

Návrh a zhotovení adaptačních prvků pro měření řezných sil při soustružení

Tomáš Kautský

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Tomáš Kautský
Osobní číslo:	T18186
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh a zhotovení adaptačních prvků pro měření řezných sil při soustružení

Zásady pro vypracování

- Teoretická rešerše na dané téma
- Konstrukční návrh sestavy pro dynamometrické měření na soustruzích
- Zhotovení adaptačních prvků

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

WALKER, John R. a Bob DIXON. *Machining fundamentals*. 10th edition. Tinley Park, IL: The Goodheart-Willcox Company, [2019], XXII, 650 s. ISBN 9781635632088.

KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 9788072047222.

MÁDL, Jan, Martin VRABEC a Antonín ZELENKA. *Technologičnost konstrukce: obrábění a montáže*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 136 s. ISBN 8001032884.

ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015, 240 s. ISBN 9788024752693.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se v teoretické části zaměřuje na popis základních metod obrábění nástroji s definovanou geometrií, měřením složek sil při obrábění a programování CNC strojů. Hlavním cílem práce je zrealizovat adaptační prvky, které vytvoří společně s piezoelektrickým dynamometrem od výrobce Kistler měřicí zařízení, jež poskytne údaje o velikosti sil při procesu obrábění na univerzálním soustruhu. Výsledkem je sestava adaptačních prvků pro upnutí soustružnických nástrojů pro dynamometrické měření v rozsahu průřezů upínací části 14 x 14 mm až 20 x 20 mm.

Klíčová slova: soustružení, CNC, měření řezných sil, dynamometr

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the theoretical part of the description of basic machining tools with defined geometry, measuring the components of forces during machining, and programming of CNC machines. The main goal of this work is to implement adapter parts, which together with a piezoelectric dynamometer from the manufacturer Kistler will create a measuring device that will provide data on the magnitude of forces during the machining process on a universal lathe. The result is a set of adapter elements for clamping turning tools for dynamometric measurements in the range of cross-sections of the clamping part 14 x 14 mm to 20 x 20 mm.

Keywords: turning, CNC, measuring cutting forces, dynamometer

Touto formou bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D., za jeho trpělivost při výrobě na CNC stroji a následném měření, taktéž za jeho cenné rady a připomínky k vypracování bakalářské práce. Taktéž bych rád poděkoval panu doc. Ing. Jakubu Javoříkovi, Ph.D. za pomoc s vypracováním FEM modelu. V neposlední řadě bych rád poděkoval panu Ing. Adamu Škrobákovi, Ph.D., který mi pomohl s kontrolními výpočty.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 OBRÁBĚNÍ NÁSTROJI S DEFINOVANOU GEOMETRIÍ, ZÁKLADNÍ POJMY	12
1.1 OBRÁBĚCÍ STROJ	12
1.2 POLOTOVAR	13
1.3 OBROBEK	13
1.4 NÁSTROJ	14
1.5 TVORBA TRÍSEK A JEJÍ DRUHY	14
2 SOUSTRUŽENÍ	16
2.1 SOUSTRUŽNICKÝ NŮŽ.....	16
2.2 UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ NA SOUSTRUŽÍCH	17
2.3 UPÍNÁNÍ OBROBKŮ NA SOUSTRUŽÍCH	18
2.4 STROJE - SOUSTRUHY	21
2.5 ŘEZNÉ PODMÍNKY PŘI SOUSTRUŽENÍ	27
2.6 DOSAHOVANÉ PARAMETRY U SOUSTRUŽENÍ	28
3 FRÉZOVÁNÍ	29
3.1 PODSTATA FRÉZOVÁNÍ	29
3.2 NÁSTROJE – FRÉZY	31
3.2.1 Nástrojové materiály fréz	32
3.3 UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ A OBROBKŮ PŘI FRÉZOVÁNÍ	32
3.4 STROJE - FRÉZKY	33
3.4.1 Operace prováděné na frézkách	34
3.5 ŘEZNÉ PODMÍNKY PŘI FRÉZOVÁNÍ.....	34
3.6 DOSAHOVANÉ PARAMETRY PŘI FRÉZOVÁNÍ	35
4 VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ A ZAHLUBOVÁNÍ	36
4.1 PODSTATA VRTÁNÍ	36
4.2 NÁSTROJE – VRTÁKY	36
4.3 STROJE – VRTAČKY	37
4.4 ŘEZNÉ PODMÍNKY A DOSAHOVANÉ PARAMETRY NA VRTAČKÁCH	38
5 MĚŘENÍ SLOŽEK SIL PŘI ŘEZÁNÍ	39
5.1 PŘÍMÉ MĚŘENÍ SIL A MOMENTŮ	40
5.2 NEPŘÍMÉ MĚŘENÍ SIL A MOMENTŮ.....	41
5.3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ DYNAMOMETRŮ	43

6	NC A CNC OBRÁBĚNÍ	45
6.1	HISTORIE VÝVOJE ČÍSLICOVÝCH STROJŮ	46
6.2	PROGRAMOVÁNÍ CNC A NC STROJŮ	46
6.3	CNC PROGRAM	47
6.3.1	Informace obsažené v programu	47
6.4	VZTAŽNÉ BODY PRO NC/CNC STROJE	48
6.5	SOUŘADNÝ SYSTÉM U ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH STROJŮ	49
7	SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI PRÁCE.....	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST	51
8	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	52
8.1	ADAPTAČNÍ PRVKY	52
9	SOUSTRUŽNICKÉ NOŽE A DÍLČÍ PODKLADY.....	53
9.1	MĚŘICÍ DYNAMOMETR	53
9.2	CHARAKTERISTIKA UNIVERZÁLNÍHO SOUSTRUHU	54
10	NÁVRHY PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ DO NOŽOVÉ HLAVY	55
10.1	FINÁLNÍ VARIANTA PŘÍPRAVKU NA UPÍNÁNÍ DO NOŽOVÉ HLAVY	56
11	NÁVRHY PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ NOŽŮ	58
11.1	FINÁLNÍ VARIANTA PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ NOŽŮ	58
12	ADAPTAČNÍ PŘÍPRAVKY SLOŽENY DO NÁVRHU SESTAVY.....	60
12.1	DRUHÁ VARIANTA CELKOVÉ SESTAVY	61
13	VÝBĚR FINÁLNÍ VARIANTY A PEVNOSTNÍ KONROLA.....	62
13.1	PEVNOSTNÍ KONTROLA.....	62
14	VÝROBA NA CNC OBRÁBĚCÍM CENTRU DMU 50.....	64
14.1	PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDÍ.....	65
14.2	VOLBA POLOTOVARŮ	65
15	VÝROBA PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ DO NOŽOVÉ HLAVY	66
15.1	PŘÍPRAVA POLOTOVARU	66
15.2	PRVNÍ UPNUTÍ: FRÉZOVÁNÍ ŘEZANÉ PLOCHY	67
15.3	DRUHÉ UPNUTÍ: FRÉZOVÁNÍ NA KONEČNOU VÝŠKU PŘÍPRAVKU.....	68
15.4	TŘETÍ UPNUTÍ: FRÉZOVÁNÍ TLOUŠŤKY A PRVKU NA UPNUTÍ	69
15.5	TŘETÍ UPNUTÍ: VRTÁNÍ DĚR	71
15.6	ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ U VRTANÝCH DĚR.....	72
16	VÝROBA PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ NOŽŮ.....	73
16.1	PŘÍPRAVA POLOTOVARU	73
16.2	PRVNÍ UPNUTÍ: FRÉZOVÁNÍ PLOCHY PO ŘEZÁNÍ PÁSOVOU PILOU	74

16.3	DRUHÉ UPNUTÍ: FRÉZOVÁNÍ PLOCHY NA KONEČNOU DÉLKU.....	75
16.4	TŘETÍ UPNUTÍ: VRTÁNÍ DĚR Z PŘEDNÍ STRANY.....	76
16.5	ČTVRTÉ UPNUTÍ: FRÉZOVÁNÍ DRÁŽKY.....	78
16.6	ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ U VRTANÝCH DĚR.....	79
16.7	KOMPLETACE SESTAVY.....	79
17	ZKUŠEBNÍ MĚŘENÍ SIL.....	80
17.1	VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	81
17.2	NAPĚTÍ A POSUNUTÍ VZNIKAJÍCÍ V SOUSTRUŽNICKÉM NOŽI VLIVEM SIL.....	81
18	POVRCHOVÁ ÚPRAVA PRVKŮ.....	83
19	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	84
	ZÁVĚR.....	85
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	86
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	89
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	90
	SEZNAM TABULEK.....	92
	SEZNAM PŘÍLOH.....	93

ÚVOD

Nástroje jsou nedílnou součástí obráběcích strojů, proto jsou na ně kladeny velké požadavky jak na kvalitu zpracování samotných nástrojů, tak na výsledný obráběný dílec, který produkují. Obrobek je ovlivněn nástrojem jak po stránce tvaru, taktéž i kvalitou povrchu. Je tedy velmi vhodné dané nástroje volit tak, aby byly schopny splnit požadavky na výslednou kvalitu výrobku. Existuje nespočet druhů různých obráběcích nástrojů, které se liší tvarem, použitím, cenou atd. Pro sériovou výrobu je proto vhodné, aby samotný stroj měřil co nejvíce výsledných hodnot, které vznikají v soustavě stroj-nástroj-obrobek. Zmíněné měřené hodnoty mohou pak být zvláště vhodné pro testování různých analýz. Na základě těchto analýz mohou být následně zvoleny optimální nástroje a řezné parametry, které budou zaručovat zvýšenou trvanlivost řezného nástroje.

Bakalářská práce je zaměřena na výrobu měřicího prvku, který bude možné upevnit i na starší soustružnický stroj. Starší zařízení v době vzniku nebyly vybaveny žádnou řídicí jednotkou či snímači, proto se obsluha mohla orientovat pouze hodnotami, které jsou uvedeny na stupnicích ovládacích prvků. Dnešní obráběcí stroje poskytují spoustu informací, jako například přesné otáčky stroje, využití výkonu daného stroje atd.

Tato práce se bude zabývat jednak návrhem, tak i samotnou výrobou zařízení, které půjde umístit na jakýkoliv starší soustruh přímo do nožové hlavy. Navrhnuté zařízení bude měřit řezné síly v jednotlivých osách tedy X, Y, Z a bude poskytovat obsluze stroje jejich hodnoty, které pak napomohou se správnou volbou řezných podmínek.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚNÍ NÁSTROJI S DEFINOVANOU GEOMETRIÍ, ZÁKLADNÍ POJMY

Proces třískového obrábění by se dal charakterizovat jako odebrání malých částic materiálu břitem řezného nástroje. Hlavním požadavkem třískového obrábění je vyrobit obrobky předem daných tvarů v určitých rozměrech a stupni přesnosti. Dá se říci, že fyzikálně – mechanický proces odebrání materiálu se specifikuje jako řezání nebo přesněji řezný proces. Jednotlivé druhy způsobu oddělování materiálu lze rozdělit na kontinuální neboli spojitý (soustružení, vyvrtávání, vrtání), dále na diskontinuální, což znamená nepřetržitý (obrážení, hoblování) a nakonec cyklický, tj. pravidelně se opakující (frézování, broušení). [1]

1.1 Obráběcí stroj

Obráběcí stroj by se dal definovat jako speciální zařízení, jehož hlavním úkolem je odebrání materiálu z polotovaru ve formě třísek. Primárním úkolem obráběcího stroje je předávat pohyb buď nástroji, nebo obrobku. Z historického hlediska se obráběcí stroje dělily podle jejich hlavního pohybu na přímočaré (obrážečky, hoblovky) nebo na rotační, což jsou vrtačky, soustruhy, frézky apod. Následkem modernizace a vývoje ve strojírenství vzniklo mnoho strojů, u nichž nelze jednoznačně určit jejich pohyb (lapování, honování), proto se v současné době používá dělení na stroje univerzální, jednoúčelové a speciální. [1, 2]

Popis současného dělení obráběcích strojů:

- **Univerzální:** Jedná se o nejrozšířenější typy, na kterých lze obrábět obrobky různých druhů a rozměrů. Jako nejuniverzálnější stroj lze například uvést vodorovnou vyvrtávačku, na které je možné provozovat řadu operací, jako je vrtání, vyvrtávání, řezání závitů, frézování, vystružování apod. Mezi univerzální stroje, na kterých lze provádět nižší počet operací by se dala zařadit konzolová frézka. Ještě menší kombinaci operací má vrtačka, která se stává pro svou rychlost a jednoduchost nepostradatelná. [2]
- **Speciální:** Speciální stroje jsou konstruovány pro vykonávání operace stále stejného druhu, mění se pouze polotovar a jeho rozměry. Mezi taková zařízení lze zařadit například stroj na výrobu ozubení, vaček nebo také nábojnic. [2]
- **Jednoúčelové:** Jsou zkonstruovány tak, aby na nich šli vyrábět dílce stále stejných rozměrů a stále se opakující operace. Jejich využití je hlavně ve velkosériové výrobě.

Tyto stroje se vyrábí v různých velikostech, výběr stroje záleží hlavně na velikosti polotovaru, který lze upnout. Využívají se například na operace jako vrtání hlavní u střelných zbraní nebo opracování hrdel tlakových lahví. [2]

1.2 Polotovar

Polotovar je výrobek, který je vyráběn převážně v hutích a téměř vždy vyžaduje následné operace, při kterých bude například obráběn, aby mohl vzniknout finální požadovaný výrobek. Polotovar se svými rozměry liší od hotové součástky a to přesněji konkrétně o přídavky na obrábění. Polotovary jsou děleny do dvou skupin a to normalizované a nenormalizované. Mezi normalizované polotovary by se dali zařadit tyče, trubky, plechy, dráty nebo válcové profily. Do normalizovaných polotovarů spadají součástky jako odlitky, výkovky, výlisky, pájené polotovary nebo také lepené polotovary. Za výběr polotovaru zodpovídá konstruktér s přihlédnutím na materiál, technologii výroby a ekonomickou složku. [2, 3]

1.3 Obrobek

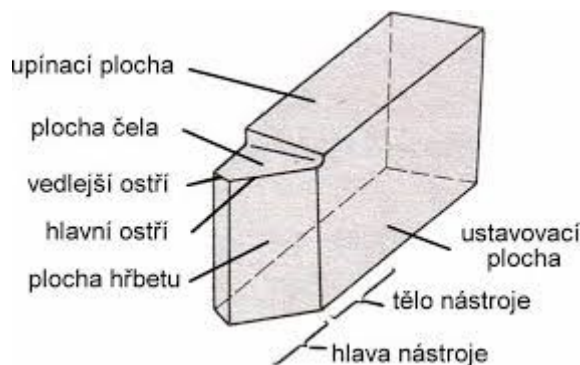
Mezi obrobek lze zařadit součást, na které právě teď probíhá proces obrábění nebo již dříve prošla procesem obrábění. Obrobek může být obroben jen částečně nebo obroben úplně celý. Z geometrického hlediska je obrobek charakterizován pomocí tří ploch. První plocha se nazývá obráběná a je to plocha, která má být v budoucnu teprve obrobená díky řeznému břítu. Další plocha se nazývá obrobená a tato plocha vzniká jako výsledek řezného procesu. Poslední plocha se jmenuje přechodová a je to část povrchu obrobku, tato plocha je vyrobená ostrým řezným nástrojem během otáčky nebo zdvihu obrobku či nástroje. [2]



Obr. 1 Rozdíl mezi polotovarem a již obrobeným povrchem [3]

1.4 Nástroj

Řezný nástroj je při procesu obrábění aktivním prvkem. Nástroj je v přímém kontaktu s obráběnou plochou a umožňuje realizaci řezného procesu. Tento proces vzniká tak, že nástroj svou řeznou částí čili břitem vniká do materiálu a odděluje z něj částice, které jsou ve formě třísky. Nástroje při soustružení bývají zpravidla jednobřité, upevňují se do revolverových hlav či svěráků a neotáčí se. U frézování jsou nástroje vícebřité a jsou upínány do upínacích trnů nebo do upínacích kleštín, oproti soustružení se nástroj otáčí. Průsečnice, která prochází čelem a hřbetem nože se nazývá ostří. Ostří dělíme na hlavní a vedlejší, hlavní ostří je obrácené ke směru pohybu, vedlejší ostří je připojeno k hlavnímu ostří. Průsečnice, která vzniká průnikem čela s hlavním a vedlejším hřbetem nazýváme špičkou nože. Spodní plocha nože, jež dosedá k nožové hlavě, se nazývá ložná plocha neboli základna. Další části nože, ostří a úhly jsou popsány níže v příloze P1. [1, 4, 5]



Obr. 2 Popis ostří a ploch na soustružnickém noži [5]

1.5 Tvorba třísek a její druhy

Při procesu vnikání břitu řezného nástroje do obrobku vzniká vedlejší produkt zvaný tříška. Materiál obrobku je při odřezávání značně namáhán a deformován. Vnikáním řezného klínu do obráběného dílce se jeho materiál nejdříve pružně a poté plasticky deformuje, čímž je tvořen odpor proti vnikajícímu břitu. Odřezávání třísky vzniká za velmi vysokých teplot a tlaků. Největší teplota vzniká především mezi řeznou plochou nástroje a v místě odebírané plochy na polotovaru. Takto vzniklé teplo se poté šíří dál do hloubky materiálu a nože, abychom tomu zabránili, používáme chladících emulzí. Velikosti deformace a charakter namáhání odřezávané vrstvy z polotovaru jsou závislé na vlastnostech daného materiálu a na druhu použitého nástroje. Na tvar a typ třísek má vliv druh a jakost obráběného materiálu, jeho mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Neméně důležitý vliv mají na tvorbu třísky řezné podmínky (hloubka řezu, posuv, řezná rychlost), geometrie a materiál břitu.

Tříška by měla mít určitý tvar a rozměr, toho se dosahuje vhodnou volbou utvářečů či lamačů třísek. Zásadou těchto prvků je zaručen lepší odvod ze stroje a následná manipulace či recyklace. Tvar a velikost třísky jsou taktéž důležité pro co nejefektivnější využití rezného nástroje a kvalitu obráběného povrchu. [6, 7]

Při oddělování materiálu vznikají tyto tři základní druhy třísek:

- **Plynulá tříška:** Je tvořena zpravidla při obrábění houževnatých a měkkých materiálů, jako jsou některé druhy ocelí, slitiny hliníku nebo mědi. Typickým znakem tohoto druhu třísek je hladký povrch na straně čela nože. Plynulá tříška odchází po čele ve formě různých šroubovic nebo spirál, které mohou tvořit dlouhé celky. Velkou nevýhodou těchto třísek je časté namotávání okolo nožů, vrtáků či obrobků. Tento jev může způsobit zhoršení kvality výrobku, v kritických případech i zlomení nože či vrtáku. Mohou být rovněž nebezpečné i pro samotnou obsluhu, protože se musí často odstraňovat z důvodu namotání. Nežádoucí je taktéž velký objem, který zabírají, proto je nutné mít velké zásobníky na odváděné třísky. [6, 7]
- **Článková tříška:** Vzniká především při obrábění tvrdých a tvárných materiálů jako jsou: litiny, automatové oceli a bronzy. Při tvorbě článkové třísky dochází k odtržení jednotlivých elementárních částic, které jsou dobře patrné na vnějším povrchu třísek. Nejčastěji tato tříška odchází po čele v kratších celcích, jako například malé šroubovice, obloučky nebo kroužky. Jedná se o nejpříznivější druh třísky z hlediska obrábění. [6, 7]
- **Drobivá tříška:** Tento druh třísky je tvořen obvykle u obrábění tvrdých a křehkých materiálů. Jednotlivé elementy jsou uvolňovány pomocí nástroje bez jakýchkoliv vzájemných souvislostí. Mají tvar šupin, malých zrníček nebo úlomků. Při samotném obrábění způsobují značné potíže, mezi ně lze zařadit porušení bříty či výrazné zhoršení kvality povrchu. [6, 7]



Obr. 3 Možné tvary třísek vznikající při obrábění [8]

2 SOUSTRUŽENÍ

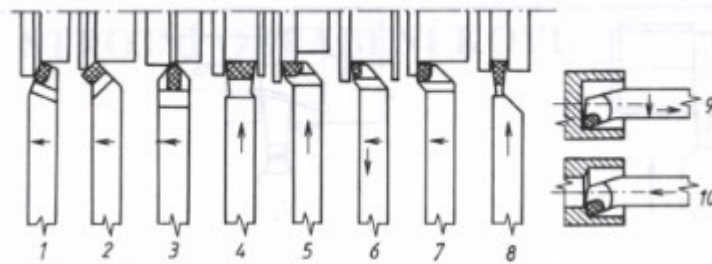
Soustružení je jedna z nejstarších metod třískového obrábění, která se využívá ke zhotovení součástí rotačních tvarů nejčastěji jednobřítým nástrojem. Hlavní řezný pohyb neboli rotaci u soustružení vykonává obrobek, přičemž rychlost rotace udává současně řeznou rychlost. Naopak nástroj je pevně připevněn do nožových hlav a koná vedlejší řezný pohyb a také vykonává posuvný pohyb. Posuvný pohyb lze rozdělit na přímočarý a obecný. U této již několik staletí staré metody, se používají zejména jednobřité nástroje v různých provedeních. Metodika soustružení patří k nejjednodušším způsobům třískového obrábění. Ve strojírenském průmyslu se tato metoda stala nezbytnou součástí a zastupuje přibližně třetinu všech obráběcích operací. [1, 7]

2.1 Soustružnický nůž

Soustružnický nůž je nástroj, který je používán k oddělování malých částí materiálu při procesu soustružení. Nože je možné rozdělit na pravé a levé, záleží na tom, z které strany se nůž posouvá do řezu. To jestli je nůž pravý nebo levý poznáme tak, že ruku otočíme dlaní dolů směrem na nůž, prsty směřují rovně a palec položíme na upínací část. Když se břit nachází na stejné straně jako palec pravé ruky, jedná se o nůž pravý. Pokud je břit umístěn na stejné straně jako levý palec, jedná se o nůž levý. [9]

Vhodnost volby soustružnického nože lze určit dle:

- **Materiálu břitu:** Nástrojové oceli, cermety, slinuté karbidy, polykrystalický diamant a polykrystalický nitrid boru. [10]
- **Konstrukční charakteristiky:** Nože celistvé, nože s vyměnitelnými břitovými destičkami a nože s pájenou břitovou destičkou. V současnosti nože s vyměnitelnými břitovými destičkami patří k nejpoužívanějším, díky jejich snadné výměně a destičce, která má více břitů. [10]
- **Směru pohybu:** Pravé, levé a souměrné nože. [10]
- **Stylu obrábění:** Hladící, tvarové, kopírovací, ubírací, zapichovací, upichovací a závitové nože. Tvarové lze dále rozdělit na kotoučové nebo prizmatické. [10]
- **Tvaru stopky nože:** Příčný či ohnutý nůž. [10]
- **Druhu obráběcího stroje:** Soustružnické, revolverové nebo automatové druhy nožů. [1]

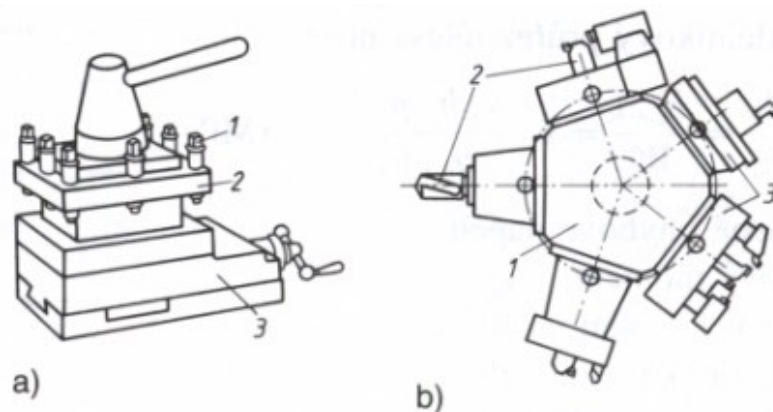


1 – ubírací přímý, 2 – ubírací ohnutý, 3 – hladicí, 4 – nabírací, 5 – ubírací čelní, 6 – rohový, 7 – ubírací stranový, 8 – zapichovací, 9 – vnitřní rohový, 10 – vnitřní ubírací

Obr. 4 Příklady tvarů soustružnických nožů s jejich popisem [10]

2.2 Upínání nástrojů na soustruzích

Řezné nože na klasickém soustruhu lze upínat do nožových hlav, které jsou součástí suportu. Upínání je realizováno buď pomocí upínek, nebo častěji pomocí šroubů. Do nožových hlav lze upnout až 4 nože najednou. Naopak u revolverových soustruhů jsou nože upínány pomocí držáků do revolverových hlav, tyto hlavy mohou mít buď vodorovnou, nebo svislou osu rotace. U číslicově řízených soustruhů je možné nože upínat do speciálních držáků, kde nástroje jsou předem seřizeny na požadovaný rozměr. Výměna nástrojů u číslicového způsobu může být ruční nebo automatická. Automatický cyklus výměny nástroje je nejrychlejší a vždy přesný. [10]



a) nožová hlava (1 – šrouby pro upínání nástrojů, 2 – nožová hlava, 3 – nožový suport),
b) revolverová hlava (1 – revolverová hlava, 2 – řezné nástroje, 3 – nástrojové držáky)

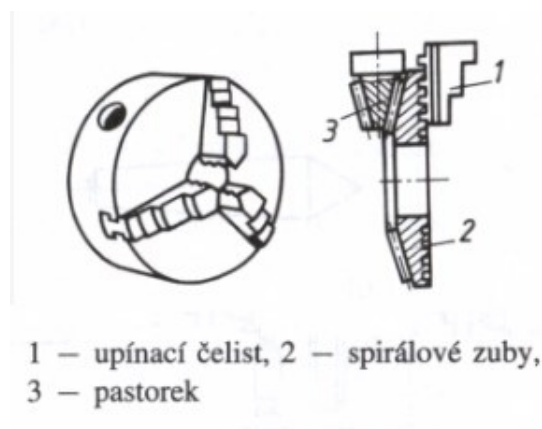
Obr. 5 Možné druhy upínání nástroje na soustruh [10]

2.3 Upínání obrobků na soustruzích

U technologie soustružení působí na obrobek a nástroj poměrně velké síly, které musí upínací přípravek spolehlivě vydržet, aby nedocházelo k vibracím, či možnému odepnutí a poté ke kolizi. Základními požadavky pro upínání jsou pevné upnutí, jednoduchost, soustřednost, vyváženost a také nízké pořizovací náklady. [11]

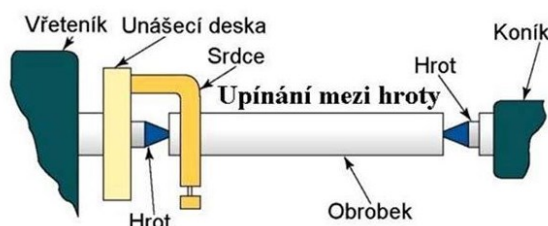
Druhy upínání obrobků na soustruzích lze rozdělit takto:

- **Upínání obrobků do univerzálních sklíčidel:** Tato metoda upínání patří k těm nejpoužívanějším. Rozdělujeme 2 základní druhy sklíčidel a to tří- nebo čtyřčelist'ová. Tříčelist'ové sklíčidlo je primárně používáno pro válcové dílce a čtyřčelist'ové poté pro čtyřhrany či osmihrany. U sklíčidel se všechny čelisti pohybují současně a pohon je zajištěn pomocí spirálových zubů. Pokud jsou obrobky delších rozměrů, upínají se naproti sklíčidlu taktéž do koníka [10, 11]



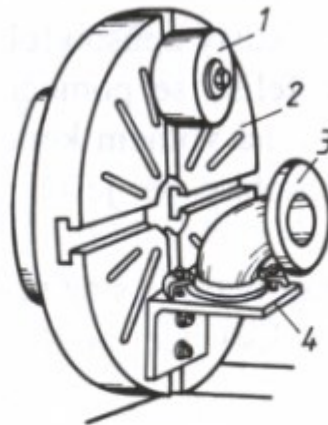
Obr. 6 Univerzální tříčelist'ové sklíčidlo [10]

- **Upínání mezi hroty:** Je vhodné pro upínání dlouhých obrobků a jedná se o velmi přesnou metodu. Pro zajištění rotačního pohybu se používá unášecí deska, na které je připevněno unášecí srdce. Hroty, mezi které se obrobek upíná, jsou buď pevné, nebo otočné. Ty se upínají pomocí Morse kuželů do vřetene a taktéž do pinoly koníku. [10, 11]



Obr. 7 Upínání mezi hroty [11]

