



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RACIONALIZACE VÝROBY SEGMENTU TVÁŘECÍHO NÁSTROJE

DESIGN OF THE FIXTURE FOR THE CLAMPING OF THE MACHINED PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Radek PILAŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2018

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá racionalizací výroby tvářecího segmentu, který se vyrábí ve firmě OMNI-X CZ. Seznámení se s výrobkem „tvářecí segment“, nastínění problematiky výroby tvářecího segmentu s možností vylepšení výroby. Práce je následně zaměřena na vypracování upínacího přípravku, který má zajistit lepší podmínky výroby. Mezi hlavní body práce patří výpočet řezných sil, upínacích sil přípravku a doporučené hodnoty velikosti upnutí s následným ekonomickým vyhodnocením. Cílem diplomové práce je naznačit možný směr racionalizace výroby tvářecích segmentů pro firmu OMNI-X CZ.

Klíčová slova

Racionalizace, přípravek, upnutí, čelní frézování, řezná síla, Solid Works

ABSTRACT

Master thesis is focused on the rationalization of production of the forming segment, which is manufactured by company OMNI-X CZ. Familiarization with the product „forming segment“, with issue of production with possibility improvment. The work is also focused on the preparation of the clamping fixture, which should improve the production conditions. The main point of the work include the calculation of cutting forces, clamping forces of the fixture, verification of safety process with economic evaluation. The aim of this master thesis is to indicate the possible direction of the rationalization of the manufacturing of the shaping segments for OMNI-X CZ.

Key words

Rationalization, clamping forces, production, fixture, shaping segments

BIBLIOGRAFICKÁ

PILAŘ, Radek. *Racionalizace výroby segmentu tvářecího nástroje*. Brno 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 107 s. 8 příloh. Vedoucí práce Ing. Karel Osíčka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Racionalizace výroby segmentu tvářecího nástroje** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Bc. Radek Pilař

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce panu Ing. Karlovi Osičkovi, Ph.D, za poskytnuté informace při vypracování diplomové práce. Panu Martinu Procházkovi za technické informace o strojích a technologii výroby. Panu Ing. Pavlovi Hadámkovi, za teoretické znalosti o konstrukci tvářecích segmentů a panu Ing. Pavlovi Doubkovi, za poskytnutí podkladů pro ekonomické výpočty.

Na závěr bych rád poděkoval svojí rodině, která mě podporovala psychicky i finančně po celou dobu mého studia.

OBSAH

PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1. ROZBOR STAVAJÍCÍHO STAVU TECHNOLOGIE VÝROBY	9
1.1 Představení firmy OMNI-X CZ	9
1.2 Pojem RACIONALIZACE	10
1.3 END FORMING	11
1.3.1 Typ I/O.....	12
1.3.2 Typ CR.....	14
1.3.3 Typ CE.....	16
1.4 Výroba tvářecích segmentů.....	18
1.4.1 Tvářecí segment I/O.....	18
1.4.2 Tvářecí segment CE:.....	19
1.5 Materiál tvářecích segmentů	19
1.6 Bodový postup výroby tvářecích segmentů	21
1.7 Strojní vybavení firmy OMNI-X CZ	21
1.8 Rozbor stávajícího upnutí tvářecích segmentů	26
2 ROZBOR MOŽNÝCH SMĚRŮ RACIONALIZACE VÝROBY	27
2.1 Statistické rozměry tvářecích segmentů.....	27
2.2 Mechanický svěrák.....	28
2.3 Naklápěcí hydraulický svěrák	28
2.4 Modulární systém.....	29
3 NÁVRH KONKRÉTNÍHO DOPORUČENÉHO SMĚRU RACIONALIZACE VÝROBY.....	31
4. ROZPRACOVÁNÍ VYBRANÉHO NÁVRHU RACIONALIZACE VÝROBY	33
4.1 Teorie upínacích přípravků	33
4.2 Tepelné a chemicko-tepelné zpracování	35
4.3 Volba CNC stroje pro výrobu součástí přípravku.....	38
4.4 Maximální a minimální velikost upnutí segmentu do navrhovaného přípravku... 38	
4.5 Výpočet celkové řezné síly	40
4.6 Zvolení technologie obrábění.....	68
4.7 Výpočet minimální upínací síly přípravku.....	69
4.8 Výpočet upínací síly vytvořené šroubem	73

4.9	Výpočet upínací síly modulárního přípravku.....	80
5	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	90
5.1	Technicko-ekonomický výpočet	90
5.2	Počet kusů tvářecích segmentů vyrobených v předchozích letech	93
6	DISKUZE	94
	ZÁVĚR	96
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	98
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	100
	SEZNAM PŘÍLOH.....	107

ÚVOD

Současné technologie výroby jdou stále kupředu a strojírenské obrábění nezůstává pozadu. Proces obrábění často navazuje na ostatní strojírenské technologie, např. tváření a slévárenství. Tyto technologie jsou zaměřeny na výrobu polotovárů, které jsou následně použity pro obrábění. Každý z těchto polotovárů je nutné upnout do upínacího přípravku, který upevní polotovaz na dané místo.

Na racionalizaci ve výrobě jsou stále větší a náročnější požadavky. Hledají se možnosti ke zvýšení efektivity pracoviště, kanceláře, závodu i celého výrobního systému. Všechny technologie jsou postupem času vylepšovány, při dodržování trendů modernizace a zjednodušení výroby je stále kladen větší důraz na rychlejší manipulaci, kvalitu práce, její bezpečnost a tím pádem i kvalitně pevné upnutí polotovárů při obrábění. Jednotlivé operace při výrobě jsou důkladně probrány a práce je zaměřena na nejkritičtější část ve výrobě tvářecích segmentů.

Po prozkoumání technologie výroby tvářecích segmentů bylo zjištěno, že kritickým úsekem ve výrobě je hrubování dosedací plochy, která je obráběná pod určitým úhlem. Tato operace bude následně důkladně prozkoumaná a bude navrženo řešení problému s více variantami. Po prozkoumání a vybrání nejvhodnější varianty, která následně je do detailu rozebrána. Mezi body, které jsou zkoumány, patří: výpočet řezné síly, výpočet upínací síly přípravku, výpočet upínací síly šroubu a následně výpočet upínací síly pro vymezení řezných sil.

Upínací přípravek je jedním z nejdůležitějších článků výroby, bez kterého není možné zpracovat polotovaz na požadovaný tvar a rozměr. Tento přípravek je tedy základním prostředkem, který vede k bezpečné výrobě výrobku. Tyto přípravky musí být dostatečně tuhé a musí odolávat řezným silám, které jsou často vysoké a nepravidelné. Řezné síly často vyvolávají vibrace, které jsou nežádoucí při výrobě. Při procesu výroby je kladen důraz na výslednou přesnost součásti, které jsou požadovány na konstrukčním výkrese (rozměry, přesnost a jakost povrchu). Pro každý polotovaz a tedy výsledný výrobek musí být upínací přípravek částečně modifikován. Tento fakt vede k velké variaci přípravků kterými se můžeme sekat ve strojním průmyslu.

Všechny dosedací plochy přípravku musí být dostatečně odolné proti opotřebení a musí mít vysokou tvrdost (z pravidla vyšší než daný polotovaz). Tyto dosedací plochy jsou cementovány a následně kaleny. Důležité je klást důraz na kvalitu provedené práce a také na výrobní náklady.

1. ROZBOR STAVAJÍCÍHO STAVU TECHNOLOGIE VÝROBY

Tato práce se bude zabývat tzv. racionalizací výroby tvářecího segmentu. Prvně bude pojem racionalizace přesně definován. Následně bude popsán problém výroby s návrhem zefektivnění výroby ve firmě OMNI-X CZ. Tato firma disponuje CNC soustruhy, CNC vertikálními centry, CNC horizontálními centry od firmy Hass Automatic Inc. Dále disponuje konvekčním soustruhem, bruskou a kalicím zařízením.

1.1 Představení firmy OMNI-X CZ

Firma OMNI-X CZ s.r.o., je soukromá společnost, která vyrábí nástroje a přípravky pro **tváření trubek za studena**. V tomto odvětví se začala specializovat na konstrukci a výrobu nástrojů pro **ohýbačky trubek**. První zmínka o firmě pochází ze státu Colorado ve Spojených státech amerických, kde sídlí mateřská společnost OMNI-X USA, Inc. Na konci roku 1999 byla založena česká pobočka OMNI-X CZ, která má za úkol vyrábět a distribuovat nástroje v Evropě a blízkém okolí. Tato pobočka sídlí v Brně na ulici Šámalova 60a [1].

Původní plánem firmy bylo dodávat jednoduché nástroje pro trh, tedy **trny a vyhlazovače** pro Evropský trh. Tyto nástroje byly vždy vyrobené v USA a převezeny do Evropy. Po prvním roce spolupráce, byla poptávka natolik velká, že se rozhodlo tyto nástroje zde konstruovat i vyrábět. Proto vedení firmy přišlo s následujícím rozhodnutím „*Jestliže, chceme uspět na trhu s takovým potencionálem a rozmanitostí jaký představuje trh v EU musíme nejen prodávat, ale i designovat a vyrábět nástroje zde v Evropě*“ [1].

Postupem času firma začala navrhovat i další produkty, které zapadají do výroby nástrojů pro ohýbání trubek za studena, jako jsou matrice (Bend die), přítlačné čelisti a lišty (obr. 1.1). Poté se firma začala specializovat i na tzv. END-Forming, který postupem času začala vyrábět na vysoké úrovni. Důsledkem tohoto růstu a rozvoje firma začala rozšiřovat svůj prodej i za hranice Evropy, tedy do Asie. Firma OMNI-X CZ se stala dominantou pro výrobu nástrojů pro ohýbání trubek za studena. Tyto nástroje využívají firmy jak pro automobilový, letecký, energetický, lodní průmysl a další. [1].



Obr. 1.1 Produkty firmy OMNI-X CZ [1].

V současné době má firma zastoupení na třech místech na světě [1]:

- USA, Colorado (OMNI-X USA, Inc.),
- Česká republika, Brno (OMNI-X CZ, s.r.o.),
- Mexico, Queretaro (OMNI-X MX S.de R.L. de C.V.).

1.2 Pojem RACIONALIZACE

Racionalizací můžeme chápat jako zdokonalování výrobního systému. Schopnost se ve výrobního systému rychle a pružně přizpůsobit. Na racionalizaci se kladou stále větší a náročnější požadavky. Hledají se způsoby, jak zvýšit efektivnost pracoviště, kanceláře, podniku, tedy i celého výrobního systému. Jejím základem je vyloučení zbytečných ztrát a využití existujících rezerv. Směřování k zavádění nových technických a organizačních opatření [2].

Racionalizace se dá rozdělit do více sektorů [2]:

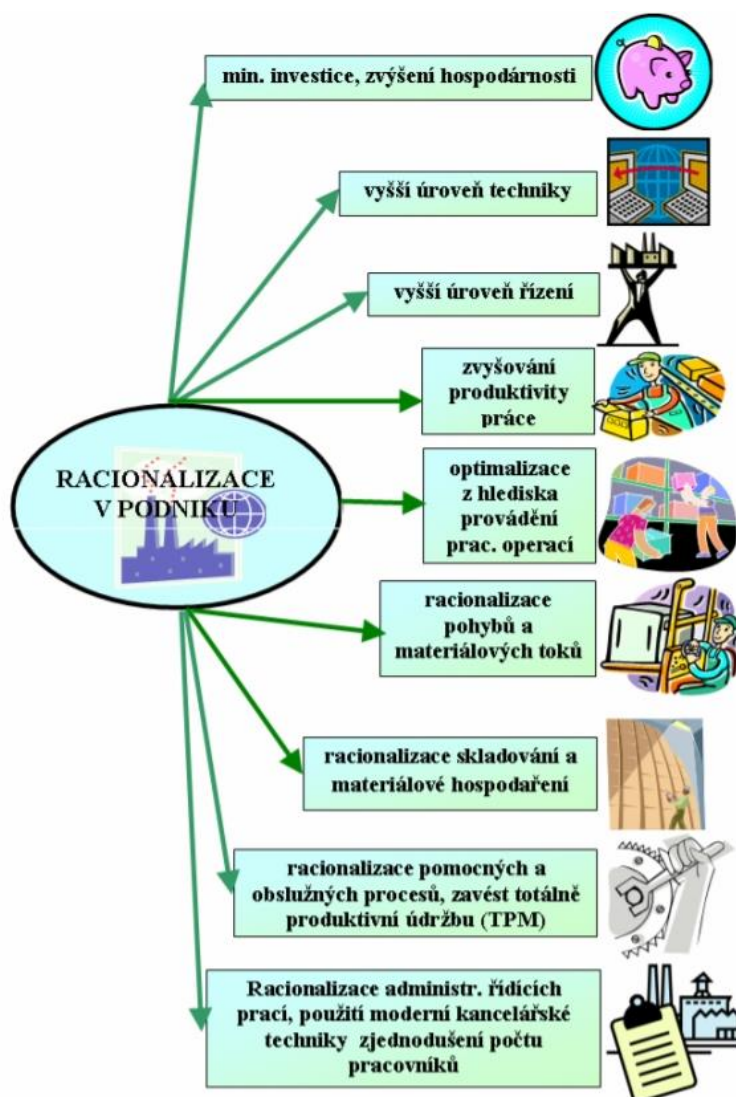
- produktivní fungování základních výrobních fondů,
- práce,
- materiálové hospodaření,
- pohyb materiálu.

Podnikatelské subjekty by se měly snažit o neustálé zvyšování produktivity práce v zájmu zlepšování ekonomických výsledků a zvyšování konkurenceschopnosti v systému. Výrobní proces se tedy vylepšuje a jeho úroveň je stále vyšší a vyšší [2].

Obecně vzato racionalizace má vždy jeden hlavní cíl (obr. 1.2), kterým je **maximální zvýšení produktivity za minimálních nákladů**. Hranice maximální zvýšené produktivity jsou velice těžce stanovitelné, a tudíž tento proces se dá neustále zlepšovat. Racionalizace se ve všech případech podkládá ekonomickou kalkulací směřující k rentabilitě a hospodárnosti [2].



Obr. 1.2 Cíl racionalizace [2].



Obr. 1.3 Racionalizace v podniku [2].

1.3 END FORMING

Tato metoda anglicky nazvaná END-forming nebo-li česky **tváření konců trubek** v posledních letech začala patřit mezi významné odvětví v tváření trubek za studena. Tímto odvětvím se firma OMNI-X CZ začala zabývat až v posledních letech, okamžitě zaznamenala úspěch a jako jedna z mála dodavatelů v Evropě si je prosadila na trhu [1].

Jak z českého překladu plyne, metodou lze tedy upravit konec trubek. Spojení mezi trubkou a dalším členem (např. další trubkou, přírubou nebo hadicí). Samozřejmě touto metodou lze upravovat výfukové systémy v automobilovém průmyslu, kde je metoda nejvíce uplatňována. Pro automobilový průmysl lze nástroje rozdělit na tzv. dělené tvářecí nástroje, které začalo být užíváno v USA, dle typu „I/O“ a „C“ pro stroje s kapacitou tři palce. Typ „C“ se dále dělí na redukční a expanzní. Tyto dva typy výrobku budou hlavním předmětem práce, a proto budou detailně rozebrány [1].

1.3.1 Typ I/O

Pod tímto označením se ukrývá dvojčinný segmentový tvářecí nástroj typu I/O. Je vhodný pro redukci i expanzi průměru trubky (obr. 1.4). Tento produkt pro tváření za studena se skládá z následujících komponentů [1]:

- vnější kleština,
- vnitřní prsty,
- trn,
- barel,
- rozpínací prsty.



Obr. 1.4 End Forming I/O.

Trn (Arbor)

Tento komponent je uložen do stroje jako samostatný celek. Pomocí pohybu pístu stroje dochází k posunu trnu, jehož náběžné plochy rozpínají prsty. Tímto způsobem dochází k roztažení, nebo následné kalibraci trubky (obr. 1.5) [1].

Z konstrukčního hlediska je tento produkt vyráběn ve dvou variantách v závislosti na vnějším průměru trubky, a to jako 6-ti nebo 8-mi segmentový s rozdílnými úhly náběžných ploch [1].

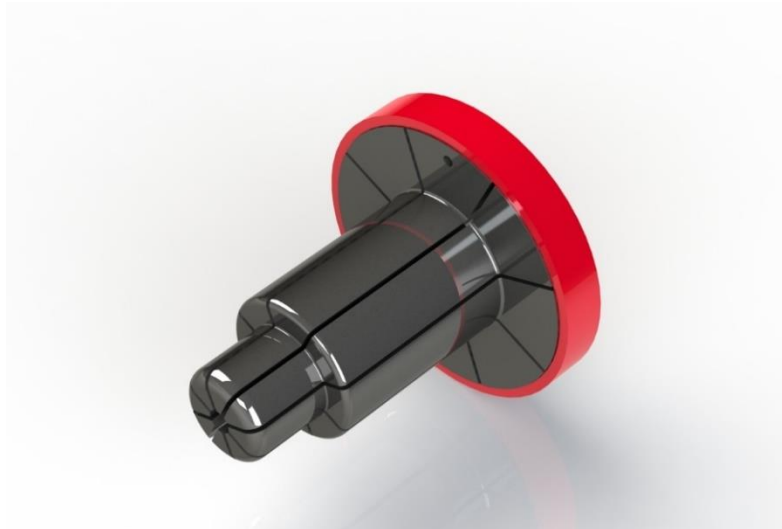


Obr. 1.5 Trn (Arbor) 8-mi segmentový.

Rozpínací prsty (Fingers)

Pohybem trnu dochází k roztažení jednotlivých segmentů na požadovaný průměr trubky. Axiální směr pohybu trnu se přenáší přes shodné náběžné plochy na jednotlivé segmenty vnitřních prstů, které následně podpírají vnitřní stranu tvářecí oblasti (obr. 1.6) [1].

Z konstrukčního hlediska je tento produkt vyráběn ve dvou variantách v závislosti na vnějším průměru trubky a to jako **6**-ti nebo **8**-mi segmentový s rozdílnými úhly náběžných ploch [1].

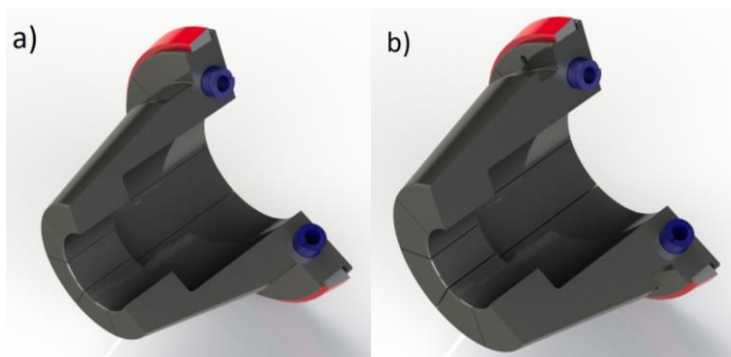


Obr. 1.6 Rozpínací prst (Finger) 8-mi segmentový.

Vnější kleština (Jaws)

Ke stažení kleštiny do požadovaného tvaru dochází při jejím styku s náběžným kuželem stroje. Pomocí pístů pohybujeme barelem, ve kterém je kleština uložena, nebo je posouván přední díl formovacího stroje i s náběžným kuželem (obr. 1.7) [1].

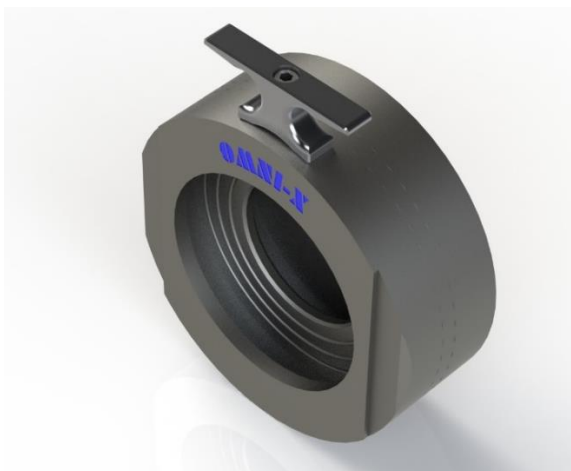
Z konstrukčního hlediska je tento produkt vyráběn ve třech variantách 2.75 STD a 3.125 (tyto hodnoty jsou v palcích). Při použití jednoho typu z kleštin je nutné vyměnit i náběžný kužel stroje [1].



Obr. 1.7 Vnější kleština (Jaws) 8-mi segmentový, a) 2.75 STD, b) 3.125.

Barel (IO Barel)

Sestava barelu se skládá ze tří dílů, ve kterých jsou uloženy segmenty rozpínacího trnu a kleštiny. Barel je zasazen do rámu stroje a pomocí pístů dochází k posuvu náběžného kužele směrem k barelu. Tímto způsobem je kleština sevřena na požadovaný průměr (obr. 1.8) [1].



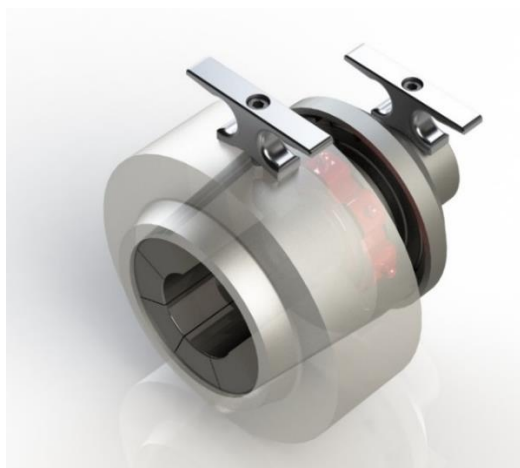
Obr. 1.8 Barel (IO Barel).

1.3.2 Typ CR

Pod tímto označením se ukrývá jednočinný segmentový tvářecí nástroj typu „C“ s označením „CR. Tento typ nástroje obsahuje pouze vnější kleštinu. Z tohoto tedy vyplývá, že je možné formovanou oblast tvářet jen z vnější strany a nástroje jsou vhodné **pouze k redukci** průměru trubky (obr 1.9) [1].

Tento produkt firmy OMNI-X CZ pro tváření za studena se skládá z následujících komponentů [1]:

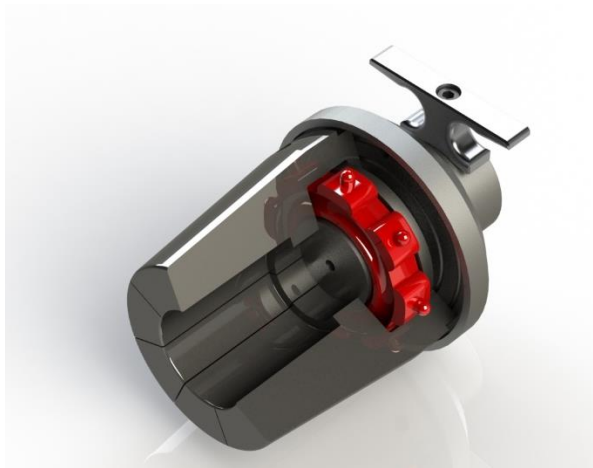
- vnější kleština,
- upínací adaptér,
- náběžný kužel.



Obr. 1.9 End Forming C-Reducing.

Vnější kleština (Jaws CR)

Z konstrukčního hlediska je tento produkt vyráběn ve dvou variantách 6-ti nebo 8-mi segmentový s rozdílnými úhly náběžných ploch. Náběžné plochy musí být shodné s kuželem na náběžném barelu. Z tohoto důvodu je doporučováno si nechat vyrobřit zároveň kleštinu s barelem u stejné firmy (obr. 1.10 [1]).

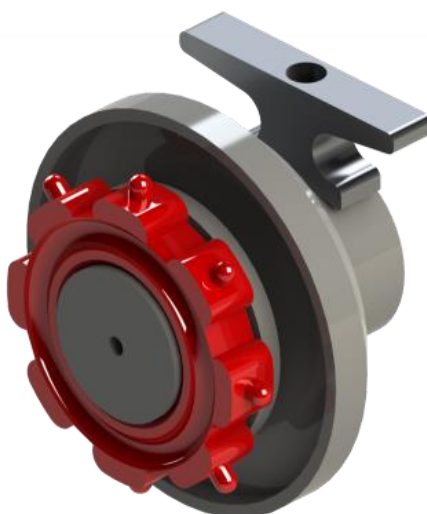


Obr. 1.10 Vnější kleština (Jaws CR) 8-mi segmentový.

Upínací adaptér (Arbor CR)

Upínací adaptér je složený z více vodících dílů, které tvoří uložení pro vnější kleštinu. Základním prvkem je gumový kroužek (je označen červenou barvou, obr. 1.11). Pomocí pístů stroje se kleština pohybuje směrem do náběžného kužele. Tímto způsobem dochází k sevření kleštiny na požadovaný průměr [1].

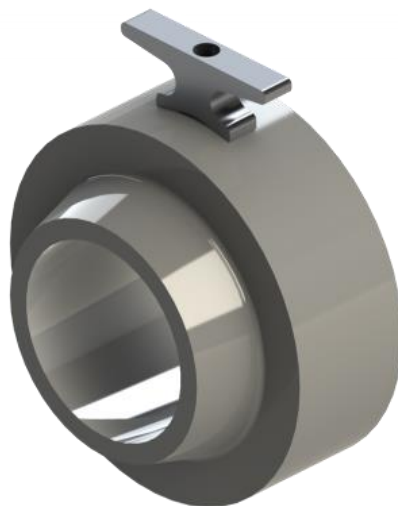
Z konstrukčního hlediska je tento produkt vyráběn ve dvou variantách 6-ti nebo 8-mi funkčními prvky a slouží k roztažení kleštiny [1].



Obr. 1.11 Upínací adaptér (Arbor CR) 8-mi segmentový.

Náběžný barel (Cone CR)

Jedná se o samostatný celek, který se upíná do tvářecího stroje. Náběžný barel je vyroben s vnitřním kuželem, který odpovídá úhlu kuželovité plochy na vnější kleštině (obr. 1.12) [1].



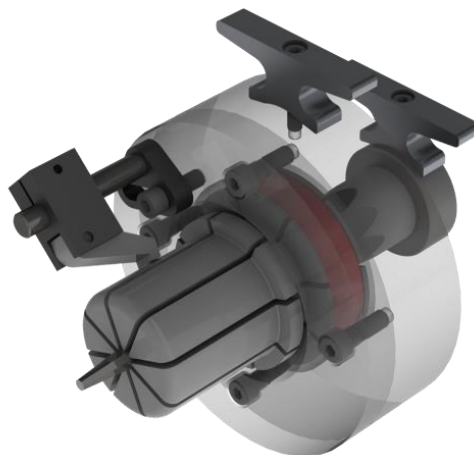
Obr. 1.12 Náběžný barel (Cone CR).

1.3.3 Typ CE

Pod tímto označením se ukrývá jednočinný segmentový tvářecí nástroj typu „C“ s označením „CE“. Tento typ nástroje obsahuje pouze vnitřní prsty. Z tohoto tedy plyne, že je možné formovanou oblast tvářet jen z vnitřní strany a nástroje jsou vhodné **pouze k expanzi** průměru trubky (obr. 1.13) [1].

Produkt firmy OMNI-X CZ pro tváření za studena se skládá z následujících komponentů [1]:

- trn,
- vnitřní prsty,
- barel.

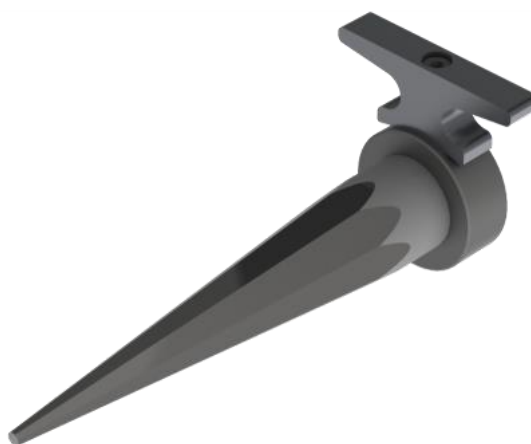


Obr. 1.13 End Forming C-Expanding.

Trn (Arbor CE)

Tento komponent je uložen do stroje jako samostatný celek. Pomocí pohybu pístu stroje dochází k posuvu trnu, jehož náběžné plochy rozpínají prsty. Tímto způsobem dochází k roztažení, nebo následné kalibraci trubky [1].

Z konstrukčního hlediska je tento produkt vyráběn ve dvou variantách 6-ti nebo 8-mi segmentový s rozdílnými úhly náběžných ploch. Je závislý na vnějším průměru trubky (obr. 1.14) [1].



Obr. 1.14 Trn (Arbor CE) 8-mi segmentový.

Vnitřní prsty (Fingers CE)

Pohybem trnu dochází k roztažení jednotlivých segmentů na požadovaný průměr trubky. Axiální směr pohybu trnu se přenáší přes shodné náběžné plochy na jednotlivé segmenty vnitřních prstů, které následně podpírají vnitřní stranu tvářecí oblasti (obr. 1.15) [1].

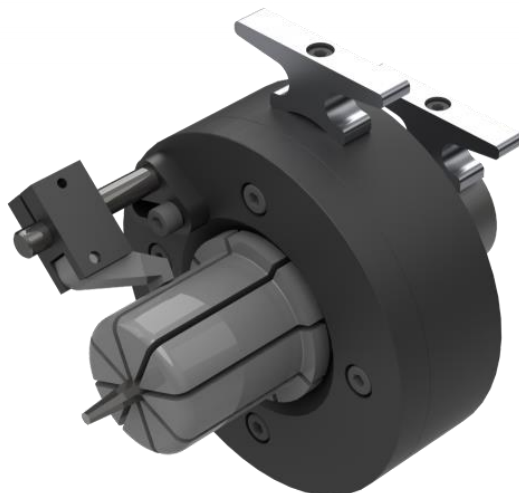
Z konstrukčního hlediska je tento produkt vyráběn ve dvou variantách 6-ti nebo 8-mi segmentový s rozdílnými úhly náběžných ploch. Je závislý na vnějším průměru trubky [1].



