vrtání, obrážení, broušení, vyvrtávání a provádění operací, které vyžadují přímé i nepřímé dělení. Nástrojařské frézky se vyrábí v ručním i numericky řízeném režimu.

Mezi speciální frézky řadíme i frézky kopírovací, které opracují nepravidelné tvary podle šablony, jejíž tvar je snímán tykadlem. Posuvy jsou řízeny pomocí servopohonů, čímž se zajistí vysoká pracovní přesnost cca do 0,02 mm.



Obr. 4.54 : Nástrojařská frézka – INTOS Žebrák

#### **4.6 Brusky**

Brusky jsou stroje používané pro broušení, což je operace prováděná nástrojem s neurčitou geometrií břitu.

Použijí se pro získání



- přesného tvaru ( kruhovitost pod  $0,2 \mu\text{m}$ ),
- rozměru ( $1 \mu\text{m}$ ) a
- jakosti povrchu až  $0,8 - 0,2$

Broušení má velmi malý úběr, velké řezné rychlosti, značné obvodové rychlosti.

Rotuje nástroj, obrobek může rotovat také, posuvné pohyby může vykonávat nástroj i obrobek. Velikostní rozmanitost brusek je značná, od malých ostříček nástrojů po velké stroje určené k broušení rozměrných obrobků.

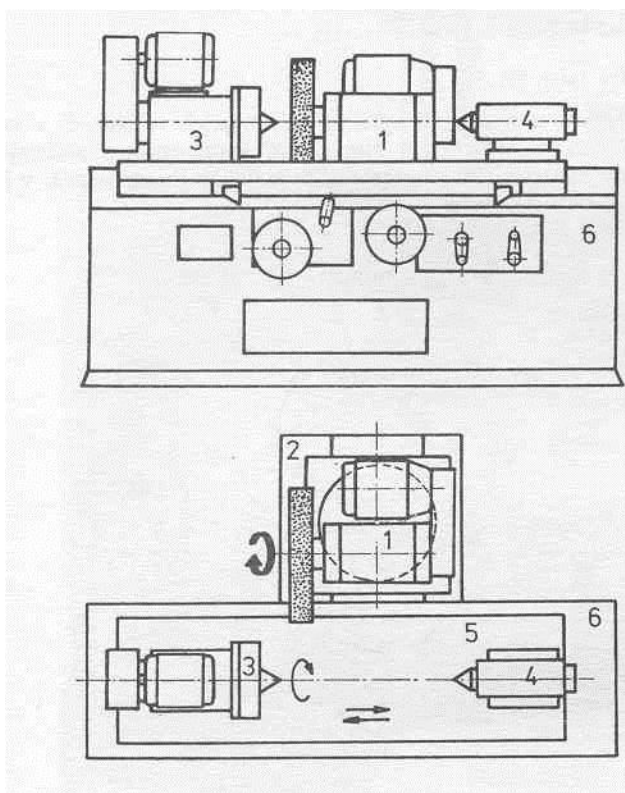
Koncepčně se dělí na brusky hrotové, bezhroté a rovinné.

#### 4.6.1 Hrotové brusky

Hlavní pohyb u těchto strojů je rotační a koná jej nástroj - brusný kotouč na vřeteníku. Obrobek je upnut v hrotech stroje a koná rovněž rotační pohyb. Pokud je možno vřeteník natáčet a přestavovat, jedná se o univerzální brusky, na kterých lze brousit rotační i kuželové plochy.

Rozměrový parametr :

- oběžný průměr nad ložem



Obr. 4.55 Schéma hrotové brusky [Ženíšek 1990]

**Rám** hrotové brusky se skládá ze lože a stolu (5,6), na stole je upevněn unášecí vřeteník(3), koník (4) a brousící vřeteník(1). Broušený kus je upnut mezi vřeteníkem a koníkem a koná rotační pohyb. Brusný kotouč uložený na brousícím vřeteníku koná posuvné přestavovací

pohyby a zároveň rotuje. U brusek z důvodu vysokých nároků na přesnost práce je mnohdy vidět použití nekonvenčních materiálů na základním loži z důvodu vysoké dynamické a teplotní stability alternativního materiálu.

**Pohony** jsou řešeny náhonem řemenovým převodem od motoru, který rovněž z důvodů teplotní stability stroje bývá umístěn mimo stroj. U unášecího vřeteníku je časté použití stupňových převodovek z důvodu vysokých nároků na otáčky. Pro posuvy je časté využití krokového motoru a kuličkových šroubů.

Vřeteno unášecího vřeteníku je nejčastěji uloženo valivě, u brousícího vřeteníku se používá valivé, ale i hydrodynamické uložení.

Pro brusky je typické užití rozmanitého příslušenství, např. speciální opěrky obrobku a proměřovací zařízení na kontrolu kvality broušeného kusu.

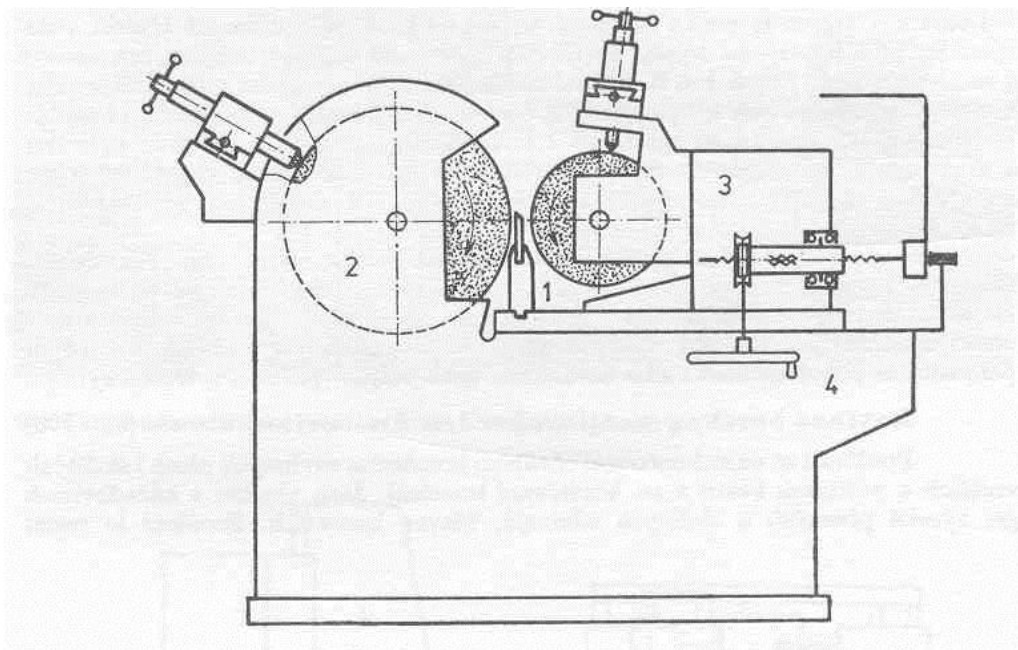
Českým výrobcem hrotových brusek je např. CETOS Praha Hostivař, jejíž univerzální bruska je na obr. 4.56.