- **Upínání na lícní desku:** Lícní deska slouží k upínání obrobků zejména asymetrických tvarů nebo také obrobků s velkým průměrem. Součástky lze upevňovat pomocí čelistí, kde každou čelist lze posouvat samostatně. Namísto čelistí je možné použít také upínky či zvolit upínání pomocí šroubů. Tyto upínací součástky se umísťují do drážek, které jsou vyrobeny na desce. Jelikož se na lícní desku upínají zejména asymetrické součástky, tak je nutné použít vyvažovací protizávaží. [10, 11]

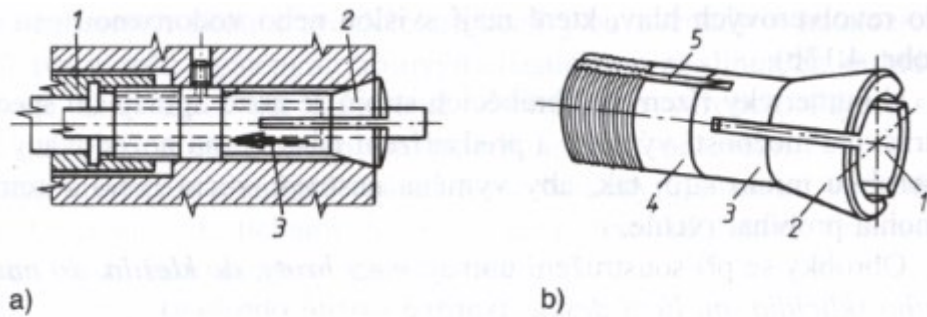


1 – vývažek, 2 – lícní deska, 3 – obrobek,
4 – upínací úhelník

Obr. 8 Lícní deska [10]

- **Upnutí do kleštin:** Tento způsob upínání je vhodný pro kruhové nebo šestihřanné obrobky, přičemž na upnutí stačí vyvinout nízkou upínací sílu. Upínání do kleštin bývá prováděné zejména ve velkosériové výrobě, kde jsou využívána kleštinová upínadla. Pomocí páky lze poté tímto zařízením upnout výrobek za několik sekund. [11, 12]

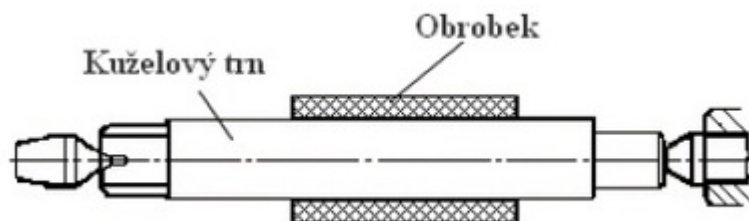
Kleštinu lze popsat jako kalené ocelové pouzdro, které má po svém obvodu několik svislých zářezů. Vlivem těchto zářezů dochází při upínání obrobků ke zmenšení průměru kleštiny, díky tomu je obrobek stlačen a tedy zajištěn proti otočení. Při použití kleštin jsou obrobky umístěny správně v ose a také dochází k minimálnímu opotřebení upínaného povrchu. [12]



a) upínací mechanismus (1 – upínací tyč, 2 – kleština, 3 – směr upínacího pohybu), b) kleština (1 – upínací plocha, 2 – upínací kužel, 3 – pružná část, 4 – vodící část, 5 – vodící drážka)

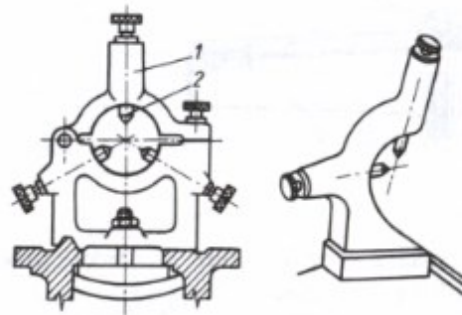
Obr. 9 Upínání pomocí kleštin[10]

- **Upínání pomocí upínacích trnů:** Upínací trn se používá v případech, kdy chceme, aby plášť obráběného dílce byl centrický vůči díře. Trny by se dalo rozdělit na dva základní druhy, trn pevný a trn rozpínací. Pevný trn je mírně kuželovitý a má vnější rozměr téměř symetrický s dírou v obrobku, pomocí které se obrobek na trn narazí. Rozpínací trn funguje na principu několika drážek, které se po přitáhnutí matice s jemným závitem roztáhnou. Takto upevněný obrobek se poté vkládá mezi hroty na soustruhu. [11]



Obr. 10 Upínání pomocí trnu mezi hroty [11]

- **Pevné a pohyblivé opěrky (lunety):** Pevná luneta se používá při upínání dlouhých, tenkých a válcových obrobků. Jejím hlavním účelem je zajistit obrobek proti vychýlení. V místě, kde chceme lunetu využít, musí mít toto místo přesný válcový tvar. Pevná luneta bývá upevněna na lože soustruhu. Obrobky jsou do ní upínány pomocí stavěcích šroubů. Na konci stavěcích šroubů mohou být umístěny opěrné kladky nebo povrch může být z bronzu, či povlakovaný plastem. Naopak pohyblivá luneta se umísťuje přímo na suport stroje a je využívána zejména při hrubovacích operacích. Taktéž její hlavní funkcí je zabránění vychýlení obrobku. [11]



a)

a) pevná, upevněná k loži soustruh

b) posuvná, upevněná k suportu pro nástroji

1 – těleso lunety, 2 – opěrky obrobku

Obr. 11 Pevná a pohyblivá luneta [10]

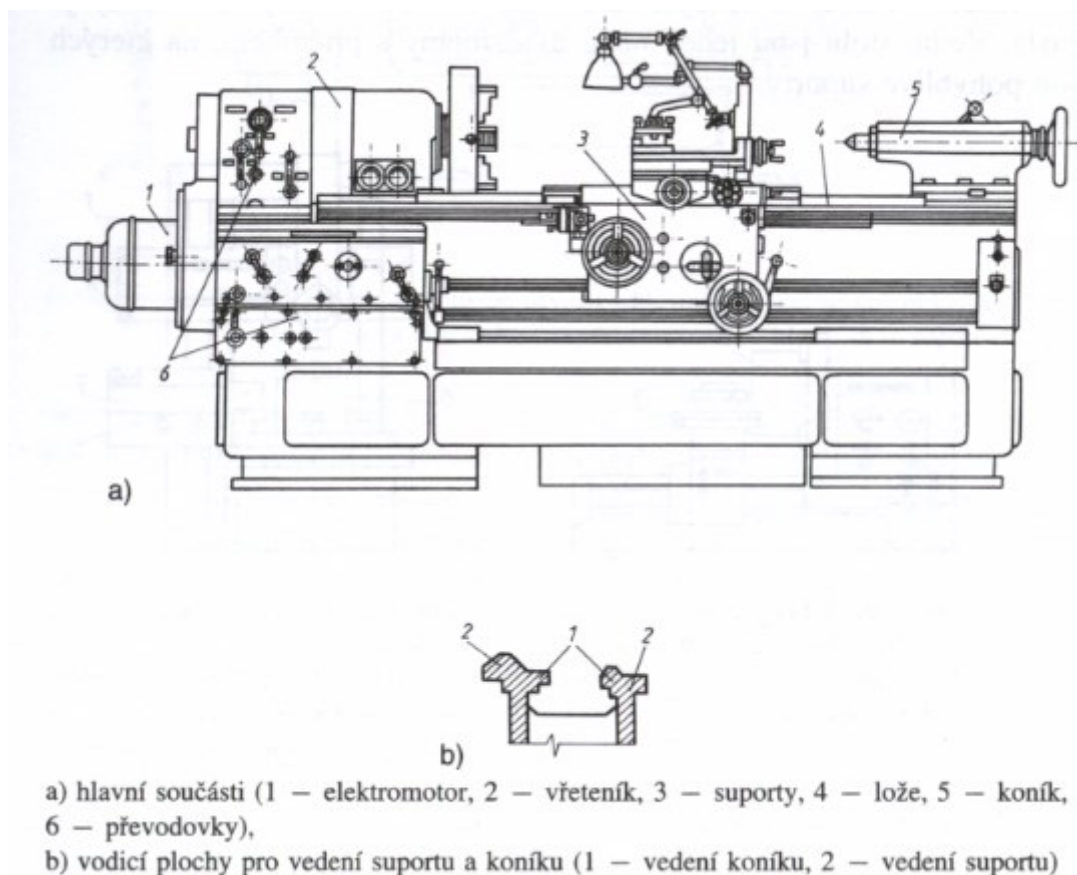
2.4 Stroje - soustruhy

Soustruh by se dal specifikovat jako stroj, jehož hlavním úkolem je udávat upnutému obrobku rotační pohyb. Soustruhy se řadí ve strojírenské výrobě ke strojům s největším zastoupením. Tvoří více než 25 % z celkového počtu strojů používaných k obrábění kovů. Na soustruzích lze obrábět vnější a vnitřní rotační válcové plochy, čelní rovinné plochy, vrtat, řezat závity, vyvrtávat, vystružovat apod. Dále lze vytvářet kuželové či kulové plochy. Přidáním speciálního zařízení lze na soustruhu taktéž frézovat nebo brousit. Obrábění probíhá nejčastěji ve vodorovné ose vřetene, ale pohyb obrobku může být taktéž se svislou osou vřetene. [10, 13]

Soustruh se skládá z několika stavebních prvků, mezi ně patří:

- Lože
- Vřeteník
- Posuvová skříň s posuvovým ústrojím
- Suport
- Koník
- Elektromotor
- Převodovka

Vřeteník se skládá z ložisek, ve kterých je uloženo vřeteno. Rotační pohyb vřetene je prováděn nejčastěji třífázovým elektromotorem, který je spojen s vřetenem přes převodové ústrojí. Převodovka je tvořena soustavou ozubených kol. K vřetenu, které je duté se upevňuje nejčastěji sklíčidlo. Koník je prvek, který se používá nejvíce pro podepírání dlouhých obrobků nebo pro vrtání osových děr. Dále se dá do koníků pomocí pinoly upínat závitníky, výhrubníky a výstružníky. Suport se posouvá po vodících plochách buď ručně, nebo zásluhou posuvového zařízení. Na suportu bývá upevněna nožová hlava s nástrojem a také lampa. Lože je nejčastěji litinové, jsou na něm vyrobeny vodící plochy, po kterých se pohybuje suport a koník. [10]



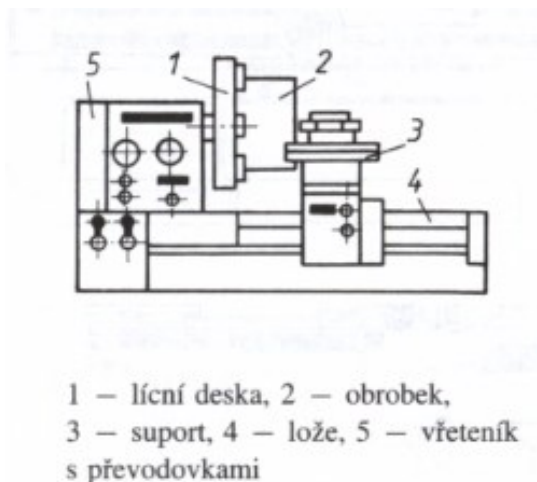
Obr. 12 Univerzální hrotový soustruh [10]

Soustruhy dělíme podle konstrukce na tyto typy:

- **Hrotový soustruh:** Jeden z nejpoužívanějších soustruhů, je umístěn téměř v každé kovoobráběcí firmě. Jsou vyráběny v nejrůznějších velikostech od hodinářských, až po velké soustruhy o velikosti 10 a více metrů. Používá se pro kusovou a malosériovou výrobu. Obvykle se k němu dá připojit velká řada příslušenství, jak pro upínání obrobků, tak pro soustružnické nástroje. Přidáním speciálního

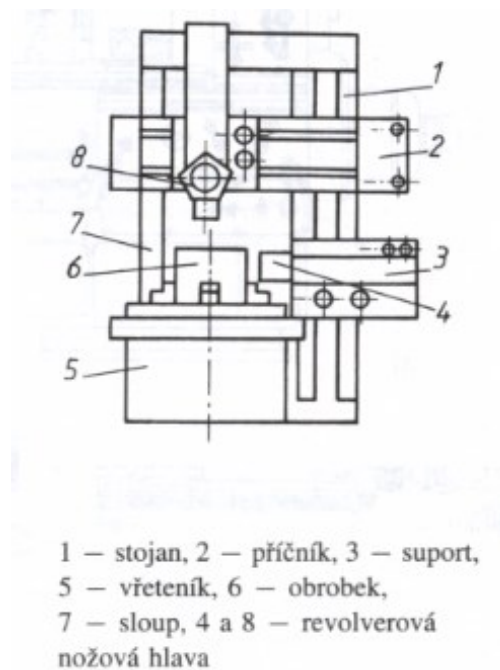
příslušenství lze na tomto typu soustruhu brousit, frézovat nebo také superfinišovat. Dále se dá na soustruh instalovat kopírovací zařízení, které slouží k soustružení rotační plochy podle šablony. Kromě vodící tyče se na soustruhu nachází také vodící šroub, který je určen k řezání závitů. Hrotový soustruh má velmi velký rozsah otáček a posuv je jemně odstupňován. [10, 13, 14]

- **Čelní soustruh:** Jeho hlavním poznávacím prvkem je velký vřeteník, na kterém je umístěna upínací neboli lícní deska, která může dosahovat průměru až 5 m. Kolem lícní desky bývá dostatek prostoru, možné jsou i varianty s jámou pod lícní deskou. Tento druh soustruhu je dodáván s pevným příčným ložem. Většinou na tomto soustruhu není koník. Obrobky upínané na čelní desku bývají velmi velkých průměrů a malých délek. Velkou nevýhodou těchto soustruhů je namáhání předního ložiska vřetene z důvodu upínání velkých a těžkých obrobků. [10, 13, 14]



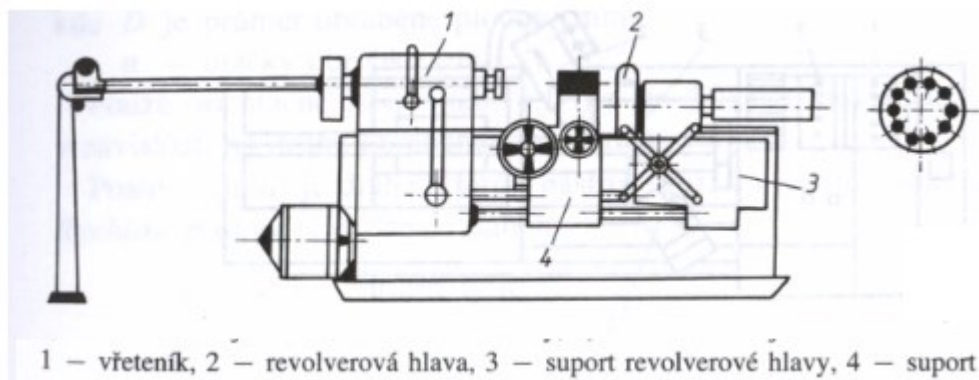
Obr. 13 Čelní soustruh [10]

- **Svislý soustruh (karusel):** Specialitou tohoto soustruhu je upínací deska umístěná vodorovně a osa otáčení je svislá. Upínací deska je většinou čtyřčelist'ová. Karusely jsou používány k upínání obrobků, kde jejich průměr je větší než délka. Vedle upínacího prostoru bývá umístěn stojan s příčným, na kterém jsou připevněny pohyblivé suporty. Větší karusely mohou mít dokonce dva příčnickové suporty, které mohou odebírat třísku současně. Oběžný průměr u karuselů může dosahovat i 10 metrů a upínání k vodorovnému stolu je jednoduché, zpravidla pomocí jeřábu. Mohou být na něm soustruženy vnější i vnitřní válcové plochy, čelní nebo kuželové, dokonce lze řezat závity. [10, 13, 14]

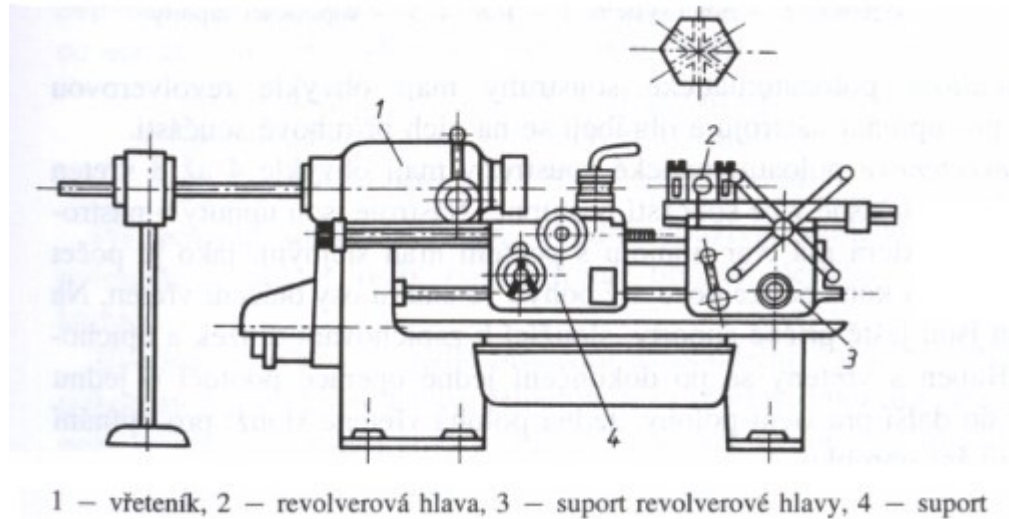


Obr. 14 Svislý soustruh [10]

- Revolverový soustruh:** Je rozpoznatelný podle toho, že je na něm umístěna revolverová hlava, která má buď svislou, nebo vodorovnou osu otáčení. Zvláštní případy jsou i se šikmou osou otáčení. Jeho hlavní využití je ve výrobě většího objemu výrobků, kde je nutné používat více různých nástrojů na vyrobení dané součástky. Nástroje se upínají do speciální revolverové hlavy. Ta je otáčena buď ručně, nebo automaticky podle toho, jaká operace je zrovna potřeba pro vyrobení součástky. Největší výhodou je to, že se nástroje nemusí před každou novou operací upínat a nastavovat, stačí pouze pootočit hlavu. Revolverové soustruhy taktéž bývají často doplněny o číslicové řízení. Nejčastěji jsou na těchto soustruzích obráběny tyče, kde se dá využívat obrábění dvěma nástroji současně a to kombinací revolverové hlavy a příčného suportu. [10, 13, 14]



Obr. 15 Revolverový soustruh s hlavou otáčející se kolem vodorovné osy [10]



Obr. 16 Revolverový soustruh s hlavou otáčející se kolem svislé osy [10]

- **Speciální soustruh:** Je převážně používán pro soustružení nekruhových ploch. Během rotace obrobku se nůž pravidelně přibližuje a oddaluje. Tímto způsobem se dá například vyrobit vačková hřídel. [14]
- **Poloautomatický soustruh:** Obráběcí cyklus je automatický, obsluha provádí pouze upnutí a odepnutí polotovarů. Nachází se zejména ve velkosériové výrobě, kde mnohonásobně urychluje práci. [10, 14]

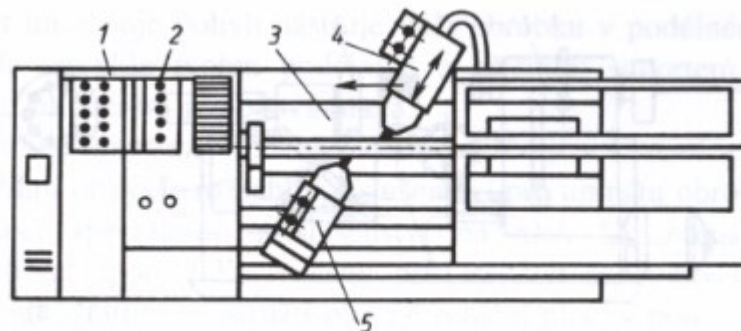
Poloautomatické soustruhy lze dělit na tyto druhy:

Hrotové: Vyznačují se tím, že mají na loži více suportů, které pracují současně. Hlavní suport se nachází za obrobkem, což umožňuje bezproblémový odchod třísek, které padají na dopravník. Obrábí se většinou přírubové součásti a díky použití více nástrojů najednou je značně zkrácen výrobní čas. Lze použít taktéž kopírovací suporty, pomocí kterých jsou vyráběny složitější rotační dílce. Tvar šablony je snímán dotykově a nastavování suportu je hydraulické. [10, 14]

Skličidlové: Obrobek se upíná letmo do sklíčidla, soustruhy bývají vybaveny revolverovou hlavou pro nástroje. Jejich největší využití je při výrobě přírubových součástí. [10, 14]

Několika vřetenové poloautomatické soustruhy: Bývají osazeny 4 až 8 vřeteny, které mohou obrábět současně. Obrábět lze i více součástí najednou. Hlavním využitím je velkosériová výroba. Nástroje se upínají do nástrojových hlav, které mají tvar hranolu, počet stran na hlavě je stejný jako počet vřeten. Nástrojová hlava vykonává pouze jeden pohyb, konkrétně se jedná o posuvný pohyb ve směru osy

otáčení vřeten. Na stojanech stroje bývají ještě příčné suporty, které slouží k zapichování nebo upichování. [10, 13, 14]



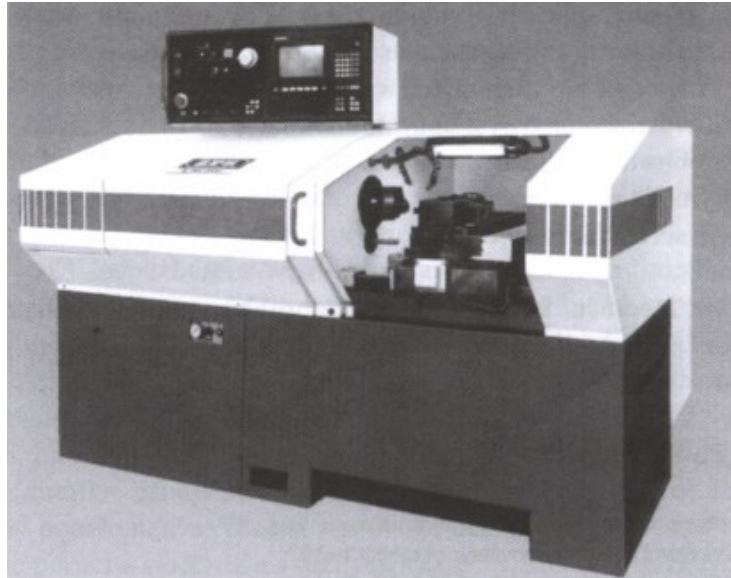
1 – vřeteník, 2 – řídicí systém, 3 – lože, 4, 5 – kopírovací suporty

Obr. 17 Poloautomatický hrotový soustruh [10]

- **CNC soustruhy:** Číslicově řízené soustruhy opracovávají součásti za pomoci automatického řízení. Jejich činnost funguje zadáváním povelů převážně v číselné formě, které jsou v podobě počítačového programu. Soustružení na CNC strojích má téměř podobný sled operací, jenž je na univerzálních soustruzích. Stejně jako na konvenčních strojích se musí na CNC součást umístit do vhodné výchozí polohy a pevně upnout. Nástroje se nejčastěji upínají do revolverových hlav, poté se spouští otáčky vřetene a může dojít k odebírání třísky. K pohybu nástroje dochází podle předem připraveného programu a následně k vyrobení součásti. Celý cyklus se většinou opakuje ve velkých sériích a lidský faktor je zastoupen pouze v upínání polotovarů a spouštění programu. Díky robotizaci je možné úplně lidskou práci odstranit a k výměně polotovarů poté dochází pomocí robotizované ruky. [15]

CNC soustruhy mají tyto výhody:

- Možná automatizace celého výrobního cyklu.
- Zkrácení výrobních časů.
- Zaručená přesnost a kvalita povrchu na každém výrobku.
- Pružnost, čímž se myslí rychlá úprava programu, výměna nástroje.
- Možnost ovládání stroje z místa mimo pracoviště. [15]



Obr. 18 Ukázka CNC soustruhu [15]

2.5 Řezné podmínky při soustružení

Ideální volba řezných podmínek závisí především na vstupních parametrech. Mezi vstupní parametry lze zahrnout například obráběný materiál, materiál řezného nástroje, způsob chlazení atd. Další neméně důležitým parametrem před volbou řezných podmínek je požadovaná přesnost výroby, tvar, jakost nebo struktura povrchu po obrábění. Řezné podmínky stanovuje technolog, nejčastěji za pomoci katalogů, které přidává výrobce k řezným nástrojům. Modernější technologií je volba řezných podmínek pomocí softwarů, které zvolí správné podmínky s ohledem na nejvyšší životnost nástroje. [10]

Mezi základní řezné podmínky při soustružení patří řezná rychlost, která odpovídá obvodové rychlosti obrobku. Řezná rychlost se stanoví dle rovnice 1. [10]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

kde D - je průměr obráběné plochy [mm], n - jsou otáčky obrobku [min^{-1}]

Další základní řeznou podmínkou patří posuv neboli dráha, kterou nástroj urazí za jedno otočení obrobku. Volba posuvu je závislá na požadované kvalitě obrobeného povrchu a taktéž je ovlivněna geometrií řezného bříti. Velikost rychlosti posuvu je dána dle rovnice 2. [10]

$$v_f = f \cdot n \quad (2)$$

kde f - je posuv [mm], n - jsou otáčky obrobku [min^{-1}]

Tvar, který je konán řezným pohybem může mít několik podob. Obráběním válcových ploch vzniká tvar odpovídající šroubovici. Naopak u čelních ploch je tvořena Archimedova spirála a u soustružení obecných ploch tvar odpovídá pohybu po prostorové křivce. Velikost řezného pohybu se vypočítá vektorovým součtem řezné rychlosti a posuvové rychlosti, dle vzorce 3. [1]

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (3)$$

kde: v_c - je řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$], v_f - je rychlost posuvu [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

2.6 Dosahované parametry u soustružení

Rozměrová přesnost soustružených výrobků a jejich jakost povrchu je zejména ovlivněna řeznými podmínkami. Neméně důležitý vliv má geometrie břitu, materiál obráběného dílu, tuhost celého stroje, způsob upnutí, chlazení, druh operace apod. [10]

Při hrubovacím procesu soustružení požadujeme odebrání pokud možno největší část materiálu za jednotku času. Naopak při obrábění na čisto nebo jemném obrábění jsou odebrány jen velmi malé objemy materiálu. Důsledkem toho je možné požadovanou součást obrábět v nejlepší rozměrové přesnosti a drsnosti povrchu. Hodnoty, které lze běžně při soustružení dosáhnout jsou zapsány v tabulce 1 níže. [10]

Tab. 1 – Běžně dosahované hodnoty přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu [10]

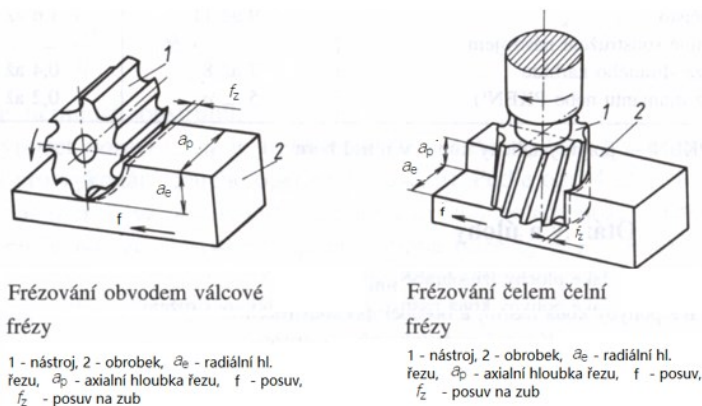
Způsob soustružení	Přesnost rozměrů	Drsnost povrchu
	IT	Ra (μm)
Hrubování	14 až 11	50 až 12,5
Obrábění na čisto	11 až 9	12,5 až 1,6
Jemné soustružení:		
a) nástrojem ze slinutého karbidu	8 až 7	1,6 až 0,4
b) nástrojem z polykrystalického nitridu boru	6 až 5	0,6 až 0,2

