



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

APLIKACE BEZVÝKRESOVÉ DOKUMENTACE PŘI KONSTRUKCI FRÉZOVACÍHO PŘÍPRAVKU

APPLICATION OF DRAWINGLESS DOCUMENTATION IN THE DESIGN OF A MILLING CLAMPING DEVICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Schneider

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	David Schneider
Studijní program:	Základy strojního inženýrství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

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

Aplikace bezvýkresové dokumentace při konstrukci frézovacího přípravku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výkresová dokumentace strojních součástí vzniká v dnešní době převážně z 3D modelu užitím CAD. Kóty, délkové a geometrické tolerance jsou následně promítnuty do 2D výkresu, který je podkladem pro výrobu, inspekci a měření. Ze strany průmyslu však narůstá tlak na přechod od klasické 2D výrobní dokumentace k plnohodnotnému 3D modelu. Přechod na plně bezvýkresové předávání informací o vyráběných součástech by dokázalo uspořit čas, náklady a minimalizovat chyby ve výrobním cyklu výrobku.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je konstrukce frézovacího přípravku pro upínání součásti na obráběcím stroji užitím bezvýkresové dokumentace.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- analyzovat problém a provést bibliografickou rešerši existujících řešení pro upínání,
- popsat využitelnost PMI informací v oblasti bezvýkresové dokumentace,
- vypracovat koncepční návrhy možných řešení frézovacího přípravku,
- rozpracovat vybraný návrh formou bezvýkresové dokumentace,
- porovnat rozdíly mezi 2D výkresovou dokumentací a bezvýkresovou dokumentací.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

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

AGOVIC, A., T. TRAUTNER a F. BLEICHER. Digital Transformation - Implementation of Drawingless Manufacturing: A Case Study. Procedia CIRP. 2022, 107, 1479-1484. ISSN 22128271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2022.05.178.

ŘASA, J. Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže. Praha: Scientia, 2003. ISBN 978-80-7183-284-3.

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

CAMPBELL, P.D. Basic fixture design. New York, N.Y.: Industrial Press, 1994. ISBN 978-0-8311-3052-7.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

V práci je popsána konstrukce frézovacího přípravku pro upínání součásti na obráběcím stroji s využitím bezvýkresové dokumentace. Jsou zde popsány dostupné metody upínání obrobků pro obrábění a dále je vysvětlena tvorba bezvýkresové dokumentace. Dnes se v naprosté většině případů využívá klasická výkresová dokumentace, která je v mnoha pohledech zdlouhavější než zpracování popsaných 3D digitálních dat o modelu. V práci je popsána tvorba bezvýkresové dokumentace na konkrétním konstrukčním řešení přípravku pro obrábění zadané součásti chladiče. Toto řešení je zpracováno na základě tří návrhů možných koncepčních řešení upínacího přípravku. Vznikla kompletní bezvýkresová dokumentace všech jednotlivých dílů přípravku i její sestavy. Z bakalářské práce vyplývá, jaké jsou výhody bezvýkresové dokumentace oproti 2D výkresům součástí, ale jsou také zmíněny nedostatky, které celkový dojem snižují. Je navrženo možné vylepšení, které by mohlo prezentování digitálních dat modelu zjednodušit.

KLÍČOVÁ SLOVA

bezvýkresová dokumentace, frézovací přípravek, upínka, PMI, MBD, součást chladiče

ABSTRACT

The bachelor's Thesis describes the construction of a milling fixture for clamping a component on a machine tool using drawing-less documentation. Available methods of clamping workpieces for machining are described here, and the creation of drawing-less documentation is further explained. Today, in the vast majority of cases, classic drawing documentation is used, which is in many ways more tedious than the processing of described 3D digital data about the model. The work describes the creation of drawing-less documentation on a specific design solution of a milling clamping device. This solution is developed on the basis of three proposals for possible conceptual solutions for the clamping fixture. Complete, drawing-less documentation of all individual parts of the product. The bachelor's thesis shows the advantages of drawing-less documentation compared to 2D drawings of components, but also mentions shortcomings that reduce the overall impression. A possible improvement that could simplify the presentation of digital model data is suggested.

KEYWORDS

drawingless documentation, milling fixture, clamp, PMI, MBD, cooler part

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SCHNEIDER, David. *Aplikace bezvýkresové dokumentace při konstrukci frézovacího přípravku* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-01-31].

Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/149792>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Petr Svoboda.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Svobodovi, Ph.D. za mnoho připomínek a cenných rad při konzultacích i v celém průběhu řešení této práce. Také bych rád poděkoval své rodině a blízkým za podporu při studiu.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením doc. Ing. Petra Svobody, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	12
2.1. Možnosti upnutí součástí	12
2.1.1. Ustavení obrobku a konstrukční zásady	13
2.1.2. Dostupné upínací přípravky na trhu	16
2.1.2.1. Mechanické	16
2.1.2.2. Pneumatické	18
2.1.2.3. Hydraulické	20
2.1.2.4. Ostatní	21
2.1.3. Výrobní obráběcí centra	22
2.2. Bezvýkresová dokumentace ve strojírenství	24
2.2.1. Aktuální stav používání bezvýkresové dokumentace	25
2.2.2. Rozbor posuzovaných dat	26
2.2.3. Využití PMI informací	27
2.2.4. Výhody bezvýkresové dokumentace	28
3. ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	29
3.1. Analýza problému	29
3.2. Cíl práce	30
4. KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	31
4.1. Postup obrábění zadané součásti	31
4.2. Zhodnocení jednotlivých možností upnutí	31
4.3. Vybrané kombinace metod upnutí	32
4.3.1. Varianta A	32
4.3.2. Varianta B	33
4.3.3. Varianta C	34
4.4. Porovnání koncepčních řešení	35
4.4.1. Přehled jednotlivých parametrů srovnání	35
5. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	36
5.1. Volba výsledného konstrukčního řešení	36
5.2. Model upínacího přípravku	37
5.3. Bezvýkresová dokumentace	41
6. DISKUZE	42
7. ZÁVĚR	44

8.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
9.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN.....	48
10.	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ.....	49
11.	SEZNAM TABULEK.....	50
12.	SEZNAM PŘÍLOH.....	51

1. ÚVOD

V dnešní době vzniká výkresová dokumentace strojních součástí jako 3D model, který se následně promítne do 2D prostředí výkresu, kde se jednotlivé pohledy kótují a přidávají se k nim délkové a geometrické tolerance. Takový výkres bývá používán pro výrobu nebo následnou kontrolu výrobku. V důsledku toho mohou vznikat nesrovnalosti výkresové dokumentace a modelu, který může být v průběhu času upravován. V současnosti se začíná zvyšovat tlak na přechod k bezvýkresové dokumentaci, která by mohla tento problém vyřešit.

V práci je popsána tvorba bezvýkresové dokumentace na konstrukčním řešení přípravku pro obrábění zadané součásti chladiče. V první řadě jsou vybrány možné způsoby pro upínání a ustavování obrobků při obrábění a dále se objasňují náležitosti popisování 3D modelů pomocí PMI anotací. Jsou rozpracována tři koncepční řešení upínacích přípravků, ze kterých je detailněji zpracováno jedno, skládající se z nejvýhodnějších vlastností dílčích řešení. Pro vzniklé konstrukční řešení je vymodelována sestava skládající se z jednotlivých dílů, pro které je vypracována bezvýkresová dokumentace.

Následně jsou popsány výhody a nevýhody bezvýkresové dokumentace oproti klasické výkresové dokumentaci. V práci je navrženo případné možné vylepšení prezentování 3D dat modelu, které by mohlo například koncovému zákazníkovi zlepšit celkový dojem z bezvýkresové dokumentace tím, že by byla značně jednoznačnější a čitelnější.

Hlavní motivací pro vypracování bakalářské práce na toto téma byl návrh přípravku a zpracování bezvýkresové dokumentace, která by se mohla v příštích letech začít více využívat napříč celým strojírenským průmyslem. Již dnes jsou citelné, hlavně ze zahraničí, požadavky na tvorbu bezvýkresové dokumentace, která je schopná celý proces popisování strojních součástí zjednodušit a uspořit tím čas, náklady, ale i minimalizovat chyby ve výrobním cyklu.

2. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1. Možnosti upnutí součásti

Vhodný způsob upnutí součásti se volí v závislosti na několika hlavních faktorech, jako jsou například typ obráběcího procesu, tvar obrobku, jeho hmotnost a velikost. Dalším důležitým parametrem je druh stroje, na kterém bude výroba probíhat, a také velikost nástroje, kterým budeme obrábět. Vhodný přípravek volíme i v závislosti na typu výroby. Pro kusovou nebo malosériovou výrobu se využívají jednoduchá upínací zařízení, kterými jsou například sklíčidla. Oproti tomu se pro upnutí součásti při hromadné, nebo sériové výrobě využívá takzvaných přípravků.

Přípravky jsou zařízení, která ulehčují upnutí součásti k rámu stroje. Díky nim se zkracuje čas potřebný pro upnutí, tím se celý proces výroby stává efektivnějším a to se může pozitivně projevit na výsledné ceně součásti. Další výhodou je dosažitelnost lepší kvality povrchu. Přípravky se nejčastěji využívají pro ustavení nebo upnutí obrobku při obrábění, pro vzájemné ustavení a přidržení spojovaných částí, pro vedení nástroje nebo při kontrole přesnosti obrobků [1].

Přípravků je velké množství a dělí se podle rozsahu použitelnosti do čtyř skupin: univerzální, stavebnicové, skupinové a speciální [2]. Univerzální mají nejrůznorodější využití, nejčastěji se používají v malosériové výrobě. Jsou vhodné pro různé velké obrobky stejného druhu. Jsou to například svěráky nebo pro rotační součásti sklíčidla [2]. Stavebnicové přípravky jsou sestavovány z normalizovaných nebo seřiditelných součástí přímo pro konkrétní součást [2]. Skupinové přípravky se skládají z částí stálých a vyměnitelných. Hlavní myšlenkou je, že stálé části, například k upínání, jsou zachovány a vyměnitelné části, jako třeba vodící nebo ustavovací přípravky, jsou nahrazeny. Díky tomu je můžeme použít pro skupinu různých obrobků [2]. Přípravek speciální je unikátně vyroben právě pro jeden konkrétní typ součásti. Nejčastěji se využívá při hromadné výrobě nebo pro velmi nákladné součásti, u kterých se výroba takového přípravku vyplatí. Tento přípravek je jednoúčelový a lze využít pro více operací [2].

