



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH SKUPINOVÉHO FREZOVACÍHO PŘÍPRAVKU PRO SOUČÁSTI UPÍNÁNÍ

DESIGN OF A GROUP MILLING FIXTURE FOR CLAMPING COMPONENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Kalous

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jan Kalous**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

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

Návrh skupinového frezovacího přípravku pro součásti upínání

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Seznámení s problematikou výroby zadaných součástí. Návrh technologie výroby. Konstrukce skupinového přípravku s ohledem na tvar a funkci vyráběných dílů a použité CNC obráběcí centrum. Zhodnocení navrženého přípravku z technického a ekonomického hlediska.

Cíle bakalářské práce:

- úvod do zadané problematiky
- návrh výrobní technologie
- návrh skupinového přípravku
- technicko–ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

BAKKER, O. J., T. N. PAPASTATHIS, A. A. POPOV a S. M. RATCHEV. Active fixturing: literature review and future research directions. International Journal of Production Research. 2013, 51(11), 3171- 3190. DOI: 10.1080/00207543.2012.695893. ISSN 0020-7543.

HOFFMAN, E. G. Jig and fixture design. 5th ed. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, 2004. ISBN 978-1401811075.

BILÍK, O. a M. VRABEC. Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univ., 2002. 128 s. ISBN 80-248-0034-9.

GRZESIK, W. Advanced machining processes of metallic materials: modelling and applications. 1. vyd. Oxford: Elsevier, 2008. 446 s. ISBN 9780080445342.

CHANG, T.-Ch., R. WYSK a H.-P. WANG. Computer-Aided Manufacturing. 3. vyd. New Jersey: Prentice Hall, 2005. 684 s. ISBN 0-13-142919-1.

KAFKA, J. a M. VRABEC. Technologie obrábění. Praha: ČVUT, 2006. 120 s. ISBN ISBN 80-01-01355-3.

WANG, W. Reverse Engineering: Technology of Reinvention. 1. vyd. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group, 2011. 322 s. ISBN 978-1-4398-0630-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem skupinového frézovacího přípravku pro čtyři tvarově rozdílné dílce. Tyto dílce jsou součástí pečicí linky a mají za úkol upínat pečicí matrice na výrobu oplátek. Polotovarem pro všechny dílce je odlitek z materiálu EN-GJS-400-15, což je litina s kuličkovým grafitem. Na výrobu všech čtyř dílců bylo zvoleno obrábění na frézovacím horizontálním centru MS NH5000 DCG od firmy DMG Mori Czech s.r.o. Byl zhotoven seznam nástrojů a měřidel. Následně byl pro vybraný dílec s označením HAAC-62836-001 sestaven technologický postup. Poté byly vypočteny řezné síly od jednotlivých zubů frézy, upínací síly a třecí síly, pomocí kterých bylo následně ověřeno, zda se může obráběný dílec v upínacích přípravcích pohnout. Součástí práce je i kalkulace obou přípravků a zhodnocení dle technického hlediska.

Klíčová slova

upínací přípravek, skupinový frézovací přípravek, technologie, frézování, odlitek

ABSTRACT

The thesis deals with the design of a group milling jig for four different shaped components. These parts are components of a baking line and are designed to clamp baking matrices for wafer production. The semi-product for all the parts is a casting made of EN-GJS-400-15, cast iron with spheroidal graphite. Machining on a horizontal milling centre MS NH5000 DCG from DMG Mori Czech s.r.o. was chosen to produce all four parts. A list of tools and gauges was made. Subsequently, a technological process was created for the selected part with the designation HAAC-62836-001. Then the cutting forces from the individual cutter inserts, clamping, and friction forces were calculated to verify that the machined piece could move in the jigs. This thesis includes calculations of both jigs and evaluation according to the technical aspect.

Keywords

clamping jig, group milling jig, technology, milling, casting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KALOUS, Jan. *Návrh skupinového frézovacího přípravku pro součásti upínání* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/147907>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Oskar Zemčík.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh skupinového frézovacího přípravku pro součásti upínání vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně, 25. 5. 2023

místo, datum

Jan Kalous

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Oskaru Zemčikovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Poděkování také patří pracovníkům firmy Bühler CZ s.r.o., jmenovitě Ing. Josefu Tomanovi, za možnost vypracovat tuto bakalářskou práci, Ing. Radovanovi Skalickému, Martinovi Cvejnovi a Michalovi Mlynarčíkovi za užitečné připomínky v oblasti technologie a konstrukce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu a tvorbě bakalářské práce.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 SPOLEČNOST BÜHLER.....	10
1.1 Funkce vyráběných dílců.....	11
2 SPECIFIKACE VYRÁBĚNÝCH DÍLCŮ	12
2.1 Materiál dílců	13
3 PŘÍPRAVKY	14
3.1 Rozdělení přípravků	14
3.2 Zásady konstrukce přípravků a materiály komponentů.....	16
4 TECHNOLOGIE VÝROBY	17
4.1 Volba stroje	18
4.2 Volba nástrojů a měřidel	19
4.3 Technologický postup	22
5 NÁVRH SKUPINOVÝCH PŘÍPRAVKŮ.....	24
5.1 Výpočet rezných sil	25
5.2 Kontrolní propočty pro 1. upnutí.....	27
5.3 Kontrolní propočty pro 2. upnutí.....	34
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	37

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

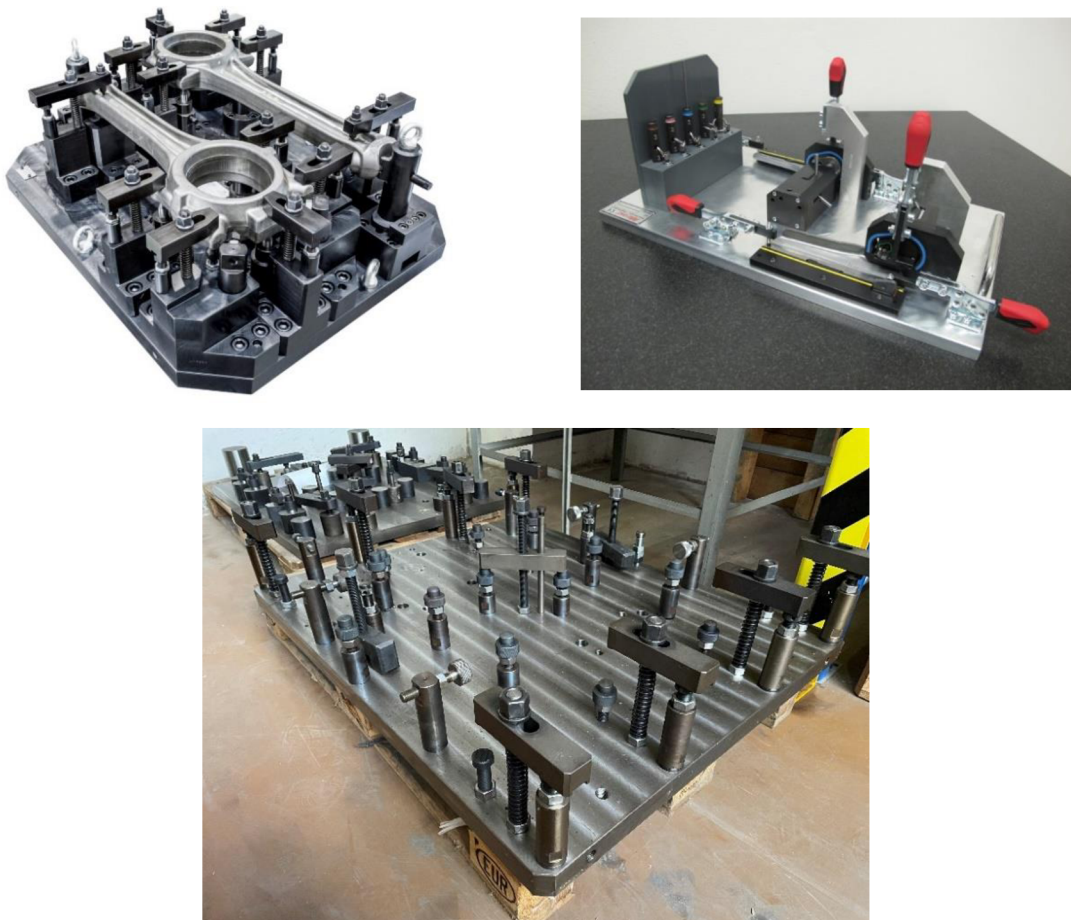
Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

V dnešní době se ve strojírenství setkáváme s řadou technologií, které můžeme použít pro výrobu strojních součástí. Mezi nejznámější technologie lze zařadit obrábění, tváření, svařování nebo odlévání. Obrábění je technologie, při které se dosahuje požadovaného tvaru pomocí odebrání materiálu ve formě třísek z polotovaru. Na výrobu těchto polotovarů lze využít například technologie odlévání nebo tváření. Pro výrobu hotové součásti je nutné nejprve polotovar upnout do přípravku, který má za úkol přesně a bezpečně ustavit obrobek, aby při obrábění nedocházelo k posunutí, a tím pádem k nepřesné výrobě.

Neustálý rozvoj strojírenství a jednotlivých technologií umožňuje zvyšovat požadavky na proces obrábění, a tím dosahovat jeho vyšší produktivity. Produktivita obráběcích procesů se zvyšuje především neustálým zlepšováním obráběcích strojů, nástrojů, metod obrábění, přípravků a dalších výrobních faktorů. Pro výrobu jednotlivých součástí na různých strojích se musí přípravky do jisté míry upravovat (velikost série, hlavní rozměry, způsob upnutí na stroji). Díky tomu existuje velké množství druhů přípravků, které se liší upínacími segmenty, silami nebo jednoduchostí. V současnosti je stále větší důraz kladen na produktivitu a hospodárnost. Při konstrukci upínacích přípravků se musí klást důraz na všechny možné vlivy, které by mohly narušit přesné upnutí a pohnout obrobek. Přípravky jsou při obrábění vystavovány rezným silám, které produkuje nástroj jednotlivými břity. Proto musí být upínací síly větší než síly rezné, a následně se musí provést kontrolní výpočty a odzkoušet vyrobený přípravek v praxi. Příklady upínacích přípravků, které se v provozu používají jsou na obr. 1.



Obr. 1 Příklady používaných přípravků [1; 2].

1 SPOLEČNOST BÜHLER

Společnost Bühler (logo viz obr. 3), se sídlem v Uzwilu ve Švýcarsku, patří mezi přední světové firmy v oblasti technologií pro zpracování zrna na mouku, výrobu těstovin, krmiv a čokolády. Specializuje se také na výrobu strojů pro tlakové lití, mokré broušení a povrchové úpravy. Hlavní technologie společnosti spočívají v oblastech mechanického a tepelného zpracování. Společnost měla v roce 2021 po celém světě přibližně 12 500 zaměstnanců a okolo 30 výrobních závodů. Bühler má obchodní podíl na světovém trhu 75 % ve sladovnictví, 65 % v mlynářském řešení a výrobě oplatek, 60 % ve zpracování čokolády a 50 % ve výrobě tlakových odlitků pro automobilový průmysl (obr. 2). [3]



Obr. 2 Obchodní podíl na světovém trhu firmy Bühler [3].

Továrna ve městě Žamberk byla založena v roce 1908 Josefem Nettletem a Jindřichem Židem jako textilní závod. V průběhu let se v továrně střídalo mnoho jiných textilních firem. Až v roce 1968 byla zahájena strojírenská výroba a všechny tkalcovské stavy byly nahrazeny obráběcími stroji. V roce 2012 továrnu odkoupil švýcarský koncern Bühler Group. [3]



Obr. 3 Logo firmy Bühler [4].

Bühler CZ s.r.o. (obr. 4) zaměstnává přes 400 lidí. Zakládá si na týmové práci, kvalitě, efektivitě, spokojenosti zákazníků a ekologii. Výrobní program firmy Bühler CZ s.r.o. je zaměřen na výrobu a montáž strojů a zařízení pro potravinářský a textilní průmysl, přesné obrábění kubických a rotačních dílců, výrobu a montáž převodovek a poháněných mechanismů, montáž elektrických rozvaděčů a řídicích systémů, lepení pohonných a dopravníkových řemenů. Většina výrobků je distribuována do celého světa. Firma disponuje nejmodernějšími obráběcími stroji, při výrobě využívá značný počet robotů a neustále modernizuje svá pracoviště. Také intenzivně spolupracuje se základními a středními školami z blízkého okolí a nabízí možnost stáže pro vysokoškolské studenty. Tréninkové centrum, které firma vede, seznamuje nové zaměstnance s chodem firmy a zajišťuje jejich potřebné znalosti a dovednosti před nástupem na konkrétní pracoviště. Dále také nabízí průběžné vzdělávání současných spolupracovníků s novými požadavky výroby, změnami současné výroby nebo aktuálními záměry firmy. [3; 4]



Obr. 4 Pohled na firmu Böhler CZ s.r.o. [3].

1.1 Funkce vyráběných dílců

Obráběné dílce, pro které byl navržen skupinový frézovací přípravek jsou odlévané komponenty pro pečicí linku (obr. 5), která je určena pro výrobu plochých a dutých oplatek (zmrzlinové kornouty, oplatky sušenek, vafle). Tyto dílce mají za úkol upínání pečicích matic, které tvarují oplatky na požadovaný tvar. Dle druhu a velikosti oplatek dokáže tato pec vyprodukovat 200 až 1 200 kilogramů oplatek za hodinu. Výhodou této pece je možnost výměny pečicích matic. [5]



Obr. 5 Pečicí linka [5].

V přední části pece je forma otevřená (obr. 6). Následně se na spodní matici nanese oplatkové těsto a pečicí forma se uzavře. Zavřená forma poté zajíždí do pece a probíhá pečicí proces. Po dokončení pečení se forma otevře, oplatky se vyjmou z matrice a pokračují na další zpracování, kterým může být například dělení na požadovanou velikost. [5]



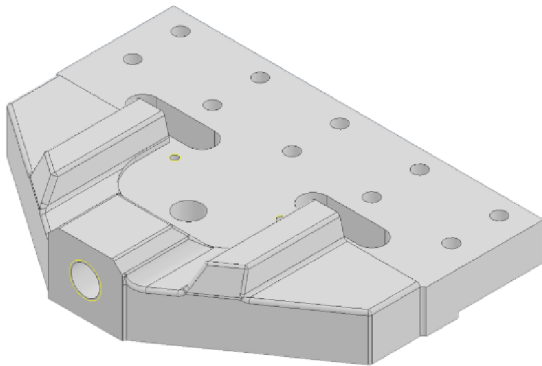
Obr. 6 Pohled na pečicí matrice [3].

2 SPECIFIKACE VYRÁBĚNÝCH DÍLCŮ

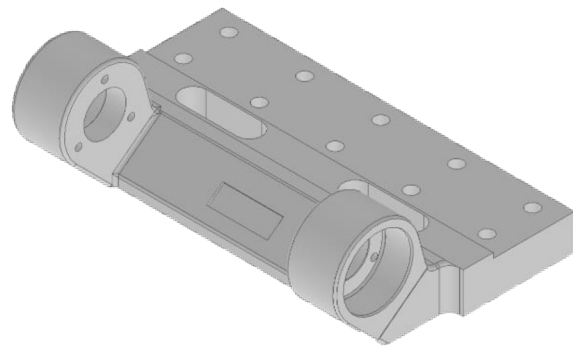
Nejnižší požadovaná drsnost povrchu pro všechny čtyři dílce je Ra 3,2. Této hodnoty lze dosáhnout pomocí technologie frézování za pomoci běžných nástrojů. Technologicky jsou dílce středně složité s lehce zvýšenými požadavky na přesnost některých rozměrů. Netolerované rozměry vychází z normy ISO 2768 – mK, kde se tolerance pohybují v desetinách milimetrů. Přídavky na obrábění jsou uvedeny na jednotlivých výrobních výkresech dílců.