3 FRÉZOVÁNÍ

Frézování lze specifikovat jako odebrání malých částeczek materiálu ve formě třísky nejčastěji vícebřitými nástroji (frézami). Frézovat lze vnější i vnitřní rovinné plochy. Tvarové plochy lze frézovat taktéž vnitřní a vnější. V průběhu historie se frézování řadí jako mladší způsob obrábění v porovnání se soustružením. Stroje určené k frézování se nazývají frézky a první z nich byly zkonstruovány počátkem 18. století. Avšak podobu, která je známá nyní, dostaly až koncem 19. století. Lze je řadit mezi velmi výkonné stroje a řadí se na druhou pozici mezi nejpoužívanější stroje, které jsou určeny k obrábění. Frézováním se dají vyrábět nejčastěji rovinné plochy nebo tvarové přímky, taktéž lze vyrábět i zborcené plochy. Za pomoci kopírovacích či NC frézek lze také vytvářet obecné tvarové plochy. [10]

3.1 Podstata frézování

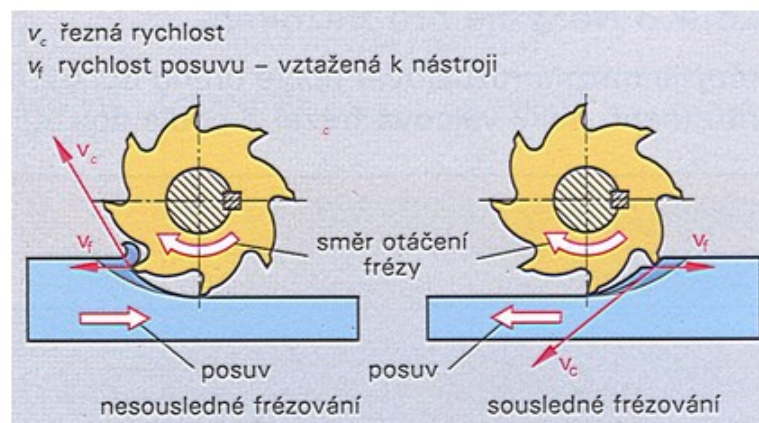
Celá podstata frézování spočívá v rotaci nástroje, na kterém je umístěn břit, díky němuž dochází k odebrání požadovaného množství materiálu ve formě třísky. Nástroj, jakožto hlavní prvek u technologie frézování se nazývá fréza, bývá zpravidla vícebřitá. Pro dosažení nejlepší kvality a drsnosti povrchu je vždy lepší, aby při řezném procesu zabíralo více zubů zároveň. Řezný proces je přerušovaný, samotné zuby postupně vcházejí a zase vycházejí z materiálu a společně odebírají třísku, jež se vyznačuje proměnnou tloušťkou. Hlavní řezný pohyb otáčivý je u frézování vykonáván nástrojem tedy frézou. Naproti tomu vedlejší pohyb vykonává obrobek a koná pohyb posuvný. Nejčastěji přímočarý nebo také obecný pohyb po prostorové křivce. Na CNC frézkách bývá obvykle obrobek pevně připevněn do svěráku či upínacích zařízení a nevykonává žádný pohyb, pohybuje se pouze nástroj. Při frézování je možné rozeznat dva základní způsoby frézování. Konkrétně se jedná o frézování obvodem na válcové fréze nebo čelem na čelní fréze. [10]



Obr. 19 Rozdíl mezi obráběním obvodem válcové frézy a čelem čelní frézy [10]

Podle toho jakým směrem se otáčí fréza vůči posuvu stolu, dělíme frézování na tyto dva druhy:

- **Nesousledné frézování:** Smysl rotace nástroje je protichůdný vůči směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky je proměnná a mění se od nuly po největší hodnotu. K samotnému oddělení třísky od obrobku nedochází v okamžiku nulové hodnoty, ale až po určitém skluzu břitu. Ke skluzu břitu dochází na ploše, která byla vytvořena předchozím zubem. Frézování je u tohoto způsobu klidné a bez rázů, avšak dochází ke tření hřbetu o obrobek a tím pádem zhoršení výsledného povrchu. Řezná síla nástroje může vytahovat obrobek z upínače. [1]
- **Sousledné frézování:** U sousledného frézování je smysl rotace nástroje stejný jako pohyb obráběné součástky. Maximální tloušťka třísky vzniká hned při vnikání zubu do obrobku a jde postupně k nulové hodnotě. Obrobená plocha je vytvořena tehdy, když zub vychází ze záběru. Směr působení řezných sil je většinou směrem dolů, což způsobuje přitlačení obrobku do upínacího zařízení a jeho lepší držení. Na rozdíl od nesousledného se břit méně opotřebovává na hřbetu a povrch je jakostnější. Nevýhodou mohou být rázy, které vznikají při vnikání nástroje do obrobku, proto je nutné použít stroje, které mají možnost nastavení axiálních vůlí pohybových šroubů. Rázy lze taktéž snížit použitím fréz se šikmými zuby. [1]



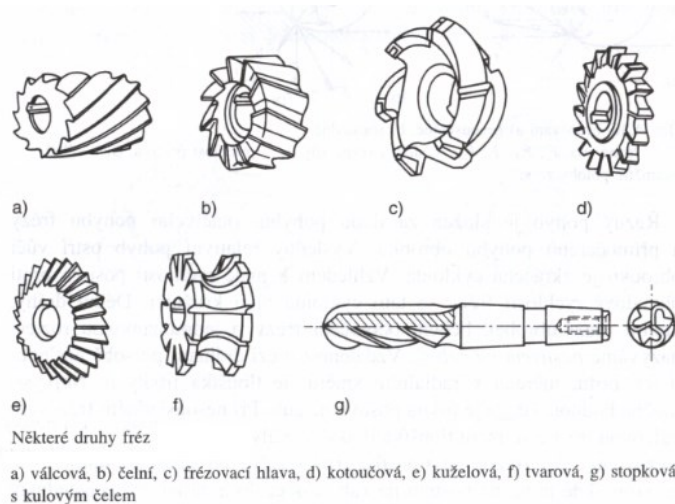
Obr. 20 Ukázka sousledného a nesousledného frézování [16]

3.2 Nástroje – frézy

Frézy, jakožto hlavní prvek obsažen v procesu frézování je možné dělit z několika hledisek. Nejčastější dělení fréz je zejména podle způsobu upínání, konstrukce, tvaru zubů, umístění břitů nebo také průběhu ostří. [10]

Na základě toho, kde jsou umístěny břity, se frézy dělí na tyto základní druhy:

- Válcové frézy
- Čelní frézy
- Kotoučové frézy
- Kuželové frézy
- Tvarové frézy



Obr. 21 Příklady základních druhů fréz [10]

Dle tvaru zubů se frézy dělí na tyto:

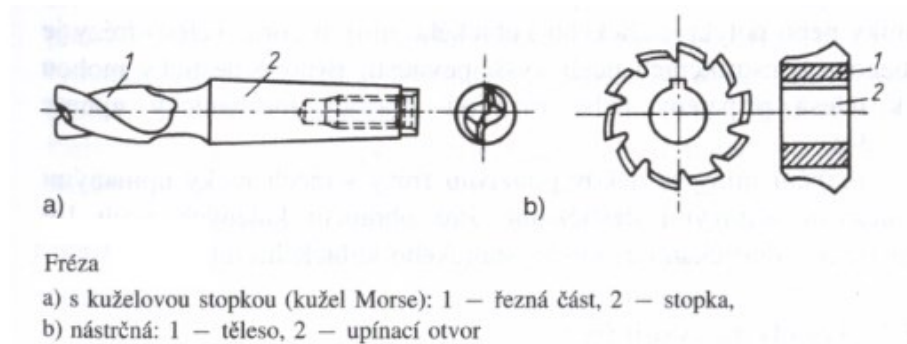
- S frézovanými zuby
- S podsoustruženými zuby

Podle průběhu ostří se frézy dají dělit takto:

- S přímými zuby
- Se zuby umístěnými do šroubovice

Rozdělení podle druhu upínání fréz:

- Stopkové frézy
- Nástrčné frézy



Obr. 22 Druhy možného upínání fréz [10]

Rozdělení fréz podle konstrukce:

- Celistvé frézy
- Monolitní frézy

3.2.1 Nástrojové materiály fréz

Frézy, které disponují celistvou konstrukcí, jsou vyráběny z rychlořezných ocelí, konkrétně obráběním nebo jsou přesně odlévány. Frézy menších rozměrů jsou vyráběny jako celistvé ze slinutého karbidu. Vyměnitelné destičky u fréz mohou být vyrobeny buď z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, řezné keramiky nebo také polykrystalického nitridu boru. Břitové destičky bývají k tělesu frézy buď připájeny, nebo upnuty mechanicky přes speciální upínací mechanismy. Pro obrábění kalených ocelí je vhodné používat destičky z polykrystalického kubického nitridu boru. [10]

3.3 Upínání nástrojů a obrobků při frézování

Frézy nástrčné se převážně upínají na trny, trn bývá ukončen kuzelem buď ISO, nebo také Morse. Přenos krouticího momentu z vřetene je zajištěn přes kužel a taktéž přes unášecí kameny. [10]

Frézy, které mají stopku válcovou lze upínat do sklíčidla, jež obsahuje tzv. upínací kleštinu. [10]

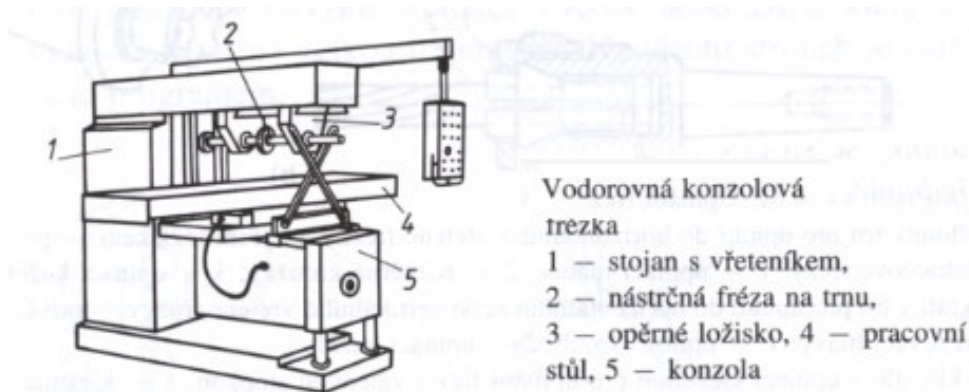
Obrobky při frézovací operaci se upínají přímo na pracovní plochu stolu frézky. Je důležité, aby upínání obrobků bylo tuhé, pevné a přesné. K upínání dílců se dají nejčastěji používat strojní svěráky. Taktéž je možné upínat polotovary díky upínkám se šrouby a opěrkami. U CNC výroby jsou dílce upínány díky speciálním upínacím mechanismům, které jsou navrhovány přesně k danému výrobku. [10]

3.4 Stroje - frézky

Frézovací stroje - frézky je možné vidět ve velkém počtu různých typů, modifikací a také s různorodým přídatným zařízením. Každé frézovací zařízení je vybaveno vřetenem, do kterého se upínají nejčastěji frézy. Díky svému rozsahu pohybu lze frézování dobře regulovat a přesně vyrábět požadované součásti. Na frézách kromě frézování lze zvládat více operací, jako například řezat závity, vrtat nebo vyrábět ozubená kola. Výrobci často pojmenovávají frézovací stroje podle druhu ovládání, počtu přítomných os, orientace vřetene, velikosti nástroje, jeho účelu nebo podle zdroje energie. [10, 18]

Obvykle se dají frézky dělit na tyto druhy:

- **Konzolové frézky:** Jedná se o nejrozšířenější typ, lze ho vidět v téměř každé kovoobráběcí dílně. Dělí se na tři druhy, konkrétně vodorovné, svislé a univerzální. Na jejich stojanu je osazena konzola, která je posuvná. Na konzoli je umístěn pracovní stůl s drážky, na které je možné nainstalovat další zařízení sloužící k upnutí součástek. Konzole umožňuje svislý pohyb stolu, stůl má na vodících drážkách umožněn pohyb příčný a podélný. [10]
- **Kopírovací frézky:** Slouží k frézování velmi složitých prostorových tvarů, frézování je prováděno podle předem připraveného modelu. [10]
- **Rovinné frézky:** Největší odlišnost rovinných frézek od konzolových je ta, že pracovní stůl se pohybuje pouze ve směru podélném na pevném loži. [10]
- **Rovinné portálové frézky:** Zvláštností tohoto typu frézek je ta, že mají oba stojany spojené příčnicí, který koná svislý posuv. [10]
- **Speciální frézky:** Jsou tvořeny velkým množstvím různých druhů, určených převážně pro jeden typ frézovací operace. [10]



Obr. 23 Ukázka vodorovné konzolové frézky [10]

3.4.1 Operace prováděné na frézkách

Pomocí frézování se vyrábějí převážně rovinné plochy, drážky, tvarové plochy, ozubená kola nebo závity. Složitější kombinace tvarových nebo rovinných ploch je možné frézovat díky skládaným frézám. [10]

3.5 Řezné podmínky při frézování

Stejně jako tomu bylo při soustružení, je i při frézování volba řezných podmínek závislá na vlastnostech nástroje, materiálu, konstrukci, tuhosti stroje a také na požadovaných parametrech obrobených ploch. Pro správnou volbu řezných podmínek u metody frézování je vhodné se řídit přímo doporučeními výrobce nástroje, která jsou uvedena v příručkách nebo katalozích.[10]

Řezná rychlost, tedy obvodová rychlost frézy se u frézování volí podle rovnice 4 níže. [10]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (4)$$

kde D - je průměr frézy [mm], n - jsou otáčky vřetene [min^{-1}]

Rychlost posuvu stolu frézky v_f je udávána v $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Avšak z hlediska záběru zubu je důležitějším parametrem hodnota posuvu na zub f_z . Hodnota f_z je stanovena dle rovnice 5. [10]

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (5)$$

kde z - je hodnota počtu zubů, n - jsou otáčky vřetene [min^{-1}],

v_f - rychlost posuvu [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

3.6 Dosahované parametry při frézování

Nepřeberné množství nástrojů a zařízení umožňuje při frézování dosáhnout velkého rozsahu jakosti obroběných ploch. Největší dopad na výsledné parametry má volba nástroje a jeho geometrie, následně má velký podíl způsob frézování, materiál, tuhost celé soustavy atd. [10]

V tabulce 2 je možné vidět orientační hodnoty drsnosti a přesnosti, které lze dosáhnout na běžných frézkách. Samozřejmě použitím moderních CNC strojů a za pomoci speciálních úprav lze dosahovat ještě mnohem lepších parametrů. [10]

Tab. 2 – Hodnoty dosahované při frézování [10]

Způsob frézování	Přesnost rozměrů	Drsnost povrchu
	IT	Ra (μm)
Hrubování válcovou frézou RO	13 až 10	25 až 6,3
Dokončování válcovou frézou RO	11 až 8	6,3 až 1,6
Hrubování čelní frézou RO	13 až 10	25 až 6,3
Dokončování čelní frézou RO	11 až 6	3,2 až 1,6
Fréza s břity ze slinutých karbidů	11 až 7	6,3 až 1,6

Zkratka RO – Rychlořezná ocel

4 VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ A ZAHLUBOVÁNÍ

Vrtání je metoda odebírání materiálu, po jejím provedení vznikají rotační otvory neboli díry. Odebírání je nejčastěji prováděno dvoubřitým nástrojem na strojních - vrtačkách. Jedná se o jednu z nejstarších a nejběžnějších metod, která má velmi velké zastoupení a je nedílnou součástí pro rychlé vrtání otvorů. [10, 19]

Při vyhrubování, vystružování a zahlubování je použit stejný pohyb nástroje tedy pouze v jedné ose ve směru osy díry. Tyto zmíněné operace se používají pro úpravu již vyvrtaných děr na požadovanou přesnost a jakost povrchu. Vyhrubování a vystružování je prováděno zejména na vrtačkách. [1, 10]

4.1 Podstata vrtání

Hlavní řezný pohyb tedy pohyb rotační vykonává převážně nástroj. Nástroj taktéž vykonává pohyb posuvný ve směru osy vrtaného otvoru, avšak mohou být i jiné varianty. Zajímavostí u vrtání i dalších tzv. osových operacích je to, že řezná rychlost nástroje je největší na jeho obvodě a směrem ke středu se rychlost snižuje až k úplné nule. Kvůli snižující se řezné rychlosti směrem ke středu mohou nastat některé technologické problémy. Jeden z možných problémů se může objevovat na příčném břitu, který v ose zásluhou nepříznivé geometrie téměř neodebírá žádnou třísku, materiál je zde pouze plasticky deformován.[10]

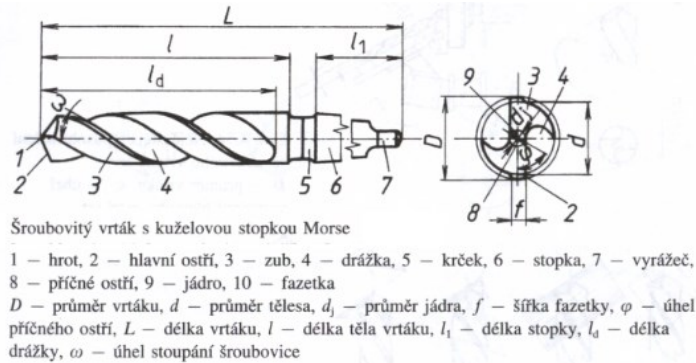
4.2 Nástroje – vrtáky

Nástroje, které používáme pro vrtání otvorů, se nazývají vrtáky. Obvyklý tvar vrtáků je dvojchodá pravotočivá šroubovice, která je na jednom konci ukončena břity, v horní části přechází tvar do válcového, za něhož se nástroj upíná. [10]

Podle tvaru a konstrukce je možné vrtáky dělit na tyto základní druhy:

- **Vrtáky kopinaté:** Patří k nejstarším a nejjednodušším vrtacím nástrojům. [10]
- **Vrtáky šroubovité:** Většinou jsou dvoubřité a mají šroubovité drážky pro odvod třísek. [10]
- **Vrtáky středící:** Používají se zejména na navrtání důlků pro upínání nebo taktéž pro lepší vedení vrtáku s větším průměrem. [10]
- **Vrtáky dělové:** Jejich hlavní využití je pro vrtání hlubokých děr. [10]
- **Vrtací hlavy:** Pevně se využívají u děr, které se vyznačují velkými průměry. [10]

- **Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami:** Patří k moderní alternativě běžných vrtáků, obsahují vyměnitelné břitové destičky. [10]
- **Vrtáky sdružené:** Uzpůsobení těchto vrtáků je hlavně pro vrtání osazených děr nebo zaoblení. [10]



Obr. 24 Ukázka šroubovitého vrtáku [10]

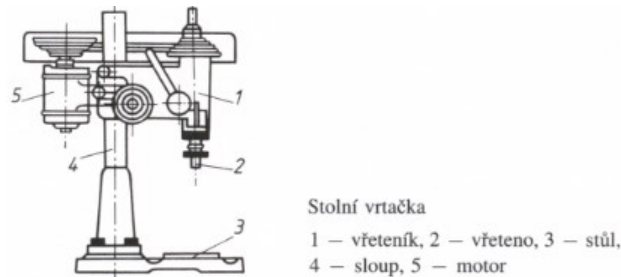
4.3 Stroje – vrtačky

Vrtačky jsou stroje nejčastěji používané k upínání vrtáků a pro následné vrtání. Jsou uzpůsobeny pro vrtání, vyhrubování, vystružování nebo řezání závitů pomocí závitníků. Hlavní řezný pohyb i posuv je konán vřetenem, do kterého může být upnut jeden ze zmíněných vrtáků. Na vrtačkách lze jednoduše nastavovat otáčky a pohon je zajištěn převážně řemenovým převodem. Upínání nástrojů do vrtaček je buď pomocí sklíčidla, kleštiny nebo také Morse kužele. [10]

Mezi základní druhy běžně používaných vrtaček patří tyto druhy:

- **Stolní vrtačky:** Nejběžnější a nepoužívanější vrtačky používané na rychlé vrtání spíše menších otvorů. [10]
- **Sloupové vrtačky:** Konstrukce obsahuje stejný vřeteník jako má stolní vrtačka, rozdíl je pouze v tom, že má delší sloup, po kterém je možné pohybovat se stolem. [10]
- **Stojanové vrtačky:** Jsou tvořeny velmi mohutným stojanem, po stojanu je možné pohybovat s vřeteníkem i s upínacím stolem. [10]
- **Radiální vrtačky:** Poznávacím znakem tohoto typu vrtaček je vřeteník, který je možné posouvat po rameni. [10]

- **Speciální vrtačky:** Specifický typ vrtaček, většinou umožňují natočení do libovolné polohy. Je na nich možné vrtat robustní a těžké obrobky. [10]



Obr. 25 Ukázka stolní vrtačky [10]

4.4 Řezné podmínky a dosahované parametry na vrtačkách

Řezné podmínky mohou při procesu řezání dosahovat velkého rozsahu, velkou roli hraje použitý nástroj, stroj, upnutí a mnoho dalších faktorů. Velká odlišnost je zejména ve velikosti řezné rychlosti, ta se oproti frézování a soustružení výrazně liší. Vzhledem k tomu, že vrták pracuje v méně příznivých podmínkách, je nutné volit mnohem menší řezné rychlosti. Kvůli špatnému odvodu tepla a třísky je břit značně namáhán. Je tedy velmi vhodné používat chladicí emulze nebo oleje k ochlazení nástroje a břitu přímo v místě řezu. U výhrubníku a výstružníků je situace poněkud jiná, nedochází již k tak velkému vzniku tepla a výsledný povrch dosahuje lepších parametrů jak po stránce drsnosti, tak přesnosti. [10]

Nejdůležitější parametr je při vrtání řezná rychlost, která vychází z obvodové rychlosti nástroje a vypočítá se pomocí této rovnice 6. [10]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (6)$$

kde D - je průměr vrtacího nástroje [mm], n - jsou otáčky vřetene [min^{-1}]

Dosahované parametry jak při vrtání nebo také vyhrubování a vystružování závisí hlavně na druhu materiálu a typu použitého nástroje. V tabulce 3, kterou lze vidět níže jsou uvedeny parametry, které lze dosáhnout na základních typech vrtáků. [10]

Tab. 3 – Dosahované parametry u různých typů vrtáků [10]

Nástroj - vrták	Přesnost rozměrů IT	Drsnost povrchu R_a (μm)
Šroubovité vrtáky	13 až 11	25 až 6,3
Kopinaté vrtáky	10	25 až 6,3
Dělové vrtáky	8	6,3 až 1,6
Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami	10 až 8	12,5 až 3,2

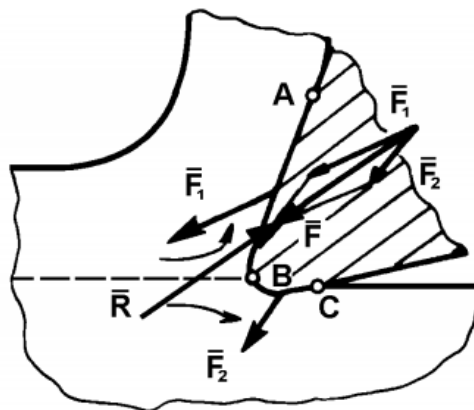
5 MĚŘENÍ SLOŽEK SIL PŘI ŘEZÁNÍ

Proces tvorby třísky znázorňuje to, že při vnikání břitu nástroje vzniká v obráběném polotovaru stav napjatosti, který má za následek až možné oddělení třísky, což samozřejmě při obrábění požadujeme. Proces oddělování třísky doprovází plastické a elastické deformace. Mimo jevy deformační se při procesu odebrání třísky objevují i poměry silové. [20]

Popsáním těchto silových poměrů, jež vznikají při procesu řezání, umožňuje získat přehled o mechanickém namáhání celé soustavy při obrábění. Tím je možno určit potřebné podklady pro řešení kompletní technologické soustavy jak z pevnostního hlediska, tak i tuhost soustavy včetně dynamické stability celého rezného procesu. [20]

Pomocí silových poměrů lze taktéž získat podklady pro požadovaný příkon obráběcího stroje nebo také zajištění energetické účinnosti rezného procesu. Zásluhou poznání silových procesů je možno dále získat hodnocení a posuzování tepelných jevů při procesu řezání nebo pro získání informací o trvanlivosti rezného nástroje, respektive jeho životnost. Také lze posuzovat podmínky přesnosti a dokonce celkové ekonomické bilance třískového obrábění. [20]

Nejvíce významnou veličinou při procesu odebrání je síla řezání, kterou je nutno chápat jako veličinu závislou na čase. Napjatost v obráběném materiálu způsobuje rezný odpor, který působí vůči této síle a je potřeba, aby odpor byl překonáván, jinak nedojde k požadovanému oddělení materiálu. [20]



Obr. 26 Řezná síla a její rozklad při soustružení [20]

5.1 Přímé měření sil a momentů

Metoda přímého měření sil a momentů je založena na zaznamenávání deformací v soustavě stroj – nástroj – obrobek během obráběcího procesu. Zaznamenávání je prováděno pomocí dynamometrů. Dynamometr je vlastně měřicí přístroj, který musí zaručovat nezávislost měřené veličiny na vlastnostech přístroje. Dále je od něj žádáno měření sledované veličiny s určitým rozsahem a pokud možno nejvyšší přesností měření. Dynamometr musí také zaručit stálost naměřených hodnot v závislosti na čase, včetně její reprodukovatelnosti. [21]

Z těchto uvedených vlastností plynou na dynamometry tyto druhy požadavků:

- **Tuhost dynamometrů:** Tuhost dynamometrů je dána v závislosti na velikosti zatěžující síly, která způsobuje deformaci v jedné ze tří os. Velikost těchto deformací závisí převážně na tvaru a provedení deformačního čidla. Dále je velikost deformace úzce spjata s konstrukčním navrhnutím dynamometrů a na druhu měřicí metody. Při dynamickém měření je zásadní tuhost dynamometrů. [21]
- **Citlivost dynamometrů:** Citlivost velmi záleží na citlivosti použité měřicí metody a na konstrukčním navrhnutím dynamometrů. Citlivost dynamometrů musí být taková, že nejmenší odečítaná jednotka musí při dodržení dostatečné přesnosti odpovídat celkové hodnotě měřené veličiny. [21]
- **Stálost získaných údajů:** Stálost je převážně závislá na tuhosti, přesnosti od stanovené nulové polohy až po zaznamenání údajů sledované veličiny, to vše se musí dít po celou dobu měření. [21]
- **Opakovatelnost údajů:** Opakovatelnost správného měření souvisí s výše uvedenými požadavky. [21]
- **Setrvačnost dynamometrů:** Tento požadavek závisí přímo úměrně na hmotnosti celé soustavy. Zejména je tento požadavek důležitý při dynamickém měření, kdy je velmi nutné sledování skutečné hodnoty, tak i maximálních a minimálních hodnot měřené síly při řezání. Po celý průběh sledování měřené síly by měla být setrvačnost pokud možno co nejmenší. [21]
- **Konstrukce dynamometrů:** Správné navrhnutí konstrukce musí zajistit, aby se složky řezné síly pokud možno vzájemně neovlivňovaly. [21]

5.2 Nepřímé měření sil a momentů

Nepřímé metody měření sil či momentů vychází nejčastěji z výkonu elektromotoru daného obráběcího stroje. Z vzorce 7 plyne, že pomocí nepřímého měření lze stanovit tangenciální složku síly řezání. Tangenciální (řeznou) složku síly je možno taktéž stanovit i z nepřímého měření točivého momentu nebo pomocí měrného řezného odporu K_c , který je uveden ve vzorci 8 [20]

$$P_{už} = F_c \cdot v_c \quad (7)$$

kde F_c - je tangenciální (řezná) složka síly řezání [N], v_c - je řezná rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

$$K_c = F_c \cdot S \quad (8)$$

kde F_c - je tangenciální (řezná) složka síly řezání [N], S - plocha odřezávané vrstvy [mm^2]

Stanovení řezné (tangenciální) složky z výkonu: Určení tangenciální řezné složky je možno taktéž provádět měřením výkonu elektromotoru obráběcího stroje za pomoci wattmetrů, které v porovnání s jinými druhy měření výkonu střídavého proudu dávají přímý údaj. [20]

Při stanovování tangenciální složky síly obrábění se vychází z užitého výkonu, který je potřebný k vlastnímu řezání. Nejprve se tedy měří výkon stroje v nezatíženém stavu. Poté se měří celkový výkon obráběcího stroje, který je zatížený, tedy obrábí. Pro výpočet užitečného výkonu $P_{už}$ platí zde rovnice 9 níže. [20]

$$P_{už} = P_c - P_o \quad (9)$$

kde P_c - je celkový výkon obráběcího stroje[W], P_o - je výkon stroje při chodu na prázdno [W]

Vypočtený užitečný výkon je možné poté jednoduše dosadit do rovnice 7, z které lze vyjádřit tangenciální složka řezné síly viz níže.

$$F_c = \frac{P_{už}}{v_c} \quad (7)$$

kde $P_{už}$ - je užitečný výkon[W], v_c - je řezná rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

Metoda nepřímého stanovení tangenciální složky síly při obrábění by se dala vyhodnotit jako poměrně jednoduchá, nevyžaduje žádnou ekonomicky nákladnou měřicí techniku a lze ji použít u všech způsobů obrábění. Za nevýhodu lze považovat omezenou přesnost měření způsobenou rozdílnou účinností stroje při zatížení a při chodu stroje naprázdno.[20]

Stanovení řezné (tangenciální) složky z točivého momentu: Tato metoda se používá zejména při metodě vrtání. Vychází se z měření celkového výkonu pomocí univerzálního zapisovacího přístroje. Po změření potřebného výkonu se vysune obráběcí nástroj ze záběru a při totožných otáčkách se vřetenem obráběcího stroje zatěžuje vhodnou mechanickou brzdou tak dlouho, až se dosáhne stejného údaje na měřicím přístroji jako při měření u obrábění. Z podmínky rovnováhy točivého momentu od řezné složky síly obrábění a točivého momentu vyvolaného mechanickou brzdou plyne tato rovnice 10. [20]

$$M_k = \frac{F_c \cdot D}{2} = M_{kb} \quad (10)$$

kde D - je průměr nástroje nebo obrobku [mm], F_c - je tangenciální (řezná) složka síly řezání [N], M_k - je točivý moment od tangenciální složky síly obrábění [$N \cdot m$], M_{kb} - je točivý moment při působení mechanické brzdy [$N \cdot m$]

Při použití nepřímé metody stanovení tangenciální složky síly obrábění nejsou výsledky měření, které vychází z točivého momentu nijak ovlivňovány rozdílnou účinností obráběcího stroje při zatíženém stavu a při chodu naprázdno. Avšak jsou ovlivňovány proměnlivostí součinitele tření na brzdě. [20]

5.3 Základní rozdělení dynamometrů

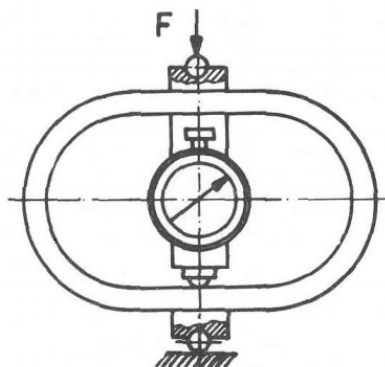
Tato kapitola pojednává o druhu a rozdělení dynamometrů, které se používají jednak k měření na moderních CNC, ale taktéž mohou být využity na univerzálních strojích.