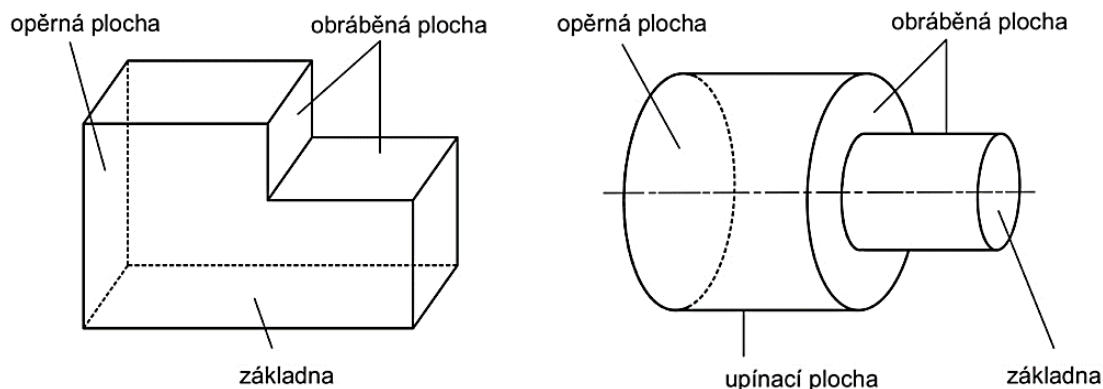
Dle zdroje upínací síly se přípravky rozdělují na ruční nebo mechanické, které se dále dělí na pneumatické, hydraulické nebo pneumaticko-hydraulické. Méně časté způsoby upínání jsou pomocí magnetu nebo vakua. [3]

2.1.1. Ustavení obrobku a konstrukční zásady

Obrobek připravený k obrábění je takový, který se nemůže pohybovat v žádném směru a nemůže se otáčet kolem žádné z os [1]. Součást má tedy v prostoru 6 stupňů volnosti a to znamená, že je potřeba 6 bodů k vymezení jejího pohybu [4]. Neplatí to však u všech výrobních operací. Záleží na technologickém postupu výroby, druhu operace a přesnosti součásti [4]. Platí pravidlo, že vymezujeme jen tolik stupňů volnosti, kolik je nutných k zajištění výroby [4]. Obrobek musí být ve stroji nebo v přípravku ustaven ve stejné poloze, ve které se bude obrábět. Tato poloha musí být zvolena tak, aby byla zajištěna požadovaná přesnost a jakost povrchu obrobených ploch [4].

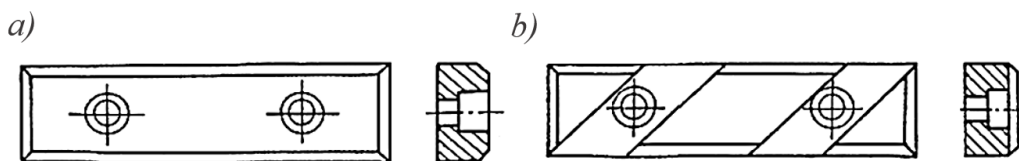
U obrobku rozlišujeme různé typy ploch. Technologická plocha je taková, u které se ztotožňuje konstrukční základna a ustavovací plocha [1]. Základna určuje polohu obrobku vzhledem k ostatním dílům sestavy [1]. Základnou může být plocha rovinná, válcová, kuželová nebo tvarová [4]. Ve zvláštních případech se za základnu volí také osy souměrnosti, nebo u kulovitých součástí bod [4]. Z hlediska použití se plochy dělí na konstrukční, které určují polohu součásti vůči ostatním dílům výrobku, technologické, které určují polohu obrobku na výrobním stroji, a kontrolní, sloužící pro měření rozměrů [4]. Polotovar, který je celkově neobrobený, se upíná za plochu, které se říká hrubá základna. Další je čistá, neboli obrobená základna, která označuje plochu určující funkční polohu součásti pro další operace [4].

Upínací neboli ustavovací plocha je taková, na kterou působí upínací síla a je v blízkosti plochy, která se obrábí. Je důležité, aby byla její velikost dostatečná a byla zajištěna stabilita celého obrobku při obrábění. Při volbě plochy se uvažuje zásada, aby se při jednom upnutí mohlo provést co nejvíce výrobních operací najednou [1]. Opěrná plocha plní funkci dorazu, stýká se na ní plocha obrobku a přípravku [1]. Poslední je plocha obráběná, obr. 2-1.

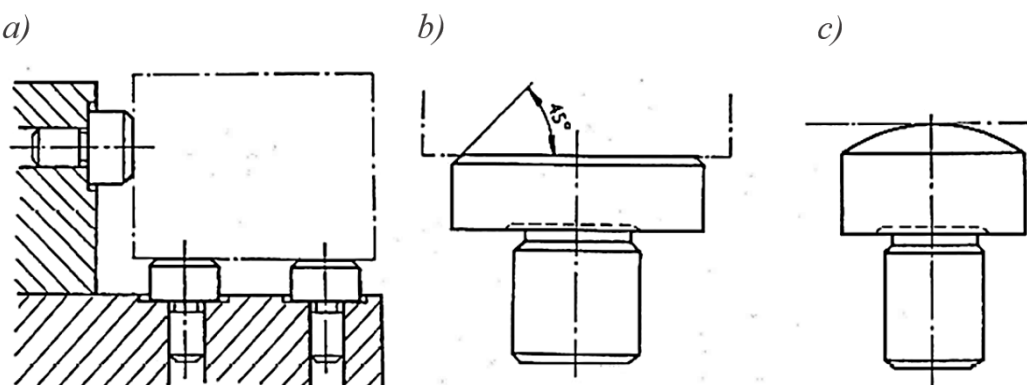


Obr. 2 - 1 Druhy ploch obrobku

Rovinné plochy se ustavují pomocí ustavovacích prvků, kterými jsou lišty nebo opěrky. Používají se k jednoznačnému ustavení obrobku v přípravku a k dosažení dané polohy vzhledem k nástroji [4]. Jejich povrchy jsou tepelně zpracované a broušené, díky tomu jsou odolné proti opotřebení. Z důvodu malé kontaktní plochy s obrobkem jsou vysoce namáhané, a proto se mohou cementovat a kalit [4]. Jsou navrženy tak, aby se snadno čistily a byla dodržena i opakovaná přesnost polohy obrobků při výrobě [4]. Lišty, obr. 2-2, se používají k ustanovení dlouhých a těžkých obrobků, jejichž kontaktní plocha musí být čistě obrobená [4]. Mohou být přišroubované nebo přivařené. Jsou vybaveny drážkami, které usnadňují odvod nečistot [2]. Opěrky, obr. 2-3, jsou tří druhů, a sice pevné, stavitelné a samostavitelné. Mohou být lisované nebo šroubované a vyrábí se s rovnou hlavou pro obrobené plochy nebo s hlavou kulovou pro plochy neobrobené [2].

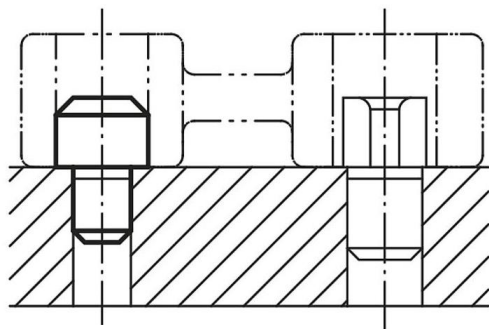


Obr. 2 - 2 Opěrné lišty: a) bez drážky; b) s drážkou [2]

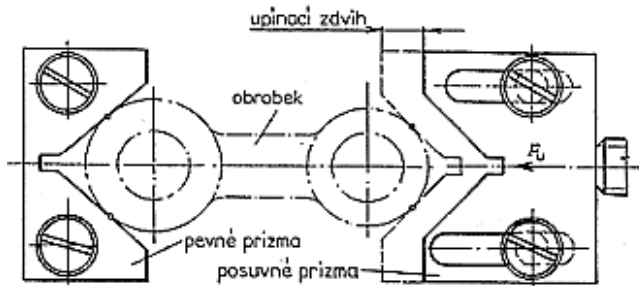


Obr. 2 - 3 Opěrky: a) s obrobkem; b) s rovnou hlavou; c) s kulovou hlavou [2]

Válcové plochy mohou být vnitřní nebo vnější. K ustavení za vnitřní plochu se využívají středící čepy, středící vložky nebo trny. Dvě vnitřní válcové plochy mohou být zajištěny dvěma plnými čepy nebo jedním čepem plným a druhým zploštělým, obr. 2-4. Způsob s plnými čepy zajistí pevné upnutí, ale je nutné tolerovat osovou vzdálenost a výroba musí být přesná. Oproti tomu v případě, kde je jeden čep zploštělý, vzniká vůle a ustanovení součásti je snazší [2]. Pro tělesa upnutá za vnější válcovou plochu se používá prizma. Prizma určuje polohu obrobku stranově i výškově a díky tomu vymezuje 4 stupně volnosti [4]. Úhel rozevření opěrných ploch bývá 90° , ale může se pohybovat v rozsahu 60° – 120° [4]. Používá se kombinace dvou prizmat proti sobě, obr. 2-5, nebo jedno prizma pevné v kombinaci se šrouby. Nevýhodou je malá přesnost způsobená upnutím [2].



