



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH DESIGNU A VÝROBA PROTOTYPU KAPODASTRU

A DESIGN PROPOSAL AND PROTOTYPE PRODUCTION OF THE PART CAPODASTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Remer

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Radim Remer**
Studijní program: Strojirenství
Studijní obor: Strojirenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2018/19

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 designu a výroba prototypu Kapodastru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Teoretické znalosti a zkušenosti související s 3D softwary ohledně technologie frézování jsou využity v konkrétním autorském řešení.

Cíle bakalářské práce:

- Pojednání o programech CAD/CAM.
- Charakteristika použité technologie frézování.
- Vytvoření osobitého designu zadané součásti.
- Výroba prototypu.
- Zhodnocení dosaženého výsledku.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PIŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.


SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. P. 730. ISBN 0-07-146271-6.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 24. 10. 2018





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a výrobou vlastního prototypu součásti zvané kapodastr za pomoci obráběcích metod. Dále je zaměřena na teorii hlavních využitých technologií CAD, CAM a frézování. Závěrem jsou zhodnoceny dosažené výsledky a vypracováno přibližné ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

CAD software, CAM software, frézování, prototyp, kapodastr, vrtání, konstrukce

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with manufacturing of an own capo prototype design with the help of the machining. Further focus is on the used CAD, CAM and milling technologies. The final part of the bachelor thesis is focused on an achieved results and an economic evaluation.

Key words

CAD software, CAM software, milling, prototype, capo, drilling, design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

REMER, R. *Návrh designu a výroba prototypu Kapodastru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 46 s., 12 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh designu a výroba prototypu Kapodastru** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Radim Remer

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce, a také panu Jiřímu Čechovi za ochotu a výpomoc s výrobou navržené součásti.

OBSAH

| | |
|--|----|
| ABSTRAKT | 3 |
| PROHLÁŠENÍ..... | 4 |
| PODĚKOVÁNÍ..... | 5 |
| OBSAH..... | 6 |
| ÚVOD..... | 8 |
| 1 CAD A CAM PROGRAMY | 9 |
| 1.1 CAD programy..... | 9 |
| 1.1.1 CAD historie..... | 9 |
| 1.1.2 Rozdělení CAD programů | 11 |
| 1.2 CAM programy | 12 |
| 1.2.1 CAM historie | 12 |
| 1.2.2 Strategie drah nástroje | 13 |
| 1.2.3 Postprocesory..... | 16 |
| 2 FRÉZOVÁNÍ..... | 17 |
| 2.1 Sousedné a nesousedné frézování..... | 17 |
| 2.2 Druhy upínání obrobku a nástroje..... | 18 |
| 2.2.1 Upínání nástrojů..... | 18 |
| 2.2.2 Upínání obrobků | 19 |
| 2.3 Nástrojové materiály | 21 |
| 2.4 Frézovací nástroje | 22 |
| 2.5 CNC frézování | 23 |
| 2.6 Vysokorychlostní frézování | 23 |
| 3 NÁVRH PROTOTYPU..... | 24 |
| 3.1 Myšlenka a náčrt | 24 |
| 3.2 Konstrukce v CAD softwaru | 25 |
| 4 VÝROBA PROTOTYPU OBRÁBĚCÍMI TECHNOLOGIEMI..... | 28 |
| 4.1 Volba materiálu..... | 28 |
| 4.2 Volba polotovaru..... | 29 |
| 4.3 Technologičnost | 29 |
| 4.4 Výběr strojů..... | 29 |
| 4.5 Výběr nástrojů..... | 29 |
| 4.6 Technologický postup | 30 |
| 4.7 Volba rezných podmínek | 30 |
| 4.8 Vytvoření obráběcích drah pomocí CAM softwaru..... | 31 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.9 | Postprocessing..... | 32 |
| 4.10 | Výroba a sestavení kapodastru | 33 |
| 5 | ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ..... | 36 |
| 5.1 | Ergonomické a estetické hledisko | 36 |
| 5.2 | Funkční hledisko | 36 |
| 5.3 | Ekonomické hledisko | 37 |
| | ZÁVĚR | 40 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 41 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 45 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 46 |

ÚVOD

Čím dál více se počítačové technologie stávají dostupnější, a to i pro běžné uživatele. K dispozici existují mnohé softwary a technologie, které značně ulehčují a urychlují celý výrobní proces. Výroba se stává velmi pružnou, a to přispívá především pro výroby s nižší sériovostí. Setkáváme se s počítačem ovládanými stroji a počítačovou podporou všech různých odvětví v podobě moderních výkonných softwarů s přehledným uživatelským prostředím.

První část této bakalářské práce se zabývá dvěma druhy softwarů, které jsou nezbytnou součástí mnoha výrobních procesů, a to konstruování s počítačovou podporou neboli CAD (z anglického *Computer Aided Design*) a výroba s počítačovou podporou neboli CAM (z anglického *Computer Aided Manufacturing*), a zejména jejich vzájemné propojení, pro následné využití technologií CNC (z anglického *Computer numerical control*) frézování. Spojením těchto technologií vzniká velmi silný nástroj, který lze také využít k rychlé výrobě prototypu. Následně tedy bude využito těchto technologií, pro vytvoření vlastního prototypu součásti s názvem kapodastr, jenž se využívá pro celkové zvýšení tónu u strunných nástrojů jako je kytara (obr. 1, obr. 2). K zhotovení prototypu budou také zapojeny i ostatní obráběcí technologie jako je vrtání, soustružení a broušení.



Obr. 1: Model kapodastru. [Autodesk Inventor 2019]



Obr. 2: Vyrobený prototyp kapodastru.

1 CAD A CAM PROGRAMY

Počítačová podpora v podobě moderních softwarů, představuje nepostradatelnou část mnoha oborů. Jedním z nich je inženýrství a výroba, ale dále se uplatňují v oborech zabývajících se lékařstvím, kontrolou dopravy, matematikou, ekonomikou. [1]

Z hlediska výroby lze všechny tyto softwary řadit do rámce filozofie počítačem podporované výroby neboli CIM (z anglického *Computer Integrated Manufacturing*), která zahrnuje počítačovou podporu celého výrobního procesu. Mezi nejdůležitější softwary zaměřené na samotnou výrobu patří mimo jiné konstruování, výroba a inženýrské práce s počítačovou podporou (CAD, CAM, CAE). Jejich integrace umožňuje rychle reagovat na změnu výrobního programu. [2]

Inženýrské práce s počítačovou podporou neboli CAE (z anglického *Computer Aided Engineering*) softwary se využívají k analýze geometrických dat převedených z CAD softwarů. Umožňují simulaci objektu v pracovních a výrobních podmínkách a optimalizovat tento objekt a jeho vyrobitelnost, lze tedy předejít možným chybám před samotnou výrobou. Mezi velmi rozšířené metody patří metoda konečných prvků sloužící k pevnostním výpočtům, která umožňuje stanovení deformací a napjatostí různých zatěžovacích stavů. [1; 3]

CAD a CAM softwarům jsou věnovány následující kapitoly 1.1 a 1.2.

1.1 CAD programy

CAD softwary jsou v současné době součástí velkého množství návrhářské a kreslicí činnosti, napomáhají v mnohých odvětvích k vytvoření, modifikaci a optimalizaci návrhů modelů a někdy umožňují i méně komplexní analýzu daného modelu. Slouží také jako moderní a produktivní prostředí pro vytvoření výkresové dokumentace součástí. [4; 3]

Mezi přednosti CAD softwarů oproti ručnímu kreslení patří lehčí provedení změn návrhu, snazší vizualizace výsledného produktu, uschování návrhu v elektronické databázi a jeho snadná distribuce pomocí sítě nebo samotné urychlení návrhového a konstrukčního procesu. Velmi často se následně na vytvořený geometrický model navazuje za pomoci dalších počítačem podporovaných softwarů jako jsou CAE a CAM nebo technologií 3D tisku. Výstup CAD softwarů může být i obyčejná výkresová dokumentace. [4; 5]

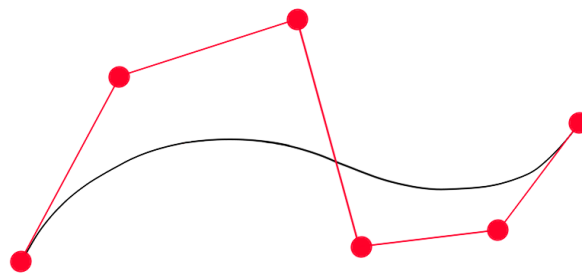
1.1.1 CAD historie

Ačkoliv je historie CAD softwarů relativně nedávnou záležitostí, tak je velice rozsáhlá a figuruje v ní velké množství důležitých osobností. Tato kapitola se zabývá jen krátkým úvodem a některými důležitými milníky této historie.

Historie CAD softwarů je úzce spojena se souběžným vývojem počítačů. Počátek ve vývoji CAD systémů je připisován zejména dvěma významným jménům, a to Dr. Paul J. Hanratty a Dr. Ivan Sutherland. V počátku vývoje se především jednalo o určitou formu náhrady zavedeného ručního kreslení a nebylo zde výrazné zvýšení v produktivitě práce oproti dříve používanému ručnímu kreslení. Jednalo se o digitální alternativu ručního kreslení, avšak s velkým potenciálem do budoucnosti. Pro velkou většinu byla CAD technologie nepřístupná z důvodu velkých pořizovacích nákladů, a počítačová výpočetní technologie nebyla na dostatečně vyspělé úrovni. Tato technologie především apelovala na automobilový a letecký průmysl. Tyto průmysly vkládaly vysoké investice do vývoje a pořízení CAD softwarů. [5; 6]

V 60. letech 20. století se mimo původní 2D modelování začalo soustředit také na 3D modelování. V první fázi bylo 3D modelování ve formě drátěného modelu, poté následované povrchovým modelováním a koncem tohoto desetiletí ve vyšší formě 3D modelování, objemovým modelováním, kdy v roce 1969 byla publikována první komerční verze s tímto typem modelování s názvem Syntha Vision. [7; 8]

Velký důraz od automobilového a leteckého průmyslu byl kladen na vývoj polynomických křivek a povrchů. Mezi důležité osobnosti této oblasti vývoje, působící především pod záštitou velkých amerických a evropských automobilek a leteckých společností, patří mimo jiné Pierre Bezier, Paul de Casteljaou, Steven Anson Coons a James Ferguson. Dalším významným jménem v této oblasti je Dr. Ken Versprille, který stojí za vytvořením konceptu dnes velmi rozšířených NURBS křivek a povrchů (obr. 3). Významným obdobím ve vývoji CAD softwarů je první implementace parametrického modelování do CAD softwarů, kdy v roce 1987 byl zveřejněn první software s tímto způsobem přístupu. Jednalo se o velký krok v historii CAD modelování, který následně ovlivnil velkou řadu CAD softwarů. [6; 8]



Obr. 3: NURBS křivka – podle [9].

Historie disponuje mnoha CAD softwary významnými z jejího hlediska. Prvním softwarem, který lze zde zařadit je Sketchpad, kreslicí software patřící mezi první s grafickým uživatelským prostředím. Byl vytvořen v roce 1962 Dr. Ivanem Sutherlandem v rámci jeho disertační práce. Fungoval na principu kreslení světelným perem na CRT displej, kdy namalovaný obraz byl elektrostaticky zachycen a zaznamenán na stínítku obrazovky. [10]

Další významné softwary jsou připisovány důležitému jménu v této historii, Dr. Paulovy J. Hanrattymu. První komerční číslicově ovládaný programovací systém, PRONTO z roku 1957, umožňující sestavit do jisté míry složitější objekty pomocí počítače a komerční software obsahující mnoho příkazů, kterými disponovaly tehdejší moderní CAD softwary, ADAM z roku 1971. ADAM byl virtuálně kompatibilní se všemi přístroji, a většina dnešních CAD programů může být zpátky spojena se základy tohoto programu. [5; 11]

Dodnes hojně využívaný CAD software CATIA, uveden firmou Dassault Systems do komerční sféry v roce 1981, byl modulárním systémem, který umožňoval propojit více oblastí s počítačovou podporou a pokrýt celý výrobní proces. Vhodnost nacházel obzvláště pro letecký a automobilový průmysl. [8; 12]

AUTOCAD byl 2D modelovací software vytvořen firmou AutoDesk v roce 1982, určen jako první software tohoto druhu pro využití osobními počítači. [13]

V roce 1987 Pro/Engineer, od firmy Parametric Technology jako první tohoto druhu odstartoval éru 3D modelovacích parametrických softwarů, které byli uživatelsky méně náročné. V roce 1995 následovali dva v dnešní době stále velice využívané softwary, a to SolidWorks 95 od firmy Dessault Systems a Solid Edge vytvořen firmou Siemens, který byl součástí jejich portfolia softwarů životního cyklu součásti neboli PLM (z anglického Product Lifecycle Management), a navazoval na úspěchy produktu SolidWorks. Dalším počinem firmy Autodesk z roku 1999 byl software podobného rázu s názvem Inventor. [8; 13]

1.1.2 Rozdělení CAD programů

CAD softwary, lze dělit podle mnoha kritérií. Rozdělení podle modelovacího rozhraní [2; 14]:

- 2D Modelování

2D modelování patří mezi nejzákladnější druhy modelování a je jistou obdobou ručního rýsování, kdy za pomoci jednoduchých příkazů jako jsou úsečky, oblouky, kružnice apod. vytváříme výkres sestaven z různých pohledů na součást jako je např. nárys, bokorys a je potřeba znalostí s promítáním součásti a vytvářením výkresů. Na tento typ modelování dále nelze navázat a využití nachází u tvorby výkresové dokumentace.

- 3D modelování

3D modelování je pokročilejším způsobem modelování a lze jej dále dělit na:

- drátěný model

Drátěný model se skládá z prostorových souřadnic, které jsou spojovány úsečkami nebo oblouky a tvoří 3D drátěný model. Tento model je výpočtově nejjednodušší, ale přenáší informace pouze o jednotlivých bodech a délkách hran, a postrádá tedy informace o plochách a objemu tělesa, které mohou být potřebné pro následnou analýzu nebo výrobu. Další nevýhodou tohoto modelování je vysoká nepřehlednost.

- povrchový model

Počátek povrchového modelování je obdobný drátovému modelování, kdy se posléze definují plochy výběrem omezujících bodů a hran. Takovéto modely již obsahují informace o povrchu tělesa, avšak stále postrádají informace o závislosti mezi jednotlivými plochami, nelze tedy stanovit objem. Využití nachází u komplexnějších objektů jako jsou auta, lodě a letadla.

- objemový model

Objemové modelování je obdobné skutečnému modelování pomocí hmoty. Výsledný model není důležitý jen z hlediska vizuálního, ale také z vlastností vytvořené hmoty v podobě modelu. Objemové modelování v současné době patří mezi nejvyužívanější metody modelování z důvodu přenosu největšího objemu užitečných dat o zkonstruované součásti. Umožňuje získat informace jako objem, hmotnost, poloha těžiště, momenty setrvačnosti a derivační momenty, které dále můžeme využívat pro následnou analýzu součásti nebo samotný výrobní proces.

Rozdělení podle typu modelování [15; 16]:

- přímé modelování

Přímé modelování je způsob modelování, který umožňuje volnost tvorby geometrie součásti. Jedná se o modelování s jistou nezávislostí na předešle vytvořených prvcích, a na samotném záměru návrhu. Nefigurují zde historie modelování, veškeré rozměry a polohy prvků se zadávají přesně a neexistují mezi nimi žádné vztahy.

- parametrické modelování

Parametrické modelování je v současné době více preferovaným způsobem modelování a nachází využití u geometrií s určitým záměrem, především u modelování většího sortimentu stejné součásti s odlišnými rozměry. Tento způsob využívá strom historie modelování, který slouží jako provázání součásti jako celku. Jednotlivé prvky jsou vzájemně propojeny vazbami a změna některého z rozměrů může vyvolat změny na celém modelu, který se celý aktualizuje.

- hybridní modelování

Hybridní modelování kombinuje a využívá výhod z obou předešlých způsobů modelování.