Rozdělení dynamometrů lze určit dle následujících hledisek:

1. Podle toho, kolik složek řezných sil jsou schopny měřit. Jde nejčastěji o dynamometry jednosložkové, dvousložkové, třísložkových a také dynamometry pro měření točivých momentů. [21]
2. Podle použité měřicí metody, respektive podle možného způsobu přenosu působení síly z deformačního členu na člen měřicí, tedy čidlo. V tomto typu uzpůsobení se jedná o dynamometr buď mechanický, pneumatický, hydraulický, elektrický nebo optický a podobně. [21]
3. Pomocí určité metody obrábění to mohou být dynamometry pro soustružení, frézování, vrtání nebo pro broušení. Případně se může jednat o dynamometr také univerzální. [21]

Při měření složek řezání lze použít tyto základní druhy dynamometrů:

- **Mechanický dynamometr:** Používá se zejména na správné seřízení dynamometrů jiných. Je charakteristický lineárním vztahem mezi sledovanou silou a mezi vlastními naměřenými údaji. Přenos síly u mechanických dynamometrů je zajištěn přímo nebo je vynásobený mechanickým převodem na měřicí přístroj. Měřicí přístroj může být například číselníkový úchylkoměr. Mechanické dynamometry se považují za spolehlivé, jednoduché a měří údaje se stálou přesností od 0,5 do 2 %. Nevýhoda mechanických dynamometrů je závislost na správné měřicí teplotě, nutnosti vymezování vůlí v mechanismech, možná únava materiálu nebo obtížná změna rozsahu měření. [21]



Obr. 27 Mechanický dynamometr prstencový [21]

- **Hydraulický dynamometr:** Základní princip nutný pro měření sil na hydraulickém dynamometru je zachycení měřené síly na pístu nebo membráně. Tato změna způsobí změnu tlaku oleje a poté následuje snímání díky manometrům. [21]
- **Pneumatický dynamometr:** Podstata funguje na využívání vzduchu, který prochází úzkou štěrbinou. Měří se tlak nebo deformace mezi tryskou a klapkou. [21]
- **Elektrický dynamometr:** V technické praxi se jedná o nejvíce používaný dynamometr. Dovoluje jednoduchý přenos dálkového signálu s celou řadou možných úprav. Využívá malých měřicích elementů. Má spoustu poddruhů a dovoluje snadnou možnost regulace signálu [21]
- **Piezoelektrický dynamometr:** Pro snímání je využíváno piezoelektrického jevu, který je charakteristický vznikem následného elektrického náboje na povrchu krystalů, pokud dojde k mechanickému zatížení. Mezi nejpoužívanější piezoelektrické materiály patří například křemen nebo materiály na bázi Seignettovy soli. Základem pro správné měření je vhodně vyříznutá destička z příslušného krystalu. Při zatěžování piezoelektrického dynamometru je velikost náboje přímo úměrná s velikostí působící síly. S poklesem zatížení se velikost náboje snižuje, až k úplné nule. V současnosti jsou k dispozici speciálně konstruované moderní dynamometry od značky KISTLER. Znalosti získané z měření na těchto dynamometrech pomohou zvýšit životnost a efektivitu nástrojů[21, 22]



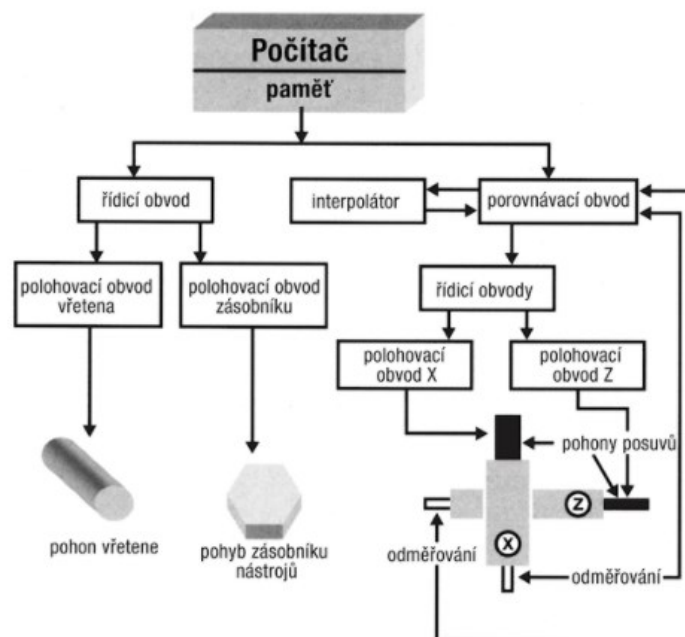
Obr. 28 Dynamometr od firmy KISTLER měřící pomocí piezoelektrického jevu [22]

6 NC A CNC OBRÁBĚNÍ

Ve 21. století je téměř samozřejmostí, že i menší podniky mají ve svých dílnách minimálně jeden CNC stroj. Jestliže nemají CNC stroj, tak alespoň staršího předchůdce NC stroj. Číslicově obráběcí stroje lze komplexně charakterizovat jako druh zařízení, u kterého jsou téměř všechny funkce prováděny pomocí řídicího systému stroje, který se řídí dle programu. Samotný program potom obsahuje informace důležité k tomu, aby došlo k obrobení požadované součástky. Tyto informace jsou zapsány do CNC pomocí alfanumerických znaků a jsou seřazeny v blocích či větách. Jednotlivé věty či bloky jsou poté zaznamenávány na určitý druh nosiče informací, jako je například flash disk či hard disk. [23, 24, 29]

Dříve na NC strojích se jako nosné médium používaly děrné pásky či diskety. Tyto programy jsou převáděny do impulsů elektrického proudu, které spustí pohony servomotorů a ostatní zařízení, které je nutné k chodu celého procesu obrábění. Chod a řízení soustavy stroje je automatické a zásah od obsluhy do procesu je omezen na minimum. Toto se poté projevuje kladně hlavně na výrobní čas a jakost výroby. [23, 24, 25]

Zavedením CNC či NC výroby bylo dosaženo mnohem vyšší efektivity nejen v kusové výrobě, ale taktéž převážně ve velkosériových výrobních, kde jeden a ten samý program jde současně spustit na více strojích. Díky zavedení těchto zařízení dochází k mnohonásobně lepší kvalitě výsledných výrobků v porovnání s ruční výrobou. [23, 24, 25]



Obr. 29 Zjednodušené blokové schéma CNC stroje [23]

6.1 Historie vývoje číslicových strojů

V průběhu 20. století zejména důsledkem světových válek a začátkem cestování do vesmíru došlo k obrovskému rozvoji průmyslu. Největší snaha byla o to, aby se manuální práce člověka nahradila automatickými stroji. Důsledkem toho by došlo k zefektivnění, zpřesnění a zlevnění výroby. [25]

Samotná myšlenka číslicového řízení se zrodila v průběhu 40. let a první NC stroje pak byly vyvinuty v Severní Americe. Rozvoj elektricky řízených hydromotorů pak mohl odstartovat samotnou výrobu první NC konzolové frézky. Jednalo se o nejstarší systém řízení a to tzv. systém stavění souřadnic, který se obešel bez mikroprocesorů. Samotný pohyb nástroje nejdříve probíhá na jedné ose a teprve poté co přijede do koncové polohy, přesouvá se na druhou osu. [25, 26]

Další následné významné období bylo na začátku 90. let, když již byla dostatečně rozvinuta elektrotechnika a začaly být samozřejmostí integrované obvody. Důsledkem toho došlo k rozvoji obráběcích center, které již byly vybavovány jednoduchými zásobníky nástrojů a senzory pro kontrolu pohonů a mechanismů. Představa byla proto jasná vyvinout stroj, který bude pracovat s minimálním zásahem lidské činnosti. [25, 26]

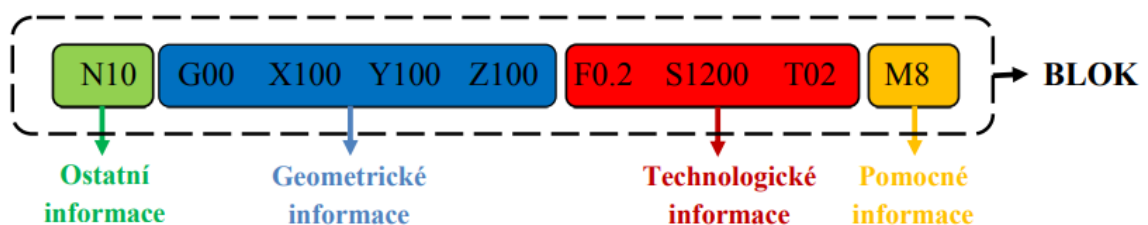
Novodobé CNC jsou svou podstatou podobné jako jejich předchůdci, avšak liší se technologickými možnostmi a parametry. Uplatňuje se na nich například odměřování pomocí laserových paprsků. [23, 26]

6.2 Programování CNC a NC strojů

Procesem programování CNC či NC strojů se zabývá osoba k tomu určená, tedy programátor. K modernímu programování je určen software dodávaný přímo ke stroji nebo software třetích stran. Je tedy pouze otázkou samotného programátora jaký software použije, může si sám vybrat, zda zvolí metodu programování přes CAM systém nebo bude programovat manuálně. Programování se poté dělí na absolutní, což znamená, že stroji je dáván příkaz k pohybu od nulového bodu do určitého bodu v pracovním prostoru. Dalším druhem je přírůstkové programování, při němž je dáván příkaz od současné pozice vřetene do nového místa, kam je požadováno přemístění nástroje. [23, 25]

6.3 CNC program

Je to specifický typ souboru, který obsahuje geometrické a technologické informace, které jsou zpravidla zapsány do bloků. Tyto informace pak zpracovává řídicí systém stroje. NC program lze vytvářet přímo na obrazovce stroje nebo jej lze vygenerovat a importovat z CAD/CAM pracoviště. Prostředky pro programování zachovávají jednoduchou skladbu příkazů, které jsou seřazeny v určitém řetězci, jež se nazývá programovací kód. Na monitoru PC lze taktéž provádět grafickou simulaci obrábění, ještě před tím, než je program spuštěn na výrobním stroji, jakožto kontrola, aby nedošlo k nehodě stroje. Program je možno jednoduše upravovat a doplňovat buď přímo na stroji, nebo v programovacím softwaru. [25, 27]



Obr. 30 Ukázka a popis jednoho řádku CNC programu [23]

6.3.1 Informace obsažené v programu

Následující kapitola se věnuje popisu jednotlivých informací, které se mohou nacházet v jednom řádku CNC programu.

Informace obsažené v CNC programu lze rozdělit na tyto:

- **Geometrické:** Popisují dráhy zvoleného nástroje, které jsou dány tvarem obráběné součástky. Způsob dráhy pohybu (přímka, šroubovice). Způsob rychlosti pohybu nástroje (rychloposuv, pracovní posuv) [23, 24, 27]
- **Technologické:** Určují zvolenou technologii obrábění s ohledem na optimální řezné podmínky daného procesu. Za technologické informace se dá požadovat - hodnota řezné rychlosti, otáčky, výměnu nástroje, začátek a konec programu atd. [23, 25, 27]
- **Pomocné:** Zahrnují ostatní informace potřebné k vyrobění součásti (zapnutí nebo vypnutí chladicí kapaliny, směr otáčení vřetene). [24]
- **Ostatní:** Jsou to další informace obsažené v programu, pomáhají v orientaci (číslo bloku, poznámka). [25, 27]

6.4 Vztažné body pro NC/CNC stroje

V pracovním prostoru CNC stroje jsou definovány takzvané vztažné body. Tyto body umožňují určit vzájemnou polohu obrobku a nástroje vzhledem k pracovní ploše daného stroje. Vztažné body se obecně dělí do dvou skupin, a to na body, které jsou stanoveny přímo výrobcem daného stroje, tyto body nelze měnit. Druhou skupinou jsou body, jejichž poloha je nastavena přímo programátorem. [23, 28]

Význam základních vztažných bodů:

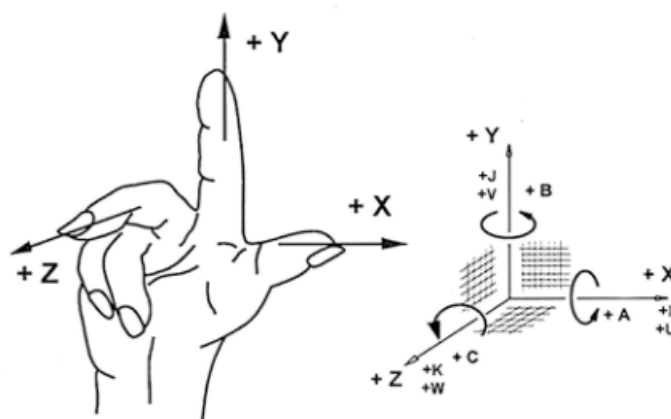
- **R – referenční bod:** Tento bod je stanoven výrobcem stroje. Je obvykle realizován pomocí koncových spínačů. Slouží k přesnému nalezení nulového bodu, zároveň ke sladění polohy nástroje s odměřovacím systémem. Najetí do tohoto bodu musí být provedeno vždy po zapnutí stroje, aby došlo ke kontrole a stroj správně pracoval, protože bod slouží k synchronizaci řídicího systému s měřicím systémem CNC stroje. [23, 27, 28, 29]
- **M – nulový bod stroje:** Z hlediska programování CNC strojů se jedná o pevný bod, jehož polohu nelze uživatelsky měnit. Řeč je tedy o výchozím bodu, z kterého vychází všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. U CNC soustruhů tento bod bývá zpravidla umístěn v ose rotace. Naopak u frézek je tento bod obvykle umístěn v jedné z krajní polohy pracovního stolu frézky. [23, 25]
- **W – nulový bod obrobku:** Nejčastěji je tento bod nastavován dle zvyklostí, popřípadě tvaru součástky přímo programátorem, či obsluhou stroje. Volí se obvykle do takového místa, aby se co možná nejvíce zjednodušil výpočet vzdáleností přechodových míst daných konstrukčně technologickými prvky. Při soustružení se umísťuje nejčastěji na čelní plochu součástky. Při frézování je jej vhodné volit na plochu nejbližší vřetenu. Na jeden výrobek může být umístěno i více nulových bodů. [23, 25, 27]
- **P – výchozí bod nástroje:** Charakteristický bod, je nutný pro stanovení délkové korekce nástrojů. Na soustružnickém noži se jedná o teoretický bod ležící na špičce nástroje. U frézky je umístěn na čelní ploše v ose rotace nástroje. [23, 25]
- **T – nulový bod výměny nástrojů:** Bod, který je volen tak, aby došlo k bezpečné změně nástroje a nedošlo ke kolizi. V některých programech se tento bod ztotožňuje s výchozím bodem programu. [23, 25]

- **A – dorazový bod:** Značí bod, kde je umístěn doraz pro upínání polotovarů. Na tento bod tedy dosedá součást. Je volen zpravidla technologem a využívá se při sériové výrobě, kdy jsou vyráběny speciální upínací zařízení. [23, 28]

6.5 Souřadný systém u číslicově řízených strojů

Souřadný systém slouží k orientaci a určení polohy nástroje či obrobku. Pomocí souřadného systému je nástroj přesouván do pozice zapsané v programu. Pro CNC stroje byla zavedena určitá pravidla, aby bylo jednodušší programování a nebyly komplikace s označováním os. Nejpoužívanější souřadný systém se nazývá pravoúhlá pravotočivá souřadná soustava neboli Kartézský souřadný systém. Jako pomůcka v orientaci může posloužit pravidlo pravé ruky. [23, 25]

Tento systém má základní osy X, Y, Z, je možné taktéž použít doplňkové osy, jako jsou například IJK, tyto osy jsou rovnoběžné se základními osami. Rotační neboli otáčivý pohyb kolem os X, Y, Z je značen písmeny A, B, C. Existuje i další souřadný systém a to polární, avšak je používán jen sporadicky. Poloha nástroje či obrobku se u tohoto systému určuje pomocí pólů, poloměrů a úhlů natočení. [23, 25]



Obr. 31 Pravidlo pravé ruky a kartézský souřadný systém s osami rotace [23]

7 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI PRÁCE

V úvodní části teoretické části bylo probráno obrábění nástroji s definovanou geometrií, popis jednotlivých součástí, nástrojů a taktéž popis druhů třísek vznikajících při řezném procesu.

V následující části teoretické části byly popsány technologie soustružení, frézování, vrtání popřípadě jejich další druhy a modifikace. Druhy jako frézování a vrtání budou přímo použity k výrobě adaptačních přípravků, pomocí kterých je možno měřit řezné síly na klasickém soustruhu.

Následující část teoretické části se zabývá problematikou měření sil či momentů. V úplném závěru bylo popsáno číslicové řízení s nahlédnutím do historie, popisem CNC programu, bodů nacházejících se na stroji a taktéž popis souřadného systému stroje.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Praktická část bakalářské práce je věnována návrhu modelů, programování a také přímo postupu výroby adaptačního prvku sloužícího pro upínání do nožové hlavy a adaptačního prvku pro správné upevnění soustružnického nože. Bude zde tedy popsán rozsah použitelných nožů a měřicí dynamometr společně s použitým soustruhem pro následné odzkoušení. Dále budou rozebírány všechny vzniklé varianty modelů a jejich následná optimalizace a úpravy. Po finálním návrhu modelů bude následovat programování v systému NX a poté příprava polotovarů a výroba přímo na CNC stroji, kterým je vybavena školní dílna. Správně vyrobené součástky budou následně složeny do sestavy a bude provedeno zkušební měření přímo na soustružnickém stroji. Pro kontrolu bude provedena FEM analýza soustružnického nože. V závěru bude popsána provedená povrchová úprava, která nejen zlepší vlastnosti povrchu, ale taktéž trvanlivost a výsledný vzhled adaptačních prvků.

Pro zrealizování měřicího zařízení tedy bude nutné navrhnout a vyrobit tyto adaptační prvky:

- Přípravek pro upínání do nožové hlavy
- Přípravek pro upínání soustružnických nožů

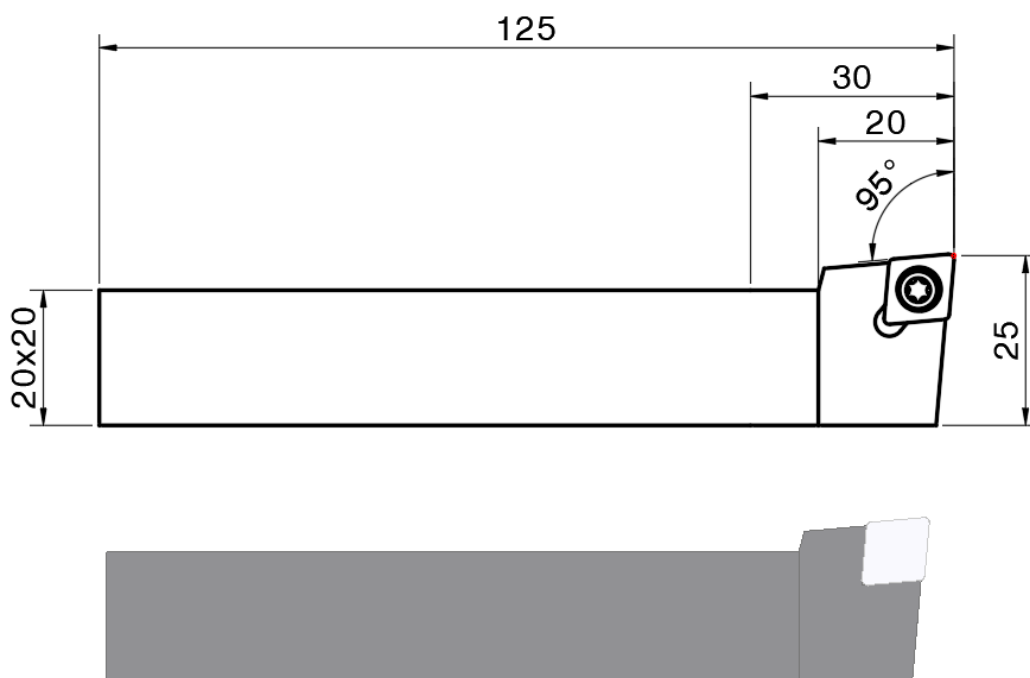
8.1 Adaptační prvky

Adaptační prvky, jenž první z nich bude sloužit pro uchycení nože a druhý pro uchycení do nožové hlavy jsou inspirovány vyhotovením od firmy Kistler. Zmíněný výrobce k měřicímu dynamometru dodává celkem 3 druhy adapterů pro upnutí ke stroji a dva adaptéry pro upevnění nástroje, ty jsou použitelné pouze pro jeden rozměr nožů. Bohužel všechny zmíněné druhy upínacích adaptérů byly konstruovány na moderní zařízení CNC, proto jejich upínací prvky jsou kompatibilní převážně s revolverovými zásobníky.

Bylo tedy nutné vymyslet jednak přípravek, jež bude možné upnout do klasické nožové hlavy, která se nachází na konvenčním soustruhu. Druhá součást, kterou bude nutné vymyslet je přípravek k upínání klasického soustružnického nože, jehož hlavní výhodou bude vyšší rozsah použitelných nožů oproti výrobci Kistler.

9 SOUSTRUŽNICKÉ NOŽE A DÍLČÍ PODKLADY

Soustružnický nůž bude tvořit v sestavě prvek, pomocí něhož bude odebírána tříška z materiálu, a taktéž na jeho řeznou část budou působit největší síly. Právě z tohoto důvodu budou v měřicí sestavě používány osvědčené nože s vyměnitelnými břitovými destičkami od výrobce Seco. Samozřejmostí je taktéž kompatibilita s noži od jiných výrobců. Zásadou propracovaného systému upínání bude možné upínat nože s velikostí upínacích částí v rozsahu od 14 x 14 mm po 20 x 20 mm. Použitelné budou pouze nože dle směru posuvu pravé.

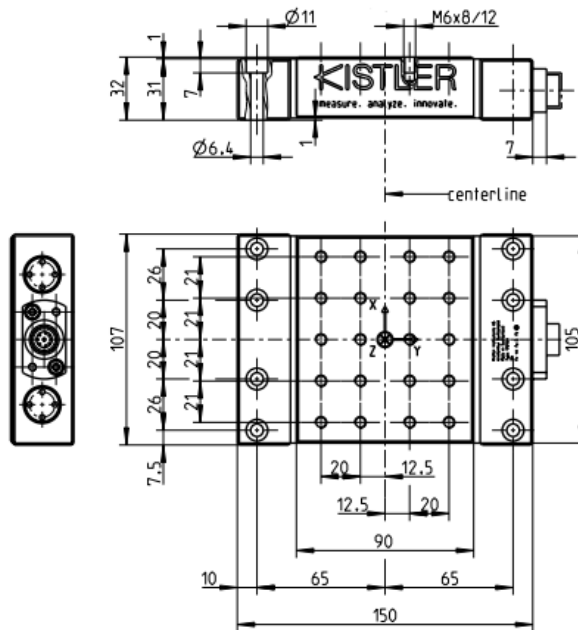


Obr. 32 Návrh a model použitého nože v sestavě [34]

9.1 Měřicí dynamometr

Pro měření sil je použit piezoelektrický dynamometr s typovým označením 9129AA od švýcarské společnosti Kistler. Jedná se o vícesložkový dynamometr pro měření až tří složek vektoru výsledné síly a tří složek vektoru výsledného momentu. Vyznačuje se minimalistickým designem, velkým měřicím rozsahem a malou teplotní chybou. Je vhodný pro řezné síly, ale taktéž i pro vícesložkové měření sil. [29]

Měřicí dynamometr je základním prvkem celé sestavy pro realizaci měření, bude z něj tedy vycházet většina rozměrů a roztečí děr. Návrh dynamometru je viditelný na obr. 33.

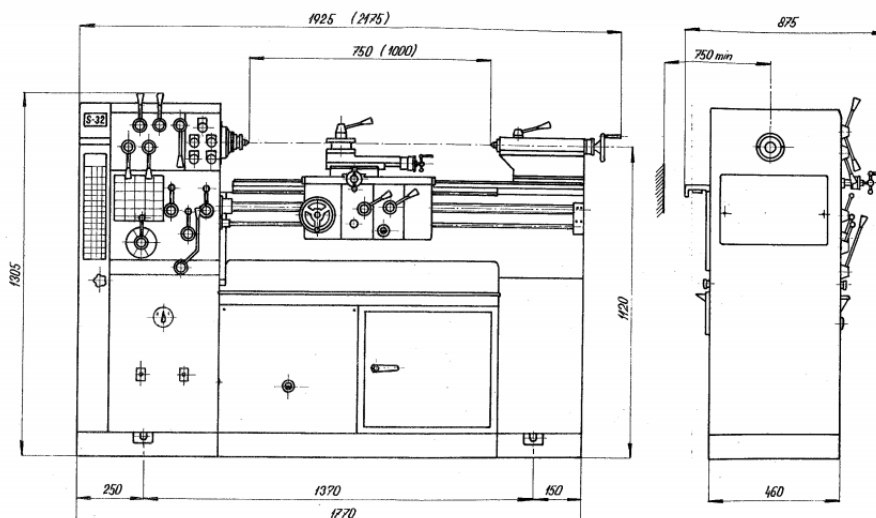


Obr. 33 Nákres okótovaného dynamometru [29]

9.2 Charakteristika univerzálního soustruhu

Celková sestava bude převážně upínána do nožové hlavy na soustruhu TOS S32 žebřák. Jedná se o univerzální konvekční soustruh z počátku 90. let minulého století. Soustruh disponuje pevnou konstrukcí a univerzálním použitím v oblasti soustružení, vrtání nebo řezání závitů.

Avšak celkovou sestavu lze teoreticky upínat do jakéhokoliv soustruhu vybaveného nožovou hlavou o potřebných rozměrech. Tudíž vzdálenost dna upínací drážky musí být minimálně 75 mm od nožových saní.