Obr. 1.15 Vnitřní prsty (Fingers CE) 8-mi segmentový.

Barel (CE Barel)

Tento barel je vyráběn ze dvou přírub, které tvoří uložení pro vnitřní prsty (obr. 1.16) [1].



Obr. 1.16 Barel (CE Barel).

1.4 Výroba tvářecích segmentů

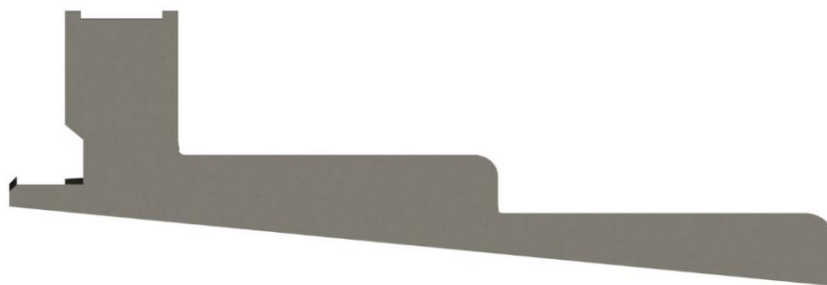
Produkt vyráběný firmou OMNI-X CZ byl nazvaný END-Forming. END-Forming se vyrábí ve třech možných typech dle požadavku na tvarování trubky, jak bylo uvedeno výše. Každý tento typ má jiný tvar, díly i jejich počet [1].

- typ I/O,
- typ CR,
- typ CE.

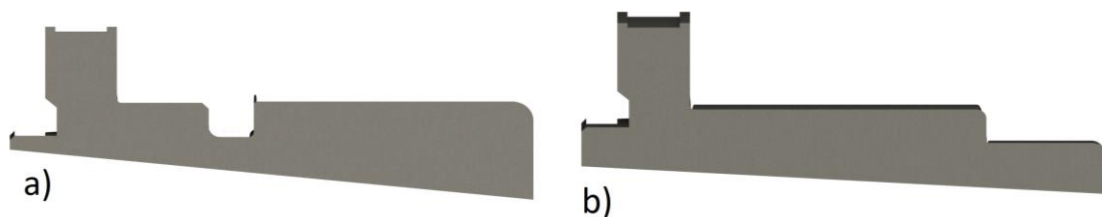
Tvářecí segment, kterým se tato práce zabývá je komponent pouze u typu END-Formingu typu **I/O** a **CE** [1].

1.4.1 Tvářecí segment I/O

Tvar segmentu I/O je vždy podobný, mění se pouze rozměry segmentu. Každá zakázka je odlišná dle požadavků zákazníka, tyto rozměry se pohybují v určitých hodnotách, které budou vymezeny následně. Úhel zkosené plochy je 3° nebo 5,5° (obr. 1.17 a 1.18).



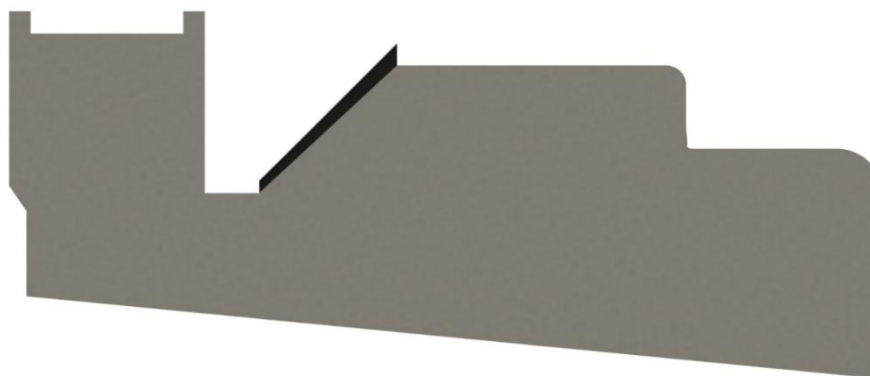
Obr. 1.17 – Tvářecí segment I/O.



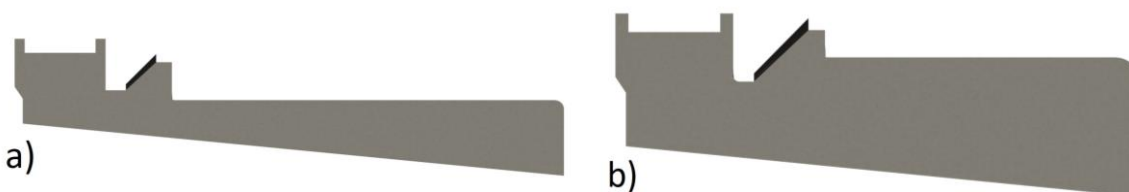
Obr 1.18 Tvářecí segment I/O a) TYP 1 – 5,5°, b) TYP 2 – 3°.

1.4.2 Tvářecí segment CE:

Tvar segmentu CE je vždy podobný, mění se pouze rozměry segmentu. Každá zakázka je odlišná dle požadavků zákazníka, tyto rozměry se pohybují v určitých hodnotách, které budou vymezeny následně. Úhel zkosené plochy je 3° nebo 5,5° (obr. 1.19 a 1.20).



Obr. 1.19 – Tvářecí segment CE.



Obr 1.20 – Tvářecí segment CE a) TYP 1 - 5,5° b) TYP 2 – 3°.

1.5 Materiál tvářecích segmentů

Tvářecí segmenty jsou vyráběny z kruhového materiálu o $\phi 100 \div 200$ mm a délce $100 \div 200$ mm. Tvářecí segmenty jsou vyráběny z různých materiálů. Materiál se mění dle požadavků zákazníka. Byl vybrán materiál dle platné normy ČSN 19 312. Jedná se o vysoko legovanou nástrojovou ocel. Polotovar je při první operaci upnut na horizontální CNC soustruh VIVA TURN 2 [3, 4], výkres segmentu je přiložen do přílohy 1:

Materiál polotovaru: ČSN 19 312 – 90MnCrV8 – 1.2842 [3, 4]:

- nástrojová ocel označovaná jako tzv. „stabilka“,
- výborná rozměrová stálost při tepelném zpracování,
- dobrá prokalitelnost v oleji,
- dobrá povrchová tvrdost a houževnatost,
- odolná proti opotřebení
- dobré tváření za tepla,
- vhodná pro výrobu nástrojů s dobrou trvanlivostí a nízkými náklady,
- vhodná pro leštění.

Doporučené použití materiálu ČSN 19 312 [3, 4]:

- řezné a lisovací nástroje,
- nástroje pro stříhání za studena,
- nástroje pro tváření a studena – ohýbání, zakružování, tažení,
- malé formy pro tváření plastických hmot a pryže,
- výroba kalibrů, šablon, pravítek a kluzných lišt.

Mechanické vlastnosti materiálu ČSN 19 312 [3, 4]:

- mez pevnosti $R_m = \text{min. } 740 \text{ MPa}$,
- tvrdost po žíhání na měkko HB = max. 229,
- tvrdost po kalení HRC = 63.

Tab. 1.1 Tepelné zpracování materiálu ČSN 19 312 [3, 4]:

Technologie	Teplota [°C]	Postup ochlazování
Žíhání na měkko	820 ÷ 860	pec
Žíhání na snížení vnitřního pnutí	600 ÷ 650	pec - materiál žíhaný na měkko
Žíhání na snížení vnitřního pnutí	500 ÷ 550	pec - zušlechtěný materiál
Kalení	950 ÷ 980	olej, vzduch nebo solná lázeň

Tab. 1.2 Chemické složení materiálu ČSN 19 312 [3, 4]:

Chemické složení [%]							
Značení	C	Si	Mn	P _{max}	S _{max}	Cr	V
ČSN 119 554	0,85 ÷ 0,95	0,10 ÷ 0,40	1,90 ÷ 2,10	0,030	0,03	0,20 ÷ 0,50	0,05 ÷ 0,15

1.6 Bodový postup výroby tvářecích segmentů

Výroba tvářecích segmentů pro End-Forming probíhá na různých pracovištích, jak je znázorněno v bodovém postupu výroby (tab. 1.3). Stroje jsou zakoupeny od odlišných firem.

Tab. 1.3 Bodový postup výroby segmentů.

Bodový postup výroby segmentu	Označení stroje
Upnout tyč do zakusovacích čelistí	VIVA TURN 2
Zarovnat čelo	VIVA TURN 2
Hrubovat konturu	VIVA TURN 2
Dokončit konturu	VIVA TURN 2
Přeupnout obrobek za druhý konec do měkkých čelistí	VIVA TURN 2
Zarovnat čelo na požadovanou délku	VIVA TURN 2
Hrubovat konturu	VIVA TURN 2
Dokončit konturu	VIVA TURN 2
Frézovat závity	HAAS VF-2
Rozřezat na počet segmentů (6/8)	-
Upnout obrobek do přípravku	HAAS VF-2
Frézovat horní plochu	HAAS VF-2
Frézovat boční plochy	HAAS VF-3
Kontrola	-
Kalení	-
Brousit plochu	FSM 2250
Kontrola	-

V tabulce 1.3 je vyznačena operace žlutou barvou na CNC frézce VF-2. Při této operaci je segment upnut v stávajícím přípravku. Při obrábění vznikají vibrace i při malé šířce záběru ostří $a_p = 0,5$ mm. Daná operace bude podrobněji popsána v další podkapitole.

1.7 Strojní vybavení firmy OMNI-X CZ

Firma Omni-X CZ disponuje širokou škálou obráběcích strojů od různých firem. V následující kapitole budou rozebrány pouze stroje, které jsou obsaženy v bodovém postupu.

Obráběcí stroje z tab. 1.3 byly zakoupeny od následujících firem:

- Haas Automatic Inc (Hass) – CNC vertikální centrum VF-2, VF-3,
- ZENITEC s.r.o. (zastupující společnost SMTCL) - CNC horizontální soustruh VIVA TURN 2,
- Metallkraft - Bruska na plochu FSM 2250.

CNC Stroj HAAS VF-2 a VF-3

Tyto CNC stroje byly zakoupeny od firmy Haas Automatic. Haas patří mezi největší výrobce obráběcích strojů v Evropě [5].

V sortimentu firmy lze naléznout [5]:

- CNC vertikální centra,
- CNC horizontální centra,
- CNC soustruhy,
- otočné produkty a děličky.

CNC stroje VF-2 a VF-3 patří k nejmenším obráběcím centrum, kterou firma Haas nabízí. Jeho parametry (tab. 1.4) jsou natolik dostatečné, aby výroba přesných komponentů do End-Formingu byla vyhovující. CNC stroj disponuje vlastním řídicím systémem, který firma Haas navrhla sama. Tento systém je téměř shodný s FANUCem.

Specifikace CNC stroje VF-2

Vertikální centrum 30“ x 16“ x 20“ (762 x 406 x 508 mm) kužel ISO 40, vektorový pohon 30 hp (22,4 kW), 8 100 ot/min, měnič nástrojů karuselového typu s 20 kapsami, rychloposuv 25,4 m/min, modul detekce výpadku napájení, programová paměť 1 GB, 15“ barevný monitor LCD, USB port, zámek paměti pro přední závěsný panel, tuhé řezání vnitřního závitu a velkoobjemový chladicí systém s kapacitou 55 galonů (208 litrů) více v tab. 1.4 [5].

Specifikace CNC stroje VF-3

Vertikální centrum 40“ x 20“ x 25“ (1 016 x 508 x 635 mm), kužel ISO 40, vektorový pohon 30 hp (22,4 kW), 8 100 ot/min, měnič nástrojů karuselového typu s 20 kapsami, rychloposuv 25,4 m/min, modul detekce výpadku napájení, programová paměť 1 GB, 15“ barevný monitor LCD, USB port, zámek paměti pro přední závěsný panel, tuhé řezání vnitřního závitu a velkoobjemový chladicí systém s kapacitou 55 galonů (208 litrů) více v tab. 1.4 [5].

Tab. 1.4 Parametry CNC stroje VF-2 a VF-3 [5].

Technické parametry stroje	VF-2	VF-3
Dráha pojezdu	762 x 406 x 508 mm	1 016 x 508 x 635 mm
Rozměry stolu	914 x 356 mm	1 219 x 457 mm
Šířka T-drážek	16 mm	16 mm
Maximální zatížení stolu - rovnoměrné	1 361 kg	1 588 kg
Max. výkon na vřetení	22,4 kW	22,4 kW
Max. otáčky	8 100 ot/min,	8 100 ot/min,
Max. kroutící moment	122 N·m	122 N·m
Max. kroutící moment s volitelnou převodovkou	339 N·m	339 N·m
Rychloposuv	16,5 m/min	16,5 m/min
Počet nástrojů v zásobníku	20	20



Obr. 1.21 CNC stroj VF-2 [5]. Obr. 1.22 CNC stroj VF-3 [5].

CNC stroje VF-2 a VF-3 lze zakoupit také s dalším volitelným příslušenstvím nebo službami, které Hass nabízí [5]:

- chlazení středem nástroje,
- sondy,
- automatický výměník palet,
- prodloužená záruka na 1 rok,
- atd...

Horizontální soustruh VIVA TURN 2

CNC stroj VIVA TURN 2 byl zakoupený od české společnosti ZENITEC s.r.o., která je oficiálním distributorem společnosti SMTCL v ČR. Jedná se o největší společnost zaměřenou na výrobu obráběcích strojů se sídlem v Shenyangu s pobočkou v Německu a Číně [6].

Mezi strojní sortiment firmy ZENITEC s.r.o., patří [6]:

- CNC vertikální centra,
- CNC horizontální soustruhy,
- CNC vertikální soustruhy,
- horizontální vyvrtávačky,
- vrtačky.

Specifikace soustruhu VIVA TURN 2

CNC stroj o značení VIVA TURN 2 patří mezi menší horizontální soustruhy, jeho označení T2C specifikuje rozsahy soustružení, průměry vřetena, otvoru pro tyč, velikosti maximálního průměru soustružení atd. I když se jedná o menší soustruh, jeho přesnost, tuhost i rozměry stroje dostatečně vyhovují k výrobě segmentů. Řídicím systémem je

FANUC / SIEMENC. Tuto možnost lze vybrat při nákupu stroje. Specifikace stroje budou popsány v následující tab. 1.5 [6].

Tab. 1.5 Parametry CNC stroje VIVA TURN 2 [6].

Technické parametry stroje	
Max. oběžný průměr nad ložem	φ560 mm
Max. délka soustružení	500 mm
Max. průměr soustružení	φ280 mm
Max. oběžný průměr nad suportem	φ360 mm
Průměr otvoru vřetena	φ65 mm
Max. průměr tyčoviny	φ65 mm
Max. otáčky vřetene	30 - 4500 ot/min
Výkon motoru vřetena	11/15 kW
Max. kroučící moment vřetena	235 Nm
Počet nástroju v zásobníku	20
Průměr sklíčidla	8"
Rozsah posuvu os X/Z	200/560 mm
Hmotnost stroje	4 000 kg
Počet nástrojů	8 ks



Obr. 1.23 Horizontální soustruh VIVA TURN 2 [6].

Bruska na plocho FSM 2250

Bruska označená jako FSM 2250 byla vyrobena německou společností Metallkraft. Firma se zabývá výrobou kovoobráběcích strojů, které jsou určené na [7]:

- broušení,
- stříhání,
- děrování,
- řezání.

Bruska má vysokou tuhost, přesnost ($\pm 2 \mu\text{m}$). Upínání je řešené pomocí elektromagnetické upínací desky. Pohon v ose Z je počítačově řízený [7].

Specifikace brusky FSM 2250

Tab. 1.6 Parametry brusky FSM 2250 [7].

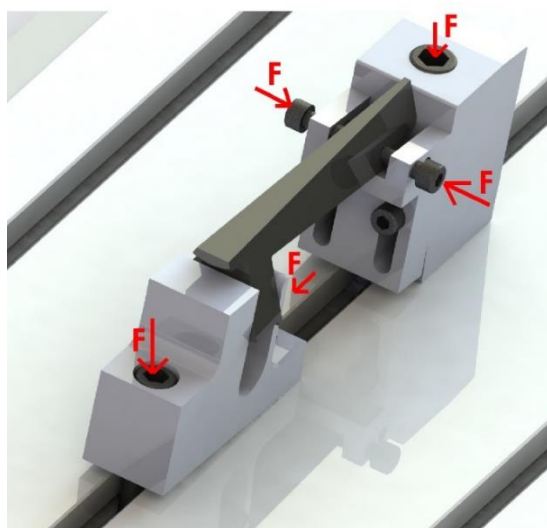
Technické parametry stroje	
Rozměry upínací desky	250 x 500 mm
Rychlost posuvu stolu	5 - 25 m/min
Rozměry brusného kotouče	180 x 13 x 31,75 mm
Otáčky	2900 ot/min
Příkon motoru	1 500 W
Elektrické připojení	400 V
Hmotnost stroje	1 350 kg



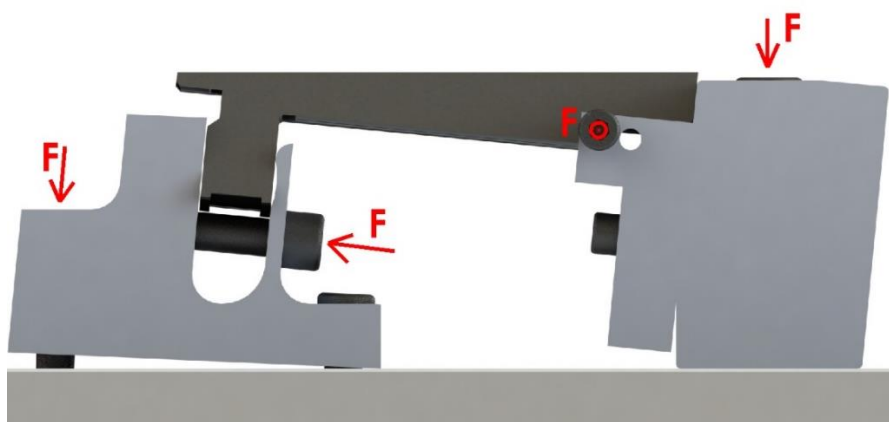
Obr. 1.24 Bruska na plocho FSM 2250 [7].

1.8 Rozbor stávajícího upnutí tvářecích segmentů

Výroba tvářecích segmentů probíhá na CNC stroji od firmy Hass s označením VF-2. Ve snaze vytvořit univerzální přípravek, do kterého je možnost upnout všechny typy tvářecích segmentů, které firma OMNI-X CZ vyrábí. Byl navrhnout následující přípravek, znázorněný na obr. 1.25, 1.26.



Obr. 1.25 Stávající přípravek pro upnutí tvářecích segmentů – isometrický pohled.



Obr. 1.26 Stávající přípravek pro upnutí tvářecích segmentů – boční pohled.

Tento přípravek byl navrhnout při zárodcích výroby END-Formingu ve firmě OMNI-X CZ. Nedokonalost přípravku je zásadní v následujících bodech:

- přípravek je upnutý pod úhlem 3° nebo $5,5^\circ$ nedoléhá na plochu,
- vibrace při obrábění,
- malá šířka záběru ostří při obrábění ($a_p = 0,5$ mm),
- nedostačující tuhost upnutí.

Tyto problémy, které vznikají při frézování, jsou velice zásadní na kvalitu, rychlost a tudíž hlavně cenu výroby. Z důvodů, které byly vypsány výše, byla tato operace vybrána jako hlavním podmínkem pro racionalizaci výroby.

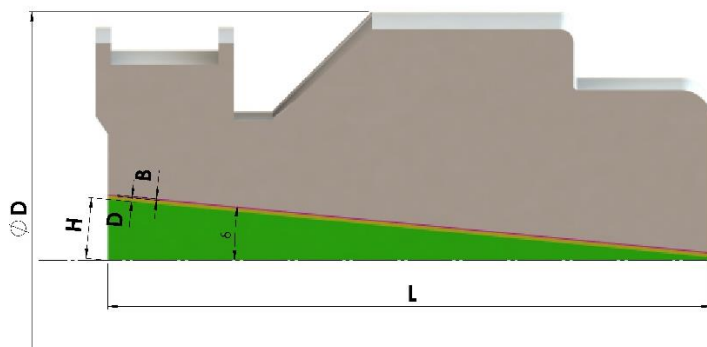
2 ROZBOR MOŽNÝCH SMĚRŮ RACIONALIZACE VÝROBY

Na jednu zakázku, která je objednána a předána do výroby, je potřeba vyrobit 6 – 18 ks tvářecích segmentů. Tento počet je nízký a proto lze výrobu zařadit do kusové výroby. Z tohoto důvodu optimalizace strojního času nehraje až takovou roli při výrobě.

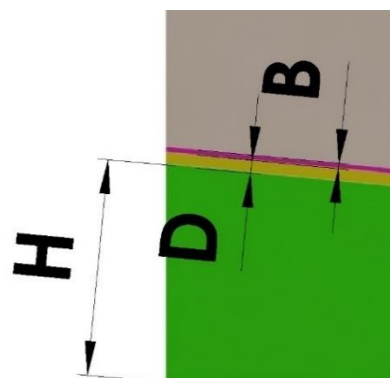
2.1 Statistické rozměry tvářecích segmentů

Při obrábění tvářecích segmentů dochází k 3 technologickým operacím (obr. 2.1, 2.2):

- hrubování – rozměr H , vykreslen zelenou barvou,
- dokončování – rozměr D , vykreslen žlutou barvou,
- dokončování bruskou – rozměr B , vykreslen fialovou barvou.



Obr. 2.1 Hloubka třísky při obrábění segmentu.



Obr. 2.2 Detail hloubky třísky.

Tab. 2.1 Statistický soubor rozměrů tvářecích segmentů.

Segment 5,5°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Počet segmentů [ks]	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8
Ø D [mm]	126	104	126	127	126	126	127	104	104	104
L [mm]	161	132	113	142	113	161	150	145	172	172
a_{pmax} [mm]	14,1	10,5	9,8	13,6	12,5	14,1	13,4	10,5	8,4	8,4
Segment 3°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Počet segmentů [ks]	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8
Ø D [mm]	127	127	127	104	126	126	104	104	127	104
L [mm]	150	150	150	132	113	161	132	172	142	172
a_{pmax} [mm]	6,4	6,4	6,4	8,8	5,78	10,5	6,7	6,7	9,8	6,7

Ze statistických údajů poskytnutých firmou OMNI-X CZ (tab. 2.1) lze konstatovat, že rozměr H nabývá hodnot $5,7 \div 14,1$ mm. Šířka záběru ostří pro dokončení je zvolena $D = 0,5$ mm. Šířka záběru ostří pro broušení byla zvolena $B = 0,3$ mm. Při procesu frézování maximální šířka záběru ostří může nabýt právě hodnoty $H_{max} = 14,1$ mm. Tato hodnota bude následně používána pro výpočet řezné síly F_c . Právě v tento okamžik, jakmile šířka záběru ostří a_p dosáhne hodnoty H_{max} , bude teoreticky působit maximální řezná síla F_c vyvinutá

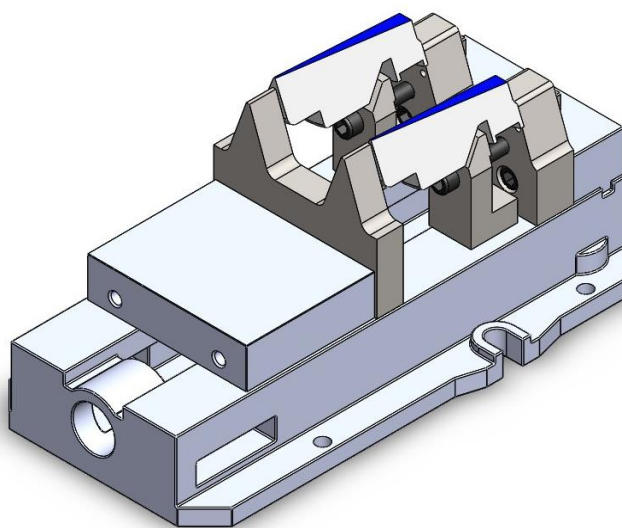
frézou, která obrábí zeleně vyznačenou oblast na obr. 2.1 a 2.2. Za předpokladu, že frézovací nástroj bude obrábět na maximální možný šířku záběru ostří.

2.2 Mechanický svěrák

Mezi nejtypičtější upínací systémy patří právě svěráky. Firma OMNI-X CZ nakupuje svěráky od firmy ZJP s.r.o, kteří jsou distributory značky BISON. Tyto svěráky s označením 6523 jsou používány na většině CNC strojů, kterými firma disponuje. Svěrák dokáže vyvinout upínací sílu o velikosti 45 000 N. [8], příloha 2.

Tab. 2.2 Výhody a nevýhody svěráku BISON 6523 [8].

Výhody	Nevýhody
Jednoduché upnutí	Obráběcí plocha pod úhlem - nutnost použití kulové frézy
Upnutí až dvou tvářecích segmentu do jednoho svěráku	Nutnost zkonstruování vlastních upínacích čelistí
Upnutí více přípravku svěráků na desku stroje	Velká hmotnost 34.2 kg - nutnosti jeřábu



Obr. 2.3 Varianta č. 1 – Mechanický svěrák BISON.

2.3 Naklápěcí hydraulický svěrák

Na svěrák vyrobený společností VERTEX je možné upínat obrobek na nastavitelném úhlu v rozmezí $0^\circ \div 50^\circ$. Dalším důležitým parametrem svěráku patří rozevření čelistí, které dosahují hodnot v rozmezí $0 \div 170 / 300$ mm. Společnost vyrábí svěrák ve dvou variantách s označením VHT-4 a VHT-6. Tyto svěráky mají vyměnitelné dorazy. V tabulce 2.3 jsou vypsány důležité parametry pro uvedené svěráky [9], příloha 3.

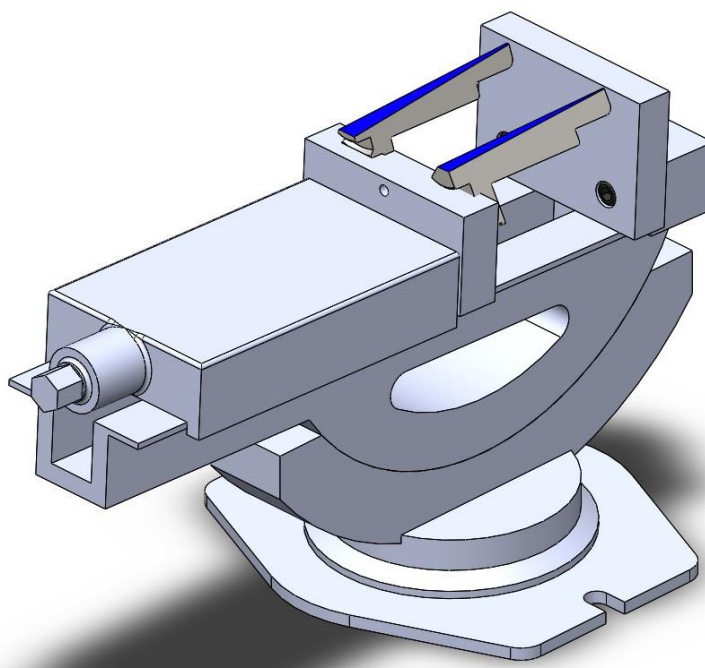
Tab. 2.3 Parametry hydraulických svěráku VHT [9].

Označení svěráku	Max. rozevření [mm]	Max. upínací síla [kgs]	Max. upínací síla [kN]	Hmotnost [kg]
VHT-4	170	2 500	24.5	34
VHT-6	300	4 500	44.1	88

Jak výše bylo zmíněno, tak tvářecí segmenty dosahují až délky $L = 200$ mm. Svěrák VHT-6 umožňuje maximální rozevření čelistí až 300 mm. Tento parametr je klíčový pro vybrání správného typu svěráku.

Tab. 2.4 Výhody a nevýhody naklápěcího hydraulického svěráku.

Výhody	Nevýhody
Vodorovná obráběcí plocha	Velké rozměry svěráků
Upnutí až dvou tvářecích segmentu do jednoho svěráku	Nutnost zkonstruování vlastních upínacích čelistí
Upnutí více přípravku VHT-6 na desku stroje	Velká hmotnost 88 kg - nutnosti jeřábu



Obr. 2.4 Varianta č. 2 – Naklápěcí hydraulický svěrák.

2.4 Modulární systém

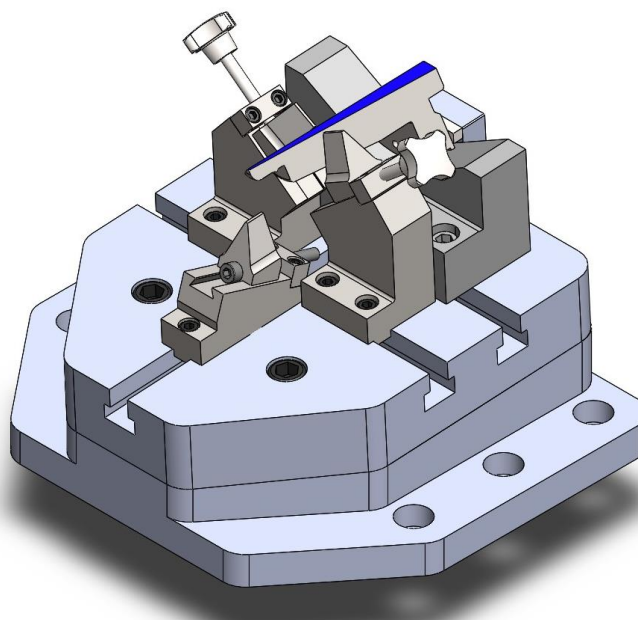
Modulární přípravky se používají pro celou skupinu obrobku se společnými konstrukčně-technologickými znaky, s obdobnou polohou obráběných ploch, s podobnými požadavky na přesnost a jakost povrchu [10].

