



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMU A ROBOTIKY

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

# **VERTIKÁLNÍ SOUSTRUŽNICKÉ STROJE**

VERTICAL LATHE MACHINES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**VOJTĚCH HOLUB**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2013





Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Akademický rok: 2012/13

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vojtěch Holub

kteřý/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

#### **Vertikální soustružnické stroje**

v anglickém jazyce:

#### **Vertical lathe machines**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést rešerši, popis a roztřídění soustružnických strojů.

Provést výpočtový návrh zvolené komponenty soustružnického stroje.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše a popis vertikálních soustružnických strojů současné produkce.

Výpočtový návrh vybraného uzlu soustružnického stroje.

Seznam odborné literatury:

Marek, J.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISSN 1212-2572

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

www stránky výrobců soustružnických strojů

www.mmspektrum.com

www.infozdroje.cz

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 22.11.2012



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan



## **ABSTRAKT**

První část této bakalářské práce se zabývá dělením vertikálních soustružnických strojů a jejich popisem. Dále pak se zde nachází pojednání o hlavních výrobcích těchto strojů a jejich produkci. Práce je zaměřena především na stroje současné světové produkce. V druhé části je uveden výpočtový návrh vybraného uzlu soustružnického stroje.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

vertikální soustružnický stroj, výpočet, výrobce, rešerše

## **ABSTRACT**

The first part of this bachelor thesis deals with types of vertical lathe machines and their description. Then there is an summary of leading produces of this machines. This thesis is focused on current machines. In the second part is shown computational design of chosen part of machine.

## **KEYWORDS**

vertical lathe machine, calculation, producer, literature retrieval

## **BIBLIOGRAFOCKÁ CITACE**

HOLUB Vojtěch: Vertikální soustružnické stroje. Brno, 2013. 32 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, Odbor výrobní stroje, systémy a roboty. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D





Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

### **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

20. května 2013.....

Vojtěch Holub





Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

### **PODĚKOVÁNÍ**

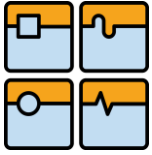
Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu ve studiu.





## OBSAH

úvod .....	1
1. Vertikální soustruhy .....	2
1.1. Jednostojanové vertikální soustruhy .....	2
1.2. Dvoustojanové vertikální soustruhy .....	3
2. Části vertikálních soustruhů .....	4
2.1. Upínací deska .....	4
2.2. Pohon upínací desky .....	5
2.3. Smykadlo .....	5
2.4. Rám .....	6
2.5. Materiál rámu .....	6
2.5.1. Kovové materiály .....	6
2.5.2. Beton .....	7
2.5.3. Polymerbeton .....	7
2.5.4. Žula .....	7
2.6. Tuhost rámu .....	8
2.7. Vedení .....	8
2.8. Zařízení pro automatickou výměnu nástrojů .....	9
2.9. Automatická výměna obrobků .....	11
3. Výrobci vertikálních soustruhů .....	11
3.1. Toshulin .....	11
3.2. Čkd blansko .....	13
3.3. Danobat .....	14
3.4. Omos .....	14
3.5. Tdz turn .....	15
3.6. Lymco .....	16
3.7. Pietrocnaghi .....	16
3.8. Mag .....	16
3.9. Knuth .....	17
3.10. Emco .....	18
3.11. Další výrobci vertikálních soustruhů .....	18
4. Výpočet upínací desky .....	19
4.1. Řezné rychlosti a průřez třísky .....	19
4.2. Řezné síly .....	20
4.3. Volba motoru .....	21
4.4. Výpočet rozměrů ozubení .....	22
4.5. Výpočet tuhosti upínací desky .....	25
4.6. Výsledky výpočtu .....	25
5. Závěr .....	26
Seznam obrázků .....	27
Seznam použitých zdrojů .....	28
Seznam použitých symbolů a značek .....	32



Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

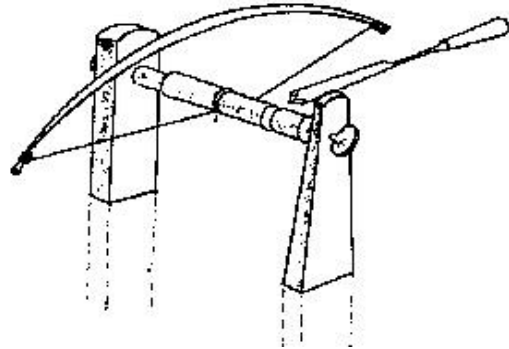
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



## ÚVOD

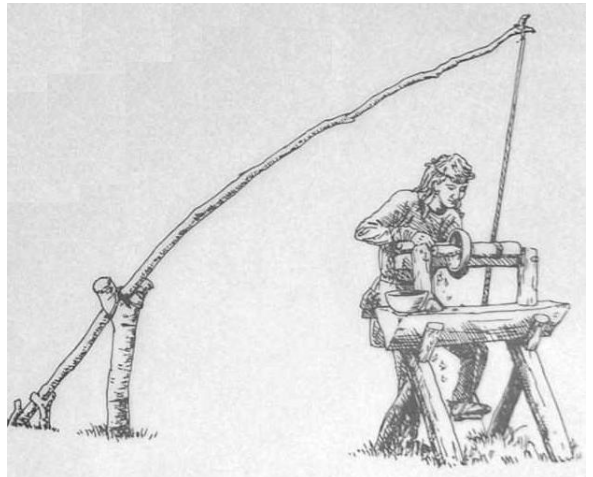
Soustružení je druh třískového obrábění kde hlavní pohyb (rotační) koná obrobek a vedlejší pohyb (podélný a příčný posuv) koná nástroj. Lze obrábět válcové plochy, kuželové, obecné rotační, rovinné plochy, řezat závit, vyhrubovat, vystružovat.

Historie soustružení sahá až do mladší doby kamenné v Egyptě. V této době můžeme nalézt první soustružené předměty, které byly vyrobeny z alabastru. Podle historické knihy "Méchaniké syntaxis", která byla napsána ve třetím století před Kristem řeckým autorem, i Řekové znali soustruh. Autor se v této knize zmiňuje o soustružených válcích a pístech čerpadel. V období starého Říma se používal lukový soustruh (obr. 1.), někdy také nazývaný smyčcový. O tomto druhu soustruhu se zmiňuje římský architekt a mechanik ve své knize "De architektura". Princip lukového soustruhu spočívá v upnutí obrobku mezi hroty, kolem obráběného kusu se následně omotá luková tětiva. Rotační pohyb obrobku je vytvářen pomocí přímočarého pohybu luku.



Obr.1. Lukový soustruh [2]

V následujících stoletích se objevovaly různé modifikace tohoto typu soustruhu (obr. 2.), až ve 14. století dochází k pokroku. V této době se začala používat k pohonu strojů voda, následně se objevují myšlenky použití suportu nebo poháněného vřetene. Začátkem 18. století bylo již možné soustružit různé druhy šroubových závitů. S nástupem průmyslové revoluce se objevuje první železný soustruh s pevně vedeným suportem umožňujícím pohyb nože podél soustruženého předmětu i kolmo k němu.[3][4]



Obr.2. Šlapací soustruh [1]

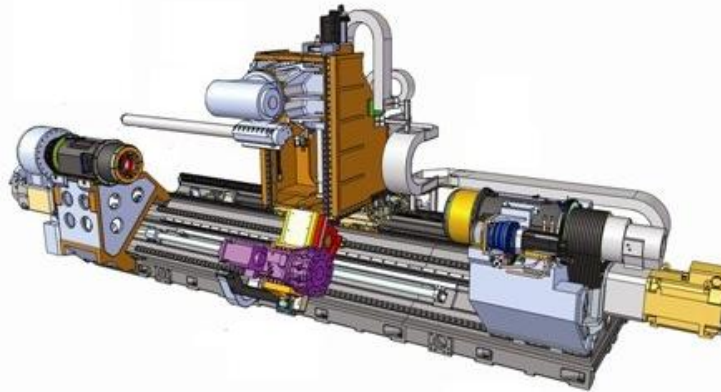
Od dob průmyslové revoluce dochází k neustálému vývoji v oblasti obrábění. Významný vývoj nastal ve dvacátém století s příchodem automatizace. V současné době jde vývoj stále dopředu, začínají se uplatňovat multifunkční obráběcí centra. U těchto strojů je snaha sjednotit hardware a software a posílit provázanost na externí počítačové stanice. Tyto stroje mají obvykle integrované CAD/CAM systémy. Z konstrukčně technologického hlediska se dělí soustruhy na[5] :

- ❖ hrotové soustruhy - Používají se v kusové a malosériové výrobě. Mají obvykle rozsáhlé příslušenství pro upínání obrobků a nástrojů. Pomocí speciálního příslušenství na nich lze frézovat, brousit. Jako zvláštní příslušenství se dodávají kopírovací zařízení,
- ❖ čelní soustruhy - Používají se pro soustružení krátkých součástí velkých průměrů. Obrobky se upínají na upínací desku s vodorovnou osou otáčení. Tyto soustruhy nemají koník,



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- ❖ svislé soustruhy (karusely) - Používají se pro soustružení velkých a těžkých obrobků. Osa otáčení upínací desky je svislá,
- ❖ revolverové soustruhy - Mají revolverovou hlavu pro upínání více nástrojů, obrobek je obráběn během jednoho upnutí,
- ❖ poloautomatické soustruhy - Mají automatický cyklus, upnutí provádí obsluha,
- ❖ automatické soustruhy - NC, CNC, multifunkční obráběcí centra (obr. 3.).[6]



Obr.3. Multifunkční obráběcí centrum MULTICUT 630 [7]

### 1. VERTIKÁLNÍ SOUSTRUHY

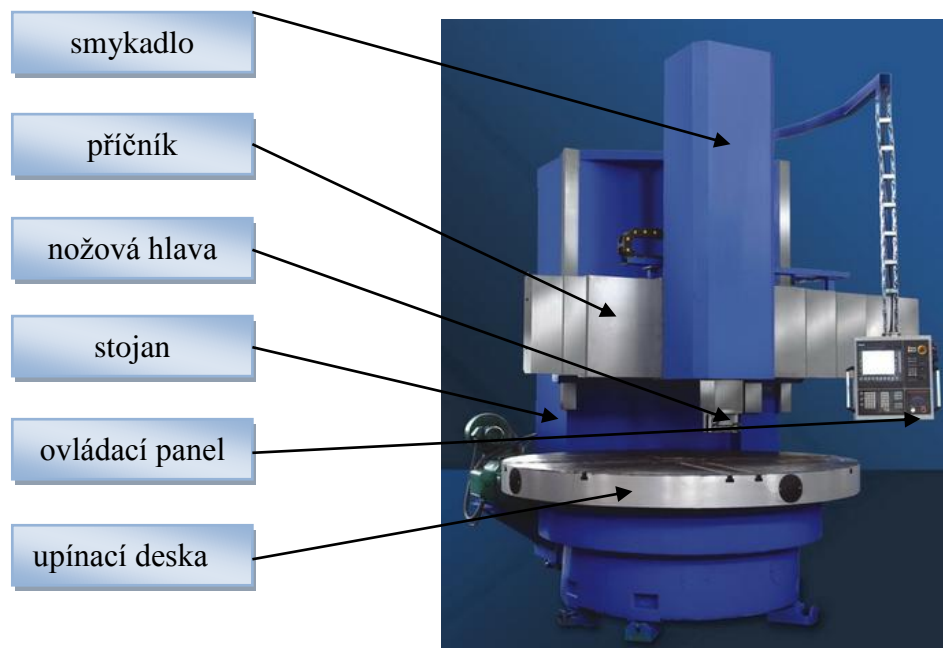
Svislé soustruhy se vyznačují svislou osou rotace upínací desky. Jsou určeny k obrábění těžkých a rozměrných obrobků. Lze na nich obrábět jak rotační tak nerotační součásti. Na svislých soustruzích je možno obrábět válcové plochy, kuželové plochy, řezat závity, vyvrtávat válcové nebo kuželové otvory. Jako příslušenství se dodává zařízení pro frézování a broušení. Konkrétní příklady využití karuselů jsou například velká ložiska, rotační části motorů, válcové otvory turbín, opracovávání přírub atd.