HAAC-42036-001 – dílec má hmotnost 20,6 kg. Hlavní rozměry jsou 348 x 257 x 62 mm. Na výkrese je předepsaná geometrická tolerance kolmosti. Dílec je složený z několika frézovaných ploch, frézovaných drážek, závitových děr, vrtaných a vystružených otvorů (obr. 7).

HAAC-47539-001 – jedná se o nejlehčí dílec, který váží 15,4 kg. Jeho hlavní rozměry jsou 248 x 222,5 x 108,5 mm. Na výkrese jsou předepsány geometrické tolerance souososti a rovnoběžnosti. Tento dílec se skládá z několika frézovaných průměrů, frézovaných ploch a drážek, vrtaných a vystružených otvorů a závitových děr. Navíc jsou na dílci dva vystružené technologické otvory, které slouží k přesnému ustavení v druhém upnutí (obr. 8).



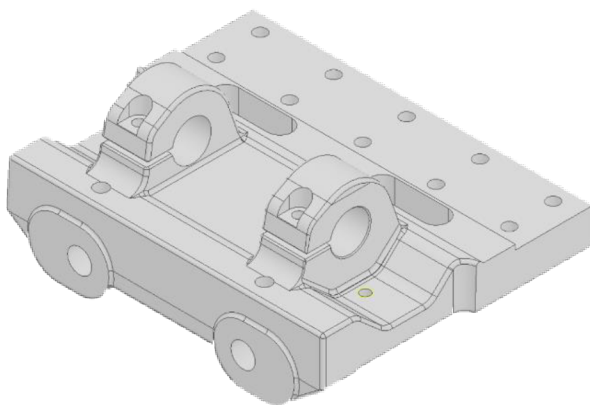
Obr. 7 Dílec HAAC-42036-001.



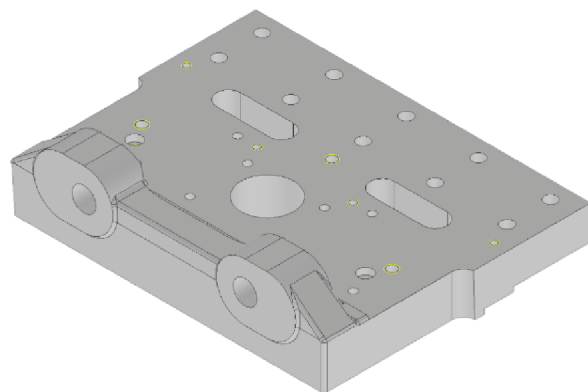
Obr. 8 Dílec HAAC-47539-001.

HAAC-62817-001 – nejtěžší dílec s hmotností 27,3 kg. Hlavní rozměry jsou 348 x 269 x 147,5 mm. Na výkrese se nachází geometrické tolerance rovnoběžnosti a kolmosti. Na dílci jsou frézované plochy, vrtané a vystružené otvory, závitové díry a frézované drážky. Pro správně ustavení v druhém upnutí jsou vystruženy dva technologické otvory (obr. 9).

HAAC-62836-001 – hmotnost tohoto dílce je 25,8 kg. Hlavní rozměry jsou 348 x 269 x 84 mm. Na výkrese jsou předepsané geometrické tolerance rovnoběžnosti a kolmosti. Na tomto dílci jsou frézované plochy, frézovaná kapsa, vrtaný otvor o průměru 55 mm, frézované drážky, závitové díry, vrtané a vystružené otvory a dva vystružené technické otvory, které slouží pro přesné ustavení v druhém upnutí (obr. 10).



Obr. 9 Dílec HAAC-62817-001.



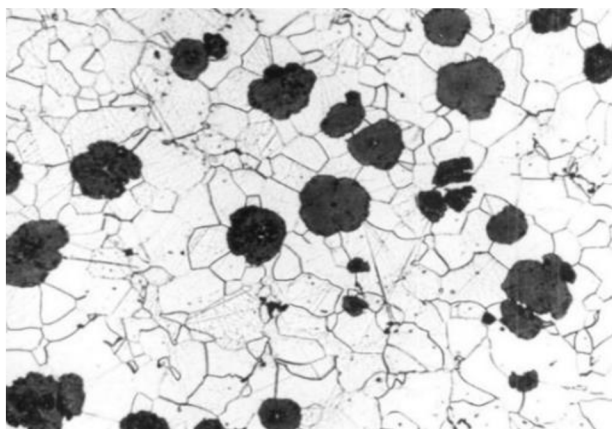
Obr. 10 Dílec HAAC-62836-001.

2.1 Materiál dílců

Pro výrobu všech čtyř dílců je polotovarem odlitek z materiálu EN-GJS-400-15. Jedná se o litinu s převážně feritickou strukturou, ve které je uhlík přítomen převážně ve tvaru kuličkového grafitu (obr. 11). Tvorba kuličkového grafitu je možná pouze v taveninách, které obsahují množství hořčíku v koncentraci vyšší, než je 0,025 %. Tohoto obsahu Mg v litině dosahujeme modifikací. Současně s modifikací je prováděn proces grafitizačního očkování, který má za úkol eliminovat karbidotvorné účinky hořčíku, a tedy zabránit vzniku cementitu ve struktuře litiny. EN-GJS-400-15 je označení dle normy DIN EN 1561. Označení materiálu dle jiných norem je uvedeno v tab. 1. [6]

Tab. 1 Označení litiny dle norem [6].

Norma	ČSN	DIN EN 1561	DIN EN 1691	ASTM A48
Označení	42 2304	EN-GJS-400-15	GGG-40	Gr. 65-45-12



Obr. 11 Tvar grafitu v litině GJS [6].

Tyto litiny mají velmi dobré plastické vlastnosti a dají se dobře obrábět. Grafit, který je přítomen v litině, maže břit nástroje. U litin s kuličkovým grafitem je vhodné dosáhnout co nejnižšího obsahu karbidotvorných prvků, fosforu a dalších nečistot, které snižují plastické vlastnosti litiny. Perlit způsobuje zvýšení pevnosti litiny. Mechanické vlastnosti litiny GJS jsou uvedeny v tab. 2. [6]

Tab. 2 Mechanické vlastnosti nelegovaných GJS na odděleně litých zkušebních tělesech [6].

Označení materiálu	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Mez 0,2 $R_{p0,2}$ [MPa]	Tažnost A_{5min} [%]	Tvrdoost HB	Struktura
EN-GJS-400-15	400	250	15	130–175	ferit

Chemické složení litin s kuličkovým grafitem je voleno s ohledem na požadovanou strukturu materiálu odlitku v závislosti na jeho tloušťce stěn a rychlosti ochlazování. Chemické složení u nelegované litiny s kuličkovým grafitem by mělo zajistit požadovanou strukturu již v litém stavu, aniž by se musela litina nákladně tepelně zpracovávat. Chemické složení litiny s kuličkovým grafitem jakosti EN-GJS-400-15 je uvedeno v tab. 3. [6]

Tab. 3 Chemické složení litin s kuličkovým grafitem [6].

Chem. prvek	C	Si	Mg	Mn	P	S	Cr
Obsah [hm. %]	3,4–3,9	2,0–2,8	<0,085	<0,2	<0,08	<0,02	0,04–0,1

3 PŘÍPRAVKY

Přípravky mají ve strojírenství zásadní význam. Pod tímto pojmem se většinou označuje druh jednoúčelového nářadí, které se využívá například pro montáž, demontáž, kontrolu rozměrů nebo opakované přesné ustavení obrobků. Můžeme se s nimi setkat prakticky v jakémkoliv stádiu výroby (rýsovací přípravky, obráběcí přípravky, montážní přípravky). Hlavní cíl při používání přípravků je zvýšení produktivity práce a jakosti výroby. [7; 8]

Jedním z důležitých parametrů pro použití a konstrukci přípravků je hospodárnost. Použití a konstrukce přípravku závisí na druhu výroby. Při hromadné výrobě se vyrábí velké množství rozměrově a tvarově stejných dílců, a to umožňuje použití přípravků, které jsou pro dané dílce speciálně konstruovány. Tím zvyšují produktivitu výroby. Pokud se jedná o výrobu sériovou, je vhodné využít operačních přípravků. V sériové výrobě se vyrábí větší počet stejných kusů a tyto přípravky zajistí snadné a rychlé upnutí dílců a zvýší produktivitu výroby. Naopak u kusové výroby se primárně používají přípravky univerzální s využitím různých pomůcek nezbytně nutných pro vykonání dané operace (kleštiny, čelisti). [7]

Pokud je potřeba vyrobit přípravek, který má za úkol upínat složité nebo přesné dílce, je potřeba využít speciální nářadí, aby byly splněny všechny požadavky. Využívání těchto speciálních nářadí vede ke značnému navýšení nákladů na výrobu. Návratnost nákladů, které byly vynaloženy na speciální nářadí, by neměla přesáhnout dobu výroby dílu, pro který je určeno. Literatura uvádí, že by neměla přesáhnout dobu 2 až 3 let. [7]

Při volbě přípravku je nutné se řídit rentabilitou. Přípravek je rentabilní, pokud náklady vynaložené na výrobu a údržbu jsou nižší než úspory vzniklé zavedením přípravku. V ceně samotného přípravku nejsou pouze výše uvedené náklady, ale také náklady na skladování, údržbu, renovaci atd. [7]

Přípravky jsou pomocná zařízení, která jsou primárně určena pro [7]:

- jednoznačné ustavení dílců a k pevnému uchycení při obrábění,
- vzájemné přidržení součástí sestavy při kompletování v celek,
- upínání nebo vedení nástrojů,
- kontrolu rozměrů obrobků.

3.1 Rozdělení přípravků

Jednotlivé druhy přípravků se dělí dle jeho použití, velikostí série, jednoduchostí, univerzálností nebo způsobu upínání. Dle těchto kritérií se poté odvíjí i cena samotného přípravku. Rozdělení přípravků dle použitelnosti [7]:

- Univerzální přípravky – využívají se k upínání obrobků téhož typu, avšak různých rozměrů a tvarů. Pro některé obrobky je nutné použít speciální doplňky (obr. 12, obr. 13).
- Skupinové přípravky – celý přípravek nebo jeho část je společná pro skupinu dílců, které budou obrobny. Skládají se ze stavitelných (ustavovacích nebo vodících elementů), vyměnitelných a stálých komponentů (tělo přípravku, základová deska). Vyměnitelné komponenty se při přechodu z jednoho druhu obrobku na druhý vyměňují dle potřeby.
- Stavebnicové přípravky – dle požadovaného přípravku se sestavují z typizovaných komponentů.
- Speciální přípravky – jednoúčelové upínací zařízení pro upínání pouze jednoho obrobku pro určitou operaci.



Obr. 12 Sklíčidlo Standard DK11-80 [9].



Obr. 13 Univerzální strojní svěrák VMP-5 [10].

Rozdělení přípravků dle operačního určení [7]:

- Obráběcí přípravky – používají se k upnutí obrobku do určité polohy vůči nástroji.
- Montážní přípravky – přidržují dílce při vzájemném rozebíratelném i nerozebíratelném spojení (obr. 14).
- Kontrolní přípravky – jsou určeny pro kontrolu rozměrů dílců, ale také pro geometrické tolerance.
- Rýsovací přípravky – slouží pro orýsování kontury tvaru před obráběním.
- Ostatní pomocná a dílenská zařízení – do této skupiny patří různé pomůcky, které zvyšují rozsah použití stroje. Spadají sem i pomocná nakládací zařízení, která umožňují vkládat velmi těžké součásti do pracovního prostoru stroje.



Obr. 14 Svařovací přípravek.

Rozdělení přípravků dle zdroje upínací síly [7]:

- Přípravky s ručním upínáním – musí být konstruovány tak, aby vynaložené fyzická práce k upnutí byla co nejmenší. Dalším důležitým kritériem je čas uvolnění, výměny a očištění. Ten musí být co nejkratší.
- Přípravky s mechanickým upínáním, přičemž upínací síla je zde vyvinuta více způsoby:
 - stlačeným vzduchem (obr. 15),
 - tlakovou kapalinou,
 - elektromotoricky (cívka s jádrem),
 - podtlakem (přísátím – potřeba dokonalé těsnosti),
 - magneticky (elektromagnety).



Obr. 15 Pneumatická upínka 310 P [11].

3.2 Zásady konstrukce přípravků a materiály komponentů

Správná konstrukce samotného přípravku patří mezi nejzásadnější kritéria pro správné používání přípravku. Při návrhu každého přípravku je potřeba dodržet obecné zásady [7]:

- přípravek musí být stabilní, proto obráběná plocha musí ležet co nejbližší upínací ploše,
- aby nedocházelo k chvění, musí být přípravek dostatečně tuhý,
- pevné dorazy zajišťují polohu obrobku v přípravku,
- řezný odpor by měl působit směrem do pevných dorazů,
- obsluha musí být snadná, rychlá, nenáročná, jednoduchá,
- pokud je přípravek těžší než 30 kg, je potřeba použít manipulační prvky,
- plochy, které jsou náchylné na opotřebení, musí být tvrdé a vyměnitelné.

Materiály, ze kterých jsou komponenty přípravku vyrobeny, musí splňovat veškeré požadavky, které budou na jednotlivé části přípravku kladeny (odolnost vůči opotřebení, pevnost, přesnost). Mezi hlavní kritéria volby materiálu patří například cena, váha, počet kusů vyráběných dílců v přípravku, namáhání, pracovní prostředí. Příklady použití materiálů pro různé komponenty jsou uvedeny v tab. 4. [7; 12]

Tab. 4 Příklady použití materiálů [12].

Materiál	Komponent	Poznámka
12 050, 16 430	Dorazové šrouby	Kalená dosedací plocha
11 600	Upínka	
11 600	Prizma	
14 220	Středící čepy	Cementováno do hloubky min. 0,5 mm
19 191, 19 192	Upínací hroty	Kaleno 62 HRC
11 600	Kulová podložka	Kaleno
11 600	Pojišťovací kolík	

4 TECHNOLOGIE VÝROBY

Všechny dílce byly obrobena pomocí technologie frézování. Jedná se o třískovou obráběcí metodu, při které dochází k úběru materiálu pomocí vícebřitého otáčejícího se nástroje (frézy). Hlavní rotační pohyb vykonává fréza a vedlejší pohyb (přisuv, posuv) vykonává obráběná součást, která je upnutá k pracovnímu stolu. Moderní frézovací centra nebo víceosé CNC frézky dokážou plynule měnit posuvy a mohou se posouvat do všech směrů. Fréza vykonává přerušovaný úběr, a každý zub vytváří třísky proměnné tloušťky. Dle stroje (frézky) lze obrábět rovinné, válcové, šikmé nebo tvarové plochy. Dále se pomocí frézování vyrábí ozubení, drážkování nebo závity. [13]

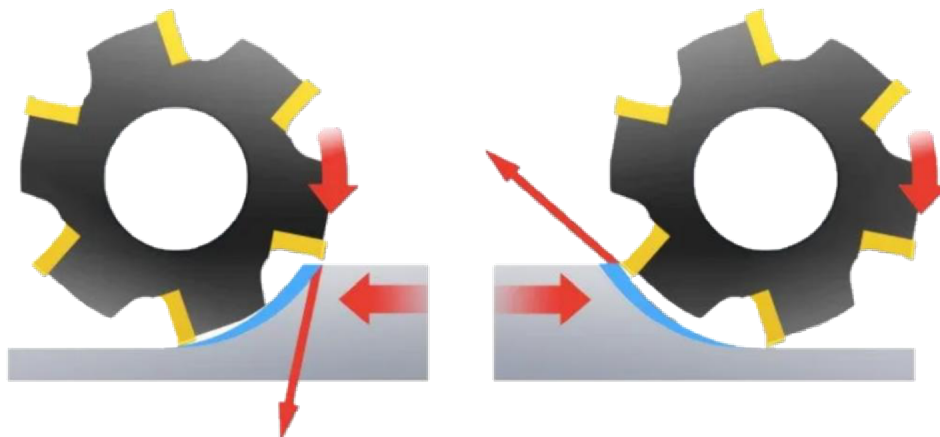
Z technologického hlediska lze rozlišovat více druhů frézování v závislosti na nástroji. Mezi základní způsoby patří frézování válcové, kde jsou zuby rozmístěny pouze na válcové ploše frézy a frézování čelní, kde jsou zuby rozloženy na válcové ploše, ale také na ploše čelní (obr. 16). Další způsoby jako frézování planetové a okružní, vychází z výše uvedených základních způsobů. [13]



Obr. 16 Čelní válcová fréza [14].