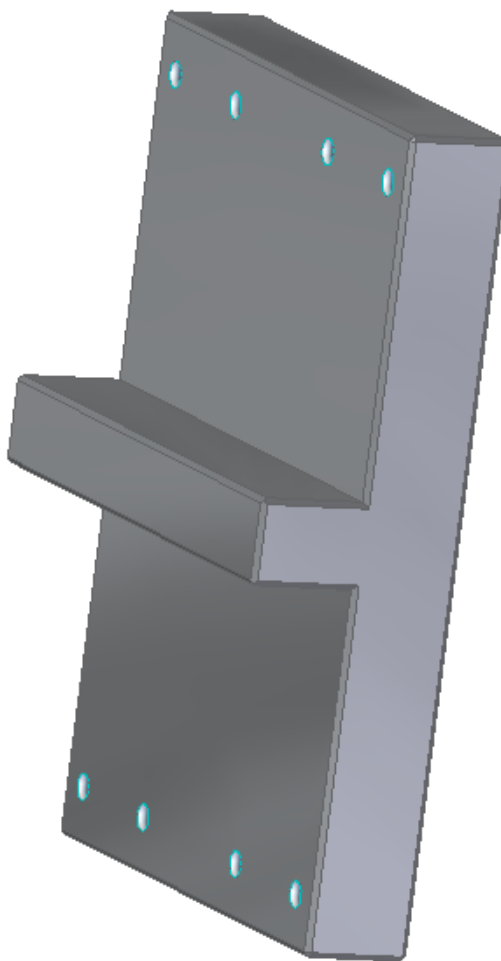
Obr. 34 Nákres soustruhu se základními rozměry [30]

10 NÁVRHY PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ DO NOŽOVÉ HLAVY

Přípravek, který bude sloužit k upínání do nožové hlavy, byl navrhnout celkem ve 2 verzích. Návrh modelu vznikal v prostředí Solid Edge. Vnější rozměry byly navrhnuty tak, aby obvodové rozměry byly shodné s dynamometrem. Důvod, proč byly takto právě tyto rozměry navrhnuty, je převážně estetický. Větší nebo menší rozměry by totiž způsobovaly nehezky schodek mezi dynamometrem a upínacím přípravkem.

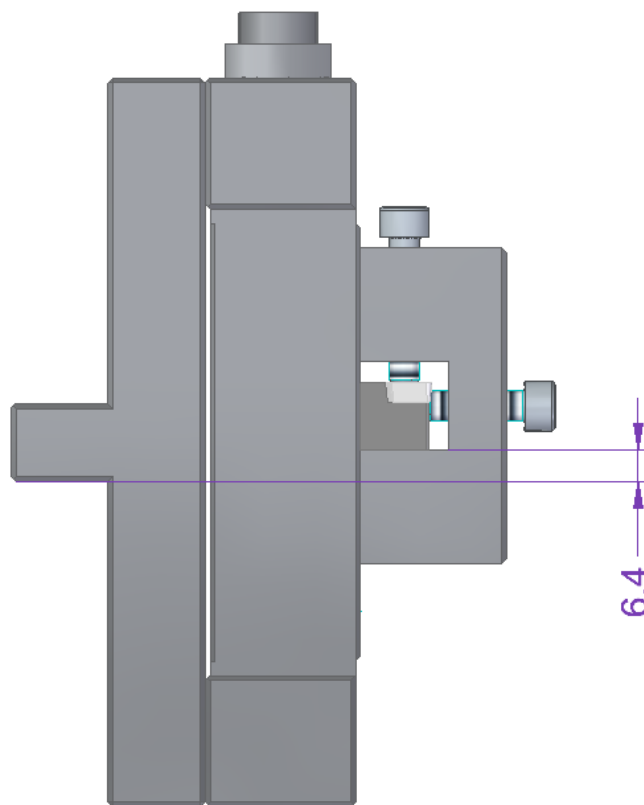
V první verzi, viz obr. 35 níže je patrné, že vystouplý upínací prvek hranolovitého tvaru, pomocí kterého bude probíhat upínání, je umístěn přímo ve středu desky.

Na upínacím přípravku se dále nachází celkem 8 děr se závitem M6, umístění děr odpovídá velikosti a rozteči průchozích děr na dynamometru, aby bylo možné přesné spojení pomocí šroubů.



Obr. 35 První verze přípravku na upínání do nožové hlavy

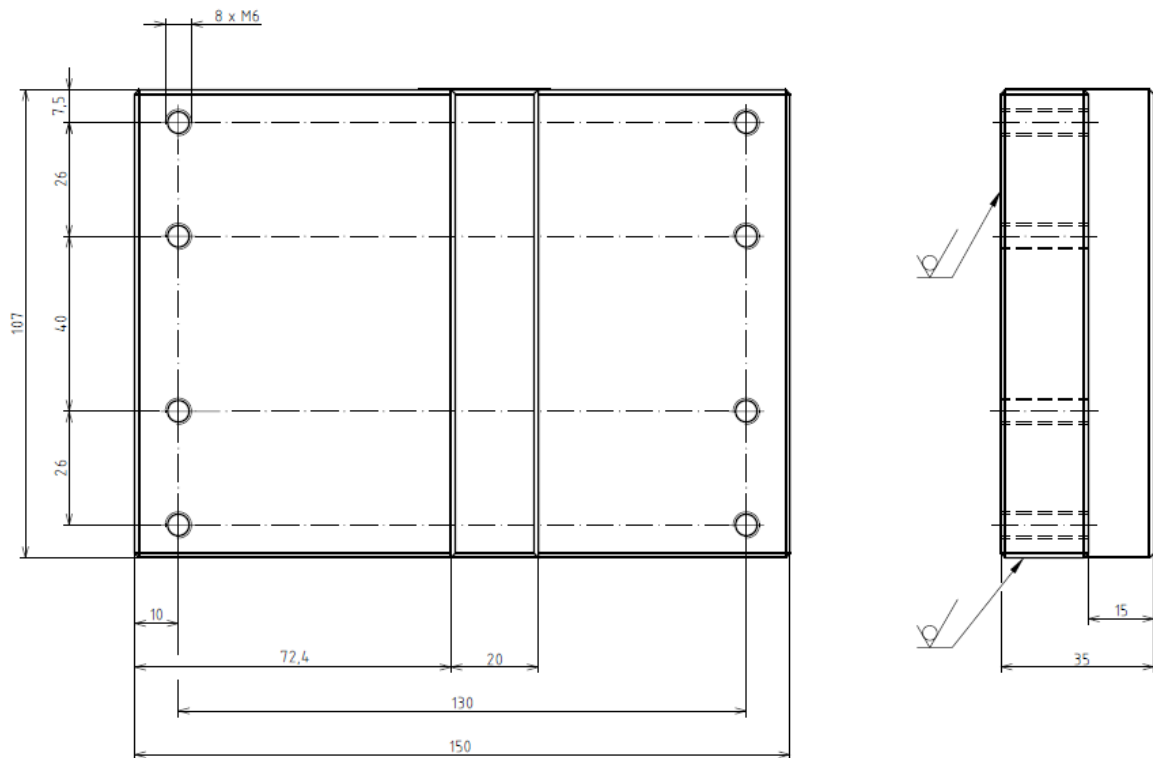
Nicméně až po složení celé sestavy byl patrný problém mezi prvním návrhem přípravku pro upínání do nožové hlavy a přípravkem pro upínání nožů, jehož pozice je fixně daná kvůli pozici závitů na dynamometru. Nepřesnost se týká rozdílné úrovně mezi dnem drážky pro nůž a spodní stranou upínacího elementu. Zmíněný problém by způsoboval to, že nůž by šel obtížně umístit do osy rotačního obrobku. Tato chyba by byla v praxi velmi špatně opravitelná i v případě podložení nástroje podkládacími plíšky, by se stále musel připočítávat tento rozdíl, což by bylo nepraktické. Taktéž se musí uvažovat s tím, že bude možné upínání rozdílných rozměrů upínací části nože. Znázornění rozdílné výšky ploch je na obr. 36 níže.



Obr. 36 Znázornění rozdílu mezi spodními plochami

10.1 Finální varianta přípravku na upínání do nožové hlavy

Po zjištění zmíněné nepřesnosti ploch byl navrhnout druhý přípravek, na němž byl upínací element přesunut do vzdálenosti takové, aby spodní plocha drážky byla ve stejné úrovni s plochou, na kterou se bude umisťovat soustružnický nůž. Tato změna má za následek to, že se bude soustružnický nůž snadněji dorovnávat do osy obrobku a nebude nastávat dříve zmíněný rozdíl. Ještě byla provedena mírná úprava rozměrů upínacího elementu tak, aby lépe vyhovoval rozměru nožové hlavy, do které bude upínán. Nákres adaptačního přípravku je viditelný na obr. 37.



Obr. 37 Nákres druhé verze adaptačního přípravku s již správnými rozměry

Po předchozích úpravách bylo tedy samozřejmě rozumnější zvolit variantu číslo 2, podle které se vyrobí finální prvek na upnutí do svěráku, respektive do nožové hlavy.

Celkový výkres této součástky je umístěn v příloze PŘÍLOHA PI.

11 NÁVRHY PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ NOŽŮ

Přípravek, který slouží k upínání soustružnických nožů, byl taktéž navrhnout ve 2 verzích v 3D prostředí programu Solid Edge. Rozměry přípravku byly voleny tím způsobem, aby rozteče děr seděly na závity umístěné v dynamometru. Šířkový rozměr přípravku byl navolen podle stejného rozměru jako dynamometr a tvořil jedolitou plochu. Výškový rozměr přípravku byl zvolen s ohledem na rozteče šroubů. Tloušťka přípravku byla navolena s ohledem na velikost upínací drážky pro nože. První návrh vznikl již dříve a byl uzpůsoben pro uložení spíše menších soustružnických nožů v rozměru upínací stopky od 12 x 12 mm po 18 x 18 mm. Tyto nože by se vkládali do drážky o hodnotu 0,2 mm větší pro snadné vkládání.

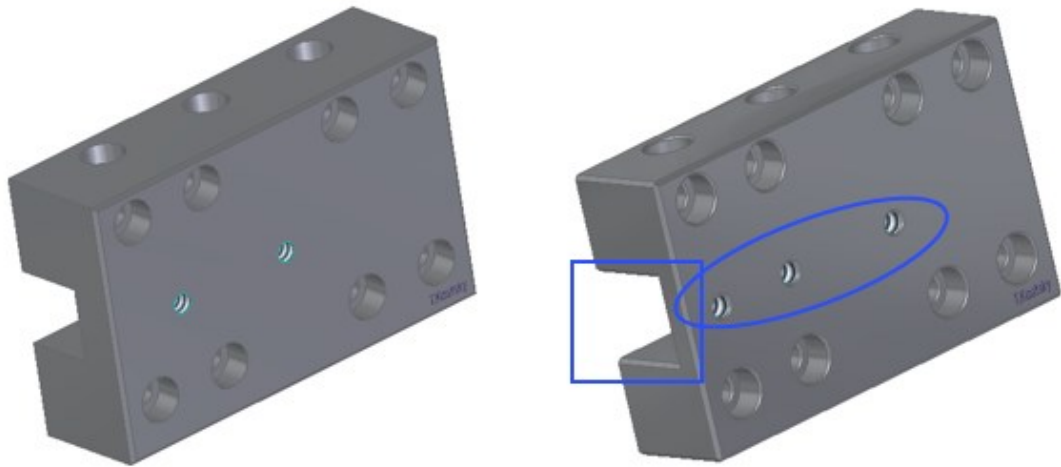
Na čelní straně přípravku se nachází 8 volně průchozích děr o \varnothing 6,6 mm s válcovým zahloubením, které slouží k pevnému spojení s dynamometrem díky šroubům. Dále jsou z vrchní strany 3 závitové díry M6 taktéž s válcovým zahloubením pro hlavu, jejichž účel je pevné přitlačení nástroje ke spodní ploše drážky a co nejlepší zafixování. Na přední straně přípravku jsou umístěny 2 díry se závitem M6, které slouží k zamezení pohybu nože při obrábění v podélném směru. Uvedené díry a závity na čelní straně byly zvoleny s ohledem na rozměry a rozteče závitových děr v dynamometru.

11.1 Finální varianta přípravku pro upínání nožů

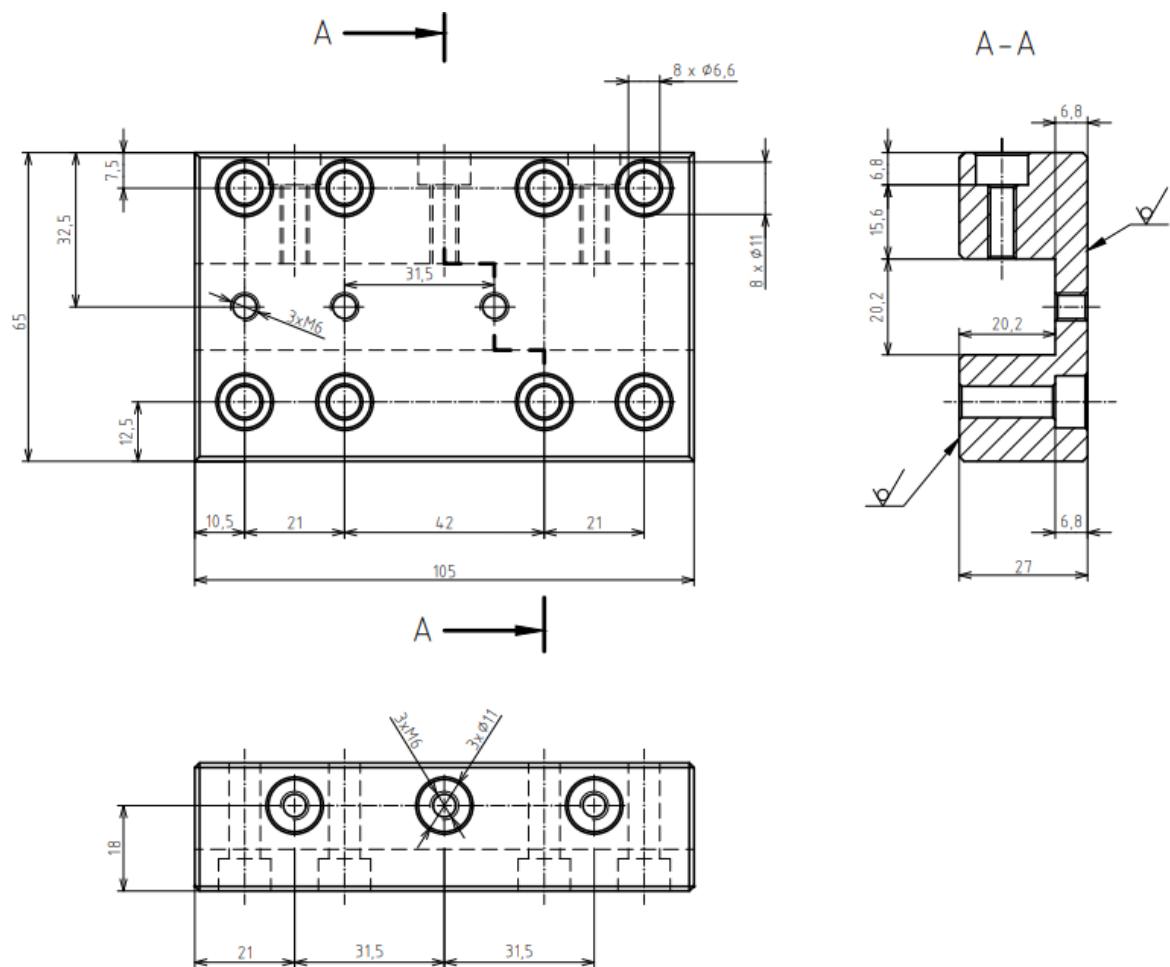
Naopak druhý návrh vznikl na základě prozkoumání školní dílny, kde nejčastější velikost nožů odpovídala 15 x 15 mm nebo 20 x 20 mm. Z tohoto důvodu byla drážka, nacházející se přímo ve středu obrobku zvětšena na takovou hodnotu, aby se do ní s vůlí vešel soustružnický nůž o maximální velikosti stopky 20 x 20 mm. Následkem zvětšení bylo ještě vhodné přidat jednu závitovou díru z čelní strany, která pomocí šroubu zajistí ještě pevnější upnutí nože. Nejmenší nůž, který je možné upnout do aktualizované varianty má velikost upínací části 14 x 14 mm. Rozsah nožů, které lze upínat do drážky je limitovaný proto, aby bylo zajištěno upnutí co nejbližší středu upínací plochy a nůž držel v drážce co nejpevněji.

Úprava předělaného modelu se taktéž týkala posunutí upínacích děr na přední straně obrobku. Důvod, proč byly právě tyto díry posunuty, je ten, že horní šrouby byly ve stejné rovině a při nižším rozměru nožů by mohlo dojít ke kolizi šroubů. Došlo tedy k přesunutí závitových děr tak, aby už neležely ve stejné rovině jako horní závity. Teoreticky lze zásluhou této úpravy nyní upínat nástroje i o velikosti 12 x 12 mm, což ale nedoporučuji.

Důvod, kvůli kterému to není vhodné je jednoduchý, mohlo by dojít k naklonění nože, protože by šrouby dosedaly téměř na jeho hranu.



Obr. 38 Porovnání modelů s naznačením změn, první verze (vlevo), druhá verze (vpravo)



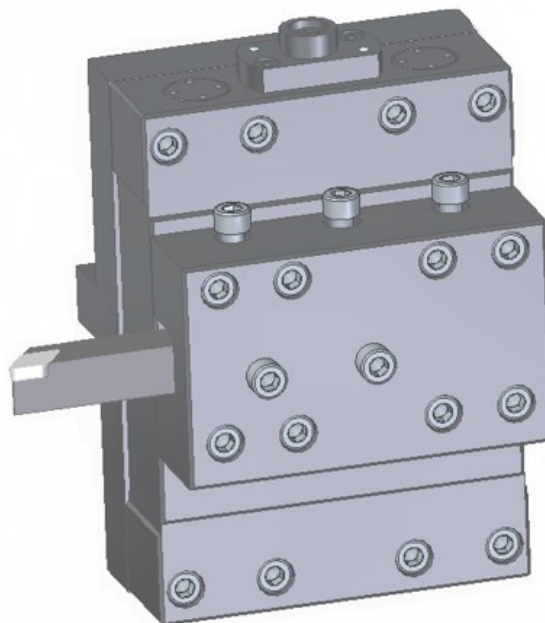
Obr. 39 Finální náčrtek přípravku pro upínání nožů

Celkový výkres této součástky je umístěn v příloze PŘÍLOHA P II.

12 ADAPTAČNÍ PŘÍPRAVKY SLOŽENY DO NÁVRHU SESTAVY

Prvotní návrh sestavy je znázorněn na obr. 40 níže. Je patrné, že sestava se skládá z tří hlavních prvků, dynamometru, přípravku pro upínání do nožové hlavy a přípravku pro upínání soustružnických nožů. Zmíněné prvky jsou spojeny šrouby ČSN EN ISO 4762 o rozměru M6 s klasickým stoupáním 1 mm a jsou použity v různých délkových variantách. Jiný rozměr šroubů nemohl být použit, protože vychází z rozměrů závitů nacházejících se na dynamometru.

V prvním návrhu bylo uvažováno, že do sestavy bude možné pomocí drážky upínat nože o maximální velikosti upínací části 18 x 18 mm. Teoretická maximální délka nožů není ničím limitována, avšak z důvodu možného překážení při samotném obrábění je žádoucí upínat nože o maximální délce části pro upnutí 150 mm. Uvažuje se samozřejmě, že nůž bude částečně předsazen, tedy v drážce se bude nacházet asi $\frac{3}{4}$ délky nože. Délkové omezení ovšem v praxi postihne pouze malou část použitých nožů, protože při těchto malých rozměrech nožové stopky jsou nože nejvíce vyráběny okolo délky 100 mm. Naproti tomu minimální možný rozměr upínací stopky je 12 x 12 mm, podrobnější vysvětlení proč právě tyto rozměry, bylo popsáno v samotném odstavci věnovanému přípravku na upínání nástrojů.



Obr. 40 Ukázka prvního konstrukčního návrhu sestavy pro měření sil

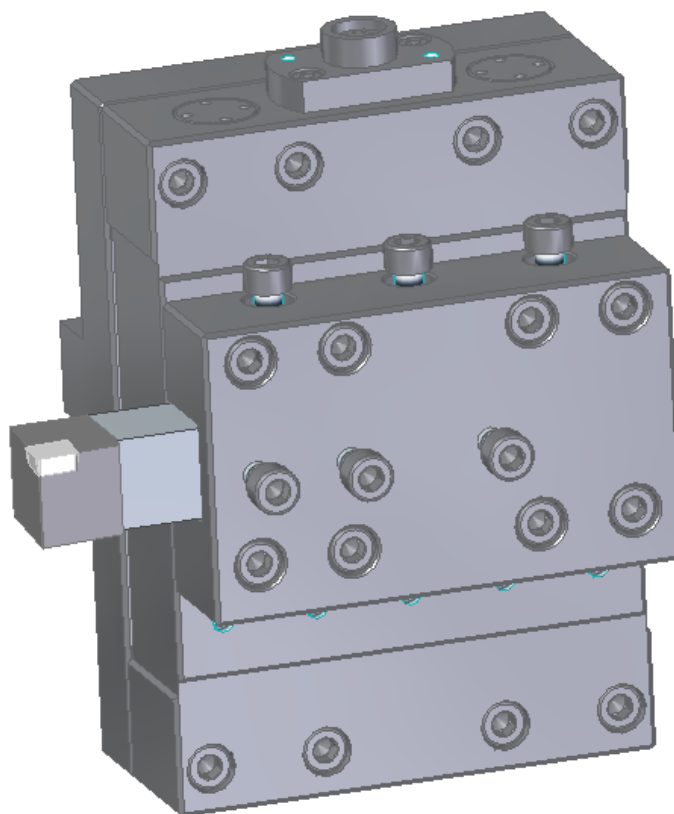
12.1 Druhá varianta celkové sestavy

Druhá varianta modelu sestavy vychází z optimalizovaných adaptačních prvků. Tudiž z finální varianty přípravku pro upínání do nožové hlavy a finální varianty přípravku pro upínání nožů.

Celkové spojení jednotlivých prvků je taktéž realizováno šrouby M6. Jiné velikosti šroubů než tyto nelze použít vzhledem k již vyrobeným závitům na dynamometru, do kterých tyto šrouby budou montovány.

Nejvýraznější změny oproti prvotnímu návrhu sestavy:

- Rozšířená drážka na přípravku pro upínání nožů, rozsah použitelných nožů je po úpravě od 14 x 14 mm po rozměr 20 x 20 mm
- U přípravku na upínání nožů byl přidán jeden upínací otvor a původní dva byly posunuty do vhodnější pozice
- Změna velikosti a posunutí pozice upínacího elementu na přípravku pro upínání do nožové hlavy



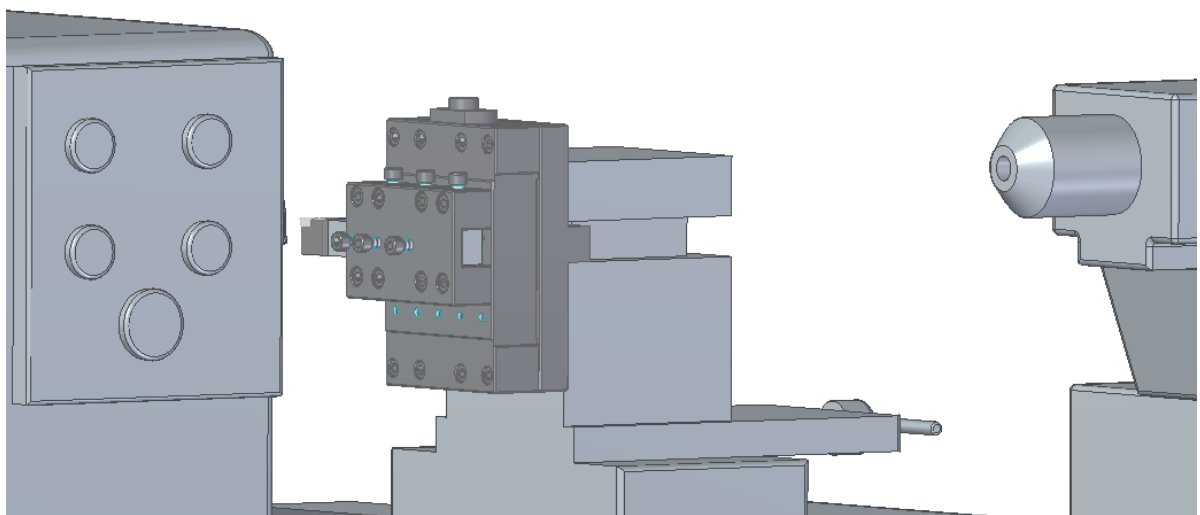
Obr. 41 Druhá varianta celkové sestavy s nožem 20 x 20 mm

13 VÝBĚR FINÁLNÍ VARIANTY A PEVNOSTNÍ KONROLA

Jakožto rozumnější bylo samozřejmě lepší přistoupit k druhému návrhu sestavy, který je optimalizovaný pro používanější škálu nástrojů, a taktéž je zde spodní plocha upínacího elementu rovnoběžná s funkční plochou dna drážky a nedochází k rozdílu. Dále jsou v této variantě ještě optimalizovány pozice závitových děr, což zajistí rovnoměrnější upnutí těla nože.

Finální návrh sestavy je viditelný na obrázku 42, na kterém je celá sestava vložena v mírně zjednodušeném modelu soustruhu.

Kompletní výkres sestavy je vložen do PŘÍLOHY P III, samotný kusovník poté do PŘÍLOHY P IV.



Obr. 42 Zobrazení finální sestavy vložené do modelu soustruhu

13.1 Pevnostní kontrola

Před samotnou výrobou je vhodné celkovou sestavu překontrolovat pevnostně. Je očividné, že vzhledem k pozici nože budou nejvíce namáhány šrouby, kterými je přichycen přípravek na upínání nožů. Proto právě na nich bude provedena pevnostní kontrola šroubů na tah a taktéž na otláčení. Materiál šroubů odpovídá oceli ČSN 11 600.

Výpočet maximální síly z namáhání v tahu, která může působit na šrouby M6.

Znamé hodnoty: $\sigma_{dt} = 110$ MPa, počet šroubů 8, $A_s = 20,1$ mm

$$\sigma_s = \frac{F_{max}}{A_s} \leq \sigma_{dt}$$

$$F_{max} \leq A_s \cdot \sigma_{dt}$$

$$F_{max} \leq 8 \cdot A_s \cdot \sigma_{dt}$$

$$F_{max} \leq 8 \cdot 20,1 \cdot 110$$

$$F_{max} \leq 17\,688\text{ N}$$

Výpočet maximální síly, aby nedošlo k otláčení závitů u šroubů M6.

Znamé hodnoty: $p_d = 110$ MPa, počet činných závitů = 9, $d_2 = 5,35$ mm

$$p = \frac{F_{max}}{S} \leq p_d$$

$$F_{max} \leq S \cdot p_d$$

$$F_{max} \leq \pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot i \cdot p_d$$

$$F_{max} \leq \pi \cdot 5,35 \cdot 0,541 \cdot 9 \cdot 110$$

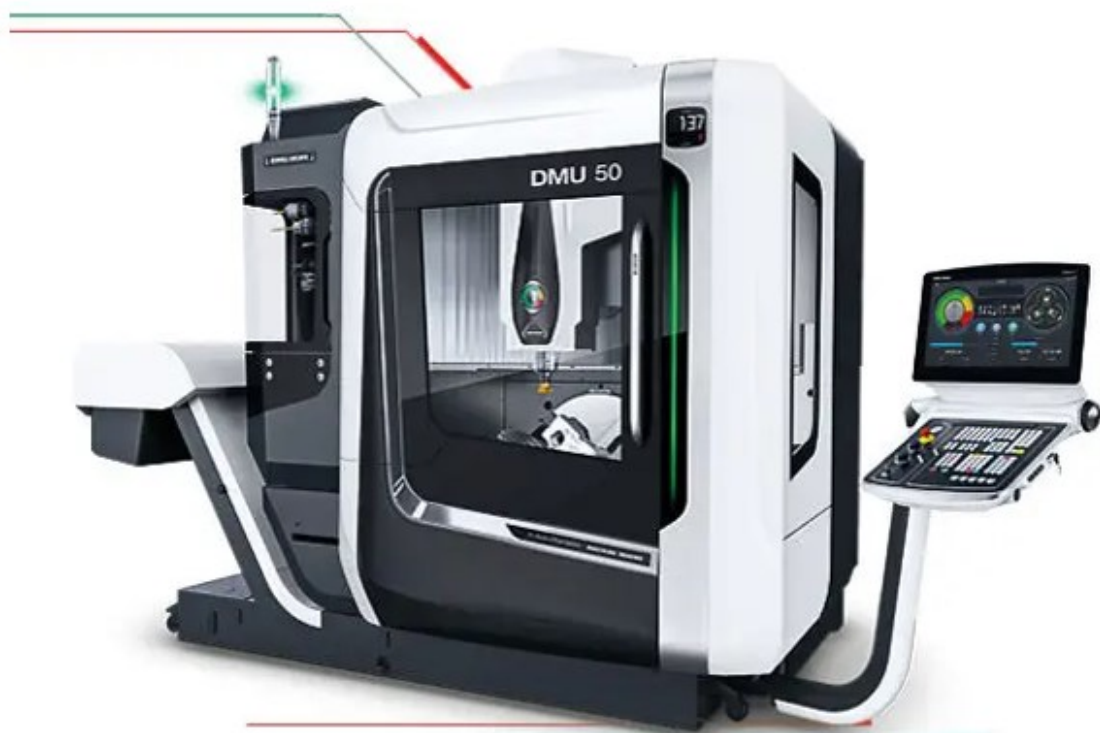
$$F_{max} \leq 9\,001\text{ N}$$

Z vypočtených hodnot je zřejmé, že síla, která může působit na šrouby v tahu musí být menší než 17 688N. Naopak maximální síla, která je přípustná, aby nezpůsobila otláčení závitů, odpovídá hodnotě 9 001 N.