Základní dělení vertikálních soustruhů je na jednostojanové a dvoustojanové, někteří výrobci uvádí dělení podle průměru upínací desky. Vertikální soustruhy se skládají ze stojanů, příčnicku, stolu, upínací desky a suportů (stojanových a příčnickových). Rozměrové parametry strojů jsou maximální průměr soustružení a největší výška soustružení.[8][9]

#### 1.1.JEDNOSTOJANOVÉ VERTIKÁLNÍ SOUSTRUHY

Jednostojanové vertikální soustruhy (obr. 4.) mají průměr upínací desky od 800 mm do 2000 mm. Stroje jsou řízeny buď numericky, nebo počítačem. Pro upínání nástrojů se používá revolverová hlava nejčastěji pro 5 nástrojů, nebo jsou nástroje uloženy v zásobnících pro automatickou výměnu nástrojů. Jednostojanové stroje se skládají z následujících částí:

- ❖ upínací deska,
- ❖ smykadlo,
- ❖ příčník,
- ❖ stojan,
- ❖ suport.



Obr.4. Popis jedno stojanového vertikálního soustruhu [11]

V některých případech vyrábí firmy i jedno stojanové stroje s vyšším průměrem upínací desky než 2000 mm, například některé stroje firmy ČKD Blansko řady SJK. V případě takovýchto strojů je třeba počítat se zvýšeným namáháním příčnicku a stojanu v ohybu a krutu.[8][9]

## 1.2.DVOUSTOJANOVÉ VERTIKÁLNÍ SOUSTRUHY

Dvoustojanové vertikální soustruhy (obr. 5.) jsou konstruovány pro průměr obrobku od 1600 mm do 18 000 mm. Některé stroje se mohou pohybovat v ose Z a to z důvodu lepšího přístupu k obrobku a usnadnění manipulace s obrobkem. Od jedno stojanových se liší především tím, že mají dva stojany, které jsou spojeny příčkou. U enormně velkých strojů (průměr obrobku větší než 18000 mm) se někdy přistupuje k úpravě konstrukce a to z důvodu jednak finančního a také za účelem zjednodušení konstrukce stroje. Takovéto soustruhy pak mají sloupky složené z jednotlivých bloků posazených na sobě a příčnick je také tvořen svařením více částí dohromady. [8][9]



Obr.5. Dvoustojanový vertikální soustruh [10]



## 2. ČÁSTI VERTIKÁLNÍCH SOUSTUHŮ

Tato kapitola se podrobněji věnuje jednotlivým částem vertikálních soustruhů.

### 2.1. UPÍNACÍ DESKA

Upínací deska (obr. 6.) slouží k upnutí obrobku. Obrobek může být upnut buď klasicky mechanicky nebo například magneticky, hydraulicky výjimečně vakuově. Pro mechanické upnutí se používají například sklíčidla, svěráky a čelisti. Deska sama o sobě je nejsložitější částí vertikálních soustruhů, obzvláště u velkých strojů.

Upínací deska může být buď celistvá, nebo u větších rozměrů (průměr desky nad 5000 mm) se přistupuje z důvodu manipulace k dělení a to na poloviny, na čtvrtiny nebo po úsecích. Takto konstruované desky jsou opatřeny přírubami a spojeny šrouby. Spojení musí být co nejpřesnější, aby se deska chovala jako jedno těleso. Pro největší svislé soustruhy se vyrábí deska ze dvou kruhových částí, z nichž každá má svůj vlastní pohon. Pro pohon desky se používají asynchronní elektromotory.

Upínací deska může být uložena:

- ❖ kluzně,
- ❖ valivě,
- ❖ kombinací kluzného a valivého uložení,
- ❖ hydrostaticky.[8][9]



Obr.6. Upínací deska [12]

Jako materiál pro upínací desky se používá ocel na odlitky nebo šedá litina. Šedá litina (obr. 7.) neboli litina s lupínkovým grafitem je slitina železa a uhlíku obsah uhlíku je obvykle od 2,5% do 3,5% . Výhodou tohoto materiálu je, že má velice dobré tlumící vlastnosti což je žádoucí u obráběcích strojů kde vznikají vibrace a zároveň má dobré slévárenské vlastnosti. Další vlastnosti jsou například dobrá tepelná vodivost, nevýhodou je, že šedá litina má téměř nulovou tažnost.

Ocel na odlitky má oproti šedé litině lepší mechanické vlastnosti a tažnost ale horší tlumící vlastnosti.[13]



Obr.7. Struktura šedé litiny [13]



## 2.2. POHON UPÍNACÍ DESKY

Pro pohon upínací desky se používá převodová skříň pro stupňovitou změnu otáček a u větších strojů skříň pro plynulou změnu otáček. Skříň je poháněna elektromotorem, nejčastěji asynchronním. Pro stupňovitou změnu otáček se nejčastěji používají ozubená kola. Převodovky mohou mít stálou polohu os nebo proměnou polohu os (planetové převodovky).

Převodovky se stálou polohou os se skládají z ozubených kol upevněných na hřídelích, převodový poměr je poměr vstupních otáček (na hnacím hřídeli) ku otáčkám výstupním (na hnaném hřídeli). Podle konstrukce se tyto převodovky dělí na[8]:

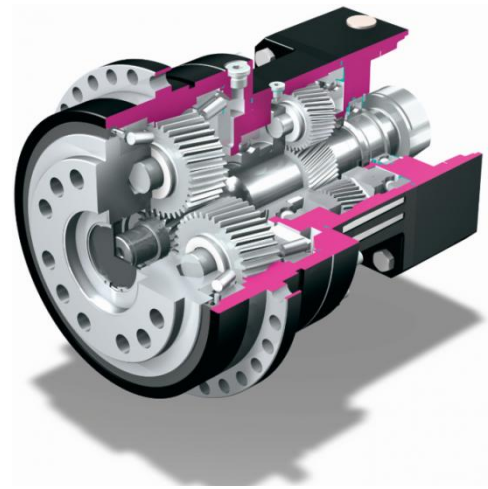
- ❖ s čelními koly,
- ❖ s kuželovým soukolím,
- ❖ kombinované,
- ❖ šnekové.

Planetové převodovky (obr. 8.) se skládají z koronového kola, unašeče, satelitů a centrálního kola. Vstupní a výstupní hřídel leží v jedné ose a osy satelitů rotují okolo centrální osy. Výhodou planetových převodů je, že díky rozdělení sil na více kol mohou přenášet vyšší výkony, mají menší hmotnost a rozměry a také vysoký převodový poměr. Nevýhodou oproti klasickým převodovkám je vyšší cena.

Plynulé změny otáček lze dosáhnout například variátory. Převod probíhá pomocí řemenů a řemenic, řemenice se postupně rozevírají a svírají, tím je měněn poloměr styku a dochází ke změně otáček. Dalším způsobem je použití lamelových řetězů. Zuby lamel zapadají do drážek na kuželových plochách. Změna převodu probíhá posouváním kotoučů a tak se řemen dostane na větší průměr a tím dojde ke změně otáček, další možností je, že se nepohybují kotouče ale řemeny.[14]

## 2.3. SMYKADLO

Smykadlo (obr. 9.) svislého soustruhu má obvykle čtvercový průřez, popřípadě šestiboký u starších strojů. Při soustružení dlouhých válcových je smykadlo nadměrně namáháno a je to nejslabší část celého soustruhu. Smykadlo může být uloženo ve valivých bocích, ve vedení nebo hydrostaticky. Hydrostatické uložení značně zvyšuje dynamickou tuhost a tlumení při působení velkých řezných sil.[9]



Obr.8. Planetová převodovka [15]



Obr.9. Smykadlo [16]



## 2.4. RÁM

Základní části rámu u vertikálních soustruhů jsou lože, příčník, stojan a u dvou stojanových vertikálních soustruhů příčka. Rám má velký vliv na výslednou přesnost obrábění. Při konstrukci rámu je potřeba zajistit dostatečnou tuhost, rozměrovou stálost a odolnost vedení proti opotřebení. Z toho důvodu vyžaduje konstrukce rámu zohlednit velké množství faktorů, které hrají významnou roli ve výsledném fungování a výrobě rámu:

- materiál rámu,
- statická tuhost,
- dynamická a tepelná stabilita,
- dobré uložení na základ,
- nízká hmotnost,
- jednoduchá a efektivní výroba,
- snadná manipulovatelnost.