V závislosti na kinematice se frézovací obráběcí proces dělí na [13]:

- Frézování sousledné – smysl rotace nástroje je ve směru posuvu obrobku (obr. 17). Při vnikání zubu do obráběného materiálu vzniká maximální tloušťka třísky a obrobena plocha vzniká, když zub vychází ze záběru. Mezi výhody této metody patří například vyšší trvanlivost nástroje, možnost vyšších řezných rychlostí a posuvů, menší řezný výkon, menší sklon k chvění a řezná síla, která přitlačuje obrobek směrem ke stolu.
- Frézování nesousledné – smysl rotace nástroje je v protisměru posuvu obrobku (obr. 17). Při vnikání zubu do materiálu se tloušťka třísky postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. Řezná síla v tomto případě působí směrem nahoru a má snahu uvolnit obrobek. Mezi výhody této metody patří například práce frézky bez rázů, záběr zubů frézy při vřezávání nezávisí na hloubce řezu.



Obr. 17 Znáornění sousledného a nesousledného frézování [15].

4.1 Volba stroje

Vhodný obráběcí stroj, pro obrábění dílců, je jedním z podstatných bodů výrobního postupu. Správné zvolení obráběcího stroje a jeho velikosti vychází z několika požadavků [16]:

- Technologických:
 - druh obrábění (soustružení, frézování, vrtání, broušení),
 - způsob obrábění (obrábění na čisto, hrubování),
 - tvarová složitost,
 - sériovost výroby,
 - požadavek na údržbu a spolehlivost stroje,
 - požadavek na jakost výroby.
- Ekonomických
 - růst produktivity obrábění,
 - hospodárnost výrob.

Pro obrábění všech čtyř dílců byla zvolena technologie obrábění na frézovacím horizontálním centru MS NH5000 DCG od firmy DMG Mori Czech s.r.o. (obr. 18). Ve firmě Bühler CZ s.r.o. je k dispozici celkem 6 těchto center. Každé centrum obsluhuje jeden dělník. Firma pořídila tyto stroje v letech 2006–2007 a nachází se v obrobně poskládané vedle sebe. Tato centra slouží pro obrábění velmi přesných a tvarově složitých dílců. Stroj má vlastní zásobník nástrojů, který má kapacitu 240 míst. S využitím tohoto zásobníku je možné bezobslužně pracovat za sebou na více požadovaných operacích, jako jsou například frézování, vyvrtávání, vrtání, vystružování, závitování. Centrum disponuje natáčecím stolem, který má vysokou přesnost otáčení. Pomocí této technologie je možné obrábět dílec z více stran a v některých případech umožňuje tak obrobřit celý dílec bez nutnosti přepínání. Další užitečnou funkcí je například vysokotlaké chlazení nebo laserový interferometr. [17]



Obr. 18 Frézovací horizontální centrum NH5000 DCG.

Stroj je vybaven dvěma paletami a prostorem pro výměnu obrobků, tím se zcela odstraní upínací čas a stroj může pracovat nepřetržitě. K upínání dílců slouží buď věž se svěráky, nebo úhelníky pro upínání USP (univerzální stavebnicový přípravek) a PUP (pevný upínací přípravek). Stroj se ovládá pomocí řídicího systému Mori Seiki. Pro manipulaci s těžkými přípravky nebo obrobky je každé centrum vybaveno manipulátorem. Všechny technické údaje o stroji jsou uvedeny v tab. 5. [17]

Tab. 5 Technické údaje NH5000 DCG [18].

Posuv v ose X:	730 mm	Síla hřídele motoru:	18,6 kW
Posuv v ose Y:	730 mm	Max. hmotnost dílce:	500 kg
Posuv v ose Z:	850 mm	Rozměr palety:	500 x 500 mm
Počet os:	4	Kapacita nástrojů:	240 míst
Rozsah otáček:	14 000 min ⁻¹	Vnitřní chlazení:	Ano

Přípravky jsou na stroji připevněny k úhelníku pomocí šroubů a pozičních čepů od společnosti SCHUNK Intec s.r.o. (obr. 19), které zajistí přesné ustavení přípravku na úhelníku. Tyto úhelníky se běžně využívají ve firmě pro upínání přípravků na stroji NH5000 DCG. Pokud to situace umožňuje, tak se do úhelníku vyvrtají nové otvory, které jsou určeny pro specifický přípravek, a tím zvýšit využitelnost jednotlivých úhelníků.










Obr. 19 Pohled na pracovní prostor frézovacího centra NH5000 DCG.

4.2 Volba nástrojů a měřidel

Nástroje a měřidla byly zvoleny primárně s ohledem na stávající vybavení firmy Bühler CZ s.r.o. a na dlouholeté zkušenosti s různými dodavateli nástrojů. Pro uvedení příkladů použitých nástrojů při výrobě byl vybrán dílec s označením HAAC-62836-001. Všechny čelní frézy byly voleny z katalogu výrobce TaeguTec LTD., vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami a určité druhy fréz jsou od firmy SecoTools CZ s.r.o., monolitní vrtáky od firmy Gühring s.r.o. a výstružníky voleny z katalogu společnosti Ceratizit s.r.o. Materiály byly voleny dle označení výrobce. Všechny nástroje a další informace jsou zobrazeny a podrobně popsány v nástrojovém listu viz tab. 6.








Tab. 6 Nástrojový list pro výrobu dílce HAAC-62836-001 [19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27].

VUT BRNO FSI ÚST		NÁSTROJOVÝ LIST		JAN KALOUS	BP-JK-229396
				17.02.2023	HAAC-62836-001
Číslo nást.	Znázornění	Název nástroje	Materiál	Držák/Nástroj	Výrobce
				VBD	
1		Rohová fréza ø80 L=85	TT9080	3P TF90-780-27R-15 3PKT 150508R-ML TT9080	TaeguTec
2		Rohová fréza ø80 L=150	TT6080	3P TF90-780-27R-15 3PKT 150508R-ML TT6080	TaeguTec
3		VBD vrták ø24,5	T400D, DP3000	SD523-24.5-74-25R7 SPGX0703-C1 T400D / SCGX070308-P2 DP3000	Secotools
4		VBD vrták ø55	T400D, DP3000	SD523-55-165-40R7 SPGX1904-C1 T400D / SCGX150512-P2 DP3000	Secotools
5		Ponorná fréza ø25 L=80	MK2050	R217.79-2025.0-XO12-2AN XOMX120408TR-M12 MK2050	Secotools
6		Čelní válcová fréza ø16 L=40	NXT	JS565160D2C.3Z5C-NXT	Secotools
7		VBD fazetková fréza 45° ø16-28,6 L=62	SK	45° fazetková fréza 16 mm SDLT 090308 EN UNI	Hoffmann
8		Tyč vyvrtávací ø24,8 L=100	SK	235022 CCMT 060204 SP4019	VarioTool
9		Výstružník ø25H7	SK	NC.25,00.H7.B. DIN8093-2	Ceratizit
10		Vrták ø14,8	VHM	Ø 14,800 mm / m7 / ~5 x Ø / DIN 6537L	Gühring
11		Fréza válcová ø10 L=22	TAZ	H4033217-10	Walter
12		Vrták ø6,8	VHM	Ø 6,800 mm / m7 / ~7 x Ø / DIN 6537L	Gühring
13		Vrták ø10,2	VHM	Ø 10,200 mm / m7 / ~6 x Ø / DIN 6537L	Gühring
14		Vrták ø13	VHM	Ø 13,000 mm / m7 / ~5 x Ø / DIN 6537L	Gühring
15		Navrtávák ø16	SK	NC navrtávák 90° spirálový 16 mm	Garant
16		Závitník M12	PM	RTS462VS-3 M12 6HX	TGS
17		Závitník M8	PM	RTS362VS-3 M8 6HX	TGS
18		Výstružník ø13H7	SK	NC strojní výstružník, DIN 8093-2B	Ceratizit

VUT BRNO FSI ÚST		NÁSTROJOVÝ LIST		JAN KALOUS		BP-JK-229396	
				17.02.2023		HAAC-62836-001	
Číslo nást.	Znázornění	Název nástroje	Materiál	Držák/Nástroj		Výrobce	
				VBD			
19		Rohová fréza ø100 L=150	TT6080	3P TF90-8100-32R-15		TaeguTec	
				3PKT 150508R-M TT6080			
20		Vrták ø8,2	VHM	Ø 8,200 mm / m7 / ~6 x Ø / DIN 6537L		Gühring	
21		Vrták ø14	KC7315	B707A14000FBG		Kennametal	
22		Vrták ø2,5	SK	Spirálový vrták velmi krátký 2,5 mm		Hoffmann	

Pro kontrolu potřebných rozměrů jsou využívány měřidla a kalibry od různých společností, dle zkušeností a stávajícího vybavení firmy. Pro kontrolu závitů a přesných děr byly použity kalibry od firmy Hoffmann s.r.o. Pro délkové rozměry byl použit digitální výškoměr a další rozměry na dílci se měří dle programu na třísořadnicovém měřicím stroji od společnosti Mitutoyo s.r.o. Všechna měřidla a podrobné informace o měřidlech jsou uvedeny v seznamu měřidel v tab. 7.

Tab. 7 Seznam měřidel pro kontrolu dílce HAAC-62836-001 [28; 29].

VUT BRNO FSI ÚST		SEZNAM MĚŘIDEL		JAN KALOUS		BP-JK-229396	
				17.02.2023		HAAC-62836-001	
Číslo měř.	Znázornění	Název měřidla	Výrobce		Označení výrobce		
23		Závitový kalibr M8	Hoffmann		486100 8X1		
24		Závitový kalibr M12	Hoffmann		486100 12x1,5		
25		Válečkový kalibr ø13H7	Hoffmann		484000 13		
26		Válečkový kalibr ø15H7	Hoffmann		484000 15		
27		Válečkový kalibr ø25H7	Hoffmann		484000 25		
28		Digitální výškoměr	Mitutoyo		570-227		
29		Souřadnicový měřicí stroj	Mitutoyo		191-561		

4.3 Technologický postup

Technologický postup, který je rozepsaný v tab. 8, zahrnuje všechny potřebné operace pro výrobu dílce s označením HAAC-62836-001. Postup také zahrnuje název stroje, na kterém se daná operace bude vykonávat, veškeré nástroje (držák, VBD), které se používají pro danou operaci. Dále jsou v postupu vypsaná použitá měřidla pro kontrolu délkových rozměrů, přesných rozměrů a kalibry pro kontrolu závitů. Seřizovací listy jsou uvedeny v přílohách.

Tab. 8 Technologický postup pro výrobu dílce HAAC-62836-001.

VUT BRNO FSI ÚST		TECHNOLOGICKÝ POSTUP	JAN KALOUS	Polotovar: Odlitek	
			17.02.2023	Díl: HAAC-62836-001	
Číslo operace	Název/ označení stroje	Popis práce v operaci	Číslo nástroje/ měřidla	Materiál nástroje	
10	MS NH5000	Upnout do PUP – 2023-BP-229396-01	-	-	
		Hrubovat plochu 348x220 na rozměr 48,5	1	TT9080	
		Hrubovat bok s nálitky na rozměr 282,5	1	TT9080	
		Hrubovat protilehlý bok na rozměr 270	1	TT9080	
		Frézovat načisto plochu 348x220 na rozměr 48	2	TT6080	
		Frézovat načisto bok s nálitky na rozměr 269,5	2	TT6080	
		Frézovat načisto protilehlý bok na rozměr 269	2	TT6080	
		Vrtat 2x otvor $\varnothing 24,5$ do drážek 80x25	3	T400D, DP3000	
		Vrtat 2x otvor $\varnothing 24,5$ pro $\varnothing 25H7$	3	T400D, DP3000	
		Vrtat průchozí otvor $\varnothing 55$	4	T400D, DP3000	
		Hrubovat 2x drážku 80x25 odvrtáváním	5	MK2050	
		Frézovat 2x drážku 80x25 načisto	6	NXT	
		Frézovat vybrání R50/70	6	NXT	
		Odjehlit drážky 80x25, $\varnothing 55$ a $\varnothing 24,5$	7	SK	
		Vyvrtat 2x otvor na $\varnothing 24,8$ pro 25H7	8	SK	
		Stružit otvory 2x $\varnothing 25H7$	9	SK	
		Vyvrtat 2x otvor $\varnothing 14,8$ pro $\varnothing 15H7$	10	VHM	
		Frézovat 2x zahloubení $\varnothing 15H7$	11	TAZ	
		Vrtat 4x otvor $\varnothing 6,8$ pro M8	12	VHM	
		Vrtat 5x otvor $\varnothing 10,2$ pro M12	13	VHM	
		Vrtat 10x otvor $\varnothing 13$	14	VHM	
Srazit hrany $0,2 \times 45^\circ$ u $\varnothing 13$, M8 a M12	15	SK			
Řezat závit 5x M12	16	PM			
Řezat závit 4x M8	17	PM			
Stružit 2x technologický otvor $\varnothing 13H7$	18	SK			
Odjehlit	-	-			

VUT BRNO FSI ÚST		TECHNOLOGICKÝ POSTUP	JAN KALOUS	Polotovar: Odlitek	
			17.02.2023	Díl: HAAC-62836-001	
Číslo operace	Název/ označení stroje	Popis práce v operaci		Číslo nástroje/ měřidla	Materiál nástroje
20	Kontrola na stroji	Kontrola vizuální; četnost 100 %		-	-
		Kontrolovat rozměr: M8; četnost 100 %		23	-
		M12; četnost 100 %		24	-
		13H7; četnost 100 %		25	-
		15H7; četnost 100 %		26	-
		25H7; četnost 100 %		27	-
30	MS NH5000	Upnout do PUP – 2023-BP-229396-13		-	-
		Hrubovat plochu 348x266 na rozměr 45,5		1	TT9080
		Hrubovat plochu 348x30 na rozměr 40,5		1	TT9080
		Hrubovat plochu 348x80 na rozměr 35,5		1	TT9080
		Hrubovat levý bok na rozměr 353,5		1	TT9080
		Hrubovat pravý bok na rozměr 349		1	TT9080
		Frézovat načisto plochu 348x266 na rozměr 45±0,1		19	TT6080
		Frézovat načisto plochu 348x30 na rozměr 40		19	TT6080
		Frézovat načisto plochu 348x80 na rozměr 35±0,1		19	TT6080
		Frézovat načisto levý bok na rozměr 348,5		19	TT6080
		Frézovat načisto pravý bok na rozměr 348		19	TT6080
		Vrtat 8x otvor ø8,2		20	VHM
		Vrtat 3x otvor ø10,2 pro M12		13	VHM
		Vrtat zahloubení ø14 6x pro díru ø8,2; 2x pro M12		21	KC7315
		Frézovat zahloubení 1x ø12 u M12		11	TAZ
		Řezat závit 3x M12		16	PM
		Vrtat 2x otvor ø2,5		22	SK
Odjehlit		-	-		
40	Kontrolní pracoviště	Kontrolovat rozměr: M12; četnost 100 %		24	-
		8,5; četnost 5 %		28	-
		20; četnost 5 %		28	-
		35; četnost 5 %		28	-
		82,5; četnost 5 %		28	-
		Kontrolovat geometrické tolerance; četnost 20 %		29	-
		Kontrolovat vizuální; četnost 100 %		-	-
50	Expedice	Konzervovat, balit		-	-
		Expedovat		-	-

5 NÁVRH SKUPINOVÝCH PŘÍPRAVKŮ

Cílem této práce bylo zkonstruovat skupinový frézovací přípravek pro první a druhé upnutí, které umožní kompletní obrobení všech čtyř tvarově rozdílných dílců. Upínací síly jsou vyvozeny převážně pomocí šroubů. Ve 2. upnutí je pro dílec s označením HAAC-42036-001 řešeno upínání pomocí upínek. Přípravky byly navrženy s ohledem na použitý stroj NH5000 DCG (obr. 22). Veškerá technická dokumentace a seřizovací listy jsou vloženy do příloh.