Obr. 2 - 4 Středící čep plný a zploštělý [5]



Obr. 2 - 5 Ustavení pomocí dvou prizmat proti sobě [2]

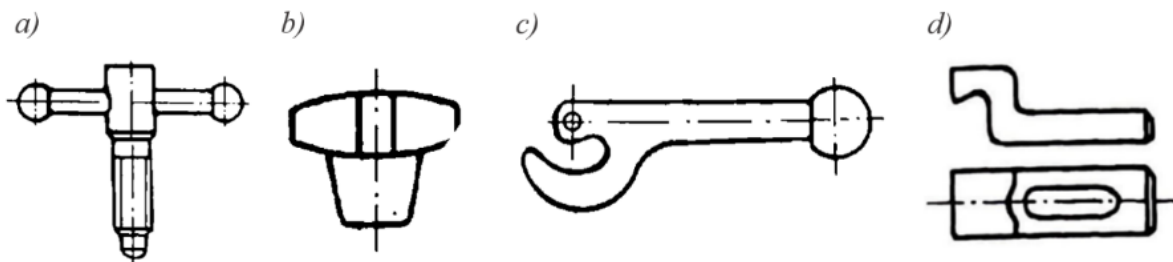
Aby byla zajištěna dostatečně přesná a efektivní výroba, je třeba při konstrukci dodržovat základní zásady. Řezné síly působící od nástroje, kterým obrábíme, by měly působit proti pevným dorazovým plochám. Plocha, kterou je obrobek upnutý, by měla být v co nejmenší vzdálenosti od obráběné plochy. Body dotyku ustavovacích přípravků by měly být od sebe vzdálené co nejvíce, aby se zajistila dostatečná stabilita [4]. Při konstrukci přípravku je nutné pracovat i s takzvanými lokátory [6]. Jsou to v podstatě dorazy, které mají za úkol zajistit přesnou výrobu a také by měly zabránit vložení neobrobeného dílu v jiné pozici, než v jaké se bude obrábět [6]. Při návrhu přípravku musí konstruktér uvažovat tolerování součástí [6]. Tolerance přípravků bývají 20–50 % tolerancí součásti a to z důvodu dodržení požadovaných přesností [6]. Pro zajištění správné polohy obráběné součásti se využívá prostředek zvaný Foolproofing, také známý jako japonská metoda Poka-Yoke. Jedná se o systém, který má odstranit z výroby vadné kusy, které by vznikly neúmyslně, nepozorností pracovníka.

Hlavním úkolem přípravku je zajistit snadné a rychlé upínání a výměnu obrobku za jiný kus [1]. Při výměně součástí ve stroji může dojít ke kontaktu pracovníka s přípravkem, proto je nutné, aby byl přípravek bezpečný a nedošlo k poranění. Tomu se předchází například zaoblením hran přípravku nebo omezenou hmotností, u ručních přípravků má hmotnost být nejvýše 15 kg [1]. Části přípravků, které budou oproti jiným výrazně více namáhané, se konstruují jako výměnné a při opotřebení se vymění pouze jedna část, čímž se šetří finance [1]. Ze stejného důvodu se využívají převážně normalizované přípravky.

Během kótování jsou pro konstruktéra podstatné osy součástí, pro technologa a kontrolora jsou zase výhodnější plochy určující polohu součástí [4]. Proto v průběhu kótování součásti musí konstruktér předepisovat geometrické tolerance vztažené k základnám. Základny mohou být tvořeny jedním nebo více základními prvky, to jsou například hrany, plochy nebo díry [7]. Může se ale také využívat náhradních základních prvků, což jsou co nejpřesnější skutečné povrchy dotýkající se základních prvků [7]. Na jedné součásti je možné vyznačit i více základen. Rozlišují se základny primární, sekundární a terciální. Pořadí se volí podle jejich důležitosti z hlediska funkce součásti [7]. Posloupnost základen ovlivňuje geometrické úchytky, jinými slovy tedy záleží na pořadí základen součásti. Řazení základen také ovlivňuje ubývání stupňů volnosti součásti [7]. Primární základna odebírá 3 stupně volnosti, sekundární odebírá další 2 a terciální základna odebírá poslední šestý stupeň volnosti a tím součást ustavuje k účelům výroby nebo kontroly [7]. Konstruktér tedy postupuje podle zvolených základen, ke kterým vztahuje jednotlivé kóty.

2.1.2. Dostupné upínací přípravky na trhu

Upínacích přípravků je na trhu celá řada. Musí na obráběnou součást působit silami o dostatečné velikosti a směru, aby nedošlo k uvolnění obrobku [4]. Lišit se mohou konstrukcí, velikostí upínacích sil, zdvihem nebo typem ovládání [1]. Můžeme je rozdělit do skupin podle jejich hlavní funkce na šrouby, obr. 2-6a), utahovací matice, obr. 2-6b), podložky, opěrky a rozpěrky, přípravky k utahování obr. 2-6c), upínky obr. 2-6d), čepy a kolíky, vodící a vrtací pouzdra [8].



Obr. 2 - 6 Upínací přípravky [8]

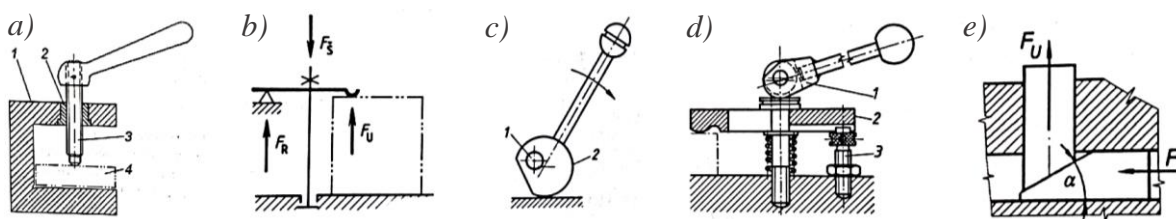
Podle síly, kterou upínáme obrobek, můžeme prvky rozdělit na mechanické, pneumatické, hydraulické a ostatní [1]. Výhodou pneumatického a hydraulického upínání oproti ručnímu je rychlost upínání, větší a zároveň regulovatelná upínací síla, které se dosáhne pomocí tlaku vyvolaného médiem. Další výhodou je snadná obsluha nebo možnost upínání na více místech najednou [1].

2.1.2.1. Mechanické

Hlavní částí mechanických upínacích přípravků jsou již zmíněné šrouby, matice, upínky, ale také vačky, páky, upínací trny nebo rozpěrné kroužky [1]. Porovnání výhod a nevýhod je popsáno v tabulce 1 a jednotlivá schémata upínacích prvků na obr. 2-7.

Tabulka 1 Porovnání mechanických upínacích prvků

	Upínací prvek	Výhody	Nevýhody
a)	ŠROUB A MATICE	jednoduchost, značné upínací síly, nízká cena	dlouhé upínací časy
b)	UPÍNKY	lze měnit velikost i směr upínací síly	velké rozměry
c)	VÝSTŘEDNÍKY	snadná, levná výroba, rychlé upnutí	malý pracovní zdvih
d)	VAČKY	větší pracovní zdvih než výstředníky	dražší výroba
e)	KLÍNOVÉ MECHANISMY	snadná výroba, malé rozměry	velké ztráty třením



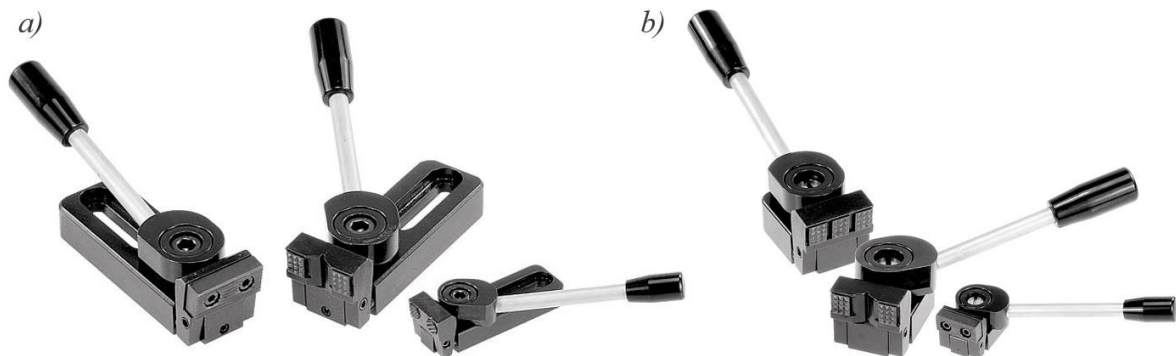
Obr. 2 - 7 Mechanické upínací prvky [1]

Pro horizontální upínání součástí je vhodný středící upínač obr. 2-8. Jedná se o svěrák, který se pohání mechanicky pomocí šestihřanné kličky. Je vhodný pro upínací systémy nulového bodu nebo pro upevnění na strojní stůl [9]. Jedna jeho čelist je pevná, druhá je volná a je vyrobená v jednom kusu s vřetenovou maticí. Díky jeho konstrukci je zajištěn dostatečný odvod třísek a chladiva po obrábění [9]. Základní těleso a uchycení čelistí jsou vyrobeny z cementační oceli, vřeteno je vyrobeno z oceli vysokopevnostní [9]. Uchycení bývá kalené a broušené. Středící přesnost přípravku je $\pm 0,02$ mm [9].