Materiál rámu má výrazný vliv na jeho vlastnosti. Nejčastěji se používá šedá litina nebo ocel, avšak začínají se již využívat i neželezné materiály jako beton popřípadě polymerbeton. Volba materiálu závisí nejen na jeho fyzikálních vlastnostech, které přímo ovlivňují vlastnosti konstrukce (tab. 1), ale také například na ceně nebo technologických vlastnostech materiálu.[9][14]

FYZIKÁLNÍ VLASTNOST	VLIV NA KONSTRUKCI
pevnost (tah, tlak, krut, ohyb)	bezpečnost proti trvalé deformaci a lomu
specifická hmotnost	hmotnost, dynamické a statické vlastnosti
modul pružností v tahu a smyku	statická a dynamická tuhost
útlum chvění	dynamické vlastnosti
kluzné vlastnosti, tvrdost	tření a opotřebení v kluzných zónách
vnitřní pnutí	trvalá přesnost
tepelná roztažnost a vodivost	tepelná stabilita

Tab.1. Vliv fyzikálních vlastností na konstrukci [9]

## 2.5. MATERIÁL RÁMU

### 2.5.1. KOVOVÉ MATERIÁLY

Kovové materiály jsou nejběžněji využívanými materiály pro konstrukci rámu obráběcích strojů. Pro konstrukci se využívá šedá litina, ocel popřípadě tvárná litina. Každý z těchto materiálů má specifické vlastnosti a volba závisí na požadavcích, které jsou kladeny na výsledný produkt.

Šedá litina má velice dobré tlumící schopnosti a v porovnání s ostatními materiály je levnější, nevýhodou je malý modul pružnosti. Oproti tomu tvárná litina má vyšší modul pružnosti než šedá, ale je o poznání dražší. Nejlepší mechanické vlastnosti z kovových materiálů má ocel, má také vyšší modul pružnosti než tvárná litina, nevýhodou oceli oproti litinám je menší tlumící schopnost.[14][9]



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce rámců z těchto materiálů jsou provedeny jako svěřenec nebo jako odlitek. Při návrhu odlitku je třeba se držet všeobecně platných pravidel pro konstrukci odlitku jako například:

- co nejméně obráběných ploch,
- tvar odlitku musí být proveden tak, aby umožňoval čištění ploch po vyjmutí z formy,
- přiměřená hmotnost,
- rovnoměrné tuhnutí odlitků,
- zaoblení hran.[9]

Z důvodu nižšího modulu pružnosti litiny je potřeba volit větší tloušťky stěn než u svařovaných konstrukcí. Výhodou odlévaných konstrukcí oproti svařovaným je jejich cena, jsou ale těžší a výroba je časově náročnější z důvodu nutnosti vystárnutí odlitku.

Oproti tomu svařované konstrukce umožňují snadnější opravy a změny a nejsou tak časově náročné na výrobu. Nevýhodou je nižší tuhost konstrukce a potřeba odstranit vnitřní pnutí v materiálu vzniklé v důsledku svařování.[14][9]

### 2.5.2. BETON

Beton (obr. 10.) je kompozitní materiál skládající se z písku, štěrku, cementového pojiva, příměsí proti smršťování a vody. Beton vyniká především vynikajícím tlumením vibrací, má dobrou pevnost v tlaku, součinitel teplotní roztažnosti je zhruba stejný jako u oceli a má malý koeficient teplotní vodivosti. Nevýhodou je špatná odolnost vůči chemikáliím. U stojanů svislých soustruhů se beton používá k výplním svařených konstrukcí.



Obr.10. Betonové lože stroje powerturn [18]

### 2.5.3. POLYMERBETON

Polymerbeton je moderní kompozitní materiál, který se skládá z plniva a pojiva. Jako pojivo slouží pryskyřice a funkci plniva zastává například umělá keramika popřípadě různé horniny (štěrk).

Polymerbeton překonává klasický beton ve všech ohledech, má vyšší pevnost v tahu, vyšší modul pružnosti, je také odolný vůči působení chemikálií a dobře přilnavý k ocelovým konstrukcím a to vše při nižší nebo stejné hmotnosti. Díky tomu se může rovnat i některým kovovým materiálům, například slitinám hliníku. I přesto polymerbeton není tak rozšířený jako konvenční konstrukční materiály a to hlavně kvůli vyšší ceně.

### 2.5.4. ŽULA

Ze žuly se většinou vyrábí monolitní bloky. U obráběcích strojů se používá především na nepohyblivé části například lože. Mezi vlastnosti žuly patří vysoká tuhost, odolnost proti opotřebení, nízký součinitel teplotní roztažnosti a vysoká tvarová stabilita.[9][17]

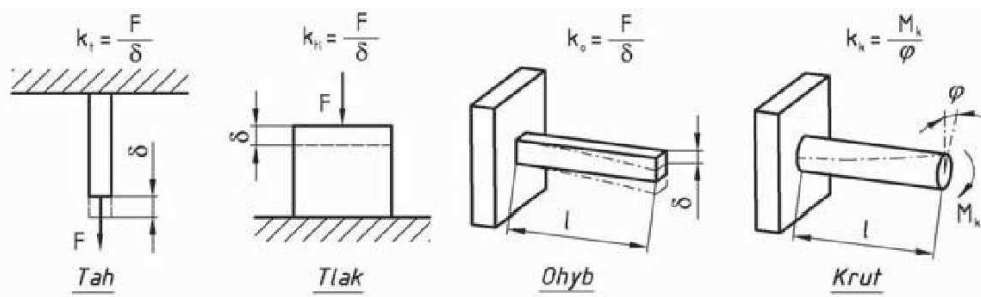


## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**2.6. TUHOST RÁMU**

Tuhost rámu je velice důležitým parametrem, závisí na ní výsledná přesnost obrábění. Tuhost stroje jako celku je závislá na mnoha faktorech jako například na způsobu konstrukce nebo materiálu. Tuhost rozlišujeme na celkovou (tuhost celého stroje) a dílčí (tuhost jednoho dílu). Tuhost je statická a dynamická:

- statická tuhost - pojem statická tuhost zahrnuje vliv působení sil (obr. 11.) a deformace jimi způsobené. Při výpočtu tuhosti rámu svislých soustruhů se uvažuje poloha suportu se smýkadlem uprostřed příčnicku a v nejvyšší poloze. Vlivem těchto sil dochází k vychýlení břitu nástroje a tím k nepřesnostem při obrábění.[]



Obr.11. Druhy statického zatížení [9]

- dynamická tuhost - je schopnost odolávat kmitání. Kmitání vzniká u obráběcích strojů vlivem nevyváženosti rotačních součástí, nepřesností výroby součástí, odvalováním součástí po sobě. Kmitání je nežádoucí jev, který ovlivňuje nejen přesnost opracovávané plochy, ale také zvyšuje hlučnost stroje a snižuje výkon. Rozeznáváme kmitání vlastní, buzené a samobuzené.[9][8]

**2.7. VEDENÍ**

U obráběcích strojů se lze setkat s následujícími typy vedení: kluzná, valivá, aerostatická a valivá profilová. Kluzná vedení se podle provedení dále dělí na hydrodynamická a hydrostatická. U vertikálních soustruhů vedení umožňuje pohyb příčnicku a suportu. U desky se používá takzvané kruhové vedení, označení kruhové vedení znamená, že tvar vedení není přímý ale kruhový (deska se neposouvá, ale otáčí se). Ale i v tomto případě můžeme mluvit o kluzném a valivém vedení. Dle potřeby se přistupuje ke kombinacím těchto dvou základních typů.

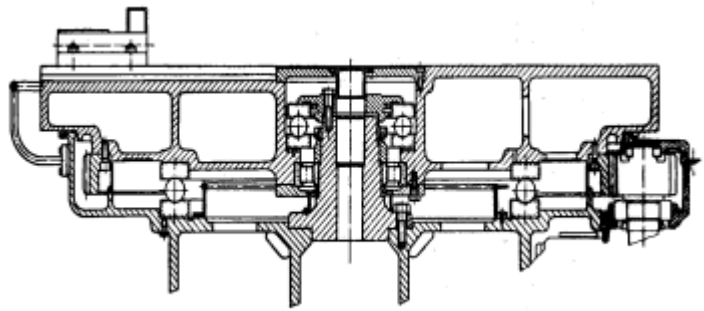
U hydrostatického vedení je tlaková mazací kapalina přiváděna mezi součásti z kapes uložených podél vodící plochy. Mezi výhody hydrostatického vedení patří například stabilita pohybu, nízké opotřebení. Hydrostatické vedení má velmi malý součinitel tření a díky tomu jsou síly potřebné k pohybu tělesa velice malé. Nevýhodou je nutnost vlastního čerpadla pro přívod tlakového oleje, složitá výroba a nákladný provoz. Tento druh vedení se používá u přesných strojů.

Hydrodynamické vedení je levnější než hydrostatické, mazací kapalina není přiváděna pod tlakem. V důsledku toho dochází k trhavému pohybu, který nepříznivě ovlivňuje jakost opracovávané plochy.

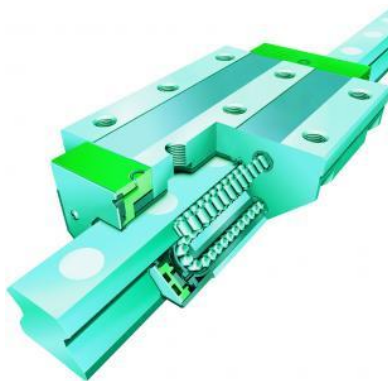


## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Valivá vedení (obr. 12.) se používají u nejpřesnějších strojů. Jako elementy vedení se používají kuličky, válečky popřípadě jehly. U tohoto druhu vedení je jen velice malý rozdíl mezi součinitelem tření za klidu a za pohybu, což má za následek eliminaci možnosti vzniku trhavých pohybů při malých rychlostech posuvu. Dále lze dosáhnout předepnutí a díky tomu dojde ke zvýšení tuhosti. Další výhodou je vysoká životnost. Oproti tomu valivá vedení musí být vyrobena velice přesně, hůře tlumí chvění a rozměry jsou větší než v případě hydrostatického vedení. Valivá profilová vedení (obr. 13.) se skládají z kolejnic a vozíků. Vozíky se pohybují po elementech, které v nich obíhají. Dělí se na vozíky s řízeným a neřízeným pohybem kuliček.[9]



Obr.12. Valivé uložení desky vertikálního soustruhu [19]



Obr.13. Profilové valivé vedení [20]

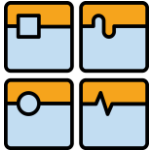
### 2.8. ZAŘÍZENÍ PRO AUTOMATICKOU VÝMĚNU NÁSTROJŮ

Automatická výměna nástrojů u svislých soustruhů se nijak neliší od ostatních strojů. U vertikálních soustruhů jsou obvykle nástroje uloženy v revolverové hlavě nebo v zásobnících. Kapacita zásobníků obvykle dosahuje 15 – 100 kusů. Při výměně nástrojů je důležité, aby proces proběhl co nejrychleji a zároveň nebyl omezen pracovní prostor. Podle konstrukce se zásobníky dělí na bubnové (obr. 14.), deskové, regálové a řetězové. Při samotné výměně nástrojů se pak nástroje upouští do dopravního manipulátoru popřípadě do manipulátoru pro výměnu nástrojů.