Dle výsledků můžeme jednoznačně říci, že celá sestava je dostatečně naddimenzovaná. Tedy maximální přípustná síla, při které by mohlo dojít k otláčení závitů u šroubů, odpovídá zhruba hodnotě 9 001 N. Tato síla je opravdu velká a mnohem dříve, než by došlo k otláčení závitů, tak by došlo například k ulomení břitové destičky nebo při nedostatečně pevném upnutí i k posunutí celé sestavy v drážce u nožové hlavy.

14 VÝROBA NA CNC OBRÁBĚCÍM CENTRU DMU 50

Samotná výroba daných přípravků nutných pro sestavení sestavy probíhala na univerzálním frézovacím centru od značky DMG MORI. Konkrétně se jedná o třetí generaci stroje s označením DMU 50. Tato řada strojů má již přes 20 let dlouhou tradici a současná generace splňuje požadavky pro pětiosé obrábění. Záslouhou modernizace a osazení rotačního naklápěcího stolu stroj splňuje stále zvyšující se normy a požadavky. Důraz pro urychlení a zpřesnění strojírenské výroby je dosahován například rychloposuvem až 42 m/min nebo také urychlením výrobních cyklů díky propracovanému systému chlazení. Ovládání je prováděno přes moderní 21,5 " obrazovku, která je spojena s ovládacím panelem. Řídicí systém, na kterém běží stroj je od firmy Sinumerik, přesněji jde o verzi Sinumerik 840D sl / CELOS. Maximální počet pozic v zásobníku je 30 až 120 v závislosti na zvoleném druhu. [31]



Max. pojezd v ose X: 500 mm
Max. pojezd v ose Y: 450 mm
Max. pojezd v ose Z: 400 mm
Max. zatížení stolu: 300 kg
Průměr stolu: 630 mm

Obr. 43 CNC frézka DMU 50 a její základní parametry [31]

14.1 Programovací prostředí

Programování součástí probíhalo v programovacím prostředí programu NX, konkrétněji v modulu pro obrábění. Modul pro obrábění poskytuje kompletní sadu funkcí programování numerického řízení (NC) v jednom CAM systému. Pokročilé úpravy modelů, návrh nástrojů a přípravků nebo programování dílů jsou velmi přívětivé a umožňují rychlé a snadné změny. Programování je plně automatické a oproti běžnému zadávání informací do bloku dokáže ušetřit celkový čas až o 90%. Kromě obrábění je modul uzpůsoben rovněž pro řízení robotů, programování tisku u 3D tiskáren nebo také monitorování kvality hotových výrobků. [32]

14.2 Volba polotovarů

Samotná volba polotovarů byla zprvu velkou neznámou, avšak po konzultaci s doc. Bílkem padlo rozhodnutí na polotovary, které jsou obráběné s již zaručenými geometrickými tolerancemi a drsností. Vybrány byly normalizované polotovary od rakouského výrobce Meusburger, přesněji P – desky, které se používají například pro výrobu vstřikovacích forem. Daný typ desek byl vybrán, protože u něj výrobce zaručuje optimální drsnost povrchu, rovinnost a kolmost ploch. Těchto tolerancí se využilo k tomu, že dosedací plochy budou již předem rovnoběžné a nebude nutné je tedy následně obrábět. Po hledání a porovnávání vhodného materiálu pro polotovary byla zvolena ocel 1.2085 (X33CrS16). Zmíněná zušlechťená antikorozi martenzitická chromová ocel se vyznačuje vlastnostmi, jako jsou velmi dobrá obrobiteľnosť díky obsahu síry, vysokou pevností v tahu R_m až okolo 1050 MPa, výbornou odolností proti korozi zásluhou chromu, rozměrovou přesností, odolností proti opotřebení a dobrou stálostí proti mechanickému poškození. Využití zmíněné oceli je převážně pro držáky nebo rámy vstřikovacích forem, taktéž ji lze použít v potravinářském průmyslu nebo u procesu zpracování chemicky agresivních hmot. Je taktéž vhodná do prostředí s dlouhodobě vysokou vlhkostí. Pro přípravek sloužící k upnutí do nožové hlavy byl vybrán polotovar zmíněné oceli o velikostech 156 x 156 x 46 mm. Naproti tomu pro přípravek, který slouží k upnutí nástroje, byl zvolen rozměr polotovaru 126 x 126 x 27 mm. Oba polotovary jsou vyrobeny dle normy DIN 16760.

15 VÝROBA PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ DO NOŽOVÉ HLAVY

Jak již bylo zmíněno dříve, samotná výroba probíhala na moderní CNC frézce od značky MDG MORI. Upínání materiálu bylo zajištěno pomocí svěráku Lang. Tento svěrák zajišťoval velmi pevné upnutí mezi dvojité vedené čelisti. Přesnost vystředění u tohoto svěráku činí $\pm 0,02$ mm. Tělo svěráku bylo připevněno k pracovnímu stolu pomocí upínek.

15.1 Příprava polotovaru

Před započatím samotné výroby bylo nutné zakoupený polotovar nařezat na přijatelnější rozměry, protože polotovar byl zbytečně velký a v bližších rozměrech se bohužel nevyrobí. Dělení polotovaru probíhalo na pásové pile Proma, základní informace o této pásové pile jsou zpracovány v tabulce 4. Materiál byl dělen s přídavkem na obvodových stranách 1 cm. Při procesu dělení materiálu byl pilový pás chlazen chladicí kapalinou nanášenou ručně za pomoci štětečku.

Tab. 4 Parametry pásové pily [33]

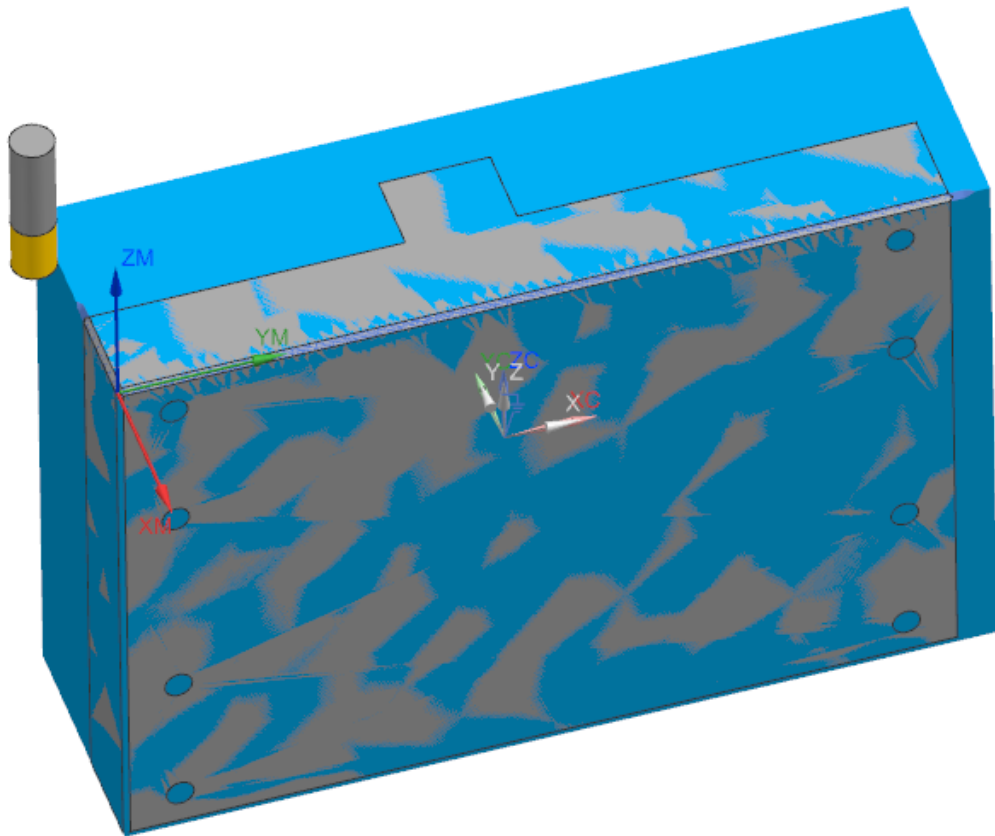
Rok výroby	2004
Rychlost pilového pásu	22 / 33 / 45/ 65 m/min
Rozměr pásu	20 x 0,9 x 2360 mm
Max. prořez při 90°	180 x 280 mm
Max. prořez při 45°	180 x 110 mm
Příkon	750 W
Krytí motoru	IP 54
Hmotnost	130 kg
Napětí	3 / N / PE 400 V AC 50 Hz



Obr. 44 Pásový pila Proma [33]

15.2 První upnutí: frézování řezané plochy

První nejvhodnější operace po samotném procesu řezání bylo zarovnání strany, která byla právě řezána. Pilový pás zanechal na materiálu strukturu řezu, právě proto byla tato plocha frézována na konečný rozměr šířky 107 mm. Odebírání materiálu probíhalo pomocí funkce „frézování dna bez stěny“. Proces byl rozdělen do dvou částí nejdříve hrubování s přídavkem na plochu 0,3 mm. Po hrubování následovala dokončovací operace, která měla nižší řezné podmínky, aby byla zajištěna pokud možno co nejlepší kvalita povrchu. Na závěr po dokončovací operaci byly taktéž sraženy dvě hrany velikostí 1 x 45. Provedené operace je možno vidět na obrázku 45. Seznam použitých nástrojů a jejich řezné podmínky je uveden v tab. 5 a 6.



Obr. 45 Znárodnění frézování na potřebnou šířku obrobku

Tab. 5 Použité nástroje u prvního upnutí upínacího přípravku [34]

Název nástroje:	Fréza VBD - FHS D20 L35 R2	Fréza úkosová - FM HRANA D8 L0.7
Název u výrobce Seco	R217.69-2020.0-10-2A	JS509080N2CZ4.0-SIRA
(D) Průměr	20 mm	8 mm
(L) Délka	150 mm	63 mm
(A) Vrcholový úhel	-	90°
Počet břitů	2	4
(LF) Funkční délka	35 mm	3,2 mm
(R1) Spodní rádius	2 mm	-

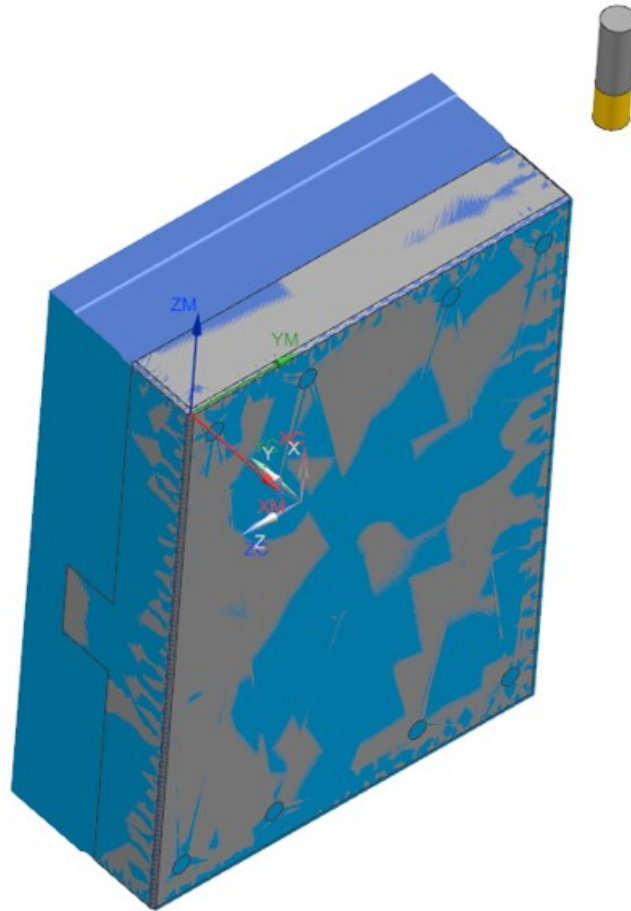
Tab. 6 Řezné podmínky u prvního upnutí upínacího přípravku [34]

Nástroj	Řezné podmínky fréza VBD		Fréza úkosová
	Hrubování	Dokončování	Sražení 1 x 45°
Operace			
Posuv na zub	$f_z = 0,5115$ mm	$f_z = 0,1$ mm	$f_z = 0,0068$ mm
Řezná rychlost	$v_c = 130$ m /min	$v_c = 130$ m /min	$v_c = 40$ m /min
Posuvová rychlost	$v_f = 3175$ mm/min	$v_f = 620,7$ mm/min	$v_f = 43,387$ mm/min
Hloubka řezu	$a_p = 0,6$ mm	$a_p = 0,3$ mm	$a_p = 1$ mm
Otáčky	$n = 2069$ min ⁻¹	$n = 2069$ min ⁻¹	$n = 1592$ min ⁻¹

15.3 Druhé upnutí: frézování na konečnou výšku přípravku

V této operaci byla frézována spodní plocha polotovaru na konečnou výšku, která činí 150 mm. Jak tomu bylo již v předchozí operaci, tak i zde bylo frézování rozděleno na hrubovací a dokončovací operaci. Příklad u hrubovací operace činil 0,3 mm. Tento přírůstek byl odebrán v dokončovací operaci při zadání nižších řezných podmínek, než tomu bylo u hrubování. Na závěr proběhlo taktéž zkosení hran 1 x 45° úkosovou frézou.

Řezné podmínky a nástroje pro toto upnutí jsou totožné s prvním upnutím, viz tab. 5 a 6 výše. Znázornění všech provedených operací u tohoto upnutí je možno vidět na obr. 46.

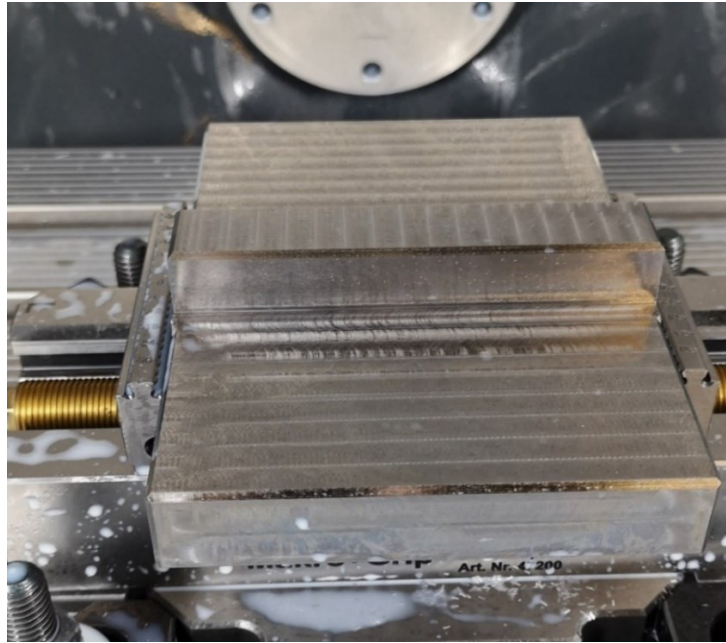


Obr. 46 Frézování přípravku na požadovanou výšku

15.4 Třetí upnutí: frézování tloušťky a prvku na upnutí

Při tomto upnutí byla frézována tloušťka plochy přípravku na konečných 20 mm, na této ploše se taktéž nachází upínací element, jehož výška je 35 mm. Operace použitá v tomto kroku se nazývá „frézování dutin“. Obrábění na konečnou hodnotu přípravku probíhalo jen v jednom kroku, v poslední fázi odebrání třísky byla pouze snížena posuvová rychlost přímo na CNC stroji, aby byla zajištěna ještě vyšší kvalita výsledného povrchu. Po frézování plochy na požadovaný rozměr bylo dále nutné začistit boční plochy okolo upínacího prvku, protože se na nástroji nachází radius, který právě na těchto stěnách zanechal drobné neobrobené plochy. Pro začistění těchto ploch na požadovaný rozměr byla použita metoda frézování nazvaná v NX „profil v z – rovinách“. Nakonec bylo ještě frézováno zkosení na všech obvodových plochách o velikosti $1 \times 45^\circ$ viz obrázek 47.

Informace o použitém druhu fréz a jejich řezné podmínky při obrábění jsou viditelné v příslušných tabulkách 7 a 8. Zkratka PUNH v názvu tabulky znamená přípravek na upínání do nožové hlavy.



Obr. 47 Frézování na požadované rozměry společně s upínacím elementem

Tab. 7 Použité nástroje třetí upnutí PUNH [34]

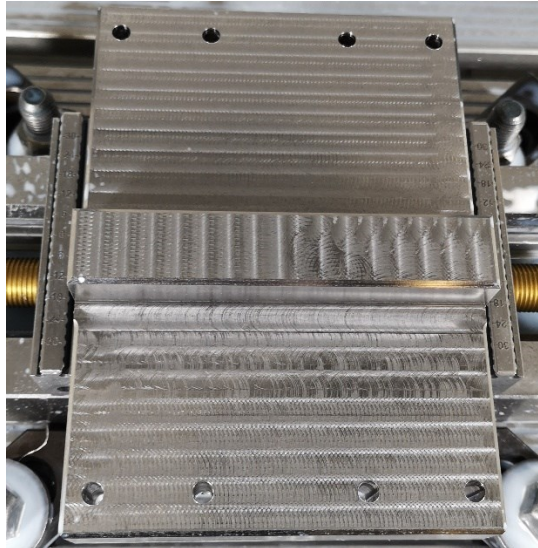
Název:	Fréza VBD - FHS_D20_L35_R2	Fréza - FM_D8_L18_R0	Fréza úkosová - FM_HRANA_D8_L0.7
Název - Seco	R217.69-2020.0-10-2A	JS565080D2C.0Z5C-NXT	JS509080N2CZ4.0-SIRA
(D) Průměr	20 mm	8 mm	8 mm
(L) Délka	150 mm	63mm	63 mm
(A) Vrcholový úhel	-	-	90 °
Počet břitů	2	5	4
(LF) Funkční délka	35 mm	20 mm	3,2 mm
(R1) Spodní radius	2 mm	-	-

Tab. 8 Použité řezné podmínky nástrojů třetí upnutí PUNH [34]

Nástroj	Fréza VBD	Monolitní fréza	Fréza úkosová
Operace	Hrubování	Stěny	Sražení 1 x 45°
Posuv na zub	$f_z = 0,5115$ mm	$f_z = 0,095$ mm	$f_z = 0,0068$ mm
Řezná rychlost	$v_c = 130$ m/min	$v_c = 145$ m/min	$v_c = 40$ m/min
Posuvová rychlost	$v_f = 3175$ mm/min	$v_f = 1096$ mm/min	$v_f = 43,387$ mm/min
Hloubka řezu	$a_p = 0,6$ mm	$a_p = 0,5$ mm	$a_p = 1$ mm
Otáčky	$n = 2069$ min ⁻¹	$n = 5769$ min ⁻¹	$n = 1592$ min ⁻¹

15.5 Třetí upnutí: Vrtání děr

Po obrobení všech ploch na přípravku pro upínání do nožové hlavy následovalo vrtání otvorů. Vrtání děr probíhalo ve stejné poloze, jako tomu bylo u třetího upnutí. Díry byly provedeny funkcí „vrtání“ vrtákem o průměru 5 mm. Informace o vrtáku a jeho řezné podmínky jsou zobrazeny v tabulkách 9 a 10.



Obr. 48 Vrtání děr

Tab. 9 Použitý nástroj pro vrtání PUNH [34]

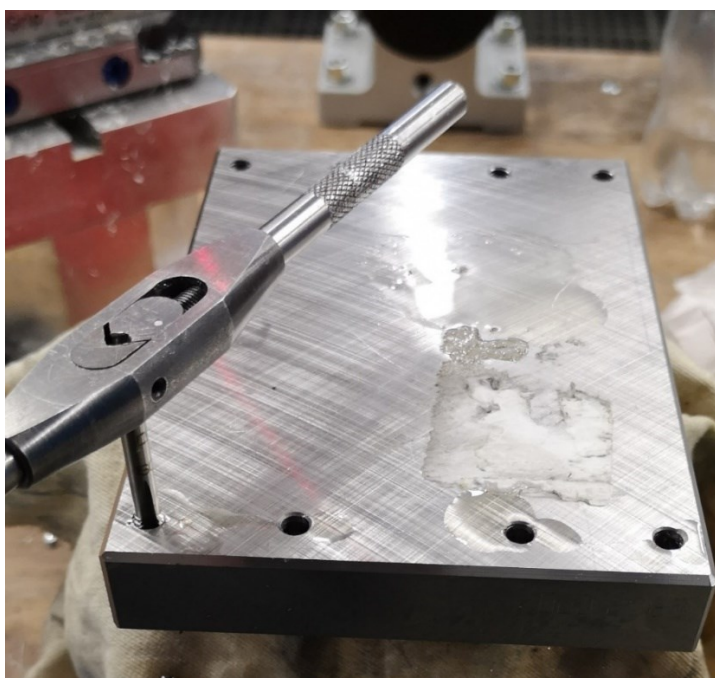
Název:	Vrták - V1_D5_35
Název - Seco	SD1105A-0500-035-06R1
(D) Průměr	5 mm
(L) Délka	82 mm
(A) Vrcholový úhel	140 °
Počet břitů	2
(LF) Funkční délka	35 mm
(R1) Spodní rádius	-

Tab. 10 Řezné podmínky vrtáku v operaci vrtání děr [34]

Řezné podmínky	Vrták
Operace	Díry ø 5 mm
Posuv na zub	$f_z = 0,486$ mm
Řezná rychlost	$v_c = 46$ m/min
Posuvová rychlost	$v_f = 285$ mm/min
Hloubka řezu	$a_p = 20$ mm
Otáčky	$n = 2928$ min ⁻¹

15.6 Řezání závitů u vrtaných děr

Jak již bylo zmíněno v úvodu, díry u přípravku na upnutí do nožové hlavy slouží ke spojení s dynamometrem. Ke spojení nebudou složit pouze díry, ale závit M6, které právě v tomto kroku jsou do nich vyřezány. Tyto závit byly řezány ručně pomocí ručních závitníků a vratidla. Důvod, proč byly vyráběny ruční metodou, je špatná předchozí zkušenost s řezáním závitů na CNC, kde docházelo k lámání závitníků. Při procesu řezání bylo použito mazivo ke snížení tření a tím zaručena delší životnost závitníků. Specifikace o použité sadě závitníku jsou uvedeny v tabulce 11.



Obr. 49 Ruční řezání závitů

Tab. 11 Parametry použité sady závitníků [35]

Závitník M6 x 1 - sadový	
Průměr (D)	6 mm
Stoupání (P)	1 mm
Výrobce	Narex
Celková délka (L)	54 mm
Materiál	Nástrojová ocel
Vrcholový úhel	60 °
Norma	ČSN 22 3010
Počet kusů	3

16 VÝROBA PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ NOŽŮ

Opakovaně jako předchozí přípravek byl i tento adaptační prvek vyráběn na moderní CNC frézce. K upínání byl taktéž použit svěrák od výrobce Lang. Hlavním rozdílem oproti předcházejícímu přípravku byla výroba na vyšší počet upnutí, bylo tedy nutné vždy pečlivě zkontrolovat umístění a správně nastavit nulové body obrobku, aby nedošlo k posunutí například drážky, což by výrobek znehodnotilo.

16.1 Příprava polotovaru

Polotovar byl stejně jako tomu bylo u minulého přípravku zkracován na menší rozměry, aby nebylo nutné odebírat velké množství materiálu frézováním. Zkracování probíhalo taktéž na pásové pile s přidavkem cca 1 cm na obvodových stranách. Informace o použité pile jsou uvedeny v tabulce 4 na straně 66. Proces samotného dělení je možno vidět na obrázku 50.

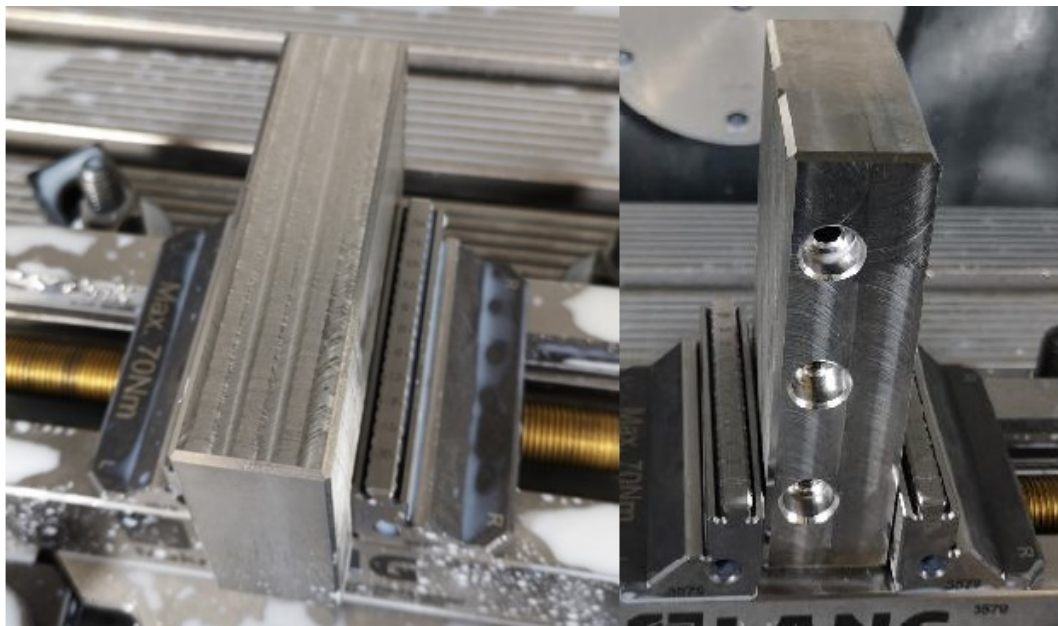


Obr. 50 Zkracování polotovaru před výrobou na CNC frézce

16.2 První upnutí: frézování plochy po řezání pásovou pilou

Nejrozumnější varianta pro první obráběnou plochu bylo obrábění řezané plochy. Pilový pás na povrchu vytvořil poměrně drsnou strukturu, za kterou by nebylo vhodné upínat. Z tohoto důvodu byla tedy tato plocha frézována a zároveň bylo docíleno požadované šířky upínacího prvku, která činí 65 mm. Odebírání materiálu proběhlo ve dvou krocích. První hrubování s přídavkem 0.3 mm a následně dokončování se sníženými řeznými podmínkami přímo na CNC stroji, cca 20% z původní řezné rychlosti. Po zarovnání rovinné plochy následovalo vrtání 3 děr o \varnothing 6,6 mm s válcovým zahloubením, které má průměr 11 mm. Jako poslední operace bylo sražení hran, které odpovídá hodnotě $1 \times 45^\circ$. Provedené operace jsou patrné z obr. 51.

Seznam použitých nástrojů a použité řezné podmínky je možno vidět v tabulce 12 a 13.