*Obr. 4.56 Hrotová bruska BUA 25 – CETOS Praha[Cetos2010]*

### *3.6.2 Bezhrtové brusky*

U bezhrtových brusek je využito jiného způsobu upevnění obrobku. Obrobek je uložen na pravítku (vodící liště), z jedné strany se opírá o vodící kotouč, z druhé strany o brousící kotouč, který je upevněn v přestavitelném vřeteníku. Obrobek se otáčí vlivem tření, broušení se uskutečňuje v důsledku rozdílných obvodových rychlostí obou kotoučů. Schéma brusky je na obr. 4.57



Obr. 4.57: Schéma bezhrotové brusky



Obr. 4.58 Bezhrotová bruska BB 10 – BSH Holice [EJ2010]

### 3.6.3 Rovinné brusky

Rovinné brusky slouží pro broušení rovinných ploch. Z hlediska polohy nástroje lze rozlišit stroje pracující čelem nebo obvodem brousícího kotouče. Brusky se staví s vodorovnou nebo svislou osou nástroje.

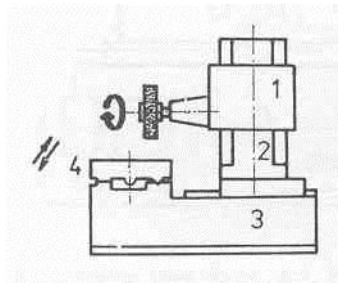
Z koncepčního hlediska lze rozlišit tyto varianty :

- broušení obvodem kotouče, vodorovná osa vřetene, s posuvem stolu a vřeteníku
- broušení obvodem kotouče, vodorovná osa vřetene, s posuvem stojanu a vřeteníku
- broušení obvodem kotouče, vodorovná osa vřetene, s posuvem vřeteníku

- broušení čelem kotouče, svislá osa vřetene, s podélným posuvem stolu, s posuvem vřeteníku
- broušení čelem kotouče, svislá osa vřetene, s podélným posuvem stolu, s otočným pohybem stolu, s posuvem vřeteníku

### Rovinná bruska vodorovná

**Rám** stroje na obr. 4.59 se skládá z lože (3), obrobek je uložen na stole (4), který je posuvný po loži. Buď je upnut přímo do drážek stolu, lze také využít magnetických sil nebo dalších přípravků. Po stojanu (2) se posouvá vřeteník (1) nesoucí brousící vřeteno. Osa vřetene je vodorovná, brousí se obvodem brusného kotouče. Při broušení obvodem brusného kotouče je sice efekt broušení malý, ale práce je velmi přesná, protože část obrobku ovlivněná teplem vzniklým při broušení je malá.



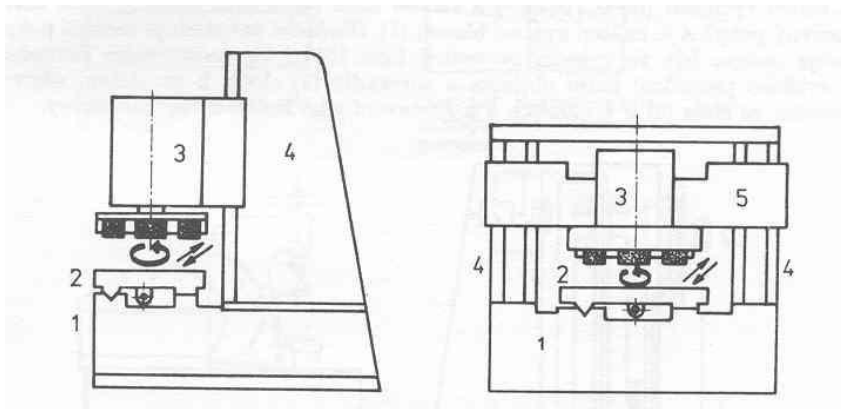
Obr. 4.59: Rovinná bruska pracující obvodem kotouče [Ženíšek 1990]

### Rovinná bruska svislá

Rám stroje na obr. 4.59 je koncipován obdobně, ale osa broušení je svislá a brousí se čelem brusného kotouče. Stroje mívají posuvný i otočný stůl (2). Někdy lze naklápět vřeteník (3) a provádět dutý výbrus. Pro broušení se užívají velké průměry kotouče s brusnými segmenty, což umožňuje velmi výkonné broušení.

### Portálové brusky

V největším provedení se staví brusky portálové, slouží např. k broušení vodicích ploch obráběcích strojů. Z obr. 4.60 je patrné, že stojany (4) spojené příčkou nesou příčník (5) po němž se pohybuje vřeteník nesoucí nástroj.



*Obr. 4.60: Rovinná bruska pro broušení čelem kotouče[Ženíšek1990 ]*

### Brusky na nástroje – ostříčky

Pro ostření nástrojů , ale i vrtáků a ozubení se staví speciální brusky s univerzálně přestavitelným broušícím vřeteníkem vybavené celou řadou příslušenství.



*Obr. 4.61 : Nástrojová bruska BN 102 – Erwin Junker Grinding Mělník [EJ2010]*

## **4.7 Pily**

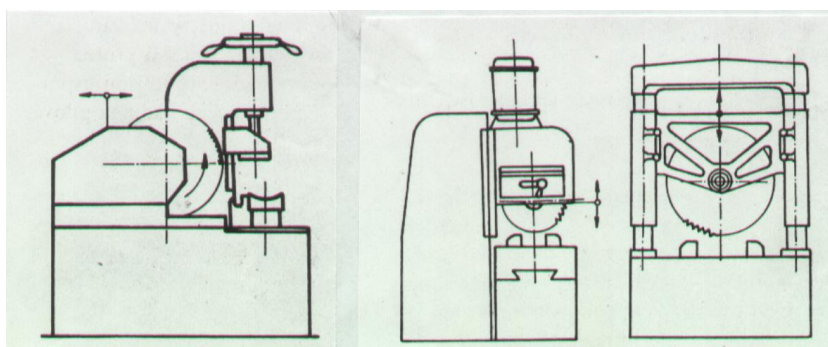
Pily jsou stroje určené na dělení materiálu. Jedná se hlavně o polotovary tyčového charakteru, nebo ingoty a odlitky. Podle řezného nástroje se dělí na rámové, kotoučové a pásové. Podle obsluhy lze pily dělit na ruční, gravitační a automatické. Výrobou pil se zabývá např. firma Pilous Brno, Bomar Brno nebo Pegas-Gonda Slavkov u Brna [Pily 2010]

### *4.7.1 Rámové pily*

Řezným nástrojem je pilový list upnutý v rámovém tělese, který s využitím klikového mechanismu koná vratný pohyb. Do řezu je vtlačován závažím nebo hydromotorem. Rámové pily mají úzký řez, ale malý výkon, neboť k řezu dochází jen v jednom směru.

### *4.7.2 Kotoučové (okružní) pily*

Řezným nástrojem je pilový kotouč, tyto stroje mají vyšší výkon, ale širší řez. Staví se ve vodorovném i svislém provedení. Posuv pilového kotouče bývá řešen hydraulicky, což umožní plynulou regulaci pohybu. Hlavní pohon stroje je řešen elektromotorem s řazením stupňů.



*Obr.4.62 : Schéma kotoučové pily [Ženíšek 1990]*

### *4.7.3 Pásové pily*

Řezným nástrojem je pilový pás vyrobený z nástrojové oceli. Tohoto způsobu se užívá pro řezání nelegovaných ocelí, lehkých slitin a nekovových materiálů. Staví se ruční, ale i s automatickými prvky upínání děleného materiálu a ovládáním pohybu pilového pásu.