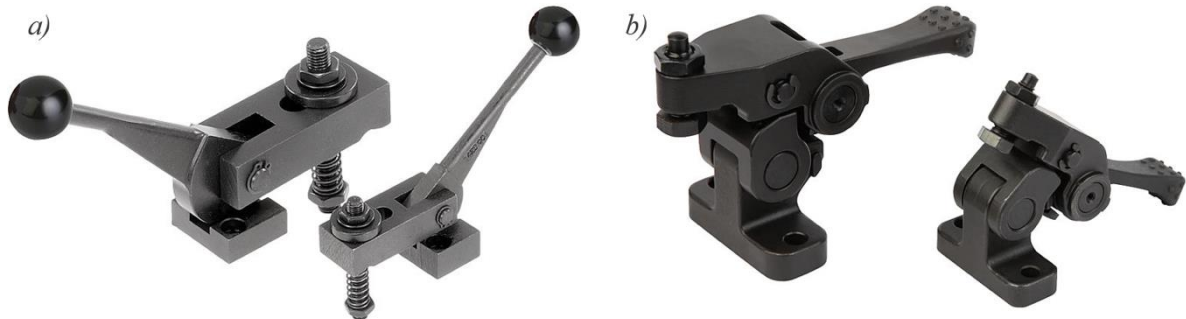
Obr. 2 - 8 Středící upínač [9]

Přítlačné upínače jsou rychloupínací prvky, které využívají excentricitu. Mají výklopnou čelist, díky které se při utahnutí pákou s výstředníkem upínaná součást přitlačí současně k dorazům i podložce [9]. Regulovatelný upínač, zobrazený na obr. 2-9a), lze pomocí dorazového šroubu a středícího pouzdra polohovat a upínat na modulární rastrové desky [9]. Oproti tomu upínač pevný, který je na obr. 2-9b), je mnohem méně variabilní. Jsou vyráběny z oceli a bývají následně cementovány a bryňrovány [9]. Těmito přípravky lze vyvinout upínací sílu až 3800 N [9].



Obr. 2 - 9 Přítlačný upínač: a) regulovatelný; b) pevný [9]

Přípravků pro upnutí součástí, které je nutné zajistit silou působící vertikálně, je celá řada. Možný je excentrický upínač s koncovým upínáním, obr. 2-10a) [9]. Je vyroben z ušlechtilé oceli a bývá brynýrován, stejně jako další možný přídržovač výkyvný s vačkovou pákou, obr. 2-10b). Výhoda výklopných přídržovačů spočívá v jednoduchosti vkládání a vyjímání obrobků



Obr. 2 - 10 Vertikální upínač: a) excentrický; b) výkyvný [9]

[9].

Vertikálně lze obrobky upínat také například pomocí upínacího háku s nákrůžkem a zesilovačem upínací síly, obr. 2-11. Díky zesilovači lze upínací sílu zvýšit až o 75 % oproti klasickým upínacím pákám [5]. Dosažení potřebné upínací síly je tvořeno pomocí axiálního jehlového ložiska, které je zabudované a vyvozuje velmi malé tření [5]. V neovládaném stavu je úchyt zaklesnutý ozubeným věncem do závitové vložky, nadzvednutím úchytu jej lze přemístit do jiné polohy a silou pružiny opět zaklesnout do ozubeného věnce [5]. Základní těleso a upínací hák jsou vyrobeny ze zúšlechtilé oceli, úchyt ze zinkového tlakového odlitku [5].

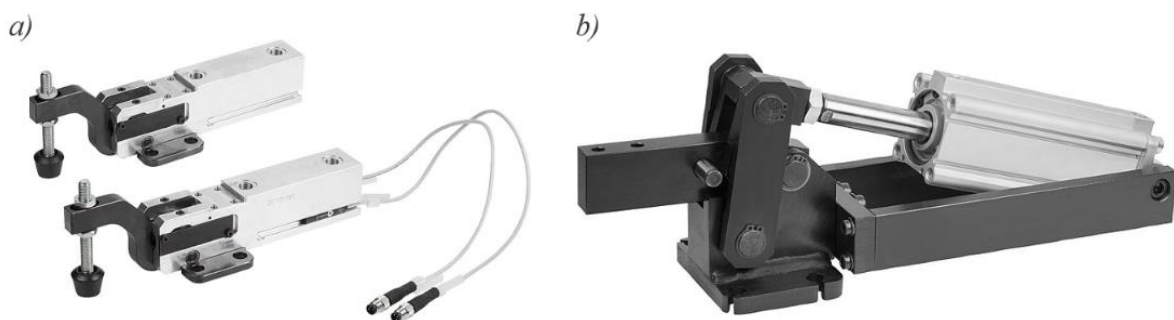
2.1.2.2. Pneumatické

Zdrojem tlaku u pneumatických upínacích zařízení je stlačený vzduch nejčastěji o tlaku 0,4–0,6 MPa [1]. Pro provoz je nutná kompresorová stanice, která dodává stlačený vzduch a z tohoto důvodu je pneumatické upínání vhodné pro větší provozy, pro které se stanice vyplatí pořizovat [1]. Výhodou oproti hydraulickému upínání je nižší cena zařízení, ale nevýhodou je nákladný provoz pomocí stlačeného vzduchu. Pneumatické upínače lze oproti ručním upínačům ovládat současně, v určitém pořadí, nebo je možné řídit upínače z různých míst buď jednotlivě, či skupinově [9]. Upínat lze jak v poloze vertikální, tak i horizontální.



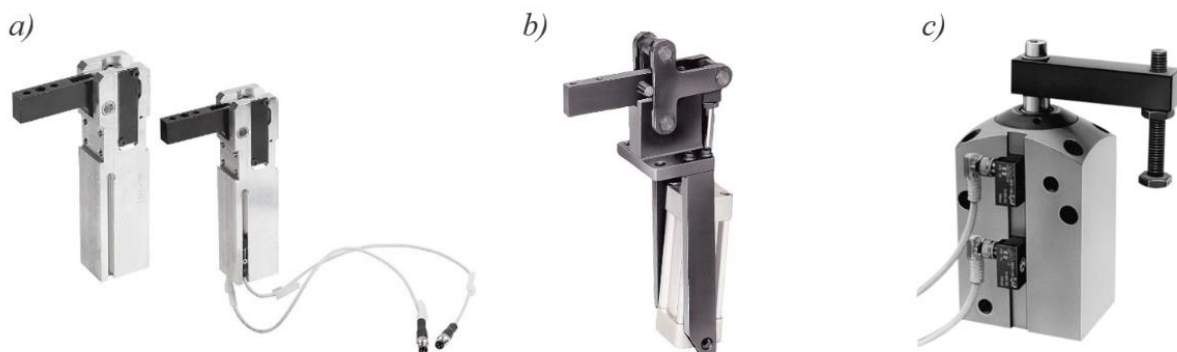
Obr. 2 - 11 Upínací hák s nákrůžkem a zesilovačem upínací síly [5]

Mezi upínače vhodné k vodorovné montáži patří miniaturní upínač k vodorovné montáži, obr. 2-12a). Vyznačuje se malými rozměry, přesností polohování a lehkou konstrukcí [9]. Díky integrované lomené páce na upínacím ramenu je zaručena upínací síla i v případě výpadku elektrického proudu nebo dodávky stlačeného vzduchu [9]. Miniupínače jsou bezúdržbové, a to převážně díky trvalému mazání a speciálním ložiskovým pouzdrům [9]. Mohou se provozovat se suchým vzduchem neobsahujícím olej [9]. Vyrábí se ve dvou variantách, bez nebo se snímačem koncové polohy, který bývá magnetický [9]. Oproti tomu pneumatické upínače v těžkém provedení, obr. 2-12b), jsou o poznání robustnější. Dlouhá životnost je zaručena pomocí dvojčinného pneumatického válce [9]. Vyrábí se z ušlechtilé oceli a jsou bryněrovány [9]. Spotřeba vzduchu při 6 barech na dvojitý zdvih se pohybuje v rozmezí od 1dm³ do 4,3 dm³ [9]. Podle zvolené varianty dokáže vyvodit upínací síly okolo 3 kN při zdvihu válce 100 mm [9].



Obr. 2 - 12 Pneu. upínače k vodorovné montáži: a) miniaturní; b) těžké provedení [9]

Druhou skupinou jsou upínače pro montáž vertikální. Miniaturní upínače, obr. 2-13a) mají podobné vlastnosti jako ty vyrobené pro vodorovnou montáž. Upínače kolmé s vertikálním nastavbovým válcem v těžkém provedení, obr. 2-13b), jsou vhodné pro montáž do speciálních strojů a přepravních systémů [9]. Díky robustní konstrukci je u nich zaručena dlouhá životnost. Pneumatická výkyvná svorka, obr. 2-13c), je vhodná pro aplikace vyžadující pouze malé upínací síly [10]. Při natlakování prvku stlačeným vzduchem se výkyvné rameno pootočí o 90° a poté se spustí do upínací polohy. Poloha upnutí a odepnutí obrobku je sledována pomocí instalovaného magnetického pístu, nemáme ovšem informaci o poloze upínacího ramene [10]. Celá svorka je korozivzdorná, vodící pouzdro, píst a příruba jsou vyrobeny z tvrzeného hliníku [10].

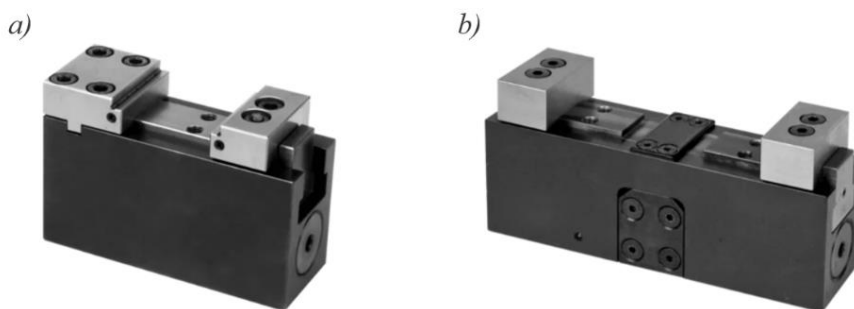


Obr. 2 - 13 Pneu. upínače vertikální: a) miniaturní; b) těžké provedení; c) výkyvný [9],[10]

2.1.2.3. Hydraulické

Zdroj tlaku u hydraulických upínacích zařízení může být samostatný nebo součástí pracovního stroje. Tlak dosahuje hodnot 6–10 MPa [1]. Výhodami oproti pneumatickému upínání jsou větší upínací síly, menší rozměry zařízení a díky špatné stlačitelnosti kapalin větší spolehlivost a tuhost upnutí [1].