Obr. 51 Obrábění plochy na konečnou šířku a zkosení hran + znázornění děr vpravo

Tab. 12 Seznam použitých nástrojů, první upnutí [34]

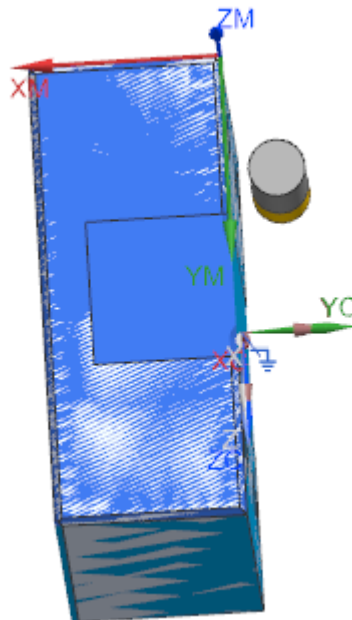
Název:	Fréza VBD - FHS D20 L35 R2	Fréza monolitní - FM D8 L18 R0	Fréza úkosová - FM HRANA D8 L0.7	Vrták - V1 D5 35
Název - Seco	R217.69-2020.0-10-2A	JS565080D2C.0Z5C-NXT	JS509080N2CZ4.0-SIRA	SD1105A-0500-035-06R1
(D) Průměr	20 mm	8 mm	8 mm	5 mm
(L) Délka	150 mm	63mm	63 mm	82
(A) Vrcholový úhel	-	-	90 °	140 °
Počet břitů	2	5	4	2
(LF) Funkční délka	35 mm	20 mm	3,2 mm	35 mm
(R1) Spodní radius	2 mm	-	-	-

Tab. 13 Seznam použitých řezných parametrů, první upnutí [34]

Řezné podmínky	Fréza VBD	Monolitní fréza	Fréza úkosová	Vrták
Operace	Hrubování	Díry \varnothing 11 mm	Sražení 1 x 45°	Díry \varnothing 6,6 mm
Posuv na zub	$f_z = 0,5115$ mm	$f_z = 0,095$ mm	$f_z = 0,0068$ mm	$f_z = 0,5$ mm
Řezná rychlost	$v_c = 130$ m/min	$v_c = 145$ m/min	$v_c = 40$ m/min	$v_c = 17$ m/min
Posuvová rychlost	$v_f = 3175$ mm/min	$v_f = 1096$ mm/min	$v_f = 43,387$ mm/min	$v_f = 285$ mm/min
Hloubka řezu	$a_p = 0,6$ mm	$a_p = 0,5$ mm	$a_p = 1$ mm	$a_p = 30$ mm
Otáčky	$n = 2069$ min ⁻¹	$n = 5769$ min ⁻¹	$n = 1592$ min ⁻¹	$n = 902$ min ⁻¹

16.3 Druhé upnutí: Frézování plochy na konečnou délku

Požadavkem druhého upnutí bylo ustavení obrobku do takové polohy, aby jej bylo možné obrábět na požadovanou konečnou délku. Konečná délka výrobku činí 105 mm. Frézování proběhlo ve dvou krocích. První pomocí rychlořezné frézy s přídávkem na dno 0,6 mm. Zmíněný přídavek byl následně v druhém kroku odebrán monolitní frézou o \varnothing 32mm, která zanechala pěkný povrch. Na závěr proběhlo zkosení hran úkosovou frézou. Uvedené nástroje a jejich parametry jsou v tab. 14 a 15.



Obr. 52 Viditelně zarovnaná horní plocha a zkosení hran

Tab. 14 Seznam použitých nástrojů druhé upnutí [34]

Název:	Fréza - FM D32 L50 R1.6	Fréza VBD - FHS D20 L35 R2	Fréza úkosová - FM HRANA D8 L0.7
Název - Seco	R217.69-1632.RE-10-5A	R217.69-2020.0-10-2A	JS509080N2CZ4.0-SIRA
(D) Průměr	32 mm	20 mm	8 mm
(L) Délka	40 mm	150 mm	63 mm
(A) Vrcholový úhel	-	-	90 °
Počet břitů	2	2	4
(LF) Funkční délka	40 mm	35 mm	3,2 mm
(R1) Spodní rádius	1.6 mm	2 mm	-

Tab. 15 Seznam použitých řezných parametrů druhé upnutí [34]

Řezné podmínky	Monolitní fréza	Fréza VBD	Fréza úkosová
Operace	Dokončování	Hrubování	Sražení 1 x 45°
Posuv na zub	$f_z = 0,07$ mm	$f_z = 0,5115$ mm	$f_z = 0,0068$ mm
Řezná rychlost	$v_c = 130$ m/min	$v_c = 130$ m/min	$v_c = 40$ m/min
Posuvová rychlost	$v_f = 452$ mm/min	$v_f = 3175$ mm/min	$v_f = 43,387$ mm/min
Hloubka řezu	$a_p = 1,5$ mm	$a_p = 0,6$ mm	$a_p = 1$ mm
Otáčky	$n = 1293$ min ⁻¹	$n = 2069$ min ⁻¹	$n = 1592$ min ⁻¹

16.4 Třetí upnutí: Vrtání děr z přední strany

Na čelní straně modelu se nachází 8 průchozích děr s válcovým zahloubením, které slouží k upnutí. Rovněž jsou na této samé ploše 3 závitové díry, do kterých se vkládají šrouby pro držení těla soustružnického nože. V této operaci tedy byly vyrobeny nejdříve otvory o velikosti 6,6 mm pro průchozí šrouby, následně bylo vyrobeno válcové zahloubení malou monolitní frézou. Následovalo vrtání otvorů z čelní strany o průměru 5 mm, do kterých bude řezán závit opět ručně, až po celkovém obrábění. Po vyvrtání a frézování všech otvorů bylo ještě provedeno zkosení hran u děr.

Obrázek 53 vyobrazuje všechny operace provedené v tomto upnutí, pod obrázkem se taktéž nachází tab. 16 a 17 s použitými nástroji a navolenými řeznými podmínkami.



Obr. 53 Dokončené díry z přední strany

Tab. 16 Seznam použitých nástrojů třetí upnutí [34]

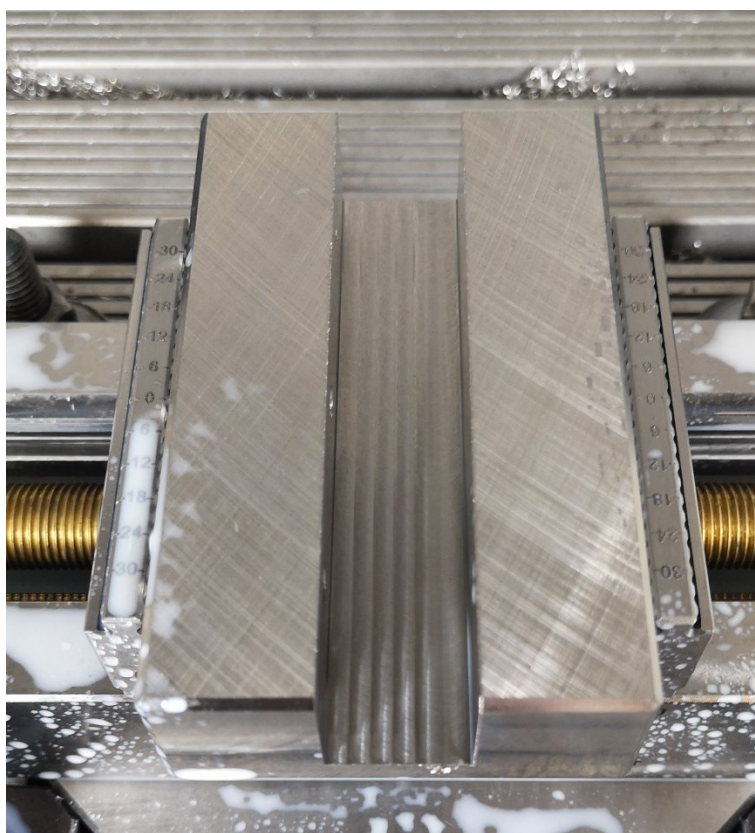
Název:	Fréza - FM D8 L18 R0	Fréza úkosová - FM HRANA D8 L0.7	Vrták - V1 D5 35	Vrták - VT D6.6 L43
Název - Seco	JS565080D2C.0Z5C-NXT	JS509080N2CZ4.0-SIRA	SD1105A-0500-035-06R1	SD205A-0680-043-08R1-P
(D) Průměr	8 mm	8 mm	5 mm	6,6 mm
(L) Délka	63mm	63 mm	82 mm	91 mm
(A) Vrcholový úhel	-	90 °	140 °	140 °
Počet břitů	5	4	2	2
(LF) Funkční délka	20 mm	3,2 mm	35 mm	43 mm
(R1) Spodní radius	-	-	-	-

Tab. 17 Seznam použitých řezných parametrů, třetí upnutí [34]

Řezné podmínky	Monolitní fréza	Fréza úkosová	Vrták	Vrták
Operace	Díry ø 11 mm	Sražení 1 x 45 °	Díry ø 5 mm	Díry ø 6,6 mm
Posuv na zub	$f_z = 0,0471$ mm	$f_z = 0,0067$ mm	$f_z = 0,486$ mm	$f_z = 0,06$ mm
Řezná rychlost	$v_c = 40$ m/min	$v_c = 40$ m/min	$v_c = 46$ m/min	$v_c = 45$ m/min
Posuvová rychlost	$v_f = 250$ mm/min	$v_f = 43$ mm/min	$v_f = 285$ mm/min	$v_f = 266$ mm/min
Hloubka řezu	$a_p = 0,5$ mm	$a_p = 1$ mm	$a_p = 30$ mm	$a_p = 30$ mm
Otáčky	$n = 1592$ min ⁻¹	$n = 1592$ min ⁻¹	$n = 2928$ min ⁻¹	$n = 2170$ min ⁻¹

16.5 Čtvrté upnutí: Frézování drážky

Jako poslední operace prováděná na CNC bylo frézování drážky, která bude sloužit pro vkládání nožů. Drážka o velikosti 20,2 x 20,2 se nachází přímo ve středu přípravku. Obrábění bylo provedeno pomocí speciální operace „adaptivní frézování“, které obrábí ve tvaru půlkruhů. U hrubování byl přídavek na stěny a dno 1 mm. K odstranění přídavků se použily dvě operace, jedna na dno a druhá na stěny. Na závěr bylo provedeno zkosení hran rovnoběžných s drážkou. K výrobě byly použity nástroje, které jsou zapsány v tab. 18. K nástrojům byly navoleny řezné podmínky, jež je možno vidět v tab. 19.



Obr. 54 Vyrobená drážka

Tab. 18 Seznam použitých nástrojů čtvrté upnutí [34]

Název:	Fréza - FM D8 L18 R0	Fréza úkosová - FM HRANA D8 L0.7
Název - Seco	JS565080D2C.0Z5C-NXT	JS509080N2CZ4.0-SIRA
(D) Průměr	8 mm	8 mm
(L) Délka	63mm	63 mm
(A) Vrcholový úhel	-	90 °
Počet břitů	5	4
(LF) Funkční délka	20 mm	3,2 mm
(R1) Spodní radius	-	-

Tab. 19 Seznam použitých řezných parametrů, čtvrté upnutí [34]

Řezné podmínky Operace	Fréza monolitní		Fréza úkosová
	Hrubování	Přídavky stěny a dno	Sražení 1 x 45 °
Posuv na zub	$f_z = 0,095 \text{ mm}$	$f_z = 0,095 \text{ mm}$	$f_z = 0,0068 \text{ mm}$
Řezná rychlost	$v_c = 145 \text{ m/min}$	$v_c = 145 \text{ m/min}$	$v_c = 40 \text{ m/min}$
Posuvová rychlost	$v_f = 1096 \text{ mm/min}$	$v_f = 1096 \text{ mm/min}$	$v_f = 43,387 \text{ mm/min}$
Hloubka řezu	$a_p = 6,6 \text{ mm}$	$a_p = 0,5 \text{ mm}$	$a_p = 1 \text{ mm}$
Otáčky	$n = 5769 \text{ min}^{-1}$	$n = 5769 \text{ min}^{-1}$	$n = 1592 \text{ min}^{-1}$

16.6 Řezání závitů u vrtaných děr

U všech děr sloužících pro upnutí nástroje byly opět závity řezány ručně pomocí závitníků a vratidla. Použité závitníky jsou stejné, jako je uvedeno v tabulce 11.

16.7 Kompletace sestavy

Po správném vyrobení adaptačního prvku pro upínání nožů a adaptačního prvku pro upínání do nožové hlavy následovala kompletace pomocí šroubů ČSN EN ISO 4762 M6 v různých délkách. Šrouby byly utaženy momentem odpovídajícím zhruba $10 \text{ N}\cdot\text{m}$ a následně byla celá sestava vložena do nožové hlavy a připravena na následné zkušební měření.

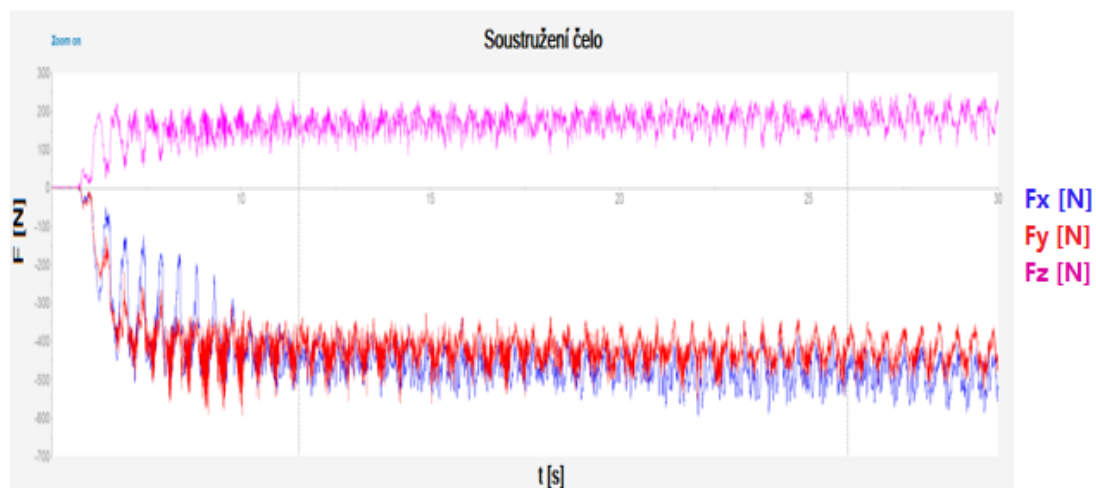


Obr. 55 Složená sestava s nožem připravená na následné měření

17 ZKUŠEBNÍ MĚŘENÍ SIL

Praktická zkouška proběhla na soustruhu TOS S32 Žebrák, kde byla do nožové hlavy upnuta celá sestava. K měření hodnot nesloužil jen samotný piezoelektrický dynamometr, ale rovněž musely hodnoty procházet přes zesilovač s integrovaným sběrem dat pro piezoelektrické měření. Tento zesilovač taktéž od společnosti Kistler s označením 5167A kromě síly dokáže měřit zrychlení nebo tlak. Sbíraná data se při procesu obrábění měří podle zadané amplitudy a následně se hodnoty vyobrazují v grafu.

Měření bylo provedeno na tyči z konstrukční oceli ČSN 11373 o průměru 20 mm. Obrábělo se čelo testovacího vzorku, měření probíhalo po dobu 30s, výsledek měření je znázorněn na obrázku 56. Hodnoty použitých řezných podmínek jsou v tab. 20.



Obr. 56 Graf z měření pomocí dynamometru

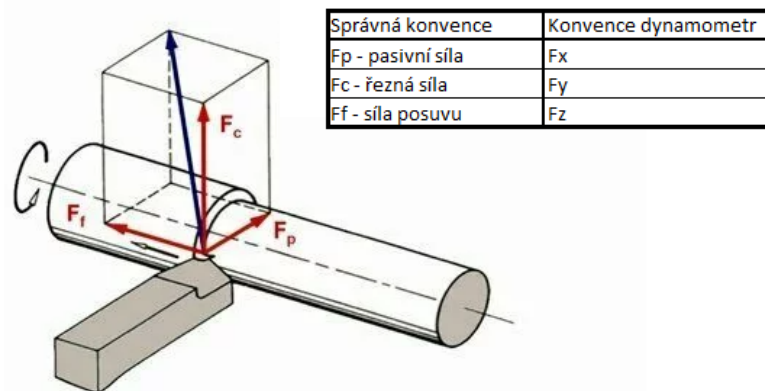
Jak je viditelné z grafu, tak hodnoty ve všech třech osách postupně rostou od nuly a pak kmitají v určitém rozmezí. Kmity jsou způsobeny hlavně vibracemi celého stroje, potažmo nepřesnostmi na obrobku, mírná rez apod.

Tab. 20 Seznam použitých řezných parametrů zkušební měření

Nástroj	Soustružnický nůž 20 x 20 mm
Operace	Obrábění čela
Posuv	$f = 0,28 \text{ mm/ot.}$
Řezná rychlost	$v_c = 7,85 \text{ m/min}$
Posuvová rychlost	$v_f = 35 \text{ mm/min}$
Hloubka řezu	$a_p = 1 \text{ mm}$
Otáčky	$n = 125 \text{ min}^{-1}$

17.1 Výsledky měření

Nejdříve bylo nutné zapsat složky síly správně, protože u dynamometru byly jinak značeny. Převod do správné konvence značení sil je vidět na obrázku 57.



Obr. 57 Správné značení sil [36]

Naměřené hodnoty je vhodné převést do absolutních a jsou vyjádřeny v tabulce 21 jako efektivní hodnota RMS.

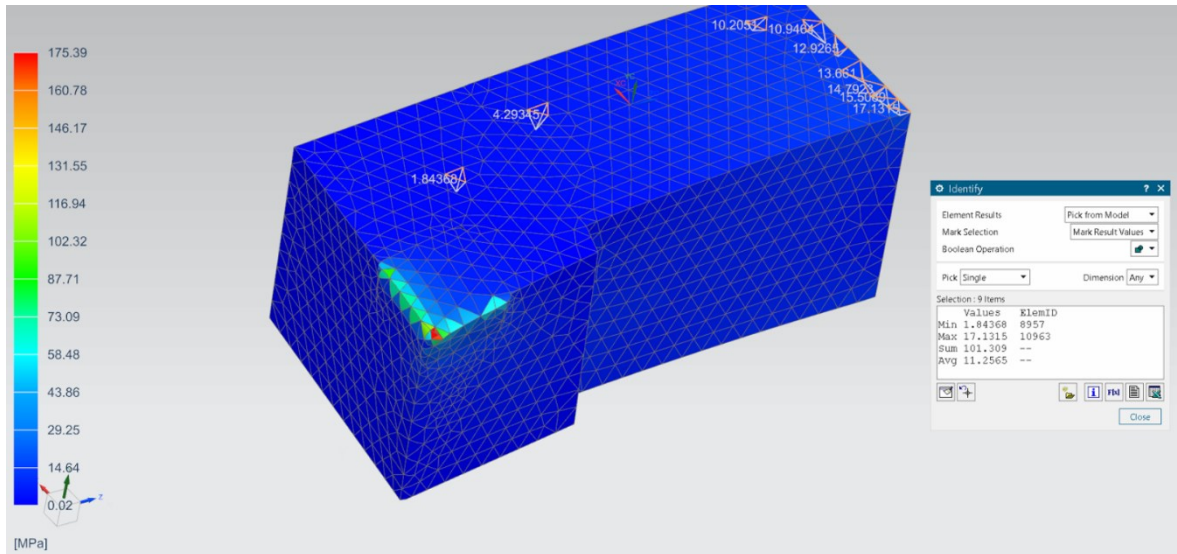
Tab. 21 Naměřené hodnoty uvedeny v absolutních hodnotách

Řezné složky	Naměřená síla RMS [N]
F_p - pasivní síla	475
F_c - řezná síla	424,6
F_f - síla posuvu	170

Z naměřených hodnot je tedy zřejmé, že při obrábění čela je nejvyšší efektivní hodnota 475 N, která působí dle obrázku v ose F_p . Tato hodnota je násobně nižší než vypočtená maximální síla, která může působit na celou soustavu, respektive šrouby. Tedy zvolené šrouby jsou dostatečně naddimenzovány.

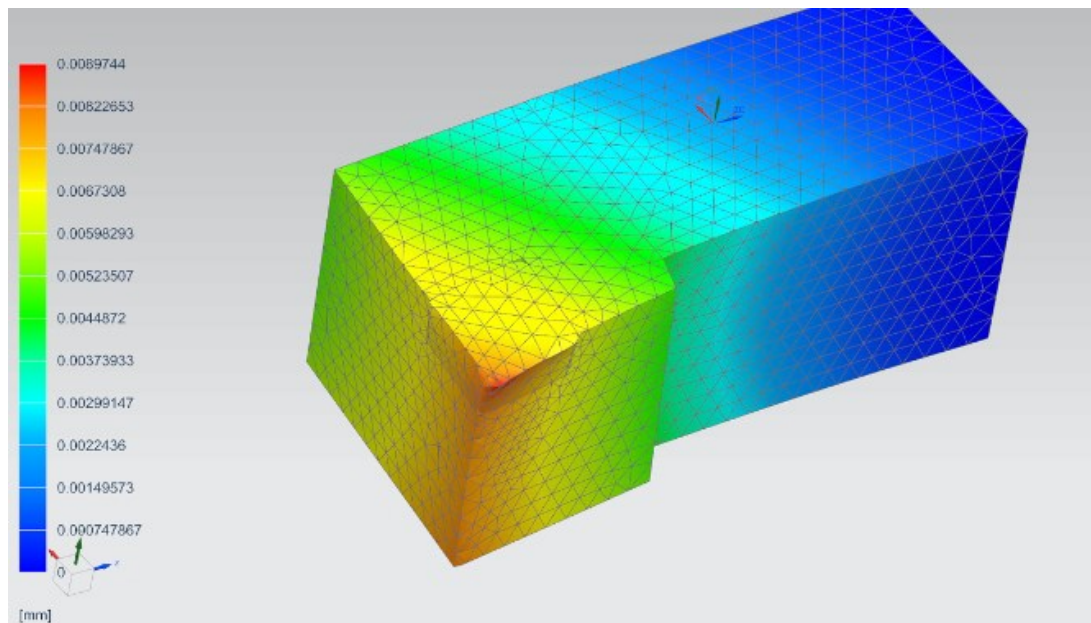
17.2 Napětí a posunutí vznikající v soustružnickém noži vlivem sil

Při působení řezných sil na břitovou destičku vznikají uvnitř materiálu napětí, která působí nejvíce v destičce, ale taktéž se část napětí přenáší i do zbytku nože. Pomocí FEM simulace rovněž v programu NX byla provedena lineární statická analýza konečně prvkového modelu, která zkoumá vnitřní napětí a posunutí nože. Dle změřených efektivních hodnot sil bylo na břitových plochách vytvořeno zatížení odpovídající právě těmto silám. Jako materiál nože byla navolena ocel z dostupného seznamu materiálů v NX. Výsledek simulace napětí se nachází na obrázku 58. Posunutí je poté na obr. 59.



Obr. 58 Analýza napětí pomocí von Misesovy hypotézy

Je viditelné, že největší napětí vzniká přímo ve špičce břitové destičky, hodnota tohoto napětí odpovídá cca 175 MPa. Naopak v těle soustružnického nože jsou napětí velmi malá, tím pádem bych vyloučil možné selhání materiálu jednak v noži, tak v karbidové břitové destičce.



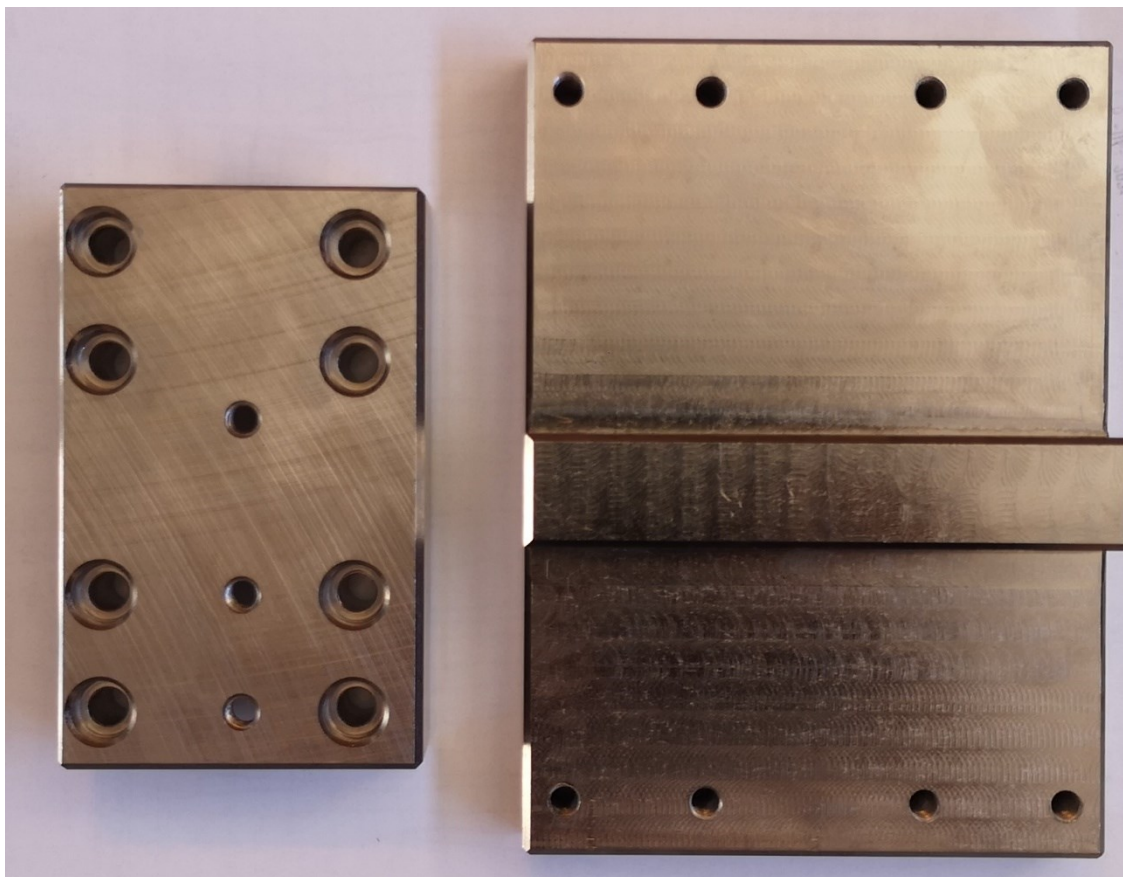
Obr. 59 Posunutí soustružnického nože při obrábění

Mimo zkoumání napětí bylo taktéž vhodné v analýze zkontrolovat posunutí, která vznikají vzhledem k původní poloze. Je viditelné, že posunutí je opravdu malé a pohybuje se v řádu tisícín milimetru. Můžeme tedy usoudit, že vybraný nůž byl zvolen správně a snesl by ještě vyšší síly.

18 POVRCHOVÁ ÚPRAVA PRVKŮ

Použitá ocel je velmi náchylná na povrchové poškrábání, proto bylo navrženo, že po dokončení výroby se přípravky budou dále povrchově upravovat. Pro výrobu funkčního povlaku bylo použito chemické niklování, které se provádí slitinou Ni + P. Hlavním důvodem, proč byla vybrána právě tato chemická úprava, je možnost použití na nerezové oceli, což například u černění je problematické.