Tyto přípravky se skládají ze stálých, seřiditelných nebo vyměnitelných součástí. Mezi stálé součásti patří právě těleso – základní deska přípravku, upínací mechanismus a jeho silová upínací jednotka. Mezi vyměnitelné součásti se navrhuje podle zvláštností tvaru každé součásti skupiny a vyměňují se při přechodu z obrábění dávky obrobku jednoho druhu na obrábění jiných druhů [10].

Modulární přípravek se nekonstruuje individuálně pro každý obrobek, ale pro celou skupinu najednou. Z ekonomického hlediska je dokázáno, že se zřetelem na větší počet vyráběných součástí je hospodárnější zkonstruovat pro celou skupinu i složitější základní skupinový přípravek a v něm se vyměňují pouze některé součásti nebo celé jednoduché mechanismy [10].

Tab. 2.5 Výhody a nevýhody modulárního systému.

Výhody	Nevýhody
Systém je pouze omezen rozměry základní upínací desky	Nutnost zkonstruování vlastního upínacího systému
Upnutí více přípravku na desku stroje	Upnutí pouze jednoho tvářecího segmentu
Lze vyrobit ve firmě OMNI-X CZ	Delší čas výměny obrobku než u svěráku
Smontovatelnost přípravku	Vyvinutí veškerých upínacích sil pomocí šroubu
Univerzálnost	Hmotnost 56 kg
Nížší pořizovací náklady	



Obr. 2.5 Varianta č. 3 – Modulární systém.

3 NÁVRH KONKRÉTNÍHO DOPORUČENÉHO SMĚRU RACIONALIZACE VÝROBY

V posledních letech rozvoje strojírenské výroby, při dodržování trendů modernizace a optimalizace výroby je kladem stále větší důraz na rychlejší manipulaci, kvalitu práce, štihlou výrobu, bezpečnost práce a kvalitnější upnutí polotovaru při obrábění [11].

Po prozkoumání technologie výroby, bylo zjištěno, že zásadním problémem při výrobě je právě přípravek, který je absolutně nevhodným ve stávajícím stavu.

3.1 Zhodnocení možných variant

Svěrák BISON:

- obráběcí plocha je nakloněná pod úhlem 3° nebo 5,5°,
- z hlediska dostupnosti svěráků BISON ve firmě a jejich dostatek je jejich použití vhodnou náhradou – nižší náklady,
- zkonstruování výměnných upínacích čelistí do svěráku by bylo nutné – v případě, že by byl použit návrh z obr. 2.3,
- není specifikované vymezení stupňů volností bočních stran segmentů,
- hrubovací operace musí být rozložena do více řezů a tím se prodlouží strojní čas,
- dokončovací operace, by musela být frézována kulovou frézou – delší strojní čas.

Naklápěcí hydraulický svěrák:

- svěrák umožňuje nastavit obráběnou plochu rovnoběžně s pracovní deskou CNC frézy,
- svěráky VHT-6 jsou velice těžké a manipulace je nutná pomocí jeřábu,
- nutnost zkonstruování výměnných upínacích čelistí do svěráku,
- hrubovací i dokončovací operace je teoreticky možné provést na jeden řez.

Modulární systém:

- přípravek je omezen velikostí základní desky upevněný na CNC stroji,
- výroba redukční desky, která určuje nastavení úhlu horizontálního obrábění,
- modulární systém je lehce smontovatelný,
- hrubovací i dokončovací operace lze zpracovat na jeden řez,
- dorazy mohou být pohyblivé,
- vytvoření upínací síly pomocí šroubů.

Návrh přípravků je složitější a jejich konstrukce musí být předem důmyslně promyšlena. Při návrhu použití svěráku BISON se počítá s hrubováním čelní válcovou frézou, která by

schodově odebírala třísku. V druhé operaci by probíhalo dokončování kulovou frézou, která by značně zvýšila strojní čas. Hmotnost svěráku však přesahuje 15 kg a je nutné manipulovat svěrákem pomocí jeřábu, který je na hale k dispozici.

Návrh, jak odstranit z výrobního procesu kulovou frézu, vymyslet mechanismus, který obráběnou plochu dostane do horizontální polohy a nastavit plochu rovnoběžně s řeznými zuby frézy, která materiál odebírá. Tato myšlenka by byla zrealizovatelná pomocí naklápěcího svěráku od firmy VERTEX s označením VHT-6. Hmotnost svěráku je 86 kg a manipulovatelnost svěrákem je značně náročná. Další nevýhodou je, že rozměry svěráku jsou velké a muselo by se dbát na pohyby frézy při odjíždění od obrobku v prostoru obrábění.

Další možností by bylo navrhnout přípravek, který by dostal obrobek do požadované polohy (pod úhlem), byl jednoduchý na upnutí, hmotnost byla nízká a opakovatelnost upnutí by byla snadná. Po prozkoumání dodavatelů, distributorů, katalogů i internetových stránek bylo dospěno k závěru, že žádný z výše zmíněných prodejců nedodává námi požadovaný systém upnutí. Je tedy nutné zkonstruovat přípravek dle vlastních požadavků. Přípravek, který je typově nazvaný modulární systém byl navrhnout v programu Solid Works a jeho 3D model je zobrazen na obr. 2.5.

Navrnutím správného přípravku, který bude zajišťovat pevné a bezpečné upnutí obrobku v přípravku, dovoluje následně zvýšit řezné podmínky při obrábění a tedy i zvýšit produktivnost obráběcího procesu. Při samotném procesu obrábění by také šlo vyměnit výměnné břitové destičky (VBD), které by byly vhodnější pro tento proces a to by mělo dopad na tyto parametry:

- zvýšení řezné rychlosti v_c ,
- zvýšení hloubky řezu a_p ,
- zvýšení posuvu na zub f_z ,
- zkrácení strojního času t_{as} .

Modulární systémy lze také zakoupit od různých výrobců, avšak výroba tvářecích segmentů je natolik specifická, že zkonstruování vlastního systému dle přesných specifikací firmy OMNI-X CZ je nejlepším řešením.

4. ROZPRACOVÁNÍ VYBRANÉHO NÁVRHU RACIONALIZACE VÝROBY

Upínacím přípravkem lze zefektivnit výrobu např. zkrácením upínacích časů, zlepšením obrobeného povrchu. Přípravek je nutný navrhnout tak, aby byl vhodný pro výrobu segmentů, tedy splňoval podmínku obrobení povrchů nejlépe na jedno upnutí a variaci obrábění segmentu typu I/O, CE. Všechny tyto druhy segmentů se vyrábí jako 6-ti, nebo 8-mi segmentových. Z tohoto důvodu je požadováno, aby přípravek byl univerzální. Tedy bylo do něj možné upnout všechny tyto typy a podtypy segmentů. Každý segment je vyráběn v různých rozměrech a samozřejmě i tento faktor je třeba zahrnout při návrhu upínacího přípravku.

4.1 Teorie upínacích přípravků

Snahou firmy by mělo být vyrobít přípravek takovým způsobem, který je nejméně náročný na obsluhu a materiál. Technologie obrábění je komplikovaná věda, kde složitost obráběcích procesů je na první pohled zřejmá. Cílem výroby (polotovary -> výrobek) je zajistit požadovanou kvalitu za co nejmenší možné náklady při nejvyšší produktivitě. Tato podmínka není snadná, a většinou je to považováno za „know-how“ firmy. Velice častým problémem je nalezení rovnováhy mezi produktivitou a náklady na obrábění. Zde nastávají dvě možná řešení [10, 12, 13, 14]:

- dát přednost vyšší produktivitě práce – maximální využití obráběcích strojů, zvýšení nákladů na řezné nástroje,
- snížení řezných parametrů – delší obráběcí časy, vyšší trvanlivost nástrojů.

Přípravky lze definovat jako pomocná zařízení určená [10, 12, 13, 14]:

- k jednoznačnému ustavení a k pevnému uchycení součásti při jejich obrábění,
- k vzájemnému udržení součásti při jejich sestavování v celek,
- k vedení nástroje,
- ke kontrole rozměrů na obrobku.

Rozdělení upínacích přípravku dle hledisek [10, 12, 13, 14]:

- **Použitelnost:**
 - univerzální – k upnutí více druhů obrobku téhož typu, avšak různých rozměrů a tvarů,
 - skupinové – celý přípravek nebo jeho část je určena pro skupinu součástí.
 - kládají se ze stálých nebo vyměnitelných součástí,
 - stavebnicové – jsou sestaveny z typizovaných dílů ve výsledný přípravek,
 - speciální – jsou určeny k upnutí jednoho obrobku v určité operaci. Jsou to jednoúčelová zařízení pro pevnější upnutí.

- **Operační:**

- obráběcí - k upnutí v určité poloze vzhledem k nástroji. Nástroj je veden do místa řezu,
- montážní – k přidržení součásti při jejich vzájemném rozebíratelném nebo nerozebíratelném spojení,
- kontrolní – ke kontrole rozměrů či geometrických tvarů.

- **Zdroje upínací síly:**

- s ručním upínáním – jsou konstruovány tak, aby vynaložená síla dělníka k upnutí obrobku byla co nejmenší a doba k výměně nebo uvolnění co nejkratší,
- mechanickým upínáním – použitá upínací síla mechanicky vyvolaná:
 - stlačený vzduch (pneumatické),
 - tlaková kapalina (hydraulické),
 - elektromotoricky (cívka + jádro),
 - magneticky (elektromagnety),
 - podtlakem (přísátím základny – nutné dokonalé těsnění),
 - kombinace předcházejících.

Zásady konstrukce přípravků:

Při vlastní konstrukci upínacího přípravku je nutno dodržet tyto zásady [10, 12, 13, 14]:

- před samotným návrhem je nutné, aby byl pracovní postup výroby součásti jasný,
- při upnutí v první operaci a následném obrobení je nutné získat plochu pro upnutí a ustanovení v nadcházející operaci,
- obráběná plocha musí ležet co neblíže k upínací síle (stabilita přípravku),
- přípravek musí být dostatečně tuhý,
- poloha obrobku musí být zajištěna pevnými dorazy,
- řezný odpor by měl působit proti pevným dorazům,
- upnutí musí být nenáročné, rychlé, jednoduché při použití malé síly,
- prvky upínacího přípravku nesmí překážet upínací pohybu nástroje a odcházejícím třískám,
- při manipulaci přípravku těžšího než 15 kg je nutné ho navrhnout se závěsnými oky,
- při návrhu je nutné dbát na obráběné plochy obrobku a snadný přístup k očištění,
- dosedací plochy musí být tvrdé a vyměnitelné,

- přípravky upínané na vřeteno stroje musí být vyvážené, lehké, aby nezvyšovali setrvačnou sílu (moment setrvačnosti),
- dbát na vzhled upínacího přípravku a jeho rozměry,
- při návrhu je nutné použít co nejvíce normalizovaných nebo dříve vyrobených / použitých součástí – značná úspora nákladu,
- konstrukce nesmí umožnit vložení obrobku a následného upnutí obráceným způsobem,
- pokud lze použít normalizovaný přípravek (svěrák, skličidlo), které lze upravit.

Zásady volby materiálu:

Zvolený materiál přípravku musí vyhovovat všem požadavkům, které jsou kladeny na daný přípravek [10, 12, 13, 14]:

- tuhost,
- přesnost,
- pevnost,
- odolnost proti opotřebení,
- pracovní prostředí,
- požadovaná přesnost obrobku,
- cena materiálu.

V případě, že přípravek je složitý a objemný, lze každou část přípravku vyrobit z jiného materiálu. Tedy znatelně snížíme výrobní náklady upínacích přípravků.

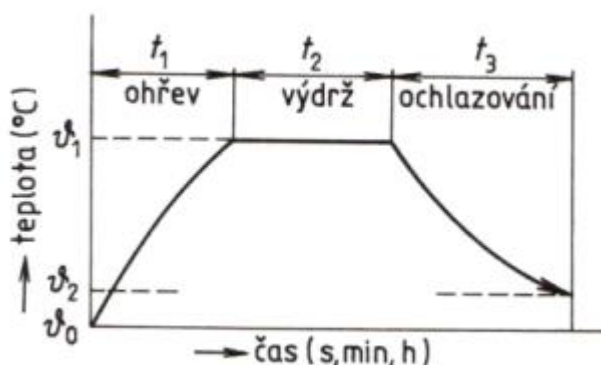
4.2 Tepelné a chemicko-tepelné zpracování

Proces tepelného zpracování lze pochopit jako záměrné využívání fázových a strukturních přeměn v tuhém stavu ke změně struktury a tím získání požadovaných mechanických nebo strukturních vlastností materiálu [15, 16].

Mezi technologie, které budou použity při výrobě přípravku, patří kalení a cementování. Veškeré dosedací plochy součástí, které budou namáhané, je potřeba cementovat pro zvýšení tvrdosti na povrchu a zachování houževnatého jádra [15, 16].

Princip tepelného zpracování spočívá v:

- 1 – ohřev na požadovanou teplotu,
- 2 – výdrž na požadované teplotě,
- 3 – ochlazování určitou rychlostí (změny struktury se dosáhnou řízenými změnami teploty) obr. 4.1 [15].

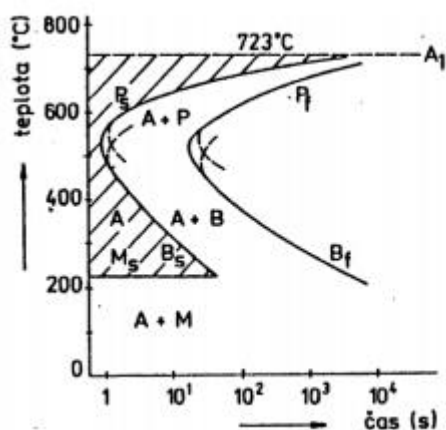


Obr. 4.1 Obecný diagram tepelného zpracování [15].

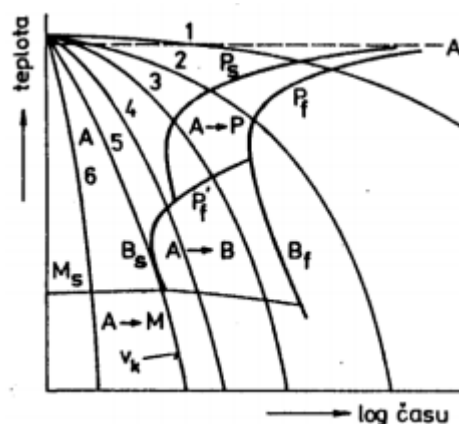
Diagramy IRA, IRA, nerovnovážné struktury:

Transformační diagramy austenitu ukazují teplotní závislost na času v průběhu přeměn přechlazeného austenitu [11, 16].

- izotermické (IRA) – čas přeměn austenitu za izotermických podmínek (konstatní teploty), obr. 4.2,
- anizotermické (ARA) – čas při různých rychlostech jeho ochlazování, obr. 4.3.



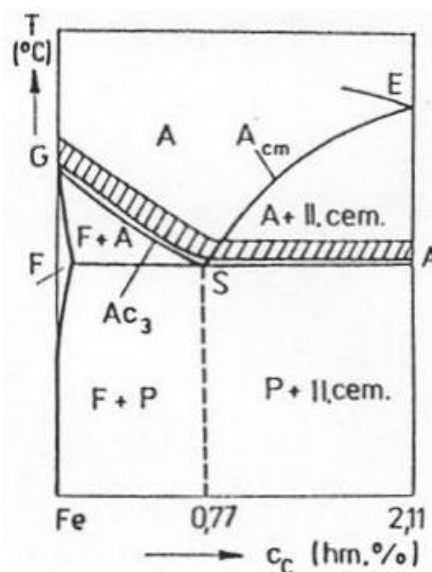
Obr. 4.2 IRA diagram [12].



Obr. 4.3 ARA diagram [12].

Kalení:

Účelem kalení je zvýšení tvrdosti ocelí vytvořením částečně nebo zcela nerovnovážné struktury. Při ohřevu dosahujeme teploty nad astenitizační teplotu (u podeutektoidních ocelí $30 \div 50 \text{ }^\circ\text{C}$ nad A_{c3} , u nadeutektoidních ocelí nad A_{c1} , viz obr. 4.2). Po výdrží na zmíněné teplotě následuje ochlazení rychlostí větší než kritickou, která zapříčiní vzniku martenzitu nebo bainitu. Oceli s obsahem uhlíku menší než 0,2% jsou nekalitelné [11, 16].



Obr. 4.4 Kalicí teploty v diagramu Fe-Fe₃C [10].

Martenzitická přeměna vzniká při výrazném přechlazení austenitu za nízkých teplot (není možná difúze substitučních prvků ani uhlíku). Produktem přeměny, která probíhá mezi M_s a M_f je martenzit (viz obr. 4.4), který je nerovnovážný tuhý roztok uhlíku v železe α (přesycený) [11, 15, 16].

Bainitická přeměna začíná až po tzv. „inkubační periodě“ a produktem je směs feritu a karbidů. Bainit se tvoří izotermicky (viz. obr. 4.3) a anizotermicky (viz. obr. 4.4). Je potřeba značné prechlazení jako u martenzitické přeměny [11, 15, 16, 17].

Cementování:

Cementování patří do skupiny chemicko-tepelného zpracování. Při postupu dochází k nasycení povrchu uhlíkem (v plynném, kapalném). Pro cementování jsou vhodné měkké konstrukční oceli s obsahem uhlíku do 0,2% při teplotách nad A_{c3} . Tvrdost povrchu se dosáhne vytvoření kalitelné povrchové vrstvy (zvýšení obsahu uhlíku na $0,7 \div 0,9\%$) a následného zakalení. Hloubka cementované vrstvy je nejčastěji do 1 mm. Vyšší obsah uhlíku ve vrstvě (více než 1%) se projeví vyloučením nadeutektoidních karbidů (jsou nebezpečné, pokud jsou rozloženy na hranici zrn) a velmi snižují houževnatost vrstvy. Ocel se ohřeje na teplotu $850 \div 900$ $^{\circ}\text{C}$. Jádro po na cementování jsou houževnaté. Pro cementování jsou vhodné konstrukční oceli s označením XX X1X nebo XX X2X, číslice 1 a 2 označuje obsah uhlíku v desetínách % [11, 15, 16, 17].

Tepelné zpracování po nauhličení – po nauhličení vzniká rozdílný obsah uhlíku na povrchu a v jádře. Následkem vzniká nepříznivé rozložení vnitřních pnutí, a proto je horší volba kalicí teploty. Uhlíkové oceli se kalí do vody, legované do oleje nebo solné lázně. Cementační teplota je pro kalení vrstvy vysoká, po kalení se získává hrubá martenzitická struktura s velkým podílem zbytkového austenitu. Rozdíl mezi cementační teplotou a teplotou kalicí lázně je příčinou vnitřních pnutí a deformací. Legované oceli niklem se zmrazují pro snížení zbytkového obsahu austenitu. Jako poslední operace je popouštění na $150 \div 220$ $^{\circ}\text{C}$ po dobu 1-2 hod. Popouštění pomáhá k odstranění vnitřního pnutí a výrobek se tvarově stabilizuje. Po cementování má mít materiál $58 \div 60$ HRC [11, 15, 16, 17].

Chemicko-tepelné zpracování patří k nedílné součásti výroby přípravků. Pro maximální odolnost vůči opotřebení a stálosti dosedacích ploch je nezbytnou operací při výrobě. Vysoká tvrdost povrchu a houževnaté jádro je typický znak tohoto zpracování [11].

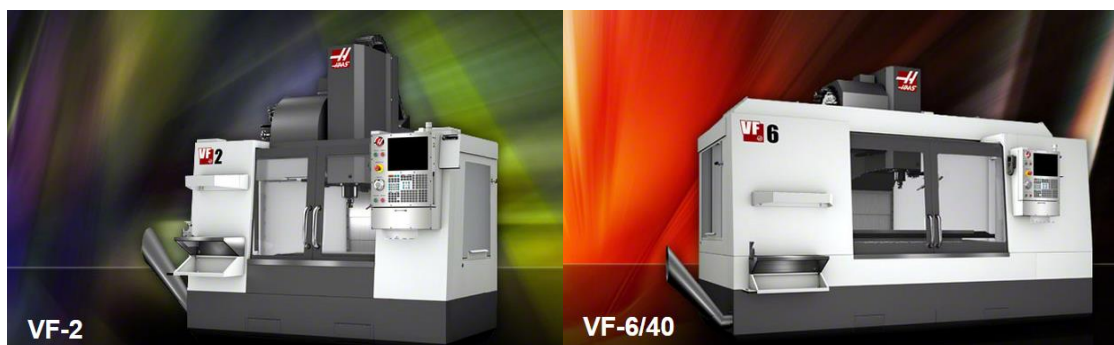
4.3 Volba CNC stroje pro výrobu součástí přípravku

K dispozici jsou dvě CNC vertikální obráběcí frézky s označením VF-2 a VF-6 (obr. 4.6, 4.9). CNC obráběcí centra jsou vybaveny 15" barevným displejem, USB portem a barelem pro uskladnění kapaliny. Důležité parametry stroje budou porovnány v následující tabulce [5].

Specifikace stroje:

Tab. 4.1. Parametry strojů VF-2 a VF-6 [5].

Parametry stroje		
	VF-2	VF-6
Dráha pojezdu	762 x 406 x 508 mm	1 626 x 813 x 762 mm
Rozměry stolu	914 x 356 mm	1 626 x 711 mm
Šířka T-drážek	16 mm	16 mm
Maximální zatížení stolu - rovnoměrné	1 361 kg	1 814 kg
Max. výkon na vřetení	22,4 kW	22,4 kW
Max. otáčky	8 100 ot/min,	8 100 ot/min,
Min. rozlišení	0,001°	0,001°
Rychloposuv	25,4 m/min	15,2 m/min
Počet nástroju v zásobníku	20 ks	24 + 1 ks



Obr. 4.5 CNC stroj VF-2 [5].

Obr. 4.6 CNC stroj VF-6 [5].

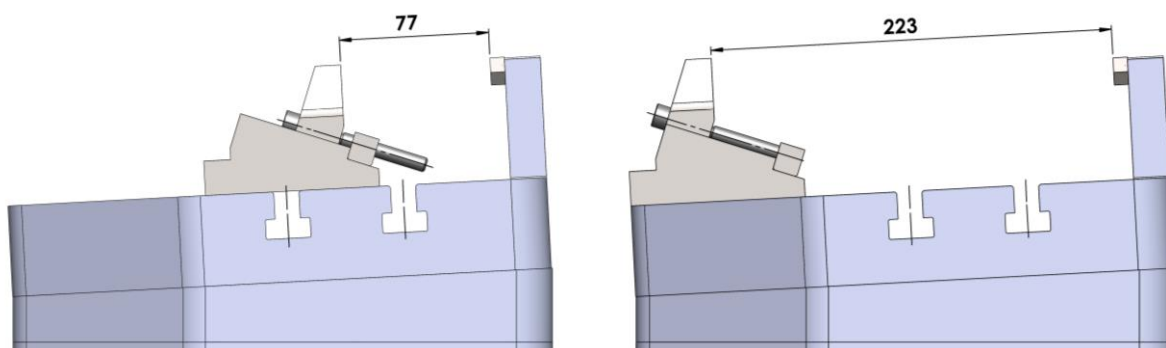
4.4 Maximální a minimální velikost upnutí segmentu do navrhovaného přípravku

Univerzálnost je velice důležitým aspektem při navrhování přípravku. Výrobu tvářecích segmentů lze zařadit do kusové výroby (6 ÷ 24 ks) a z tohoto důvodu byl navrhnout modulární systém, který dovoluje vyměnit komponenty přípravku a zvýšit tedy produktivitu a univerzálnost přípravku. Maximální a minimální upínací hodnoty závisí z větší části na základní desce přípravku, na kterém jsou posuvné segmenty, prizmatické dorazy. Upínací

rozměry jsou také závislé rozteči T-drážek, rozteči upínacích děr pro šrouby. Při návrhu přípravku bylo dbáno na jeho hmotnost, rozměry a universálnost upnutí obrobku pro výrobu tvářecích segmentů.

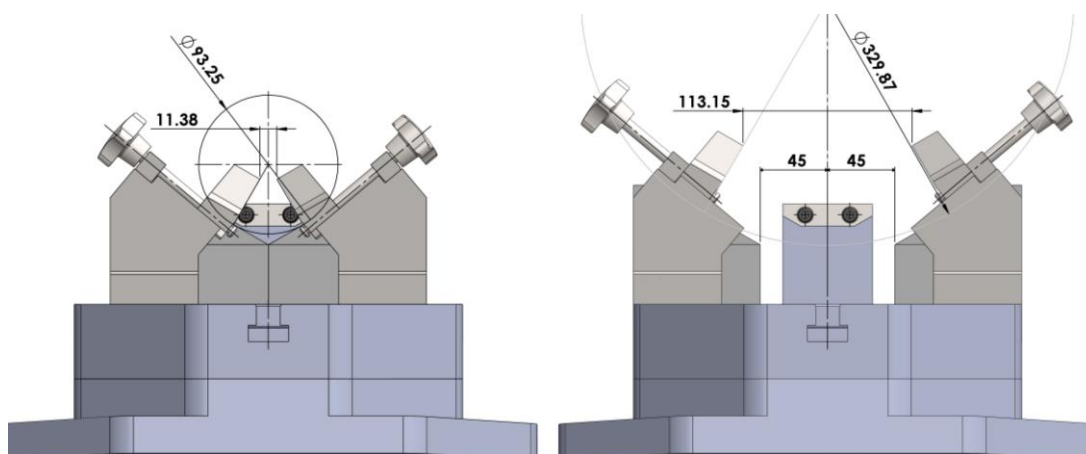
Rizikem tohoto návrhu je, že upínací šrouby, které drží posuvné segmenty, budou upnuté velkou silou (ohybovou a kroučící) a tyto šrouby následně nevydrží. Správnou volnou materiálu lze vytvořit vysoké upínací síly a odolnost materiálu proti deformacím.

Jak bylo pomocí modelů vytvořených v programu Solid Works 2017 zjištěno, lze teoreticky upnout segmenty v rozmezí $77 \div 223$ mm. Maximální hodnotu lze zvětšit případným zkonstruováním větší základové desky. Znázornění polohy segmentů a jejich upnutí je na obr. 4.7.



Obr. 4.7 Minimální a maximální délka upnutí segmentů.

Nejdůležitější stupeň volnosti je vymezen bočními segmenty, které zaručují opakovatelnost výroby při snadném vytáhnutí obrobku z přípravku. Pomocí modelů vytvořených v programu Solid Works 2017 bylo zjištěno, že lze teoreticky upnout tvářecí segment 6-ti segmentový s úhlem 60° o minimálním / maximálním průměru 93 / 329 mm. Tyto hodnoty jsou za předpokladu, že při výměně obrobku jsou boční posuvné segmenty celé posunuty. Tato operace by značně prodloužila vedlejší strojní časy. Je vhodné se operaci vyhnout. Doporučeno je upínat tvářecí segmenty o průměru v rozmezí $110 \div 200$ mm. obr. 4.8.



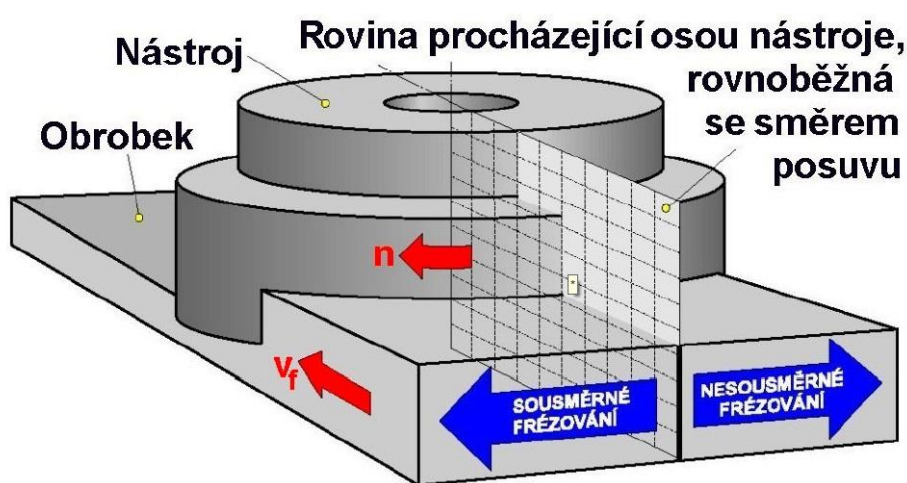
Obr. 4.8 Minimální a maximální průměr upnutí segmentů.

4.5 Výpočet celkové řezné síly

Při frézování působí různé řezné síly, které se snaží vychýlit obrobek z dané polohy, ve které je ustaven. Velikost těchto sil, kterými působí na obrobek je proměnný. Proto zvláště frézovací přípravky musí být dostatečně tuhé, aby byla zajištěna přesnost výroby [18].

Řezná síla ovlivňuje celý průběh obrábění, chování stroje, obrobku i nástroje. Jejich velikost a směr ovlivňuje výše uvedené příklady negativně i pozitivně.

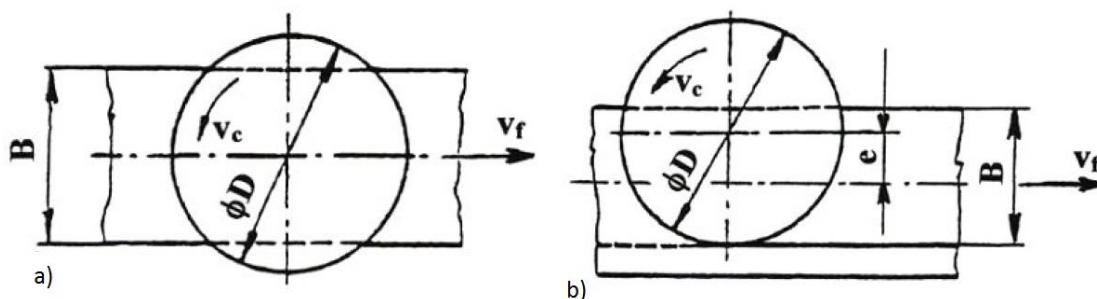
Čelní frézování (obr. 4.9) se uplatňuje při práci s čelními frézami, které mají břity vytvořené na obvodě i čele nástroje. Jako hlavní rotační pohyb u frézování koná nástroj, posuvový pohyb je vedlejší. Tento pohyb je přímočarý (většinou) a koná ho obrobek [18].