Systémy automatické výměny nástrojů se dělí na systémy s nosnými zásobníky, systémy se skladovacími zásobníky a systémy kombinované.



Obr.14. Bubnový zásobník [22]



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

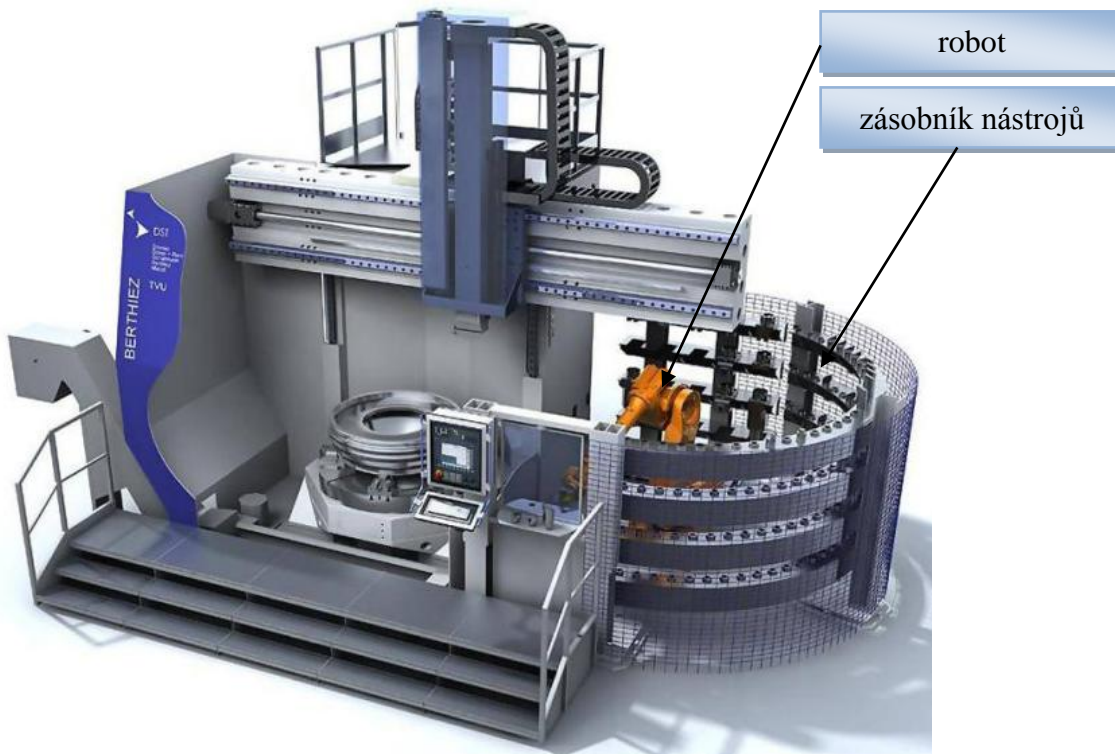
Systémy s nosnými zásobníky nedosahují takové kapacity nástrojů, ale jsou menší a z toho důvodu vhodné k umístění přímo na rám stroje. Nástroje jsou pevně upnuty v zásobníku, typickým příkladem tohoto druhu zásobníku je již zmíněná revolverová hlava (obr. 15.).

Oproti tomu systémy se skladovacími zásobníky nemají nástroje upnuté pevně. Nástroj je dopraven ze zásobníku a upnut pomocí manipulátoru, nebo výměna může probíhat přímo bez použití manipulátoru (pick-up). Podle kapacity je lze rozdělit na nízkokapacitní a vysokokapacitní.

Firma Danobat zabývající se konstrukcí vertikálních soustruhů nabízí systém automatické výměny, kde výměnu provádí šestiosý průmyslový robot (obr. 16.). Uvedené výhody tohoto systému jsou například zvýšení rychlosti výměny, kapacita až 100 nástrojů a systém automatické detekce polohy bránící kolizi.[21][9][22]



Obr.15. Revolverová hlava [22]



Obr.16. Automatická výměna nástrojů pomocí robotu [24]



## 2.9. AUTOMATICKÁ VÝMĚNA OBROBKŮ

U malých a středních vertikálních soustruhů probíhá automatická výměna pomocí paletizačního systému a manipulátorů, v případě velkých strojů jsou obrobky měněny například jeřábem. Palety (obr. 17.) musí být vyrobeny velice přesně a konstrukce musí být dostatečně tuhá. I přes to, že výměna je automatizována je poměrně časově náročná. Při výměně obrobků na vertikálních obráběcích centrech je obrobek nejprve upnut na paletu pak dopraven pomocí manipulátoru do pracovního prostoru stroje, po ukončení obrábění je paleta vyjmuta a celý proces se opakuje.[9]



Obr.17. Automatická výměna obrobků [23]

## 3. VÝROBCI VERTIKÁLNÍCH SOUSTRUHŮ



### 3.1. TOSHULIN

Toshulin je česká společnost která vznikla roku 1949, v tomto roce byla zahájena výstavba strojírenského závodu ve městě Hulín. V roce 1959 začala firma jako jedna z prvních na světě vyrábět generaci strojů, které disponovaly NC řízením. Již o patnáct let později byly stroje firmy Toshulin vybaveny systémem automatické výměny nástrojů. Od dob svého vzniku dodala firma 13 500 obráběcích strojů do 60 zemí světa. V současné době firma nabízí několik řad strojů s průměrem upínací desky od 800 do 6000 mm.

Stroje výrobní řady **Basicturn** (obr.18.) jsou konstruovány jako jednostojanové. Průměr upínací desky se pohybuje od 800 mm do 3000 mm. Stroj disponuje systémem automatické výměny nástrojů a možností přívodu chladicí kapaliny středem nástroje. Při koupi stroje lze zvolit řídicí systém Siemens nebo Fanuc. Výrobní řada Basicturn je určena pro přesné obrábění menších a středních obrobků.



Obr.18. Stroj řady Basicturn [25]



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Soustruhy řady **Powerturn** (obr. 19.) jsou určeny pro obrábění středně velkých součástí. Jako příslušenství lze zakoupit systém automatické výměny palet. Řetězový zásobník nástrojů se dodává v několika variantách, dosahuje kapacity 45, 75 nebo 95 nástrojů. Smykadlo umožňuje upnutí několika druhů držáků. Lze upnout například soustružnické držáky, adaptéry pro rotační nástroje nebo brousící vřetena.

Další produktovou řadou strojů vyráběných firmou Toshulin je **Experturn** (obr. 20.). Jedná se o obráběcí centra, konfigurace stroje je volena dle konkrétních požadavků zákazníka. Rám stroje je vyroben z šedé litiny, nebo vysokopevnostního betonu a vyznačuje se vysokou tuhostí, smykadlo je oproti předchozím řadám dimenzováno na náročnější obrábění. Uložení desky může být zvoleno zákazníkem jako hydrostatické nebo valivé a lze také implementovat hydrostatické vedení v lineárních osách. Konstrukce stroje je dvoustojanová a umožňuje rozšíření pro pohyb stroje v ose Y.



Obr.19. Stroj řady Powerturn [25]



Obr.20. Stroj řady Experturn [25]

Pro obrábění velkorozměrných a těžkých obrobků je určena řada **Forcerturn** (obr. 21.). Maximální možný průměr obrobku je 7300 mm a hmotnost 100000 kg. Dvoustojanový rám je vyroben z litiny, jako volitelné příslušenství lze zakoupit druhé smykadlo. Deska je uložena hydrostaticky a umožňuje přesné polohování v ose C.[25]



Obr.21. Stroj řady Forcerturn [25]



### 3.2. ČKD BLANSKO



Společnost ČKD BLANSKO se specializuje na výrobu velkých svislých soustruhů. Vyrábí jak jednojahanovou variantu modifikovanou tak, aby bylo možné obrábět velké obrobky, tak také dvoujahanové soustruhy. Tato společnost patří mezi nejvýznamnější české strojírenské firmy. Firma má bohatou historii sahající až do 17. století. Na vývoj a konstrukci vertikálních soustruhů se firma zaměřila v roce 1951, od té doby dodala 730 strojů do 30 zemí světa. V současné době se firma skládá ze čtyř divizí: Hydro, Wind, Karusely a Strojírny.



Obr.22. Stroj řady SKD [26]



Obr.23. Stroj řady SKJ [26]

Jednojahanové soustruhy řady **SKJ** (obr. 23.) umožňují obrábět součásti od průměru 2,8 do 16 metrů a maximální výška obrobků se pohybuje od 2,5 do 6,5 metrů. Únosnost je 50 až 450 tun. Dvojahanové (obr. 22.) mají označení **SKD**, maximální průměr obrobku je 2,8 – 10 metrů, výška obrobku 2,5 – 5,5 metrů a hmotnost 50 – 450 tun.

U jednojahanových soustruhů je rám tvořen vodorovně přednastavitelným stojanem a svisle přednastavitelným příčnickem s opěrným ramenem, konstrukce dvoujahanových je klasická se dvěma sloupy a příčkou (kapitola 1). V obou případech je rám vyroben z litiny. Vodící plochy a smykadlo jsou vyrobeny z kalené oceli. Uložení desky je provedeno jako hydrostatické v axiálním směru, v radiálním směru jsou použita valivá ložiska. Stroje firmy ČKD BLANSKO jsou opatřeny obslužnou plošinou, která je umístěna na pravé straně stroje a nachází se na ní hlavní ovládací panel. Odvod třísek je řešen dopravníky třísek umístěných okolo upínací desky, na zvláštní požadavek může být do stroje implementován kontejner na třísky nebo přímý vynášecí dopravník pro odvod třísek mimo prostor stroje. Jako zvláštní příslušenství se dodávají následující doplňky stroje:

- ❖ frézovací a vyvrtávací zařízení,
- ❖ zařízení pro automatickou výměnu nástrojů,
- ❖ zařízení pro měření opotřebení nástrojů,
- ❖ zařízení pro měření obrobku,
- ❖ hydraulický upínač obrobků atd.[26]



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

### 3.3. DANOBAT



Španělská skupina **Danobat Group** se skládá z osmi společností například Soraluce, Danobat, Estarta atd. Každá z těchto společností je zaměřena na jiný druh obráběcích strojů například soustruhy, frézky, brusky, obráběcí centra atd. Danobat Group je také součástí nadnárodní skupiny Mondragon. Skupina Mondragon je v současné době jedna z největších Evropských průmyslových skupin.