Rozměrový parametr pil :

Parametr řezného nástroje



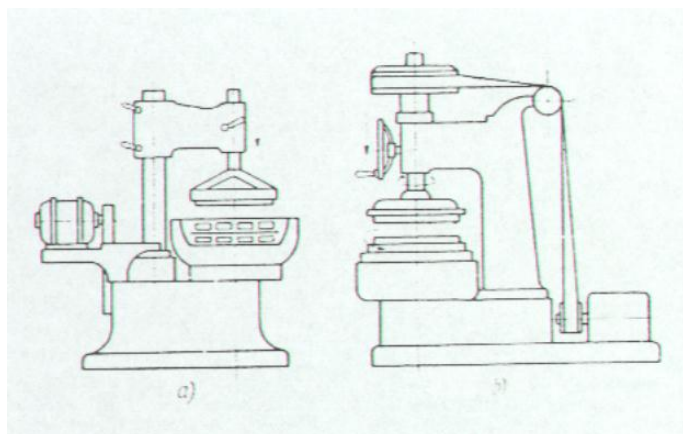
Obr.4.63 : Pásová pila Pegas[Pily 2010]

## **4.8 Dokončovací stroje**

Souhrnně se stroje, které upraví vyrobený povrch na velmi nízké požadované hodnoty drsnosti nazývají dokončovací.

### *4.8.1 Lapovací stroje*

Lapování dokončovací technologie velmi jemného broušení – zabrušování. Brusná zrna jsou rozptýlena v brusné pastě nebo kapalině. Stroj má dva kotouče, které jsou hnány rozdílnou rychlostí. Schéma lapovacího stroje je na obr. 4.63.



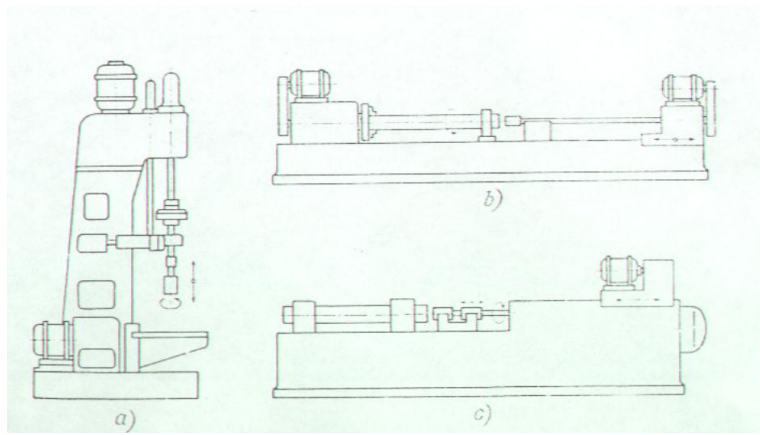


Obr.4.64 : Schéma lapovacího stroje [Ženíšek 1990]

#### 4.8.2 Honovací stroje

Honování se užívá pro zpřesňování rozměrů a dosahuje se vysoké jakosti povrchů. Honovací hlava s brusnými kameny z korundu koná točivý a zároveň axiální vratný pohyb a brusné kameny jsou přitlačovány k obrobku

Staví se ve svislém nebo vodorovném provedení.



Obr.4.65 : Schéma honovacího stroje –svislé a vodorovné provedení[Ženíšek 1990]

#### 4.8.3 Superfinašovací stroje

Superfinašování se provádí kmitavým pohybem nástroje i obrobku za vydatného mazání .

Obrobek ve stroji rotuje, brusné kameny kmitají až 3000 pohybů za min.Stroje se staví ve svislém i vodorovném provedení, s jedním nebo i více pracovními vřeteny.

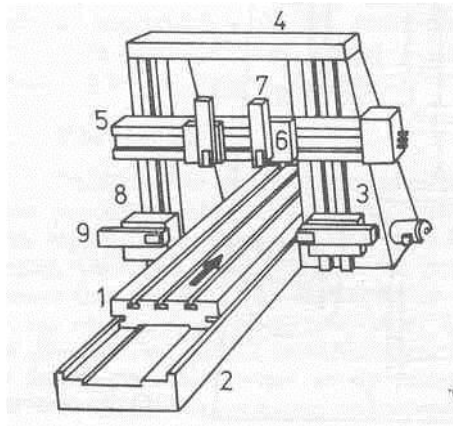
### **4.9 Hoblovky**

Hlavním představitelem strojů s hlavním řezným pohybem přímočarým jsou hoblovky. Užívají se pro obrobení rovinné plochy, která může být vodorovná i svislá. Hlavní řezný pohyb koná obrobek upnutý na pracovním stole, nůž je upnut v suportu.

Hoblovky pracují poměrně přesně, nedochází k deformaci obrobku vlivem místních teplotních deformací, jako např u portálových frézek. Na druhou stranu je produktivita hoblovek nižší, protože řez je vykonáván jen v jednom směru pohybu stolu s obrobkem, druhý směr je jen vratný.

Hoblovky se projektují jednostranové a dvoustrojanové v portálovém provedení.





Obr.4.66 : Schéma hoblovky v portálovém provedení [Ženíšek 1990]

Rozměrový parametr :

- Hoblovací šířka B ( šířka obrobku, který projde mezi stojany)
- Hoblovací výška H ( výška obrobku, který projde pod nožovými saněmi)
- Hoblovací délka L ( obrobek, který lze obrobit jedním zdvihem)

**Rám** hoblovky v portálovém provedení je na obr. 4.65. Skládá se z lože (2), po kterém se posouvá stůl(1) s upnutým obrobkem. Stojany (3) jsou spojené příčkou a ve svislém směru se pohybuje příčník (5) nesoucí suporty(6) s nožovými držáky(7). Na stojanech mohou být umístěny i pomocné suporty(8,9) s dalšími nástroji. Suporty se skládají ze základních saní vedených po příčníku nebo stojanu, na nich je otočná část a odklápěcí nožový držák, který se při zpětném pohybu odklopí, aby nástroj nedřel o opracovanou plochu

**Hlavní pohon** hoblovky – tj. posuv stolu - může být realizován reverzačním stejnosměrným elektromotorem s pastorkem a hřebem, pro krátké zdvihy i hydromotorem. Posuvy suportů jsou často konstruovány přímočarým hydromotorem, což umožňuje plynulou regulaci posuvu. **Vedení** stolu hoblovky je kluzné s obložením, často užívaným tvarem vedení je obrácené prizmatické vedení ve tvaru „V“ nebo vedení ploché.

Díky malé produktivitě stroje nejsou dnes vyráběny a jsou nahrazovány rovinnými frézami.

#### **4.10 Obrážky**

Obrážky se užívají rovněž pro obrobení vodorovné plochy , zejména pro malé součásti.

Dalším využitím obrážek je při výrobě ozubených kol.

Hlavní rezný pohyb koná nástroj upnutý ve smykadle.