1.2 CAM programy

CAM softwary se nejčastěji přiřazují k tvorbě NC programů pro následné ovládání CNC a DNC strojů. Využívají data v podobě importovaných geometrických modelů, k sestavení jednotlivých pohybů automatizovaných strojů jako jsou např. frézky nebo soustruhy. Lze také využít modelů upínacích prvků nebo prvků stroje k zamezení možných kolizí. [17; 18]

Mezi hlavní úlohy CAM softwarů v rámci obrábění patří sestavení optimalizovaných drah nástroje nebo strojních prvků a potřebných přidružených operací jako je zapnutí otáček nástroje, procesní kapaliny apod. pro zvolené obráběcí strategie. CAM softwary dále slouží k simulaci obráběcího procesu, pro odhalení kolizí. Pro správnou funkčnost NC programů vytvořených v CAM softwarech je nutné mimo jiné uvést i souřadný systém stroje, orientaci os a nulový bod obrobku. Výhodami těchto softwarů jsou vysoká produktivita, přesnost, rychlost a využití nacházejí především v oblastech obsahujících součásti tvarově velmi složité jako jsou formy nebo zápustky, ale využívají se také ve velkém rozsahu strojírenské výroby. [3; 17; 19]

1.2.1 CAM historie

Z vývojového hlediska se jedná o velmi podobný časový průběh jako u CAD softwarů. Vývoj CAM softwarů byl ovlivněn a souvisel s vývojem CAD softwarů, ale především s vývojem NC a CNC strojů a jejich řídicích systémů. Počátek v rozvoji CAM technologie se datuje k průběhu 50. a 60. let 20. století a přiřazuje se prvním číslicově řízeným strojům. V samotném počátku stál John Parson, s výpomocí Franka Sulena, s návrhem na využití děrovaných pásek k zaznamenání instrukcí k automatizaci obráběcího procesu, který by umožnil vyřešit a vylepšit výrobu aerodynamických tvarů lopatek do helikoptér. Následně se John Parson spojil s laboratoří servomechanismů MIT university a US Air Force, která tento projekt dotovala, k výrobě prvního prototypu NC stroje. [17]

Stejně jako u CAD programů, se o tuto technologii a její vývoj začali zajímat velké společnosti, a to především z leteckého a automobilového průmyslu. Významnou osobností ve vývoji CAM softwarů je Pierre Bézier, který působil ve francouzské firmě Renault na vývoji softwaru UNISURF. Dalším významným jménem, figurujícím v CAM historii je Dr. Patrick Hanratty, s prvním komerčním číslicově ovládaným programovacím systémem PRONTO. [17; 10]

Výraznou etapou bylo zavedení počítače k vytváření děrovaných pásek a štítků, jednalo se o první výrazný milník pro počítačem řízené stroje (CNC). Čas pro vytvoření a následnou výrobu těchto pásek a štítků se vysoce snížil. Z počátku využívané děrované pásky a štítky pro ovládání strojů byli později nahrazeny počítači. Zavedení CNC a DNC systému do výroby znamenalo vysoké zvýšení flexibility a produktivity, především v malosériové a kusové výrobě. [3; 17]

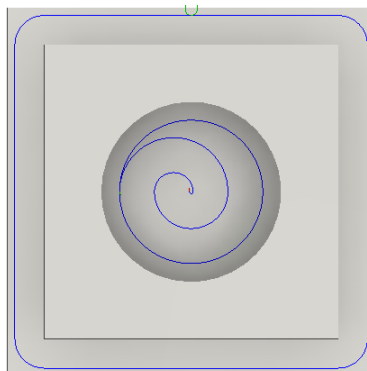
1.2.2 Strategie drah nástroje

S nástupem a vývojem CAM softwarů se začaly objevovat obráběcí strategie, které stabilizovaly, optimalizovaly a také urychlily frézovací proces. V současné době existuje mnoho frézovacích strategií a každá má své specifické místo využití. Při vytváření samotných frézovacích strategií zároveň zadáváme údaje jako volba nástroje, rezné podmínky, hloubky záběru apod. [20]

CAM softwary nejvíce uplatňují svůj plný potenciál v tvorbě velmi komplikovaných prostorových drah, umožňujících obrobit plochy, které by jinak obrobit nešlo. Avšak nabízí i velkou škálu speciálních a základních frézovacích strategií. [20]

Základními frézovacími strategiemi, řadí se do 2,5D frézovacích strategií, jsou operace jako zarovnání čela, konturování, frézování kapes, frézování drážky, gravírování nebo např. zkosení hran [21; 22]:

- Zarovnání čela patří většinou mezi první vykonané frézovací operace. Vhodné je využití pouze částečného radiálního záběru, např. 2/3 z průměru frézy, při asymetrické účasti frézy v řezu podle jejího středu.
- Konturování je operace sledující vybraný obrys s odsazením o korekci vybraného nástroje, která se určuje podle toho, jestli se jedná o vnější nebo vnitřní konturu (obr. 4).
- Frézování kapes slouží pro vyfrézování vnitřních prostorů, lze zvolit různé metody drah frézování jako spirálově nebo „cik-cak“ (obr. 4).



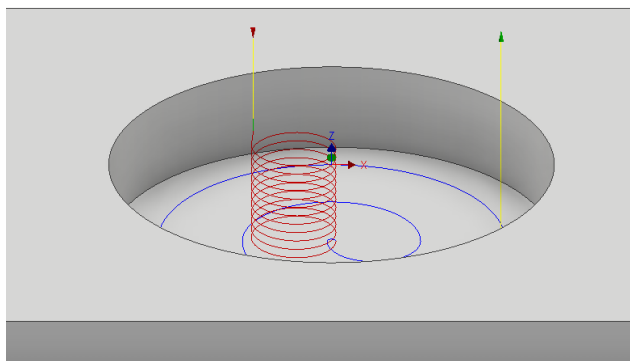
Obr. 4: Dráhy strategií kontura a kapsa. [Autodesk Inventor HSM 2019]

CAM systémy disponují velkým množstvím 3D obráběcích strategií, přičemž se každá využívá pro různé oblasti. Tyto strategie mají pro každý CAM software speciální název, ale většinou představují velmi podobnou strategii. Zde jsou použity informace a názvosloví z přídatného modulu pro Inventor 2019 a to Inventor HSM 2019 [20]:

- Konturové – strategie vhodná pro dokončení strmých ploch, většinou v rozmezí 30° až 90° . Strategie je založena na obrábění s konstantní hladinou Z.
- Rovnoběžné – strategie využívající drah s rovnoběžnou rovinou XY, sledující povrch v ose Z. Tato strategie je využívána pro dokončování především mělkých ploch.
- Rovnoměrné – jedná se o strategii s rovnoměrnými vzdálenostmi mezi jednotlivými drahami, vytvořenými odsazením od plochy.
- Kapsa – tato strategie je určena pro hrubování, kdy frézování probíhá po jednotlivých úrovních.
- Frézování bokem – strategie určena pro víceosé frézování, využívající bok frézy.

Frézování uzavřených kapes vyžaduje zanoření frézy do materiálu, pouhé zavrtání je velmi náročné pro řezný nástroj. Špatný odvod třísky a plné opásání nástroje způsobují, že se nástroj přetěžuje a hrozí riziko porušení celistvosti nástroje, posuvová rychlost se tedy musí vysoce omezit. Využívá se mnoho přístupů umožňující efektivnější zanoření nástroje do materiálu než pouhé zavrtání [23]:

- Zanoření po šroubovici, je jednou z možných efektivních drah zanoření nástroje do materiálu, využívající dráhu po šroubovici pro zanoření nástroje na určitou frézovací hloubku (obr. 5).
- Předvrtání pilotního otvoru je další možností, která využívá jiného nástroje, a to vrtáku pro předvrtání pilotního otvoru do kapsy. Fréza využije tento předvrtaný otvor pro zanoření, a zavrtávání je téměř eliminováno. Tato strategie je využitelná především u hlubších kapes.

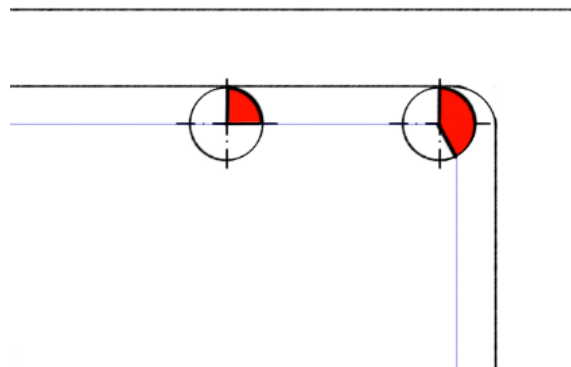


Obr. 5: Dráha zanoření nástroje po šroubovici. [Autodesk Inventor HSM 2019]

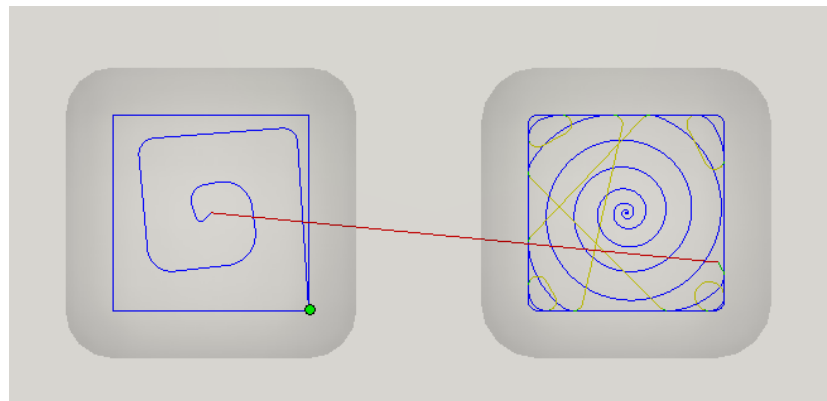
Vysokorychlostní frézování si vyžaduje odlišný přístup od běžného frézování, u těchto drah se vyžaduje zamezení prudké změny směru a pravoúhlé dráhy se nahrazují zaobleným přechodem. Další zaměření je na rovnoměrné zatížení nástroje. U běžných frézovacích strategií dochází k změnám úhlu opásání nástroje, které zvyšují zatížení nástroje a zamezují optimalizaci frézovacího procesu. V rozích může být opásání i dvakrát vyšší

(obr. 6). Využívají se zde hrubovací strategie především s nízkým radiálním a vysokým axiálním záběrem [22; 24]:

- Trochoidní pohyb je kombinace kruhové a lineární interpolace umožňující plynulý pohyb, snížení opásání nástroje a optimalizaci frézovacího procesu. Původ využití trochoidního pohybu je ve výrobě drážek menším průměrem frézy. Nevýhodou je, že z důvodu velkých smyček se zvyšuje dráha nástroje.
- Dynamické obrábění je vývojovým stupněm drah pro vysokorychlostní frézování. Tato strategie umožňuje hladké dráhy s ohledem na udržení konstantního opásání nástroje. Oproti trochoidnímu frézování snižuje délku dráhy nástroje (obr. 7).

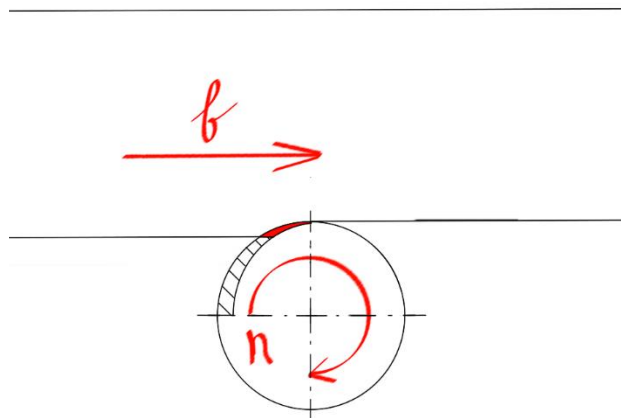


Obr.6: Úhel opásání nástroje – podle [25].



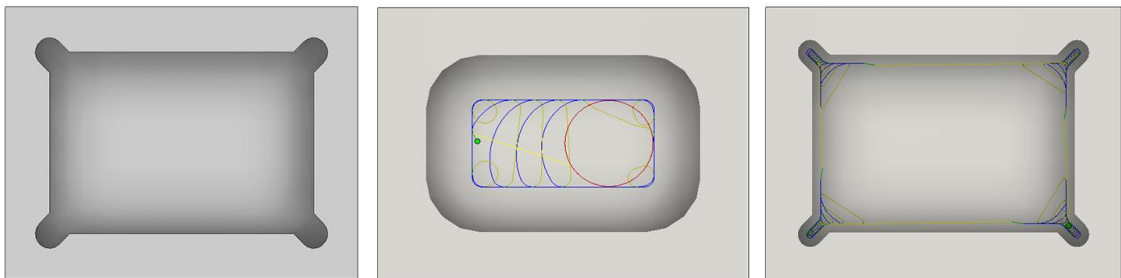
Obr. 7: Srovnání klasické a dynamické strategie – strategie frézování kapsy vlevo, dynamická strategie vpravo. [Autodesk Inventor HSM 2019]

Dochází-li k radiálnímu záběru, který je nižší než poloměr nástroje, vzniká redukce průřezu třísky a je třeba kompenzovat zvýšením posuvové rychlosti (obr. 8). Výrobci mnohdy udávají doporučené posuvové hodnoty pro více konkrétních případů radiálních záběrů frézy, které avšak nedokáží pokrýt celý rozsah. Mohou nastat problémy se zahříváním nástroje, způsobené menším odvodem tepla do třísky nebo s nevyužitím plné posuvové rychlosti frézy, a tedy snížením produktivity. [22; 26]



Obr. 8: Ztenčení průřezu třísky – n – otáčky nástroje, f – posuv obrobku – podle [27].

Při obrábění vnitřních prostorů s velmi odlišnými rozměrovými proporcemi lze využít obrábění zbytkového materiálu, kdy za použití více nástrojů umožňuje lepší optimalizace obráběcího procesu (obr.9). [28]



Obr. 9: Strategie zbytkové hrubování. [Autodesk Inventor HSM 2019]

Existuje mnoho dalších speciálních strategií, kdy každá má své specifické využití:

- Vyvrtávací hrubování je speciální strategie, určena k hrubování především hlubokých zápustek a forem, využívající drah a nástrojů obdobných jako u vrtání. [29]
- Vrtací strategie jsou další velkou skupinou strategií v repertoáru CAM softwarů. Obsahují strategie od hlubokého vrtání až po výrobu závitu.

1.2.3 Postprocesory

Závěrečnou částí všech CAM softwarů je post-processing, který tvoří jejich nepostradatelnou součást. Jedná se o vytvoření NC programu z vygenerovaných drah a přidružených příkazů pro určený řídicí systém použitého stroje. Mezi významné firmy v oblasti zabývající se vytvářením řídicích systémů strojů patří Heidenhain, Siemens, Fanuc, Haas. [20]

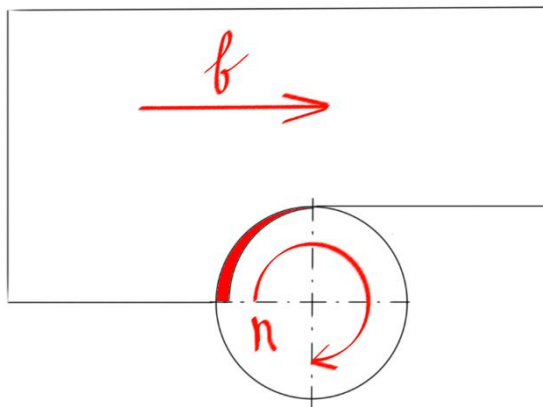
2 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je proces třískového obrábění s přerušovaným řezem, kdy jednotlivé břity mnohdy vícebřitého nástroje vcházejí a vycházejí ze záběru materiálu. Frézování se nejčastěji využívá pro výrobu rovinných nebo tvarových ploch. Hlavní řezný pohyb vykonává rotující se nástroj a vedlejší posuvný pohyb vykonává obrobek. Většina moderních frézek je z velké většiny doplněna o ovládací prvek těchto strojů v podobě počítače. S vynálezem a vývojem CNC strojů klasické tříosé frézky začaly doplňovat frézovací víceosá centra, kdy k pravoúhlým pohybům přibývají další rotační pohyby. [30; 31]

2.1 Sousedné a nesousedné frézování

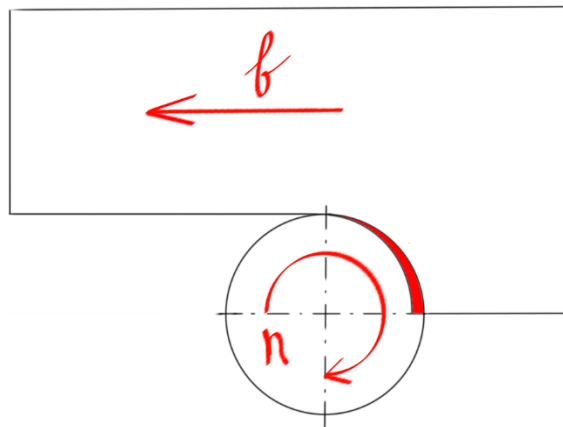
Z důvodu, že břity rotujícího nástroje vchází a vychází z řezu, tvoří se tříska proměnlivého průřezu. Vznikají dva způsoby frézování, a to sousledné a nesousledné, které s sebou nesou určité výhody a nevýhody.

U sousledného frézování je směr posuvu pracovního stolu shodný s otáčením nástroje v řezu. Řez začíná na největším průřezu třísky, který se postupně zmenšuje, nástroj se tedy neodírá o obráběný povrch (obr. 10). Při sousledném frézování vznikají silové rázy a nástroj je vtahován do obrobku, je potřeba brát v potaz tuhost celé soustavy stroj–nástroj–obrobek a co nejvyšší vymezení vůle v pohybových šroubech. Zpravidla kdykoliv to podmínky umožní preferuje se právě sousledný způsob frézování. Výjimkou jsou polotovary po odlévání, které vytvoří tvrdou povrchovou vrstvu nebo velmi tenké polotovary. Mezi výhody patří dosažení lepších povrchů, výkonů a nižšího opotřebení břitů. [22; 32; 33]



Obr. 10: Sousedné frézování – n – otáčky nástroje, f – posuv obrobku.

U nesousledného frézování je směr posuvu pracovního stolu opačný od směru otáčení nástroje v řezu. Řez začíná na nejmenším průřezu třísky, který se postupně zvětšuje (obr. 11). Na začátku řezu, kdy je tříska téměř nulového průřezu dochází ke tření nástroje o obrobek a materiál se místo řezání spíše pěchuje. Dochází k vyššímu zahřívání nástroje a mechanickému zpevnování materiálu, nástroj se obroušuje. Tyto jevy mají za důsledek vyšší opotřebení břitu, nižší kvalitu obrobku a nutnost použití nižších řezných rychlostí. Nesousledné frézování se využívá u obrobků s nižší kvalitou povrchu a značně proměnlivými obráběcími přírůstky nebo u velmi křehkých materiálových nástrojů jako je řezná keramika. Dále se využívá u starších strojů, kde není vymezena vůle v pohybových šroubech. [32; 33]



Obr. 11: Nesousledné frézování – n – otáčky nástroje, f – posuv obrobku.

2.2 Druhy upínání obrobku a nástroje

Existuje rozmanité množství upínání nástrojů a obrobků, každý způsob nachází své využití a disponuje svými výhodami a nevýhodami. Tyto upínače musí být voleny především s ohledem na funkci, ke které mají být využity.