Jedním ze způsobů hydraulického upínání je pomocí čelistí. Je možné upínat do svorky s pevnou čelistí, obr. 2-14a). Je vhodná pro upínání rozměrově stálých obrobků a zejména pro sériovou výrobu v automatizovaném režimu [10]. Skládá se z malého základního těla s integrovaným hydraulickým válcem, který pohání pohyblivou čelist. Maximální upínací síla, které je možné dosáhnout, je 9,5 kN, maximální provozní tlak je 250 barů [10]. V některých případech je výhodnější využít upínání koncentrické a k tomu vhodnou upínku, obr. 2-14b), která se skládá ze základního tělesa a ze dvou integrovaných hydraulických válců [10]. Síly pístů jsou přenášeny prostřednictvím řízených spojovacích článků na dvě upínací saně, takže je dosaženo středové synchronizace [10]. Maximální upínací síla, které je možné dosáhnout, je 6,5–9 kN, maximální provozní tlak je 250 barů [10].



Obr. 2 - 14 Hydraulické upínky: a) s pevnou čelistí; b) koncentrické upínání [10]

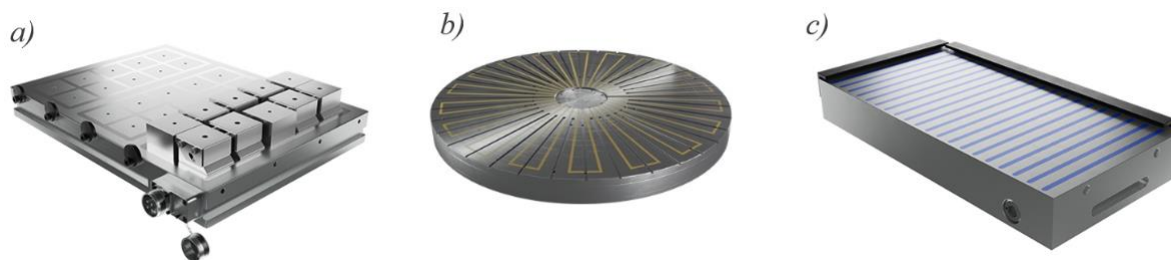
Součásti, které je třeba zajistit silou působící svisle dolů, se mohou upnout například pomocí otočné svorky se závitem obr. 2-15a). Hlavní výhodou této svěrky je otočné rameno, které se otáčí o 90° a díky tomu dokáže zajistit dostatečně velký prostor pro snadné vložení nebo vyjmutí obrobku. Pracuje na principu tahového válce, přičemž část celkového zdvihu je využita k výkyvu pístu. Provozní tlak se pohybuje okolo 500 barů [10]. Jednodušší a levnější alternativou je miniaturní svěrka s kovovou stírací hranou, obr. 2-15b). Je vhodná pro tenkostěnné obrobky a malý pracovní prostor. Rameno není schopné se otáčet, ale vyklápí se do takové míry, že je i tak velmi snadné obrobek vyjmout. Speciální kinematika umožňuje upínat téměř bez bočního zatížení obrobků [10]. Maximální provozní tlak bývá 70 barů [10].



Obr. 2 - 15 Hydraulické upínky: a) otočné svorky se závitem; b) mini svěrka [10]

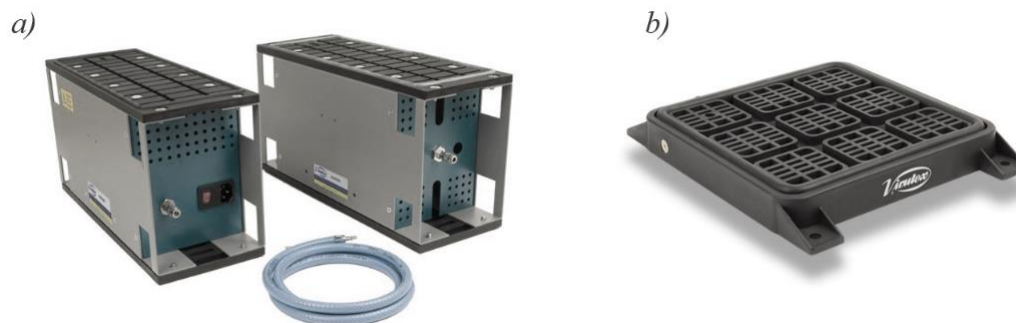
2.1.2.4. Ostatní

Magnetické upínání je vhodné zejména pro tenké obrobky, které se brousí nebo frézují. Výhodou je možnost obrábění obrobku z pěti stran [11]. Snadno upnutelné jsou oceli s nízkým obsahem uhlíku, naopak nevhodné jsou oceli legované a litiny [1]. Rozlišujeme upínače elektromagnetické, elektropermanentní magnetické a s permanentními magnety [1]. Elektropermanentní magnetický upínač Mastermill 70, obr. 2-16a), je vhodný i pro náročné frézování nebo vrtání středních nebo větších obrobků [11]. Dokáže vyvinout upínací sílu 170 N/cm^2 , minimální velikost obrobku je $(150 \times 150 \times 17) \text{ mm}$ [11]. Po obvodu magnetu je praktické odsazení pro upínky, na magnetu je také dostatek místa pro průchozí upínací otvory [11]. Pro upínání rotačních obrobků kruhového nebo válcovitého tvaru je vhodný elektromagnetický upínač s radiálním uspořádáním pólů Circu EM, obr. 2-16b). Instaluje se na otočných stolech brusek a soustruzích. Díky přídržné síle až 120 N/cm^2 a možnosti její regulace je tento upínač vhodný i pro tenké obrobky [11]. Pro výrobní operace, jako jsou frézování, vrtání, hoblování či broušení, je vhodný permanentní magnetický upínač Neomill Compact, obr. 2-16c). Díky vysoké upínací síle až 160 N/cm^2 a stabilitě je vhodný pro upínání i relativně malých obrobků, $25 \times 25 \times 6 \text{ mm}$, a to i pro obrábění s použitím chladicí kapaliny [11].



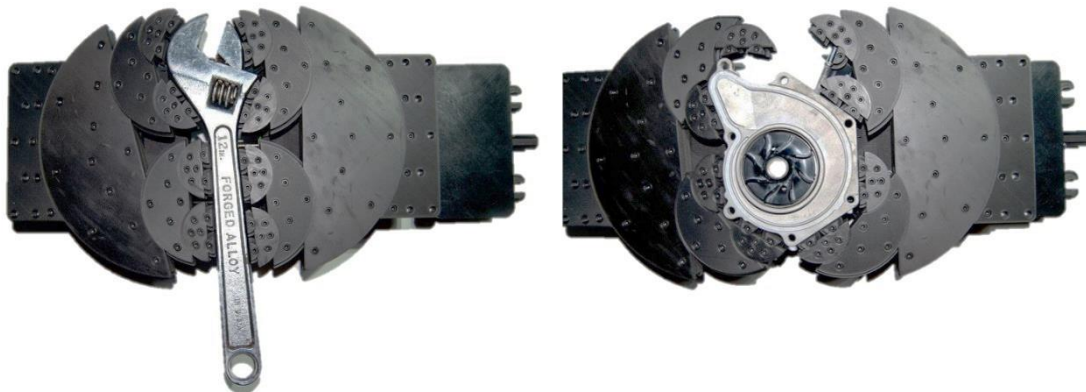
Obr. 2 - 16 Magnetické upínání: a) elektropermanentní; b) elektro; c) permanentní [11]

Další možností je upínání pomocí vakua. Tento systém patří do skupiny upínačů ovládaných stlačeným vzduchem [12]. Může se dodávat jako kompletní upínací zařízení, obr. 2-17a), které je schopné upínat obrobky až do 95 kg, pracovní tlak média je 4–6 barů [12]. Je umožněno vodorovné i svislé upínání obrobků různých materiálů. Pro obrobky malých rozměrů s hladkými a neporézními povrchy je možné využít samostatné vakuové desky, obr. 2-17b) [12]. Přívod vzduchu se uskutečňuje pomocí rychlospojky [12]. Výhodou je malá velikost a nenáročnost zapojení a díky tomu je vhodný i pro použití mimo dílnu. Přídržná síla činí 800 g/cm^2 a tlak média je 6 barů [12].



Obr. 2 - 17 a) vakuové upínací zařízení; b) vakuová deska [12]

Pro upínání tvarově složitých, nepravidelných součástí je vhodné upnutí do takzvaného Fraktálního svěráku, obr. 2-18. Nedokáže vyvinout tak velké síly jako klasický svěrák, a proto se používá pro operace, které nevyžadují tak pevné zajištění obrobku [13].



Obr. 2 - 18 Fraktální svěrák [13]

2.1.3. Výrobní obráběcí centra

Na trhu je velké množství obráběcích center od různých výrobců vhodných pro operace, jako je soustružení, frézování, broušení a další. Liší se také podle komplexnosti výroby. Obráběcí centra mohou být například čtyř-osá nebo pěti-osá, horizontální nebo vertikální [14].

CNC vertikální centrum i-CUT4500, viz obr. 2-19, je vhodné pro práci v nepřetržitém provozu ve čtyřech osách. Rozměry pracovního stolu jsou (850 x 460) mm. Součástí je zásobník až na 21 nástrojů [14].



Obr. 2 - 19 CNC vertikální centrum i-CUT4500 [14]

Alternativou je čtyř-osé horizontální CNC vysokorychlostní obráběcí centrum HS4000II, viz obr. 2-20 [14]. Obsahuje zabudovaný šroubový dopravník třísek, je vysokorychlostní a velmi přesné. Má dva pracovní stoly, což znamená, že během obrábění na jednom z nich má obsluha přístup k druhému stolu a může vyměnit obráběnou součást. Rozměry pracovních stolů jsou 2x (400 x 400) mm [14]. Součástí je zásobník až na 40 nástrojů [14].



Obr. 2 - 20 CNC vysokorychlostní horizontální centrum HS4000II [14]

Obráběcí centrum NH 4000 DCG, viz obr. 2-21, je další z možných čtyř-osých horizontálních center [15]. Maximální možný průměr obrobku je 630 mm a výška 900 mm [15]. Je možné provoz zautomatizovat, například pomocí výměníku nebo skladování palet [15].