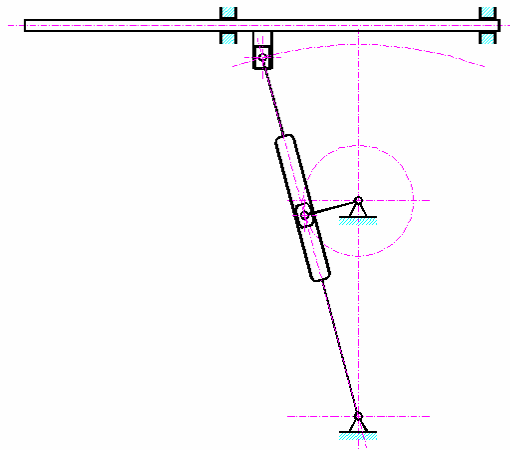
Rozměrový parametr :

- Obrážecí délka : jeden nepřerušovaný zdvih smykadla

Staví se ve svislém i vodorovném provedení.

**Rám** stroje stojan, posuvný stůl, výsuvný suport a smykadlo. Nástrojem je

**Pohony** obrážek se často provádí hydromotorem nebo elektromotorem s mechanismem pro změnu rotace v přímočarý pohyb. Pro změnu pohybu lze využít mechanismu s kývavou kulisou uloženou ve stojanu.

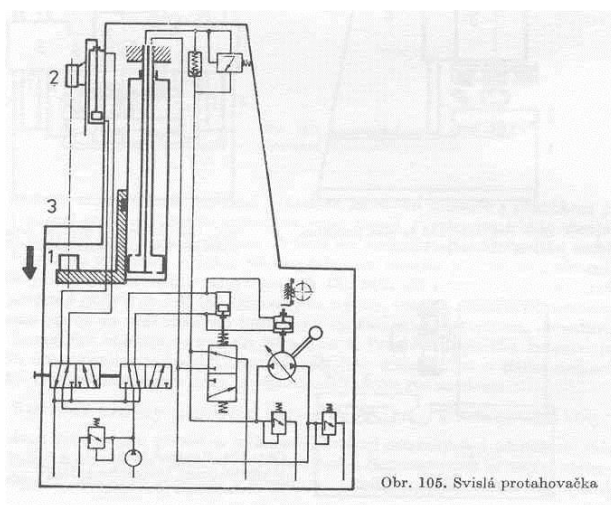


Obr.4.67 : Mechanismus s kývavou kulisou

#### 4.11 Protahovačky

Slouží k obrábění otvorů nejrůznějších profilů, přesná práce. Staví se ve svislém i vodorovném provedení. Nástrojem je protahovací trn.

- Rozměrový parametr : max. průtažná síla



Obr.4.68 : Svislá protahovačka [Ženíšek 1990]

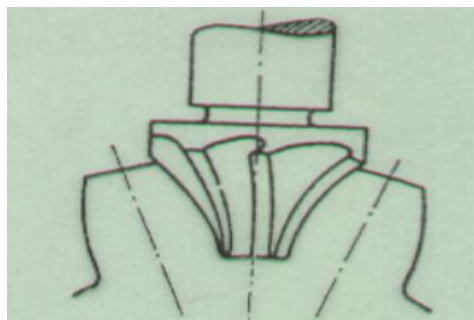
#### 4.12 Stroje na ozubení

Stroje na ozubení jsou velmi rozmanité. V zásadě se ozubení vyrábí třemi základními způsoby :

- Dělicím způsobem s užitím tvarového nástroje
- Odvalovacím způsobem
- Kopírováním podle šablon

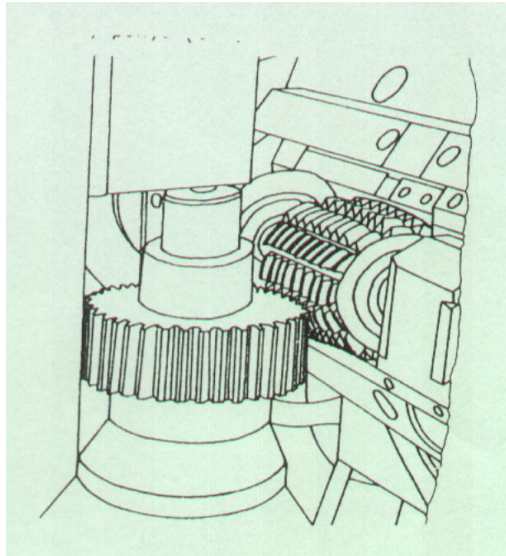
Pro výrobu ozubení se užívá frézování, obrážení, protahování a v závěru technologické operace broušení.

Při frézování tvarovým nástrojem ( čepovou frézou nebo kotoučovou modulovou ) vznikají sousední zuby. Pro každý modul je třeba mít jiný nástroj. Stroje na kterých se tímto způsobem vyrábí ozubení jsou vlastně univerzální frézky s dělicím stolem. Dělicím způsobem se dále vyrábí ozubení na svislých protahovačkách. Obecně se dělicí způsob používá při výrobě velmi velkých kol nebo při jejich opravě.



*Obr. 4.69 : Výroba zubu tvarovou frézou[Sandvik1997]*

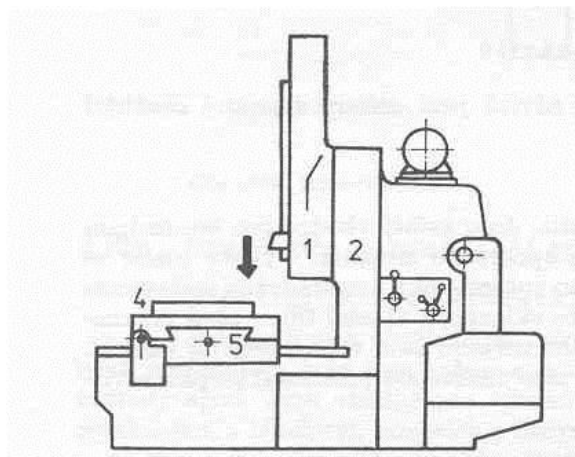
Odvalovací způsob výroby ozubených kol využívá principu vzniku evolventy , tj. – odvalu nástroje po vyráběném kolu. Nástrojem může být hřeben, kotouč nebo speciální odvalovací fréza v podobě šneku s břity. Ozubení vzniklé odvalovacím způsobem je velmi přesné. Na obr. 4.70 je náčrt odvalovací frézy a vyráběného kola.



*Obr.4.70 : Odvalovací způsob výroby ozubení*

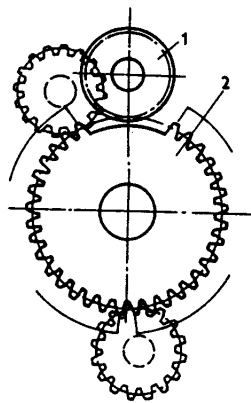
Odvalovací frézky musí zabezpečit velmi složité sdružené rotační i posuvné pohyby. V současnosti se vyrábí zejména odvalovací frézky s CNC řízením – výrobcem je např. TOS Čelákovice.

Principu odvalování je využíváno i při výrobě ozubení na svislých obrážkách a to hlavně dvěma způsoby. Systém MAAG používá tvořící hřeben s lichoběžníkovým profilem. Vyráběné kolo se otáčí, hřeben se posouvá v tečné rovině k válci. Zuby jsou vytvářeny vratným pohybem obrážecího hřebenu, který má několik zubů. Pokud je hřeben vůči kolu odkloněn o úhel beta, vzniká šikmé ozubení. Odvalovací obrážka s hřebenovým nožem je na obr. 4.71



*Obr. 4.71 : Odvalovací obrážka[Ženíšek 1990]*

U systému nazývanému Fellows je místo hřebenového nástroje použito obrážecího kola, jak je vidět na obr. 4.72.