2.2.1 Upínání nástrojů

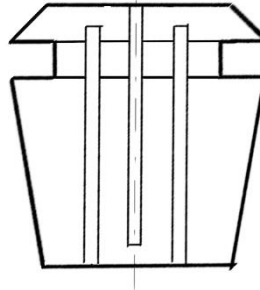
Upínání frézovacích nástrojů by mělo zajistit co nejvyšší tuhost a nejnižší radiální a axiální házení nástroje. Házení nástroje vzniká nepřesnostmi upínače, upnutí a naostření frézy. K vystředění a upnutí nástroje se mimo jiných způsobů využívá ISO metrických strmých kuželů, které vzájemným třením současně s unášecími kameny přenáší točivý moment z vřetene na nástroje. Nejčastější zajištění nástroje v axiálním směru se vykonává u manuálních frézek pojistným šroubem a u CNC frézek upínacím čepem zašroubovaným do upínače nebo těla nástroje. [30; 34]

Nejsnazším upnutím disponují frézy s kuželovou stopkou, které se přímo nebo pomocí redukčního pouzdra dají upnout do kuželové dutiny vřetene. Výhodou je, že se nemusí využívat žádné prvky mezi vřetenem a nástrojem a jsou vhodné především pro frézování, kdy je nástroj vystaven vysokým zátěžím. Jelikož je využita jen jedna fréza na upínač, vznikají zde vysoké pořizovací náklady a tento druh upínání není velice využíván. [22]

Nejvyšší využití nacházejí frézy s válcovou stopkou, které se nejprve musí ustavit do upínačů. Mezi nejjednodušší metodu upínání frézovacích nástrojů s válcovou stopkou patří upínání pomocí šroubu přitlačujícího na vyfrézovanou plošku na nástroji, označovaný jako Weldon. Výhodou je jednoduchost, nízká cena a velmi silné upnutí. Nevýhodami zapříčiněnými přitlačením nástroje na jednu stranu upínače jsou vyšší házení, nepravidelné opotřebení snižující životnost nástroje a náchylnost k vibracím, především ve vyšších otáčkách. Také pro každý průměr nástroje je potřeba jiného upínače. Upínání vhodné pro méně přesné frézování a hrubovací operace s nižšími reznými rychlostmi. [20; 35; 36]

Kleštiny jsou nejuniverzálnější a vysoce využívaný způsob upínání nástrojů. K upnutí nástroje se využívá kleštin, které mají zářezy umožňující stažení kleštin, kterým dojde k upnutí nástroje (obr. 12). Souměrnost upínání kleštinou snižuje vibrace ve vyšších otáčkách a zvyšuje životnost nástrojů, ale také umožňuje dosažení nižších hodnot házení než metoda Weldon. Další výhodou je, že se jedná o levnou upínací metodu. Nejvyšší výhodou

kleštin je univerzálnost, některé kleštiny jsou schopny přijmout stopky nástroje až v rozmezí jednoho milimetru a lze upnout více kleštin do jednoho druhu upínače. Upínání pomocí kleštin je vhodné pro všeobecné frézování. [20]



Obr. 12: Kleština.

Mezi moderní upínače lze řadit tepelné upínání umožňující velmi přesného upnutí nástroje. Upnutí nástroje se docílí tak, že za studena je mezi otvorem upínače a stopkou nástroje uložení s přesahem. Nahřátí upínače, zařízením využívajícím zpravidla indukční ohřívání, roztáhne otvor upínače a po vložení nástroje a vychladnutí se nástroj upne. Jedná se o nákladnou metodu a pro každý průměr stopky nástroje je potřeba odlišný upínač, avšak dosahují velmi nízkých hodnot házení, vysoké tuhosti a stability, jsou vhodné pro vysoké otáčky vřetene. Využití nacházejí u lehčího a velmi přesného frézování. [20; 36]

Další z těchto moderních upínacích metod je hydraulické upínání. Hydraulické upínače jsou opět velmi přesné upínací zařízení. Upnutí nástroje se docílí deformací vnitřního pouzdra působením stlačené kapaliny. Jedná se o dražší metodu, ale dosahuje velmi nízkého házení nástroje a velmi dobře tlumí vibrace. S využitím přesných vložek lze také změnit upínací průměr. Tato upínací metoda je vhodná pro vysokorychlostní frézování. [35]

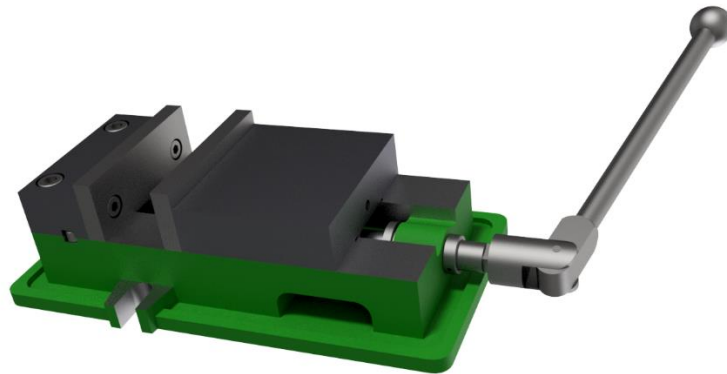
Pro upínání nástrojů za díru, jako jsou čelní nebo kotoučové frézy, se využívá trnů. Pevné trny využívají upnutí šroubem a přenos kroutícího momentu z trnu na frézu zajišťuje pero nebo unášecí kameny, jedná se o méně přesné upnutí, kde může docházet ke špatnému vystředění frézy způsobující nerovnoměrné opotřebení nástroje nebo VBD. Přesnější metodou jsou rozpínatelné trny, které mohou být mechanické nebo hydraulické. [30; 35]

Mezi další využívané metody upínání frézovacích nástrojů lze řadit frézovací sklíčidla, která jsou vhodná pro hrubovací operace, umožňující vysokých úběrů materiálu nebo upnutí změnou tvaru vnitřní dutiny, využívané pro vysokorychlostní obrábění. Obě metody dosahují velmi nízkých hodnot házení. [35; 37]

2.2.2 Upínání obrobků

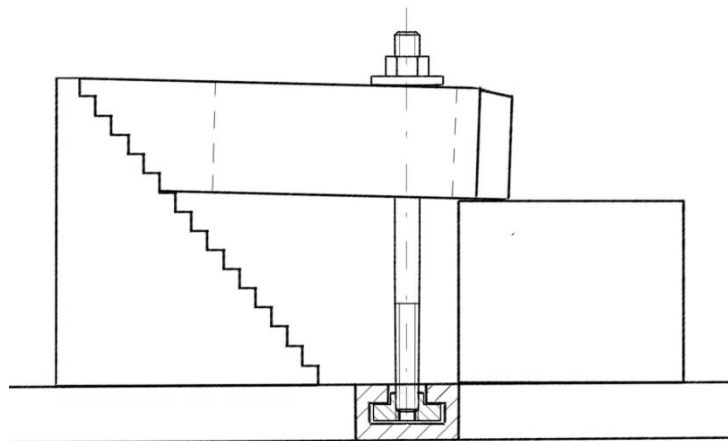
Přesné a tuhé ustavení obrobku je velmi důležitou částí frézovacího procesu. Mezi nejběžnější upínače obrobků patří strojní svěrák, velmi přesné zařízení umožňující tuhé upnutí obrobku mezi pevnou a pohyblivou čelist (obr. 13). Díky své univerzálnosti lze strojní svěráky použít pro výrobu velkého množství strojních součástí menších rozměrů v různých velikostech zakázek. Existují velké množství variant strojních svěráků ať už se jedná o způsob upínání jako mechanické, hydraulické, pneumatické nebo o konstrukci jako strojní, otočné, sklopné, prizmatické. Pro tvarově složitější součásti nebo rychlé a přesné ustavení

obrobku lze využít měkkých čelistí, které obsahují částečný negativní tvar vyfrézovaný do čelistí nejčastěji z hliníkových slitin nebo konstrukčních nelegovaných ocelí. [38, 39]



Obr. 13: Strojní svěrák. [Autodesk Inventor 2019]

Především rozměrné, ale i tvarově složité součásti někdy omezují využití strojních svěráků. Zde nacházejí využití upínky, ustavující obrobek na pracovním stole. Existuje velká škála upínek, nejrozšířenějším typem jsou upínky působící upínací silou na obrobek ve směru pracovního stolu (obr. 14). K upnutí využívají opěrek, kdy mezi nejvyužívanější patří stavebnicové, které disponují malými vybráními. Omezením těchto upínek je, že mnohdy nelze obrábět po celém obvodu a čelní ploše součásti v jednom upnutí. Metoda je vhodná pro výrobu nižších sérií. Dalším typem upínek jsou upínací čelist, které upínají obrobek obdobně jako je to u svěráku, pro upnutí využívají například šroubu s excentrickou hlavou nebo klínového mechanismu. Výhodou je možnost obrábět celou čelní plochu nebo jejich malé rozměry. Nedosahují upínacích sil jako svěrák. [40; 41]



Obr. 14: Upínka.

U výrob s vyšší sériovostí je snaha co nejvíce snížit časy na ustavení obrobku a využít je pro obrábění součásti. Systém upínání pomocí technologických palet umožňuje snížení času na upínání, skládá se z palet, které se v pracovním prostoru střídají. Na jednu paletu se mimo pracovní prostor frézky upínají obrobky pomocí svěráků a různých jiných upínacích zařízení, zatímco na druhé paletě probíhá obrábění součástí. V případech, kdy je potřeba přesně a efektivně vyrobit velké množství stejných součástí lze využít speciální přípravků

navržených pro konkrétní tvar součásti a charakteru frézovacích operací. Přípravky zjednodušují a urychlují výrobní proces. Speciální přípravky lze v určitých případech využít i pro kusovou výrobu. [20; 42]

Mezi další upínací metody lze řadit vakuové upínání, kdy se pod součástí vytvoří podtlak (částečné vakuum), tlak atmosféry tlačí na obrobek a tím jej upíná. Nevýhodou je v některých případech nedostačující upínací síla. Touto metodou lze rychle upnout složité tvary nebo tenké materiály, ale i běžné součásti a obrábět všechny jejich plochy. Dalším způsobem upínání velmi tenkých materiálů nebo materiálů tvarově složitých, na které při obrábění nepůsobí příliš velké síly, je upnutí pomocí lepidel nebo oboustranných lepících pásek, využívaných např. při výrobě plošných spojů. V některých případech u součástí, na kterých se nachází otvory, lze tyto otvory využít pro upnutí obrobku pomocí trnů a omezit nutný počet upínání, nebo se vyhnout možným kolizím nástroje s upínačem. Pro upnutí obrobků kruhového průřezu je možno využít kleštin nebo sklíčidel upnutých na pracovní stůl např. pomocí upínek. Dále lze využít s kombinací základních upínacích metod upnutí samotným obráběným materiálem, kdy se vytvoří materiálové upínky, které se po obrobení odstraní. Tuto variantu lze najít jako součást nabídky CAM softwarů a je vhodná pro tvarově složité součásti. [40; 41]

2.3 Nástrojové materiály

Obráběcí proces je nutno přizpůsobit mnoha veličinám a řezný materiál se řadí mezi ty nejdůležitější. Nejvyužívanějšími materiály řezných nástrojů jsou slinuté karbidy. Vyrábí se práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů jako wolfram, titan nebo tantal a pojiva kobaltu. Slinuté karbidy předčí rychlořezné oceli v mnohých ohledech jako je tvrdost, trvanlivost a možnost vyšších pracovních teplot umožňující vyšších řezných rychlostí, obvykle několikanásobně vyšších, čímž jsou vhodné pro výrobní prostředí. V některých případech je možné předejít využití procesní kapaliny. Nevýhodami jsou vyšší pořizovací cena a křehkost, kterou lze snižovat na úkor tvrdosti přidáním vyššího množství kobaltu. Jejich křehkost neumožňuje naostření jako u rychlořezných ocelí. Slinuté karbidy se často vyskytují ve formě vyměnitelných břitových destiček (VBD) a povlakuji se vrstvami nitridů a karbidů pro další vylepšení jejich vlastností. [22; 43; 44]

Rychlořezné oceli stále nacházejí využití, i přesto že jsou mnohdy nahrazovány slinutými karbidy. Rychlořezné oceli obsahují mezi 0,7 až 1 % uhlíku a legující prvky jako wolfram, molybden, kobalt, chrom, vanad. Vynikají především svou houževnatostí a nízkými pořizovacími náklady. Využití stále nacházejí v méně množstevních výrobcích, u klasických frézek, výrobě speciálních tvarových fréz, závitníků, vrtáků nebo v aplikacích, kde se vyžaduje vyšší houževnatost řezného nástroje. Rychlořezné oceli vyráběné práškovou metalurgií dosahují lepších vlastností a jsou kompromisem mezi klasickými rychlořeznými oceli a slinutými karbidy. [43; 45; 46]

Dalšími, méně využívanými, řeznými materiály jsou cermety, řezná keramika, kubický nitrid boru nebo technický diamant. Cermety využívají podobnou metodu výroby jako slinuté karbidy, ale z velké části odlišné materiály pojiva a tvrdých částic. Dosahují vyšší tvrdosti, trvanlivosti a dosahují vyšších řezných rychlostí, avšak jsou křehčí. Řezná keramika je chemicky stálý, relativně levný řezný materiál vyráběný práškovou metalurgií. Dosahuje vysoké tvrdosti, odolnosti proti opotřebení a teplotní stálosti až do 1200 °C. Řezná keramika je velmi křehká a špatně snáší rázy. KNB a TD jsou nejdražšími řeznými materiály s velmi vysokou tvrdostí, možností pracovat za vysokých teplot a křehkostí. Využití nachází

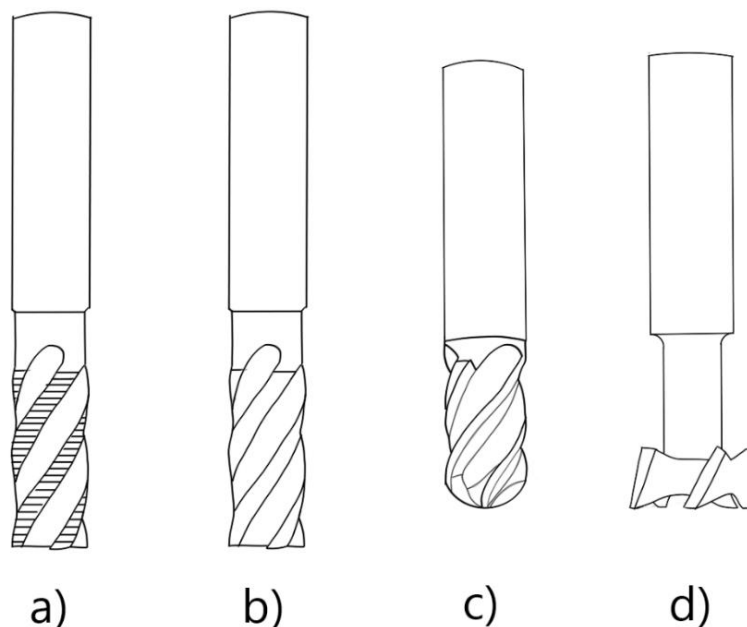
pouze v speciálních případech, KNB pro obrábění zakalených ocelí a TD u kompozitů a neželezných kovů. [43; 44]

2.4 Frézovací nástroje

Frézovací nástroje lze dělit do mnoha skupin. Nejzákladnějším rozdělením je podle metody upínání na nástrčné a stopkové.

Nástrčné frézy se upínají trnem za díru a mají zpravidla větší průměry. Mezi nejvyužívanější nástroje této skupiny patří čelní frézy sloužící k frézování velkých rovinných ploch, ve spoustě případů využívané jako první nástroj a válcové čelní frézy vhodné jak pro čelní frézování, tak i profilování. Obě tyto frézy umožňují vysoký úběr materiálů. Dále se mezi nástrčné frézy řadí kotoučové frézy využívané pro frézování zářezů a drážek nebo různé tvarové frézy jako úhlové, rádiusové vyduté a rádiusové vypouklé. Nástrčné frézy jsou mnohdy vyráběné ve variantě s VBD, a to především čelní frézy. [19; 47]

Stopkové frézy, nejčastěji s válcovou stopkou, jsou nejrozšířenějším druhem fréz nižších průměrů. Lze je rozdělit podle tvaru řezné části. Nejuniverzálnějšími jsou s válcovou řeznou částí, využívané pro vytváření prvků jako jsou kapsy, kontury a drážky. Speciálním druhem válcové frézy je hrubovací válcová fréza s přerušovaným ostřím, která je navržena pro vyšší úběr materiálu, ale zanechává horší povrch. Válcová fréza se zaboleným rohem, zvaná toroidní, zvyšující životnost nástroje a zanechává lepší povrch a zaoblené rohy. Dalším hojně využívaným druhem jsou kulové frézy, nejčastěji využívané pro 3D obrábění. Mimo tyto frézy existuje velké množství speciálních a tvarových fréz jako kuželové, závitové frézy, frézy na rybinové nebo T-drážky, frézy na ozubení apod. (obr. 15). [20; 48]



Obr. 15: Frézovací nástroje – a) válcová čelní fréza hrubovací, b) válcová čelní fréza, c) kulová fréza, d) fréza na T-drážky – podle [49; 50; 51].