Obr. 4.9 Čelní frézování [18].

Podle polohy osy frézy ke frézované ploše se rozlišuje (obr. 4.10) [18]:

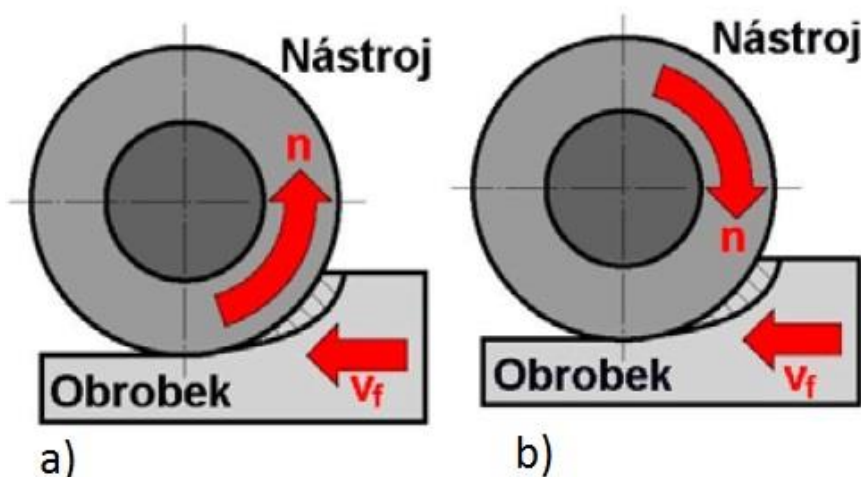
- symetrické (osa nástroje prochází středem frézované plochy),
- nesymetrické (osa nástroje je mimo střed frézované plochy).



Obr. 4.10 Čelní frézování: a) symetrické, b) nesymetrické [18].

V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování (obr. 4.11) [18]:

- nesousledné (protisměru, nesouměrné),
- sousledné (sousměrné).



Obr 4.11 Frézování: a) nesousledné, b) sousledné [18].

Nesousledné frézování

Při obrábění je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky roste z nulové na maximální hodnotu. Vznik silových účinků a deformace způsobuje větší opotřebení břitu. Řezná síla působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu stroje [18]:

- není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
- menší opotřebení šroubu a matice,
- záběr zubů frézy nesouvisí na hloubce řezu (při záběru).

Sousledné frézování

Při obrábění je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu do frézy obrobku. Obrobená plocha se vytvoří, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí směrem dolů proti stolu stroje [18]:

- vyšší trvanlivost zubů > vyšší řezné rychlosti a posuvy,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu > jednoduší upínací přípravky,
- menší náchylnost ke kmitání,
- lepší drsnost obrobeného povrchu.

Firma OMNI-X nakupuje frézovací nástroje od firmy SECO a z důvodu dlouhodobé spolupráce budou vybrány frézy, které mají běžně k dispozici na výrobní hale nebo dodavatel SECO vyrábí.

Varianta č. 1

Varianta č. 1 zahrnuje výpočet řezné síly pro symetrické čelní frézování, operaci hrubování. Byla vybrána rohová fréza od firmy SECO s označením **R220.69.0050-18-4AN** jedná se o frézu s následujícími parametry [11], příloha č. 4 [19].

- $\phi D = 50$ mm,
- $a_{pmaxfrezy} = 17$ mm,
- $K_r = 90^\circ$,
- $z = 4$.

Kde,

ϕD – průměr frézy [mm],

$a_{pmaxfrezy}$ - maximální šířka záběru ostří [mm],

K_r - úhel nastavení hlavního ostří [°],

z - počet zubů [-].

Řeznou rychlost lze vypočítat dle následujícího vztahu [18]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} [m \cdot \min^{-1}] \quad (4.1)$$

Kde,

v_c – řezná rychlost [$m \cdot \min^{-1}$],

n – otáčky nástroje [\min^{-1}],

D – průměr frézy [mm].

Do internetového katalogu SECOO TOOLS byl přidán výpočtový software, který při zadání předem daných parametrů vypočítá řeznou rychlost a posuv na zub [19].

Byly zadány následující parametry:

- mez pevnosti v tahu: $R_m = 720$ N · mm⁻²,
- metoda frézování: Čelní frézování,
- radiální záběr: $a_e = B = 16,28$ mm,
- počet axiálních záběrů: 1 [-].

Vypočítané parametry:

- posuv na zub: $f_z = 0,19$ mm,
- řezná rychlost: $v_c = 200$ m · min⁻¹.

Řeznou rychlost použijeme k výpočtu otáček frézy [18]:

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (4.2)$$

$$n = \frac{200 \cdot 10^3}{\pi \cdot 50} = 1\,273,2 [\text{min}^{-1}]$$

Rychlost pohybu frézy po osách stolu uvádí hodnota f_z . Tato hodnota byla také získána z výpočtů internetového katalogu SECO TOOLS. Lze jej vypočítat z posuvu na otáčku. Hodnota určuje délku dráhy, kterou obrobek ujede během jedné otáčky nástroje [19].

$$f_n = f_z \cdot z [\text{mm}] \quad (4.3)$$

$$f_n = 0,19 \cdot 4 = 0,76 \text{ mm}$$

f_n – posuv na otáčku [mm],

f_z – posuv na zub [mm],

z – počet zubů [-].

Následně lze vypočítat posuvovou rychlost ze vztahu [18]:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.4)$$

$$v_f = 0,19 \cdot 4 \cdot 1\,273,2 = 530,7 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Kde,

v_f – posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$],

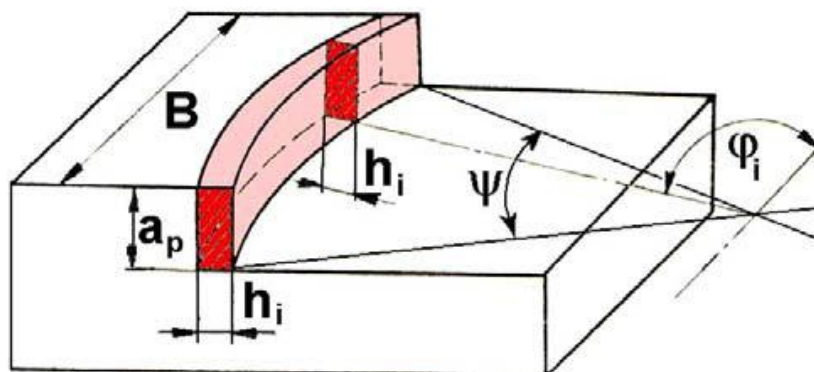
z – počet zubů [-],

f_z – posuv na zub [mm],

n – otáčky nástroje [min^{-1}].

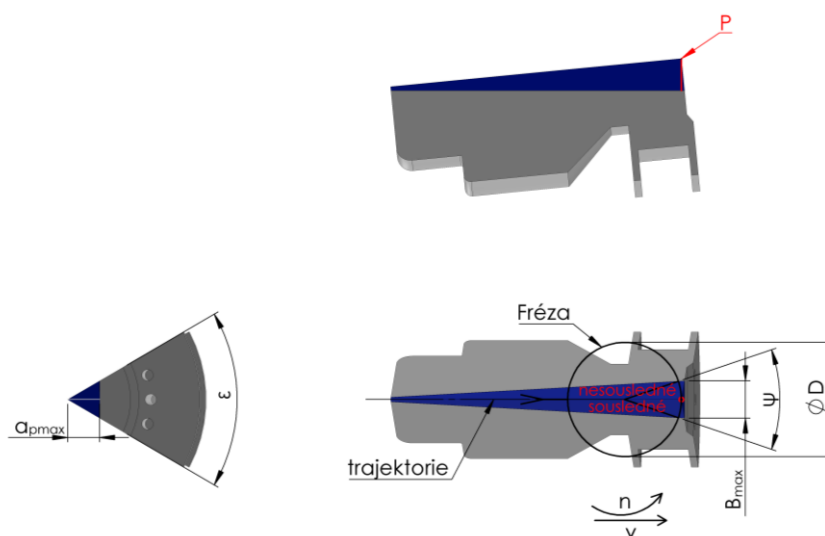
K získání výsledné hodnoty řezné síly je nutné vypočítat také průřez třísky (obr. 4.12, 4.13). Na průřezu třísky závisí výsledná řezná síla. Tyto výpočty budou provedeny pro symetrické čelní frézování v bodě **P** za následujících parametrů:

- $B_{\max} = 16,28 \text{ mm}$,
- $\phi D = 50 \text{ mm}$,
- $f_z = 0,19 \text{ mm}$,
- $a_{p\max} = 14,1 \text{ mm}$,
- $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.



Obr. 4.12 Průřez třísky při čelním frézování: B – šířka záběru [mm], a_p – šířka záběru ostří [mm], φ_i – úhel posuvového pohybu [°], h_i – tloušťka třísky [mm], ψ – úhel záběru frézy [°] [18].

Rohová fréza o $\phi D = 50$ mm vykonává rotační pohyb, která se otáčí kolem své osy (střed frézy) a ve stejný moment vykonává i přímočarý pohyb jak je znázorněné na obr. 4.13. Přímočará trajektorie frézy při hrubování byla vygenerována CAM programem. Šířka záběru ostří a_p a φ_i se konstantně mění a s tím i výsledná síla. Tento průběh bude zaznamenán do tabulky. Směr otáčení frézy a trajektorie byla zvolena tak, aby frézování probíhalo sousledně. Jeho výhody jsou popsány výše.



Obr. 4.13 Trajektorie a průřez třísky při symetrickém čelním frézování - hrubování – Solid Works, P – bod maximálních hodnot, a_{pmax} – maximální šířka záběru ostří [mm], ϵ – úhel segmentu [°], ψ – úhel záběru frézy [°], B_{max} – max. šířka záběru [mm], ϕD – průměr frézy [mm], n – otáčky frézy [min^{-1}], v – posuvová rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$].

Jmenovitý průřez třísky není konstantní po celou dobu obrábění. Maximální hodnoty nabývá v bodě P , kdy šířka záběru ostří je maximální a_{pmax} jak je znázorněno na obr. 4.13 [18].

$$h_i = f_z \cdot \sin(\varphi_i) \cdot \sin(\kappa_r) \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

Kde,

h_i – tloušťka třísky [mm],

f_z – posuv na zub [mm],

φ_i – úhel posuvového pohybu [°],

κ_r – úhel nastavení hlavního ostří [°].

Jmenovitá šířka třísky b_i je pro libovolné φ_i není konstantní, tříska bude maximální opět v bodě **P**, výpočet dle vztahu [18]:

$$b = \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)} \text{ [mm]} \quad (4.6)$$

Kde,

b – šířka třísky [mm],

a_p – šířka záběru ostří [mm],

κ_r – úhel nastavení hlavního ostří [°].

Jmenovitý průřez třísky, pro $\kappa_r = 90^\circ$, dle vzorce [18]:

$$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \sin(\varphi_i) \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4.7)$$

A_{Di} – jmenovitý průřez třísky [mm²],

a_p – šířka záběru ostří [mm],

f_z – posuv na zub [mm],

φ_i – úhel posuvového pohybu [°].

Jmenovitý průřez třísky bude maximální, je-li $\varphi_i = 90^\circ$, dle vzorce [18]:

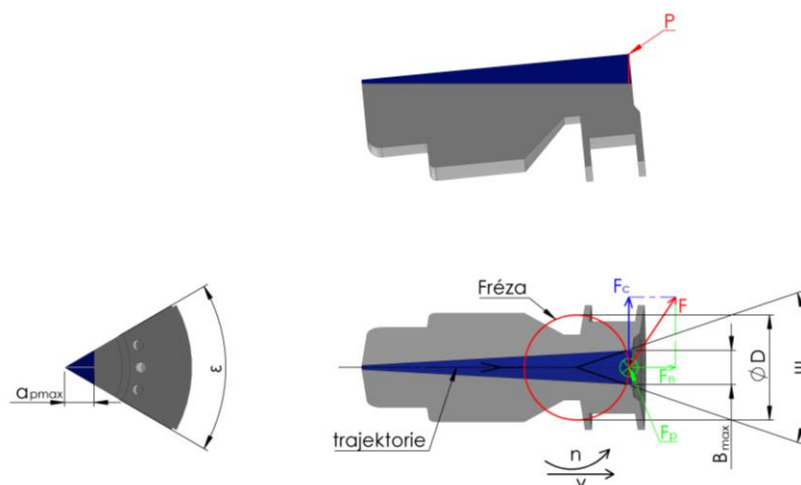
$$A_{Dmax} = b \cdot h_i \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4.8)$$

A_{Dmax} – maximální jmenovitý průřez třísky [mm²],

a_p – š [mm],

f_z – posuv na zub [mm].

Pomocí jmenovitého průřezu třísky lze vypočítat i řeznou sílu, však k tomuto výpočtu bude potřeba i měrná řezná kapacita, která se uvádí v literatuře (tab. 4.2). Průběh sil při záběru bude důkladně prozkoumán. V bodě **P**, ve kterém nabývá hloubka třísky maximálního hodnoty, je předpokládáno, že bude působit i největší řezná síla. Rozklady sil jsou naznačeny v obr. 4.14.



Obr. 4.14 Řezné síly při symetrickém čelním frézování: **P** – bod maximálních hodnot, **a_{pmax}** – maximální šířka záběru ostří [mm], **ε** – úhel segmentu [°], **ψ** – úhel záběru frézy [°], **B** – šířka záběru [mm], **φD** – průměr frézy [mm], **n** – otáčky [min⁻¹], **v** – posuvová rychlost [m · min⁻¹], **F_n** – normálová řezná síla [N], **F_p** – pasivní řezná síla [N], **F_c** – řezná síla [N], **F** – celková řezná síla [N].

Počet zubů v záběru pro čelní frézování se stanoví z rovnice (dle pravidel je vždy nutné zaokrouhlit výslednou hodnotu nahoru), při hodnotě úhlu záběru frézy $\psi = 37,29^\circ$ [18]:

$$n_z = \frac{\psi}{360^\circ} \cdot z \quad [-] \quad (4.9)$$

$$n_z = \frac{37,29^\circ}{360^\circ} \cdot 4 = 0,414 \cong 1$$

Kde,

n_z – počet zubů frézy [-],

ψ - úhel záběru frézy [°],

z – počet zubů (břitů) frézy [-].

Řezná síla se vyjádří dle vztahu [18]:

$$F_c = k_c \cdot A_D [N] \quad (4.10)$$

F_c – řezná síla [N],

k_c – měrná řezná síla [MPa],

A_D – průřez třísky [mm²].

Tab. 4.2 Měrná řezná rychlost pro oceli třídy P [20].

ISO	CMC	Materiál	Tvrdost (HB)	C _{Fc} [MPa]	mc [-]
P	01.10	Uhlikatá ocel C=0,1-0,25%	125	1500	0.25
	01.20	Uhlikatá ocel C=0,25-0,55%	150	1600	0.25
	01.30	Uhlikatá ocel C=0,55-0,8%	170	1700	0.25
	01.40	Uhlikatá ocel C=0,55-0,8%	210	1800	0.25
	01.50	Uhlikatá ocel C=0,55-0,8%	300	2000	0.25
	02.10	Nízkolegovaná ocel (legovací prvky do 5%)	175	1700	0.25
	02.20	Nízkolegovaná ocel (legovací prvky do 5%)	275	2000	0.25
	02.30	Nízkolegovaná ocel (legovací prvky do 5%)	350	2300	0.25
	00.31	Vysokolegovaná ocel (legovací prvky nad 5%)	200	1950	0.25
	03.13	Vysokolegovaná ocel (legovací prvky nad 5%)	200	2150	0.25
	03.21	Vysokolegovaná ocel (legovací prvky nad 5%)	300	2900	0.25
	03.22	Vysokolegovaná ocel (legovací prvky nad 5%)	380	3100	0.25
	06.10	Ocel na odlitky	180	1800	0.25
	06.20	Ocel na odlitky	200	2100	0.25
	06.30	Ocel na odlitky	225	2500	0.25
	06.33	Ocel na odlitky	250	3600	0.25

Materiál tvářecích segmentů jak výše bylo uvedeno, je z konstrukční oceli **ČSN 14 220**. Tato ocel, dle tab. 4.2 má tvrdost **30 ÷ 32 HRC** (zkouška podle Rockwella) je po přepočtu rovna tvrdosti **275 ÷ 300 HB** (zkouška podle Brinella). Materiál ČSN 14 220 obsahuje nízko legující prvky s obsahem do 5 % a bude uvažována tvrdost 275 HB a spadá do třídy **ISO P**. Pomocí hodnot HB a < 5 %C lze odečíst konstantu **C_{Fc}** - vyjadřující vliv obráběného materiálu a konstantu **mc** - exponent vlivu tloušťky třísky [20].

Výpočet měrné řezné síly [18,20]:

$$k_c = \frac{C_{Fc}}{h_i^{mc}} = \frac{C_{Fc}}{[f_z \cdot \sin(\varphi_i) \cdot \sin(\kappa_r)]^{mc}} [MPa] \quad (4.11)$$

Kde,

k_c – měrná řezná síla [MPa],

C_{Fc} – konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu [-],

κ_r – úhel nastavení hlavního ostří [°].

φ_i – úhel posuvového pohybu [°],

f_z – posuv na zub [mm],

mc – exponent vlivu tloušťky třísky [-].

Po dosazení:

$$F_c = \frac{C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_i)}{[f_z \cdot \sin(\varphi_i) \cdot \sin(\kappa_r)]^{mc}} [N] \quad (4.12)$$

F_c – celková řezná síla [N],

κ_r – úhel nastavení hlavního ostří [°].

φ_i – úhel posuvového pohybu [°],

f_z – posuv na zub [mm],

a_p – šířka záběru ostří [mm],

mc – exponent vlivu tloušťky třísky [-],

C_{Fc} – konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu [-].

Frézy jsou většinou vícebřité nástroje. Obvykle při frézování je v záběru více fréz současně. Výsledné síly pak závisí na počtu zubů v záběru a na okamžité poloze zubů frézy vzhledem k obrobku. Při tomto specifickém případě to neplatí, a proto není nutné počítat výslednou sílu pro každý zub. Z hlediska potřebného krouticího momentu a výkonu na vřetenu frézky je pak důležitá celková řezná síla F_c , která zde je rovna síle na jednom břitu.

Výpočet pro čelní frézování dle rovnice [18,20]:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^{(1-mc)} \cdot \sin^{-mc}(\kappa_r) \cdot \sin^{(1-mc)}(\varphi_i) [N] \quad (4.13)$$

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = 2000 \cdot 14,1 \cdot 0,19^{(1-0,25)} \cdot \sin^{-0,25}(90) \cdot \sin^{(1-0,25)}(18,65)$$

$$F_c = 3\,450,1\, N$$

Výsledná řezná síla pro symetrické čelní frézování vyšla $F_{c1} = 3\,450,1\, N$. Řezná síla působí pod úhlem a je nutné ji rozložit do složek F_x a F_y . Pro získání daných sil, které budou následně použity pro výpočet potřebné upínací síly.

$$F_{cx} = F_{c1} \cdot \cos\left(\frac{\varphi_i}{2}\right) [N] \quad (4.14)$$

$$F_{cx} = 3\,450,1 \cdot \cos\left(\frac{0}{2}\right) = 0\, N$$

$$F_{cy} = F_{c1} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_i}{2}\right) [N] \quad (4.15)$$

$$F_{cy} = 3\,450 \cdot \sin\left(\frac{0}{2}\right) = 3\,450,1 \text{ N}$$

Řezná síla F_{c1} bude použita pro vypočtení krouticího momentu a vyvinutí potřebné upínací síly přípravku, který zajistí bezpečné tuhé obrábění.

Krouticí moment nástroje lze vypočíst dle rovnice [18]:

$$M_k = F_c \frac{D}{2} [N \cdot mm] \quad (4.16)$$

Kde,

M_k – krouticí moment [$N \cdot mm$],

F_c – celková řezná síla [N],

D – průměr frézy [mm].

$$M_k = 3\,450,1 \frac{50}{2} = 86\,252,5 \text{ N} \cdot mm \cong \mathbf{86,25 \text{ N} \cdot m}$$

Úhlová rychlost [18]:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n [\text{rad} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.17)$$

Kde,

ω – úhlová rychlost [$\text{rad} \cdot \text{min}^{-1}$],

n – otáčky nástroje [min^{-1}].

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot 1\,273,2 = 9\,999,75 \text{ rad} \cdot \text{min}^{-1} \cong \mathbf{133,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Užitečný výkon na vřetení stroje [18]:

$$P_{už} = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = M_k \cdot \omega [W] \quad (4.18)$$

Kde,

$P_{už}$ – užitečný výkon na vřetení frézky [W],

F_c – celková řezná síla [N],

M_k – krouticí moment [N · mm],

ω – úhlová rychlost [rad · min⁻¹].

$$P_{už} = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{3\,450,1 \cdot 200}{6 \cdot 10^4} = 11,50 \text{ kW}$$

$$P_{už} = M_k \cdot \omega = 86,25 \cdot 133,33 \cong 11\,659,71 \text{ W} \cong \mathbf{11,50 \text{ kW}}$$

Po zjištění užitečného výkonu na vřetení stroje při hrubování je nutno vypočítat reálný výkon elektromotoru. U CNC obráběcích strojů je mechanická účinnost $\eta = 0,75 \div 0,85$. Pro CNC stroj VF-3 byla tedy zvolena účinnost $\eta = 0,80$.

$$P = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta} = \frac{M_k \cdot \omega}{\eta} \text{ [W]} \quad (4.19)$$

$$P = \frac{86,25 \cdot 133,33}{0,8} \cong 14\,374,64 \text{ W} \cong \mathbf{14,37 \text{ kW}}$$

Kde,

$P_{už}$ – užitečný výkon na vřetení frézky [W],

F_c – celková řezná síla [N],

M_k – krouticí moment [N · mm],

ω – úhlová rychlost [rad · min⁻¹],

η – účinnost stroje [%].

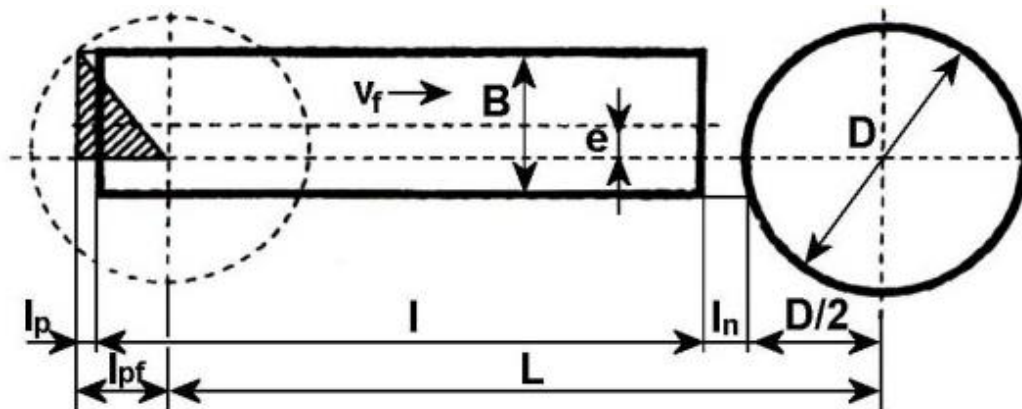
Výrobce udává u CNC stroje VF-3 maximální krouticí moment na vřetení $M_{kmax} = 339 \text{ N} \cdot \text{m}$, maximální otáčky $n_{max} = 8\,100 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. V CNC stroji VF-3 je zabudovaná převodová skříň, pomocí které lze zvýšit krouticí moment. Pomocí následujícího vztahu lze tedy zjistit, jaký je maximální krouticí moment na vřetení CNC stroje VF-3.

$$P_{max} = 339 \cdot \frac{2\pi \cdot 8100}{60} \cong 287\,549,97 \text{ W} \cong \mathbf{287,6 \text{ kW}}$$

Vypočtený výkon P je menší než maximální možný P_{max} . Součást lze tedy zp při zvolených řezných parametrech. Lze poměrem z vypočtených hodnot $\frac{P}{P_{max}}$ zjistit, že obrobenu součást lze zpracovat při zvolených řezných parametrech s **0,05 %** výkonu elektromotoru.

Výpočet jednotkového strojního času

Hodnoty jednotkového strojního času pro hrubovací frézování se vyjádří na základě poměrů naznačených na obr. 4.15 [18].



Obr. 4.15 Dráha frézy pro hrubé čelní frézování asymetrické [18].

Jednotkový strojní čas je obecně vyjádřen vztahem [18]:

$$t_{as} = \frac{L}{v_f} [\text{min}] \quad (4.20)$$

Kde,

L – dráha nástroje ve směru posuvového pohybu [mm],

v_f – posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$].

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{nf} [\text{mm}] \quad (4.21)$$

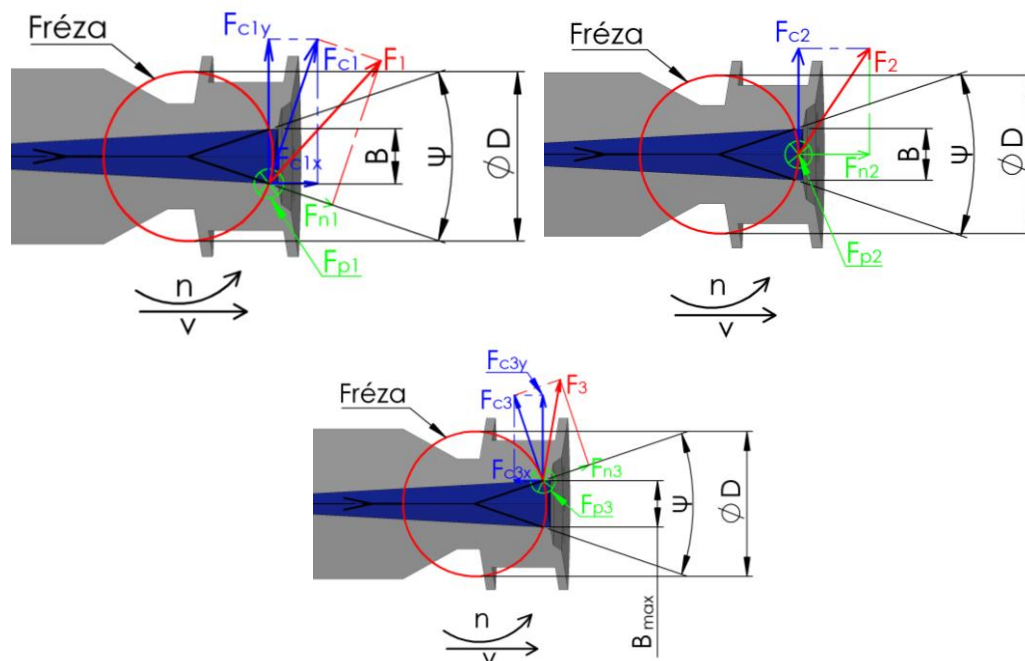
$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} [\text{mm}] \quad (4.22)$$

Po dosazení a úpravě rovnic 4.20, 4.21, 4.22:

$$t_{as} = \frac{l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2}}{v_f} [\text{min}] \quad (4.20)$$

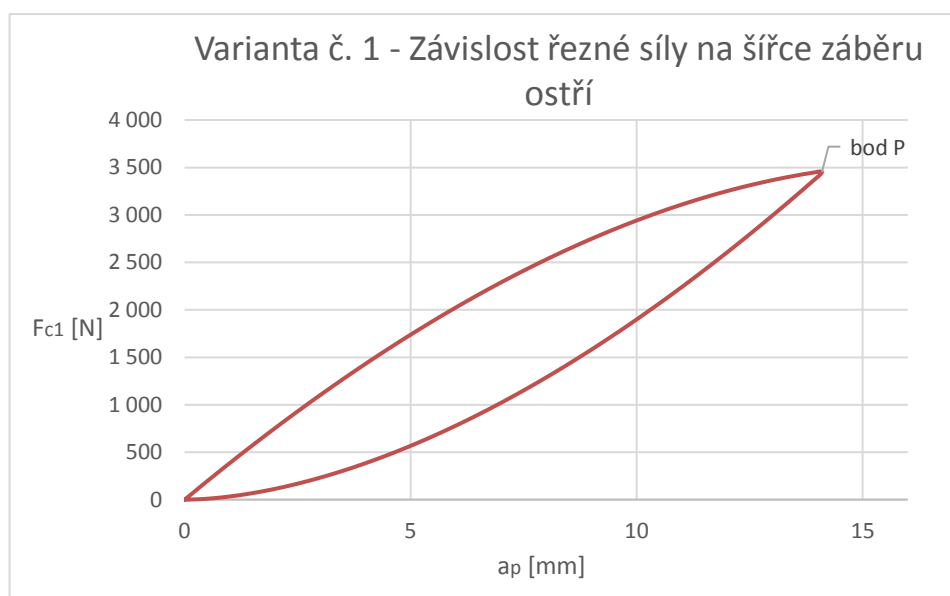
$$t_{as1} = \frac{172 + 2 + 2 + \frac{50}{2} - \sqrt{\left(\frac{50}{2}\right)^2 - \left(\frac{16,28}{2} + 0\right)^2}}{530,7} = 0,33 [\text{min}]$$

Směr a velikost řezné síly se mění v závislosti na momentálním posuvovém úhlu φ_i , momentální šířce záběru ostří a_{pi} a posuvu na zub f_z . Jednotlivé pozice v závislosti na pozici bříty frézy jsou zobrazeny v obr. 4.16.