Obr. 2 - 21 Obráběcí centrum NH 4000 DCG [15]

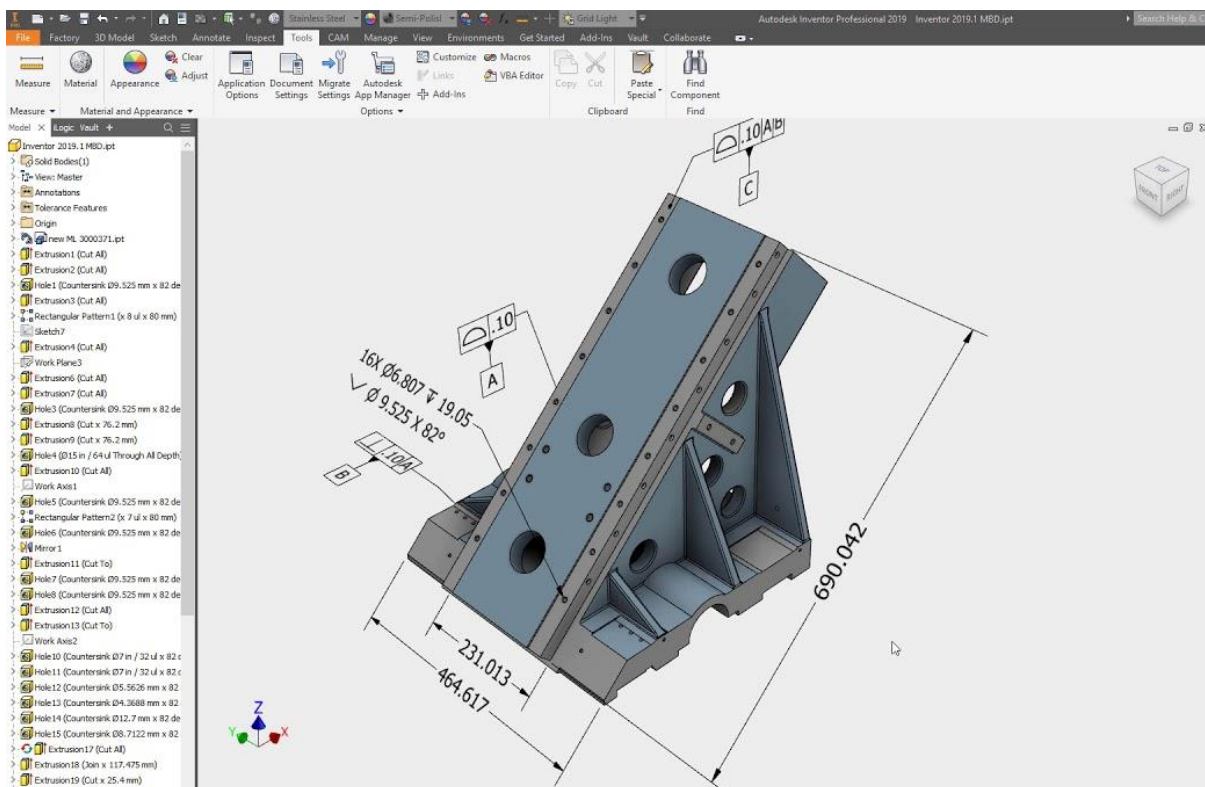
Nejvíce univerzální stroje pro různé obory jsou pěti-osá obráběcí centra jako například NT 4200 DCG, viz obr. 2-22 [15]. Na stroji lze soustružit i frézovat, je vhodný i pro hromadnou výrobu nad 100 000 kusů. Je možné provoz zautomatizovat pomocí podavače tyčí, portálového nakladače nebo robota [15]. Maximální možný průměr obrobku je 660 mm a délka 1596 mm [15].



Obr. 2 - 22 Pěti-osé obráběcí centrum NT 4200 DCG [15]

2.2. Bezvýkresová dokumentace ve strojírenství

Rozvoj technologií přinesl nejen do strojírenství práci s 3D virtuálním prostorem, který umožňuje okamžitý vhled ke konstrukci součástí. V praxi se často model vytvořený v tomto prostoru dále upravuje a popisuje pouze ve 2D, tím vzniká klasický technický výkres. Dnešní softwarové systémy umožňují přidat 3D poznámku přímo k dílu místo tvorby 2D výkresů, které díky tomu nejsou potřeba [16], obr. 2-23. To znamená, že vzniká bezvýkresová dokumentace, která je jednou z nejlepších variant, jak zajistit trvalou aktuálnost dat o konstrukci, kvalitě povrchu nebo tolerancích součástí. Firmy ale odrazuje velmi finančně náročný a komplexní přechod na MBD (Model-Based Definition), který zahrnuje faktory jako odstranění technického kreslení, správu dat, hardwarovou a softwarovou infrastrukturu [16]. Zavedením bezvýkresových dokumentací do provozu by se měla snížit tvorba i údržba dat nebo zjednodušit generování řídicích programů pro obráběcí stroje. Tím se snižují náklady na celkovou výrobu součásti [16].



Obr. 2 - 23 Model součásti popsáný pomocí MBD [17]

2.2.1. Aktuální stav používání bezvýkresové dokumentace

V dnešní době je nejrozšířenějším přenosem informací o součásti klasická 2D výkresová dokumentace. 2D výkres je nosičem informací o tvaru, rozměrech a požadavcích na výrobu součásti. Pokrokem oproti minulým letům je, že výkresová dokumentace se uschovává primárně v elektronické podobě. Díky tomu se ušetří čas a s tím spojené náklady na konstruktéra, který nemusí celý výkres vypracovávat znovu, ale může pouze modifikovat nebo upravit výkres stávající.

Tvorba výkresu probíhá několika hlavními způsoby. Jedním z nich je konstrukce ve 2D prostoru, kde se musí veškeré pohledy, detaily a další náležitosti konstrukčního kreslení vytvořit manuálně. Při úpravách takto vzniklých 2D dokumentací musí být každý výkres, který obsahuje upravovanou součást, přepracován zvlášť a to může být velmi časově náročné. Právě rychlost úprav je jednou z hlavních výhod bezvýkresové dokumentace.

Dalším způsobem, jak dnes vznikají výkresy součástí nebo celých sestav, je generování výkresu z 3D modelu. Jednotlivé pohledy součásti jsou přeneseny do 2D, kde se dále doplňují o rozměrové kóty, informace o kvalitě povrchu a mnoho dalších náležitostí potřebných k výrobě. Hlavním pozitivním efektem tohoto způsobu tvorby výkresů je zrychlení úprav součástí. Provedené modifikace součásti se automaticky propíší i do vygenerovaných výkresů. Stále se ale musí popisovat informace, které jsou v modelu součásti již nadefinované, jako například její rozměry a tvar. I přes-to je tento postup tvorby výkresů v dnešní době nejrozšířenější.

Tvorba bezvýkresové dokumentace není v dnešní době příliš používána. Hlavními důvody, proč se jí firmy nechtějí věnovat, bývá zdánlivá časová náročnost a složitost tvorby dokumentace. Vytváření se může zdát zpočátku zdlouhavé, ale díky ušetření času při úpravách součástí bývá výsledný čas strávený prací s modelem kratší. Díky tomu, že se pracuje pouze s modelem, nemůže nastat rozpor informací mezi modelem a výkresem součásti jako u předchozího způsobu. V praxi bývá až 25 % neshodné dokumentace [18]. Nepříznivě také působí celkový přechod na tvorbu bezvýkresové dokumentace.

2.2.2. Rozbor posuzovaných dat

MBD (Model-Based Definition) umožňuje automatizaci navazujících procesů jako výroby a kontroly součásti [16]. Znamená to připojení 3D poznámek k CAD modelu součásti [16]. Propojení mezi obráběcím zařízením a PMI informacemi popisují normy ASME Y14.41 (American Society of Mechanical Engineers) [19] a z ní odvozená ISO 16792 (International Organization for Standardization) [20].

PMI (Product & Manufacturing Informations) jsou 3D anotace, které jsou připojeny k modelu součásti a mohou sloužit jako nosiče čitelné jak strojem, tak i člověkem ve výrobě [16]. 3D model lze komplexně popsat pomocí PMI rozměrových kót s přiřazenými rozměrovými tolerancemi, pomocí geometrických tolerancí tvaru a polohy i prostřednictvím výrobních informací jako kvalita povrchu či technologických poznámek [18]. Postupuje se obdobně jako při tvorbě klasického výkresu. Vytvoří se hlavní pohled součásti, na který se umístí PMI do tří ortogonálních rovin [16]. Díky tomu je celý popsaný model stále dostatečně dobře čitelný. Pro detailnější popis je možné využít funkci 3D řezů nebo výsečí modelů [18]. PMI lze odkazovat na hrany, plochy, pomocné geometrie, jako jsou osy nebo obráběcí prvky, ale i na celý díl [16]. PMI nesoucí informaci o povrchu se musejí přiřazovat na konkrétní plochy, ale pro zjednodušení a snazší čitelnost výkresu lze zvolit, podobně jako u 2D výkresu, hlavní drsnost povrchu nebo povrchovou úpravu a tu nastavit pro celou součást. Plocha, pro kterou tato konfigurace neplatí, se označí a pomocí anotace se popíše, jakým způsobem se kvalita povrchu plochy liší od zbytku součásti [16]. PMI informace je možné definovat již v průběhu konstruování jednotlivých dílů. Lze tak celkový proces urychlit a zjednodušit finální fázi tvorby 3D modelu [18].

V klasických provozech bývá několik výrobních dokumentací v podobě výkresu roztroušeno po celé společnosti. V okamžiku, kdy je potřeba vyráběnou součást upravit, musí se veškeré nosiče informací, v tomto případě 2D výkresy, stáhnout z provozu a nahradit aktuální verzí. Při zařazení bezvýkresových dokumentací do provozu se celý tento systém zdigitalizoval. Zavedl se termín 3D-Master, který označuje centrální zajištění nejaktuálnějšího nosiče informace [16]. V případě jakékoliv změny na modelu nebo revize součásti se musí zajistit, aby se ke všem výstupům výrobního nebo kontrolního řetězce dostala právě ta naposledy opravovaná varianta [21]. Kromě 3D-Masteru lze využít i správu dat pomocí DFP (Drawing-Free Process), kde se všechna data ukládají v digitální podobě a obsahují veškeré informace o geometrii včetně PMI [16].