Vertikální soustruhy jsou vyráběny společností Danobat, která byla založena v roce 1954. V nabídce společnosti jsou jednostojanové i dvoustojanové vertikální soustruhy.[28]



Obr.24. WTC-1600 [27]



Obr.25. WTC-4000 [27]

Příkladem jednostojanového stroje je **WTC-1600** (obr. 24). Jedná se o nejmenší stroj v nabídce firmy Danobat. Maximální průměr obrábění je 1600 mm a výška soustružení 1800mm. Uložení upínací desky je provedeno jako valivé a pohon má výkon 105 kW. Pro pohyb smykadla v ose X je použito lineární vedení a pohyb je zajištěn servomotorem. Lineární vedení je také použito pro pohyb smykadla v ose Z (vertikálně). Otáčky desky lze efektivně regulovat přes převodovku, která je poháněna skrz reduktor. Toto umožňuje velice přesné broušení nebo frézování.

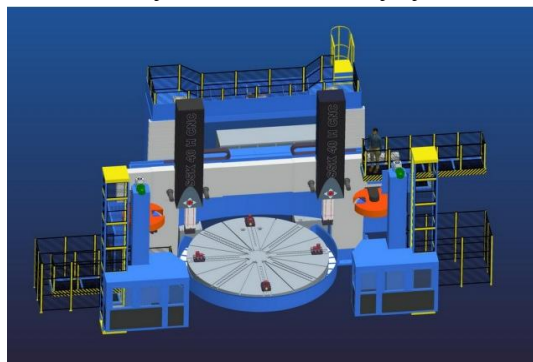
**WTC-4000** (obr. 25.) je středně velký soustruh dvoustojanové konstrukce. Maximální průměr obrábění toho stroje je 4000 mm a výška 2800 mm. Deska je v základním provedení uložena valivě, jako volitelné příslušenství se dodává vedení hydrostatické. Pohyby v osách Z a X jsou provedeny jako u WTC-1600.[27]

### 3.4. OMOS



Zhruba dvacet let existuje v Blansku společnost OMOS. Společnost je zaměřena převážně na opravy a renovace obráběcích strojů, nabízí také možnost přesného obrábění pro zákazníky. V současné době je v nabídce firmy produktová řada **SSK** dvoustojanových svislých soustruhů vlastní výroby.

Produktová řada SSK se skládá ze tří strojů. Nejmenší SSK 30 – 35 (obr. 26.) má průměr upínací desky 3000 mm a maximální výška



Obr.26. Stroj řady SSK [29]



soustružení je 2000 mm. Příčnick může být proveden jako pevný nebo přednastavitelný s pravým suportem. Jako zvláštní zařízení se dodává levý suport a boční suport. Dle konkrétních požadavků zákazníka lze provádět konstrukční změny strojů.[29]

### 3.5. TDZ TURN



Společnost TDZ turn vznikla v roce 2006, jedná se o českou společnost se sídlem v Brně. První vertikální soustruh řady **VLC** byl dodán v roce 2007 a jednalo se o jedno stojanový stroj s průměrem upínací desky 1600 mm. V současné době společnost vyrábí jedno stojanové i dvou stojanové stroje.



Obr.27. Stroj řady VLC [30]



Obr.28. Stroj řady VLC [30]

Do průměru upínací desky 2500 mm jsou stroje řady VLC konstruovány jako jedno stojanové (obr. 27.), pro vyšší průměry je konstrukce dvou stojanová (obr. 28.). Pro uložení upínací desky je použito křížové ložisko, které je schopné přenášet vysoké radiální a axiální síly. Ložisko i hlavní pohon jsou uloženy v ozubeném věnci. Pro pohon upínací desky je použit motor Siemens, výkon motoru je volen dle konkrétního přání zákazníka. Rám je vyroben z legované litiny. K základnímu vybavení strojů patří systém automatické výměny nástrojů. Standardní kapacita zásobníku je 12 až 16 kusů. Stroje řady VLC umožňují kromě klasického soustružení například vrtat, frézovat nebo brousit. Maximální otáčky rotačních nástrojů jsou 2400 ot/min. Jako řídicí systém lze zvolit Siemens nebo Fanuc. Kromě základního příslušenství je k dispozici velké množství volitelného příslušenství například:

- zásobníky nástrojů s nadstandardní kapacitou (podvěšený nebo řetězový),
- magnetická deska,
- krytování stroje,
- speciální nástrojové držáky,
- paletizační systém,
- hydraulické sklíčidlo atd.[30]



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

### 3.6. LYMCO



Firma LYMCO se zabývá výrobou obráběcích strojů. V nabídce se kromě obráběcích center a frézovacích strojů nachází i vertikální soustruhy. Označení jednostržanových vertikálních soustruhů je **RAL** (obr. 29) a dvostržanových **DV** (obr. 30).

Jednostržanové soustruhy mají upínací desku uloženou hydrostaticky. Průměr desky se pohybuje od 1250 do 2000 mm. Dvostržanové soustruhy mají průměr upínací desky od 3000 do 4000 mm.[33]



Obr.29. Stroj řady RAL [31]



Obr.30. Stroj řady DV [32]

### 3.7. PIETROCARNAGHI



V roce 1922 byla v Itálii založena společnost PIETROCARNAGHI. V nabídce firmy se nachází vertikální soustruhy dvostržanové i jednostržanové. Dále společnost vyrábí portálové frézky.

Velké soustruhy jsou konstruované pro průměr obrobku od 7200 do 14000 mm. Jednostržanové mají označení **AS** a dvostržanové **AP** (obr. 31.). Pro menší a střední součásti (průměr 1000 - 6500 mm) jsou určeny produktové řady **ATF**, **ATT**, **AC** – jednostržanové a **AC** - dvostržanové.[34][35]

### 3.8. MAG



Společnost MAG byla založena v roce 1798, v té době firma vyráběla pilové listy. První vertikální soustruh byl vyroben v roce 1954. V současné době společnost působí v mnoha odvětvích obrábění.

V nabídce firmy jsou 4 řady vertikálních soustruhů. První se značí **VDH** a jedná se o inverzní vertikální obráběcí centra. Maximální průměr v obrábění je 250 – 630 mm. Stroje řady **VDH** jsou vybaveny automatickou výměnou obrobků i nástrojů, lze na nich



Obr.31. Stroj řady AP [34]



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

frézovat, brousit, soustružit atd. Další produktovou řadou je **DVT** (obr. 33.), obráběcí centra řady DVT se vyznačují dvěma vřeteny, první je pohyblivé a umístěné inverzně oproti klasické konstrukci a druhé pevné a umístěné běžným způsobem. Tento způsob umožňuje efektivní obrábění součástí z obou stran obrobku. Průměr obrábění je stejný jako u řady VDH a příslušenství je také obdobné.

Pro větší obrobky je určena řada **VDM**, průměr soustružení se pohybuje od 600 do 2000 mm. Rám je vyroben z litiny, stroje umožňují soustružit, frézovat, brousit nebo vrtat. Proces obrábění je plně automatizován, jako zvláštní příslušenství se dodává například zařízení pro sledování procesu.



Obr.32. Stroj řady VTC [36]



Obr.33. Stroj řady DVT [37]

Pro největší obrobky je určena řada **VTC** (obr. 32.), průměr upínací desky se pohybuje od 1000 do 8000 mm. Kapacita zásobníku nástrojů dosahuje 26 – 200 kusů. Jako příslušenství se dodává:

- ❖ paletizační systém,
- ❖ sondy pro kontrolu nástrojů a obrobků,
- ❖ brousící příslušenství,
- ❖ druhé smykadlo atd.[38]

### 3.9. KNUTH



KNUTH je německá firma působící na trhu od roku 1923. Společnost vyrábí frézovací stroje, soustruhy, brusky, stroje pro řezání a erozivní obrábění. Vertikální soustruhy jsou vyráběny jak v CNC variantě tak ručně řízené. CNC řízené stroje jsou vyráběny v produktových řadách **VDM CNC** a **Verturn**.

Stroje řady VDM (obr. 34.) mají rám vyrobený z šedé litiny. Průměr soustružení se pohybuje od 1250 do 2000 mm. Upínání obrobku je řešeno čtyřčelistovým sklíčidlem. Jako standardní příslušenství se dodává dopravník třísel a vozík na třísky.



Obr.34. Stroj řady VDM [40]



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Stroj Verturn je určen pro průměr obrábění až 2500 mm. Rám je vyroben z šedé litiny, systém automatické výměny nástrojů je dodáván jako základní příslušenství.

Konvenční vertikální soustruhy jsou vyráběny v řadách **VDM** a **VDL**. [39]

### 3.10. EMCO



EMCO je rakouská společnost založená v roce 1947, původně vyráběla klasické soustruhy. V současné době se v nabídce firmy nachází soustruhy a frézovací stroje. Kategorii vertikálních soustruhů zastupuje produktová řada inverzních vertikálních obráběcích center **VT** (obr. 35.), maximální průměr soustružení se pohybuje od 130 mm do 400 mm. [41]



Obr.35. Stroj řady VT [41]

### 3.11. DALŠÍ VÝROBCI VERTIKÁLNÍCH SOUSTRUHŮ

Seznam dalších výrobců vertikálních soustruhů a vertikálních obráběcích center:

- ❖ [MAZAK](#), 
- ❖ [MORI SEIKI](#), 
- ❖ [BOST](#), 
- ❖ [GK](#), 
- ❖ [SIRMU](#), 
- ❖ [WMW](#), 
- ❖ [MARIO CARNAGHI](#), 
- ❖ [HURTON](#), 
- ❖ [BERTHIEZ](#), 
- ❖ [UNISIGN](#), 
- ❖ [KAAST](#), 
- ❖ [ROMI](#), 



## 4. VÝPOČET UPÍNACÍ DESKY

### 4.1 ŘEZNÉ RYCHLOSTI A PRŮŘEZ TŘÍSKY

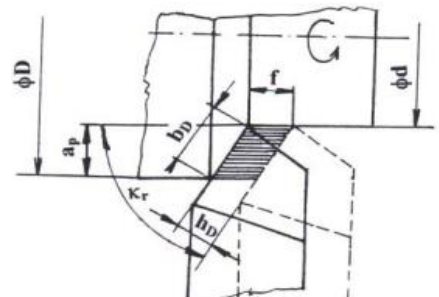
Pro řezné rychlosti při soustružení platí následující vztahy:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [\text{m min}^{-1}], \quad (1)$$

$$v_f = f \cdot n [\text{mm min}^{-1}], \quad (2)$$

$$v_e = \sqrt{v_f^2 + v_c^2} [\text{m min}^{-1}], \quad (3)$$

Kde:  $v_c$  [m min<sup>-1</sup>] - řezná rychlost,  
 $v_f$  [mm min<sup>-1</sup>] - posuvová rychlost,  
 $v_e$  [m min<sup>-1</sup>] - rychlost řezného pohybu  
 $n$  [min<sup>-1</sup>] - otáčky obrobku,  
 $D$  [mm] - průměr obrobku,  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku obrobku.