Výhody nových přípravků:

- nahrazení více přípravků jedním skupinovým,
- potřeba menšího skladovacího prostoru,
- jednodušší manipulace při ustavování na úhelník díky bočním madlům,
- využití kupovaných komponentů, které mohou být použity na jiný přípravek v případě konstrukční změny obráběného dílce,
- snadná údržba a jednoduchá výměna opotřebovaných komponentů,
- rozebíratelnost přípravků.

Nevýhoda nových přípravků:

- upínání pomocí dvojice šroubů.

Pro první upnutí dosedají dílce na tři výkyvné stavitelné opěrky, které jsou od firmy Halder KG (obr. 20). Bočnímu pohybu zabráňují dorazy, které jsou pro jednotlivé dílce různé (viz výkresová dokumentace v příloze). Upínání je zde řešeno pomocí upínacích vložek a šroubů (obr. 21). Toto upínání není příliš optimální z důvodu jednotlivého upínání každého šroubu. Vhodným řešením by byl společný upínací člen pouze na jeden šroub. Použití tohoto členu není vhodné z důvodu tvarově a rozměrově různých součástí, kde by musel být pro každý dílec speciální upínač, který by se při změně výrobního programu musel předělávat a bylo by potřeba zvýšit kapacitu skladovacích prostor. Pro manipulaci s tímto přípravkem jsou k dispozici závěsná oka.

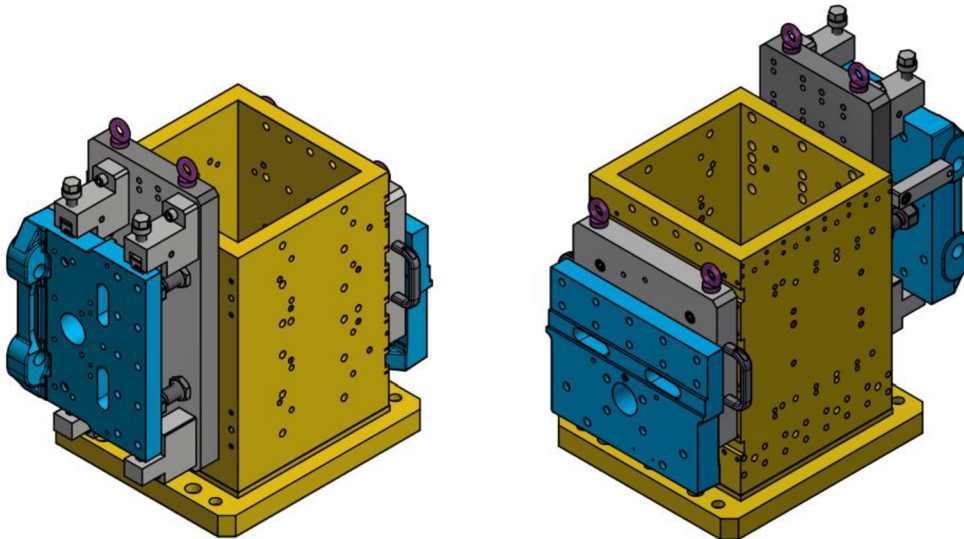


Obr. 20 Opěrka nastavitelná výkyvná od společnosti Halder KG [30].



Obr. 21 Upínací vložka od společnosti SCHUNK Intec s.r.o. [31].

Pro druhé upnutí dosedají dílce přímo na tepelně upravenou základní desku, kde se pomocí čepů ustaví do správné polohy (obr. 22). Z důvodu tvarově a rozměrově rozdílných dílců je upnutí pro jednotlivé dílce různé. Pro dílec HAAC-42036-001 je upnutí k desce řešeno pomocí dvou upínek, které jsou přitlačovány pomocí matice s nákrůžkem a jedním šroubem ze spodní strany. Pro upnutí ostatních dílců je řešeno upnutí pomocí šroubů. Pro snadnější manipulaci a ustavení na úhelník jsou ze strany přišroubovány třmenová madla od firmy Halder KG (viz výkresová dokumentace v příloze). Pro manipulaci jsou zde k dispozici závěsná oka.

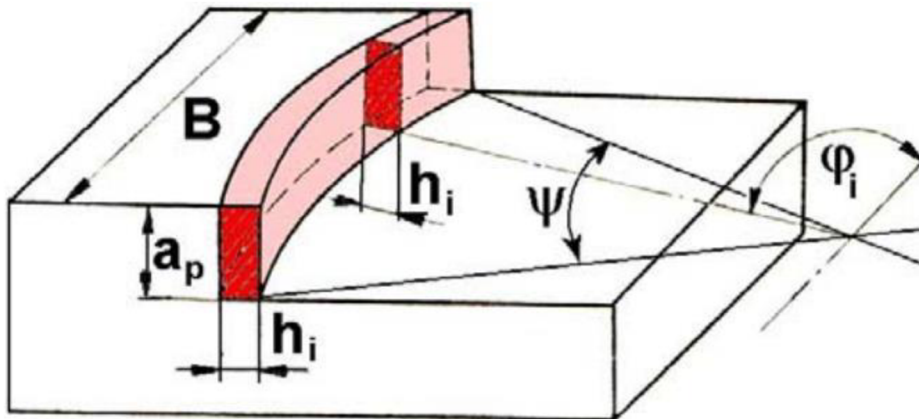


Obr. 22 Pohled na nové skupinové přípravky pro první a druhé upnutí v programu Autodesk Inventor Professional.

5.1 Výpočet řezných sil

Pro zjištění, zda se dílec při obrábění pohne či nikoliv, je potřeba zjistit řeznou sílu a následně ji porovnat, zda je nebo není větší než síla upínací ve všech kritických směrech. Následující výpočty byly provedeny pro operaci čelního hrubování na všech dílcích, kdy byly dílce obrobena pomocí VBD čelní frézy od firmy TaeguTec LTD., která má 7 břitových destiček a průměr 80 mm, překrytí frézy je 80 % průměru frézy. Hloubka třísky $a_p = 1$ mm (obr. 23) a posuv na zub $f_z = 0,18$ mm.

- Označení frézy: 3P TF90-780 – 27R-15.
- Označení vyměnitelné břitové destičky (VBD): 3PKT 150508R.



Obr. 23 Znárodnění průřezu třísky při čelním frézování [32].

Výpočet řezné síly pro čelní frézování [13]:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [N]} \quad (5.1)$$

kde: F_{ci} – řezná síla [N],
 k_{ci} – měrná řezná síla [MPa],
 A_{Di} – průřez třísky [mm^2],
 a_p – hloubka třísky [mm],
 f_z – posuv na zub [mm],
 φ_i – úhel posuvového pohybu [$^\circ$].

Výpočet měrné řezné síly [13]:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \text{ [MPa]} \quad (5.2)$$

kde: C_{Fc} – konstanta, která vyjadřuje vliv opotřebení materiálu [-],
 h_i – jmenovitá tloušťka třísky [mm],
 x – exponent vlivu tloušťky třísky [-],
 κ_r – úhel nastavení hlavního ostří [°].

Empiricky stanovené hodnoty konstanty C_{Fc} a exponentu x jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9 Hodnoty konstanty C_{Fc} a exponentu x při čelním frézování [13].

Obráběný materiál	Čelní frézy	
	C_{Fc} [-]	x [-]
Nelegovaná ocel Rm=450/650/850 MPa	1 200/1 380/1 600	0,63/0,72/0,72
Chromniklová ocel Rm=550/800/900 MPa	1 390/1 440/1 740	0,66/0,72/0,74
Litiny HB 170–200/220	850/950	0,67/0,67
Bronz	420	0,60

Výpočet počtu zubů v záběru při čelním frézování [13]:

$$\begin{aligned} n_z &= \frac{\psi}{360} \cdot z \\ &= \frac{127}{360} \cdot 7 \\ &= 2,47 \text{ [-]} \end{aligned} \quad (5.3)$$

kde: n_z – počet zubů v záběru [-],
 ψ – úhel záběru frézy [°],
 z – počet zubů frézy [-].

Po výpočtu bylo zjištěno, že v záběru jsou 3 zuby frézy.

Výpočet úhlové rozteče zubů [13]:

$$\begin{aligned} \psi_z &= \frac{360^\circ}{z} \\ &= \frac{360^\circ}{7} \\ &= 51,4^\circ \end{aligned} \quad (5.4)$$

kde: ψ_z – úhlová rozteč zubů [°].

Výpočet jednotlivých úhlů zubů v záběru:

$$\psi_1 = \psi = 127^\circ \quad (5.5)$$

kde: ψ_1 – úhel záběru 1. zubu [°].

$$\psi_2 = \psi_1 - \psi_z = 127 - 51,4 = 75,6^\circ \quad (5.6)$$

kde: ψ_2 – úhel záběru 2. zubu [°].

$$\psi_3 = \psi_2 - \psi_z = 75,9 - 51,4 = 24,5^\circ \quad (5.7)$$

kde: ψ_3 – úhel záběru 3. zubu [°].

Výpočet řezné síly pro 1. břitovou destičku v záběru [13]:

$$\begin{aligned} F_1 &= C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin \kappa_r^{x-1} \cdot \sin^x \varphi_i & (5.8) \\ &= 850 \cdot 1 \cdot 0,18^{0,67} \cdot \sin(90^\circ)^{-0,33} \cdot \sin^{0,67}(127^\circ) \\ &= 231,75 \text{ N} \end{aligned}$$

kde: F_1 – řezná síla od 1. břitové destičky [N].

Výpočet řezné síly pro 2. břitovou destičku v záběru [13]:

$$\begin{aligned} F_2 &= C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin \kappa_r^{x-1} \cdot \sin^x \varphi_i & (5.9) \\ &= 850 \cdot 1 \cdot 0,18^{0,67} \cdot \sin(90^\circ)^{-0,33} \cdot \sin^{0,67}(75,6^\circ) \\ &= 263,73 \text{ N} \end{aligned}$$

kde: F_2 – řezná síla od 2. břitové destičky [N].

Výpočet řezné síly pro 3. břitovou destičku v záběru [13]:

$$\begin{aligned} F_3 &= C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin \kappa_r^{x-1} \cdot \sin^x \varphi_i & (5.10) \\ &= 850 \cdot 1 \cdot 0,18^{0,67} \cdot \sin(90^\circ)^{-0,33} \cdot \sin^{0,67}(24,5^\circ) \\ &= 149,39 \text{ N} \end{aligned}$$

kde: F_3 – řezná síla od 3. břitové destičky [N].

Při frézování je v záběru více zubů současně. Jednotlivé výsledné síly poté závisí na počtu zubů v záběru a na okamžité poloze zubů frézy vůči obrobku. Z hlediska potřebného výkonu a krouticího momentu na vřetenu frézky je potřeba znát celkovou řeznou sílu [13]:

$$\begin{aligned} F_c &= \sum_i F_i = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin \kappa_r^{x-1} \cdot \sum_i \sin^x \varphi_i & (5.11) \\ &= 850 \cdot 1 \cdot 0,18^{0,67} \cdot \sin(90^\circ)^{-0,33} \cdot [\sin^{0,67}(127^\circ) + \sin^{0,67}(75,6^\circ) + \sin^{0,67}(24,5^\circ)] \\ &= 644,88 \text{ N} \end{aligned}$$

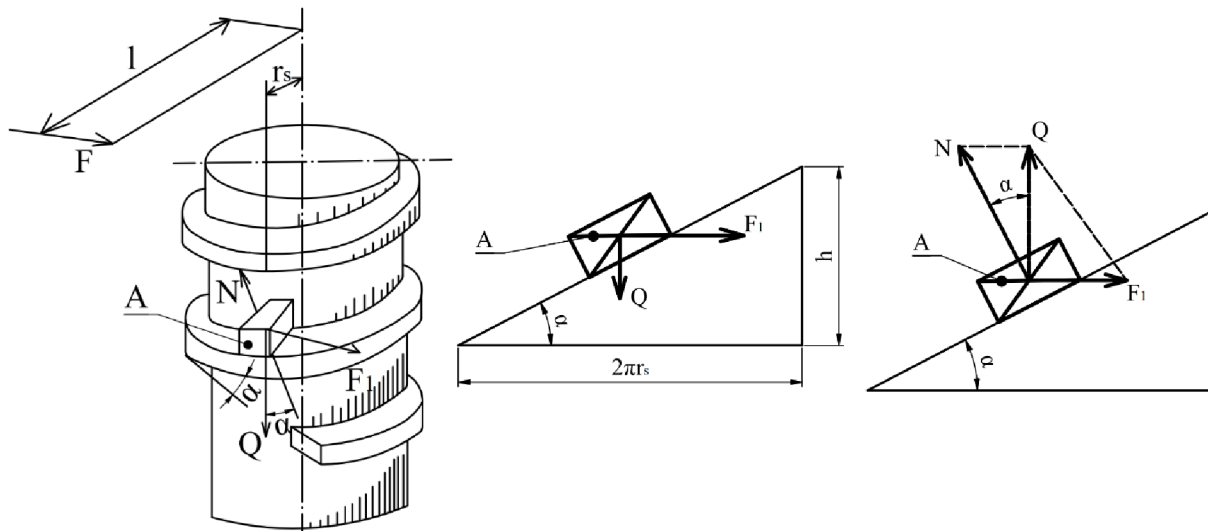
kde: F_c – celková řezná síla [N].

5.2 Kontrolní propočty pro 1. upnutí

Upínání pomocí šroubů lze zařadit mezi nejpoužívanější upínací prvky, pro svou jednoduchost, širokou škálu použití, velikost upínací síly, univerzálnost a vhodnost použití při obrábění s rázy. Nejsou vhodné pro upínání, kde je upínání časově náročné. Při upínání obrobku je šroub v přímém dotyku s obrobkem, nebo přes spojovací článek (upínka). [7]

Pro jednoduchost bylo provedeno odvození vztahu pro výpočet upínací síly u šroubu s jednoduchým závitem. V tomto případě je matice nahrazena tělesem, které je zatíženo pomocí síly F_U . Otáčením páky o délce l se otáčí šroub a tělísko se pohybuje po nakloněné rovině v prostoru. Rozvinutím středního poloměru závitu se změní nakloněná rovina v prostoru na rovinu plošnou (obr. 24). [7]

V tomto případě je dílec upnutý pomocí dvou speciálních šroubů M16, přes výkyvnou opěrku, do které je vložena a přišroubována upínací vložka UGE20 od firmy SCHUNK Intec s.r.o., která je vroubkovaná. Zmíněné speciální šrouby M16 se ve firmě Bühler CZ s.r.o. využívají často pro upínání obráběných dílců na frézovací upínací přípravky. Ve většině případů nejsou šrouby v přímém kontaktu s obráběnými díly, ale upínají se přes člen, kterým může být například speciální výkyvná opěrka.



Obr. 24 Znáznornění silových poměrů na šroub [7].

Výpočet upínací síly byl proveden pro šrouby M16 x 2, které jsou používány společně s výklopnou opěrkou, na kterou je přišroubovaná rýhovaná vložka. Tyto šrouby se využívají pro první upnutí všech dílců (pozice 8 v kusovníku pro první upnutí).