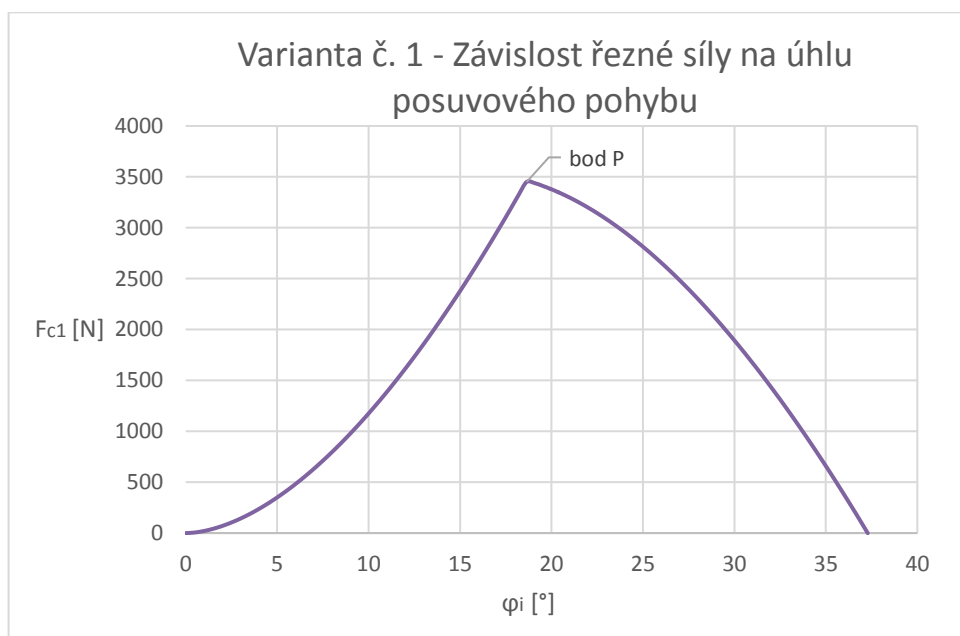
Obr. 4.16 Rozložení sil F_{c1} při vniknutí frézy do materiálu, rozložení sil F_{c2} v bode P, rozložení sil F_{c3} při výjezdu z materiálu.

Na obr. 4.17 je znázorněno, jak se mění řezná síla F_c v závislosti na šířce záběru ostří a_p při řezu frézy. Maximální hodnoty řezná síla nabývá v bodě P, jak bylo výše předpokládáno. Vypočítané hodnoty, z kterých byl vytvořen graf, byly přidány do přílohy 5.



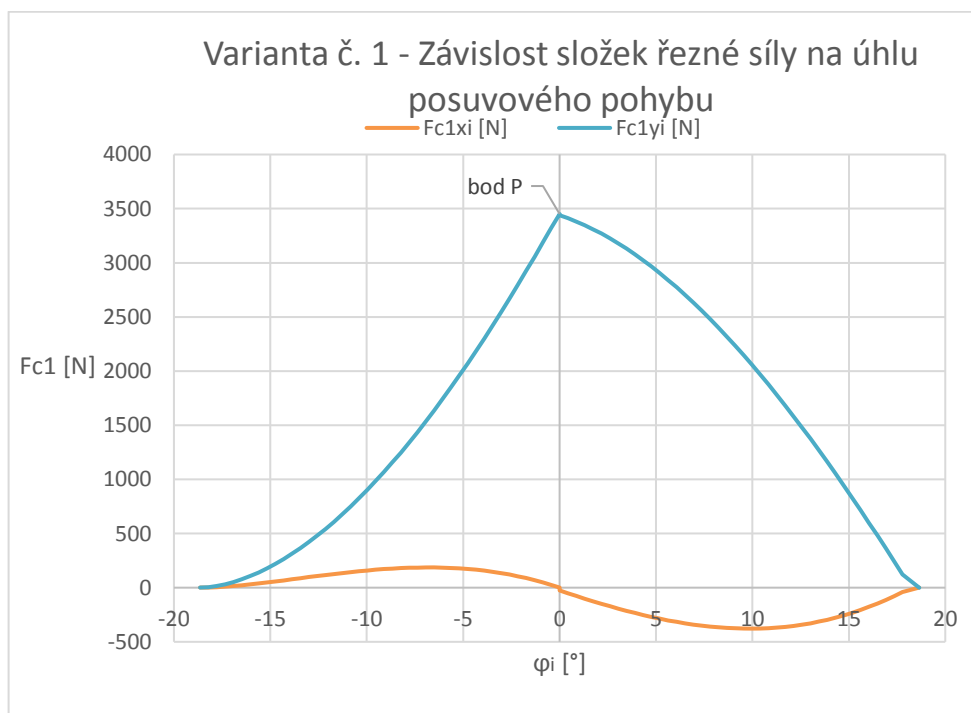
Obr. 4.17 Graf závislosti řezné síly na šířce záběru ostří.

Z obr. 4.18 je patrné, že během řezu nabývá hodnota řezné síly F_c v závislosti na zvyšujícím se posuvovém úhlu. V bodě **P** začne hodnota šířky záběru ostří a_p klesat a to má za důsledek i snižující se řeznou sílu F_c .



Obr. 4.18 Graf závislosti řezné síly na úhlu posuvového pohybu.

Během jedné otáčky frézy, se při řezu materiálem, mění řezná síla svůj směr a tím i orientaci složek F_x a F_y . Tento průběh je znázorněn na obr. 4.19.



Obr. 4.19 Graf závislosti složek řezné síly na úhlu posuvového pohybu.

Při návrhu přípravku, je nutné počítat se silou v každém bodě řezu. Tato síla je proměnná a je nutné vyvodit upínací sílu, která zabrání všem řezným silám v momentální poloze břitu frézy.

Varianta č. 2

Varianta č. 2 zahrnuje výpočet řezné síly pro symetrické čelní frezování, operaci dokončování. Při operaci dokončování bude použit stejný nástroj jako při hrubování. Změna obráběcích parametrů bude ve změně hloubky záběru a zvýšení řezné rychlosti. Za předpokladu, že následující operace po dokončování je broušení, na který byl nechán přídavek $a_p = 0,3$ mm. Rohová fréza od firmy SECO s označením **R220.69.0050-18-4AN** jedná se o frézu s následujícími parametry [19].

- $\phi D = 50$ mm,
- $a_{p\max\text{frézy}} = 17$ mm,
- $K_r = 90^\circ$,
- $z = 4$,
- $B_{\max} = 16,28$ mm,
- $f_z = 0,3$ mm,
- $a_{p\max} = 0,5$ mm,
- $v_c = 300$ m \cdot min⁻¹.

Výpočet otáček [18]:

$$n = \frac{300 \cdot 10^3}{\pi \cdot 50} = 1\,910 \text{ min}^{-1} \quad (4.2)$$

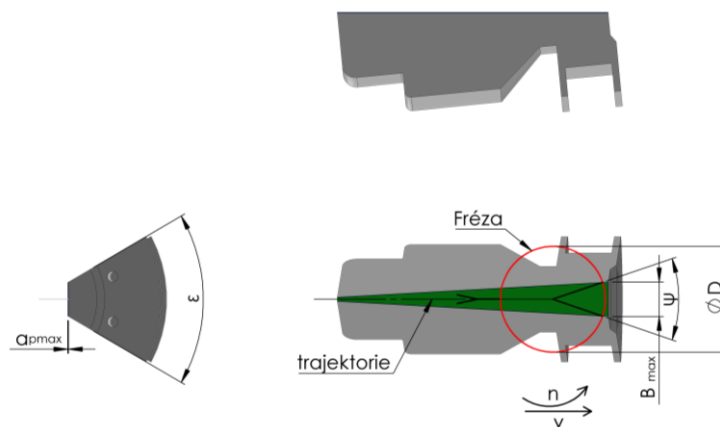
Posuv na otáčku [18]:

$$f_n = 0,3 \cdot 4 = 1,2 \text{ mm} \quad (4.3)$$

Posuvová rychlost ze vztahu [18]:

$$v_f = 0,3 \cdot 4 \cdot 1\,910 = 2\,292 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.4)$$

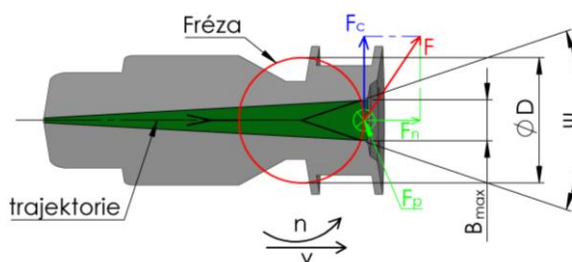
Rohová fréza o $\phi D = 50$ mm vykonává totožnou trajektorii jako ve variante č. 1 (obr. 4.20).



Obr. 4.20 Trajektorie a průřez třísky při symetrickém čelním frézování – dokončování – Solid Works.

Jmenovitý průřez třísky **je** konstantní po celou dobu obrábění.

Jmenovitá šířka třísky **Bi není** konstantní.



Obr. 4.21 Řezné síly při symetrickém čelním frézování : n - otáčky [min^{-1}], v - posuvová rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$], F_x – rozklad síly v ose x [N], F_y – rozklad síly v ose y [N], F_z – rozklad síly v ose z [N], F_n – normálová řezná síla [N], F_p – pasivní řezná síla [N], F – celková řezná síla [N], F_c - řezná síla [N].

Výpočet pro čelní frézování dle rovnice [18]:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = 2000 \cdot 0,5 \cdot 0,3^{(1-0,25)} \cdot \sin^{-0,25}(90^\circ) \cdot \sin^{(1-0,25)}(36,86^\circ) \quad (4.13)$$

$$F_c = 276,3 \text{ N}$$

Výsledná řezná síla pro symetrické obrábění – dokončování vyšla $F_{c2} = 276,3 \text{ N}$.

Krouticí moment nástroje lze vypočítat dle rovnice [18]:

$$M_k = 276,3 \frac{50}{2} = 6\,907,5 \text{ N} \cdot \text{mm} \cong \mathbf{6,9 \text{ N} \cdot \text{m}} \quad (4.16)$$

Úhlová rychlost [18]:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 1\,910 = 12\,000 \text{ rad} \cdot \text{min}^{-1} \cong \mathbf{200 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (4.17)$$

Užitečný výkon na vřetení stroje [18]:

$$P_{u\check{z}} = 6,9 \cdot 200 \cong 1\,380 \text{ W} \cong \mathbf{1,38 \text{ kW}} \quad (4.18)$$

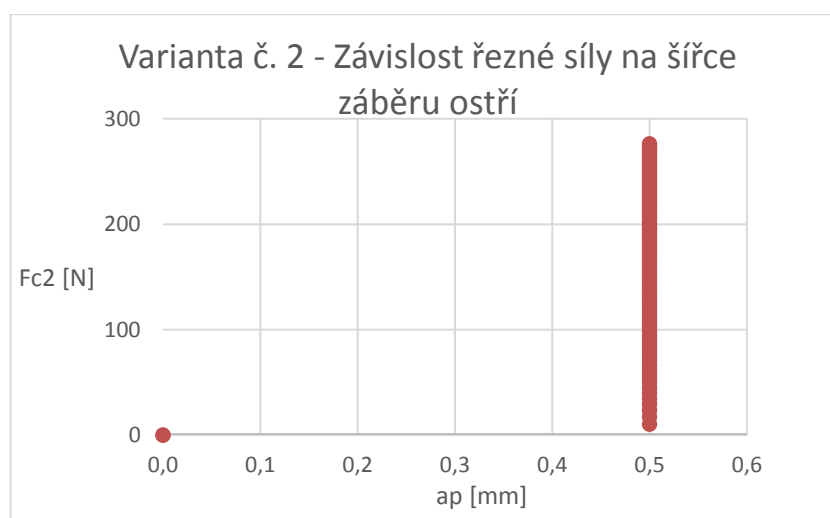
Realný výkon na vřetení stroje [18]:

$$P = \frac{6,9 \cdot 200}{0,8} \cong 1\,077,5 \text{ W} \cong \mathbf{1,7 \text{ kW}} \quad (4.19)$$

Výpočet jednotkového strojního času [18]:

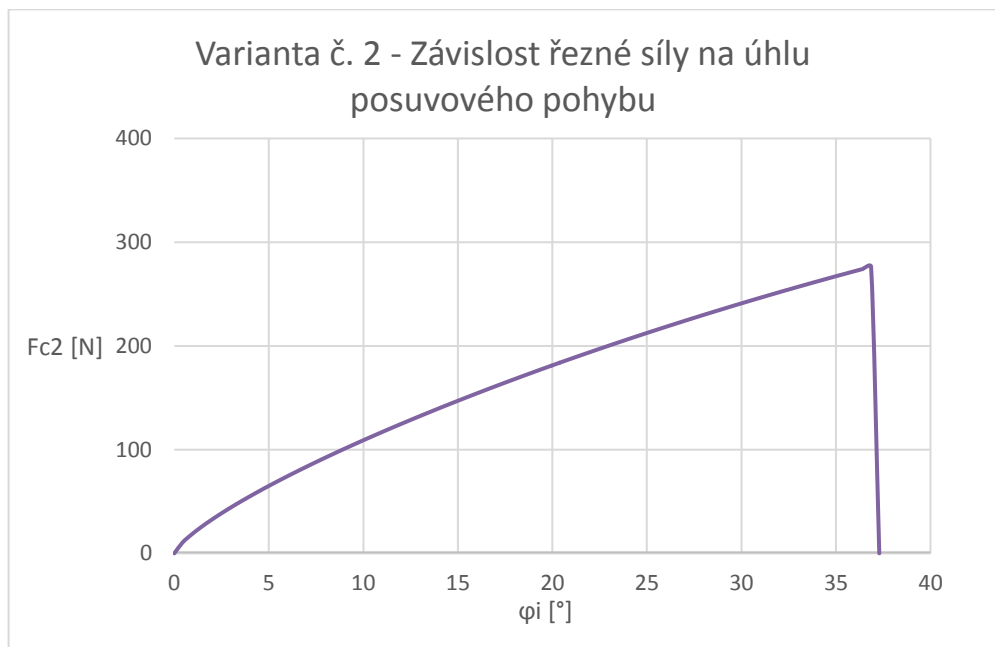
$$t_{as2} = \frac{172 + 2 + 2 + \frac{50}{2} - \sqrt{\left(\frac{50}{2}\right)^2 - \left(\frac{16,28}{2} + 0\right)^2}}{2\,292} = 0,09 \text{ [min]} \quad (4.22)$$

Na obr. 4.22 je znázorněno, jak se mění řezná síla F_{c2} v závislosti na konstantní šířce záběru ostří a_p při řezu frézy. Vypočítané hodnoty, z kterých byl vytvořen graf, byly přidány do přílohy 6.



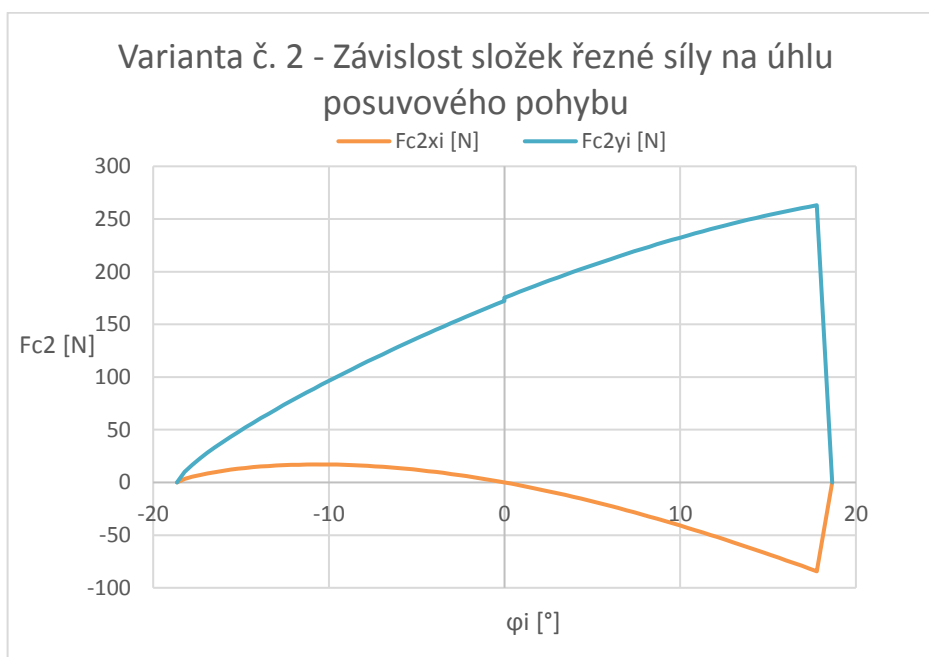
Obr. 4.22 Graf závislosti řezné síly na šířce záběru ostří.

Z obr. 4.23 je patrné, že během řezu nabývá hodnota řezné síly F_c v závislosti na zvyšujícím se posuvovém úhlu. Z grafu vyplývá, že řezná síla F_{c2} se zvyšuje téměř konstantně po celou dobu řezu frézy při jedné otáčce.



Obr. 4.23 Graf závislosti řezné síly na hloubce třísky.

Během jedné otáčky frézy, se při řezu materiálem, mění řezná síla svůj směr a tím i orientaci složek F_x a F_y . Tento průběh je znázorněný na obr. 4.24.



Obr. 4.24 Graf závislosti složek řezné síly na úhlu posuvového pohybu.

Při návrhu přípravku je nutné počítat se silou v každém bodě řezu. Tato síla je proměnná a je nutné vyvodit upínací sílu, která zabrání všem řezným silám v momentální poloze břitu frézy. Pro variantu č. 2 nabývá řezná síla až 12x menších hodnot. Tento fakt byl ovlivněn velmi malou hodnotou šířky záběru ostří a_p .

Varianta č. 3

Varianta č. 3 zahrnuje výpočet řezné síly pro obdélníkové čelní frezování, operaci hrubování. Pro zjednodušení a následné porovnání byla zvolena stejná fréza jako v předchozích dvou variantách. Rohová fréza od firmy SECO s označením **R220.69.0050-18-4AN** jedná se o frézu s následujícími parametry [19].

- $B = 42 \text{ mm}$,
- $\phi D = 50 \text{ mm}$,
- $a_{p\max\text{frézy}} = 17 \text{ mm}$,
- $a_{p\max} = 14,1 \text{ mm}$,
- $\kappa_r = 90^\circ$,
- $z = 4$,
- $f_z = 0,19 \text{ mm}$,
- $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Výpočet otáček [18]:

$$n = \frac{200 \cdot 10^3}{\pi \cdot 50} = 1\,273,23 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (4.2)$$

Posuv na otáčku [18]:

$$f_n = 0,19 \cdot 4 = 0,76 \text{ mm} \quad (4.3)$$

Posuvová rychlost [18]:

$$v_f = 0,19 \cdot 4 \cdot 1\,273,23 = 967,6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.4)$$

Rohová fréza o průměru $\phi D = 50 \text{ mm}$ vykonává rotační pohyb, která se otáčí kolem své osy (střed frézy) a ve stejný moment vykonává i přímočarý pohyb jak je znázorněné na obr. 4.25. Obdélníková trajektorie frézy při hrubování byla vygenerována CAM programem. Směr rotace frézy a její posuv byl zvolen, aby frézování bylo sousledné (obr. 4.24).

Počet zubů v záběru pro čelní frézování se stanoví z rovnice (dle pravidel je vždy nutné zaokrouhlit výslednou hodnotu nahoru).

$$n_z = \frac{100,05^\circ}{360^\circ} \cdot 4 = 1,11 \cong 2 \quad (4.9)$$

Úhlová rozteč zubů (břitů) [18]:

$$\psi_t = \frac{360^\circ}{4} = 90^\circ \quad (4.10)$$

Úhly jednotlivých zubů v záběru [18]:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 100^\circ \\ \psi_2 &= 100^\circ - \psi_1 [^\circ] \\ \psi_2 &= 100^\circ - 90^\circ = 10^\circ \end{aligned}$$

Výpočet pro čelní frézování dle rovnice [18]:

$$F_{cD} = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = 2000 \cdot 14,1 \cdot 0,19^{(1-0,25)} \cdot \sin^{-0,25}(90) \cdot \sum_{i=1}^2 \sin^{(1-0,25)}(100,25) + \sin^{(1-0,25)}(10) \quad (4.13)$$

$$F_{cD} = 9\,236,1 \text{ N}$$

Rozložení řezné síly do složek F_{cDx} a F_{cDy} :

$$F_{cDx} = 9\,236,1 \cdot \cos(40,5) = 7\,027,4 \text{ N} \quad (4.14)$$

$$F_{cDy} = 9\,236,1 \cdot \sin(40,5) = 5\,993,4 \text{ N} \quad (4.15)$$

Řezná síla v bodě D vyšla $F_{cD} = 9\,236,1 \text{ N}$.

Krouticí moment [18]:

$$M_k = 9\,236,1 \frac{50}{2} = 230\,902,5 \text{ N} \cdot \text{mm} \cong 230,9 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (4.16)$$

Úhlová rychlost [18]:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 1\,273,2 = 7\,999 \text{ rad} \cdot \text{min}^{-1} \cong 133,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.17)$$

Užitečný výkon na vřetení stroje [18]:

$$P_{už} = 230,9 \cdot 133,33 \cong 30\,785, \text{ W} \cong 30,8 \text{ kW} \quad (4.18)$$

Realný výkon na vřetení stroje [18]:

$$P = \frac{230,9 \cdot 133,33}{0,8} \cong 38\,482,4 \text{ W} \cong 38,482 \text{ kW} \quad (4.19)$$

Výpočet jednotkového strojního času [18]:

$$t_{as3} = i \cdot \frac{l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2}}{v_f} [\text{min}] \quad (4.20)$$

Počet hrubovacích trajektorií vypočítáme poměrem L:D a výslednou hodnotu zaokrouhlíme vždy nahoru:

$$i = \frac{L}{B} [-] \quad (4.22)$$

$$i = \frac{172}{42} = 4,09 \cong 5 [-]$$

Kde,

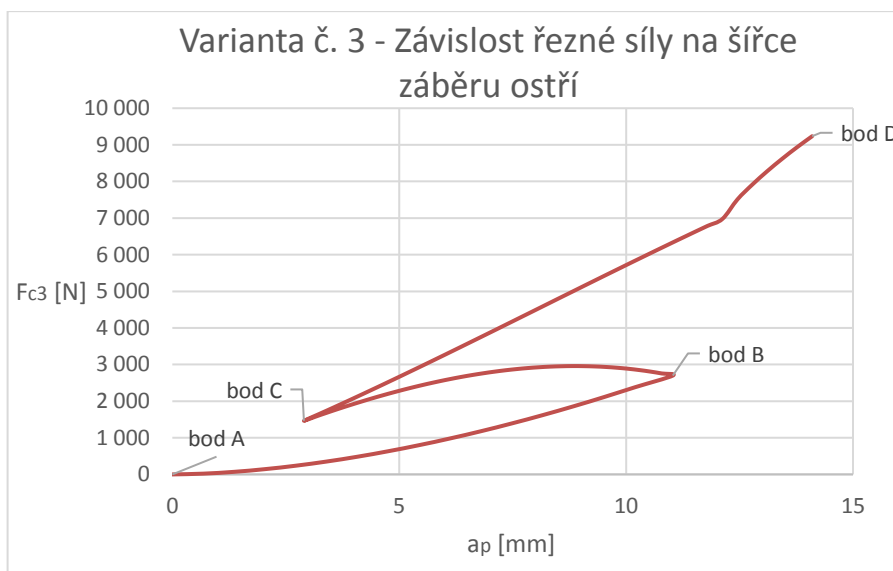
i – počet záběrů [-].

L – délka obrobku [mm]

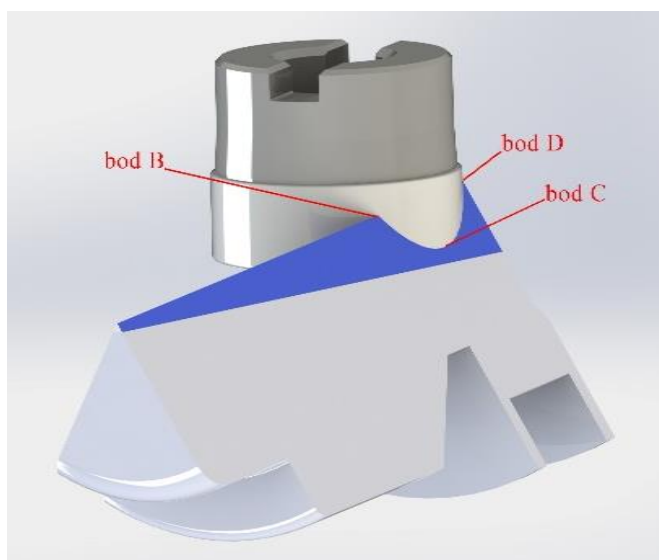
B – překrytí frézy [mm]

$$t_{as3} = 5 \cdot \frac{9,5 + 2 + 2 + \frac{50}{2} - \sqrt{\left(\frac{50}{2}\right)^2 - \left(\frac{42}{2} + 4\right)^2}}{967,6} = 0,2 [\text{min}]$$

Na obr. 4.27 je zobrazený průběh řezné síly na závislosti na šířce záběru ostří během jedné otáčky řezného nástroje. Jelikož Tento nárůst je nepravidelný a je velice pravděpodobné, že při řezu budou vznikat vibrace, chvění a tedy i nekvalitní povrch. Vypočítané hodnoty, z kterých byl vytvořen graf, byly přidány do přílohy 7.



Obr. 4.27a Graf závislosti řezné síly na šířce záběru ostří.

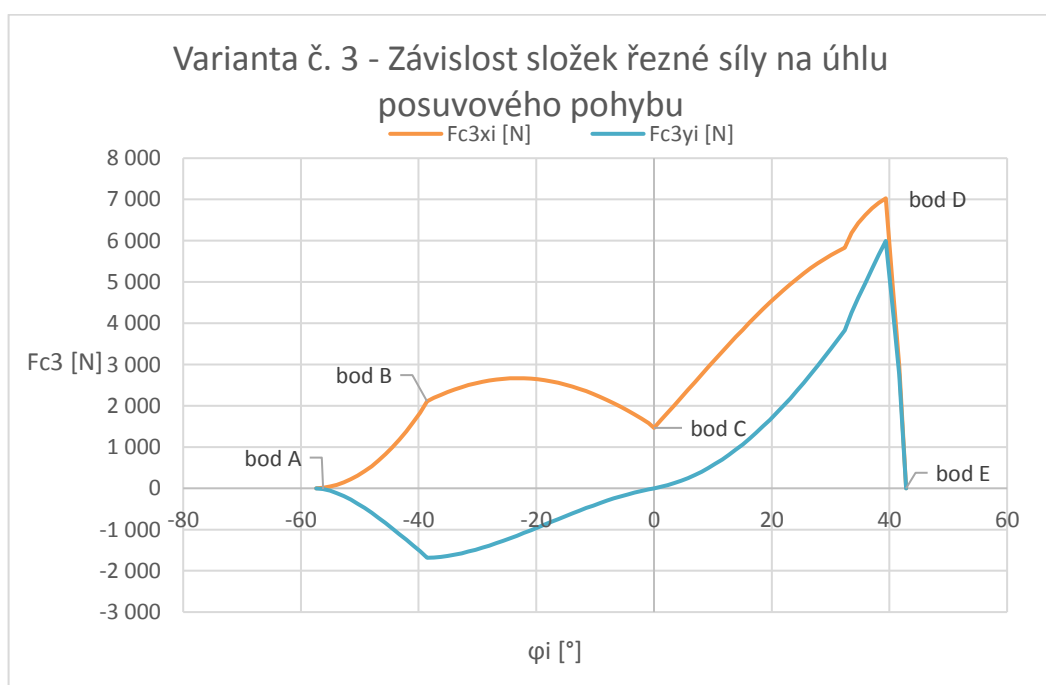


Obr. 4.27b Graf závislosti řezné síly na šířce záběru ostří.

Z následujících dvou obr. 4.28 a 4.29 je patrné, že řezné síly budou enormně vysoké a tím pádem budou nutné vyvinout vysoké upínací síly. Rozdělením záběru třísky na více řezů, bychom dostali konstantní menší řezné síly a prodloužili strojní čas.



Obr. 4.28 Graf závislosti řezné síly na úhlu posuvového pohybu.



Obr. 4.29 Graf závislosti složek řezné síly na úhlu posuvového pohybu.

Varianta č. 4

Varianta č. 4 zahrnuje výpočet řezné síly pro obdélníkové čelní frézování, operaci dokončování. Na operaci dokončování bude použit stejný nástroj jako při hrubování. Byly změněny obráběcí parametry ve změně hloubky záběru a zvýšení řezné rychlosti. Za předpokladu, že následující operace po dokončování je broušení, na který byl nechán přírůstek $a_p = 0,3$ mm. Rohová fréza od firmy SECO s označením **R220.69.0050-18-4AN** jedná se o frézu s následujícími parametry [19].

- $\phi D = 50$ mm,
- $a_{p\max\text{frézy}} = 17$ mm,
- $K_r = 90^\circ$,
- $z = 4$,
- $B_{\max} = 30,86$,
- $f_z = 0,3$ mm,
- $a_{p\max} = 0,5$ mm,
- $v_c = 300$ m · min⁻¹.

Výpočet otáček [18]:

$$n = \frac{300 \cdot 10^3}{\pi \cdot 50} = 1\,910 \text{ min}^{-1} \quad (4.2)$$

Posuv na otáčku [18]:

$$f_n = 0,3 \cdot 4 = 1,2 \text{ mm} \quad (4.3)$$

Posuvová rychlost ze vztahu [18]:

$$v_f = 0,3 \cdot 4 \cdot 1\,910 = 2\,292 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.4)$$

Rohová fréza o $\phi D = 50$ mm vykonává totožnou trajektorii jako ve variante č. 3 obr. 4.25.