Systém MBSE (Model-Based Systems Engineering) je další produkt pro digitální modelování. Umožňuje provádět analýzu modelování a předchází tak vzniku nesrovnalostí, ale také vytváří společný přístup k digitálnímu dokumentu pro všechny povolané osoby [22]. Společné modelování zlepšuje analýzu systému a snižuje počet defektů [22].

2.2.3. Využití PMI informací

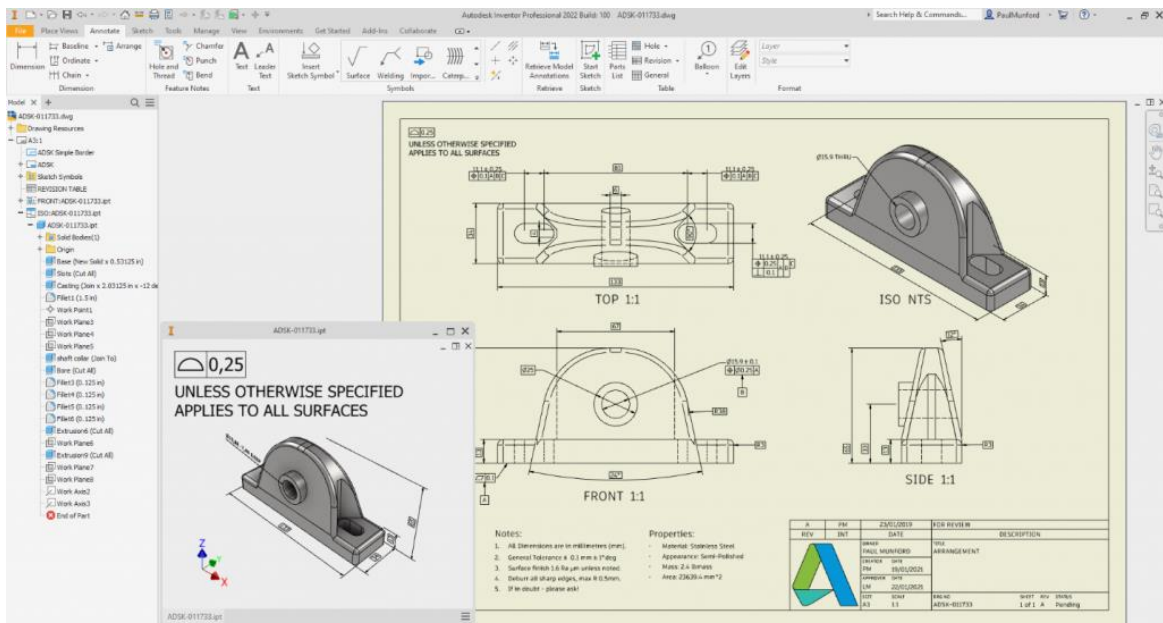
PMI data slouží k přenosu sady informací potřebných pro výrobu dílu přímo z 3D modelu, ale i v dalších odvětvích navazujících na konstrukci. Data se mohou využívat ke komunikaci se zákazníkem nebo dodavatelem a to nejčastěji prostřednictvím vizualizace obsažené v prezentaci produktu nebo v návodu či montážní příručce [18]. PMI data jsou také vhodná pro toleranční analýzu, pomocí které se vyhodnocuje uložení sestav. Jedním z dalších způsobů využití je tvorba výkresů. V tomto případě nepředstavuje výkres hlavního nositele informace, tím zůstává stále 3D model, ale slouží jako komunikační prostředek. Je možné přenést informace do výkresu při tvorbě výkresových pohledů, poté na výkres doplnit kóty podle potřeby. Toho se může využívat například v malých výrobcích, kde je výroba podle 2D výkresu jednodušší [18].

Další využití je v navazujících procesech jako CAM. Díky FBM (Feature Based Machining), což znamená obrábění na základě konstrukčních prvků, systém umožňuje vytvářet návrhy výrobních operací pouze z modelu a PMI informací [18]. Celý princip spočívá v rozpoznávání prvků a návrhu, založených na vlastnostech součásti [23]. Největším přínosem je automatické generování řídicích programů [16]. Využívá se funkcí obrábění, které jsou již standardizovány nebo automatizovány. Požadavky na automatické generování kódů k obráběcím procesům jsou velmi vysoké, protože jakákoli chyba může vést k závažnému střetnutí nástroje s obrobkem [16]. Úplné vyloučení kolize nelze realizovat, a proto musí být vždy provedena kontrola pomocí simulace [16]. Veškeré informace o produktu, provozu a zdrojích nezbytných pro výrobu obsahuje UDF (User-Defined Feature) [24].

Důležitým aspektem je sdílení PMI informací elektronicky mezi jednotlivými odvětvími vývojového cyklu. CAD nebo DMU (Digital Mock-up) systémy mají odpovídající nástroje, které díky podpoře PMI navzájem podporují sdílení informací buď vlastními formáty, nebo pomocí univerzálních formátů, jako jsou JT nebo STEP (AP242) [18]. Takto se mohou sdílet pouhá diskrétní data nebo kooperující subjekty, které fungují na bázi řízené databáze dat [18]. Ve druhém případě se využívají systémy pro správu dat, které umožňují přístup k PMI informacím komukoliv z jedné společnosti nebo tým, kteří mají přístup do databáze, aniž by museli využít DMU nástroje [18]. Pro případ, že takto nelze přístup získat, je nutné využít DMU prohlížeč. Pomocí prohlížeče JT2Go může koncový uživatel prohlížet PMI informace ve 3D, provádět měření či řezy JT daty. Lze také převést data do formátů pro prohlížení 2D výkresů, jako jsou DWG nebo CGM. Dalším vhodným prohlížečem je Xpress Review, který konstruktérovi umožňuje, již při konstrukci rozhodnout, zda bude možné v zaslaných datech měřit rozměry, provádět řezy nebo přepisovat poznámky. Také může zakázat ukládání výstupů na cizích zařízeních nebo spouštět tisk. Proto je ideálním nástrojem pro ochranu vlastnictví konstruktéra [18]. Obecně platí zásada, že by historie návrhu součásti neměla být dostupná externí osobě [16].

2.2.4. Výhody bezvýkresové dokumentace

Přestup na tvorbu bezvýkresové dokumentace přináší několik výhod. Jednou z hlavních je urychlení a usnadnění tvorby výstupních informací o součásti. Díky skutečnosti, že zobrazení 3D modelů s PMI probíhá na počítači, tabletu nebo na jiném elektronickém zařízení, které má schopnost v modelu odměřovat, není nutné kótovat délkové rozměry [16]. Stačí pouze vynášet údaje důležité pro dosažení požadované kvality povrchu, na rozdíl od 2D výkresů součásti, kde musíme daný díl nakreslit často i ve více pohledech, doplnit o kóty, tolerance a další potřebné informace nutné pro výrobu, viz obr. 2-24. Informací, které není třeba na model vynášet, bývá až 75% z celkového počtu údajů [18]. Jsou to například hlavní rozměry, které podléhají obecným tolerancím podle předepsané normy, nebo ty, které lze měřit pomocí geometrie [16]. Je možné vynášet i tyto nepotřebné kóty a to právě z důvodu eliminování měření rozměrů, které by v případě ruční výroby součásti pracovníka zdržovalo. Rozhodnutí, které rozměry kótovat a které ne, záleží na konkrétní firmě a na daném postupu výroby. Kontrolní rozměry, délkové nebo geometrické tolerance, jakosti povrchu nebo poznámky k výrobě jsou informace, které ale na model musíme vynášet vždy [18].



Obr. 2 - 24 Model součásti a 2D výkres [25]

Ze studie proveditelnosti zavedení bezvýkresové dokumentace do provozu, která se prováděla pro firmu Siemens NX, vyplývá, že neexistuje žádná informace tradiční 2D výkresové dokumentace, která by se nedala nahradit kótou nebo poznámkou PMI v dokumentaci bezvýkresové [16]. Dalším poznatkem studie je, že obavy zákazníků ohledně složitosti přestupu na 3D výkresy a zdlouhavého vytváření PMI jsou bezdůvodné, protože aplikace PMI umožňuje ušetřit asi 30 % času potřebného k vytvoření technického výkresu [16].

Další významnou výhodou je schopnost automaticky vytvářet řídicí programy pro obráběcí stroje nebo pro souřadnicové měřicí přístroje [16]. Díky tomu, že dnešní standardy GPS (Geometric Product Specification) jsou definovány pomocí pravidel, lze celý proces optimalizovat a automatizovat [16]. V důsledku toho se zkracuje čas potřebný pro vytvoření NC programu a také se eliminují chyby v kódu, případně chyby ve výrobě vzniklé prací programátora.

3. ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1. Analýza problému

Z popisu současného stavu poznání vyplývá, že na trhu je velké množství univerzálních upínek. Ty jsou vhodné pro upínání jednoduchých součástí nebo pro výrobu malého počtu kusů. V případech, kde se jedná o výrobu většího počtu kusů, je výhodné zhotovit speciální přípravek na konkrétní součást, který ušetří čas a zjednoduší výrobu.