Rovnováha sil [7]:

$$F \cdot l = F_1 \cdot r_{s16} \text{ [N]} \quad (5.12)$$

kde: F – síla působící na páku; dle praxe zvoleno $F = 100 \text{ N}$ [N],

l – délka páky; zvoleno $l = 220 \text{ mm}$ [mm],

F_1 – síla působící na tělísko [N],

r_{s16} – střední poloměr závitu; pro šroub M16 = 7,35 mm [mm].

Ztráty vzniklé pomocí tření (obr. 25) se složka R odklání od normály N o úhel φ a rovnováha sil je dána vztahem [7]:

$$F = F_U \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_t) \text{ [N]} \quad (5.13)$$

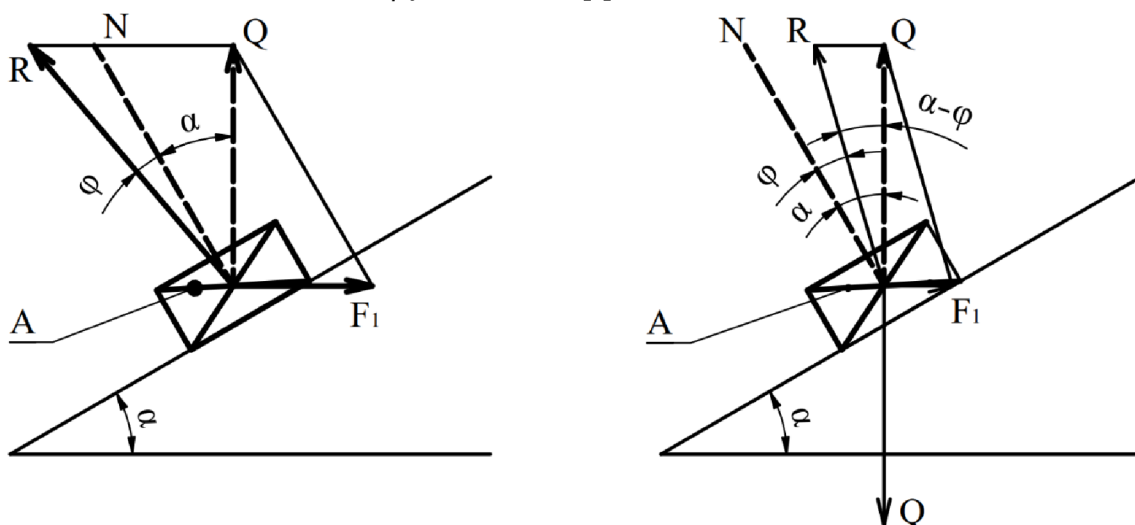
kde: F_U – upínací síla šroubu [N],

α – úhel stoupání závitu [°],

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{2 \cdot \pi \cdot r_s} = \frac{2}{2 \cdot \pi \cdot 7,35} = 2^\circ 36' \quad (5.14)$$

kde: s – stoupání závitu [-],

φ_t – úhel tření [°].



Obr. 25 Znáznornění silových poměrů na nakloněné rovině při působení tření [7].

Koeficient tření f pro klínový profil metrického závitu [7]:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_t &= \frac{f}{\cos 30^\circ} \\ &= \frac{0,1}{\cos 30^\circ} \\ &= 6^\circ 55' \end{aligned} \quad (5.15)$$

kde: f – koeficient tření [-].

Pro upínání šroubem s přitlačnou opěrku se rovnice pro upínací sílu upraví [7]:

$$\begin{aligned} F_u &= \frac{F \cdot l}{r_s \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_t) + f_p \cdot R} \\ &= \frac{100 \cdot 220}{7,35 \cdot \operatorname{tg}(2^\circ 36' + 6^\circ 55') + 0,16 \cdot 6} \\ &= 10\,066,88 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.16)$$

kde: R – poloměr kružnice [mm],

f_p – koeficient tření používán v praxi; z rozsahu zvoleno $f_p=0,16$ [-].

Přípustná upínací síla pro běžný metrický závit M16 [7]:

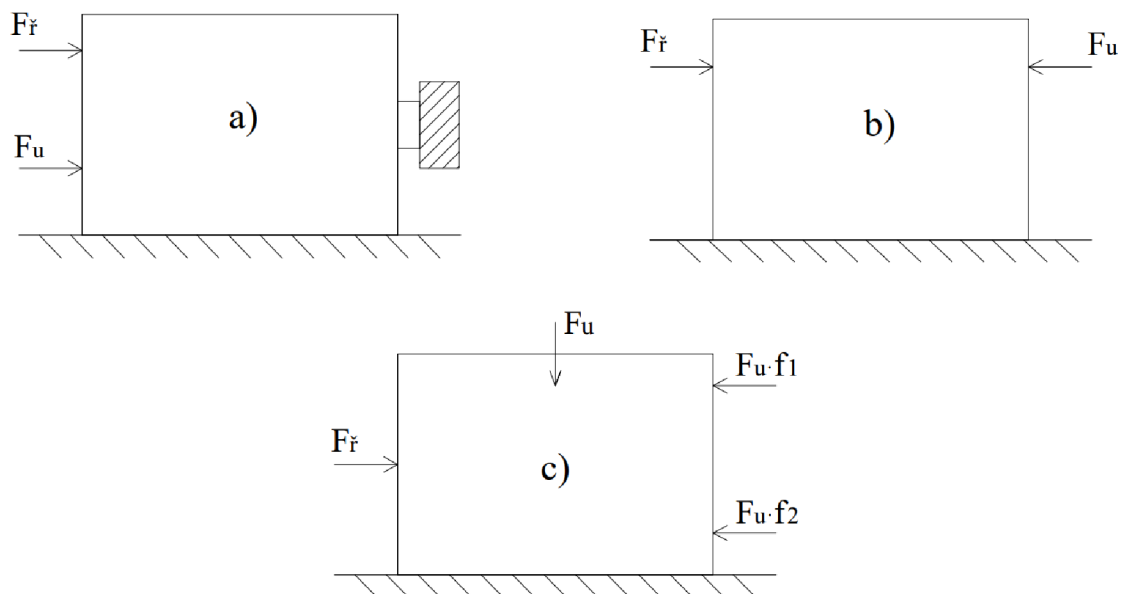
$$\begin{aligned} F_{ud16} &= 0,5 \cdot d^2 \cdot \sigma_d \\ &= 0,5 \cdot 16^2 \cdot 60 \\ &= 7\,680 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.17)$$

kde: F_{ud16} – přípustná upínací síla pro běžný metrický závit M16 [N],

d – jmenovitý vnější průměr závitu [mm],

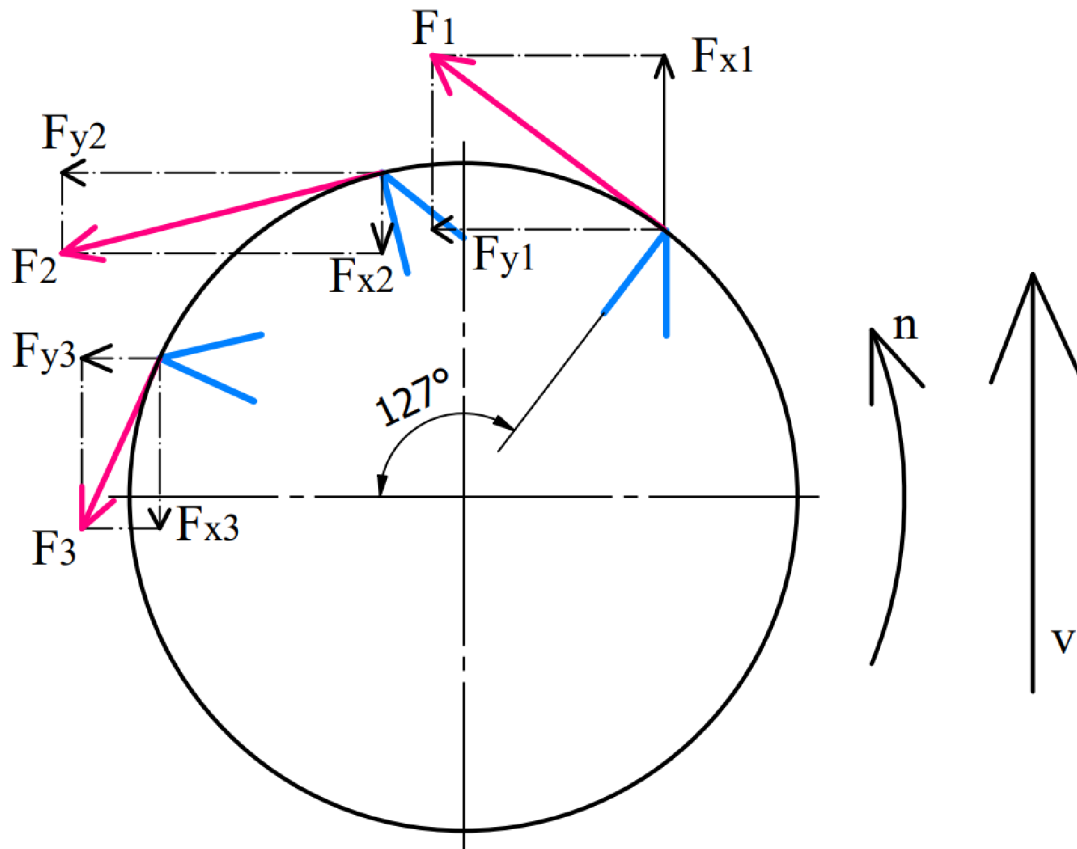
σ_d – dovolené namáhání šroubu v tahu; $\sigma_d = 60 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$].

Celkový počet upínacích prvků a jejich uspořádání se volí dle tvaru obráběné součásti, počtem ustavovacích ploch a dalších parametrů. Upínací síla by měla působit co nejbližně obráběné ploše proti pevným dorazům. Výslednice řezných sil od nástroje mění svůj směr v průběhu obrábění a má tendenci pohnout s upnutým obrobkem v přípravku. Pro správné určení minimální velikosti upínací síly lze vycházet z řezných odporů a průřezu třísky při dané operaci. Pro určení správných hodnot pro upínání obrobku s ohledem na řezné odpory vycházíme ze základních příkladů, které jsou zobrazeny na obr. 26 [7]:



Obr. 26 Základní případy působení upínací síly [7].

Propočty byly provedeny pro dílec HAAC-62836-001. Aby bylo zjištěno, zda se obrobek při frézování nepohne, je potřeba určit všechny síly, které na obrobek působí (upínací síly, třecí síly, řezné síly) a porovnat je mezi sebou. Upínací síla by měla působit proti opěrným plochám a řezné síly by neměly působit proti upínací síle. Řezné síly nelze určit úplně přesně, jelikož vlivem otupení břitů dochází ke zvyšování řezné síly. Prvním druhem obrábění, které bylo prověřeno, je nesousledné frézování (obr. 27).



Obr. 27 Znárodnění řezných sil břitů při nesousledném frézování v programu Autodesk Inventor Professional.

Aby bylo zajištěno bezpečné upnutí je potřeba vynásobit vypočtenou sílu koeficientem, jehož velikost je dána dle způsobu obrábění a jeho podmínek. Proto je potřeba propočítat všechny možné varianty, které mohou nastat. Pro přerušovaný řez (frézování) volíme koeficient $k = 3$, pro plynulý řez se volí koeficient $k = 1,5$. Jelikož fréza v jednom směru obrábí sousledně a v druhém nesousledně, je potřeba zkontrolovat oba směry, protože řezné síly působí vždy jiným směrem.

Výpočet třecí síly [7]:

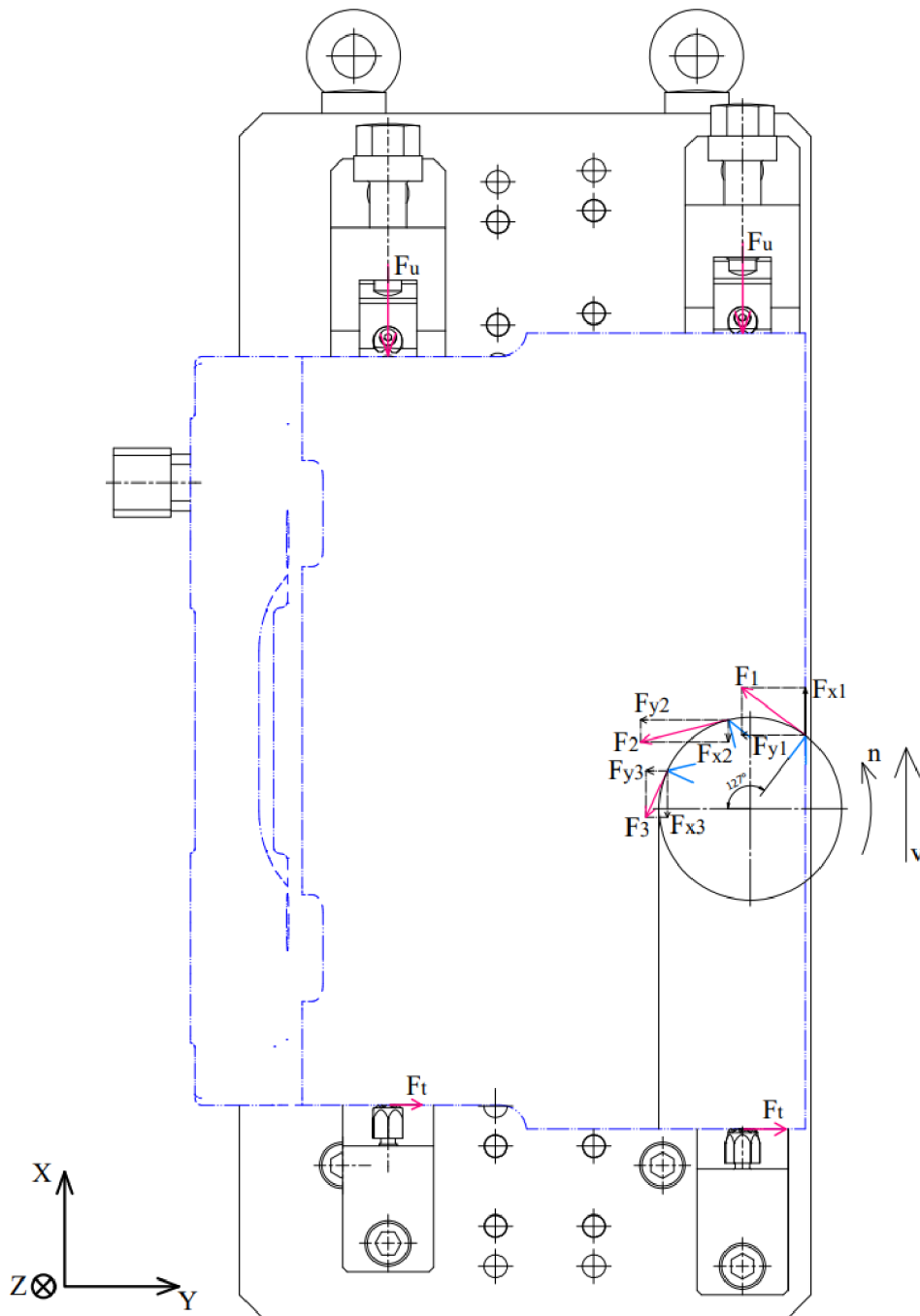
$$\begin{aligned} F_{t1} &= F_u \cdot f_{t1} \\ &= 7\,680 \cdot 0,6 \\ &= 4\,608 \text{ N} \end{aligned} \tag{5.18}$$

kde: F_{t1} – třecí síla pro 1. upnutí [N],

f_{t1} – koeficient kluzného tření [-]; z rozsahu zvolena hodnota $f_{t1} = 0,6$.