U frézovacích nástrojů je taky důležité přihlížet k počtu břitů nástroje, vyšším počtem břitů lze zvýšit pracovní posuv, ale současně se snižuje prostor pro odvod třísky. Je tedy potřeba brát v potaz obráběný materiál, druh a způsob frézování. Jedná-li se o hrubovací

operaci hliníkové slitiny v uzavřeném prostoru, je vhodné zvážit nižší počet břitů, ale také břity vedoucí až ke středu nástroje, z důvodu zavrtávání. [47; 48]

2.5 CNC frézování

V současné době se kladou vysoké nároky na výrobu, a mnohdy je nejde uspokojit pouhými konvenčními způsoby obrábění. Mezi tyto nároky patří opakovatelnost a přesnost výroby, zvýšení produktivity práce apod. Proto se čím dál více zavádí počítačem ovládané číslicově řízené stroje (CNC). Tyto stroje vykonávají automatický pracovní cyklus, podle předem určených příkazů. Tyto příkazy jsou definovány programem, který je následně převádí na impulsy elektrického proudu, ovládající servomotorové pohony a další přídatná zařízení stroje. Tyto programy lze vytvořit ručně mimo nebo přímo na stroji, a to programovacím softwarem, který je k tomu přímo určený nebo v obyčejném textovém editoru. Další, v současné době populární, metodou je využití CAM softwaru. [2; 52; 53; 54]

S přibývajícím zájmem o tuto technologii v počátcích číslicového řízení strojů byl k ovládní těchto strojů vytvořen univerzální programovací jazyk, který se postupně vyvíjel v dnes známý ISO-kód. ISO-kód, známý jako „G-kód“, je programovací jazyk využívaný k ovládní CNC stroje, skládá se z čísel a písmen. Písmena se dělí do dvou hlavních základních skupin, přípravné funkce značené písmenem G a pomocné funkce značené písmenem M. V ISO-kódu se dále vyskytují další písmena, označující jednotlivé osy, posuvovou rychlost, otáčky vřetene apod. Některé společnosti vytvářející řídicí systémy od ISO-kódu odstoupili, příkladem je Heidenhain. [17; 52]

Před samotným spuštěním programu je mimo jiné nutné stanovení nulového bodu obrobku a nástrojových korekcí. K tomu slouží různá možná zařízení jako jsou např. sondy. [20]

2.6 Vysokorychlostní frézování

Vysokorychlostní frézování je metoda sloužící pro vysoký úběr materiálu, existuje více podob vysokorychlostního frézování. HSC (z anglického *High speed cutting*), využívá vysokých otáček vřetene, malého radiálního a vysokého axiálního záběru a je vhodné pro výrobu tvarově složitých forem a zápustek. HFC (z anglického *High feed cutting*) využívá vysoké posuvové rychlosti se současným vysokým radiálním a nízkým axiálním záběrem, a je zapotřebí speciálního nástroje. [55; 56]

Vysokorychlostním obráběním se zabýval již na konci 20. let 20. století Carl J. Salomon. Vynalezl, že po překročení určité rezné rychlosti, a s jejím následným zvyšováním, teplota obráběcího procesu začne klesat. [57]

HSC frézování využívá vysokých rezných rychlostí (v rozmezí 200–8000 m·min⁻¹ lišících se použitým rezným materiálem a materiálem obrobku) se současným snížením průřezu třísky a rezných sil. Zvyšuje úběr materiálu, jeho kvalitu, životnost využívaných nástrojů a snižuje jejich tepelné namáhání. Dalším přínosem je omezení využívání procesních kapalin. Nevýhodou vysokorychlostního frézování jsou zvýšené nároky na stroj, celkovou bezpečnost obráběcího procesu a nutnost využití speciálních optimalizovaných drah nástrojů. [55; 57]

3 NÁVRH PROTOTYPU

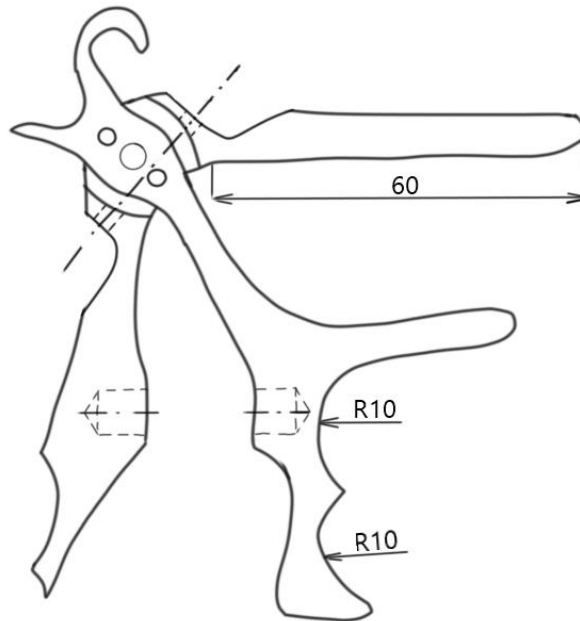
Návrh a výroba prototypu je důležitou a mnohdy nezbytnou součástí výrobního procesu. Prototyp nabývá různých významů a funkcí, mezi které se řadí zhodnocení výrobku z estetického a ergonomického hlediska, testování rozměrů a funkčnosti výrobku, ale také slouží jako nástroj k marketingu. Existují různé druhy prototypů jako konstrukční, funkční, technické nebo prototypy designu. Důležitou úlohou při výrobě prototypu je se co nejrychleji dostat od počáteční myšlenky produktu až po jeho vytvoření, z důvodu rychlejšího zahájení samotné výroby. [58]

Celému procesu vytvoření nového výrobku předchází určité kroky. Tato bakalářská práce se zabývá výrobou prototypu součásti s názvem kapodastr, která je možným dodatečným příslušenstvím pro strunné nástroje jako akustická, elektrická kytara, ukulele. Využívá se pro zvýšení jejich celkového tónu nástroje. Kapodastr působí tlakem na krk strunného nástroje, kdy dochází k stlačení strun o tento krk.

3.1 Myšlenka a náčrt

Na samotném začátku celého procesu vytvoření nového výrobku je úvodní myšlenka. Může se jednat o konkurence schopný produkt již existujícího výrobku, inovační produkt nebo pouze o výrobek pro vlastní využití. Pro její zachycení a sjednocení je tato myšlenka převedena do náčrtu v papírové nebo digitální podobě. Tento náčrt slouží jako úvodní zachycení konceptu a jeho přibližných tvarů s uvažovanými prvky, přičemž může obsahovat klíčové rozměry, kterých by mělo být dosaženo. Dále se zde může nacházet více variant návrhů a jejich možné změny.

Myšlenkou v této práci je multifunkční kapodastr, mezi jehož prvky patří přídavný oboustranný tlak (přítlačující, odlehčující) dosažený přídavným šroubem, pro korekci tlaku vyvozeného pružinou a zakroucená horní část sloužící pro možné uchycení popruhů. Obě přítlačné čelisti budou disponovat gumovým povrchem různé tvrdosti, jednak pro ochranu povrchu těchto nástrojů, ale také pro správné stlačení strun. Design je uzpůsoben pro výrobu základními obráběcími metodami a obsahuje designové prvky jako vybrání odpovídající pro uchycení prsty. Tato myšlenka byla převedena v ruční náčrt, a následně překreslena pro větší přehlednost do kreslicího programu Autodesk SketchBook (obr. 16).



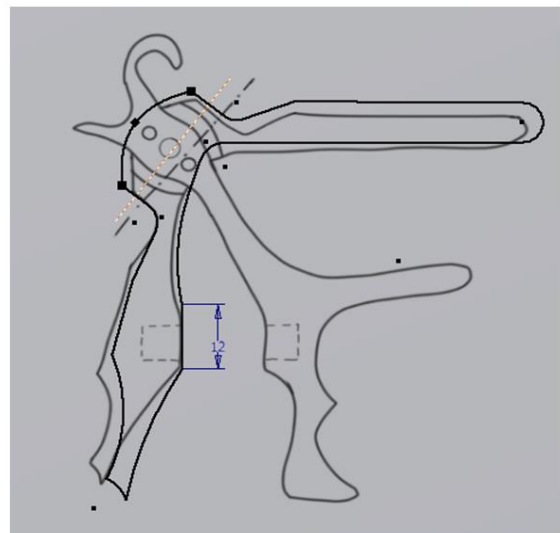
Obr. 16: Náčrt kapodastru.

3.2 Konstrukce v CAD softwaru

Náčrt byl převeden do CAD programu, kde sloužil jako hrubá šablona pro výsledný tvar součásti. Následně byla provedena optimalizace tvarů součástí s ohledem na funkčnost, vzhled a výrobu. Jelikož se kontura tvaru vyrábí pomocí metody frézování, tak se na součástech nevyskytují ostré vnitřní rohy a nejmenší vnitřní poloměry jsou přizpůsobeny s ohledem na nejmenší využitý nástroj.

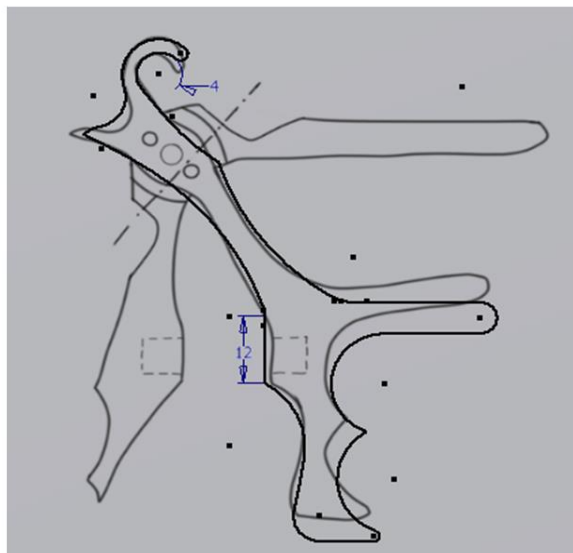
Pomocí nástrojů poskytnutých programem Autodesk Inventor 2019 jako je náčrt, vysunutí, díra, zkosení, byli vytvořeny 3D modely všech vyráběných součástí a sestava kapodastru (obr. 17, 18, 19, 20):

- pevná čelist



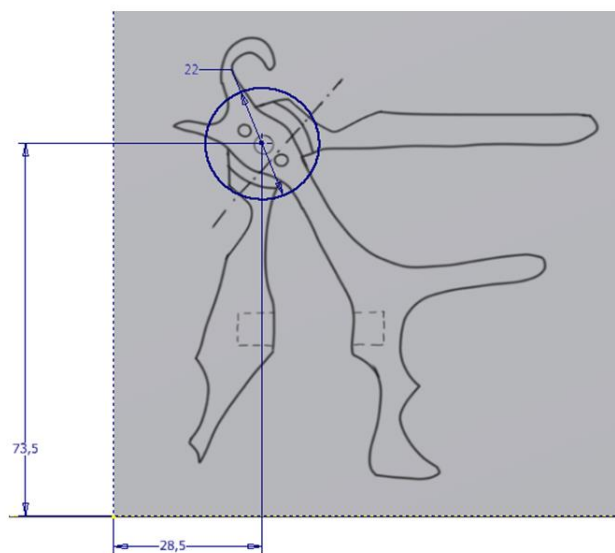
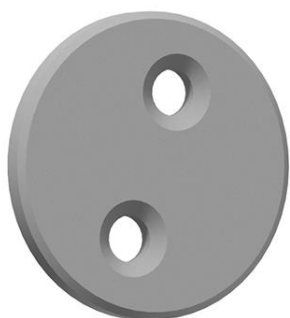
Obr. 17: Pevná čelist kapodastru. [Autodesk Inventor 2019]

- pohyblivá čelist



Obr. 18: Pohyblivá čelist kapodastru. [Autodesk Inventor 2019]

- krytka



Obr. 19: Krytka kapodastru. [Autodesk Inventor 2019]

- sestava kapodastru



Obr. 20: Sestava kapodastru. [Autodesk Inventor 2019]

4 VÝROBA PROTOTYPU OBRÁBĚCÍMI TECHNOLOGIEMI

Technologie a přístup k výrobě prototypu jsou velice odlišné od sériové a mnohdy i od kusové výroby. Jedná se o urychlení a mnohdy i zlevnění výroby požadovaného produktu, ale jen z krátkodobého hlediska. V této oblasti je velice využíváný 3D tisk, mnohdy označovaný jako rapid prototyping.

Tato bakalářská práce je zaměřena na výrobu prototypu pomocí integrovaných CAD/CAM softwarů a technologie CNC frézování, které jsou vhodné díky své rychlosti a flexibilitě.

4.1 Volba materiálu

Materiál kapodastru byl volen s ohledem na potřebné vlastnosti od daných materiálů. Mezi tyto vlastnosti patří hmotnost, korozivzdornost, mechanické vlastnosti zejména odolnost proti poškrábání, vhodnost pro zvolenou výrobu a cena za materiál. Za vhodné materiály byly uvažovány slitiny hliníku, konstrukční oceli a korozivzdorné oceli. Další přijatelné materiály jako polymery a dřevo jsou vyloučeny ještě před samotným zhodnocením. Vlastnosti jednotlivých uvažovaných materiálů [22; 59; 60]:

- slitiny hliníku

Slitiny hliníku jsou významným inženýrským materiálem kvůli svým výhodným vlastnostem. Mezi nejvýraznější výhody slitin hliníku patří nízká hmotnost, která je skoro tři krát nižší než u ocelí, sloučená s relativně dobrými mechanickými vlastnostmi, jako je houževnatost a pevnost v tahu. Díky vytvořené tenké oxidové vrstvě na povrchu vyniká i jeho korozivzdornost. Hliníkové slitiny jsou také vhodné nízkou pořizovací cenou. Jedná se o velmi dobře obrobitelný materiál, s velmi malým opotřebením rezného nástroje s výjimkou slitin s velkým obsahem křemíku. U měkčích hliníkových slitin má tříská tendenci se zasekávat mezi břity nástroje, proto je vhodné využití nástroje s méně břity a procesní kapaliny, k odvodu této třísky.

- konstrukční oceli

Konstrukční oceli vynikají svými mechanickými vlastnostmi jako je pevnost v tahu, ale také nízkou cenou a z tohoto důvodu patří mezi nejvyužívanější konstrukční materiály. Největší nevýhodou ocelí je jejich vysoká hmotnost a nízká korozní odolnost. Nízká korozní odolnost by nemusela působit problémem z krátkodobého hlediska, ale především z toho dlouhodobého, kdy by součástka mohla být vystavena nepříznivým podmínkám. Z tohoto důvodu by byla nutná povrchová úprava součástky pro zlepšení korozní odolnosti součásti, která zvyšuje celkové náklady. Obrobitelnost u konstrukčních ocelí je také přijatelná, velmi se liší a závisí na množství jednotlivých prvků jako je uhlík, kdy oceli s menším obsahem uhlíku jsou měkčí. Oceli jsou výhodné obrábět za současného chodu procesní kapaliny.

- korozivzdorná ocel

Korozivzdorná ocel obsahuje velké množství chromu a niklu a jak již název napovídá vynikají svou odolností proti korozi. Dosahují také dobrých mechanických vlastností, závislých na druhu korozivzdorné oceli. Mezi velké nevýhody těchto ocelí patří jejich vysoká cena a hmotnost. Obrobitelnost těchto ocelí je obtížná, je zapotřebí procesní kapaliny a ostrého břitu rezného nástroje. Problém je náchylnost k vytvoření zpevněného povrchu vlivem obrábění.

Po zvážení a přihlédnutí k jednotlivým materiálovým vlastnostem a dostupnosti byla pro výrobu prototypu zvolena slitina hliníku EN AW 6063.

Tabulka 1: Vlastnosti materiálu EN AW 6063 – podle [61].

| odolnost proti korozi | obrobitelnost | minimální pevnost v tahu $R_{m\ min}$ [MPa] | smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa] | tažnost A [%] |
|-----------------------|---------------|---|------------------------------------|---------------|
| velmi dobrá | dostatečná | 230 | 195 | 8 |

4.2 Volba polotovaru

S ohledem na nejvyšší možné výsledné rozměry obráběných součástí a přihlédnutí k přídatku na obrábění byl zvolen úřezek z tyče obdélníkového průřezu o rozměrech 120 x 80 x 15 mm.

4.3 Technologičnost

Jedná se o výrobu prototypu kapodastru, tedy jednoho kusu. Materiál byl zvolen jako hliníková slitina EN AW 6063. Sestava se skládá z pevné a pohyblivé čelisti a krytky. Tvar krytky naznačuje výrobu pomocí soustružení a vrtání, tvar čelisti zase frézování a vrtání. Na krytce se nachází dvě díry o průměru 3,5 mm s kuželovým zahloubením pro zapuštění šroubů. Čelisti jsou nepravidelného tvaru, skládají se z tvarové kontury a dvou otevřených kapes. Na součásti se nachází díry o průměrech 2,5; 4; 8 mm, v dírách o průměru 2,5 mm jsou vyřezány závity M3. Díry o průměru 4 mm jsou určeny pro otočný čep a díry o průměru 8 mm pro pružinu. Všechny rozměry součástí jsou volnými rozměry. Nárok je kladen na povrch součástí z estetických důvodů.

4.4 Výběr strojů

Stroje byly voleny s ohledem na školní pracoviště s již zakoupenými stroji (tab.2).

Tabulka 2: Seznam použitých strojů.

| název stroje | typ stroje |
|--------------|----------------------------|
| FV 25 CNC A | NC konzolová frézka |
| VS 20 A | sloupová vrtačka |
| BSN 250 | stojanová kotoučová bruska |
| SV 18 RO | hrotový soustruh |

Detailní popis použitých strojů je uveden v přílohách č.7, č.8, č.9 a č.10.

4.5 Výběr nástrojů

Volba nástrojů byla provedena vzhledem k školnímu pracovišti s již zakoupenými nástroji (tab.3).

Tabulka 3: Seznam použitých nástrojů.

| nástroj | materiál nástroje |
|-------------------|-------------------|
| čelní fréza Ø50 | slitý karbid |
| stopková fréza Ø8 | slitý karbid |

| nástroj | materiál nástroje |
|--------------------------|-------------------|
| stopková fréza Ø6 | slinutý karbid |
| středící vrták A3 | rychlořezná ocel |
| šroubovitý vrták Ø8 | rychlořezná ocel |
| šroubovitý vrták Ø4 | rychlořezná ocel |
| šroubovitý vrták Ø2,5 | rychlořezná ocel |
| ruční závitník M3 | rychlořezná ocel |
| kuželový záhlubník | rychlořezná ocel |
| vnější soustružnický nůž | slinutý karbid |
| zapichovací nůž | slinutý karbid |

Detailní popis použitých nástrojů je uveden v příloze č.11.

4.6 Technologický postup

Jelikož se jedná o prototyp, tak lze technologický postup do jisté míry přirovnat výrobě kusové, ale velmi se liší od výrob vyšších sérií.

Technologický postup výroby prototypu kapodastru

Jako výrobní metoda prototypu byla zvolena technologie frézování za pomoci integrovaných CAD a CAM softwarů. Tyto technologie byly zvoleny z důvodu dobré výrobní flexibility, za relativně nízkých výrobních nákladů. Jako přidružené technologie byly zvoleny vrtání, soustružení a broušení. Mezi další zvažované metody patřil 3D tisk.

Technologický postup u výroby prototypu nedosahuje takové důležitosti jako u výroby vyšších sérií. Byli uvažovány dva technologické přístupy pro vyrobení prototypu obráběcími technologiemi:

- První varianta využívá strojního svěráku a materiálových upínek v podobě malých ostrůvků, které udržují soudružnost materiálu.
- Druhá varianta využívá upínek a rozdělení obráběcího programu na dvě části s přehozením upínek po první části tohoto programu.

Z těchto dvou možností byla zvolena první varianta. Sestava se skládá ze tří vyráběných součástí a čtyř zakoupených normalizovaných součástí. Technologický postup byl vypracován pouze pro čelisti, jelikož technologický postup výroby krytky je triviální.

Technologické postupy se nachází v příloze č.1 a č.2.