Obr.36. Rozměry třísky [6]

Pro rozměry třísky pak platí (obr. 36, obr. 37.):

$$a_p = 0.5(D - d) [\text{mm}], \quad (4)$$

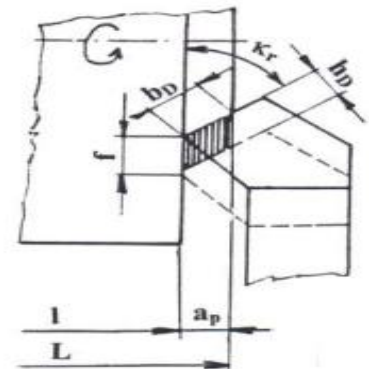
$$a_p = L - l [\text{mm}], \quad (5)$$

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} [\text{mm}], \quad (6)$$

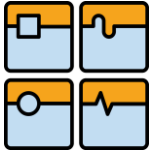
$$h_D = f \cdot \sin \kappa_r [\text{mm}], \quad (7)$$

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot f [\text{mm}^2]. \quad (8)$$

Kde:  $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří,  
 $b_D$  [mm] - jmenovitá šířka třísky,  
 $h_D$  [mm] - jmenovitá tloušťka třísky,  
 $A_D$  [mm<sup>2</sup>] - jmenovitý průřez třísky,  
 $L$  [mm] - délka obráběné plochy,  
 $l$  [mm] - délka obrobené plochy,  
 $\kappa_r$  [°] - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří,  
 $D$  [mm] - průměr obráběné plochy,  
 $d$  [mm] - průměr obrobené plochy,  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku obrobku. [6]



Obr.37. Rozměry třísky [6]



## 4.2 ŘEZNÉ SÍLY

Při návrhu pohonu upínací desky je potřeba zohlednit řezné síly (obr. 38.), které působí proti směru pohybu a snižují tak výkon a maximální možné otáčky. Řezné síly lze určit experimentálně nebo výpočtem, pro výpočet platí následující vztahy:

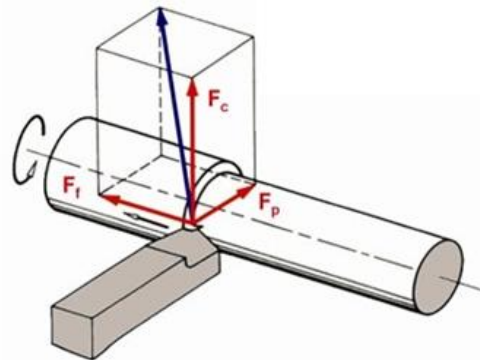
$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{X_{F_c}} \cdot f^{Y_{F_c}} \text{ [N]}, \quad (9)$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot a_p^{X_{F_f}} \cdot f^{Y_{F_f}} \text{ [N]}, \quad (10)$$

$$F_p = C_{F_p} \cdot a_p^{X_{F_p}} \cdot f^{Y_{F_p}} \text{ [N]}, \quad (11)$$

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \text{ [N]}. \quad (12)$$

Kde:  $C_{F_c}, C_{F_f}, C_{F_p}$  [-] - materiálové konstanty,  
 $X_{F_c}, X_{F_f}, X_{F_p}$  [-] -exponenty vlivu šířky záběru ostří,  
 $Y_{F_c}, Y_{F_f}, Y_{F_p}$  [-] - exponenty vlivu posuvu na otáčku,  
 $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří,  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku.  
 $F_c$  [N] - řezná síla,  
 $F_f$  [N] - posuvová síla.  
 $F_p$  [N] - pasivní síla,  
 $F$  [N] - celková řezná síla.



Obr.38. Řezné síly [42]

Pro výpočet výkonu soustruhu potřebného k pokrytí řezného výkonu a pasivních odporů stroje platí vztah:

$$P_m = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta} \text{ [Kw]}. \quad (13)$$

Kde:  $F_c$  [N] - řezná síla,  
 $v_c$  [m min<sup>-1</sup>] - řezná rychlost,  
 $\eta$  [-] -mechanická účinnost obráběcího stroje.[43]



### 4.3 VOLBA MOTORU

Při výpočtu výkonu pohonu upínací desky (obr. 39.) budu vycházet ze zvolených otáček upínací desky na prvním stupni převodu, pro které se pak dopočítá požadovaný výkon motoru. Volím tedy  $n = 50 \text{ min}^{-1}$ , při maximálním průměru obrobku  $D = 1700 \text{ mm}$ . Pro výpočet výkonu motoru je potřeba znát velikost řezné rychlosti:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [\text{m min}^{-1}],$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot 1700 \cdot 50}{1000},$$

$$v_c = 266,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}.$$



Obr.39. Model upínací desky

Dále je potřeba znát velikost řezné síly  $F_c$ , která působí protisměru pohybu a snižuje tak řezný výkon pro hodnoty koeficientů a exponentů  $C_{F_c} = 1710$ ,  $x_{F_c} = 1$ ,  $y_{F_c} = 0,78$  (platí pro posuv na otáčku  $f = 0,06 - 0,25 \text{ mm}$ ,  $\kappa_r = 45^\circ$  a  $h_D/b_D = 1/10$  až  $1/20$ ) a šířku záběru ostří  $2 \text{ mm}$  je pak velikost řezné síly:

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} [\text{N}],$$

$$F_c = 1710 \cdot 2 \cdot 0,258^{0,78},$$

$$F_c = 1159,89 \text{ N}.$$

Kontrola zda při  $a_p = 2 \text{ mm}$  a  $f = 0,25 \text{ mm}$  a  $\kappa_r = 45^\circ$  je splněna podmínka  $h_D/b_D$ :

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} = 2,83 \text{ mm},$$

$$h_D = f \cdot \sin \kappa_r = 0,1767 \text{ mm},$$

$$\frac{h_D}{b_D} = \frac{0,1767}{2,83} = \frac{1}{16}, \quad \in \left\langle \frac{1}{10}, \frac{1}{20} \right\rangle \text{ podmínka je splněna.}$$

Velikost výkonu potřebného k pokrytí řezného výkonu a pasivních odporů při mechanické účinnosti motoru  $0,865$  je:

$$P_m = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta} [\text{kW}],$$

$$P_m = \frac{1159,89 \cdot 266,9}{6 \cdot 10^4 \cdot 0,865} = 5,96 \text{ Kw}.$$



Obr.40. Motor řady ACA[44]

Ještě je potřeba přičíst zhruba **10% na pokrytí sekundárního motoru** pro vymezení vůle, pak je potřebný výkon **6,56 kW**. Tomuto nejlépe odpovídá AC asynchronní motor Siemens řady ACA (obr. 40.) s výkonem  $6,6 \text{ kW}$  a otáčkami  $3480 \text{ min}^{-1}$ .



#### 4.4 VÝPOČET ROZMĚRŮ OZUBENÍ

Nyní jsou známy otáčky motoru a požadované otáčky na výstupu a lze přistoupit k návrhu převodovky. Druh převodovky volím jako ozubená kola se dvěma stupni, ozubená kola mají stálou polohu os a na výstupu je pastorek, který přes ozubený věnec pohání upínací desku

Na **prvním stupni** jsou výstupní otáčky upínací desky  $n_4 = 50 \text{ min}^{-1}$  a průměr upínací desky  $D_4$  je 2000 mm:

$$\omega_4 = 2 \cdot \pi \cdot n_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{50}{60}\right) = 5,2359 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$v_4 = v_3 = \omega_4 \cdot r_4,$$

$$v_3 = \omega_4 \cdot r_4 = 1 \cdot 5,2359 = 5,2359 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

Volím průměr pastorku  $D_3 = 80 \text{ mm}$  pak:

$$\omega_3 = \frac{v_3}{r_3} = \frac{5,2359}{0,04} = 130,8975 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$\omega_3 = \omega_2.$$

Průměr druhého ozubeného kola volím  $D_2 = 340 \text{ mm}$ :

$$v_2 = \omega_2 \cdot r_2 = 0,17 \cdot 130,8975 = 22,252575 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$v_2 = v_1.$$

Nyní je známa obvodová rychlost na prvním kole, otáčky prvního kola  $n_1 = 3480 \text{ min}^{-1}$  a zbývá dopočítat požadovaný průměr kola:

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot n_1 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{3480}{60} = 364,4247 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$D_1 = \frac{v_1 \cdot 2}{\omega_1} = \frac{2 \cdot 22,252575}{364,4247} = \mathbf{122.1244 \text{ mm}}.$$

Pro **druhý stupeň** volím otáčky desky  $n_4 = 25 \text{ min}^{-1}$ . Musí být zachována osová vzdálenost hřídelů  $A = (D_1 + D_2) / 2 = 231,0622 \text{ mm}$ . Otáčky motoru se nemění, na základě tohoto se dopočítají rozměry soukolí:

$$\omega_7 = 2 \cdot \pi \cdot n_7 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{3480}{60} = 364,4247 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Průměr ozubených kol volím  $D_7 = 62,1244 \text{ mm}$   $D_6 = 400 \text{ mm}$ , zbývá tedy dopočítat průměr druhého pastorku  $D_5$ :

$$v_7 = v_6 = \omega_7 \cdot r_7,$$

$$v_6 = \omega_7 \cdot r_7 = 0,0310622 \cdot 364,4247 = 11,31983 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

$$\omega_6 = \frac{v_6}{r_6} = \frac{11,31983}{0,2} = 56,59916 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1},$$