Metoda funguje na principu autokatalyticky vyloučeného niklu, celý proces probíhá v lázni za podpory vysokých teplot. Velkou výhodou této povrchové úpravy je to, že vyloučená vrstva je naprosto rovnoměrná na všech požadovaných plochách. Výsledný povrch je velmi tvrdý a otěruvzdorný, což byl hlavní požadavek, taktéž se zvyšují antikoroziční vlastnosti. Tloušťka použité vrstvy na adaptačních prvcích odpovídá hodnotě 20 μm . [37]



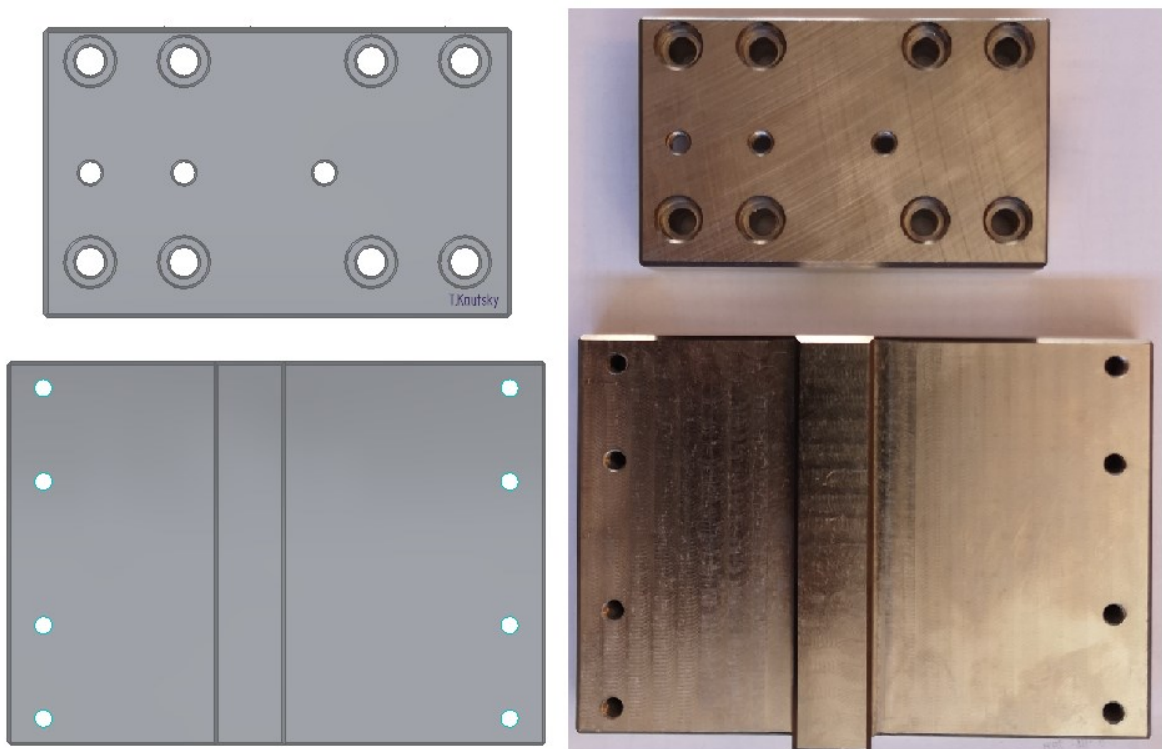
Obr. 60 Adaptační prvky s chemicky niklovaným povrchem

19 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V rámci praktické části bakalářské práce byly navrženy a vyrobeny dva adaptační prvky, které společně s dynamometrem tvoří měřicí zařízení.

Celkový proces výroby včetně programování trval dva pracovní dny. Tento čas byl převážně ovlivněn nutností více upnutí, tudíž musely být několikrát nastaveny nulové body obrobku. Na celkovém čase se také projevila zvolená ocel, která má vysokou pevnost, tudíž frézovací centrum pro jistotu běželo na 50% nastavených řezných rychlostí.

Z vyrobených přípravků lze konstatovat, že jsou totožné s navrhnutými modely a tudíž se oproti modelům neliší. Výsledná kvalita povrchu je velmi dobrá vzhledem k použití nových nástrojů. Taktéž výrobky sedí po rozměrové stránce, kde kontrolní měření bylo provedeno digitální posuvkou. Rozdíly jsou v rámci několika setin milimetru oproti výkresové dokumentaci.



Obr. 61 Porovnání modelů vůči skutečným vyrobeným přípravkům

ZÁVĚR

Primárním cílem bakalářské práce bylo navrhnout a zrealizovat dva adaptační prvky, které společně s měřicím dynamometrem od výrobce Kistler a soustružnickým nožem budou tvořit sestavu, pomocí které bude možné měřit řezné síly na univerzálním soustruhu. Návrh modelů probíhal v 3D prostředí programu Solid Edge a následná výroba naprogramovaných součástí na školním CNC frézovacím centru.

První adaptační prvek s názvem Přípravek pro upínání do nožové hlavy vznikl celkem ve dvou variantách. První varianta obsahovala vyhotovení, které by způsobovalo problém se středěním nože do osy obrobku. Z tohoto důvodu vznikla druhá finální varianta určená pro výrobu, která již tímto problémem netrpí a taktéž byl mírně upraven rozměr upínacího elementu, aby lépe dosedal do drážky nožové hlavy.

Druhý adaptační prvek s názvem Přípravek pro upínání nožů taktéž vznikl ve dvou vyhotoveních. U prvního návrhu bylo uvažováno, že bude použitelný pro soustružnické nože s rozsahem upínací části od 12 x 12 mm po 18 x 18 mm. Po detailnějším prozkoumání nejčastěji používaných rozměrů upínacích stopek, bylo rozumnější navrhnout ještě druhou variantu, která má drážku pro upínání uzpůsobenou pro nože od 14 x 14 mm do 20 x 20 mm. Ve druhé variantě se taktéž změna projevila na počtu děr z 2 na 3, které mají právě fixovat nůž z čelní strany. Taktéž byla provedena změna pozic těchto děr, aby nebyly ve stejné rovině jako horní díry a tím bylo zabráněno možnému střetu šroubů.

Do finální sestavy byly vybrány druhé již optimalizované varianty adaptačních prvků a provedena pevnostní kontrola spojovacích šroubů. Dle výsledků je sestava dostatečně naddimenzovaná a mohly být tedy prvky vyrobeny.

Jednotlivé výrobní operace nutné pro vyrobení těchto adaptačních prvků jsou detailně sepsány v praktické části a jejich programování bylo provedeno v prostředí softwaru NX.

Po samotném vyrobení proběhlo složení celé sestavy a bylo provedeno zkušební měření přímo na soustruhu TOS S32 Žebrák.

Na závěr byly adaptační prvky povrchově upraveny chemickým niklováním.

Můžu tedy usoudit, že adaptační prvky byly navrženy a vyrobeny správně. Vzhledem k použité antikorozi oceli a následné povrchové úpravě jsou prvky připraveny pro několik následujících let používání.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 9788072047222.
- [2] BRYCHTA, Josef a Katedra obrábění a montáže. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003. s. 10. ISBN 80-248-0237-6. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:2e8775c0-bd7c-11e2-ada5-005056825209>
- [3] Workpiece, blank – definitions, technologies, choice. *Technological process* [online]. [cit. 2021-01-7]. Dostupné z: <https://technologicalprocess.com/workpiece-blank-definitions-choice/>
- [4] BRYCHTA, Josef. *Technologie II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [5] Soustružení: Základní soustružnické nože a jejich popis. *Multimediální výuka soustružení* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce3.htm>
- [6] Vznik třísky a její druhy. *ELUC* [online]. [cit. 2021-01-7]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1190>
- [7] TEORIE OBRÁBĚNÍ, DRUHY TŘÍSEK. *Elitalycea* [online]. [cit. 2021-01-7]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep19.pdf>
- [8] FISCHER, Ulrich. A KOL. *Základy strojnictví*. Praha: Europa - Sobotáles cz., 2004. ISBN 80-86706-09-5
- [9] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. 3. přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002. ISBN 80-718-3262-6.
- [10] ŘASA, Jaroslav a GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3, 1. díl: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha: Scientia, 2005. s. [1a]. ISBN 80-7183-337-1. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:e9fc2df0-e03a-11e3-93a3-005056825209>
- [11] Upínání soustružnických nožů a obrobků. *ELUC* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1222>
- [12] JANYŠ, Bohumil a Karel RAFTL. *Upínání obrobků na soustruhu*. Praha: SNTL.
- [13] Soustružení: Základní pojmy. *Multimediální výuka soustružení* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce1.htm>
- [14] Soustruhy: Části soustruhů. *ELUC* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1221>

- [15] ŘASA, Jaroslav, POKORNÝ, Přemysl a GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3, 2. díl: Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. Praha: Scientia, 2005. s. [1a]. ISBN 80-7183-336-3. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:4a600180-dfb4-11e3-bb44-5ef3fc9bb22f>
- [16] DILLINGER, Josef, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. 2. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [17] VELLING, Andreas. Milling Cutters and Tools – an Overview. *Fractory* [online]. 2020 [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://fractory.com/milling-cutters-and-tools/>
- [18] 7 Different Types of Milling Machines. *Ricardo & Barbosa* [online]. 2019 [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.ricardo-barbosa.com/7-different-types-of-milling-machines/>
- [19] Drilling Introduction, Drill Press Work Area. *Efunda* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.efunda.com/processes/machining/drill.cfm>
- [20] MĚŘENÍ SLOŽEK SÍLY ŘEZÁNÍ. *Homel.vsb* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_08.pdf
- [21] PŘÍMÉ MĚŘENÍ SIL A MOMENTŮ. *Homel.vsb* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_09.pdf
- [22] Dynamometers-for-cutting-force-measurement. *Measurement Systems and Sensors | Kistler* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/en/solutions/research-and-development-testing/dynamometers-for-cutting-force-measurement/>
- [23] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [24] Příručka CNC programování. *CNC prirucka CZ* [online]. Košice, 2009 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitalab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf
- [25] Obecný úvod do problematiky CNC programování. *Výukový program: Základy programování CNC strojů* [online]. Velká Bíteš [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: https://www.technickydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-7_8542.html
- [26] SVOBODA, Rostislav. 10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění? *Factory Automation* [online]. 2016 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/10-dat-z-historie-obrabeni-na-cnc-strojich-kam-saha-historie-cnc-obrabeni/>
- [27] CHUDOBA, Milan. *Základy programování a obsluha CNC strojů*. [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: http://www2.sps-jia.cz/~hill/zakl_prog.pdf

- [28] Akademie CNC obrábění (7). *Technický týdeník* [online]. 2009 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-7_8542.html
- [29] Dynamometer Type 9129AA. *KISTLER* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/en/product/type-9129aa/>
- [30] Soustruh TOS S32 manual návod. *CNC Fórum* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://forum.strojirenstvi.cz/viewtopic.php?t=2673>
- [31] DMGMORI. *Univerzální frézka DMU 50* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu/dmu-50-2nd-generation>
- [32] NX Manufacturing - CAM. *Geometric solution* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.geopl.m.com/siemens-plm-software-solutions/nx-ug-unigraphics/nx-cam-manufacturing>
- [33] PROMA PPK - 175T pásová pila na kov. *Karas* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.karas.cz/catalog/pasove-pily-na-kov/proma/proma-ppk-175t-pasova-pila-na-kov-15000175>
- [34] SECO. *Seco Tools* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/>
- [35] Závitník M6 sadový. *Nářadí Doležalova s.r.o.* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.narex-makita.cz/rucni-naradi/zavitniky/sadove/bucovice-tools-m6x1>
- [36] Příručka pro technology - Jak je to s řeznými silami? *Průmyslové spektrum* [online]. 13. 03. 2012 [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-je-to-s-reznymi-silami>
- [37] Chemické niklování. *Rosma* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://rosma.cz/galvanovna/chemicke-niklovani>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NC	Numerical control
CNC	Computer numerical control
CAD	Computer aided design
CAM	Computer aided manufacturing
v_c	Řezná rychlost (m/min)
n	Otáčky (min^{-1})
f	Posuv (mm/ot)
v_f	Posuvová rychlost (mm/min)
v_e	Velikost řezného pohybu (m/min)
f_z	Posuv na zub (mm)
z	Počet zubů frézy
F_c	Tangenciální (řezná) složka síly řezání (N)
$P_{už}$	Užitný výkon (W)
K_c	Měrný řezný odpor (MPa)
P_c	Celkový výkon obráběcího stroje (W)
P_o	Výkon stroje při chodu na prázdno (W)
M_k	Točivý moment ($\text{N} \cdot \text{m}$)
M_{kb}	Točivý moment při působení mechanické brzdy ($\text{N} \cdot \text{m}$)
D	Průměr (mm)
PUNH	Přípravek na upnutí do nožové hlavy
RO	Rychlořezná ocel
3D	Třírozměrný
F_p	Pasivní složka řezné síly síla (N)
F_c	Hlavní složka řezné síly (N)
F_f	Axiální složka řezné síly (N)

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdíl mezi polotovarem a již obrobeným povrchem [3]</i>	13
<i>Obr. 2 Popis ostří a ploch na soustružnickém noži [5]</i>	14
<i>Obr. 3 Možné tvary třísek vznikající při obrábění [6]</i>	15
<i>Obr. 4 Příkladů tvarů soustružnických nožů s jejich popisem[8]</i>	17
<i>Obr. 5 Možné druhy upínání nástroje na soustruh [10]</i>	17
<i>Obr. 6 Univerzální tříčelistové sklíčidlo [10]</i>	18
<i>Obr. 7 Upínání mezi hroty [11]</i>	18
<i>Obr. 8 Lícni deska [10]</i>	19
<i>Obr. 9 Upínání pomocí kleštin [10]</i>	20
<i>Obr. 10 Upínání pomocí trnu mezi hroty [11]</i>	20
<i>Obr. 11 Pevná a pohyblivá luneta [10]</i>	21
<i>Obr. 12 Univerzální hrotový soustruh [10]</i>	22
<i>Obr. 13 Čelní soustruh [10]</i>	23
<i>Obr. 14 Svislý soustruh [10]</i>	24
<i>Obr. 15 Revolverový soustruh s hlavou otáčející se kolem vodorovné osy [10]</i>	24
<i>Obr. 16 Revolverový soustruh s hlavou otáčející se kolem svislé osy [10]</i>	25
<i>Obr. 17 Poloautomatický hrotový soustruh [10]</i>	26
<i>Obr. 18 Ukázka CNC soustruhu [15]</i>	27
<i>Obr. 19 Rozdíl mezi obráběním obvodem válcové frézy a čelem čelní frézy [10]</i>	29
<i>Obr. 20 Ukázka sousledného a nesousledného frézování [16]</i>	30
<i>Obr. 21 Příkladů základních druhů fréz [10]</i>	31
<i>Obr. 22 Druhy možného upínání fréz [10]</i>	32
<i>Obr. 23 Ukázka vodorovné konzolové frézky [10]</i>	34
<i>Obr. 24 Ukázka šroubovitého vrtáku [10]</i>	37
<i>Obr. 25 Ukázka stolní vrtačky [10]</i>	38
<i>Obr. 26 Řezná síla a její rozklad při soustružení [20]]</i>	39
<i>Obr. 27 Mechanický dynamometr prstencový [21]</i>	43
<i>Obr. 28 Dynamometr od firmy KISTLER měřící pomocí piezoelektrického jevu [22]</i>	44
<i>Obr. 29 Zjednodušené blokové schéma CNC stroje [23]</i>	45
<i>Obr. 30 Ukázka a popis jednoho řádku CNC programu [23]</i>	47
<i>Obr. 31 Pravidlo pravé ruky a kartézský souřadný systém s osami rotace [23]</i>	49
<i>Obr. 32 Nákres a model použitého nože v sestavě [34]</i>	53
<i>Obr. 33 Nákres okótovaného dynamometru [29]</i>	54
<i>Obr. 34 Nákres soustruhu se základními rozměry [30]</i>	54

<i>Obr. 35 První verze přípravku na upínání do nožové hlavy</i>	55
<i>Obr. 36 Znázornění rozdíl mezi spodními plochami</i>	56
<i>Obr. 37 Náskres druhé verze adaptačního přípravku s již správnými rozměry</i>	57
<i>Obr. 38 Porovnání modelů s naznačením změn, první verze (vlevo), druhá verze (vpravo)</i>	59
<i>Obr. 39 Finální náskres přípravku pro upínání nožů</i>	59
<i>Obr. 40 Ukázka prvního konstrukčního návrhu sestavy pro měření sil</i>	60
<i>Obr. 41 Druhá varianta celkové sestavy s nožem 20 x 20 mm</i>	61
<i>Obr. 42 Zobrazení finální sestavy vložené do modelu soustruhu</i>	62
<i>Obr. 43 CNC frézka DMU 50 a její základní parametry [31]</i>	64
<i>Obr. 44 Pásový pila Proma [33]</i>	66
<i>Obr. 45 Znázornění frézování na potřebnou šířku obrobku</i>	67
<i>Obr. 46 Frézování přípravku na požadovanou výšku</i>	69
<i>Obr. 47 Frézování na požadované rozměry společně s upínacím elementem</i>	70
<i>Obr. 48 Vrtání děr</i>	71
<i>Obr. 49 Ruční řezání závitů</i>	72
<i>Obr. 50 Zkracování polotovaru před výrobou na CNC frézce</i>	73
<i>Obr. 51 Obrábění plochy na konečnou šířku a zkosení hran + znázornění děr vpravo</i>	74
<i>Obr. 52 Viditelně zarovnaná horní plocha a zkosení hran</i>	75
<i>Obr. 53 Dokončené díry z přední strany</i>	77
<i>Obr. 54 Vyrobená drážka</i>	78
<i>Obr. 55 Složená sestava s nožem připravená na následné měření</i>	79
<i>Obr. 56 Graf z měření pomocí dynamometru</i>	80
<i>Obr. 57 Správné značení sil [36]</i>	81
<i>Obr. 58 Analýza napětí pomocí von Misesovy hypotézy</i>	82
<i>Obr. 59 Posunutí soustružnického nože při obrábění</i>	82
<i>Obr. 60 Adaptační prvky s chemicky niklovaným povrchem</i>	83
<i>Obr. 61 Porovnání modelů vůči skutečným vyrobeným přípravkům</i>	84

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 – Běžně dosahované hodnoty přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu [10].....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 2 – Hodnoty dosahované při frézování [10].....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 3 – Dosahované parametry u různých typů vrtáků [10].....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 4 – Parametry pásové pily [31].....</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 5 – Použité nástroje u prvního upnutí PUNH[34]</i>	<i>68</i>
<i>Tab. 6 – Řezné podmínky u prvního upnutí PUNH [34]</i>	<i>68</i>
<i>Tab. 7 – Použité nástroje třetí upnutí PUNH [34]</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 8 – Použité řezné podmínky nástrojů třetí upnutí PUNH [34].....</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 9 – Použitý nástroj pro vrtání PUNH [34].....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 10 – Řezné podmínky vrtáku v operaci vrtání děr [34].....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 11 – Parametry použité sady závitníků [35].....</i>	<i>72</i>
<i>Tab. 12 Seznam použitých nástrojů, první upnutí [34].....</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 13 Seznam použitých řezných parametrů, první upnutí [34].....</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 14 Seznam použitých nástrojů druhé upnutí [34].....</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 15 Seznam použitých řezných parametrů druhé upnutí [34].....</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 16 Seznam použitých nástrojů třetí upnutí [34]</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 17 Seznam použitých řezných parametrů, třetí upnutí [34]</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 18 Seznam použitých nástrojů čtvrté upnutí [34]</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 19 Seznam použitých řezných parametrů, čtvrté upnutí [34]</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 20 Seznam použitých řezných parametrů zkušební měření</i>	<i>80</i>
<i>Tab. 21 Naměřené hodnoty uvedeny v absolutních hodnotách</i>	<i>81</i>

SEZNAM PŘÍLOH

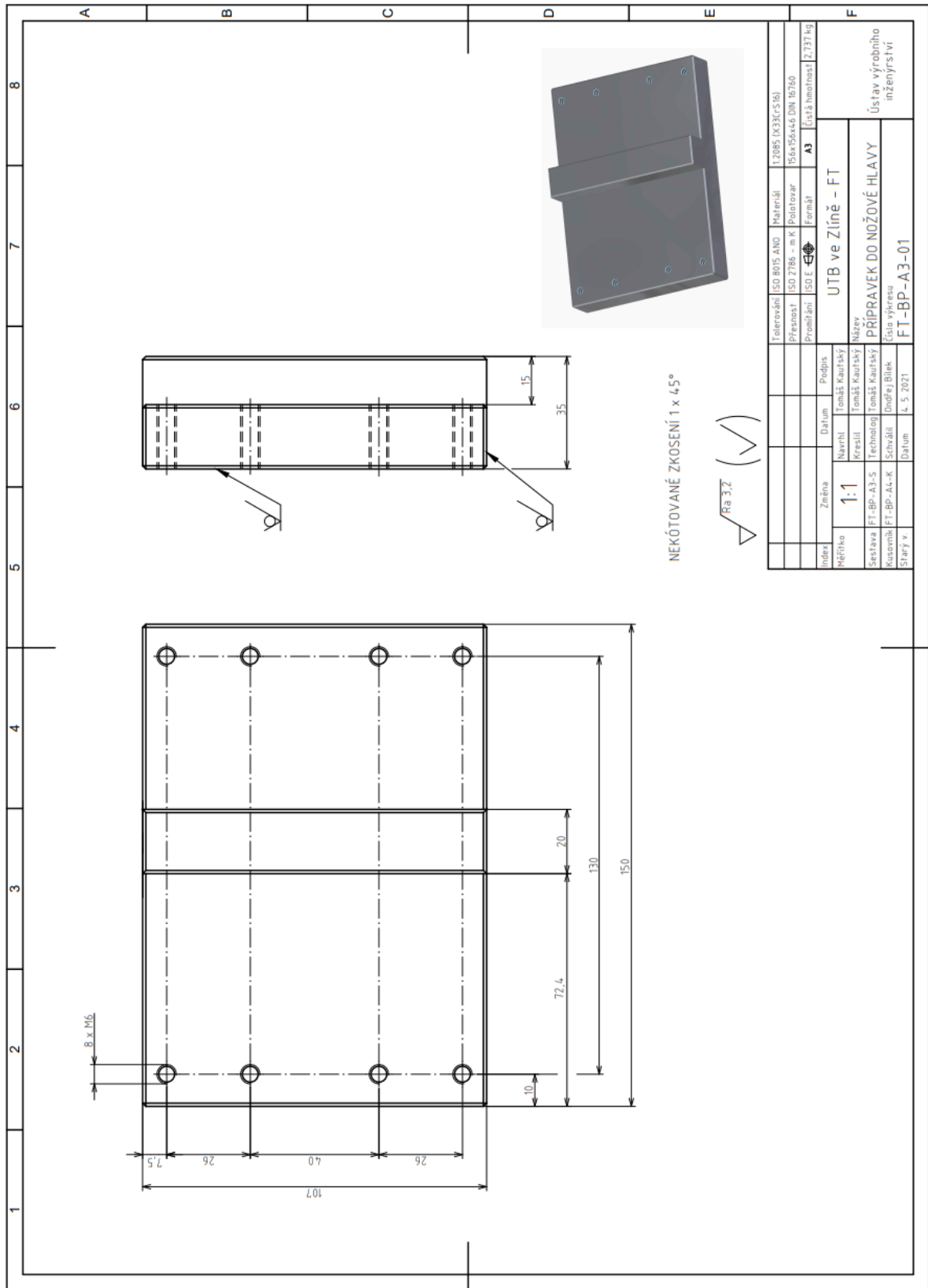
Příloha P I: Výkres přípravku na upínání do nožové hlavy

Příloha P II: Výkres přípravku na upínání nožů

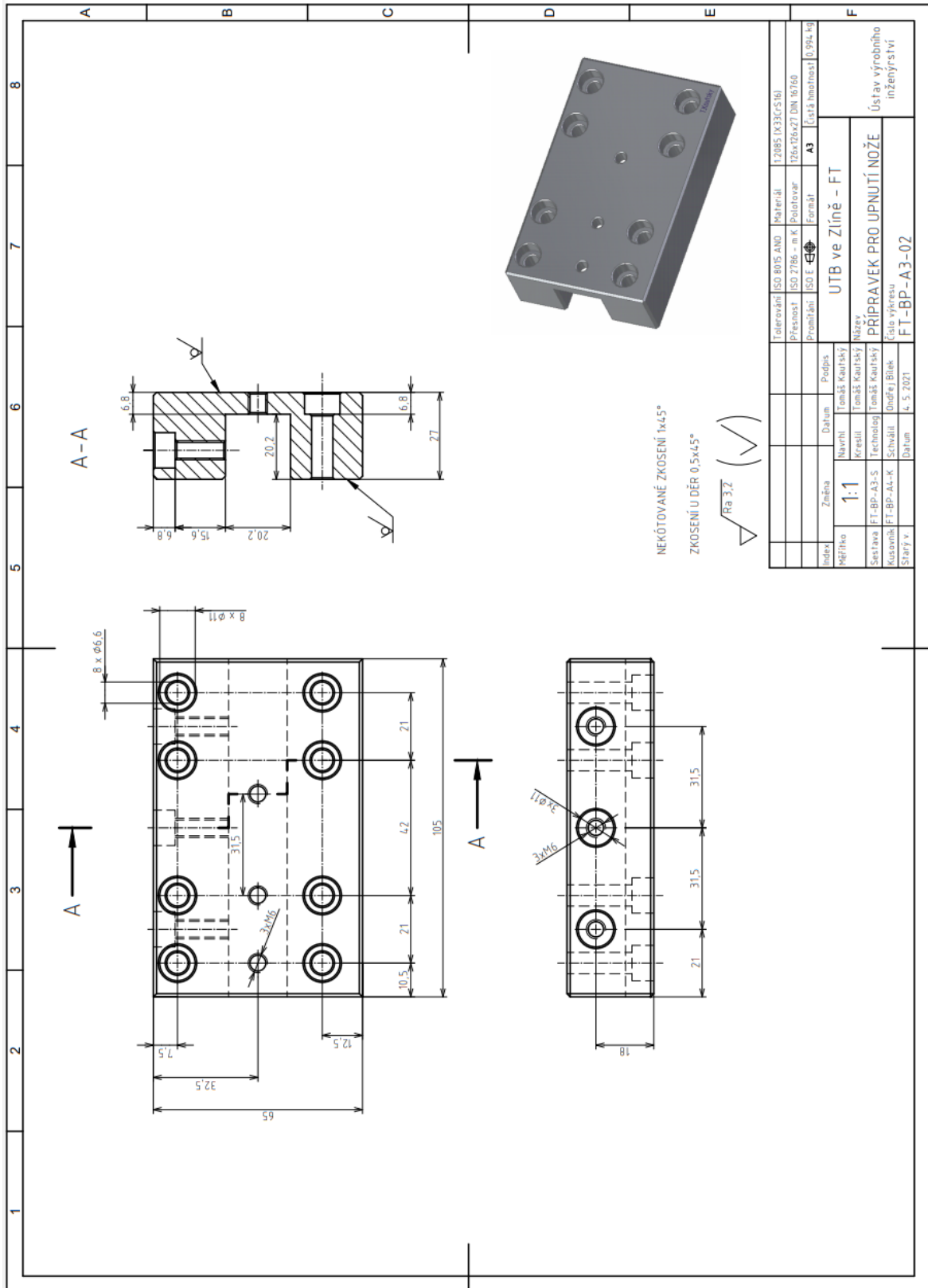
Příloha P III: Sestava

Příloha P IV: Kusovník sestavy

PŘÍLOHA P I: VÝKRES PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ DO NOŽOVÉ HLAVY



PŘÍLOHA P II: VÝKRES PŘÍPRAVKU PRO UPÍNÁNÍ NOŽŮ



PŘÍLOHA P III: SESTAVA MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

KRESLIL	JMÉNO	DATEM	NÁZEV SOUČÁSTI
NAVRHL	Tomáš Kouřeký	04. 05. 2021	SESTAVA MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ
MATERIÁL	Tomáš Kouřeký		ČÍSLO VÝKRESU
POLOTOVAR			FT-BP-A3-S
			FORMÁT
			A3
			PROSTOR
			8,143 kg
			MĚŘITKO
			1:1
			ISO 1:1/1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
FAKULTA TECHNOLOGICKÁ
ÚSTAV VÝROBNÍHO INŽENÝRSTVÍ

PŘÍLOHA P IV: KUSOVNÍK MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

ODKAZ	NÁZEV VÝKRES – NORMA	MATERIÁL POLOTOVAR	ČÍSLO ZÁSODNÍKU POZNÁMKA	MNOŽ. JEDN.
1	PŘÍPRAVEK DO NOŽOVÉ HLAVY FT-BP-A3-01	1.2085 (X33CrS16) 156x156x46 DIN 16760		1
2	PŘÍPRAVEK NA UPNUTÍ NOŽE FT-BP-A3-02	1.2085 (X33CrS16) 126x126x27 DIN 16760		1
3	MĚŘICÍ DYNAMOMETR KISTLER Type 9129AA 9129AA			1
4	SOUSTRUŽNICKÝ NŮŽ PTG NR 2020 K 16			1
5	VYMĚNITELNÁ BRÍTOVÁ DESTIČKA CCMT09T304-F1 CP500			1
6	ŠROUB M6x30 ČSN EN ISO 4762			8
7	ŠROUB M6x35 ČSN EN ISO 4762			8
8	ŠROUB M6x16 ČSN EN ISO 4762			3
9	ŠROUB M6x25 ČSN EN ISO 4762			3

INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství	
ZN.MAT.			T.O.	HMOTNOST 8,143 kg	VĚŘITKO
ROZM.-POLOT.				TOLEROVÁNÍ ISO 8015 ANO	PŘESNOST ISO 2768 - m K
KRESLIL Tomáš Kautský	SCHVÁLIL			POZN.	Č. KUSOVNIKU
PŘEZK.	DATUM 4. 5. 2021				
NÁZEV KUSOVNÍK MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ				ČÍSLO VÝKRESU FT-BP-A4-K	
				Listů	List