Technologický postup výroby kapodastru ve vyšších sériích

Přístup pro výrobu vyšších sérií je velice odlišný. Z důvodu vysoké tvarové složitosti a zvolenému materiálu se jako nejvhodnější technologie pro výrobu vyšších sérií navržené součásti kapodastru jeví technologie odlévání s navázáním obráběcími technologiemi. Mezi další možnosti se řadí výroba za pomoci pouze obráběcích technologií s využitím speciálních přípravků nebo i měkkých čelistí.

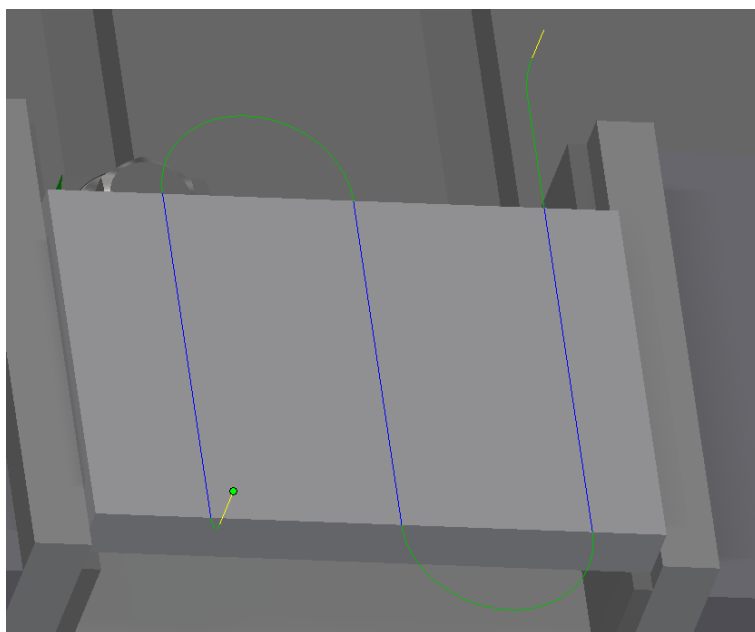
4.7 Volba řezných podmínek

Pomocí katalogu řezných nástrojů byli pro obráběný materiál zvoleny řezné nástroje a pro ně náležitě doporučené řezné podmínky. Tyto řezné podmínky byli dále korigovány

s ohledem na použité strojní zařízení, jeho stav a maximální možné hodnoty posuvů a otáček. Řezné podmínky jsou zapsány v tabulce nástrojů uvedené v příloze č.11.

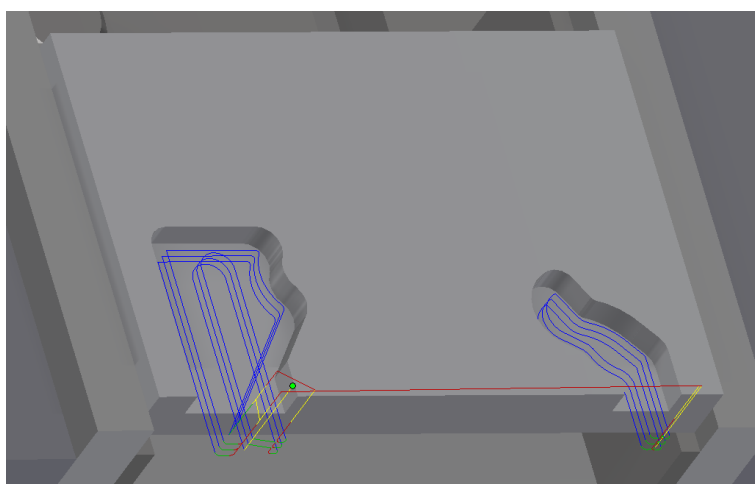
4.8 Vytvoření obráběcích drah pomocí CAM softwaru

Jako první operace bylo zvoleno zarovnání čela z důvodu odfrézování nerovného a nekvalitního povrchu čela a vytvoření přesné plochy vůči následným operacím (obr. 21).



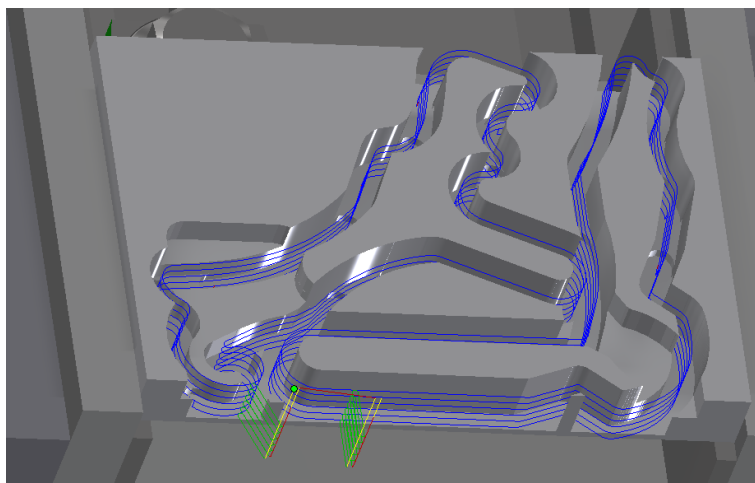
Obr. 21: Dráha – srážení čela. [Autodesk Inventor HSM 2019]

Následující operací bylo frézování dvou otevřených kapes, po zvážení byla zvolena vlastní tvorba těchto drah a pomocí frézovací strategie kontura vyfrézovány. Nástroj vchází do řezu z boku obrobku a do materiálu se nezanořuje (obr. 22).



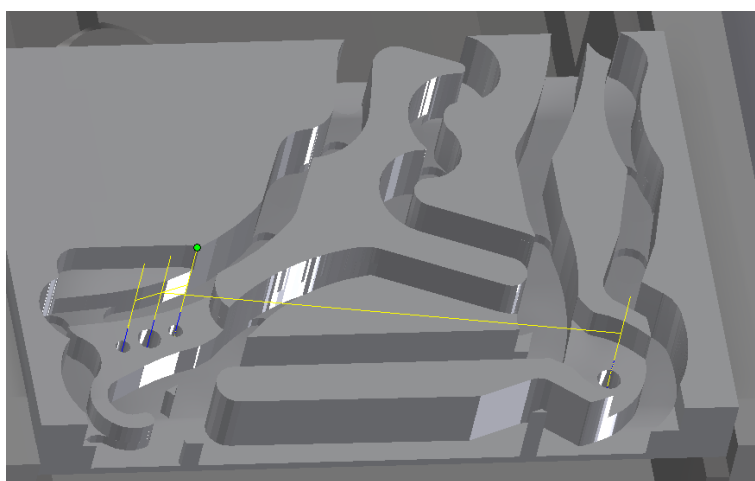
Obr. 22: Dráha – frézování otevřených kapes. [Autodesk Inventor HSM 2019]

Obrysy součástí jsou vyfrézovány strategií kontura, kdy nástroj vchází do řezu z boku obrobku a do materiálu se nezanořuje. Bylo využito nabízené možnosti přidání materiálových upínek k udržení soudržnosti obrobku. Nebyl použit dokončovací záběr z důvodu následného opracování povrchu (obr. 23).



Obr. 23: Dráha – kontura. [Autodesk Inventor HSM 2019]

Závěrečná strategie využitá pro první upnutí je předvrtání a vrtání, provedené dvěma odlišnými vrtáky (obr. 24).



Obr. 24: Dráha – vrtání. [Autodesk Inventor HSM 2019]

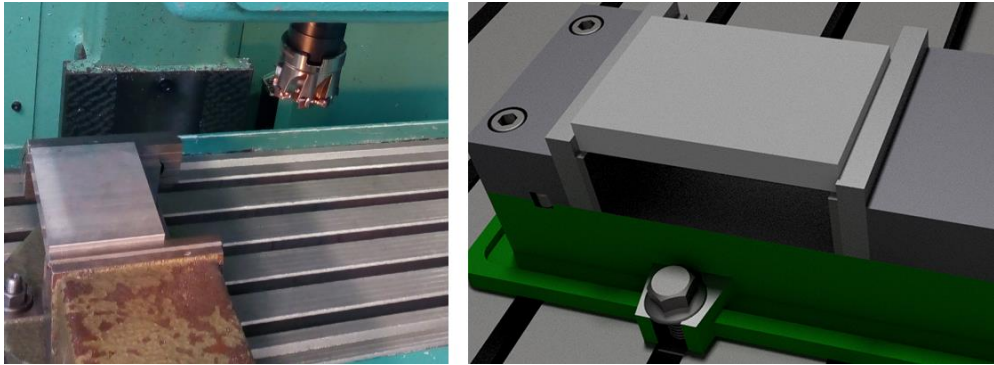
Z důvodu použití stroje bez zásobníku pro nástroje, byl program generovaný CAM softwarem, pro usnadnění práce, využit pouze pro otevřené kapsy, kontury obrysů a pozice děr.

4.9 Postprocessing

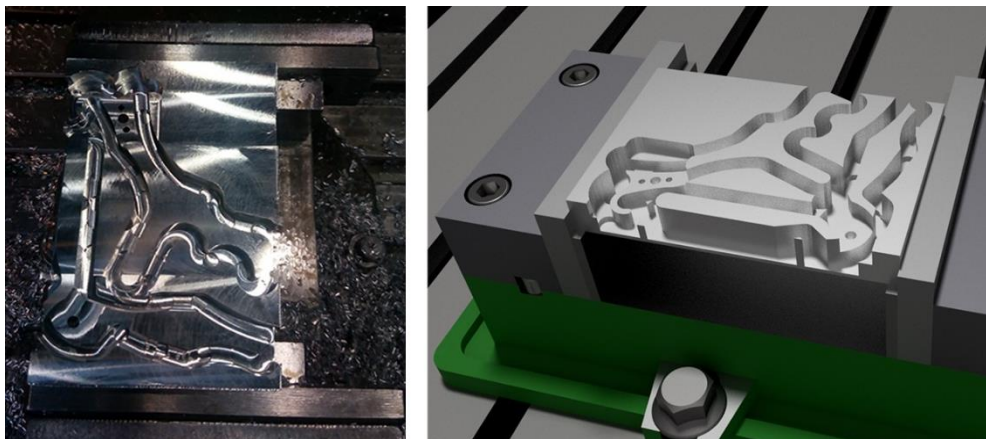
Vygenerované dráhy CAM programem byli převedeny do jazyku řídicího systému navrhovaného stroje. V tomto případě se jedná o řídicí systém od firmy Heidenhain, s konkrétní verzí Heidenhain iTNC 530. Inventor HSM nabízí velkou škálu postprocesorů pro všechny různé řídicí systémy, a to i pro tuto konkrétní verzi Heidenhainu.

4.10 Výroba a sestavení kapodastru

Polotovár byl ustaven do svěráků, delší stranou ve směru čelistí a následně obrobena podle NC programu vytvořeného CAM softwarem (srážení čela, vyfrézování kapes a kontury, vyvrtání děr). Byli vytvořeny materiálové upínky v podobě malých ostrůvků pro udržení soudržnosti materiálu (obr. 25, obr. 26).

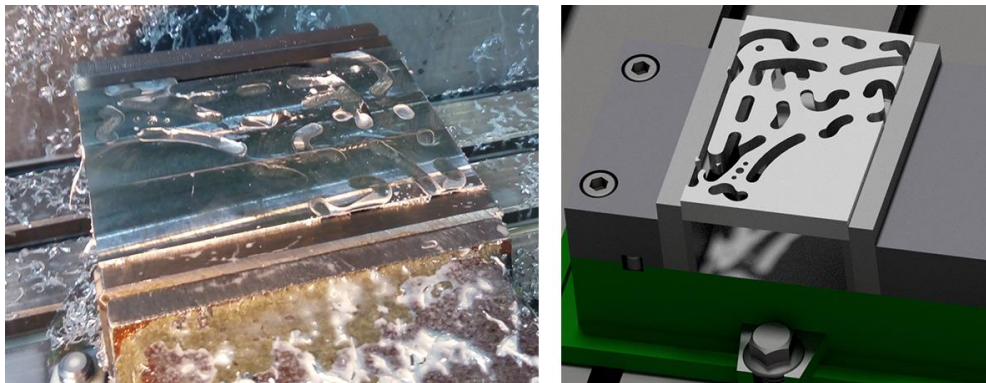


Obr. 25: Po upnutí polotovaru. [Autodesk Inventor HSM 2019]



Obr. 26: Obrobek po první operaci. [Autodesk Inventor HSM 2019]

Obrobek byl otočen a upnut, kratší stranou ve směru čelistí svěráku s následným srážením čela. Materiálové upínky udrželi soudržnost materiálu (obr. 27).



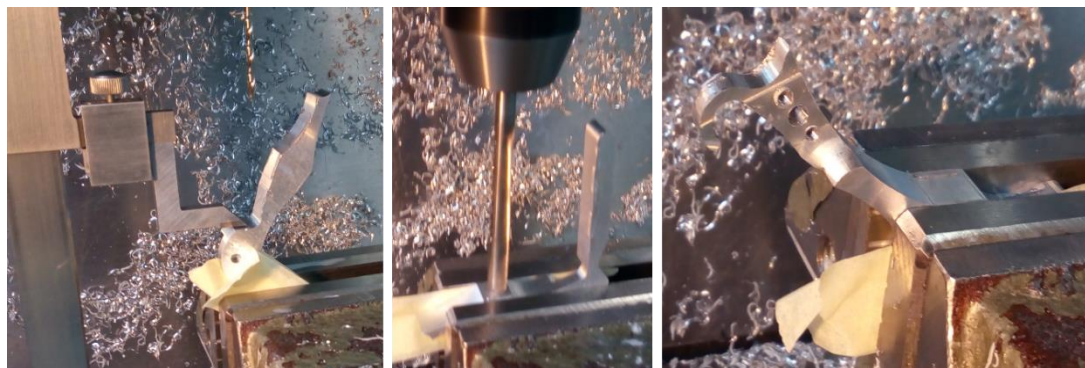
Obr. 27: Obrobek po druhé operaci. [Autodesk Inventor HSM 2019]

Následně byli tyto materiálové upínky pomocí sekáče odstraněny a stojanovou kotoučovou bruskou hrubě začištěny (obr. 28).



Obr. 28: Obrobek před odstraněním materiálových upínek.

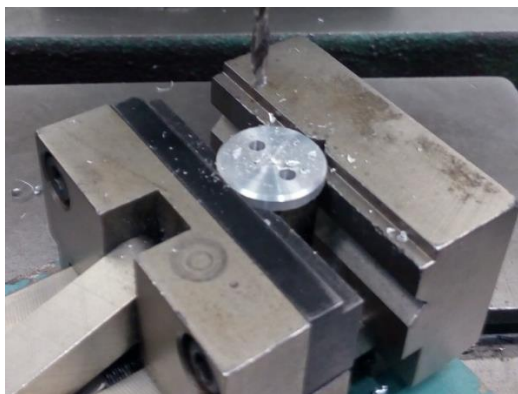
Posléze byli předvrtány a vyvrtány potřebné otvory, přičemž součást byla ustavena vždy tak, aby vrtaná plocha byla kolmo k ose vřetene stroje (obr. 29).



Obr. 29: Vrtání děr.

Po vyvrtání děr následovalo vyřezání závitů ručním závitníkem a vybroušení všech ploch brousicími papíry různých drsností.

Výroba krytky probíhala na soustruhu zkosením hran, zarovnáním čela a upíchnutím z tyče kruhového průřezu o průměru 22 mm. Následně byli na krytce orýsovány a odúličkovány dvě polohy pro následné vrtání a kuželové zahloubení (obr. 30).



Obr. 30: Krytka po vyvrtání otvorů.

Posledním krokem bylo vytvoření samotné sestavy. Součásti byli spojeny pomocí nýtu, který slouží jako otočný čep (obr. 31). Na dva povrchy byli pomocí univerzálního jednosložkového lepidla nalepeny gumové úřezky. Jako poslední úkon byla přišroubována krytka pomocí dvou zapuštěných šroubů a vložena pružina do vyvrtaných otvorů (obr. 32).



Obr. 31: Kapodastr po spojení nýtem.



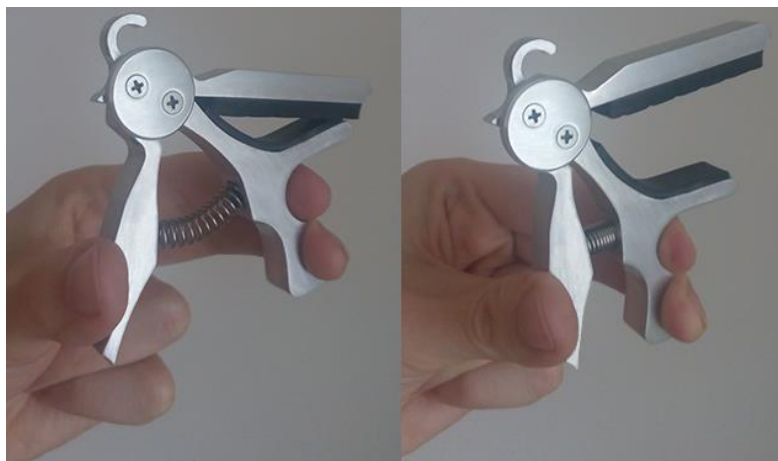
Obr. 32: Finálně sestavený kapodastr.

5 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

5.1 Ergonomické a estetické hledisko

Vzhled součásti je prvním znakem, který je uživatelem hodnocen, a to zejména u součástí, které nejsou skryty a estetická se od nich vyžaduje. Vzhled tedy patří k velmi důležitým hodnoceným parametrům. Z estetického hlediska kapodastr vyhovuje výchozím navrženým předpokladům a originální designový vzhled dokáže jistým způsobem zaujmout. Avšak použitý materiál, hliníková slitina, má větší sklon k poškrábání povrchu, což se jeví jako negativní vliv zvoleného materiálu.

Ergonomie součásti je spojena s pohodlností při využívání této součásti, a je velmi důležité se zaměřit i na ni. Pro uchycení a stlačení kapodastru jsou vytvořena vybrání pro využívané prsty. Rozměry těchto vybrání jsou dostatečně velké a nevzniká zde žádná nepohodlnost (obr. 33). Hmotnost hraje také velkou roli, jelikož je kapodastr vytvořen z hliníkové slitiny, je velmi lehký a lehce se s ním manipuluje.