Jmenovitý průřez třísky **je** konstantní po celou dobu obrábění.

Jmenovitá šířka třísky **Bi není** konstantní.

Výpočet řezné síly pro čelní frézování dle rovnice [18]:

$$F_{c4D} = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = 2000 \cdot 0,5 \cdot 0,3^{(1-0,25)} \cdot \sin^{-0,25}(90) \cdot \sum_{i=1}^2 \sin^{(1-0,25)}(100,25) + \sin^{(1-0,25)}(10) \quad (4.13)$$

$$F_{c4D} = 505 \text{ N}$$

Rozložení řezné síly do složek F_{cDx} a F_{cDy} :

$$F_{c4Dx} = 505 \cdot \cos(40,5) = 505 \text{ N} \quad (4.14)$$

$$F_{c4Dy} = 505 \cdot \sin(40,5) = 343 \text{ N} \quad (4.15)$$

Výsledná řezná síla pro symetrické obrábění – dokončování vyšla $F_{c4D} = 505 \text{ N}$,

Krouticí moment nástroje [18]:

$$M_k = 505 \frac{50}{2} = 12\,625 \text{ N} \cdot \text{mm} \cong 12,6 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (4.16)$$

Úhlová rychlost [18]:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 1\,910 = 12\,000 \text{ rad} \cdot \text{min}^{-1} \cong 200 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.17)$$

Užitečný výkon na vřetení stroje [18]:

$$P_{u\check{z}} = M_k \cdot \omega = 12,6 \cdot 200 \cong 2\,520 \text{ W} \cong 2,52 \text{ kW} \quad (4.18)$$

Reálný výkon na vřetení stroje [18]:

$$P = \frac{6,9 \cdot 200}{0,8} \cong 3\,150 \text{ W} \cong 3,15 \text{ kW} \quad (4.19)$$

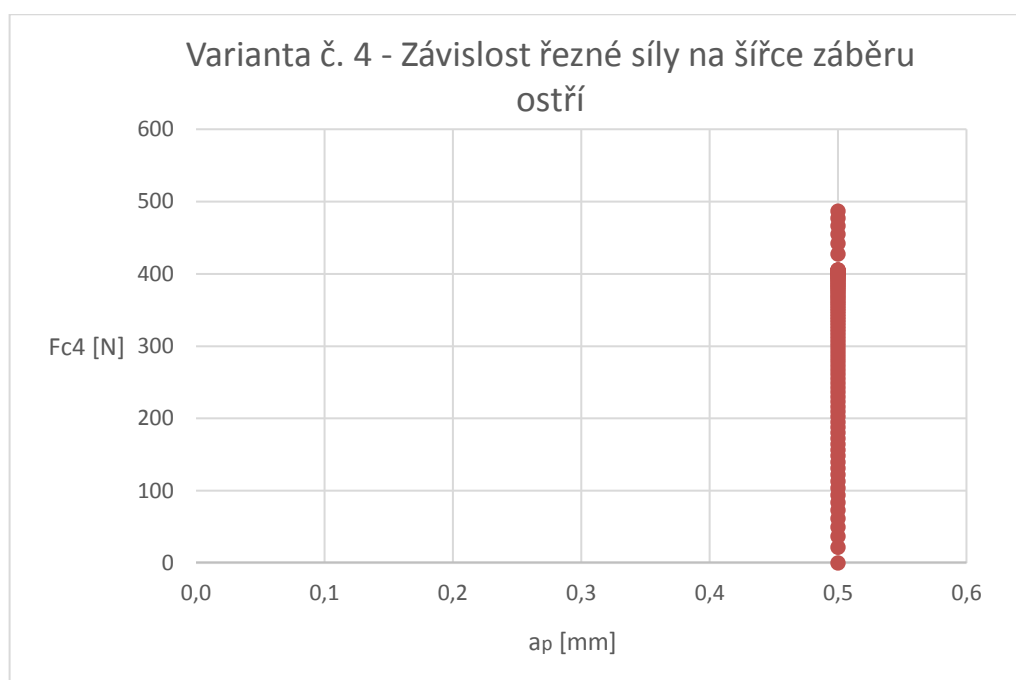
Výpočet jednotkového strojního času [18]:

Počet dokončovacích trajektorií vypočítáme poměrem L:D a výslednou hodnotu zaokrouhlíme vždy nahoru:

$$i = \frac{L}{B} [-] \quad (4.22)$$

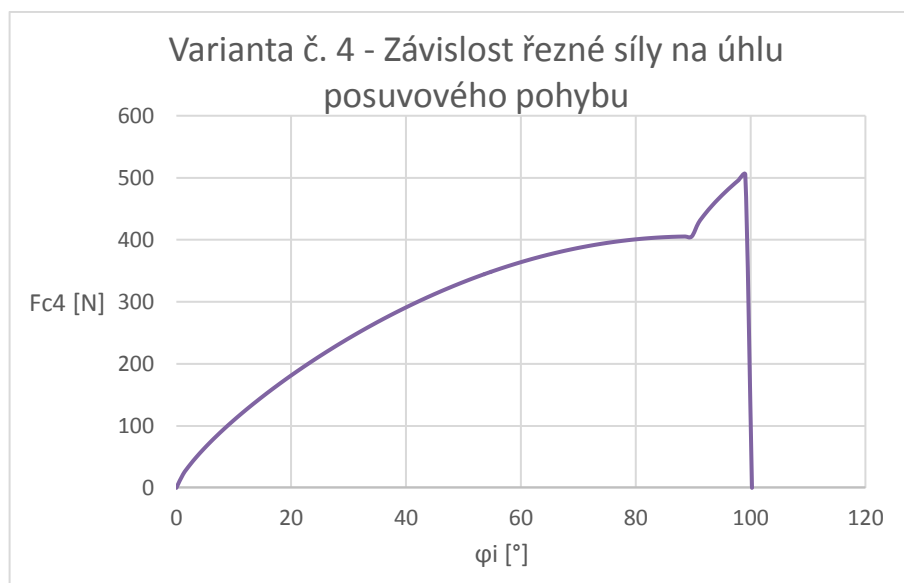
$$t_{as3} = 5 \cdot \frac{9,5 + 2 + 2 + \frac{50}{2} - \sqrt{\left(\frac{50}{2}\right)^2 - \left(\frac{42}{2} + 4\right)^2}}{2292} = 0,8 [min] \quad (4.20)$$

V obr. 4.30 je znázorněno jak se ne/mění řezná síla F_{c4} v závislosti na konstantní šířce záběru ostří a_p při řezu frézou. Vypočítané hodnoty, z kterých byl vytvořen graf, byly přidány do přílohy 8.



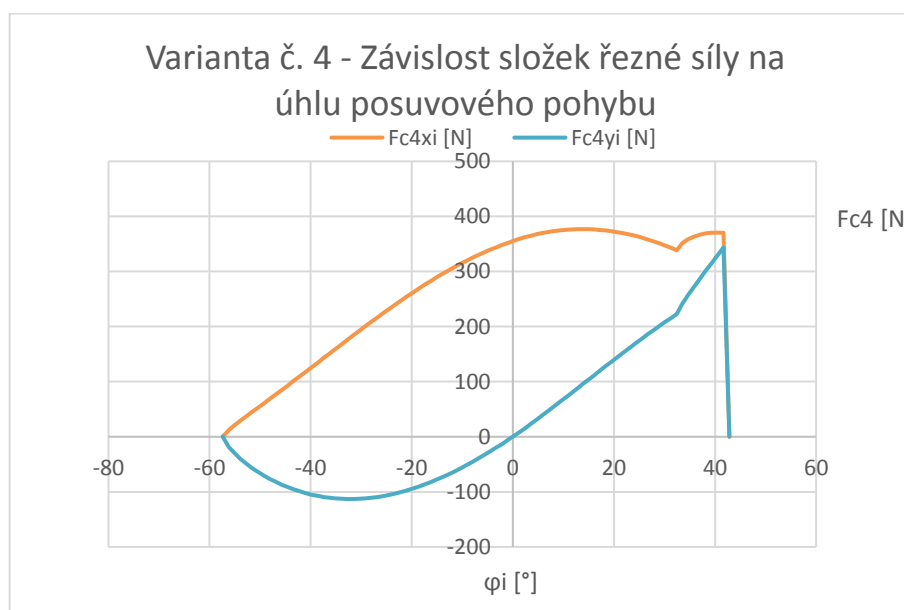
Obr. 4.30 Graf závislosti řezné síly na šířce záběru ostří a_p .

Z obr. 4.31 je patrné, že během řezu nabývá hodnota řezné síly F_c v závislosti na zvyšujícím se posuvovém úhlu. Šířka záběru ostří a_p je konstantní. Při posuvovém úhlu dosahujícím 90° řezná síla nabývá svojí maximální hodnoty a současně se přidává do záběru i druhý břit frény, který výslednou řeznou sílu zvyšuje.



Obr. 4.31 Graf závislosti řezné síly na úhlu posuvového pohybu.

Během jedné otáčky frézy, mění řezná síla svůj směr, velikost i orientaci složek řezné síly F_x a F_y . Průběh těchto změn je zobrazen v obr. 4.32.



Obr. 4.32 Graf závislosti složek řezné síly na úhlu posuvového pohybu.

Při návrhu přípravku je nutné počítat se silou v každém bodě řezu. Tato síla je proměnná a je nutné vyvodit upínací sílu, která zabráni řezným silám v momentální poloze břitu frézy. Pro variantu č. 4 nabývá řezná síla až 20x menších hodnot. Tento fakt byl ovlivněn velmi malou hodnotou hloubky třísky a_p .

4.6 Zvolení technologie obrábění

Z vypočtených řezných rychlostí pro danou operaci byla vytvořena tab. 4.3, která znázorňuje řezné síly a strojní čas v závislosti na změně šířky záběru ostří a způsobu obrábění.

Tab. 4.3 Srovnání výsledných hodnot ve variantách obrábění.

	i [-]	a _p [mm]	F _c [N]	t _{as} [min]	F _{cx} (max) [N]	F _{cy} (max) [N]
Varianta č.1 Symetrické čelní frézování - Hrubování	1	14.1	3 450	0.3	378	3450
	2	7.1	1 725	0.5	189	1 725
	3	4.7	1 150	0.6	126	1 150
	5	2.8	690	1.1	75	690
	10	1.4	345	1.3	37.8	345
Varianta č.2 - Dokončování	1	0.5	276	0.09	86	262
Varianta č.3 Obdélníkové čelní frézování - Hrubování	1	14.1	9 236	0.2	7 027	5 993
	2	7.1	5 200	0.3	3514	2997
	3	4.7	3 854	0.4	2342	1998
	5	2.8	2 778	0.6	1405	1199
	10	1.4	924	0.8	703	599
Varianta č. 4 - Dokončování	1	0.5	505	0.08	370	343

Z pohledu produktivity obrábění je obecně doporučeno:

- zvolit maximální šířku záběru ostří **a_p**,
- maximalizovat posuv **f**,
- určit ideální řeznou rychlost: produktivita vs. náklady.

Pro kusovou a malosériovou výrobu jsou vedlejší časy značnou částí výroby a je zohledněna v ceně výrobku. Jak je vidět z tab. 4.3, obráběcí časy při záběru více třísek jsou stále v řádů desítek sekund. Za to fréza je vystavena vysoké hodnotě šířky záběru ostří a tudíž trvanlivost frézy se snižuje.

Zvolit podmínky obrábění s ohledem na co nejvyšší produktivitu:

- a_p = 14,1 mm,
- f = 0,19 mm,
- v_c = 200.

Zvolit podmínky obrábění s ohledem na co nejdelší trvanlivost nástroje:

- a_p = 14,1 mm,
- f = 0,15 mm,
- v_c = 170.

Při zvolení maximálních řezných parametrů nastávají i další problémy, které je nutné brát v potaz [12]:

- vysoké řezné síly,
- vibrace,
- zadírání se třísky,
- vysoká teplota řezu,
- horší kvalita obrobku.

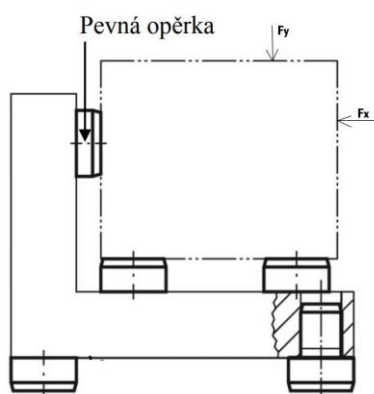
Z těchto důvodů je doporučeno zvolit nižší obráběcí podmínky pro dodržení jakosti a kvality povrchu i bezpečnosti práce. Z tohoto dílčího závěru, lze konstatovat, že není nutné věnovat optimalizaci řezných podmínek mnoho času, ale spíše věnovat čas pro ostatní části výrobního procesu jako je – volba technologie, volba přípravku atd... Z těchto důvodů, byla vybrána nejvýhodnější varianta č. 1 s nižší šířkou záběru ostří a_p a vyšším počtem řezu i .

4.7 Výpočet minimální upínací síly přípravku

Ustavovací prvky musí mít takový tvar, velikost i funkci, aby odpovídaly charakteristickému profilu opěrné plochy obrobku. Zároveň upínací síla by měla působit co nejbližší od obráběné plochy proti pevným opěrám. Síla musí působit proti hlavní základně, směrové ploše nebo proti oběma opěrkám zároveň [12].

Výslednice řezných odporů často mění svůj směr a zároveň se snaží změnit polohu obrobku v přípravku. Při návrhu upínací síly je nutné dodržet tyto podmínky [10, 12]:

- při upnutí nesmí dojít ke změně polohy obrobku působením upínacích sil,
- upínací síly musí být natolik velké, aby obrobek nebyl posunut a nedocházelo ke chvění obrobku.

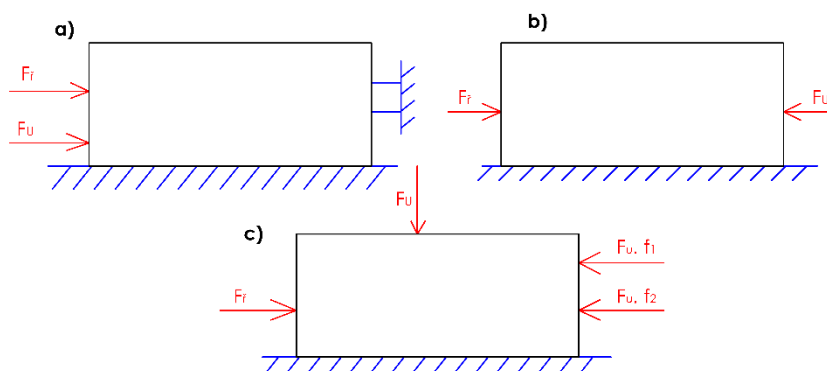


Obr. 4.33 Ustanovení obrobku.

Vzhledem k mnoha odlišným druhům frézování i nástrojů samých, k složitému stanovení velikostí i směru řezných sil se musí zvolit pro výpočet potřebné upínací síly velmi zjednodušené vztahy, které užívají různých opravných koeficientů získaných experimentálně. Následně se vypočtená síla F_U vynásobí bezpečnostním koeficientem k ,

který se volí v rozmezí $1,5 \div 3$. Pro dokončování s plynulým řezem je tato hodnota rovna 1,5. Pro hrubování s přerušovaným řezem je koeficient k roven 3 [10, 12].

Při upnutí obrobku nastávají 3 základní případy působení upínacích sil proti řeznému odporu, které jsou zobrazeny na obr 4.34 [10, 12].



Obr. 4.34 Směry upínacích a řezných sil [10, 12]

- Upínací síla F_U a výslednice řezných sil F_r mají stejný směr a smysl. Působí proti opěrnému prvku. V tomto případě je potřebná upínací síla [12],
- Upínací síla F_U a výslednice řezných sil F_r působí proti sobě [2],

$$F_U = k \cdot F_r [N] \quad (4.23)$$

Kde,

F_U – upínací síla [N],

k – koeficient pro bezpečnost [-],

F_r – výslednice řezných sil [N].

- Upínací síla F_U působí kolmo na řeznou sílu F_r , proti které působí třecí síla F_t na ustavující ploše a v místě upnutí [12].

$$F_U = \frac{k \cdot F_r}{f_1 + f_2} [N] \quad (4.24)$$

Kde,

F_U – upínací síla [N],

k – koeficient pro bezpečnost [-],

F_r – výslednice řezných sil [N],

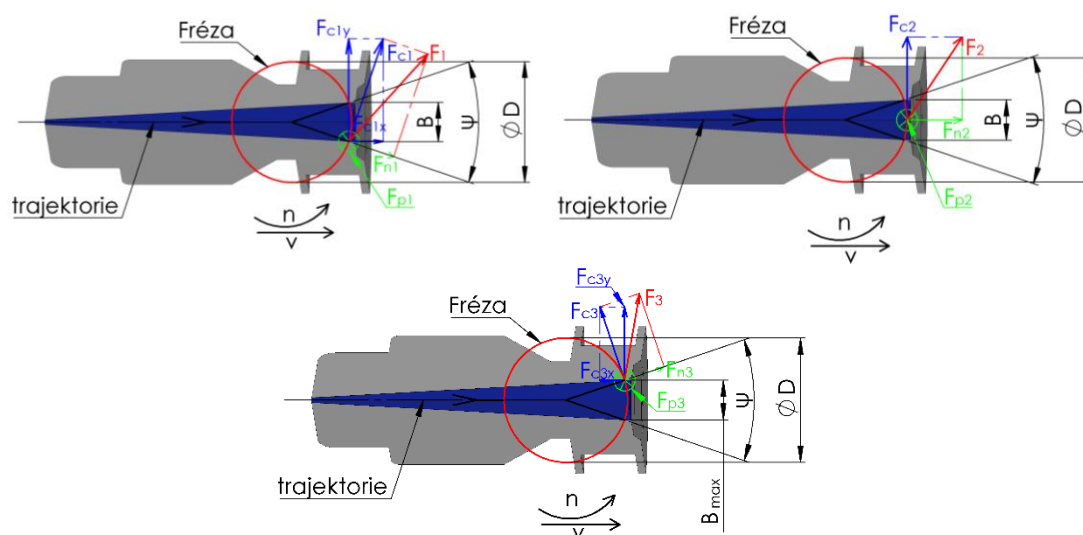
f_1, f_2 – koeficient kluzného tření.

Koeficienty tření mohou nabývat hodnot $f = 0,1 \div 0,7$ v závislosti na opracování opěrných ploch [10, 13]:

- opracované plochy s opěrnou základnou $f = 0,1$,
- neopracované plochy s kulovou pevnou opěrkou $f = 0,3$
- zakalené rýhované prvky $f = 0,4 \div 0,7$ - podle druhu a hloubky rýhování.

V praxi je nutné vyvodit upínací síly, které jsou rovny nebo jsou vyšší než teoreticky vypočítané.

V konkrétním případě pro variantu č. 1 na stroji VF-2 řezná síla při řezu nabývá různých hodnot a směrů. Pro výpočty budou použity maximální hodnoty, které působí v každém směru F_x a F_y . Směr řezné síly F_c v určitých bodech jsou znázorněny na obr. 4.35



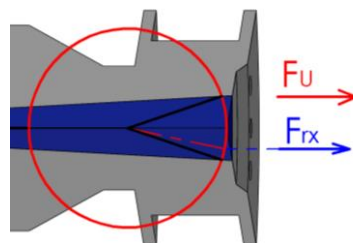
Obr 4.35 Znázornění působení řezných sil.

Při jedné otáčce frézou nastávají 3 směry (pozice), ve kterých řezná síla má jiný směr a orientace se změní pouze ve směru F_y . Velikost řezné síly se neustále mění v závislosti na a_p , φ .

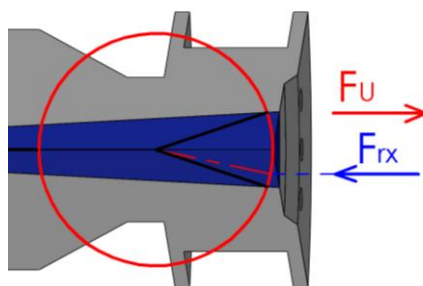
Výpočet upínací síly pro F_{c1} ve variante č. 1 obr. 4.35

Jak bylo vypočteno v kapitole 4.5 je zřejmé, že složky řezné síly F_c mění svoji orientaci, směr a velikost v závislosti na poloze posuvového úhlu. Jak je znázorněno v obr. 4.19, 4.35, složka řezné síly F_{cx} nabývá pouze kladných hodnot, zatímco složka řezné síly F_{cy} mění svoji orientaci na zápornou v bode **P**. V tab. 4.3 byly vypsány maximální hodnoty řezných složek, proti kterým musí být vyvinuta upínací síla:

- $F_{cx} = 378 \text{ N}$,
- $F_{cy} = 3\,450 \text{ N}$.

Upínací síla proti řezné složce F_{rx} :Obr. 4.35 Působení řezné složky + F_{cx} .

Upínací síla F_U a výslednice řezných odporů F_{rx} mají stejný směr a smysl (obr. 4.35) a působí proti opěrci. V daném případě je potřebná upínací síla F_U minimální a není nutné ji vypočítat [12].

Upínací síla proti řezné složce $-F_{rx}$:Obr. 4.36 Působení řezné složky - F_{cx} .

Upínací síla F_U a řezný odpor F_{rx} působí proti sobě (obr. 4.36). Je nutné vypočítat upínací sílu F_U dle následujícího vzorce [12]:

$$F_U = k_1 \cdot F_{rx} [N] \quad (4.23)$$

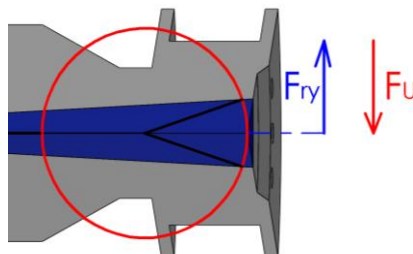
$$F_U = 2,5 \cdot 378 = 945 N$$

Kde,

F_U – upínací síla proti řezné síle [N],

F_{rx} – řezná síla působící proti upínací síle [N],

k – bezpečnostní koeficient (pro hrubování $k = 2,5$) [-].

Upínací síla proti řezné složce + F_{ry} :Obr. 4.37 Působení řezné složky - F_{cy} .

Upínací síla F_U a řezný odpor F_{ry} působí proti sobě (obr. 4.37). Je nutné vypočítat upínací sílu F_U dle následujícího vzorce [12]:

$$F_U = k_1 \cdot F_{rx} [N] \quad (4.23)$$

$$F_U = 2,5 \cdot 3\,450 = 8\,625 \text{ N}$$

Kde,

F_U – upínací síla proti řezné síle [N],

F_{ry} – řezná síla působící proti upínací síle [N],

k – bezpečnostní koeficient (pro hrubování $k = 2,5$) [-].

Tab. 4.4 Potřebné upínací síly pro různou šířku záběru ostří.

i [-]	a_p [mm]	F_{Ux} [N]	F_{Uy} [N]	t_{as} [min]
1	14.1	945	8 625	0.33
2	7.1	473	4 313	0.50
3	4.7	315	2 875	0.83
5	2.8	189	1 725	1.11
10	1.41	94.5	862.5	1.30

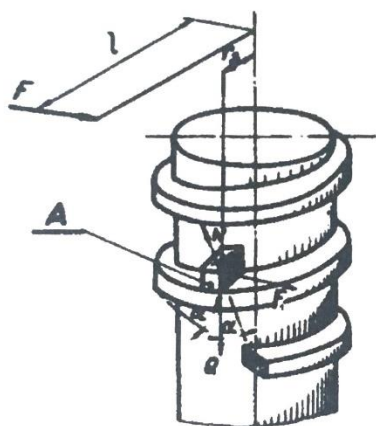
Z tab. 4.4 je zřejmé, že potřebná upínací síla lineárně klesá s přibývajícím počtem záběrů frézy. Doba frézování je i natolik časově nenáročná, že je doporučeno zvýšit počet záběrů z $i = 1$ alespoň na $i = 5 \div 10$.

4.8 Výpočet upínací síly vytvořené šroubem

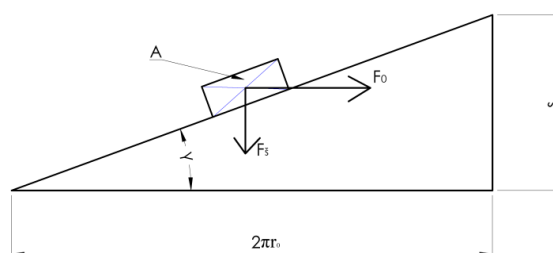
Šrouby patří mezi nejpoužívanější upínací prvky, pro svoji jednoduchost, všestrannost použití, dosažení velké upínací síly při působení malé síly, samosvornost, univerzálnost a možnost použití při vzniku rázu při obrábění. Nepoužívají se tam, kde jsou potřeba velké zdvihy, protože upínání je časově náročné [10, 12, 13, 14].

Stanovení síly [6,7]:

Pro jednoduchost je provedeno odvození vztahů pro výpočet upínací síly u šroubu s plochým jednoduchým závitem, kde matice je nahrazena tělesem A. Těleso je zatíženo upínací silou Q. Při otáčení pákou o délce l se otáčí šroub a těleso A se pohybuje po nakloněné rovině v prostoru. Rozvinutím středního průměru závitu se změní nakloněná rovina prostorová (obr. 4.38) na rovinu plošnou (obr. 4.39) [10, 12, 13, 14].



Obr. 4.38 Šroub v prostoru [12].



Obr. 4.39 Šroub v rovině.

F_0 – vyvozená síla působící na páce ($F_0 = 20 \text{ N}$) [N],

l – délka páky, kde působíme silou F_0 ($l = 100 \text{ mm}$) [mm],

γ – úhel stoupání závitu [$^\circ$],

φ – úhel tření [$^\circ$],

s – stoupání závitu [mm],

$F_š$ – maximální upínací síla šroubem [N],

r_0 – střední poloměr závitu (M8x1,25 - $r_0 = 3,59 \text{ mm}$) [mm].

Tab. 4.5 Vypočtené informace o upínací šroubů [13].

Velký průměr závitu d (mm)	Střední poloměr závitu r_0 (mm)	Maximální upínací síla F_{u1} (N)	Síla na rukojeti kliče F_0 (N)	Délka rukojeti (mm)
4	1,77	500	10	12
5	2,24	650	15	16
6	2,76	1 000	20	19
8	3,59	2 000	20	100
10	4,50	3 000	20	120
12	5,43	4 500	50	130
16	7,35	8 000	80	190
20	9,19	12 000	120	240
24	11,02	17 500	160	310
27	12,52	22 000	200	350

Tab. 4.7 Upínací síla a krouticí moment v závislosti na průměru závitu [13].

Průměr závitu	Upínací síla F_u (N)									
	1 000	2 000	3 000	4 500	6 000	8 000	10 000	12 000	14 500	17 500
	Krouticí moment na klíči (N . mm)									
M 6 × 1	1 240									
M 8 × 1,25	1 630	3 250								
M 10 × 1,5	2 050	4 100	6 150							
M 12 × 1,75	2 450	4 900	7 300	11 000						
M 14 × 2	2 850	5 700	8 500	12 750	17 000					
M 16 × 2	3 250	6 500	9 750	14 600	19 500	26 000				
M 18 × 2,5	3 680	7 350	10 000	16 500	22 000	29 500	36 800			
M 20 × 2,5	4 100	8 200	12 200	18 300	24 500	32 500	41 000	49 000		
M 22 × 2,5	4 450	8 900	13 400	20 000	26 600	35 500	44 500	53 500	64 500	
M 24 × 2,5	4 900	9 800	14 700	22 000	29 300	38 200	49 000	59 000	71 000	85 700
M 27 × 3	5 500	11 000	24 800	24 800	33 000	44 000	54 500	65 500	79 500	96 000

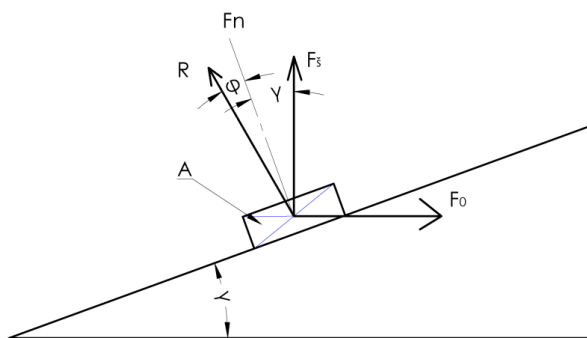
Z rovnováhy sil dle obr. 4.38 [12, 13]:

$$F_0 \cdot l = F_s \cdot r_0 \quad (4.25)$$

Lze stanovit sílu F_s [12, 13]:

$$F_s = \frac{F_0 \cdot l}{r_0} [N] \quad (4.26)$$

Rozložením sil F_s na upínací sílu R a normálovou sílu F_n obr. 4.37:



Obr. 4.40 Rozložení síly šroubu F_s na upínací sílu R a normálovou sílu F_n .