Obr. 4.72 : Obrážecí kolo

Kuželová kola vznikají opět několika metodami na speciálních strojích. Mohou vznikat tvarovým nástrojem, odvalovacím frézováním i hoblováním speciálními noži.

Závěrečné úpravy ozubených kol se provádí broušením pomocí stejných metod – tj. tvarovými brusnými kotouči nebo odvalovacím způsobem.

#### **4.13 Stroje pro nekonvenční technologie**

**Elektrojiskrové stroje** – tato technologie se používá pro výrobu otvorů. Využívá se tepelného a tlakového účinku elektrických jiskrových výbojů

**Ultrazvukové stroje** – používají se pro obrobení velmi tvrdých materiálů. Směs vody a brusiva je přivedena na obráběné místo, mezi nástroj a obrobek. Nástroj kmitá ultrazvukovou frekvencí a obrábí.

#### **Stroje pro elektrochemické obrábění**

Úběr materiálu se děje elektrolytickým rozpouštěním materiálu. Použije se pro odstraňování otřepů na hranách obrobků, tvarové broušení nástrojů ze slinutých karbidů nebo pro obrábění zápustek.

#### **Stroje pro obrábění svazkem elektronů**

Ve vakuové komoře je svazek elektronů urychlován pulzací vysokého napětí, tím se vytvoří vysoká tepelná energie a materiál obrobku je odpařen. Používá se pro slitiny s titanem, wolframem a molybdenem, pro slinuté karbidy, sklo a keramiku.

## **Stroje s laserem**

Laser je kvantový generátor světla. Emise elektronů způsobí přechod fotonu na nižší hladinu, tím se uvolňuje energie. Při dopadu na vhodné prostředí se světelná energie mění na tepelnou, až 10 000 °C. Materiál se vypaří. Laserové obrábění je velmi přesné a používá se pro gravírování nebo rytí.

### **4.14 Obráběcí centra**

Současný trend v konstrukci obráběcích strojů směřuje zejména k multifunkčním strojům, na kterých lze provést celou řadu technologických operací při jednom ustavení a upnutí obrobku. Prosazují se metody přesného obrábění, vysokorychlostního obrábění a dalších náročných technologických metod, což klade na všechny části obráběcího stroje vysoké nároky, které ovlivňují změny v klasické koncepci obráběcích strojů. Příkladem těchto vlivů je vývoj obráběcích strojů směrem k plně automatizovaným, bezobslužným, multifunkčním obráběcím centrům, které se vyznačují vysokou přesností práce, velkou produktivitou a celou řadou adaptivních kontrolních funkcí.

Obráběcí centra jsou bezobslužná pracoviště umožňující provést mnoho technologických operací na jedno upnutí obrobku a vyznačující se dále těmito vlastnostmi :

- Vysoká tuhost a přesnost provedení stroje, dynamická stabilita, minimální oteplování
- Možnost nastavení optimální řezné rychlosti – plynulá změna otáček i posuvů
- Přesné a bezvúlové uložení a vedení
- Přesné polohování
- Pomocná zařízení, kontrolní a měřicí přístroje
- AVN,AVO
- Samočištění během provozu
- Uzavření pracovního prostoru

Podle použití jsou obráběcí centra dělena na centra pro obrábění rotačních obrobků a centra pro obrábění skříňových obrobků. Konceptně se dále dělí :

- Centra pro obrábění rotačních obrobků
  - Soustružnická centra s vodorovnou osou
  - Soustružnická centra se svislou osou
- Centra pro obrábění skříňových obrobků
  - centra se svislou osou
  - centra s vodorovnou svislou osou
  - portály
  - centra se zvláštní kinematikou

Největšími výrobci obráběcích center v České republice jsou firmy Kovosvit MAS Sezimovo Ústí a Tajmac Zlín.

Obráběcí centra pro rotační obrobky jsou uvedeny v kap.4.2.

#### **4.14.1 Obráběcí centra vertikální – se svislou osou vřetene**

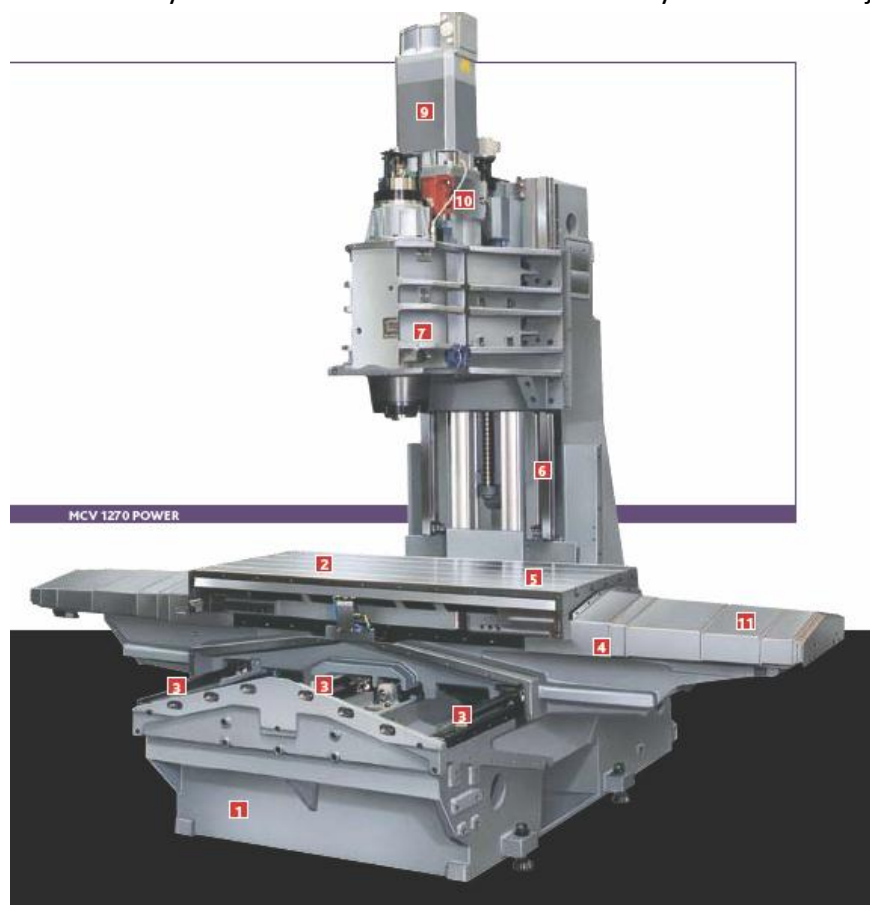
Na těchto multifunkčních strojích lze provádět frézovací, vrtací, vyvrtávací, vystružovací a závitovací operace. Stroje se liší rozměry a parametry :

Zatížení stolu : až 3000 kg

Otáčky vřetene až 8000 - 24 000 /min

Rychloposuvy až na 30 m/ min., zrychlení na 5 m/s<sup>2</sup>.

Příklad odkrytovaného vertikálního centra od firmy Kovosvit MAS je na obr. 4.73.