Obr. 33: Úchop kapodastru.

5.2 Funkční hledisko

Hlavním účelem produktu je k něčemu sloužit, a jedná se tedy o nejdůležitější hledisko. Kapodastr slouží k stlačení strun a zvýšení celkového tónu nástroje. Funkčními prvky jsou přitlačná pružina, přitlačný nebo odlehčující tlak vyvozen šroubem, háček pro lehké využití popruhů a gumové povrchy k ochraně materiálu kytary a správnému stlačení strun. Kapodastr dostatečně stlačuje struny v rozmezí celého krku nástroje, avšak vhodnější by bylo využití tužší pružiny a použití o lehce tvrdší gumy na horní straně (obr. 34). Šroub vyhovuje své funkci, ať už přitlačující, tak i odlehčující. Obavy jsou spíše z dlouhodobého časového rozmezí, z důvodu vyřezání závitu přímo do materiálu a použití šroubu z korozi-vzdorné oceli. Vhodné by tedy bylo zvážení závitových vložek. Háček pro zachycení popruhů je také funkční, a to především tehdy, kdy není kapodastr využíván k stlačení strun a je uchycen na konci kytary. Dalším prvkem, který by mohl být v návrhu pozměněn je nýt sloužící jako otočný čep i přesto, že neomezuje funkčnost.



Obr. 34: Kapodastr na těle kytary.

5.3 Ekonomické hledisko

Tato část se zabývá přibližnými náklady na výrobu prototypu kapodastru a jejich zhodnocení. Náklady nezahrnují prodej zbytkového materiálu a spotřebovanou elektrickou energii.

Nákup normalizovaných součástí byl proveden ve větších počtech kusů stejné součásti z důvodu, že se dané součásti nevyskytovali jako kusové zboží. Celkové náklady na materiál a nakupované normalizované součásti jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tabulka 4: Tabulka nákladů na materiál a normalizované součásti.

| název položky | cena [Kč] | množství [ks] | cena na použité množství [Kč] |
|---------------------------|-----------|---------------|-------------------------------|
| hliníkový polotovar | 72,3 | 1 | 72,3 |
| pružina | 88,6 | 10 | 8,9 |
| šroub rýhovaný | 53,7 | 5 | 10,7 |
| šroub se zápustnou hlavou | 29,8 | 25 | 2,4 |
| nýt | 30 | 20 | 1,5 |
| celkem | | | $\Sigma = 95,8$ |

Náklady na provoz využitých strojních zařízení, byli vypočteny z přibližné hodinové sazby těchto strojů a strojního času s přídavkem na přípravu. Odhadovaná hodinová sazba byla po konzultaci v prostředí dílny stanovena na 800 Kč pro konvenční stroje a 1200 Kč pro numericky řízené stroje. Celkové vyčíslení těchto nákladů je uvedeno v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Tabulka nákladů na provoz strojního zařízení.

| strojní zařízení | hodinová mzda [Kč] | strojní čas s přídavkem na přípravu [min] | náklady [Kč] |
|------------------|--------------------|---|-----------------|
| FV 25 CNC A | 1200 | 40+20 | 1200 |
| VS 20 A | 800 | 5 + 10 | 200 |
| BSN 250 | 800 | 5 + 0 | 67 |
| SV 18 RO | 800 | 2 + 5 | 93 |
| celkem | | | $\Sigma = 1560$ |

Náklady na práci, byli stanoveny podle přibližně odhadované celkové doby práce a čisté průměrné hodinové mzdy v ČR pro třetí čtvrtletí roku 2018, získané a přepočítané z webu finance.cz [62]. Tato hodnota byla stanovena na 135,5 Kč. Do práce byla zahrnuta celková strojní práce, ruční práce jako broušení, odstranění materiálových upínek, modelování a tvorba CAM drah. Přibližné vyčíslení těchto nákladů je uvedeno v tabulce č.6.

Tabulka 6: Tabulka nákladů na vykonanou práci.

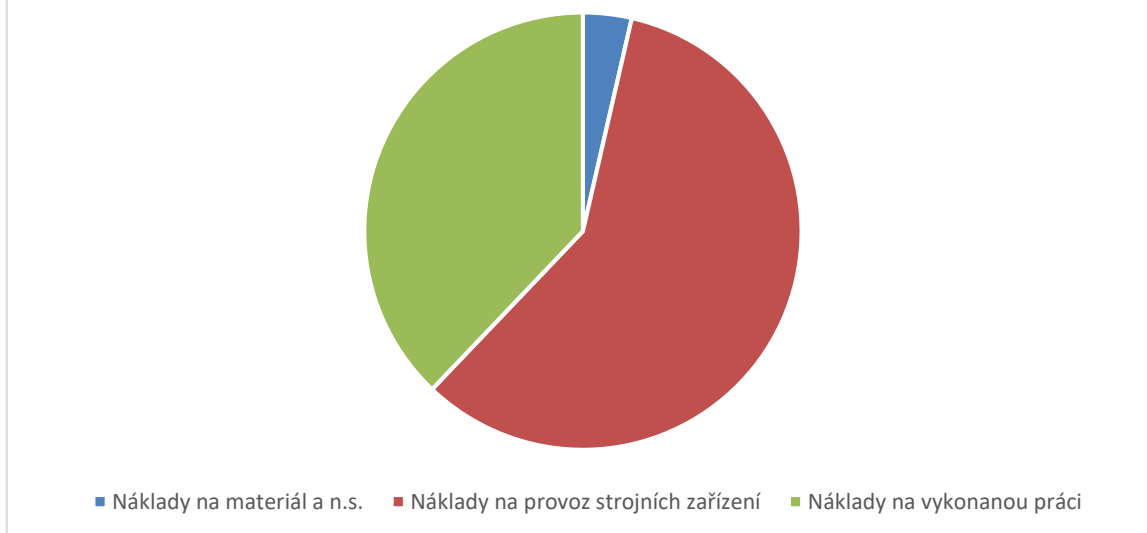
| úkon | hodinová mzda [Kč] | čas úkonu [hod] | náklady [Kč] |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| strojní práce | 135,5 | 1,45 | 196,5 |
| ruční práce | 135,5 | 3 | 406,5 |
| modelování | 135,5 | 2 | 271 |
| tvorba CAM drah | 135,5 | 1 | 135,5 |
| celkem | | | $\Sigma = 1009,5$ |

Celková kalkulace byla stanovena součtem jednotlivých nákladových složek a byl vypracován graf reprezentující zastoupení těchto složek a jejich vliv na cenu prototypu (obr. 35):

$$N = 95,8 + 1560 + 1009,5 = 2665 \text{ Kč}$$

N – Celkové náklady na výrobu.

Význam jednotlivých složek na cenu výroby prototypu kapodastru



Obr. 35: Význam jednotlivých složek na cenu výroby prototypu.

Průměrná cena kapodastrů dostupných na trhu se pohybuje v rozmezích i desetkrát nižších, než byla stanovena cena na výrobu prototypu. Jelikož se jedná o prototyp, tak tyto náklady by byli dále sníženy urychlením celého výrobního cyklu, volbou jiné výrobní technologie apod.

Pro výrobu mohl být využit 3D tisk, který by z nákladového hlediska vyšel jako levnější varianta, ale nesl by s sebou další jiné nevýhody a pouze částečné vlastnosti finálního produktu, disponoval by např. materiálovou odlišností.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo využití a zhodnocení vhodnosti využití integrovaných CAD, CAM softwarů s přidruženými obráběcími technologiemi při návrhu a výrobě vlastního prototypu. Zvoleným prototypem je součást s názvem kapodastr, příslušenství pro strunné nástroje jako je kytara sloužící pro zvýšení jejich celkového tónu. Úvod je zaměřen na teoretický rozbor hlavních technologií využitých k výrobě prototypu. Mezi tyto technologie náleží CAD, CAM a frézování. Následně bylo využito těchto technologií a přidružených obráběcích procesů k návrhu a výrobě samotného prototypu kapodastru, čemuž je věnována následující část. Závěr bakalářské práce se věnuje dosaženým výsledkům, přibližnému ekonomickému zhodnocení nákladů a porovnání s odlišnou metodou k výrobě prototypu.

Výstupem bakalářské práce je zhodnocení vhodnosti této metody pro výrobu prototypu. Vyroběný kapodastr je plně funkčním prototypem věrně představujícím finální produkt. Disponuje všemi jak vzhledovými, materiálovými, tak i funkčními vlastnostmi budoucího výrobku. Z nákladového a časového hlediska se jedná mnohdy o lehce náročnější metodu, než je velmi využívaný nástroj k prototypování, 3D tisk. Nejnákladnější složku výroby představuje hodinová sazba využitého strojního zařízení, následuje celková práce při tvorbě modelu, drah a samotné výrobě. Nejnížší nákladovou složkou je nákup materiálu a normalizovaných součástí, který tvoří velmi malou část z celkových výrobních nákladů. Podstatnou nevýhodou této metody výroby prototypu jsou výrazně se zvyšující náklady s přibývajícím tvarovou složitostí a tato tvarová složitost je limitována především použitým strojním zařízením. U prototypování pomocí 3D tisku, většina tvarů nepředstavuje sebemenší překážku. Avšak i přes tyto nevýhody je prototypování s využitím integrovaných CAD, CAM softwarů a technologie frézování velmi užitečným nástrojem, který dokáže v určitých ohledech předčit 3D tisk, a při vhodném tvaru součásti i snížit celkové náklady a urychlit výrobní proces.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Computer aided. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided>
2. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Praha: Scientia, 1993. ISBN 80-858-2700-X.
3. SADÍLEK, Marek. *CAM systémy v obrábění I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1821-4.
4. NARAYAN, K. Lalit a K. Mallikarjuna RAO. *Computer aided design and manufacturing*. New Delhi: Prentice Hall of India, 2008. ISBN 978-81-203-3342-0.
5. BEACH, Emily. *Computer aided drafting design history* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.techwalla.com/articles/computer-aided-drafting-design-history>
6. *A Historical Review of Computer-Aided Design and Drafting* [online]. 28.8.2013 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.indiacadworks.com/blog/a-look-at-the-history-of-computer-aided-design-and-drafting/>
7. Computer-aided design/History, Present and Future. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://en.wikiversity.org/wiki/Computer-aided_design/History,_Present_and_Future
8. COHN, David. *Evolution of computer aided design* [online]. 1.12.2010 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.digitalengineering247.com/article/evolution-of-computer-aided-design/>
9. *A NURBS curve* [online]. In: . [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline#/media/File:NURBstatic.svg
10. *Stručná historie CAD/CAM až po současnost* [online]. 2002 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: https://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2_CAD-CAM.htm
11. *The CAD/CAM Hall of Fame* [online]. 1.11.1998 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.americanmachinist.com/cadcam-software/cadcam-hall-fame>
12. IŽOL, Peter a Michal FABIAN. *CAD/CAM systémy v technologickom procese obrábania*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2006. ISBN 80-807-3489-5.
13. *The History of CAD since 1957* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://partsolutions.com/60-years-of-cad-infographic-the-history-of-cad-since-1957/>
14. *Geometric modeling* [online]. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: https://www.engr.uvic.ca/~mech410/old/2_Lecture_Notes/5_Geometric_Modeling.pdf
15. BRUNELLI, Mark. *Parametric vs direct modeling* [online]. 4.7.2017 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.ptc.com/en/cad-software-blog/parametric-vs-direct-modeling-which-side-are-you-on>
16. GHEORGHIU, Gabriel. *Direct versus parametric modeling* [online]. 10.3.2017 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://blog.g2crowd.com/blog/cad/direct-versus-parametric-modeling-in-the-computer-aided-design-environment-a-redundant-comparison/>

17. *History of CAM* [online]. 27.1.2018 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.scan2cad.com/cad/history-of-cam/>
18. *Computer-Aided Design (CAD) and Computer-Aided Manufacturing (CAM)* [online]. 27.1.2018 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.inc.com/encyclopedia/computer-aided-design-cad-and-computer-aided-cam.html>
19. WALKER, John R. a Bob DIXON. *Machining fundamentals*. 9th ed. Tinley Park, IL: Goodheart-Willcox Company, c2014. ISBN 978-1-61960-209-0.
20. HOFFMAN, Peter J., Eric S. HOPEWELL a Brian JANES. *Precision machining technology*. 2nd ed. New York: Cengage Learning, c2015. ISBN 978-1-2854-4454-3.
21. OVERBY, Alan. *CNC machining handbook: building, programming, and implementation*. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-0-07-162301-8.
22. FITZPATRICK, Michael a Bob DIXON. *Machining and CNC technology*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, c2014. ISBN 978-1-259-06053-3.
23. *CAM software tips and techniques* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/cam-software-tips-techniques/>
24. *CAM features: toolpaths for CNC, rest machining, and more* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/cam-features-toolpath-cnc-rest-machining/>
25. HAAS AUTOMATION, INC. *Avoid Chatter on Your Mill* [online]. 25.1.2018 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=rKPxfzx3sxE&t=485s>
26. *Feeds and speeds* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/feeds-speeds/>
27. *Chip thinning* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/wp-content/uploads/2017/08/ChipThinning.jpg>
28. *Operace 2,5D obrábění* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://solicad.com/i/detailni-popis-funkci-programu-sprutcam/c/sprutcam-detaily/g/sprutcam-info?page=6>
29. MARINAC, Dan. *Tool Path Strategies For High Speed Machining* [online]. 15.2.2000 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/tool-path-strategies-for-high-speed-machining>
30. ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3337-1.
31. Milling. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Milling_\(machining\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Milling_(machining))
32. *Sousledné frézování nebo nesousledné frézování* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>
33. *Frézování* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD.pdf

34. KOMÁREK, Miroslav. *Rotační upínací elementy nástrojů jako příslušenství obráběcích strojů* [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39702.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
35. BORO VAN, Petr. *Upínače nástrojů* [online]. 7.2.2012 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: https://www.technickydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-2_8498.html
36. WARFIELD, Bob. *Ultimate guide to selecting toolholders for milling* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/ultimate-guide-selecting-toolholders-milling/>
37. *Skličidla pro výkonné frézování* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: https://www.secotools.com/#article/m_7248
38. WEINHOFFER, Eric. *An introduction to workholding* [online]. 31.10.2017 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://info.plethora.com/blog/introduction-workholding>
39. *Upínání obrobků* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1229>
40. ROBERTS, Derek. *Seven successful workholding methods* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://millrightcnc.com/2018/07/workholding/>
41. *Total Guide to CNC Jigs, Fixtures, and Workholding Solutions for Mills* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/cnc-jigs-fixtures-workholding-solutions-milling/>
42. *Mounting and indexing work* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://smithy.com/machining-handbook/chapter-4/page/41>
43. HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd.* Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3245-6.
44. BERG, Henk a Ravi IYER. *Selecting Tool Materials and Coatings* [online]. 23.1.2011 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/a-new-milling-101-selecting-tool-materials-and-coatings>
45. RASSOULI, H. *High Speed Steel versus Carbide* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/49448-high-speed-steel-versus-carbide-in-metal-cutting-why-hss-is-still-in-use/>
46. BOYD, Jeff. *HSS or Carbide tools* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.suttontools.com/blog/tools/hss-or-carbide-tools-that-is-the-question/>
47. Milling cutter. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Milling_cutter
48. *CNC End Mill Guide* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/cnc-end-mill-guide/>
49. *Fréza stopková hrubovací* [online]. In: . [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.hhw.cz/Zoom/klein/16268.jpg>
50. *Carbide ball nose group* [online]. In: . [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: http://www.cftsystems.com/images/_products/carbide-ball-nose-group.png

51. *T-slot milling cutter* [online]. In: . [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://d10b75yp86lc36.cloudfront.net/Monotaro3/pi/full/mono07690541-060515-02.jpg>
52. *CNC programming g-code* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/cnc-programming-g-code/#resources>
53. *Úvod do programování CNC strojů* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1284>
54. *Podstata číslicového řízení* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1286>
55. KOCMAN, Karel, Eric S. HOPEWELL a Brian JANES. *Speciální technologie: obrábění*. 3. přeprac. v dopl. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8.
56. *High Speed Machining* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://s3.cnccookbook.com/CCNCNCMillFeedsSpeedsHighSpeedMachining.htm>
57. KOVÁŘ, Jiří, Eric S. HOPEWELL a Brian JANES. *Teorie a praxe vysokorychlostního frézování: Theory and experience of high speed milling : zkrácená verze Ph.D. Thesis*. 2nd ed. [V Brně: Vysoké učení technické], c2009. ISBN 978-80-214-3832-3.
58. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Přehled technik využívaných při Rapid Prototyping* [online]. 2012 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/P%C5%99ehled%20technik%20vyu%C5%BE%C3%ADvan%C3%BDch%20p%C5%99i%20Rapid%20Prototyping.pdf
59. *What is aluminum* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: https://aluminiumleader.com/about_aluminium/what_is_aluminum/
60. Steel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Steel>
61. *Tyče a profily* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/tyce-a-profily>
62. BUREŠ, Michal. *Průměrná mzda v ČR* [online]. 29.1.2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/519126-prumerna-mzda-2019-cr-eu-nemecko-rakousko/#Prum1>
63. VUT V BRNĚ, FSI, ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. *Katalog strojů pro technologické předměty* [online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=publikace>
64. PRAMET. *Katalog* [online]. 2017 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/downloads/pramet%20catalogue%202017_updated_set%204_cz-ru-pl-sk.pdf
65. PRAMET. *Monolitní frézy* [online]. 2012 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: http://www.ilkametal.cz/sortiment/pramet/katalogy/monolitni_frezy.pdf
66. STIMZET. *Nástroje na obrábění otvorů* [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/down/Katalog_STIMZET_v3.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Zkratka | Popis |
|---------|---|
| CAD | Počítačová podpora konstruování (z ang. <i>Computer Aided Design</i>) |
| CAE | Počítačová podpora inženýrských prací (z ang. <i>Computer Aided Engineering</i>) |
| CAM | Počítačová podpora výroby (z ang. <i>Computer Aided Manufacturing</i>) |
| CNC | Číslicové řízení pomocí počítače (z ang. <i>Computer numeric control</i>) |
| CRT | Katodová trubice (z ang. <i>Cathode ray tube</i>) |
| HFC | Vysokoposuvové frézování (z ang. <i>High feed cutting</i>) |
| HSC | Vysokorychlostní frézování (z ang. <i>High speed cutting</i>) |
| KNB | Kubický nitrid bóru |
| NC | Číslicové řízení (z ang. <i>Numeric control</i>) |
| NURBS | Non-uniform rational basis spline |
| RO | Rychlořezná ocel |
| SK | Slinutý karbid |
| TD | Technický diamant |
| VBD | Vyměnitelná břitová destička |

| Symbol | Jednotka | Popis |
|--------|----------|---------------------------|
| a_p | mm | Šířka záběru ostří |
| N | kč | Celkové náklady na výrobu |

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|------------|---|
| Příloha 1 | Technologický postup pro pevnou čelist kapodastru |
| Příloha 2 | Technologický postup pro pohyblivou čelist kapodastru |
| Příloha 3 | Výkres pevné čelisti kapodastru |
| Příloha 4 | Výkres pohyblivé čelisti kapodastru |
| Příloha 5 | Výkres krytky kapodastru |
| Příloha 6 | Výkres sestavy kapodastru |
| Příloha 7 | Vertikální konzolová frézka se souvislým řízením |
| Příloha 8 | Sloupová vrtačka |
| Příloha 9 | Stojanová kotoučová bruska |
| Příloha 10 | Univerzální hrotový soustruh |
| Příloha 11 | Seznam použitých nástrojů |
| Příloha 12 | Využitý NC program |

PŘÍLOHA Č.1

Technologický postup pro pevnou čelist kapodastru.