Koeficient kluzného tření může nabývat různých hodnot v důsledku opracování povrchu [7]:

- Pro opracované plochy s opěrnou základnou nabývá hodnot $f_t = 0,1-0,15$.
- Neopracované plochy s kulovou plochou nabývá hodnot $f_t = 0,3$.
- Rýhované opěrky v závislosti na hloubce rýhování nabývá hodnot $f_t = 0,4-0,7$.



Obr. 28 Znáornění všech působících sil u 1. upnutí pro nesousledné frézování v programu Autodesk Inventor Professional.

Výpočet minimální upínací síly v ose X pro nesousledné frézování [7]:

V tomto případě se jedná o variantu a) na obrázku 26. Upínací a řezné síly působí proti pevnému dorazu společně (obr. 28). Upínací síla je zde minimální, a tím pádem byl zvolen bezpečnostní koeficient $k_{XN1} = 0,1$.

$$2 \cdot F_{ud16} > \sum F_{Xi} \cdot k_{XN1} \quad (5.19)$$

$$2 \cdot 7\,680 > (-231,75 \cdot \cos 127^\circ + 263,73 \cdot \cos 75,6^\circ + 149,39 \cdot \cos 24,5^\circ) \cdot 0,1$$

$$15\,360 > 6,07\,N$$

kde: F_{xi} – X složka od i-té břitové destičky [N],

k_{XN1} – koeficient bezpečnosti pro nesousledné frézování v ose X [-].

Výpočet minimální upínací síly v ose Y pro nesousledné frézování [7]:

U nesousledného frézování v ose Y směřují řezné síly do bočního pevného dorazu. Jedná se opět o variantu a) na obrázku 26. Proti řezným silám působí třecí síly, které vyvozuje upínací síla. V tomto případě byl zvolen bezpečnostní koeficient $k_{YN1} = 0,3$.

$$2 \cdot F_{t1} > \sum F_{Yi} \cdot k_{YN1} \quad (5.20)$$

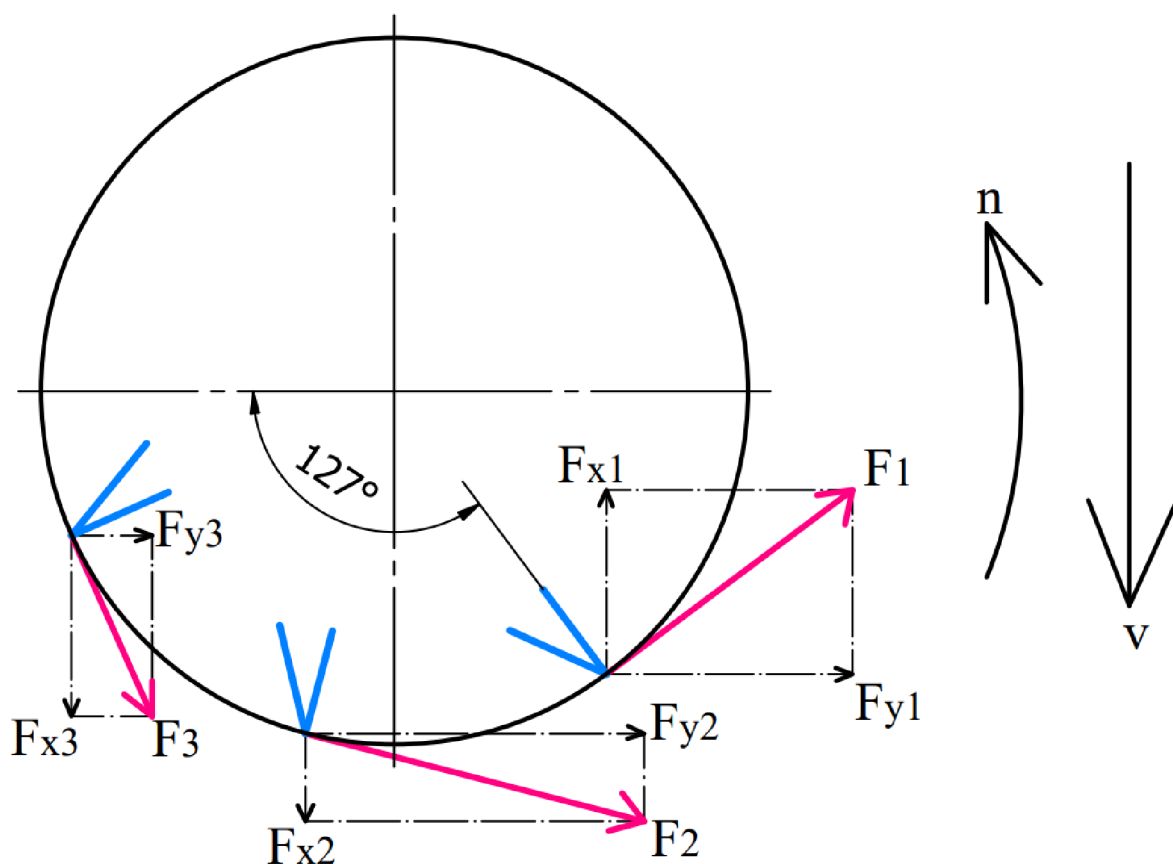
$$2 \cdot 4\,608 > (231,75 \cdot \sin 127^\circ + 263,73 \cdot \sin 75,6^\circ + 149,39 \cdot \sin 24,5^\circ) \cdot 3$$

$$9\,216 > 1\,508,47\,N$$

kde: F_{Yi} – Y složka od i-té břitové destičky [N],

k_{YN1} – koeficient bezpečnosti pro nesousledné frézování v ose Y [-].

Po kontrole obou kritických směrů v ose X a Y pro nesousledné frézování vyšlo, že při obrábění dílce nemůže dojít k jeho posunutí. Tím lze konstatovat, že upnutí je bezpečné.



Obr. 29 Znárodnění řezných sil břitů při sousledném frézování v programu Autodesk Inventor Professional.

Výpočet minimální upínací síly v ose X pro sousledné frézování [7]:

U tohoto druhu obrábění (obr. 29) se minimální upínací síla bude počítat dle varianty b) na obr. 26. Řezná síla působí proti upínací síle. Jedná se o nejhorší možnou variantu, která může nastat, proto byl zvolen bezpečnostní koeficient $k_{XS1} = 3$.

$$2 \cdot F_{ud16} > \sum F_{Xi} \cdot k_{XS1} \quad (5.21)$$

$$2 \cdot 7\,680 > (-231,75 \cdot \cos 127^\circ + 263,73 \cdot \cos 75,6^\circ + 149,39 \cdot \cos 24,5^\circ) \cdot 3$$

$$15\,360 > 182,15\,N$$

kde: k_{XS1} – koeficient bezpečnosti pro sousledné frézování v ose X [-].

Výpočet minimální upínací síly v ose Y pro sousledné frézování [7]:

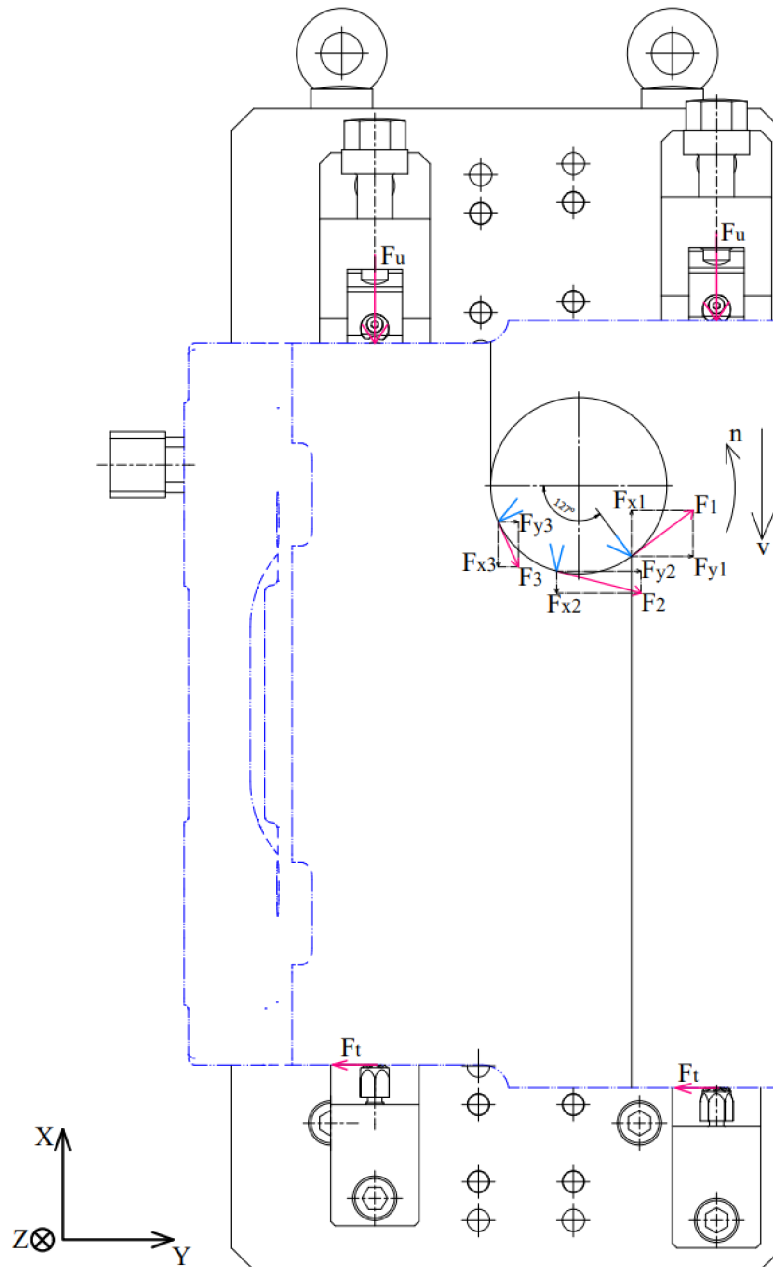
Poslední možný směr, který je potřeba zkontrolovat, je pro sousledné frézování v ose Y. Pro tento směr byl zvolen bezpečnostní koeficient $k_{YS1} = 3$.

$$2 \cdot F_{t1} > \sum F_{Yi} \cdot k_{YS1} \quad (5.22)$$

$$2 \cdot 4\,608 > (231,75 \cdot \sin 127^\circ + 263,73 \cdot \sin 75,6^\circ + 149,39 \cdot \sin 24,5^\circ) \cdot 3$$

$$9\,216 > 1\,508,47\,N$$

kde: k_{YS1} – koeficient bezpečnosti pro sousledné frézování v ose Y [-].



Obr. 30 Znáromění všech působících sil u 1. upnutí pro sousledné frézování v programu Autodesk Inventor Professional.

Druhým způsobem obrábění je sousledné frézování (obr. 30). Pro tuto variantu byly zkontrolovány kritické směry v ose X a Y. Po kontrole těchto směrů bylo zjištěno, že obráběný dílec se při obrábění nemůže pohnout, takže upnutí je bezpečná. Celkově lze konstatovat, že první upnutí je bezpečné a při obrábění se obrobek neposune.

5.3 Kontrolní propočty pro 2. upnutí

Pro druhé upnutí je rozdílný způsob upínání pro různé obráběné dílce. První způsob upínání je pomocí dvou upínek, které jsou dotaženy pomocí matice a jedním šroubem ze spodní strany (obr. 32). Tento způsob upínání se používá pouze pro dílec s označením HAAC-42036-001, jelikož není možné upnout dílec pomocí více šroubů. Dílec je ustaven pomocí dvou čepu, kde jeden je plný a druhý zploštělý.

Upínku lze považovat za nosník, který je podepřený na dvou podpěrách a je zatížen pomocí síly mezi podpěrami (obr. 31). Nevýhodou tohoto způsobu upínání je nižší účinnost, jelikož se využije pouze zlomek upínací síly, oproti ostatním způsobům, které pro tento dílec nedají využít. Výpočet závisí na tvaru upínky a polohou, kde působí upínací síla. [7]

Výpočet upínací síly pomocí matice [7]:

$$F_{UM} = \frac{F \cdot l}{r_{s12} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \frac{2}{3} \cdot f_p \cdot \frac{R_m^3 - r^3}{R_m^2 - r^2}} \quad (5.23)$$

$$= \frac{100 \cdot 220}{5,43 \cdot \operatorname{tg}(2^\circ 36' + 6^\circ 55') + \frac{2}{3} \cdot 0,16 \cdot \frac{12,5^3 - 6^3}{12,5^2 - 6^2}}$$

$$= 8\,993,6 \text{ N}$$

kde: F_{UM} – upínací síla pomocí matice [N],
 R_m – vnější poloměr opěrného čela matice [mm],
 r – vnitřní poloměr opěrného čela matice [mm],
 r_{s12} – střední poloměr závitu; pro šroub M12 = 5,43 mm [mm].

Přípustná upínací síla pro běžný metrický závit M12 [7]:

$$F_{ud12} = 0,5 \cdot d^2 \cdot \sigma_d \quad (5.24)$$

$$= 0,5 \cdot 12^2 \cdot 60$$

$$= 4\,320 \text{ N}$$

kde: F_{ud12} – přípustná upínací síla pro běžný metrický závit M12 [N].

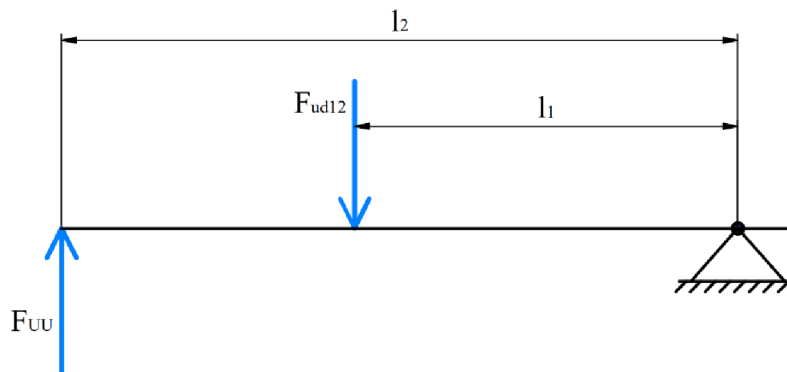
Výpočet síly, která působí na obrobek [7]:

$$F_{UU} = \frac{F_{ud12} \cdot l_1}{l_2} \quad (5.25)$$

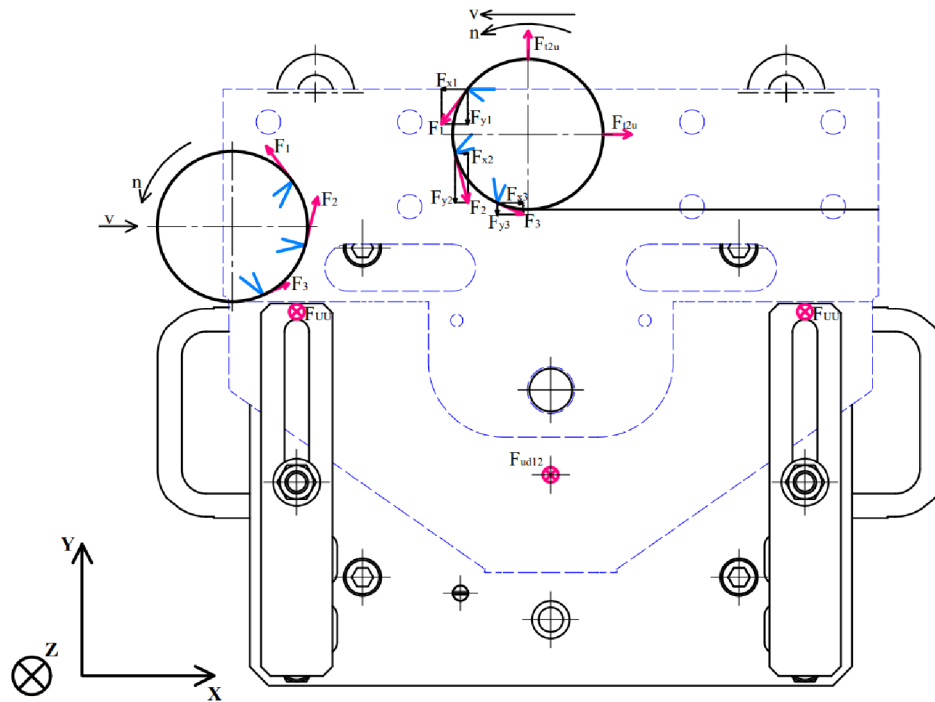
$$= \frac{4\,320 \cdot 120}{150}$$

$$= 3\,456 \text{ N}$$

kde: F_{UU} – síla upínky působící na obrobek [N],
 l_1 – vzdálenost podpěry od šroubu [mm],
 l_2 – vzdálenost stykové plochy a podpěry [mm].