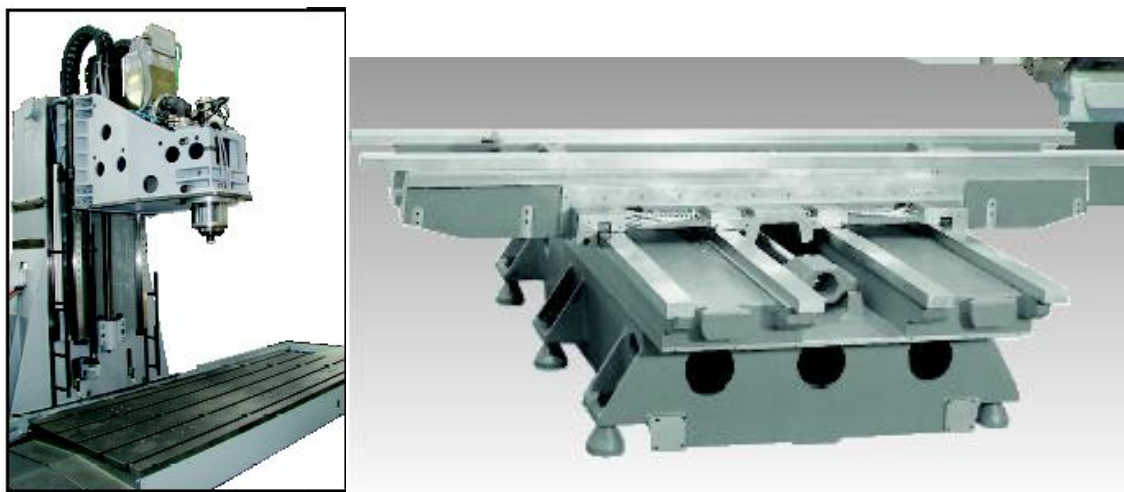


*Obr. 4.73 – Vertikální obráběcí centrum MCV 1000 – Kovosvit MAS [Kovosvit 2010]*

**Rám** stroje na obr. 4.71 je velmi tuhá konstrukce optimalizovaná pomocí MKP. Rám stroje tvoří lože (1) nesoucí lineární vedení (3) pro posuv stolu (2). Na loži je upevněn stojan s posuvným vřeteníkem(7) .

**Hlavní pohon** je tvořen motorem (9) a dvoustupňovou převodovkou (10). **Pohony posuvů** jsou provedeny regulačními motory a kuličkovým šroubem s vyšším stoupáním. Pracovní stůl i vřeteník jsou vedeny na předepnutých valivých hnízdech.

Obdobná koncepce stroje je zobrazena na obr. 4.74.



Obr. 4.74 – Vertikální obráběcí centrum MCVF – Tajmac Zlín [Tajmac Zlín 2010]

Z obrázku je patrná svařovaná konstrukce rámu. Pohon vřetene je navržen regulačním motorem s planetovou převodovkou, pohybové osy jsou poháněny regulačními motory s kuličkovými šrouby a přesným odměřováním polohy.

Pro všechna obráběcí centra je charakteristické bohaté příslušenství stroje, např. :

- Chlazení nástroje osou vřetena kapalinou nebo vzduchem

- Sondy pro kontrolu rozměru obrobku

- Tepelná stabilizace vřeteníku

- Vysokootáčková vřetenová jednotka 80 000 1/min

- Zásobník nástrojů s přímou výměnou

- Skladovací zásobník nástrojů

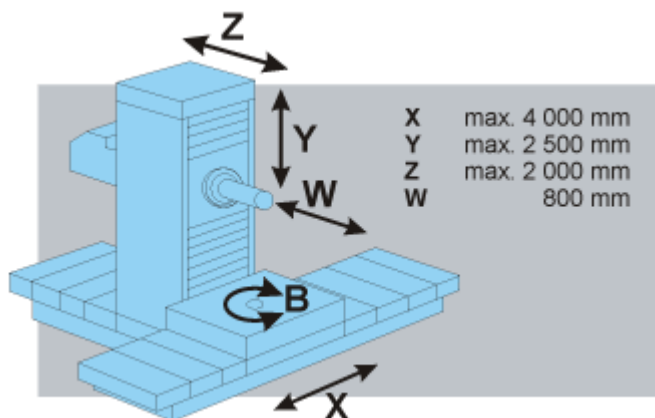
- Ruční výměník palet, automatický výměník palet

- Dopravník třísek

#### **4.14.2. Obráběcí centra horizontální - s vodorovnou osou vřetene**

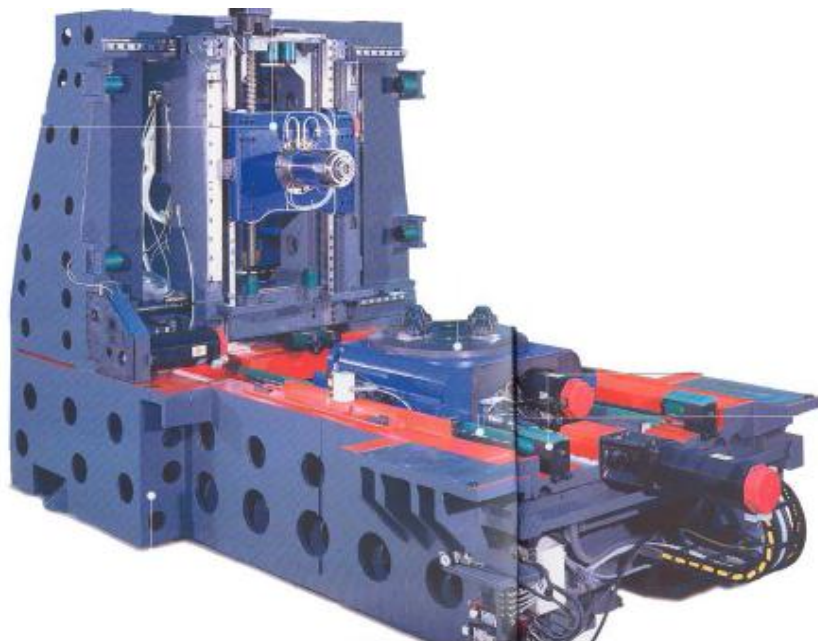
Obráběcí centra s vodorovnou osou slouží rovněž pro komplexní obrobení skříňových obrobků. Konstruktivní uzly jsou obdobné jako v případě vertikálních obráběcích center. Obrázek 4.75 ukazuje části rámu horizontálního centra s vyznačenými pohybovými osami.





Obr. 4.75 : Horizontální obráběcí centrum – schéma [Tos Varnsdorf 2010]

**Rám** stroje na obr. 4.76 je velmi tuhá svařovaná konstrukce optimalizovaná pomocí MKP. Rám stroje tvoří lože s pevným stojanem. Na loži je stůl, který je posuvný i otočný. Po stojanu je veden vřeteník, z něhož je vysouván pracovní nástroj nebo zařízení.