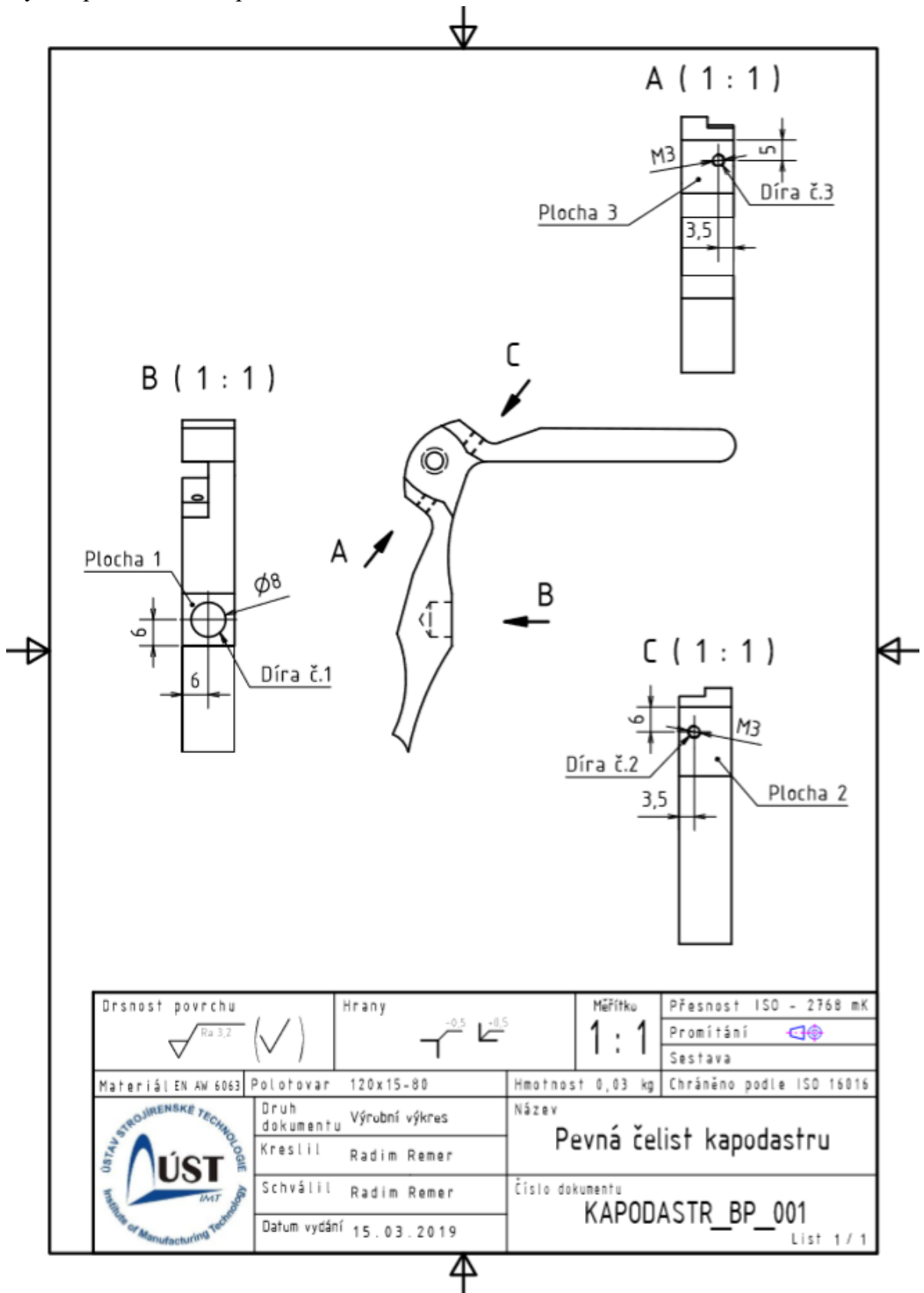
| VUT v Brně, FSI, ÚST | | VÝROBNÍ POSTUP | | Název součásti: Pevná čelist kapodastru | Číslo výkresu: KAPODASTR_BP_001 |
|----------------------|--|------------------------|---|---|------------------------------------|
| Datum: 18.03.2019 | | Vyhotožil: Radim Remer | | Polotovár: 120 x 15–80 | Materiál: EN AW 6063 |
| Číslo op. | Název, označení stroje, třídící číslo | Dílna | Popis práce v operaci | Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky | |
| 1/1 | Vertikální konzolová frézka se souvislým řízením FV 25 CNC A 45214 | Obrobna C2 | upnout polotovár do svěráku (rozměr 120mm ve směru čelistí svěráku) nastavit nulový bod do levého spodního rohu na vrch polotovaru nastavit výškovou korekci nástrojů program (čelní frézování, $a_p = 1,5$ mm, vyfrézování otevřených ostrůvků, vyfrézování kontury, navrtání a vyvrtání děr $\varnothing 4$; $\varnothing 2,5$) | RO vrták $\varnothing 2,5$ a $\varnothing 4$, RO středící vrták A1 SK čelní fréza $\varnothing 50$, SK stopková fréza $\varnothing 6$, 8 | |
| 2/2 | Vertikální konzolová frézka se souvislým řízením FV 25 CNC A 45214 | Obrobna C2 | otočit obrobek (rozměr 80mm ve směru čelistí svěráku) upnout do svěráku srazit čelo na 12 mm | posuvné měřidlo, SK čelní fréza $\varnothing 50$ | |
| 3/3 | Ruční pracoviště 09421 | Obrobna C2 | odstranit materiálové upínky | sekáč | |
| 4/4 | Stojanová kotoučová bruska BSN 250 05721 | Obrobna C2 | hrubě začistit materiálové upínky | ochranné brýle | |
| 5/5 | Ruční pracoviště 09421 | Obrobna C2 | orýsovat polohy děr č.1, 2, 3 | listová měrka, rýsovací jehla, důlčik | |
| 6/6 | Stojanová vrtačka VS 20 A 04622 | Obrobna C2 | upnout součást do svěráku, plochou č.3 kolmo k ose vřetena vyvrtat průchozí díru č.3 o průměru $\varnothing 2,5$ | RO Vrták $\varnothing 2,5$, svěrák, nádrh, posuvné měřidlo | |
| 7/7 | Stojanová vrtačka VS 20 A 04622 | Obrobna C2 | upnout součást do svěráku, plochou č.2 kolmo k ose vřetena vyvrtat průchozí díru č.2 o průměru $\varnothing 2,5$ | RO vrták $\varnothing 2,5$, svěrák, nádrh, posuvné měřidlo | |
| 8/8 | Stojanová vrtačka VS 20 A 04622 | Obrobna C2 | upnout součást do svěráku, plochou č.1 kolmo k ose vřetena vyvrtat díru č.1 o průměru $\varnothing 8$ do hloubky 6 | RO vrták $\varnothing 8$, svěrák, nádrh, posuvné měřidlo | |
| 9/9 | Ruční pracoviště 09421 | Obrobna C2 | vyřezat závity M3 do děr o $\varnothing 2,5$ | RO ruční závitník M3 | |
| 10/10 | Ruční pracoviště 09421 | Obrobna C2 | srazit hrany, obrousit povrch součásti | jehlový pilník, brousící papíry | |

PŘÍLOHA Č.2

Technologický postup pro pohyblivou čelist kapodastru.

| VUT v Brně, FSI, ÚST | | VÝROBNÍ POSTUP | | Název součásti: Pohyblivá čelist kapodastru | Číslo výkresu: KAPODASTR_BP_002 |
|----------------------|--|------------------------|---|--|------------------------------------|
| Datum: 18.03.2019 | | Vyhotožil: Radim Remer | | Polotovár: 120 x 15–80 | Materiál: EN AW 6063 |
| Číslo op. | Název, označení stroje, třídící číslo | Dílna | Popis práce v operaci | Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky | |
| 1/1 | Vertikální konzolová frézka se souvislým řízením FV 25 CNC A 45214 | Obrobna C2 | upnout polotovár do svěráku (rozměr 120mm ve směru čelistí svěráku) nastavit nulový bod do levého spodního rohu na vrch polotovaru nastavit výškovou korekci nástrojů program (čelní frézování, $a_p = 1,5$ mm, vyfrézování otevřených ostrůvků, vyfrézování kontury, navrtání a vyvrtání děr $\varnothing 4$; $\varnothing 2,5$) | RO vrták $\varnothing 2,5$ a $\varnothing 4$, RO středící vrták A1 SK čelní fréza $\varnothing 50$, SK stopková fréza $\varnothing 6$, 8 | |
| 2/2 | Vertikální konzolová frézka se souvislým řízením FV 25 CNC A 45214 | Obrobna C2 | otočit obrobek (rozměr 80mm ve směru čelistí svěráku) upnout do svěráku srazit čelo na 12 mm | posuvné měřidlo, SK čelní fréza $\varnothing 50$ | |
| 3/3 | Ruční pracoviště 09421 | Obrobna C2 | odstranit materiálové upínky | sekáč | |
| 4/4 | Stojanová kotoučová bruska BSN 250 05721 | Obrobna C2 | hrubě začistit materiálové upínky | ochranné brýle | |
| 5/5 | Ruční pracoviště 09421 | Obrobna C2 | orýsovat polohu díry č.1 | listová měrka, rýsovací jehla, důlčik | |
| 6/6 | Stojanová vrtačka VS 20 A 04622 | Obrobna C2 | upnout součást do svěráku, plochou č.1 kolmo k ose vřetena vyvrtat díru č.1 o průměru $\varnothing 8$ do hloubky 6 | RO vrták $\varnothing 8$, svěrák, nádrh, posuvné měřidlo | |
| 7/7 | Ruční pracoviště 09421 | Obrobna C2 | vyřezat závit M3 do děr o $\varnothing 2,5$ | RO ruční závitník M3 | |
| 8/8 | Ruční pracoviště 09421 | Obrobna C2 | srazit hrany, obrousit povrch součásti | jehlový pilník, brousící papíry | |

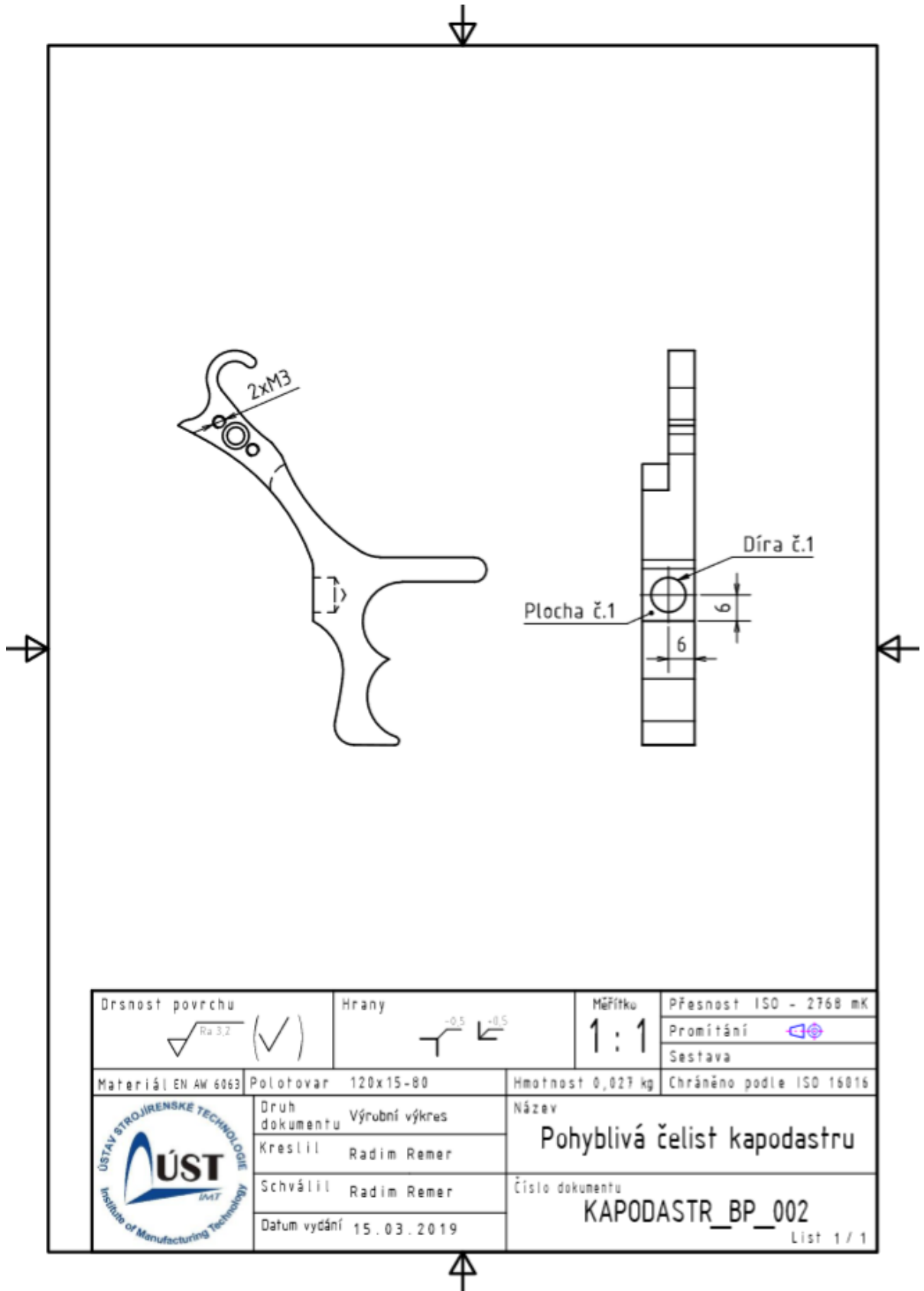
Výkres pevné čelisti kapodastru.



| | | | | | | | |
|---|-------------------------------|------------------------|--|--------------------------|--|-------------------------------------|------------|
| Drsnost povrchu $Ra\ 3,2$ (✓) | | Hrany $-0,5$ $-0,5$ | | Měřítko 1 : 1 | | Přesnost ISO - 2768 mK Promítání | |
| Materiál EN AW 6063 Polotovar 120x15-80 | | Hmotnost 0,03 kg | | Chráněno podle ISO 16016 | | | |
| | Druh dokumentu Výrobní výkres | | Název Pevná čelist kapodastru | | | | |
| | Kreslil Radim Remer | | Číslo dokumentu KAPODASTR_BP_001 | | | | |
| | Schválil Radim Remer | | | | | | |
| | Datum vydání 15.03.2019 | | | | | | |
| | | | | | | | List 1 / 1 |

PŘÍLOHA Č.4

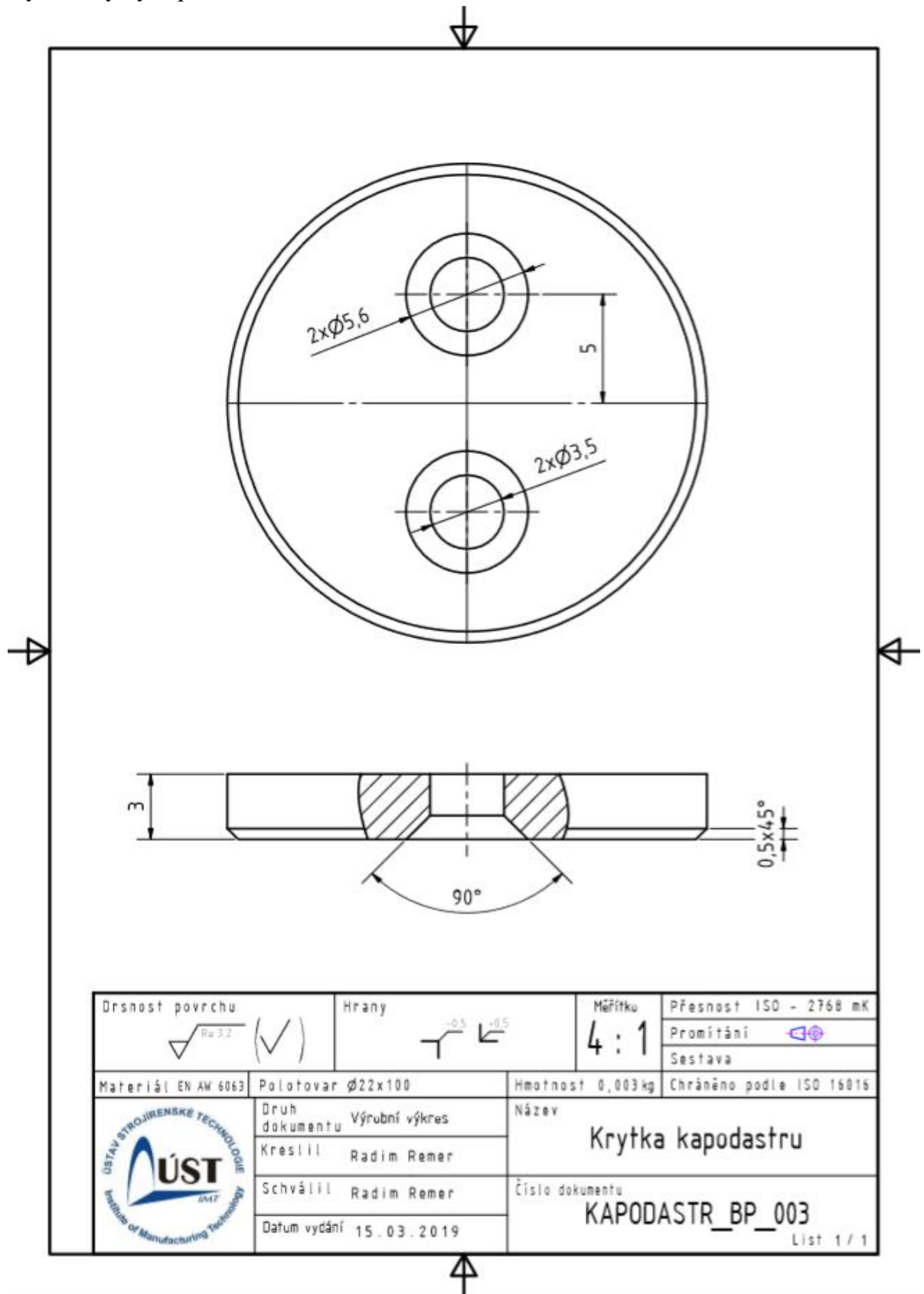
Výkres pohyblivé čelisti kapodastru.



| | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|---------------------|--|-------------------------|--|-------------------------------------|--|
| Drsnost povrchu | | Hrany | | Měřítko 1 : 1 | | Přesnost ISO - 2768 mK Promítání | |
| Materiál EN AW 6063 | | Polotovár 120x15-80 | | Hmotnost 0,027 kg | | Chráněno podle ISO 16016 | |
| | Druh dokumentu Výrobní výkres | | Název Pohyblivá čelist kapodastru | | | | |
| | Kreslil Radim Remer | | Číslo dokumentu KAPODASTR_BP_002 List 1 / 1 | | | | |
| | Schválil Radim Remer | | | | | | |
| | Datum vydání 15.03.2019 | | | | | | |

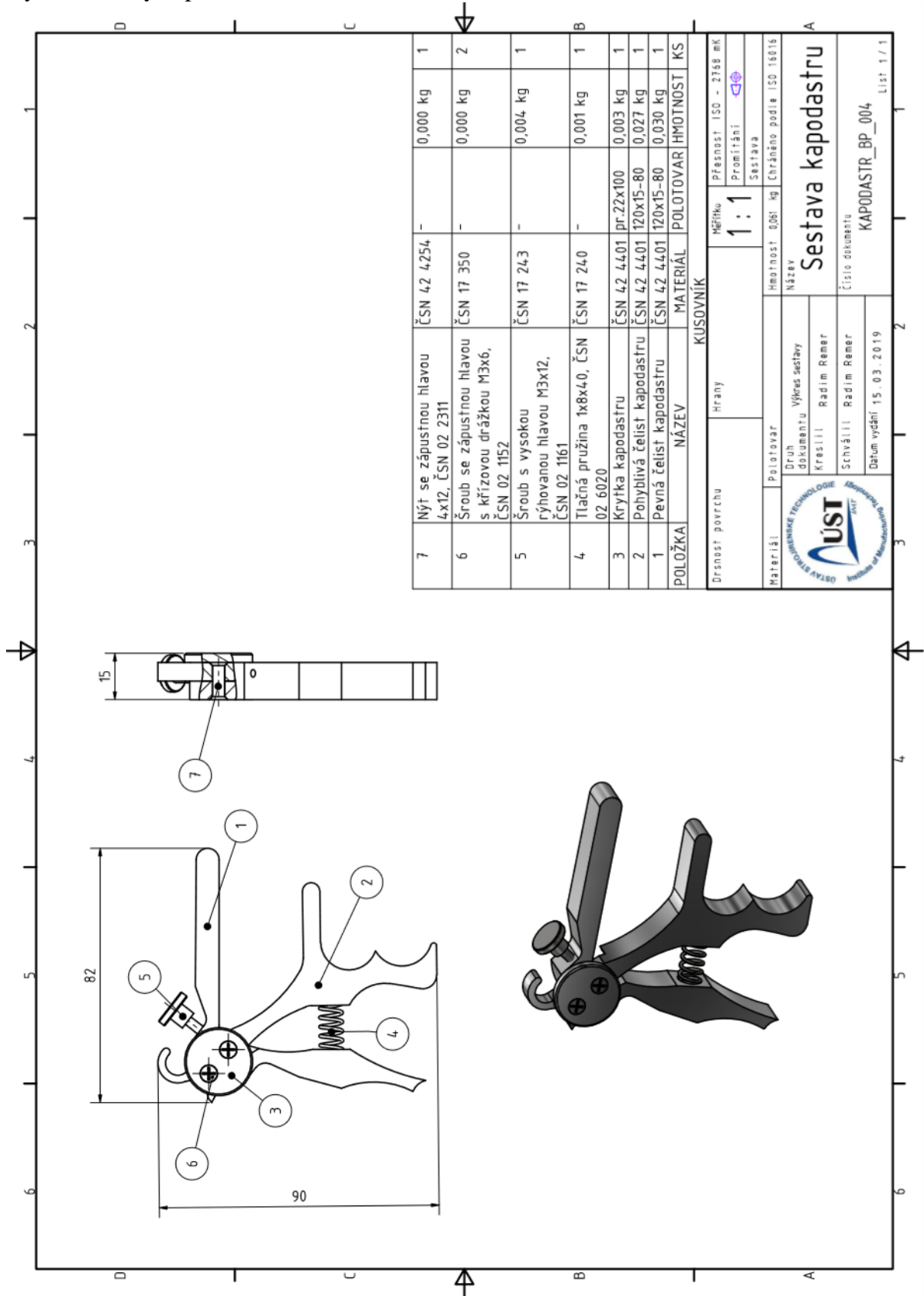
PŘÍLOHA Č. 5

Výkres krytky kapodastru.



| | | | |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| Drsnost povrchu $Ra\ 3,2$ (✓) | Hrany $-0,5$ $-0,5$ | Měřítko 4 : 1 | Přesnost ISO - 2768 mK |
| | | | Promítání |
| Materiál EN AW 6063 | | Polotovár Ø22x100 | Hmotnost 0,003 kg |
| | | Druh dokumentu Výrubní výkres | Název Krytka kapodastru |
| | | Kreslil Radim Remer | Číslo dokumentu KAPODASTR_BP_003 |
| | | Schválil Radim Remer | |
| | | Datum vydání 15. 03. 2019 | List 1 / 1 |

Výkres sestavy kapodastru.




| | | | | | |
|----------|--|-------------|-----------|----------|----|
| 7 | Nýt se zápusťnou hlavou 4x12, ČSN 02 2311 | ČSN 42 4254 | - | 0,000 kg | 1 |
| 6 | Šroub se zápusťnou hlavou s křížovou drážkou M3x6, ČSN 02 1152 | ČSN 17 350 | - | 0,000 kg | 2 |
| 5 | Šroub s vysokou rýhovanou hlavou M3x12, ČSN 02 1161 | ČSN 17 243 | - | 0,004 kg | 1 |
| 4 | Tlačná pružina 1x8x40, ČSN 02 6020 | ČSN 17 240 | - | 0,001 kg | 1 |
| 3 | Krytka kapodastru | ČSN 42 4401 | pr.22x100 | 0,003 kg | 1 |
| 2 | Pohyblivá čelist kapodastru | ČSN 42 4401 | 120x15-80 | 0,027 kg | 1 |
| 1 | Pevná čelist kapodastru | ČSN 42 4401 | 120x15-80 | 0,030 kg | 1 |
| POLOŽKA | | MATERIÁL | POLOTOVAR | HMOTNOST | KS |
| KUSOVNIK | | | | | |

| | | | |
|-----------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|
| Drsnost povrchu | Hrany | Měřítko | Přesnost ISO - 2768 mK |
| | | 1:1 | Promítání |
| | | | Sestava |
| Materiál | Polotovary | Hmotnost 0,061 kg | Chráněno podle ISO 15016 |
| | Druh dokumentu | Název | |
| | Kreslil | Sestava kapodastru | |
| | Radim Remeš | | |
| | Schválil | | |
| | Radim Remeš | Číslo dokumentu | KAPODASTR_BP_004 |
| | Datum vydání 15.03.2019 | | List 1 / 1 |


PŘÍLOHA Č.7

Vertikální konzolová frézka se souvislým řízením [63].

| | |
|---|--|
| Název stroje | Vertikální konzolová frézka se souvislým řízením |
| Označení stroje | FV 25 CNC A |
|  | |
| Rozměry stroje (délka; šířka; výška) [mm] | 2385; 2750; 2030 |
| Hmotnost [kg] | 1500 |
| Pracovní rozsah (osa x; osa y; osa z) [mm] | 760; 355; 152 |
| Upínací plocha [mm] | 300 x 1300 |
| Rozsah otáček [min^{-1}] | 50–6000 |
| Rozsah posuvů [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] | 2,5–3000 |
| Výkon hlavního motoru [kW] | 5,5 |
| Celkový příkon stroje [kW] | 7,5 |


PŘÍLOHA Č. 8

Sloupová vrtačka [63].

| | |
|---|-------------------|
| Název stroje | Sloupová vrtačka |
| Označení stroje | VS 20 A |
|  | |
| Rozměry stroje (délka x šířka x výška) [mm] | 1045 x 565 x 1980 |
| Hmotnost [kg] | 545 |
| Maximální zdvih vřetena [mm] | 160 |
| Maximální pohyb vřeteníku [mm] | 350 |
| Maximální průměr vrtání [mm] | 20 |
| Rozsah otáček [min^{-1}] | 71–2800 |
| Rozsah posuvů na otáčku [mm] | 0,08–0,32 |
| Výkon hlavního motoru [kW] | 1,5 |
| Celkový příkon stroje [kW] | 1,7 |


PŘÍLOHA Č.9

Stojanová kotoučová bruska [63].

| | |
|---|----------------------------|
| Název stroje | Stojanová kotoučová bruska |
| Označení stroje | BSN 250 |
|  | |
| Rozměry stroje (délka; šířka; výška) [mm] | 460; 500; 700 |
| Hmotnost [kg] | 75 |
| Pracovní otáčky [min ⁻¹] | 2850 |
| Průměr kotouče [mm] | 250 |
| Příkon stroje [kW] | 1,5 |


PŘÍLOHA Č.10


Univerzální hrotový soustruh [63].

| | |
|---|------------------------------|
| Název stroje | Univerzální hrotový soustruh |
| Označení stroje | SV 18 RO |
|  | |
| Rozměry stroje (délka; šířka; výška) [mm] | 2640; 1100; 1450 |
| Hmotnost [kg] | 1620 |
| Oběžný průměr nad ložem [mm] | 400 |
| Oběžný průměr na supportem [mm] | 220 |
| Vzdálenost mezi hroty [mm] | 1000 |
| Rozsah otáček [min^{-1}] | 22–2000 |
| Rozsah podélného pracovního posuvu na otáčku [mm] | 0,05–6,4 |
| Rozsah příčného pracovního posuvu na otáčku [mm] | 0,025–3,2 |
| Výkon hlavního motoru [kW] | 5,5 |
| Celkový příkon stroje [kW] | 6,6 |

PŘÍLOHA Č.11(1/6)


Použité řezné nástroje [64; 65; 66].

| Název nástroje | Čelní fréza |
|---|------------------|
|  | |
| Označení držáku | 50A07R-S90TN10-C |
| Označení VBD | TNGX 100404SR-M |
| Průměr nástroje [mm] | 50 |
| Materiál | Slinutý karbid |
| Počet zubů | 7 |
| Doporučená řezná rychlost [m.min ⁻¹] | 290 |
| Doporučený posuv na zub [mm] | 0,06 |

| Název nástroje | Válcová stopková fréza |
|---|------------------------|
|  | |
| Průměr nástroje [mm] | 8 |
| Materiál | Slinutý karbid |
| Třída SK | N |
| Počet zubů | 2 |
| Doporučená řezná rychlost [m.min ⁻¹] | 200 |
| Doporučené otáčky [min ⁻¹] | 7962 |
| Doporučený posuv na zub [mm] | 0,025 |

PŘÍLOHA Č. 11(2/6)

Použité řezné nástroje [64; 65; 66].


| Název nástroje | Válcová stopková fréza |
|---|------------------------|
|  | |
| Průměr nástroje [mm] | 6 |
| Materiál | Slinutý karbid |
| Třída SK | N |
| Počet zubů | 2 |
| Doporučená řezná rychlost [m. min ⁻¹] | 200 |
| Doporučené otáčky [min ⁻¹] | 10616 |
| Doporučený posuv na zub [mm] | 0,017 |

| Název nástroje | Vnější soustružnický nůž – pravý |
|--|----------------------------------|
|  | |
| Označení držáku | CSSPR 2020 K12 3421 02 |
| Označení VBD | SPUN 190412 |
| Materiál | Slinutý karbid |
| Doporučená řezná rychlost [m.min ⁻¹] | 260 |
| Doporučený posuv na otáčku [mm] | 0,1 – 0,4 |

PŘÍLOHA Č. 11(3/6)


Použité řezné nástroje [64; 65; 66].


| Název nástroje | Upichovací nůž |
|--|------------------|
|  | |
| Označení držáku | GFKR 2020 K 02 |
| Označení VBD | LCMF 022002L6-M2 |
| Materiál | Slinutý karbid |
| Doporučená řezná rychlost [m. min ⁻¹] | 220 |
| Doporučený posuv na otáčku [mm] | 0,05 – 0,2 |

| Název nástroje | Šroubovitý vrták |
|--|------------------|
|  | |
| Označení nástroje | ČSN 22 1121 |
| Průměr nástroje [mm] | 2,5 |
| Materiál | Rychlořezná ocel |
| Doporučená řezná rychlost [m. min ⁻¹] | 45 |
| Doporučený posuv na otáčku [mm] | 0,06 |

PŘÍLOHA Č. 11(4/6)


Použité řezné nástroje [64; 65; 66].


| Název nástroje | Šroubovité vrták |
|--|------------------|
|  | |
| Označení nástroje | ČSN 22 1121 |
| Průměr nástroje [mm] | 3,5 |
| Materiál | Rychlořezná ocel |
| Doporučená řezná rychlost [m. min ⁻¹] | 45 |
| Doporučený posuv na otáčku [mm] | 0,09 |

| Název nástroje | Šroubovité vrták |
|--|------------------|
|  | |
| Označení nástroje | ČSN 22 1121 |
| Průměr nástroje [mm] | 4 |
| Materiál | Rychlořezná ocel |
| Doporučená řezná rychlost [m. min ⁻¹] | 45 |
| Doporučený posuv na otáčku [mm] | 0,1 |

PŘÍLOHA Č. 11(5/6)


Použité řezné nástroje [64; 65; 66].

| | |
|--|------------------|
| Název nástroje | Šroubovitý vrták |
|  | |
| Označení nástroje | ČSN 22 1121 |
| Průměr nástroje [mm] | 8 |
| Materiál | Rychlořezná ocel |
| Doporučená řezná rychlost [m. min ⁻¹] | 45 |
| Doporučený posuv na otáčku [mm] | 0,16 |

| | |
|--|-------------------|
| Název nástroje | Středící vrták A1 |
|  | |
| Označení nástroje | ČSN 22 1110 |
| Materiál | Rychlořezná ocel |
| Doporučená řezná rychlost [m. min ⁻¹] | 45 |
| Doporučený posuv na otáčku [mm] | 0,1 |

PŘÍLOHA Č. 11(6/6)

Použité řezné nástroje [64; 65; 66].

| Název nástroje | Kuželový záhlubník |
|--|--------------------|
|  | |
| Označení nástroje | ČSN 22 1627 |
| Průměr nástroje [mm] | 5 |
| Materiál | Rychlořezná ocel |
| Doporučená řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] | 60 |
| Doporučený posuv na otáčku [mm] | 0,11 |

| Název nástroje | Ruční závitník |
|-----------------------------------|------------------|
| Označení nástroje | ČSN 22 3010 |
| Typ a velikost závitníku | M3 |
| Materiál | Rychlořezná ocel |
| Řezná rychlost; posuvová rychlost | Ruční |

PŘÍLOHA Č. 12

Využitý NC program.

```
0 BEGIN PGM remer_finalni_kapodastr MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-13.5
2 BLK FORM 0.2 X+80 Y+120 Z+0
3 ;-----
4 ;Nastroje
5 ; #1 D=8 - ZMIN=-6 - ZMAX=+15 - válcová fréza
6 ; #2 D=6 - ZMIN=-12 - ZMAX=+15 - válcová fréza
7 ;-----
8 * - 2D Kontural
9 M5
10 TOOL CALL 1 Z S5000
11 ;//////////freza8mm//////////
12 L M140 MB MAX
13 M3
14 L X-8.464 Y+15.716 RO FMAX
15 L Z+15 RO FMAX
16 M8
17 L Z+5 FMAX
18 L Z+3 F30
19 L Z-1.2
20 CC Y+14.916 Z-1.2
21 CP IPA-90 DR-
22 L Y+14.116 Z-2 F1000
23 CC X-7.664 Y+14.116
24 CP IPA+90 DR+
25 L X+9.671 Y+13.316 F250
.
.
218 M5
219 M0
220 TOOL CALL 5 Z S5800
221 ;//////////freza6mm//////////
222 M3
223 L X-10.44 Y+84.415 RO FMAX
224 L Z+10 RO FMAX
225 M8
226 L Z+5 FMAX
227 L Z+3 F60
228 L Z-1.4
229 L X-10.433 Z-1.494
.
.
1051 L X+4.039 Y+33.387
1052 L X+0.707 Y+42.809
1053 CC X+3.724 Y+43.876
1054 CP IPA-19.811 DR-
.
.
2123 L X-9.109 Y+94.885 Z-11.4
2124 L Z+15 FMAX
2125 M9
2126 M5
2127 L M140 MB MAX
2128 M30
2129 END PGM remer_finalni_kapodastr MM
```