Obr. 31 Schéma působení sil upínky [7].



Obr. 32 Znáornění všech působících sil u 2. upnutí pomocí upínek a šroubu M12 v programu Autodesk Inventor Professional.

Výpočet třecí síly [7]:

$$\begin{aligned} F_{t2u} &= (2 \cdot F_{UU} + F_{ud12}) \cdot f_{t2u} \\ &= (2 \cdot 3\,456 + 4\,320) \cdot 0,15 \\ &= 1\,684,8 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.26)$$

kde: F_{t2u} – třecí síla 2. upnutí (upínka) [N],

f_{t2u} – koeficient kluzného tření [-]; z rozsahu zvolena hodnota $f_{t2u} = 0,15$.

Výpočet minimální síly v ose X pro sousledné a nesousledné frézování 2. upnutí (upínka) [7]:

$$\begin{aligned} F_{t2u} &> \sum F_{Xi} \cdot k_x \\ 1\,684,8 &> (-231,75 \cdot \cos 127^\circ + 263,73 \cdot \cos 75,6^\circ + 149,39 \cdot \cos 24,5^\circ) \cdot 3 \\ 1\,684,8 &> 182,15 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.27)$$

kde: k_x – koeficient bezpečnosti u 2. upínání v ose X [-].

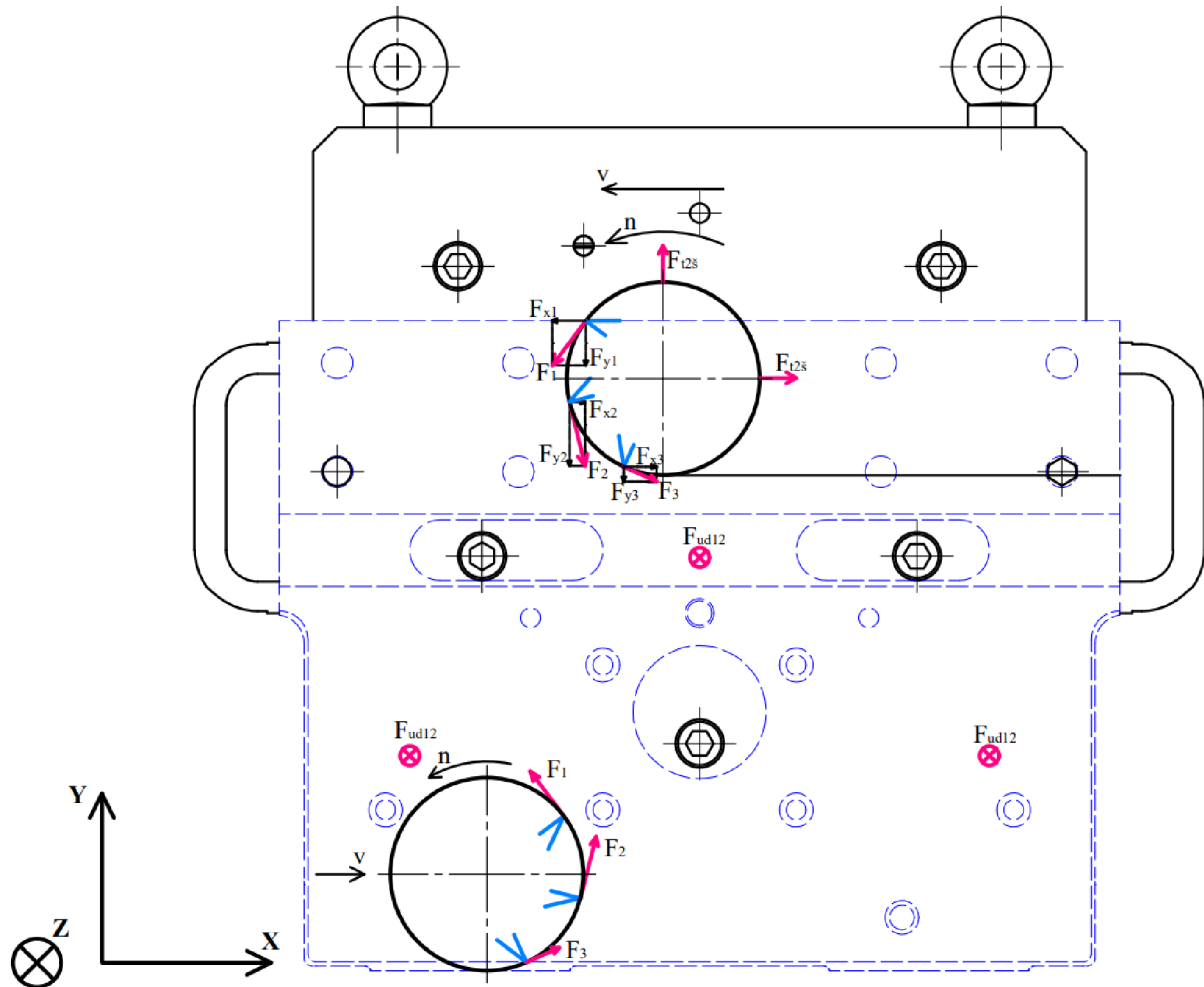
Výpočet minimální síly v ose Y pro sousledné a nesousledné frézování 2. upnutí (upínka) [7]:

$$\begin{aligned} F_{t2u} &> \sum F_{Yi} \cdot k_y \\ 1\,684,8 &> (231,75 \cdot \sin 127^\circ + 263,73 \cdot \sin 75,6^\circ + 149,39 \cdot \sin 24,5^\circ) \cdot 3 \\ 1\,684,8 &> 1\,508,47 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.28)$$

kde: k_y – koeficient bezpečnosti u 2. upínání v ose Y [-].

Po kontrole kritických směrů 2. upnutí, které je určeno pouze pro dílec HAAC-42036-00, bylo zjištěno, že upnutý dílec se při operaci hrubování nemůže pohnout. Tím lze konstatovat, že upnutí je bezpečné a zajistí přesné obrábění.

Druhým způsobem upínání je pomocí šroubů k základní desce. Tento druh upínání je pro dílce s označením HAAC-47539-001, HAAC-62817-001 a HAAC-62836-001. Obráběný dílec je ustaven pomocí dvou čepů, kde jeden čep je plný a druhý zploštělý (obr. 33). Tyto dílce nemohou být upnuty pomocí upínky, která tlačí do dorazu, jelikož se frézuje celá čelní plocha dílců. Použité šrouby pro upnutí jsou o velikosti M12. Výpočet přípustné upínací síly pro tento šroub byl vypočten v rovnici 5.24.



Obr. 33 Znárodnění všech působících sil u 2. upnutí pomocí šroubů M12 v programu Autodesk Inventor Professional.

Výpočet třecí síly [7]:

$$\begin{aligned} F_{t2s} &= 3 \cdot F_{ud12} \cdot f_{t2s} \\ &= 3 \cdot 4\,320 \cdot 0,15 \\ &= 1\,944 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.29)$$

kde: F_{t2s} – třecí síla 2. upnutí (šroub) [N],

f_{t2s} – koeficient kluzného tření [-]; z rozsahu zvolena hodnota $f_{t2s} = 0,15$.

Výpočet minimální síly v ose X pro sousledné a nesousledné frézování 2. upnutí (šroub) [7]:

$$\begin{aligned} F_{t2s} &> \sum F_{Xi} \cdot k_X \\ 1\,944 &> (-231,75 \cdot \cos 127^\circ + 263,73 \cdot \cos 75,6^\circ + 149,39 \cdot \cos 24,5^\circ) \cdot 3 \\ 1\,944 &> 182,15 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.30)$$

Výpočet minimální síly v ose Y pro sousledné a nesousledné frézování 2. upnutí (šroub) [7]:

$$\begin{aligned} F_{t2s} &> \sum F_{Yi} \cdot k_Y \\ 1\,944 &> (231,75 \cdot \sin 127^\circ + 264,73 \cdot \sin 75,6^\circ + 149,39 \cdot \sin 24,5^\circ) \cdot 3 \\ 1\,944 &> 1\,508,47 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.31)$$

Byl zkontrolován poslední způsob upínání, kterým je upínání pomocí šroubů M12. Po kontrole kritických směrů bylo zjištěno, že třecí síly jsou větší než síly řezné. Tím lze konstatovat, že upnutí je také bezpečné a nemůže dojít k posunutí obrobku v přípravku.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při navrhování těchto skupinových přípravků byl kladen důraz na jednoduché použití s co nejmenším přestavováním přípravků při změně výrobního programu. Předpokladem používání těchto přípravků je zvýšení produktivity práce, zmenšení potřebných skladovacích prostor a zaručení bezpečného a přesného upnutí, které má za úkol zvýšit přesnost výroby. Zároveň tyto přípravky vychází z konstrukčních zásad pro návrh přípravku. Manipulace je řešena pomocí závěsných ok a třmenových madel na stranách přípravku pro 2. upnutí. Významnou částí návrhu nových přípravků je nutné vyhotovit zhodnocení z ekonomického hlediska. Ekonomické hledisko je důležitým faktorem pro následující vyhodnocení, zda se vyplatí firmě vyrábět tento přípravek. Podrobná kalkulace vyráběných součástek pro oba upínací přípravky je rozepsána v tab. 10.

Tab. 10 Kalkulace vyráběných součástek.

Název dílce	Číslo výkresu	Počet kusů [n]	Doba výroby jedné součástky [min]	Sazba stroje [Kč/hod]	Materiál [Kč/ks]	TZ [Kč/ks]	Celková cena [Kč/n kusů]
Základová deska 527x250x40	03	1	720	1 150	5 401	0	19 201
Tělo horního dorazu	04	2	300	1 150	358	0	12 216
Doraz spodní pevný	05	2	280	1 150	319	0	11 370
Doraz prostřední	06	1	180	1 150	316	0	3 766
Doraz boční	07	1	180	1 150	130	120	3 700
Prizma	08	2	240	1 150	95	120	9 630
Výkyvná čelist	09	2	240	1 150	69	0	9 338
Upínací šroub	10	2	180	1 150	26	35	7 022
Prodlužovací váleček	11	1	120	1 150	29	25	2 354
Dorazový čep	12	1	60	1 150	35	25	1 210
Základová deska 400x295x50	15	1	600	1 150	4 180	0	15 680
Upinka	16	2	240	1 150	179	130	9 818
Čep 25/20	17	1	120	1 150	38	30	2 368
Opěrka stavitelná M12	18	2	120	1 150	29	25	4 708
Čep 8/13	19	1	120	1 150	25	30	2 355
Čep 8/13 odlehčený	20	1	120	1 150	25	30	2 355
Celkový součet [Kč]							117 091

Celkový počet vyráběných součástek pro první upnutí je 10 a pro druhé upnutí 6. Doba potřebná pro výrobu všech součástek byla hrubým výpočtem stanovena na 63 hodin a 40 minut. Jelikož se na obou přípravných nachází také kupované díly z různých katalogů je potřeba provést kalkulaci i pro tyto součástky. Ceny těchto komponentů jsou pouze orientační, jelikož firma spolupracuje s různými dodavateli a ceny se mohou lišit od normálních. Celá podrobně rozepsaná kalkulace je v tab. 11.

Tab. 11 Kalkulace kupovaných součástek.

Název součástky	Výrobce	Počet kusů [n]	Cena za kus [Kč/ks]	Celková cena [Kč/n kusů]
Opěrka výkyvná nastavitelná	Halder	3	2 311	6 933
Upínací vložka UGE 20	Schunk	2	420	840
Podpěra rýhovaná	Halder	2	326	652
Čep ø20/M10	LANG	4	250	1 000
Třmenový držák	Halder	2	149	298
Celkový součet [Kč]				9 723

Celkový čas potřebný k výrobě přípravků [33]:

$$\begin{aligned}
 T_{VS} &= T_{VD} + T_{VM} + T_{VF} \\
 &= 63,7 + 1,25 + 0,5 \\
 &= 65,45 \text{ h}
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

kde: T_{VS} – celkový čas potřebný k výrobě přípravků [h],
 T_{VD} – čas výroby jednotlivých částí [h],
 T_{VM} – čas montáže [h],
 T_{VF} – čas na zkoušku funkčnosti [h].

Náklady na vypracování konstrukce [33]:

$$\begin{aligned}
 N_{VKV} &= T_{KV} \cdot p_K \\
 &= 1,5 \cdot 230 \\
 &= 345 \text{ Kč}
 \end{aligned}
 \tag{6.2}$$

kde: N_{VKV} – náklady na vypracování konstrukce [Kč],
 T_{KV} – potřebný čas na vypracování konstrukce [h],
 p_K – průměrný plat konstruktéra [Kč/h].

Náklady na vlastní kreslení [33]:

$$\begin{aligned}
 N_{VVK} &= T_{VK} \cdot p_K \\
 &= 8,25 \cdot 230 \\
 &= 1 897,5 \text{ Kč}
 \end{aligned}
 \tag{6.3}$$

kde: N_{VVK} – náklady na vlastní kreslení [Kč],
 T_{VK} – potřebný čas na vlastní kreslení [h].

Náklady na kontrolu konstrukce [33]:

$$\begin{aligned} N_{VKK} &= T_{KK} \cdot p_K \\ &= 0,5 \cdot 230 \\ &= 115 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.4)$$

kde: N_{VKK} – náklady na kontrolu konstrukce [Kč],
 T_{KK} – potřebný čas na kontrolu konstrukce [h].

Celkové náklady na konstrukci přípravků [33]:

$$\begin{aligned} N_{VK} &= N_{VKV} + N_{VVK} + N_{VKK} \\ &= 345 + 1\,897,5 + 115 \\ &= 2\,357,5 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.5)$$

kde: N_{VK} – celkové náklady na konstrukci přípravků [Kč].

Náklady na stavbu a odzkoušení obou přípravků [33]:

$$\begin{aligned} N_{VS} &= (T_{VM} \cdot m_{VM}) + (T_{VF} \cdot m_{VF}) \\ &= (1,25 \cdot 185) + (0,5 \cdot 185) \\ &= 323,75 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.6)$$

kde: N_{VS} – náklady na stavbu a výrobu obou přípravků [Kč],
 m_{VM} , m_{VF} – průměrná hodinová mzda pracovníka [Kč/h].

Celkové náklady na výrobu skupinových přípravků [33]:

$$\begin{aligned} N_{SP} &= N_{PO} + N_{VK} + N_{VS} + N_{VM} + N_U + N_N \\ &= 115\,560 + 2\,357,5 + 323,75 + 11\,254 + 138,75 + 108 \\ &= 129\,742 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.7)$$

kde: N_{SP} – celkové náklady na výrobu skupinových přípravků [Kč],
 N_{PO} – pořizovací náklady přípravků [Kč],
 N_{VM} – náklady na materiál [Kč],
 N_U – náklady na přestavbu přípravků pro nový dílec [Kč],

$$N_U = T_U \cdot m_U = 0,75 \cdot 185 = 138,75 \text{ Kč} \quad (6.8)$$

kde: T_U – potřebný čas na přestavbu přípravků [h],
 m_U – průměrná hodinová mzda pracovníka [Kč].

N_N – náklady na normalizované součásti [Kč].