Obr.4.76 : Obráběcí centrum s pevným stojanem – Mandelli[SpOS2002]

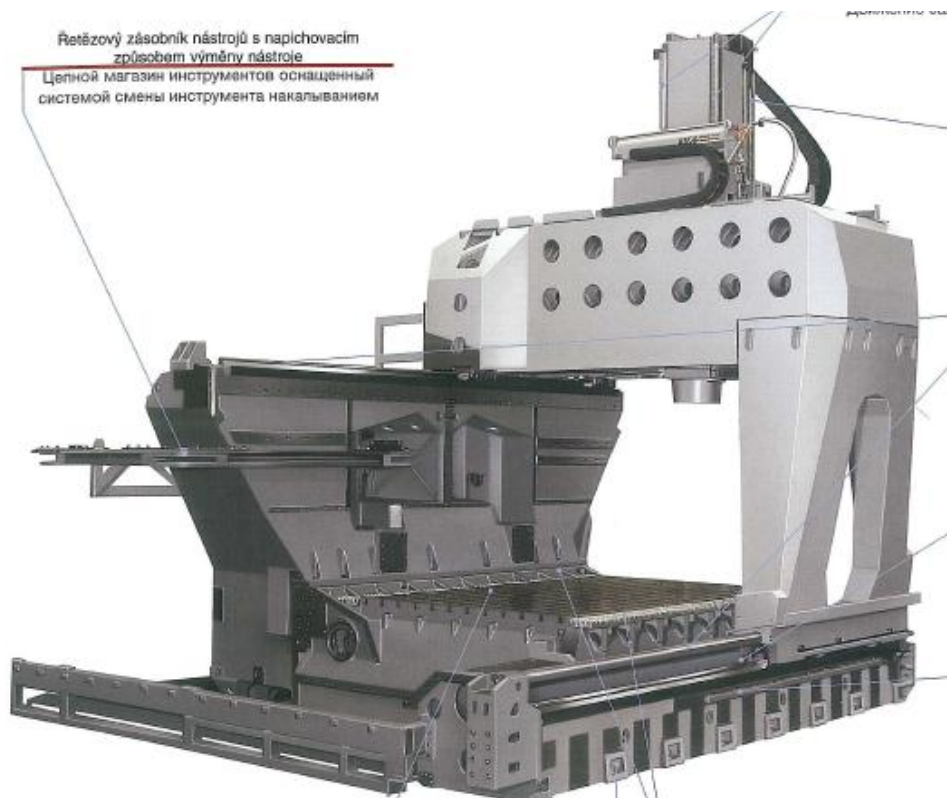
Na obr. 4.77 je odkrytý stroj H 40 ze sortimentu Tajmac Zlín. Opět je patrná robustní konstrukce odlitého rámu, posuvný stojan, stůl a vřeteník. Tento stroj má odlišné uspořádání pohybových os.



Obr. 4.77 : Horizontální obráběcí centrum [Tajmac Zlín 2010]

#### **4.14.3. Obráběcí centra portálová**

Stroje v portálovém provedení mohou být klasickými portály s pojízdňím stolem ale častěji v provedení gantry – tj. s pohyblivým příčnickem. Na obr. 4.78 je jako příklad zobrazen odkrytý stroj MCU od Kovosvitu Mas v provedení horní gantry. Zakrytovaný stroj je na obr. 4.79.



Obr.4.78 : Obráběcí centrum MCU 2000 – pohled na rám stroje[Kovosvit2010]



*Obr.4.79 : Obráběcí centrum MCU2000[Kovosvit2010]*

Stroj Turnmill 1250 od firmy Tajmac Zlín je na obr. 4.80. Jedná se rovněž o čtyřosé portálové obráběcí centrum s vysokými parametry a rozsáhlým příslušenstvím pro komplexní obrobení skříňových dílů.



*Obr.4.80 : Turnmill – portálové obráběcí centrum[Tajmac Zlín 2010]*

#### 4.14.4 Obráběcí centra s paralelní kinematikou

Obvykle mají obráběcí stroje sériovou kinematiku, tzn. Že příslušné polohy nástroje a obrobku se dosáhne posouváním jednotlivých dílů rámu po sobě, dokud není požadované polohy dosaženo. U paralelní kinematiky se využívá skutečnosti, že nástroj vůči obrobku lze do libovolné polohy ustavit současným pohybem šesti délkově proměnných tyčí jako u známé Stewartovy plošiny – obr. 4.81.



Obr.4.81 : Paralelní mechanismus[SpOS 2002]

Jasnou výhodou tohoto mechanismu je, že tyče zakončené klouby jsou namáhány jen tahem a tlakem, což vede na snížení hmoty stroje nikoliv na úkor jeho tuhosti. Nevýhodou je, že mechanismus je velmi náročný na řídicí systém, protože pro změnu polohy se musí pohnout se všemi aktivními členy.

Tento mechanismus byl použit u několika progresivních obráběcích strojů, např. u stroje Tricept od fy Deckel Maho.



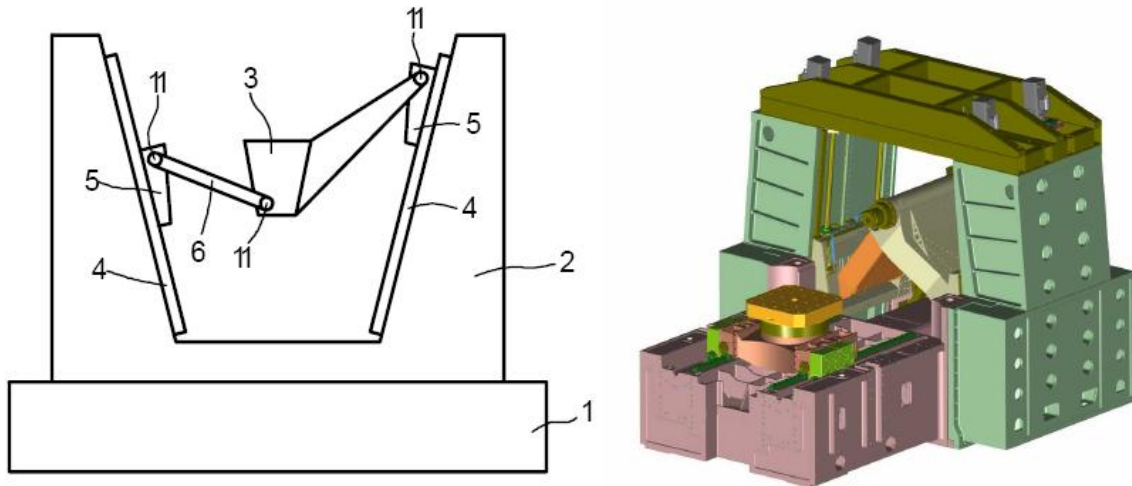
Obr.4.82: Aplikovaný paralelní mechanismus[SpOS2002]

Pohyb nástroje na paralelním mechanismu má vysokou rychlost (až 90 m/min ) i zrychlení (až 2 g). Deklarovaná přesnost nastavení polohy je  $\pm 10 \mu\text{m}$ .

Častěji než stroje s kompletní prostorovou paralelní kinematikou se objevují stroje využívající paralelní kinematiku jen v jedné rovině.

Příkladem může být stroj Chiron Vision . Paralelní kinematika zajišťuje pohyb ve dvou na sobě nezávislých osách. Pro pohyb jsou využity lineární motory umožňující vysoké posunové rychlosti i zrychlení.

Rovinnou paralelní kinematiku využívá i stroj TRIJOINT od fy Kovosvit Sezimovo Ústí.