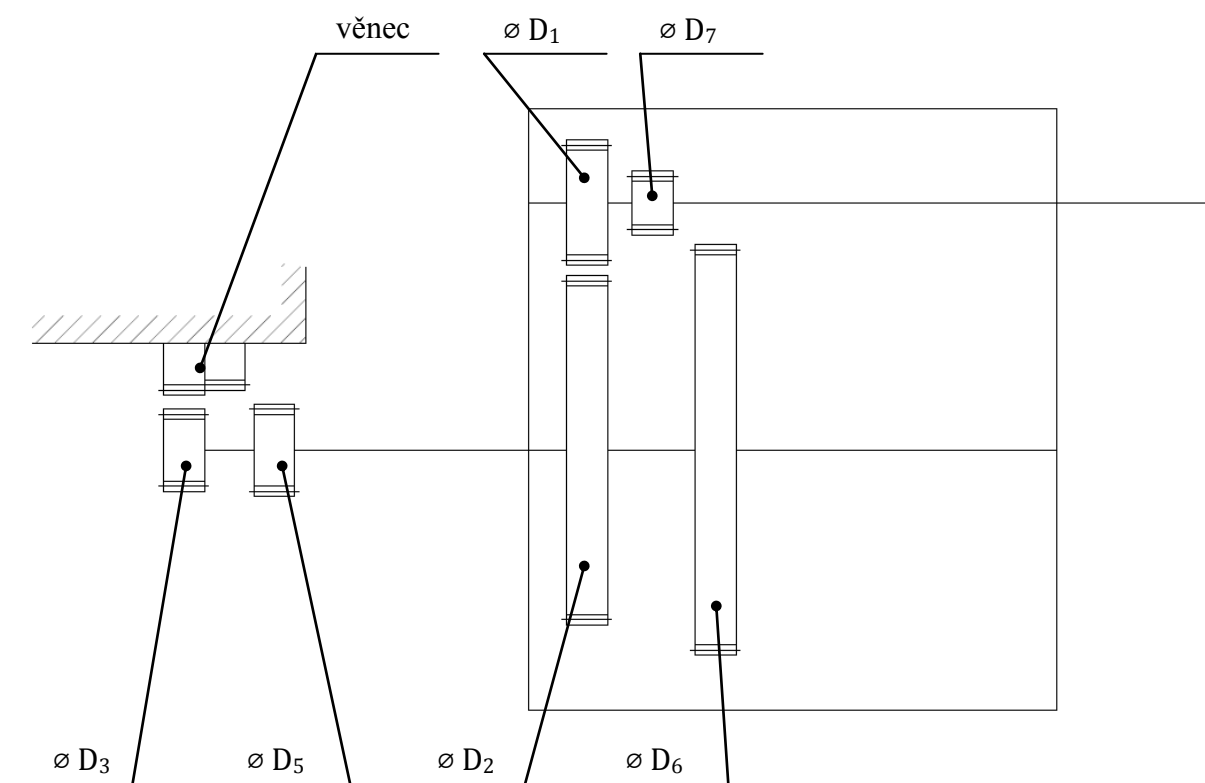
$$\omega_6 = \omega_5,$$

$$v_5 = v_4 = \omega_4 \cdot r_4,$$

$$v_5 = \omega_4 \cdot r_4 = 1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{25}{60} = 2,6179 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

$$D_5 = \frac{v_5 \cdot 2}{\omega_5} = \frac{2 \cdot 2,61795}{56,59916},$$

$$D_5 = \mathbf{91,0925 \text{ mm.}}$$



Obr.41. Schéma převodu

Nyní jsou známy průměry všech kol (obr. 41.) na prvním i druhém stupni převodu. Následně se dopočítají **rozměry ozubení** a počty zubů kol. Zde se dopouštím chyby, po určení počtu zubů se z důvodu normalizovaných modulů změnil průměry a tím pádem by bylo potřeba přepočítat otáčky. Výpočet bude proveden pouze pro jedno kolo, v ostatních případech by se postupovalo stejně.

**Ozubené kolo 1** má průměr roztečné kružnice  $D_1 = 122,1244 \text{ mm}$ , modul volím 5 a normalizovaný úhel profilu  $\alpha$  je 20 stupňů, počet zubů bude:

$$z_1 = \frac{D_1}{m} = \frac{122,1244}{5} = 24,4248,$$

$$z_1 = 25.$$



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Skutečný průměr roztečné kružnice při  $z_1 = 25$ :

$$D_1 = z_1 \cdot m = 125 \text{ mm.}$$

Výška hlavy zubu:

$$h_a = m = 5 \text{ mm.}$$

Hlavová vůle:

$$c_a = 0,25 \cdot m = 1,25 \text{ mm.}$$

Výška paty zubu:

$$h_f = m + c_a = 6,25 \text{ mm.}$$

Výška zubu:

$$h = h_a + h_f = 11,25 \text{ mm.}$$

Průměr hlavové kružnice:

$$D_a = D + 2 \cdot h_a = 135 \text{ mm.}$$

Průměr patní kružnice:

$$D_f = D - 2 \cdot h_f = 112,5 \text{ mm.}$$

Rozteč zubu:

$$p = \pi \cdot m = 15,71 \text{ mm.}$$

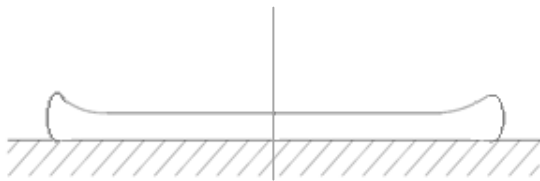
Tloušťka zubu:

$$s = \frac{p}{2} = 7,854 \text{ mm.}$$

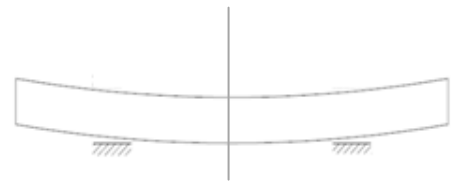


#### 4.5 VÝPOČET TUHOSTI UPÍNACÍ DESKY

Tuhost upínací desky se vypočítá jako podíl síly a deformace (obr. 44.). V tomto případě uvažují zjednodušený model bez návaznosti na další části stroje (obr. 42.). Model je zvolen tak, že deska je zatížena pouze vlastní tíhou a tíhou obrobku, pak je namáhána pouze v tlaku. Ve skutečnosti (obr. 43.) by však docházelo k namáhání v ohybu a ložiska by tvořila podpory.



Obr. 42. Zjednodušený model



Obr.43. Skutečná deformace desky

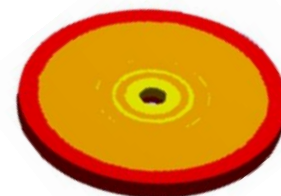
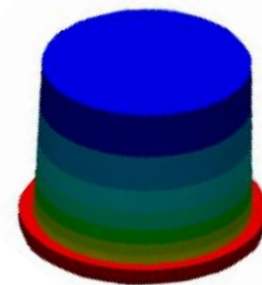
Při výpočtu uvažují oranžovou oblast deformace i přes to, že na kraji desky dochází k větší deformaci. Největší deformace není vybrána z důvodu, že na přesnost obrábění má vliv deformace pod deskou nikoli mimo. Vlivem stlačení dojde ke změně polohy obrobku vůči nástroji. Tuhost upínací desky je tedy:

$$F = F_{G1} + F_{G2} = 319123 \text{ N,}$$

$$\delta = 0,00048988 \text{ mm,}$$

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{319123}{0,00048988},$$

$$k = 651430962,68 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}.$$



Obr.44. Deformační charakteristika ANSYS

#### 4.6 VÝSLEDKY VÝPOČTU

Byl proveden vzorový výpočet upínací desky. Průměr upínací desky je 2000 mm, výpočet řezných sil a tuhosti je proveden pro maximální průměr obrobku 1700 mm a výšku obrobku 1500 mm. Jako materiál desky je použita šedá litina a upnutí obrobku je realizováno pomocí tříčelistového sklíčidla. Pohon upínací desky tvoří asynchronní motor Siemens řady ACA a převodová skříň je řešena jako převod ozubenými koly se dvěma stupni otáček. Na prvním stupni převodu jsou otáčky desky  $50 \text{ min}^{-1}$ , na druhém pak  $25 \text{ min}^{-1}$ . Pro výpočet tuhosti upínací desky byl použit zjednodušený model, ve kterém se nepočítá z návazností na ostatní části stroje, a tím pádem jsou opomenuta ložiska. Číselně vyšla tuhost  $651430962,68 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$  což je hodnota dostatečná.



## 5. ZÁVĚR

V první části práce jsem se zabýval rozdělením a konstrukcí vertikálních soustruhů. Z toho jsem pak vycházel při tvorbě následující části práce. Druhá část práce se zabývá výrobci těchto strojů a ukázkovým výpočtem pohonu upínací desky. U výrobců vertikálních soustruhů lze vidět, že většina přistupuje ke konstrukci strojů tak, jak je uvedeno v první teoretické části práce. S velkými jednostojanovými soustruhy se lze setkat spíše ojediněle. Tento druh strojů vyrábí například ČKD Blansko nebo Americká společnost Vanguard. Zajímavé konstrukční řešení vertikálního obráběcího centra nabízí firma MAG. Obráběcí centra řady DVT mají dvě vřetena, jedno je umístěné inverzně a druhé klasickým způsobem. Tento způsob konstrukce umožňuje efektivně obrábět součást z obou stran. Ke konstrukci rámu strojů stále drtivá většina výrobců používá litinu. S použitím betonu jsem se setkal pouze u společnosti TOS Hulín.

V dnešní době je již většina vertikálních soustruhů vybavena CNC řízením a automatickou výměnou nástrojů. Nabídka volitelného příslušenství bývá velice rozsáhlá, dodávají se například náhony rotačních nástrojů, paletizační systém atd. Na základě toho mohu usoudit, že se jedná o plnohodnotné multifunkční stroje.

Výrobci často udávají pouze základní parametry a stroje jsou často vyráběny dle konkrétního přání zákazníka. V případě velkých strojů může čekací lhůta dosahovat až několika měsíců.

Poslední část práce obsahuje návrh upínací desky. Jedná se pouze o vybraný uzel obráběcího stroje a tím pádem nejsou známy návaznosti na zbytek stroje. Z tohoto důvodu je zde řada zjednodušení například při výpočtu tuhosti nebo řezných sil. Pro převod jsem zvolil klasickou převodovku se stálou polohou os, z důvodu jednodušší konstrukce a nižší ceny než v případě planetového převodu. Z důvodu omezeného prostoru jsem již nemohl provést pevnostní výpočet soukolí a určit tak, zda opravdu není potřeba planetový převod. Závěrem bych rád napsal, že tvorba této práce pro mě byla velkým přínosem v oblasti vertikálních soustruhů. Po dokončení práce shledávám téma vertikální soustruhy jako velice zajímavé.