ZÁVĚR

Byly navrženy skupinové frézovací přípravky, které jsou vhodné pro aplikaci na malosériovou výrobu. Jedná se o přípravky, které mají za úkol upínat čtyři tvarově rozdílné dílce, které se vyrábí na dvě upnutí, kde výrobní série každého dílce je 118 kusů za rok. Polotovary pro výrobu těchto dílců je odlitek z materiálu EN-GJS-400-15, což je litina s kuličkovým grafitem.

Dle dostupných možností firmy byl zvolen vhodný obráběcí stroj, kterým je frézovací horizontální centrum MS NH5000 DCG od firmy DMG Mori Czech s.r.o. Následně byl zhotoven nástrojový list a seznam měřidel, dle stávajícího vybavení firmy a dlouholetých zkušenostech s různými dodavateli, které se používají pro výrobu a kontrolu rozměrů dílce s označením HAAC-62836-001, který byl vybrán náhodně, jako názorná ukázka. Pro tento dílec byl následně sestaven technologický postup, který obsahuje popis dané operace, název stroje, podrobné informace o použitých nástrojích, vyměnitelných břitových destičkách a měřidlech.

Byla ověřena funkčnost upínání pomocí kontrolních výpočtů. Pro ověření byl zvolen dílec s označením HAAC-62835-001. Propočty byly provedeny pro operaci hrubování pomocí čelní frézy, kde hloubka třísky $a_p = 1$ mm a posuv na zub $f_z = 0,18$ mm. Následně byly vypočteny řezné síly od jednotlivých zubů frézy, upínací a třecí síly, pro každé upnutí. Nejhorší možný směr, který byl zkontrolován je při 2. upnutí v ose Y pro dílec s označením HAAC-42036-001, kde třecí síla, která je vyvozena upínací silou má velikost 1 684,8 N a řezná síla 1 508,47 N. Po kontrole všech kritických směrů bylo zjištěno, že upnutí je bezpečné a zajistí přesnou výrobu.

Při konstruování tohoto přípravku bylo dbáno na jednoduchost přestavování při změně výrobního programu. Předpokladem používání přípravků je zvýšení produktivity, snížení skladovacích prostor a bezpečné a přesné upnutí. Byla provedena detailní kalkulace obou přípravků a vypočítány náklady na konstrukci. Předpokládaný výrobní čas obou přípravků je 65,45 hodin. Celkové náklady na výrobu přípravků jsou 129 742 Kč. Pro dodržení požadované přesnosti výroby, je potřeba přípravek nejprve odzkoušet v praxi. Konstrukční dokumentace se nachází v přílohách a byla vypracována pomocí programu Autodesk Inventor Professional.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Upínací přípravky FlowTech. *FlowTech*, s. r. o. [online]. [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://flowtech.cz/produkty/upinaci-pripravky/>
 2. Kontrolní přípravky MESING. *MESING*, spol. s r. o. [online]. [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://mesing.cz/?page=kontrolni-pripravky&lang=cz>
 3. *BÜHLER ŽAMBERK: Mlynářské dny*. Žamberk, 2022. [Cit. 2023-02-22]. Dostupné z: firemní disk
 4. Firma Bühler. *Bühler Žamberk* [online]. [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://www.buhlercz.cz/cs/o-nas>
 5. *BÜHLER ŽAMBERK: Pečící linka*. Žamberk, 2022. [Cit. 2023-02-22]. Dostupné z: firemní disk
 6. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998, 166 s.: il. ISBN 80-214-1263-1.
 7. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 193 s. : obr. + 1 CD-ROM. ISBN 80-214-2336-6.
 8. BAKKER, O. J., T. N. PAPASTATHIS, A. A. POPOV a S. M. RATCHEV. Active fixturing: literature review and future research directions. *International Journal of Production Research*. 2013, 51(11), 3171- 3190. DOI: 10.1080/00207543.2012.695893. ISSN 0020-7543.
 9. Skličidlo 3-čelistové Standard DK11-80. *BOUKAL*, s. r. o. [online]. [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/sklidlo-3-celistove-standard-dk11-80-din-6350-litina/2002/produkt>
 10. Svěrák strojní modulární VMP-5. *VABEX*, s. r. o. [online]. [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: https://www.shop.strojniveraky.cz/produkty/modularni-sverak-vmp-5-detail?gclid=Cj0KCQiAutyfBhCMARIsAMgcRjQmGxh4WuuyIFfBlqOmJUtrN2AK4BDrFKnNO7t7uZygYdbq3HotmZoaAqFoEALw_wcB
 11. Pneumatická upínka 310 P. *JC-METAL*, s. r. o. [online]. [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: https://www.jcmetal.cz/eshop/cs/pneumaticke-upinky/586-pneumaticka-upinka-310-p.html?gclid=Cj0KCQiAorKfBhC0ARIsAHDzsltpE0zE519hlWCrItaQKxlzaLDAfVUEy4LnZ_U2I2X_E_tvd_xQQrcaAovhEALw_wcB
 12. CHLADIL, Josef. *Přípravky a nástroje Část - Obrábění*. Vydání třetí. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992, 157 stran : ilustrace, grafy. ISBN 80-214-0408-6.
 13. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 s. : il., tabulky, grafy, schémata. ISBN 80-214-3068-0.
 14. Čelní válcová fréza. *TaeguTec LTD*. [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/TaeguTec/ttkCatalog/Family.aspx?fnum=10880&mapp=ML&app=401&GFSTYP=M>
 15. Sousledné frézování nebo nesousledné frézování. *SANDVIK CZ*, s. r. o. [online]. [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/down-milling-vs-up-milling>
 16. ZEMČÍK, Oskar. *Technologické procesy: část obrábění: učební texty kombinovaného bakalářského studia* [online]. [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>
-

-
17. BÜHLER ŽAMBERK: *MS NH5000 DSG*. Žamberk, 2023. [Cit. 2023-02-22]. Dostupné z: firemní disk
 18. Obráběcí centrum – horizontální Mori Seiki NH5000 / 40 DCG. *EXAPRO s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: <https://www.exapro.cz/mori-seiki-nh-5000-40-dcg-p220504184/>
 19. Katalog řezných nástrojů firmy TaeguTec. *TaeguTec CR, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.taegutec.com/pages/cs/publications/cutting-tools-catalogs/>
 20. Katalog řezných nástrojů firmy SecoTools. *SecoTools, CZ s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/84565>
 21. Katalog nástrojů Hoffmann Group. *Hoffmann Group, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/obrabeni/c/10-00-00-00-00?Id=56>
 22. Katalog přesného vyvrtávání VarioTool. *VarioTool, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <http://www.variotool.cz/cz/textpages/read/244/Wohlhaupter>
 23. Nástroje na třískové obrábění Ceratizit. *Ceratizit, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs.html>
 24. Katalog řezných nástrojů Gühring. *Gühring, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://guehring.com/cs/downloads/onlinecatalogue/>
 25. Katalog nástrojů Walter. *Walter CZ, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/search-and-shop/walter-online-catalogue>
 26. Katalog nástrojů TGS. *TGS, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://tgs.cz/nastroje>
 27. Katalog nástrojů Kennametal. *Kennametal* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/cz/cs/resources/catalogs-literature.html>
 28. Katalog měřidel Hoffmann. *Hoffmann Group, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: https://ecatalog.hoffmann-group.com/index.html?country=ces_CZ_CZE/catalogs/&catalog=90000002#page_1
 29. Katalog nástrojů Mitutoyo. *Mitutoyo Česko, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.mitutoyo.cz/cs_cz/downloads/katalog
 30. Opěrka výkyvná nastavitelná. *Erwin Halder KG* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.halder.com/cz/PM/Normovane-dily/Strojni-a-zajistovaci-prvky/Operky-vykyvne/Operky-vykyvne-nastavitelne/22740.0336>
 31. Upínací vložka UGE20. *SCHUNK Intec, s. r. o.* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://schunk.com/fi/en/workpiece-clamping-technology/accessories/spare-parts/uge-20/uge-20/p/000000000000100019>
 32. HUMÁR, A. Technologie I: technologie FSI, 2004.: Studijní opory pro magisterskou formu studia [online]. 2003 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
 33. MRKVICA, Miloš. Přípravky a obráběcí nástroje. 3. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2001, 188 s. ISBN 80-707-8941-7.
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A_{Di}	průřez třísky	[mm ²]
a_p	hloubka třísky	[mm]
C_{Fc}	konstanta, která vyjadřuje vliv opotřebení materiálu	[-]
d	jmenovitý vnější průměr závitu	[mm]
F	síla působící na páku	[N]
F_1	řezná síla od 1. břitové destičky	[N]
F_2	řezná síla od 2. břitové destičky	[N]
F_3	řezná síla od 3. břitové destičky	[N]
F_c	celková řezná síla	[N]
F_{ci}	řezná síla	[N]
F_l	síla působící na tělísko A	[N]
F_{t1}	třecí síla pro 1. upnutí	[N]
F_{t2u}	třecí síla pro 2. upnutí (upínka)	[N]
$F_{t2š}$	třecí síla pro 2. upnutí (šroub)	[N]
F_U	upínací síla šroubu	[N]
F_{UM}	upínací síla pomocí matice	[N]
F_{UU}	síla upínky působící na obrobek	[N]
F_{ud12}	připustná upínací síla pro běžný metrický závit M12	[N]
F_{ud16}	připustná upínací síla pro běžný metrický závit M16	[N]
F_{xi}	X složka od i-té břitové destičky	[N]
F_{yi}	Y složka od i-té břitové destičky	[N]
f	koeficient tření	[-]
f_p	koeficient tření používán v praxi	[-]
f_{t1}	koeficient kluzného tření	[-]
f_{t2u}	koeficient kluzného tření	[-]
$f_{t2š}$	koeficient kluzného tření	[-]
f_z	posuv na zub	[mm]
h_i	jmenovitá tloušťka třísky	[mm]
k_{ci}	měrná řezná síla	[MPa]
k_x	koeficient bezpečnosti u 2. upínání v ose X	[-]
k_{xn1}	koeficient bezpečnosti pro nesousledné frézování v ose X	[-]
k_{xs1}	koeficient bezpečnosti pro sousledné frézování v ose X	[-]
k_y	koeficient bezpečnosti u 2. upínání v ose Y	[-]
k_{yn1}	koeficient bezpečnosti pro nesousledné frézování v ose Y	[-]
k_{ys1}	koeficient bezpečnosti pro sousledné frézování v ose Y	[-]
l	délka páky	[mm]
l_1	vzdálenost podpěry od šroubu	[mm]
l_2	vzdálenost stykové plochy a podpěry	[mm]
m_{VF}	průměrná hodinová mzda pracovníka	[Kč]
m_{VM}	průměrná hodinová mzda pracovníka	[Kč]
m_U	průměrná hodinová mzda pracovníka	[Kč]
N_N	náklady na normalizované součásti	[Kč]
N_{PO}	pořizovací náklady přípravku	[Kč]
N_{SP}	celkové náklady na výrobu skupinového přípravku	[Kč]
N_U	náklady na přestavbu přípravku pro nový dílec	[Kč]
N_{VK}	celkové náklady na konstrukci přípravku	[Kč]

Označení	Legenda	Jednotka
N_{VKK}	náklady na kontrolu konstrukce	[Kč]
N_{VKV}	náklady na vypracování konstrukce	[Kč]
N_{VM}	náklady na materiál	[Kč]
N_{VS}	náklady na stavbu a výrobu obou přípravků	[Kč]
N_{VVK}	náklady na vlastní kreslení	[Kč]
n_z	počet zubů v záběru	[-]
p_K	průměrný plat konstruktéra	[Kč/h]
R	poloměr kružnice	[mm]
R_m	vnější poloměr opěrného čela matice	[mm]
r	vnitřní poloměr opěrného čela matice	[mm]
r_{s12}	střední poloměr závitu pro šroub M12	[mm]
r_{s16}	střední poloměr závitu pro šroub M16	[mm]
s	stoupání závitu	[-]
T_{KK}	potřebný čas na kontrolu konstrukce	[h]
T_{KV}	potřebný čas na vypracování konstrukce	[h]
T_U	potřebný čas na přestavbu přípravku	[h]
T_{VD}	čas výroby jednotlivých částí	[h]
T_{VF}	čas na zkoušku funkčnosti	[h]
T_{VK}	potřebný čas na vlastní kreslení	[h]
T_{VM}	čas montáže	[h]
T_{VS}	celkový čas potřebný k výrobě přípravku	[h]
x	exponent vlivu tloušťky třísky	[-]
z	počet zubů frézy	[-]
α	úhel stoupání závitu	[°]
κ_r	úhel nastavení hlavního ostří	[°]
σ_d	dovolené namáhání šroubu v tahu	[N·mm ⁻²]
φ_t	úhel tření	[°]
φ_i	úhel posuvového pohybu	[°]
Ψ	úhel záběru frézy	[°]
Ψ_1	úhel záběru 1. zubu	[°]
Ψ_2	úhel záběru 2. zubu	[°]
Ψ_3	úhel záběru 3. zubu	[°]
Ψ_z	úhlová rozteč zubů	[°]

Zkratky

Označení	Legenda
CNC	computer numerical control
HB	tvrdost dle Brinella
HRC	tvrdost dle Rockwella
PUP	pevný upínací přípravek
TZ	tepelné zpracování
USP	univerzální stavebnicový přípravek
VBD	vyměnitelná břitová destička

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Seřizovací list 1. upnutí pro dílec HAAC-62836-001
Příloha 2	Seřizovací list 2. upnutí pro dílec HAAC-62836-001

SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava 1. upnutí	2023-BP-229396-01
Kusovník 1. upnutí	2023-BP-229396-02
Základová deska 1.UP	2023-BP-229396-03
Tělo horního dorazu	2023-BP-229396-04
Doraz spodní pevný	2023-BP-229396-05
Doraz prostřední	2023-BP-229396-06
Doraz boční	2023-BP-229396-07
Prizma	2023-BP-229396-08
Výkyvná čelist	2023-BP-229396-09
Upínací šroub	2023-BP-229396-10
Prodlužovací váleček	2023-BP-229396-11
Dorazový čep	2023-BP-229396-12
Sestava 2. upnutí	2023-BP-229396-13
Kusovník 2. upnutí	2023-BP-229396-14
Základová deska 2.UP	2023-BP-229396-15
Upínka	2023-BP-229396-16
Čep 25/20	2023-BP-229396-17
Opěrka stavitelná M12	2023-BP-229396-18
Čep 8/13	2023-BP-229396-19
Čep 8/13 odlehčený	2023-BP-229396-20
Pohledy sestav	2023-BP-229396-21
Dílec HAAC-42036-001	2023-BP-229396-22
Dílec HAAC-47539-001	2023-BP-229396-23
Dílec HAAC-62817-001	2023-BP-229396-24
Dílec HAAC-62836-001	2023-BP-229396-25

Seřizovací list 1. upnutí pro dílec HAAC-62836-001.

VUT BRNO FSI ÚST	SEŘIZOVACÍ LIST		BP-JK-229396	Polotovary: Odlitek
			HAAC-62836-001	
Upínač:	2023_BP_229396-01; úhelník: 431/1066	Stroj:	MS NH5000	
Vypracoval:	Jan Kalous	Datum:	17.02.2023	

Seřizovací list 2. upnutí pro dílec HAAC-62836-001.

VUT BRNO FSI ÚST	SEŘIZOVACÍ LIST		BP-JK-229396	Polotovary: Odlitek
			HAAC-62836-001	
Upínač:	2023_BP_229396-13; úhelník: 431/1066	Stroj:	MS NH5000	

G56; B270
X0 na obrobene ploše
Z0 na obrobene ploše

G54; B0
Z0 na obrobene ploše

G55; B90
X0 na obrobene ploše
Z0 na obrobene ploše

B270 B0 B90

Vypracoval:	Jan Kalous	Datum:	17.02.2023
--------------------	------------	---------------	------------