Při zahrnutí ztrát vzniklých třením se složka \mathbf{R} (reakce) odklání od normály \mathbf{F}_n o úhel tření φ a rovnováha sil je dána vztahem [13]:

$$F = F_s \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) [N] \quad (4.27)$$

Úhel stoupání závitu α získáme z rovnice [13]:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{2\pi r_0} [^\circ] \quad (4.28)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1,25}{2\pi \cdot 3,59} \cong 3^\circ 11' 18''$$

Následně je nutné vyjádřit F_s a dosadit $\operatorname{tg} \alpha$ [13]:

$$F_s = \frac{F_0 \cdot l}{r_0 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} [N] \quad (4.29)$$

Při konstrukci přípravku lze použít šrouby, které jsou samosvorné. Podmínka samosvornosti je $\alpha \leq \varphi$ můžeme stanovit sílu působící na páce klíče [13]:

$$F_0 = F_s \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \frac{r_0}{l} [N] \quad (4.30)$$

Koeficient tření f mezi dvěma ocelovými hladkými obrobenými plochami je [13]:

$$\operatorname{tg} \varphi = f = 0,1 \quad (4.31)$$

$$\varphi = 5^\circ 43'$$

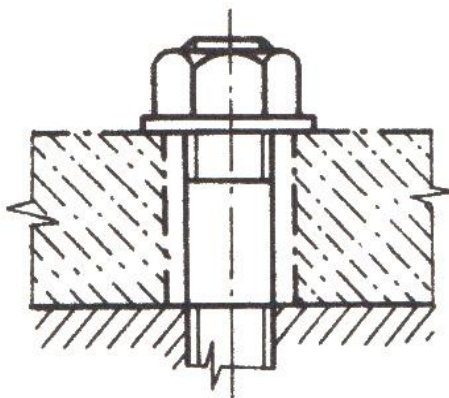
Tato hodnota φ je pouze platná pro dvě rovinné plochy. Pro klínový profil metrického závitu je koeficient tření f_z roven [13]:

$$f_z = \frac{f}{\cos 30^\circ} [-] \quad (4.32)$$

$$f_z = \frac{0,1}{\cos 30^\circ} \cong 0,115$$

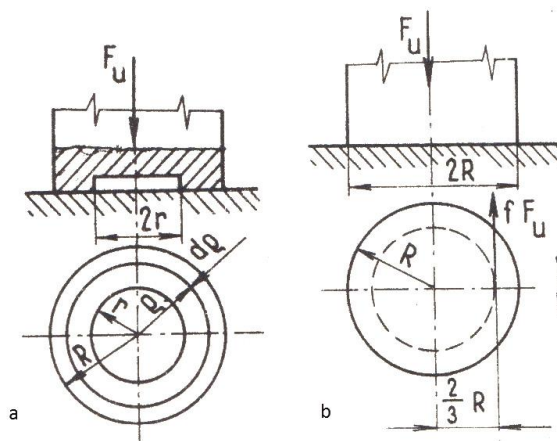
Koeficient tření f_z po dosazení do vzorce 4.31 odpovídá úhly tření $\varphi = 6^\circ 40'$, z toho vyplývá, že podmínka samosvornosti tedy bude $\alpha \leq 6^\circ 40'$ [13].

Při výpočtu je nutno brát zřetel na tření v závitech, tření mezi koncem upínacího šroubu a upínací plochou. Výpočet je použit pro upnutí šroubem dle obr. 4.41.



Obr. 4.41 Dosedací plocha šroubů na materiál [13].

Dle obr 4.41, lze vytvořit schéma sil:



Obr. 4.42 Druhy dosedacích ploch šroubů: a) mezikruží, b) plná plocha [13].

Po aplikování schématu na specificky navrhnutý přípravek dosedací plocha matice souhlasí s obr. 4.42a, bude se třecí moment počítat s tím, že tlak p bude stálý [13].

$$p = \frac{F_s}{\pi(R^2 - r^2)} = konst. [Nmm^2] \quad (4.33)$$

p – tlak [MPa],

R – průměr hlavy šroubu [mm].

Elementární moment třecích sil dM_t na mezikruží šířky d_δ bude roven [13].

$$dM_t = f \cdot \delta dF = 2\pi \cdot f \cdot p \cdot \delta^2 \cdot d_\delta \quad (4.34)$$

Kde,

M_t – elementární moment třecích sil [m·mm],

$f \cdot dF$ – elementární třecí síla na mezikruží šířky $d\delta$,

f – součinitel tření ($f = 0,18$ – pro hladké plochy).

Po z integrování předchozí rovnice dostaneme [13]:

$$M_t = 2\pi \cdot f \cdot p \int_r^R \delta^2 d\delta = 2\pi \cdot f \cdot p \cdot \frac{R^3 - r^3}{3} \quad (4.35)$$

Kde,

R – poloměr hlavy šroubu [mm],

r – poloměr vnitřní dosedací plochy [mm].

Po dosazení tlaku p a úpravě dostaneme [13]:

$$M_t = \frac{2(R^3 - r^3)}{3(R^2 - r^2)} f F_\xi \quad (4.36)$$

V případě dle obr. 4.41 a 4.42a je poloměr vnitřní dosedací plochy roven $r = 0$ [13]:

$$M_t = \frac{2}{3} R f F_\xi \quad (4.37)$$

Celkový moment M na páce, je upínacího klíče potřebného k upnutí, dán součtem momentů třecích sil v závitu M_z a momentu M_t vznikající mezi plochou obrobku a šroubu [13].

$$M = M_z + M_t \quad (4.38)$$

$$M_z = F_0 \cdot l = F_\xi \cdot r_0 \cdot tg(\alpha + \varphi) \quad (4.39)$$

$$M = F_0 \cdot l = F_\xi \left[r_0 \cdot tg(\alpha + \varphi) + \frac{2}{3} R \cdot f \right] \quad (4.40)$$

Při použití plochy s upínacím čelem lze vypočítat upínací sílu pro šroub M8x1,25 dle [13]:

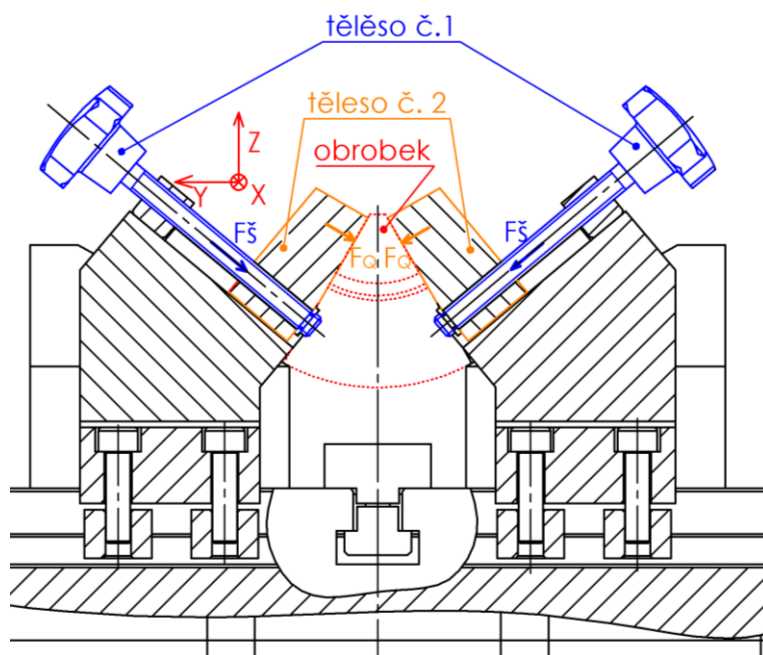
$$F_s = \frac{F_0 \cdot l}{r_0 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + f \cdot R} \quad [N] \quad (4.41)$$

$$F_s = \frac{20 \cdot 100}{3,59 \cdot \operatorname{tg}(3^\circ 10' + 6^\circ 40') + 0,1 \cdot 6,4} = \frac{2000}{1,26257} \doteq 1\,585 \text{ N}$$

Vypočtenou sílu F_s , lze porovnat s tab. 4.7. Z tabulky lze vyčíst, že pro šroub M8x1,25 je upínací síla rovna $F_s = 1\,630 \text{ N}$. Tento rozdíl byl v důsledku zadání jiné hodnoty tření f . Výpočty jsou tedy tabulkově dány a lze je v praxi pouze odečíst, kdy si pouze navolíme krouticí moment pro utáhnutí šroubu.

4.9 Výpočet upínací síly modulárního přípravku

Označení těles na pohyblivém segmentu je znázorněn na obr. 4.43:

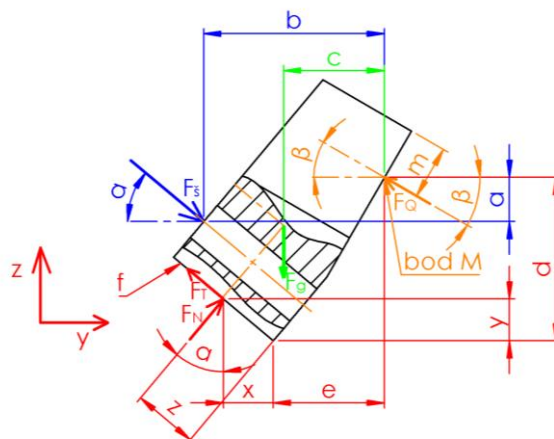


Obr. 4.43 Označení těles č. 1 a 2, upínací síly šroubu F_s , upínací síly segmentu F_0 .

Působením síly F_s , kterou vyvine šroub (těleso č. 1) se přenáší na přítlačnou čelisti (těleso č. 2). Upnutí segmentů je navzájem symetrické i upínacího přípravku. Vyvineme pomocí tohoto upnutí i sílu opačně orientovanou ze zrcadlených těles č. 1 a č. 2. Ve výpočtu bude zahrnutá gravitační síla tělesa č. 2, které přenáší sílu z tělesa č. 1. Následně bude proveden kinematický rozbor, uvolnění těles, statický rozbor, sestavení rovnic statické rovnováhy a jejich řešení, výpočet neznámých parametrů a závislost upínací síly šroubu F_s na upínací sílu

F_Q s následným zhodnocením výsledku. Upnutí přípravku je v 3D prostoru, avšak úlohu pro zjednodušení lze převést do rovinné úlohy, kde každé těleso odebírá 3 °V [21].

Uvolnění tělesa č. 2 na obr. 4.44:



Obr. 4.44 Statické uvolnění tělesa č. 2

Kinematický rozbor [21]:

Na tělese č. 2 působí pouze dvě posuvné vazby. Každá z těchto vazeb odebírá 2 U upínací síly \mathbf{F} je jeden deformační parametr η , který omezuje pohyb stykových vazeb.

$$i = (n - 1)i_v - \left(\sum \epsilon_i - \eta \right) [^\circ V] \quad (4.42)$$

$$i = (2 - 1)3 - (2 + 2 - 1) = 0^\circ V$$

Těleso je tedy ve statické rovnováze a je staticky určené.

Kde,

i – počet stupňů volnosti vázaného tělesa [°V],

$(n-1)$ – počet těles bez základního tělesa [-],

i_v – počet stupňů volnosti volného tělesa [°V],

$\sum \epsilon_i$ – počet složek mechanického pohybu odebraných vazbami [-],

η – počet deformačních parametrů omezených stykovými vazbami [-],

$\sum \epsilon_i - \eta$ – počet stupňů volnosti odebraných stykovými vazbami [°V].

Statický rozbor [21]:

$$i\mu = v \wedge \mu_M + \mu_r < v_M \quad (4.43)$$

$$3 = 3 \wedge 0 + 1 < 1$$

Kde,

μ – počet neznámých parametrů [-],

v – úloha 2D (3) nebo 3D (6) [-],

μ_M – počet nezávislých parametrů z množiny momentových podmínek [-],

μ_r – počet nezávislých parametrů z množiny polohových podmínek [-],

v_M – počet momentových rovnic, které je možno vytvořit [-].

Rovnice statické rovnováhy tělesa č. 2:

$$\sum F_{iy} = 0 \quad (4.44)$$

$$\sum F_{iz} = 0 \quad (4.45)$$

$$\sum M_{iz} = 0 \quad (4.46)$$

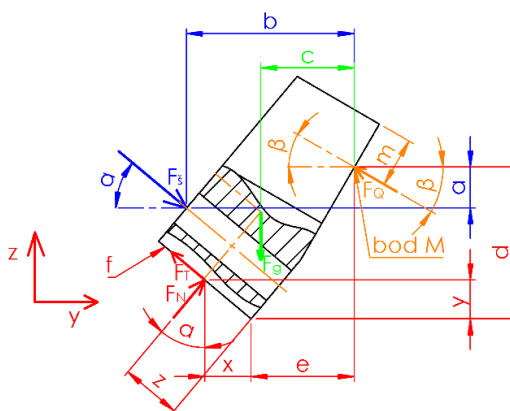
Kde,

F_{iy} – jednotlivé síly v ose y [N],

F_{iz} – jednotlivé síly v ose z [N],

M_{iz} – moment ke zvolenému bodu [N·mm].

Uvolnění tělesa č.2 na obr. 4.45:



Obr. 4.44 Statické uvolnění tělesa č. 2.

Kde,

$f = 0,18$ – koeficient tření [-],

F_N – normálová síla [N],

F_T – třecí síla [N],

F_s – upínací síla šroubu [N],

F_g – tíhová síla tělesa č. 2 [N],

F_Q – upínací síla tělesa č. 2 [N],

$m = 0,15$ kg – hmotnost tělesa č. 2 [kg],

$a = 8,49$ mm - velikost ramene [mm],

$b = 34,73$ mm - velikost ramene [mm],

$c = 19,36$ mm - velikost ramene [mm],

$d = 31,46$ mm - velikost ramene [mm],

$g = 21,37$ m·s⁻² - tíhové zrychlení [m·s⁻²],

$e = 8,49$ mm - velikost ramene [mm],

α – úhel svírající síla F_s [°],

β - úhel svírající síla F_3 [°] – pro segment 45° -> $\beta_1 = 22,5^\circ$, 60°-> $\beta_2 = 30^\circ$.

Sestavení rovnic statické rovnováhy tělesa č. 2, dosazením do rovnic č. 4.44, 4.45, 4.46:

$$\sum +F_s \cdot \cos(\alpha) - F_T \cdot \cos(\alpha) + F_N \cdot \sin(\alpha) - F_Q \cdot \cos(\beta) = 0 \quad (4.44)$$

$$\sum -F_s \cdot \sin(\alpha) + F_T \cdot \sin(\alpha) + F_N \cdot \cos(\alpha) - F_Q \cdot \sin(\beta) - F_g = 0 \quad (4.45)$$

$$\sum F_s \cos(\alpha) \cdot a + F_s \cdot \sin(\alpha) \cdot b + F_g \cdot c - F_T \cdot \cos(\alpha) \cdot (d - y) - F_T \cdot \sin(\alpha) \cdot (e + x) + F_N \cdot \sin(\alpha) \cdot (d - y) - F_N \cdot \cos(\alpha) \cdot (e + x) = 0 \quad (4.46)$$

Doplňkové rovnice statické rovnováhy:

$$F_T = F_N \cdot f \text{ [N]} \quad (4.47)$$

$$F_g = m \cdot g \text{ [N]} \quad (4.48)$$

$$x = \cos(\alpha) \cdot z \quad (4.49)$$

$$y = \sin(\alpha) \cdot z \quad (4.50)$$

Po úpravě rovnic č. 4.48, 4.49, 4.50:

$$F_G = \frac{F_s \cdot \cos(\alpha) - F_N \cdot (f \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha))}{\cos(\beta)} \text{ [N]} \quad (4.51)$$

$$F_N = \frac{F_g + F_s \cdot (\sin(\alpha) + \cos(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta))}{f \cdot (\sin(\alpha) + \cos(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta)) + \cos(\alpha) - \sin(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \text{ [N]} \quad (4.52)$$

Po konečné úpravě a dosazení do rovnice 4.53. je upínací síla F rovna:

$$F_Q = \frac{1\,585 \cdot \cos(30^\circ) - 12\,915,97 \cdot (0,18 \cdot \cos(30^\circ) + \sin(30^\circ))}{\cos(40^\circ)} = 1\,188 \text{ N} \quad (4.53)$$

Výsledná upínací síla F_Q je následně rozložena do složek F_{Qy} a F_{Qz} dle goniometrických funkcí:

$$F_{Qy} = F_Q \cdot \cos(\beta) = 1\,585 \cdot \cos(30^\circ) = 1\,028,8 \text{ N} \quad (4.54)$$

$$F_{Qz} = F_Q \cdot \sin(\beta) = 1\,585 \cdot \sin(30^\circ) = 594 \text{ N} \quad (4.55)$$

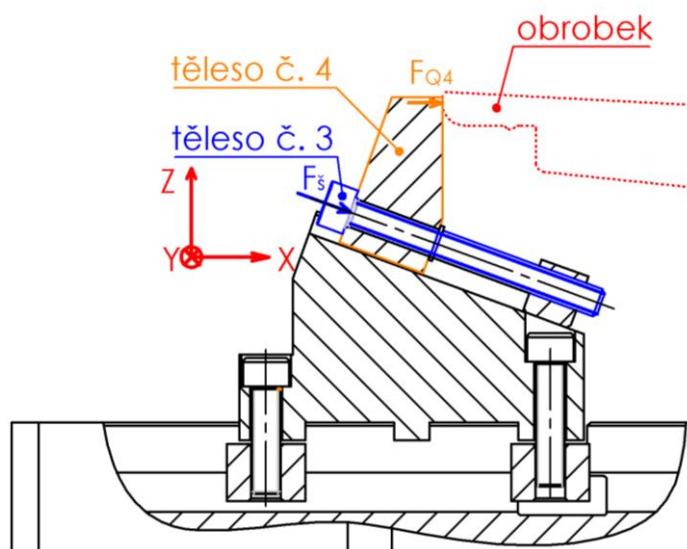
Při vyvinutí utahovacího momentu $M = 2\,000\text{ N}\cdot\text{mm}$, je pro šroub M8 upínací síla rovna $F_s = 1\,585\text{ N}$. Při působení upínací síly F_s lze vyvinout maximální upínací sílu přípravku $F_Q = 1\,188\text{ N}$. Upínací síla se rozkládá do dvou složek $F_{Qy} = 1\,028\text{ N}$ a $F_{Qz} = 594\text{ N}$. Proti složkám upínací síly F_{Qy} a F_{Qz} působí maximální řezná síla $F_{ry} = 3\,450\text{ N}$ při šířce záběru ostří $a_p = 14,1\text{ mm}$ (viz. tab. 4.3). Proti řezné síle F_{ry} je nutné vytvořit upínací sílu alespoň $F_{Qy} = 8\,625\text{ N}$ jak bylo znázornění v tab. 4.4. Upínací síla F_{Qy} tedy není dostačující pro bezpečně tuhé upnutí.

Z výpočtu upínací síly je zřejmé, že není dostačující. Z toho důvodu je doporučeno vybrat alespoň jeden z následujících postupů:

- přestruovat segment, který vytváří upínací síly na obrobek,
- zvolit menší hodnotu šířky záběru ostří a_p -> hrubovat polotovar na více řezů i ,
- vyvinout větší upínací sílu vytvořenou šroubem za následujících tří podmínek:
 - zvětšit průměr upínacího šroubu z M8 na M10, M12, M16...
 - zvýšit utahovací moment klíče $M_k = 2\,000\text{ N}\cdot\text{mm} > M_k = 20\,000 \div 60\,000\text{ N}\cdot\text{mm}$,
 - použití šroubů z vyšší třídou pevnosti než 6.8.

Výpočet upínací síly koncového segmentu

Pro bezpečně tuhé upnutí je nutné vyvinout sílu, která dorazí obrobek a vytvoří upínací sílu v ose X, Z. Působením upínací síly šroubu F_s (těleso č. 3) se síla přenáší na přítlačnou čelist (těleso č. 4). Mechanismus upnutí je totožný s předchozím upínacím segmentu (těleso č. 1 a 2). Jsou zde změněny pouze úhly α a β .



Obr. 4.45 – Znázornění upínací síly přípravku v ose X, Z.

Upnutí přípravku je v 3D prostoru, úlohu lze zjednodušit a převést do rovinné úlohy, kde každé těleso odebírá 3° . Ve výpočtu je zahrnutá gravitační síla tělesa č. 4, které přenáší upínací sílu z tělesa č. 3. Kinematický rozbor, uvolnění těles, statický rozbor a sestavení

rovnice statické rovnováhy byly vyřešeny výše. Výsledná síla F_{Q4} byla opět vypočtena dle rovnice. 4.63.

α – úhel svírající síla F_s [°] – pro segment $45^\circ \rightarrow \alpha_3 = 20^\circ$, $60^\circ \rightarrow \alpha_4 = 20^\circ$.

β - úhel svírající síla F_4 [°] – pro segment $45^\circ \rightarrow \beta_3 = 0^\circ$, $60^\circ \rightarrow \beta_3 = 0^\circ$.

Po dosazení do rovnice 4.63. je upínací síla F_{Q4} rovna:

$$F_{Q4} = \frac{1\,585 \cdot \cos(20^\circ) - 542,89 \cdot (0,18 \cdot \cos(20^\circ) + \sin(20^\circ))}{\cos(0^\circ)} = 791\,N \quad (4.63)$$

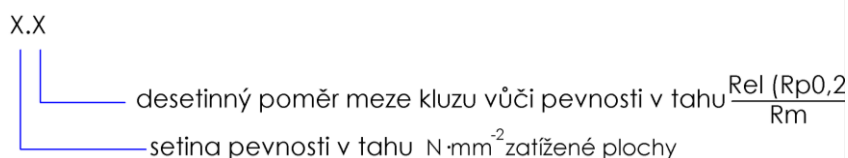
Vypočítaná síla F_{Q4} směřuje přímo ve směru osy X , není zde potřeba jí dále rozkládat do složek F_{Qx} , F_{Qz} .

Při vyvinutí utahovacího momentu $M = 2\,000\,N \cdot mm$, je pro šroub M8 upínací síla rovna $F_s = 1\,585\,N$. Při působení upínací síly F_s lze vyvinout maximální upínací sílu přípravku $F_{Q4} = 791\,N$ v ose X . Proti upínací síle F_{Q4} působí maximální řezná síla $F_{rx} = 378\,N$ při šířce záběru ostří $a_p = 14,1\,mm$ (viz. tab. 4.3). Proti této řezné síle F_{ry} je nutné vytvořit upínací sílu alespoň $F_{Q4} = 945\,N$ jak bylo znázornění v tab. 4.4. Upínací síla F_{Q4} tedy není dostačující pro bezpečně tuhé upnutí.

Z výpočtu upínací síly je zřejmé, že není dostačující. Z toho důvodu je doporučeno vybrat alespoň jeden z následujících postupů:

- překonstruovat segment, který vytváří upínací síly na obrobek,
- zvolit menší hodnotu šířky záběru ostří $a_p \rightarrow$ hrubovat polotovár na více řezů i ,
- vyvinout větší upínací sílu vytvořenou šroubem za následujících tří podmínek:
 - zvětšit průměr upínacího šroubu z M8 na M10, M12, M16...
 - zvýšit utahovací moment klíče $M_k = 2\,000\,N \cdot mm > M_k = 5\,000 \div 10\,000\,N \cdot mm$
 - použít šrouby z vyšší třídou pevnosti než 6.8.

Pro vyvinutí větší upínací síly šroubů je nutné také vyvinout větší utahovací moment. Ovšem zde je nutné zvážit, zda šroub tuto sílu vydrží a nepraskne. Je tedy doporučeno použít pro konstrukci přípravku šrouby o vyšší pevnostní třídě 10.9 nebo 12.9. Tyto čísla značí vlastnosti materiálu dle obr. 4.46 [22].



Obr. 4.46 – Označování třídy šroubů [22].

Původní návrh vyvinutí síly bočních upínacích segmentů zahrňoval rychloupínací matici zakoupeny od firmy KIPP.cz. Dodavatel nenabízí rychloupínací matice v jiném konstrukčním provedení, a proto je vhodné předělat upínací systém na klasické šestihhrané šrouby, které lze zakoupit např. od firmy Fabory.

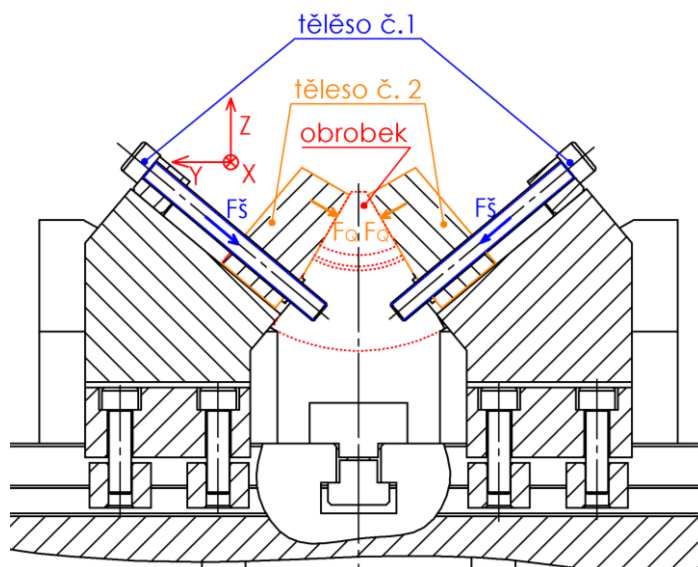
Tab. 4.8 Třída pevnosti šroubů a jejich vlastnosti [22].

Vlastnosti		Pevnostní třída				
		4,8	5.8	8.8	10.9	12.9
R_m [MPa]	jmenovitá	400	500	800	1000	1200
	minimální	420	520	800 - 830	1040	1220
R_{e1} [MPa]	jmenovitá	240	400	-	-	-
	minimální	240	420	-	-	-
R_{p0,2} [MPa]	jmenovitá	-	-	640	900	1080
	minimální	-	-	640 - 660	940	1100
HV [-]	minimální	120	160	250 - 255	320	385
	maximální	220	220	320 - 335	380	435

V případech, kdy upínací síla šroubů nestačí, je dovoleno vyvinout větší upínací moment na rameni klíče. Vyvinutím většího upínacího momentů se zvýší upínací síla šroubu a následně i upínací síla přípravku. Avšak maximální utahovací momenty jsou veřejně přístupné pouze pro šrouby o velikostech M10, M12, M16 a M20. Dle třídy šroubu, známého tření v závitech a průměru šroubu lze zvolit potřebný utahovací moment a tím i tzv. předpínací sílu, která v tomto případě je F_s .

Tab. 4.9 Maximální utahovací moment a předpínací síla šroubů pro danou třídu a velikost [23].

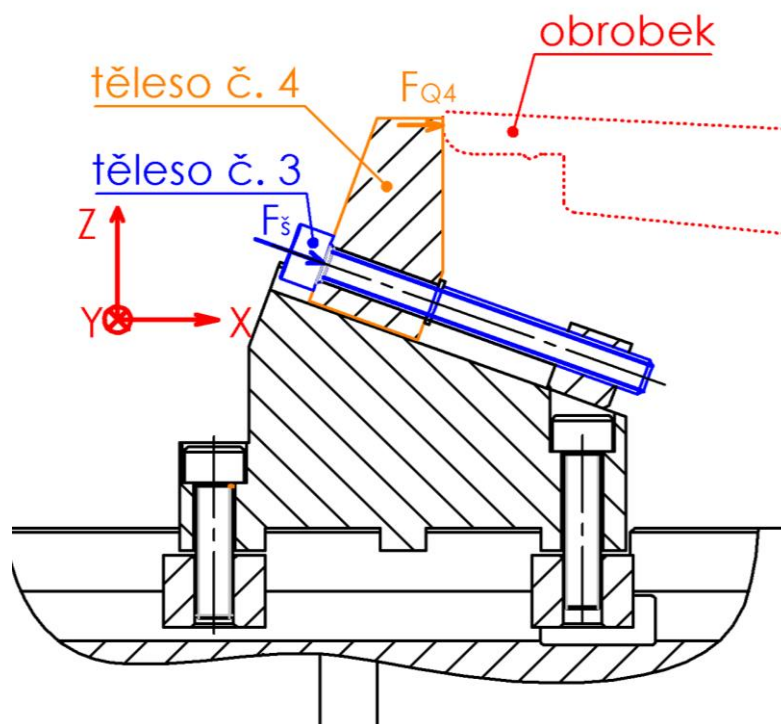
Průměr závitů	Maximální utahovací moment M [N.m]								
	Třída pevnosti šroubu								
	8.8			10.9			12.9		
	Součinitel tření v závitu f [-]								
	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
M10	40	50	60	59	73	87	69	84	100
M12	69	87	105	100	125	151	120	148	177
M16	170	220	260	250	315	380	290	370	445
M20	340	430	520	490	615	740	570	700	840
Průměr závitů	Maximální předpínací síla F_s [kN]								
	Třída pevnosti šroubu								
	8.8			10.9			12.9		
	Součinitel tření v závitu f [-]								
	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
M10	29	26	23	42	38	34	49	45	40
M12	42	38	34	61	56	50	72	65	58
M16	79	71	64	115	105	94	135	122	110
M20	126	114	103	180	165	147	210	190	172



Obr. 4.47 Upínací síly bočních přitlaku.

Tab. 4.10 Přepoččet upínacích sil bočního přitlaku pro dané upínací síly šroubu F_s .

Průměr závitu	Maximální upínací síla přípravku F_{QY} [kN]								
	Třída pevnosti šroubu								
	8.8			10.9			12.9		
	Součinitel tření v závitu f [-]								
	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
M10	18	16	15	27	24	22	31	29	25
M12	27	24	22	39	36	32	47	42	37
M16	51	46	42	74	68	61	87	79	42
M20	81	74	67	116	68	95	136	123	122
Průměr závitu	Maximální upínací síla přípravku F_{QZ} [kN]								
	Třída pevnosti šroubu								
	8.8			10.9			12.9		
	Součinitel tření v závitu f [-]								
	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
M10	11	10	9	16	14	13	18	17	15
M12	16	14	13	23	21	19	27	24	22
M16	30	27	24	43	39	35	50	46	24
M20	47	43	39	67	39	55	79	71	71



Obr. 4.48 Upínací síly přípravku v ose Z.

Tab. 4.11 Přepoččet upínacích sil koncového segmentu pro dané upínací síly šroubu $F_{\text{š}}$.

Průměr závitu	Maximální upínací síla přípravku F_{Q4} [kN]								
	Třída pevnosti šroubu								
	8.8			10.9			12.9		
	Součinitel tření v závitě f [-]								
	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
M10	14	13	11	21	17	25	24	22	20
M12	21	19	17	30	25	37	36	32	29
M16	39	35	32	57	78	47	67	61	55
M20	62	57	51	134	90	73	104	95	86

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro výrobu tvářecích segmentu I/O a CE je nutno vyrobit dvě redukční desky, které upevní tvářecí segment v odlišném úhlu nastavení, tedy 3° nebo 5,5°. Také je nutno vyrobit více koncových přítlaků pro dosednutí upínací plochy na tvářecí segment z důvodu odlišnosti úhlu tvářecích segmentů 45° a 60°.