Obr.4.83 : Paralelní mechanismus aplikovaný ve stroji TriJoint [Valášek 2005,Kovosvit2010]

## 5. Závěr

Svět obráběcích strojů je pestrý a je neustále ve vývoji. Základní technické principy a zásady konstruování obráběcích strojů zůstávají, ale konkrétní provedení a realizace technických problémů strojů se stále mění a zlepšuje. Na strojích přibývají prvky zvyšující nejen přesnost a spolehlivost strojů, ale také jejich inteligenci, samokontrolu a bezobslužnost. Dále se v konstrukci strojů objevuje použití nových materiálů i celé řady technických novinek – např. lineárních motorů , pohybových šroubů s řízenými vlastnostmi apod.

Tato skutečnost neustálého vývoje do jisté míry omezuje časovou platnost obdobných publikací, takže bude nutno stále doplňovat tento základní objem znalostí z oblasti konstruování strojů o nové poznatky.



## Použitá literatura a prameny

- [Bolek 1989] Bolek,A.,Kochman,J. : Části strojů I,SNTL, Praha, 1989,04-202-89
- [Bolek 1990] Bolek,A.,Kochman,J. : Části strojů II,SNTL, Praha,1990,04-207-90
- [Breník 1986] Breník,P.,Píč,J.: Obráběcí stroje – Konstrukce a výpočty, SNTL Praha,1986,04-235-86
- [Dillinger 2007] Dillinger,J. a kol. : Moderní strojírenství pro školu a praxi,Europa-Sobotales, Praga,2007,ISBN 978-80-86706-19-1
- [Dobrovolný1967] Dobrovolný,B.: Kapesní strojnická příručka, SNTL Praha,1967,04-244-67
- [Houša 1985] Houša,J. a kol.: Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů, SNTLPraha,1985, 04-229-85
- [Hosnedl 1999] Hosnedl,S., Krátký,J. : Příručka strojního inženýra1,Computer Press, 2000, ISBN 80-7226-202-5
- [Hosnedl 2000] Hosnedl,S., Krátký,J. : Příručka strojního inženýra2,Computer Press, 2000, ISBN 80-7226-055-3
- [Katalog2001] Katalog obráběcích a tvářecích strojů 1999-2001, Svaz výrobců strojírenské techniky Praha;
- [Krátký1998] Krátký,J.Hosnedl,S,: Strojní části 2, ZČU v Plzni,1998,55-078-98
- [Marek 2006] Marek,J.: Konstrukce CNC obráběcích strojů, MM průmyslové spektrum, 2006, ISSN 1212-2572
- [Píč 1970] Píč, J.,Breník,P.: Obráběcí stroje,SNTL Praha, 1970, 04-215-70
- [Přikryl1982] Přikryl,Z.,Musílková,R.:Teorie obrábění, SNTL Praha,1982,04-230-82
- [Sandvik 1997]Sandvik Coromant : Příručka obrábění, Scientia 1997 Praha, ISBN 91-97-22-99-4-6
- [SpOS2002] Kolektiv autorů : Směry vývoje obráběcích strojů, Praha 2002 ISBN 80-238-9694-6
- [ŠMT Plzeň] Škoda Machine Tool.s.r.o Plzeň: Materiály zapůjčené s laskavým svolením firmy
- [Weck 2002] Weck,M.: Werkzeugmaschinen- Konstruktion und Berechnung, Springer,2002,ISBN 3-540-43354-1
- [Weck 2002] Weck,M.: Werkzeugmaschinen- maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer,2002,ISBN 3-540-63211-5
- [Valášek 2005]Valášek a kol.:Tractable Treatment of Design by Multiobjective Optimization – Parallel Kinematics Case Study, Springer Netherlands 2005, ISSN 1384-5640
- [Zahradník 2006] Zahradník, J. a kol.: Elektrická výzbroj obráběcích strojů, ZČU v Plzni, 2006,ISBN 80-7043-494-5
- [Ženišek 1988] Ženišek,J. a kol.: Teorie a konstrukce výrobních strojů II, SNTL Praha, 1998,04-233-88
- [Ženišek 1990]Ženišek,J., Jenkut,M.: Výrobní stroje a zařízení, SNTL Praha,1990,04-222-90

Internetové odkazy - r. 2010

- [NAR][www.naradi-24.cz](http://www.naradi-24.cz)
- [TEA] [www.teatechnik.cz](http://www.teatechnik.cz)
- [LOZ] [www.loziska.net](http://www.loziska.net)
- [THK2010] [www.thk.de](http://www.thk.de)
- [Oelze 2010] [www.oelze-precision.de](http://www.oelze-precision.de)
- [Framag 2010] [www.framag.com](http://www.framag.com)
- [ŠMT Plzeň 2010] [www.cz-smt.cz](http://www.cz-smt.cz)
- [Kovosvit 2010] [www.kovosvit.cz](http://www.kovosvit.cz)
- [Tajmac Zlín 2010] [www.tajmac-zps.cz](http://www.tajmac-zps.cz)
- [ČKD Blansko 2010] [www.ckdblansko.cz](http://www.ckdblansko.cz)
- [TOS Hulín 2010] [www.toshulin.eu](http://www.toshulin.eu)
- [Vrtačky 2010] [www.vrtacky.com](http://www.vrtacky.com)
- [Weber 2010] [www.weiler.cz](http://www.weiler.cz)
- [TOS Varnsdorf 2010] [www.tosvarnsdorf.cz](http://www.tosvarnsdorf.cz)
- [Strojirna Týc 2010] [www.strojirna-tyc.cz](http://www.strojirna-tyc.cz)
- [EJ2010] [www.junker-group.com](http://www.junker-group.com)
- [CETOS2010][www.tosas.cz](http://www.tosas.cz)
- [Kuřim 2010] [www.ks-kurim.cz](http://www.ks-kurim.cz)
- [TriJoint] [www.kovosvit.cz/trijoint](http://www.kovosvit.cz/trijoint)
- [Wikow Gear 2010 ][www.wikov.com](http://www.wikov.com)
- [Vyškov 2010][www.vyrobnistroje.cz](http://www.vyrobnistroje.cz)
- [Pily 2010][www.fipas.cz](http://www.fipas.cz)
- [Strojtos 2010] [www.strojtos.cz](http://www.strojtos.cz)

[Gudel 2010] [www.gudel.com](http://www.gudel.com)

[TOSKurim 2010] [www.tos-kurim.cz](http://www.tos-kurim.cz)

## **KKS/ZSVS ZÁKLADY STAVBY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ**

doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.

Vydavatel:                   Západočeská univerzita v Plzni, Vydavatelství  
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň  
tel.: 377 631 951  
e-mail: vydavatel@vyd.zcu.cz

Katedra:                   konstruování strojů  
Vedoucí katedry:       doc. Ing. Václava Lašová, CSc.  
Určeno:                   pro studenty FST  
Vyšlo:                   červen 2012  
Počet stran:           154  
Nositelé  
autorských práv:       doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.  
Západočeská univerzita v Plzni  
Vydání:                  1. vydání, on-line

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.





MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



**OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost**

INVESTICE  
DO ROZVOJE  
VZDĚLÁVÁNÍ

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/07.0235 „Inovace výuky v oboru konstruování strojů včetně jeho teoretické, metodické a počítačové podpory“.