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obr. 1 lukový soustruh [2].... 1  
Obr. 2 šlapací soustruh [1].... 1  
Obr. 3 multifunkční obráběcí centrum MULTICUT 630 [7].... 2  
Obr. 4 jednostojanový vertikální soustruh [11].... 3  
Obr. 5 dvoustojanový vertikální soustruh [10].... 3  
Obr. 6 upínací deska [12].... 4  
Obr. 7 struktura šedé litiny [13].... 4  
Obr. 8 planetová převodovka [15].... 5  
Obr. 9 smykadlo [16].... 5  
Obr. 10 betonové lože stroje powerturn [18].... 7  
Obr. 11 druhy statického zatížení [9].... 8  
Obr. 12 valivé uložení desky vertikálního soustruhu [19]....9  
Obr. 13 profilové valivé vedení [20]....9  
Obr. 14 bubnový zásobník [22] .... 9  
Obr. 15 revolverová hlava [22].... 10  
Obr. 16 automatická výměna nástrojů pomocí robotu [24].... 10  
Obr. 17 automatická výměna obrobků [23].... 11  
Obr. 18 stroj řady Basicturn [25].... 11  
Obr. 19 stroj řady Powerturn [25].... 12  
Obr. 20 stroj řady Experturn [25].... 12  
Obr. 21 stroj řady Forceturn [25].... 12  
Obr. 22 stroj řady SKD [26].... 13  
Obr. 23 stroj řady SKJ [26].... 13  
Obr. 24 WTC – 1600 [27].... 14  
Obr. 25 WTC – 4000 [27].... 14  
Obr. 26 stroj řady SKK [29].... 14  
Obr. 27 stroj řady VLC [30].... 15  
Obr. 28 stroj řady VLC [30].... 15  
Obr. 29 stroj řady RAL [31].... 16  
Obr. 30 stroj řady DV [32].... 16  
Obr. 31 stroj řady AP [34].... 16  
Obr. 32 stroj řady VTC [36].... 17  
Obr. 33 stroj řady DVT [37].... 17  
Obr. 34 stroj řady DVM [40].... 17  
Obr. 35 stroj řady VT [41].... 18  
Obr. 36. rozměry třísky [6].... 19  
Obr. 37. rozměry třísky [6].... 19  
Obr. 38. řezné síly[42].... 20  
Obr. 39. model upínací desky.... 21  
Obr. 40. motor řady ACA[44].... 21  
Obr. 41. schéma převodu.... 23  
Obr. 42. zjednodušený model.... 25  
Obr. 43. skutečná deformace desky.... 25  
Obr. 44. deformační charakteristika ANSYS.... 25



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Pružinový soustruh - pružina: Dlouhá tyč. [online]. s. 1 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.domaci-soustruzeni.cz/pruzinovy-soustruh/pruzina.html>
- [2] Ancient lathes: Roman-era bow lathe. [online]. s. 1 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.historicgames.com/lathes/ancientlathes.html>
- [3] Vzpomínky 75 - Historie obrábění 2: Soustružení. [online]. 2003, s. 1 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/o-spolecnosti/historie/vzpominky/clanky/vzpominky-75-historie-obrabeni-2.html>
- [4] Vzpomínky 76 - Historie obrábění 3. [online]. 2003, s. 1 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/o-spolecnosti/historie/vzpominky/clanky/vzpominky-76-historie-obrabeni-3.html>
- [5] Historie CNC strojů. [online]. 2003, s. 10 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://webcache.googleusercontent.com/>
- [6] HUMÁR, Anton. Sylaby předmětu VÝROBNÍ TECHNOLOGIE II: SOUSTRUŽ NICKÉ STROJE. [online]. s. 83 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobníTechnologie\\_II.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobníTechnologie_II.pdf)
- [7] HOVORKA, Jiří. Nové multifunkční centrum. [online]. roč. 2012, č. 12 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-multifunkcni-centrum.html>
- [8] BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. Vyd. 1. Brno: Nakladatelství VUT, 1992, 216 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0470-1.
- [9] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích, speciál MM Průmyslové spektrum. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2006
- [10] MADE IN CHINA. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://dhkj-lathe.en.made-in-china.com/productimage/PeFxLRWrbKYB-2f0j00OMzaRoQCJnrG/China-CNC-Vertical-Lathe-CK5250-.html>
- [11] MADE IN CHINA. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://wxzhongjun.en.made-in-china.com/product/pXeEJBcdnmWF/China-CNC-Economic-Single-Column-Vertical-Lathe.html>
- [12] DANOBAT. *VTC-5000-H VERTICAL LATHE* [online]. 2012. vyd. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.vertical-lathe-machines.com/vtc-5000-h-vertical-lathe/>
- [13] PODRÁBSKÝ, Tomáš a Simona POSPÍŠILOVÁ. *Struktura a vlastnosti grafitických litin: Litina s lupínkovým grafitem* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/opory/savgl/index.php?chapter=10>



- [14] Obráběcí stroje. [online]. s. 161 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni\\_stroje/obrabeci.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni_stroje/obrabeci.pdf)
- [15] REM-TECHNIK S.R.O. Planetová převodovka PHQ. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.rem-technik.cz/pohyb-pohony-prevody/prevodovky-s-integrovanym-motorem/prevodovky-se-servomotorem/planetova-prevodovka-phq-206.html>
- [16] PRODUZON. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.produzon.com/images/assets/p/vertical-lathe-vbm40-52-imt-intermato.jpg>
- [17] MMSPEKTRUM. Beton a přírodní žula při výrobě loží a rámů obráběcích strojů. [online]. roč. 2005 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/beton-a-prirodni-zula-pri-vyrobe-lozi-a-ramu-obrabecich-stroju.html>
- [18] MMSPEKTRUM. Vývojové trendy EMO 2009 v oblasti karuselů. [online]. roč. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyvojove-trendy-emo-2009-v-oblasti-karuselu.html>
- [19] VAVŘÍK, Ivan, Petr BLECHA a Josef HAMPL. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Výrobní stroje a zařízení* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VSaZ\\_UVSSaR.pdf](http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VSaZ_UVSSaR.pdf)
- [20] MMSPEKTRUM. *Ložiska pro výkonné výrobní stroje* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/loziska-pro-vykonne-vyrobni-stroje.html>
- [21] Automatická výměna nástrojů a obrobků. [online]. poslední aktualizace 12.8.2002 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://technik.ihned.cz/c1-11353200-automaticka-vymena-nastroju-a-obrobku>
- [22] PAGÁČ, Marek. Obráběcí stroje: Automatická výměna nástrojů. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/obrabeci-stroje-automaticka-vymena-nastroju/>
- [23] VTL - 1600. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.machinetools.net.tw/lathe/taiwan\\_lathe.htm#video](http://www.machinetools.net.tw/lathe/taiwan_lathe.htm#video)
- [24] TREGO, Linda. Vertical turning lathe. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.sae.org/mags/AEM/9113>
- [25] TOSHULIN, a.s. *Katalog CZ*. Dostupné z: <http://www.toshulin.cz/soubory/TOS%20Katalog%20NEW%20CZ.pdf>
- [26] ČKD - BLANSKO. *Katalog CZ*. Dostupné z: [http://www.ckd-blansko.cz/download/Katalog\\_CKD\\_Blansko.pdf](http://www.ckd-blansko.cz/download/Katalog_CKD_Blansko.pdf)
- [27] DANOBAT. *Vertical Lathes*. Dostupné z: <http://www.danobatlathes.com/en/vertical-lathes>



- [28] DANOBAT. *Danobat Group - Corporate Information* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.danobatgroup.com/en/about>
- [29] OMOS. *Dvoustožanové soustruhy* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.omos.cz/dvoustožanove-soustruhy/>
- [30] TDZ TURN S.R.O. *Katalog - vertikální soustruhy* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.tdzpartners.com/ke\\_stazeni/VS/Katalog\\_VLC\\_CZ.pdf](http://www.tdzpartners.com/ke_stazeni/VS/Katalog_VLC_CZ.pdf)
- [31] LYMCO. *Lymco RAL Vertical Lathe* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.lywentech.com/products/vertical\\_turning\\_lathe/ral\\_vertical\\_lathe/ral\\_vertical\\_lathe.html](http://www.lywentech.com/products/vertical_turning_lathe/ral_vertical_lathe/ral_vertical_lathe.html)
- [32] LYMCO. *Lymco Vertical Turning Lathe* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.lywentech.com/products/vertical\\_turning\\_lathe/vertical\\_turning\\_lathe/vertical\\_turning\\_lathe.html](http://www.lywentech.com/products/vertical_turning_lathe/vertical_turning_lathe/vertical_turning_lathe.html)
- [33] LYMCO. *About Us* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.lywentech.com/lymco\\_machine\\_tools.html](http://www.lywentech.com/lymco_machine_tools.html)
- [34] PIETRO CARNAGHI. *AP series double column design* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.pietrocarnaghi.it/en/ap\\_series\\_double\\_column\\_design](http://www.pietrocarnaghi.it/en/ap_series_double_column_design)
- [35] PIETRO CARNAGHI. *Vertical Lathes* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://www.pietrocarnaghi.it/en/vertical\\_lathes](http://www.pietrocarnaghi.it/en/vertical_lathes)
- [36] MAG. *VTC Series* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.mag-ias.com/en/mag/products-services/turning/vertical-turning-centers/vtc.html>
- [37] MAG. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.mag-ias.com/en/mag/products-services/turning/vertical-turning-centers/dvt.html>
- [38] MAG. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.mag-ias.com/en.html>
- [39] KNUTH. [online]. [cit. 2013-05-03] Dostupné z: <http://www.knuth.de/produkthauptgruppe,2.html>
- [40] KNUTH. *VDM 2000 CNC - Vertical CNC Lathe* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.knuth.de/produkt,26650.html>
- [41] EMCO. [online]. [cit. 2013-05-03] Dostupné z: <http://www.emco-world.com/en/products/industry/turning/cat/90/pr/emco-vertical-vt-250.html>
- [42] Příručka pro technology - Jak je to s řeznými silami?. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-je-to-s-reznymi-silami.html>



[43] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část* [online]. 2003 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)

[44] SIEMENS. Motory řady ACA: Trojfázové asynchronní motory nakrátko. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.motorgear.cz/elektromotory-acmotoren-aca>



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

označení	legenda	jednotka
$v_c$	řezná rychlost	$m \cdot min^{-1}$
$v_f$	posuvová rychlost	$m \cdot min^{-1}$
$v_e$	rychlost řezného pohybu	$m \cdot min^{-1}$
$n$	otáčky	$min^{-1}$
$D$	průměr	mm
$f$	posuv	mm
$a_p$	šířka záběru ostří	mm
$b_d$	jmenovitá šířka třísky	mm
$h_d$	jmenovitá tloušťka třísky	mm
$a_d$	jmenovitý průřez třísky	$mm^2$
$L$	délka obráběné plochy	mm
$l$	délka obrobené plochy	mm
$\kappa_r$	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří	°
$F_c$	řezná síla	n
$F_f$	posuvová síla	n
$F_p$	pasivní síla	n
$F$	celková řezná síla	n
$C$	materiálová konstanta	-
$x$	exponenty vlivu posuvu na otáčku	-
$P_m$	výkon stroje	Kw
$\eta$	účinnost	-
$\omega$	úhlová rychlost	$rad \cdot s^{-1}$
$k$	tuhost	$N \cdot mm^{-1}$