5.1 Technicko-ekonomický výpočet

Faktory ovlivňující výsledné náklady výroby [11, 24]:

- stupeň obtížnosti výroby,
- počet dílců (včetně normalizovaných),
- typ materiálů,
- typ nástrojů,
- tepelné zpracování,
- zručnost zaměstnanců,
- správně zvolená technologie výroby – tváření, obrábění, řezání.

Náklady na výrobu modulárního přípravku

Tab. č. 5.1: Náklady na výrobu modulárního přípravku.

Název dílce	n	Hmotnost	Doba výroby jedné součástky	Sazba	Materiál	Koop.	Jedn.	Náklady
	[ks]	[kg]	[min/ks]	[Kč/hod]	[Kč/ks]	[Kč/ks]	[Kč/ks]	[Kč/n.ks]
Základní deska	1	34	420	920	1 972	2 210	10622	10622
Redukční deska	2	23	315	920	1 334	1 495	7659	15318
Prizmatický držák	2	2.3	120	920	133	150	2123	4246
Upínací segment	3	1.5	240	920	87	98	3865	11594
Koncový přítlak	6	0.15	230	920	9	20	3555	21329
Doraz k šroubu	3	0.04	30	920	2	5	468	1403
Kalená podložka	1	0.04	120	920	2	5	1848	1848
Šrouby	22	-	0	920	3	0	4	88
Kolíky	10	-	0	920	9	0	11.4	114
T-matice	10	-	0	920	79	0	79	790
							Σ	67351

Jednotná hodinová sazba [Sazba] – do této sumy jsou promítnuty náklady k jednotce práce CNC stroje. Hodnota je určena z celkových nákladů za jeden rok firmy OMNI-X CZ. Tyto náklady zahrnují:

- nástroje, měřidla, chladicí kapaliny, upínací přípravky,
- údržba strojů,

- práce zaměstnanců,
- elektrická energie,
- amortizace.

Materiál dílců [Materiál] – byl zvolen materiál ČSN 42 220, jedná se o konstrukční ocel vhodnou k cementování.

Kooperace [Koop] – tuto část výroby je nutné zaslat do externí firmy NAREX Ždánice, spol. s.r.o, kde je minimální cena vsázky 3 000 Kč. Cena této služby je dána hmotností materiálu, který je zaslán do firmy. Cena za tepelné zpracování je $58 \text{ Kč} \cdot \text{Kg}^{-1}$ pro cementaci i kalení.

Celkové náklady na konstrukci a výrobu přípravku [11, 24]:

$$N_V = N_{VK} + N_{VS} + N_{VM} [\text{Kč}] \quad (5.1)$$

Kde,

N_V – celkové náklady na konstrukci a výrobu [Kč],

N_{VK} – náklady na konstrukci přípravku [Kč],

N_{VS} – náklady na výrobu a stavbu přípravku [Kč],

N_{VM} - náklady na základní materiál [Kč].

Materiálové pořizovací náklady [11, 24]:

$$N_{VM} = N_{ZM} + N_{PM} + N_{NM} [\text{Kč}] \quad (5.2)$$

$$N_{VM} = 5\,229 + 0 + 946 = 6\,175 \text{ Kč}$$

Kde,

N_{VM} - náklady na základní materiál [Kč],

N_{ZM} – náklady na základní materiál [Kč],

N_{PM} – náklady na polotovary [Kč].

N_{NM} – náklady na normalizované díly [Kč].

Čas potřebný ke stavbě přípravku je dán součtem času [11, 24]:

$$T_{VS} = T_{VM} + T_{VF} [\text{hod}] \quad (5.3)$$

$$T_{VS} = 0,75 + 0,25 = 1 \text{ hod}$$

Kde,

T_{VS} – čas potřebný ke stavbě přípravku [hod],

T_{VM} – čas montáže [hod],

T_{VF} – čas na zkoušku funkčnosti [hod].

Náklady na výrobu a stavbu přípravku se určí s ohledem na vlastní náklady oddělení [11, 24]:

$$N_{VS} = (T_{VS1} \cdot m_{V1}) + (T_{VS2} \cdot m_{V2}) + N_{koop} \text{ [Kč]} \quad (5.4)$$

$$N_{VS} = \left(\frac{3\,600}{60} \cdot 920 \right) + (1 \cdot 170) + 6\,067 = 61\,437 \text{ Kč}$$

Kde,

T_{VS1} – čas potřebný na výrobu přípravku [hod],

m_{V1} – hodinová sazba stroje [Kč],

T_{VS2} – čas potřebný na stavbu přípravku [hod],

m_{V2} – průměrná mzda pracovníka [Kč],

N_{koop} – náklady kooperaci [Kč].

Náklady na konstrukci se určí z [11, 24]:

$$N_{VK} = N_{VKV} + N_{VKK} \text{ [Kč]} \quad (5.5)$$

$$N_{KV} = 3\,400 + 170 = 3\,570 \text{ Kč}$$

$$N_{VKV} = T_{VK} \cdot P_{VK} \text{ [Kč]} \quad (5.6)$$

$$N_{VKV} = 20 \cdot 170 = 3\,400 \text{ Kč}$$

$$N_{VKK} = T_{KK} \cdot P_{KK} \text{ [Kč]} \quad (5.7)$$

$$N_{VKK} = 1 \cdot 170 = 170 \text{ Kč}$$

Kde,

T_{VK}, T_{KK} – potřebný pracovní čas [hod],

P_{VK}, P_{KK} – průměrný plat konstruktéra [$\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$],

N_{KV} – náklady na konstrukce přípravku [Kč],

N_{VKV} – náklady na vlastní kreslení [Kč],

N_{VKK} – náklady na kontrolu konstrukce [Kč].

Celkové náklady na konstrukci a výrobu přípravku se určí součtem rovnic 5.2, 5.4, 5.5 [11, 24]:

$$N_V = 3\,570 + 61\,437 + 6\,175 \cong 71\,182 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

Do tabulky č. 5.1 byly vypsány náklady potřebné pro výrobu modulárního přípravku. Tyto náklady zahrnují potřebný čas konstruktéra pro nakreslení výkresů, nákup materiálů, normalizovaných součástí i amortizaci.

5.2 Počet kusů tvářecích segmentů vyrobených v předchozích letech

Dle statistických údajů, které byly poskytnuty vedením firmy OMNI-X CZ, byly údaje uvedeny v následující tabulce 5.2.

Rok výroby	Počet vyrobených tvářecích segmentů [ks]	Počet vyrobených zmetků [ks]	Procentuální zmetkovitost [%]
2017	1590	66	4.2
2016	1422	42	3.0
2015	660	36	5.5

Z tabulky 5.2 plyne, že při začátku výroby END-Formingu a tedy i tvářecích segmentů, procentuální úspěšnost výroby byla 94,5 %. Počet vyrobených tvářecích segmentů vzrostl na dvojnásobný počet během posledních dvou let a je předpokládáno, že počet vyrobených segmentů pro rok 2018 dosáhne až 2 000 ks za rok. S tímto růstem, je potřeba i navýšit počet strojů přiřazených k výrobě tvářecích segmentů.

6 DISKUZE

Každá zakázka tvářecích segmentů je odlišná z důvodu tvaru i rozměrů. Nelze tedy zařadit výrobu do sériové, ale do kusové. Optimalizace strojního času není tedy nejdůležitějším aspektem výroby, ale je potřeba se zaměřit na samotný chod přípravku a časy vedlejších prací. Prvně bylo navrženo upínání pomocí rychloupínacích matic, u kterých se ověřilo, že jejich upínací síla není dostatečná pro obrábění na maximální šířku záběru ostří $a_p = 14,1$ mm. Z tohoto důvodu je možné snížit šířku záběru ostří a rozdělit operaci hrubování na více řezů. Pokud zvolíme počet řezů $i = 10$ při $a_p = 1,41$ klesne nám potřebná upínací síla na $F_{Ux} = 95$ N a $F_{Uy} = 862$ N a přitom jsme schopni vyvinout upínací sílu segmentů $F_{Q4x} = 791$ N a $F_{Qy} = 1\,028$ N. Jednotkový strojní čas se prodlouží pouze z $t_{as1} = 0,33$ min na $t_{as10} = 1,3$ min.

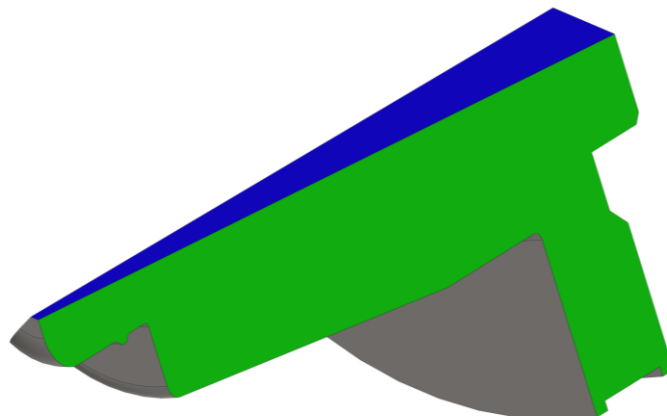
Naopak, když bychom chtěli maximalizovat produktivitu práce na úkor trvanlivosti nástrojů, zvolili bychom hrubovací podmínky maximální tj.: $a_p = 14,1$ mm, počet řezů $i = 1$. Při těchto obráběcích podmínkách bychom obrobili tvářecí segment za minimální možný čas, avšak při stávajícím návrhu bychom nedodrželi upínací sílu F_{Qy} a obrobek by při obrábění nebyl dostatečně upevněn. Z tohoto důvodu lze vyměnit rychloupínací matice za šroub s šestihrannou hlavou, který se vyrábí v různých třídách pevnosti. Jejich výměnou bychom zlepšili materiálové vlastnosti šroubů a mohli je vystavit větší utahovací síle. Tato síla by výrazně zvedla upínací sílu F_{Qy} navrhnutého přípravku jak je vidět z následující tab. 6.1.

Tab. 6.1 Upínací síly šroubu v závislosti na třídě pevnosti.

Průměr závitu	Maximální upínací síla přípravku F_{Qy} [kN]								
	Třída pevnosti šroubu								
	8.8			10.9			12.9		
	Součinitel tření v závitu f [-]								
	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
M10	18	16	15	27	24	22	31	29	25
M12	27	24	22	39	36	32	47	42	37
M16	51	46	42	74	68	61	87	79	42
M20	81	74	67	116	68	95	136	123	122

Z tab. 6.1 je zřejmé, že by stačilo do návrhu přípravku zabudovat šrouby o průměru M10 a upínací síla by vzrostla na $F_{Qy} = 16\,000$ N pro šroub třídy pevnosti 8.8 a tření ploch $f = 0,15$. Při této upínací síle je dovoleno bezpečně obrábět i při výše zmíněných maximálních podmínkách, kdy je potřeba vyvinout upínací sílu $F_{Uy} = 8\,600$ N.

Jako další možností je sloučit obrábění více operací na tvářecím segmentu a vykonat je v jednom upínacím přípravku na jedné frézce. Tedy hrubovat a dokončit boční a čelní plochy tvářecího segmentu. Vyznačené na obr. 6.1 modře a zeleně. Toto upnutí by vyžadovalo pravděpodobně vytvořením neověřených technologických pomůcek, které by pomohly v upnutí segmentu a zajistily by přístup frézy ke všem obráběným plochám.



Obr. 6.1 Čelní a boční obráběné plochy tvářecího segmentu.

Jako posledním návrhem by byla možnost částečná normalizace výrobků tvářecích segmentů. Bylo by nutné tento krok zkontrolovat s vedením firmy OMNI-X CZ. Normalizování dílů by zkrátilo vedlejší časy na seřízení stroje, nástrojů i přípravu CNC programů. K těmto CNC strojům lze dokoupit i podavače palet, na kterých by se mohla připravovat další kusy obrobků, které by se upevnily na stejný upínací systém a pouze se tyto palety automaticky vyměňovaly.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zracionalizovat výrobu tvářecích segmentů. Prvotním úkolem bylo seznámení se stávající výrobou, z analyzování nedokonalých míst, navrhnutí možných směrů racionalizace, které by vedly ke zlepšení, zkvalitnění, usnadnění výrobních podmínek v závodě firmy OMNI-X CZ a zmenšení výrobních nákladů.

Při prozkoumání technologického postupu výroby bylo zjištěno, že při obrábění ploch segmentu dochází k vibracím a obrobek není pevně upnutý. Při velmi malé šířce záběru ostří $a_p = 0,5$ mm vznikaly vibrace, které zapříčinily zhoršení povrchu, dlouhé strojní časy a zmetkovitost ve výrobě. Byly tedy navrhнутy 3 typy přípravků, do kterých by tvářecí segmenty šly upnout a úspěšně zpracovat.

- svěrák BISON s vyměnitelnými čelistmi,
- náklapěcí svěrák VHT-6 s vyměnitelnými čelistmi,
- modulární systém podle konkrétních požadavků.

Pro komplexnost, nízkou hmotnost, univerzálnost a možnost vlastní konstrukce byla zvolena varianta navrhnutí modulárního systému vlastní výroby.

Prvně bylo nutné zajistit teoretické znalosti ke konstrukci a výrobě modulárního systému. Materiál pro součásti přípravku byl zvolen ČSN 14 220. Jedná se o konstrukční ocel, která je vhodná k cementování. Tento materiál firma OMNI-X CZ běžně používá k výrobě ostatních nástrojů.

Následně byly navrhнутy 2 varianty hrubování a 2 varianty dokončování pro výrobu tvářecích segmentů.

- symetrické čelní frézování – hrubování,
- symetrické čelní frézování – dokončování,
- čelní frézování obdélníkové – hrubování,
- čelní frézování obdélníkové – dokončování.

Všechny 4 operace byly detailně prozkoumány. Byla navrhnutá trajektorie frézy systémem CAD a byly vypočítány řezné síly v kritickém bodě P. V bodě P, je odebírána největší šířka záběru ostří a_p . Tento fakt je zapříčiněn tvarem tvářecích segmentů a jeho rozměry. Po zvolení hrubovací varianty symetrické čelní frézování, kde vznikají 2 – 3x menší řezné síly při samotném procesu než u trajektorie obdélníkové. Následně byly vypočteny potřebné upínací síly pro bezpečné upnutí obrobku F_U . Samotný přípravek se skládá ze tří pohyblivých dorazů, kde vzniká upínací síla vytvořená šrouby. Tyto šrouby přenáší upínací sílu na obrobek, kde vzniká upínací síla F_Q proti řezné síle F_r vyvolané frézou při obrábění. Hodnoty F_r a F_Q byly porovnány, přičemž bylo zjištěno, že navrhnutý systém nevyhovuje, protože zde není bezpečné upnutí obrobku při maximálních obráběcích podmínkách, tedy $a_p = 14,1$ mm a počet řezů $i = 1$. Proto byly doporučeny dvě možnosti:

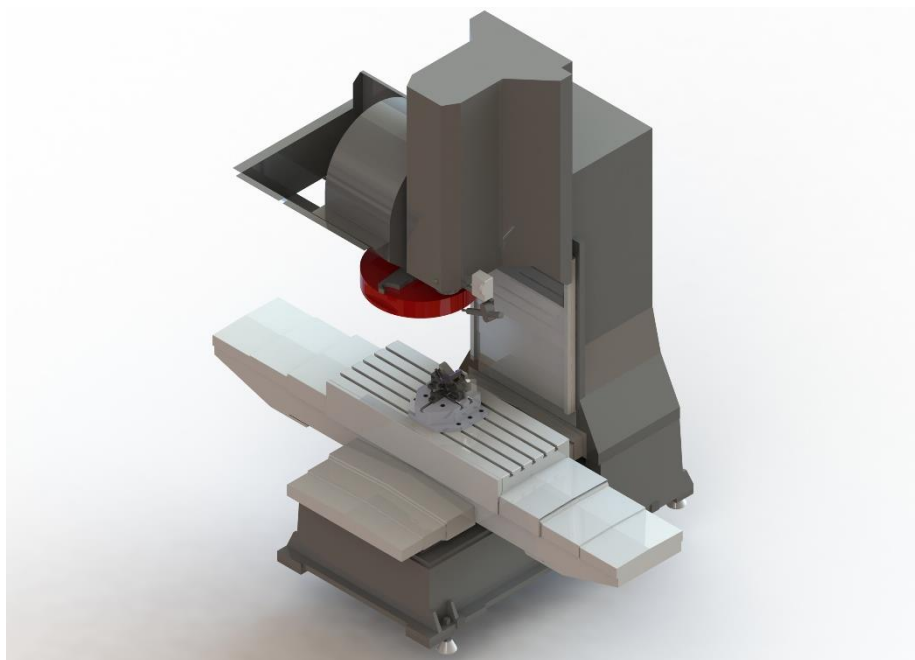
- snížit šířku záběru ostří alespoň na hodnotu $a_p = 1,4$ mm, zvýšit počet řezů na $i = 10$. Tato změna zapříčiní prodloužení strojního času z $t_{as1} = 0,5$ min na $t_{as10} = 1,3$ min.

- navrhnout upínací systém tak, aby šrouby byly schopny vyvinout větší upínací sílu, zvětšením průměru šroubů z M8 a třídy pevnosti 6.6, alespoň na šroub o průměru M10 a třídě pevnosti 8.8. Tato změna zapříčiní až 16x zvýšení upínací síly.

Výroba tvářecích segmentů spadá do kusové výroby, kde není až tak důležité hledat co nejvyšší produktivitu práce (snížování strojního času). Ale spíše optimalizovat a být schopen zajistit kvalitní a bezproblémovou výrobu, kde nevznikají vibrace, jakost povrchu je optimální při zvýšené trvanlivosti nástrojů.

Celkové náklady na výrobu modulárního přípravku byly stanoveny na 71 182 Kč, které zahrnují následující položky:

- nákup materiálů, normalizačních dílů,
- práce konstruktéra, technologa, pracovníků ve výrobě,
- cena frézovacích nástrojů i amortizace CNC strojů,
- kooperační spolupráce externí firmy.



Obr. 7.1 Výroba tvářecích segmentů při použití modulárního systému na CNC stroji VF-2.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Omni-x CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.omni-x.cz/cs/>
2. NOVÁK, Josef a Pavlína ŠLAMPOVÁ. Racionalizace výroby: učební text. *Racionalizace výroby* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace-vyroby.pdf>
3. *Preciz s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2842>
4. *Bolzano Bohdan s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/>
5. *Haas Automatic Inc* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://int.haascnc.com/>
6. *ZENITEC s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://zenitec.cz/cs/o-nas/>
7. *MetallKraft: Machines-tools* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.metallkraft-machines.com/>
8. *ZJP s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.zjp.cz/>
9. *Vertex: Machinery Works CO., LTD.* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.vertex-tw.com.tw/>
10. CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA,. *Přípravky*. 1. ČVUT Praha, 1980, 352 s.
11. PILAR, Radek. *Návrh upínacího přípravku pro upnutí obrobku*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jan Strejček, Ph.D., MBA.
12. OSKAR, Zemčík. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
13. CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA. *Přípravky*. Praha 1: Nakladatelství technické literatury a nakladatelství ALFA, 1988, 276 s. DT621.753.4(075.8).
14. CHLADIL, Josef. *Přípravky a nástroje: část II - obrábění*. Praha: SNTL, 1992. ISBN 80-214-0408-6.
15. KRAUS, Václav. *Tepelné zpracování a slinování*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2013. ISBN 978-80-261-0260-1.
16. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
17. HAMERNIK, Jan. [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://jhamernik.sweb.cz/tepelne_zpracovani.htm
18. HUMÁR, Antonín. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část. Ústav strojírenské technologie: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno, 2003, 2003 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
19. *Seco Tools Group* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/>

20. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
21. FLORIAN, Zdeněk, Emanuel ONDRÁČEK a Karel PŘIKRYL. *Mechanika těles - Statika* [online]. Brno: PC-DIR, spol. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://www.umt-old.fme.vutbr.cz/_studium_/skripta/Statika__Florian_Ondracek_Prikryl.pdf
22. Faspoj s.r.o. *Faspoj s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.faspoj.cz/pevnost%20sroubu.html>
23. SVOBODOVA, Magdalena. *Spoje a spojovací součásti* [online]. Brno, 2012, 2012 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-06.pdf
24. MRKVICA, Miloš. *Přípravky a obráběcí nástroje*. 3. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN 80-707-8941-7.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
A	austenit
ARA	anizotermický rozpad austenitu
B	bainit
B_f	bainit finish
B_s	bainit start
C	uhlík
CAM	computer aided manufacturing
CE	jednočinný segmentový tvářecí nástroj expanzní
Cem	cementit
CNC	computer numeric control
Cr	chrom
CR	jednočinný segmentový tvářecí nástroj redukční
ČR	Česká Republika
ČSN	československá norma
D	dokončování
EU	Europe
F	ferit
H	hrubování
HB	zkouška tvrdosti podle brinella
HRC	zkouška tvrdosti podle rockwella
HV	zkouška tvrdosti podle vickerse
I/O	dvojčinný segmentový tvářecí nástroj
Inc	incorporated
IRA	izotermický rozpad austenitu
ISO	international organization for standardization
LCD	liquid crystal display
M_f	martenzit finish
Mn	mangan
M_s	martenzit start

P	fosfor
P	perlit
P_f	perlit finish
P_s	perlit start
S	síra
Si	křemík
STD	standart
SW	solid works
USA	the united states of america
USB	universal serial bus
V	vanad

Symbol	Jednotka	Popis
A_{c1}	[°C]	austenitizační teplota
A_{c3}	[°C]	austenitizační teplota
A_{Di}	[mm ²]	jmenovitý průřez třísky
A_{Dmax}	[mm ²]	maximální jmenovitý průřez třísky
B	[mm]	šířka záběru
B_{max}	[mm]	maximální šířka záběru
C_{Fc}	[-]	konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu
F	[N]	celková řezná síla
F₀	[N]	síla působící na páce
F_c	[N]	řezná řezná síla
F_{c1}	[N]	řezná síla
F_{c1x}	[N]	složka řezné síly F _{c1}
F_{c1xi}	[N]	složka řezné síly F _{c1} v i-tém bodě
F_{c1y}	[N]	složka řezné síly F _{c1}
F_{c1yi}	[N]	složka řezné síly F _{c1} v i-tém bodě
F_{c2}	[N]	řezná síla
F_{c2x}	[N]	složka řezné síly F _{c2}

F_{c2xi}	[N]	složka řezné síly F_{c2} v i-tém bodě
F_{c2y}	[N]	složka řezné síly F_{c2}
F_{c2yi}	[N]	složka řezné síly F_{c2} v i-tém bodě
F_{c3}	[N]	řezná síla
F_{c3x}	[N]	složka řezné síly F_{c3}
F_{c3y}	[N]	složka řezné síly F_{c3}
F_{cD}	[N]	řezná síla
F_{cDx}	[N]	složka řezné síly F_{cD}
F_{cDy}	[N]	složka řezné síly F_{cD}
F_{cx}	[N]	složka řezné síly F_c
F_{cy}	[N]	složka řezné síly F_c
F_{iy}	[N]	složka řezné síly F_c v i-té bodě
F_{iz}	[N]	složka řezné síly F_c v i-té bodě
F_N	[N]	normáloví síla
F_{n1}	[N]	normálová řezná síla při záběru frézy
F_{n2}	[N]	normálová řezná síla v bodě P
F_{n3}	[N]	normálová řezná síla v posledním bodě záběru ostří
F_p	[N]	pasivní řezná síla
F_{p1}	[N]	pasivní řezná síla při záběru frézy
F_{p2}	[N]	pasivní řezná síla v bodě P
F_{p3}	[N]	pasivní řezná síla v posledním bodě záběru ostří
F_Q	[N]	upínací síla přípravku
F_{Qy}	[N]	složka upínací síly F_Q
F_{Qz}	[N]	složka upínací síly F_Q
F_r	[N]	výslednice řezných sil
F_{rx}	[N]	výslednice řezných sil v ose X
F_{ry}	[N]	výslednice řezných sil v ose Y
F_{ξ}	[N]	maximální upínací síla šroubem
F_T	[N]	třecí síla
F_U	[N]	bezpečná upínací síla na segmentu

H_{max}	[mm]	maximální šířka záběru ostří při hrubování
L	[mm]	délka segmentu
M_{iz}	[N·mm]	moment ke zvolenému bodu
M_k	[N·mm]	kroučící moment
M_{kmax}	[N·mm]	maximální kroučící moment
M_t	[N·mm]	moment třecí síly
M_z	[N·mm]	moment mezi plochou obrobku a šroubu
N_{koop}	[Kč]	náklady kooperaci
N_{NM}	[Kč]	náklady na normalizované díly
N_{PM}	[Kč]	náklady na polotovary
N_v	[Kč]	celkové náklady na konstrukci a výrobu
N_{VK}	[Kč]	náklady na konstrukci přípravku
N_{VKK}	[Kč]	náklady na kontrolu konstrukce
N_{VKV}	[Kč]	náklady na vlastní kreslení
N_{VM}	[Kč]	náklady na základní materiál
N_{VS}	[Kč]	náklady na výrobu a stavbu přípravku
N_{ZM}	[Kč]	náklady na základní materiál
P	[W]	potřebný výkon na vřetení frézky
P_{KK}	[Kč·hod ⁻¹]	průměrný plat konstruktéra
P_{max}	[W]	maximální možný výkon vřetení na frézky
P_{už}	[W]	užitečný výkon na vřetení frézky
P_{VK}	[Kč·hod ⁻¹]	průměrný plat konstruktéra
R	[mm]	průměr hlavy šroubu
Rel	[MPa]	dolní mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
Rp0,2	[MPa]	smluvní mez kluzu
T	[°C]	teplota
T_{KK}	[hod]	potřebný pracovní čas
T_{VF}	[hod]	čas na zkoušku funkčnosti
T_{VK}	[hod]	potřebný pracovní čas

T_{VM}	[hod]	čas montáže
T_{vs}	[hod]	čas potrebný ke stavbě přípravku
T_{VS1}	[hod]	čas potrebný na výrobu přípravku
T_{VS2}	[hod]	čas potrebný na stavbu přípravku
a	[mm]	velikost ramene
ae	[mm]	radiální záběr
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
a_{pi}	[mm]	šířka záběru ostří v daném bodě záběru ostří
a_{pmax}	[mm]	maximální šířka záběr ostří
$a_{pmaxfrezy}$	[mm]	maximální šířka záběru ostří frézy
b	[mm]	velikost ramene
c	[mm]	velikost ramene
d	[mm]	velikost ramene
dM_t	[m·mm]	elementární moment třecích sil
e	[mm]	odsazení od středu symetrického frézování
f	[-]	součinitel tření
f_1	[-]	koeficient kluzného tření
f_2	[-]	koeficient kluzného tření
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
i_v	[°V]	počet stupňů volnosti volného tělesa
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
h_i	[mm]	tloušťka třísky
k	[-]	koeficient pro bezpečnost
k_c	[MPa]	měrná řezná síla
l	[mm]	délka obráběného materiálu
l_n	[mm]	délka bezpečné vzdálenosti před najetím do materiálu

l_p	[mm]	délka bezpečné vzdálenosti po vyjetí z materiálu
m	[mm]	velikost ramene
m	[kg]	hmotnost
mc	[-]	exponent vlivu tloušťky třísky [-],
m_{v1}	[Kč]	hodinová sazba stroje
m_{v2}	[Kč]	průměrná mzda pracovníka
n	[ot·min ⁻¹]	otáčky nástroje
n_{max}	[ot·min ⁻¹]	maximální otáčky na vřetení
p	[MPa]	tlak
r	[mm]	poloměr vnitřní dosedací plochy
r_0	[mm]	střední poloměr závitu
s	[mm]	stoupání závitu
t	[s]	čas
t_1	[s]	čas ohřevu
t_2	[s]	čas výdrže
t_3	[s]	čas ochlazování
t_{as}	[min]	Jednotkový strojní čas
v	[m·min ⁻¹]	rychlost
v_c	[m·min ⁻¹]	řezná rychlost
v_f	[mm·min ⁻¹]	posuvová rychlost
x	[mm]	velikost ramene
y	[mm]	velikost ramene
z	[mm]	velikost ramene
z	[mm]	počet zubů
α	[°]	úhel svírající síly F_s
β	[°]	úhel svírající síla F_3 a F_Q
γ	[°]	úhel stoupání závitu

ε	[°]	úhel segmentu
ε_i	[-]	složka mechanického pohybu odebranýma vazbami
η	[-]	počet deformačních parametrů omezených stykovými vazbami
π	[-]	konstatní hodnota 3,14...
ϕD	[mm]	průměr frézy
ϕ_i	[°]	úhel posuvového pohybu
K_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
$f \cdot dF$	[-]	elementární třecí síla na mezikruží šířky d_δ
i	[°V]	počet stupňů volnosti vázaného tělesa
v	[-]	úloha 2D (3) nebo 3D (6)
v_M	[-]	počet momentových rovnic, které je možno vytvořit
μ	[-]	počet neznámých parametrů
μ_M	[-]	počet nezávislých parametrů z množiny momentových podmínek
μ_r	[-]	počet nezávislých parametrů z množiny polohových podmínek
ψ	[°]	úhel záběru frézy
ψ_t	[°]	úhlová rozteč
ω	[rad · min ⁻¹]	úhlová rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	DP_RP_001 – tvářecí segment
Příloha 2	Svěrák BISON
Příloha 3	Naklápěcí hydraulický svěrák
Příloha 4	Čelní válcová fréza
Příloha 5	Data pro grafy do výpočtů - varianta č. 1
Příloha 6	Data pro grafy do výpočtů - varianta č. 2
Příloha 7	Data pro grafy do výpočtů - varianta č. 3
Příloha 8	Data pro grafy do výpočtů - varianta č. 4