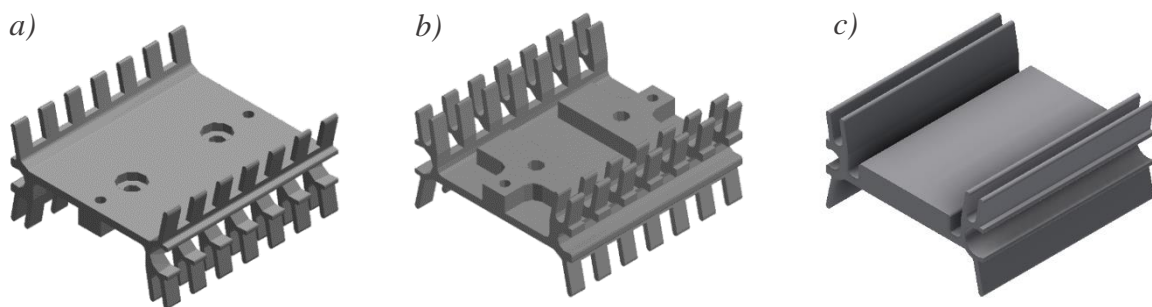
Polotovar obrobku pro výrobu je extrudovaný profil, který má výsledný tvar obvodu součásti a je nařezaný na odpovídající délku. Díky tomu ušetříme čas a náklady na obrábění obrysu a čela součásti. Pro kusovou výrobu nemusí být extrudovaný profil vždy výhodný, protože může výslednou součást prodražit. V tomto konkrétním případě ho využít můžeme z důvodu, že uvažujeme výrobu 5 000 kusů a také pro poměrně složitý tvar součásti. Výroba jiným způsobem by byla velmi složitá a časově náročná. Ušetří se tedy poměrně hodně času na obrábění. Materiál vhodný pro extruzi je hliníková slitina EN AW-6060 (AlMgSi). Tato slitina má velmi dobrou odolnost proti korozi a dobrou tvárnost za studena. Proto se běžně používá pro protlačování velmi složitých průřezů. Je také vhodná pro chladicí trubky [26].

Z obráběcích center, popsaných v rešeršní části práce, vybírám pro výrobu součásti čtyř-osé horizontální CNC vysokorychlostní obráběcí centrum HS4000II [14]. Jedná se o stroj, který je určený i pro nepřetržitý provoz. Výhodou jsou dva pracovní stoly, díky kterým obsluha může během výrobních operací prováděných na jednom z nich vyměnit upnuté obrobky na druhém, tím se zrychlí výroba. Rozměry každého ze stolů jsou (400 x 400) mm, upínací otvory přípravku k ploše stolu jsou od sebe vzdáleny 80 mm [14]. Z důvodu vyvážení intervalů času práce stroje a výměny obrobků budou během jednoho obráběcího cyklu v přípravku upnuté čtyři součásti najednou. Tím získáme více času pro obsluhu stroje, která se bude moci věnovat kontrole vyrobených součástí. Ušetří se také čas na přípravu a údržbu pracovní plochy obráběcího centra.

Konstrukční řešení budu zpracovávat v programu Autodesk Inventor, který podporuje přidávání anotací k vytvořenému modelu. Díky tomu je možné zpracovat bezvýkresovou dokumentaci součástí přípravku.

3.2. Cíl práce

Hlavním cílem práce je konstrukce frézovacího přípravku pro upínání součásti na obráběcím stroji s využitím bezvýkresové dokumentace. Zadaný díl, viz obr. 3-1a,b), který je součástí chladiče, se bude vyrábět na čtyř-osém obráběcím centru HS4000II frézováním a díry se budou vrtat. Předpokládá se jednorázová kusová výroba 5 000 kusů za jeden rok. Proto je nutné zkonstruovat co nejvhodnější přípravek pro upnutí součásti k frézovacímu stolu frézky, který by měl umožňovat snadnou a rychlou výměnu polotovarů, a samotný přípravek by neměl být moc nákladný. Pro co největší efektivitu výroby je zapotřebí uvažovat nad polohou upnutí součásti, dále nad postupem výrobních operací, aby se ušetřil čas, například při výměně nástrojů, nebo nad počtem upnutí součásti než bude obrobek kompletně hotový. Materiálem vyráběné součásti je hliníková slitina EN AW-6060. Polotovarem je extrudovaná tyč, která má výsledný tvar obvodu součásti a je nařezaná na hotovou délku, viz obr 3-1c). V rešeršní části práce zabývající se současným stavem poznání byly zmíněny různé druhy upnutí. Je zapotřebí zvážit, jaký typ bude vhodný pro kusovou výrobu zadané součásti. Ze tří různých navržených koncepčních řešení se sestaví návrh jednoho, ten se rozpracuje detailněji a zhotoví se pro něj bezvýkresová dokumentace. Dále se porovnají výhody a nevýhody bezvýkresové dokumentace oproti klasickým 2D výkresům.



Obr. 3 - 1 Zadaná součást: a) pohled shora; b) pohled zdola; c) extrudovaný polotovar

Dílní cíle práce jsou:

- analyzovat problém a provést bibliografickou rešerši existujících řešení pro upínání
- popsat využitelnost PMI informací v oblasti bezvýkresové dokumentace
- vypracovat koncepční návrhy možných řešení frézovacího přípravku
- rozpracovat vybraný návrh formou bezvýkresové dokumentace
- porovnat rozdíly mezi 2D výkresovou a bezvýkresovou dokumentací

4. KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

V této kapitole je popsán postup výroby součásti a rozdělení možností upnutí součásti. Podle tohoto rozdělení jsou vypracována tři koncepční řešení, která se vždy liší typem upínací síly, polohou součásti nebo způsobem, jakým se předchází vložení součásti ve špatné poloze. Následně se všechny koncepty porovnají a vybere se jeden z nich nebo kombinace více řešení, která se rozpracuje v podobě konstrukčního řešení.

4.1. Postup obrábění zadané součásti

Polotovar, který se následně obrábí, má tvar podstavy výsledného obrobku a je dodaný v požadované délce. Výsledná součást obsahuje z obou stran vybrání v žebrovité části, která se budou frézovat. Další místo, které se musí frézovat, je na obr. 3-1c). Vzniknou tak dva symetrické výstupky tvaru T. Součást obsahuje dvě dvojice děr, které se budou vrtat. Zároveň jedna dvojice má válcové zahloubení a druhá obsahuje vnitřní závit. Výrobu závitů na stroji neuvažujeme, bude se vyrábět dodatečně ručně z důvodu velmi malých rozměrů.

4.2. Zhodnocení jednotlivých možností upnutí

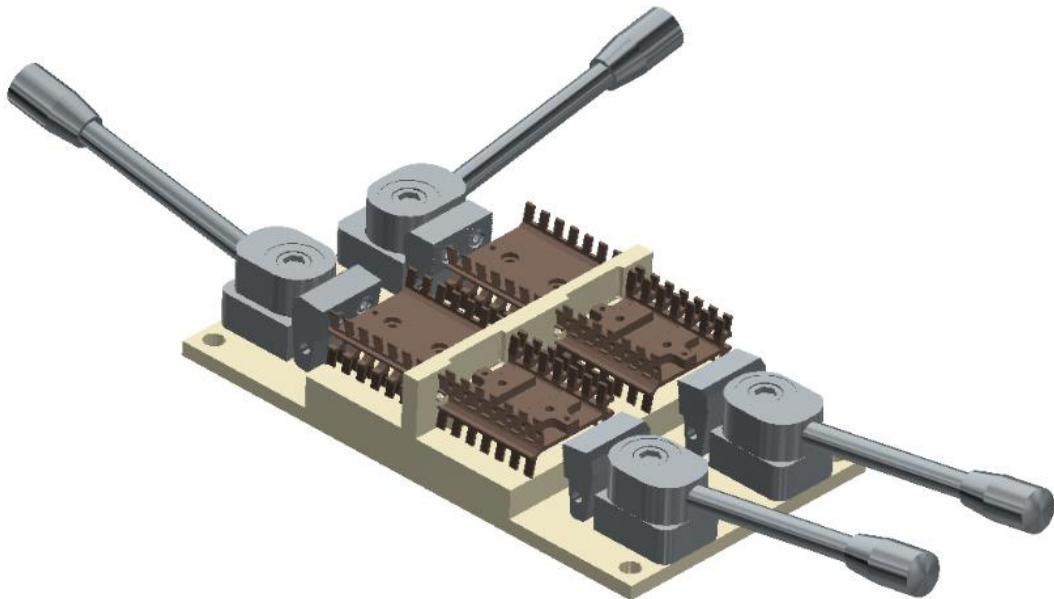
Koncepční řešení přípravků pro výrobu součásti se liší podle zvolené upínací síly. Mechanické upnutí je vhodnější spíše pro kusovou výrobu, kde se předpokládá výroba menšího počtu kusů, nebo tam, kde nejsou vyvíjeny velké nároky na čas výroby. Oproti tomu pneumatické i hydraulické upínání dokáže hodně času ušetřit. Další výhodou je vyvození vyšších upínacích sil, ale to v případě zadané součásti není podmínkou. Na druhou stranu je pro provoz nutný zdroj upínacího média. Pro pneumatické upínání kompresorová stanice pro dodávku stlačeného vzduchu a pro hydraulické upínání je nutné zajistit upínací kapalinu. V důsledku toho se celý provoz upínání oproti mechanickému stává nákladnějším. Další nevýhodou hydraulického upínání je možnost znečištění v případě poruchy zařízení.

Dalším kritériem pro rozdělení koncepčních řešení je poloha součásti, ve které se bude obrábět. Poloha, kdy je součást upnuta horizontálně, je více stabilní než upnutí součásti vertikálně. Jelikož jsou na součásti pouze dvě plochy, které se nebudou obrábět, ani do nich přímo nezasahuje dráha nástroje. Ve všech koncepčních řešeních se součást bude upínat právě za tyto plochy a to z důvodu možnosti výroby pouze na dvě upnutí.

Pro zajištění správné pozice upnutí součásti se využívá metoda Poka-Yoke. Ta zahrnuje přidání speciálních čepů, výstupků nebo drážek do přípravku. Využívá se nesymetrického tvarování součásti, kdy například z jedné strany součásti je pouze jedna řada žebrování a ze strany druhé je žebrování v tandemu. Další rozdílnost, které je možné využít, je odlišný průměr bočních drážek na součásti. Může se také využít výstupků, které na součásti vzniknou po provedení první části obrábění. Veškeré možné způsoby lze kombinovat a tím zajistit jistotu upnutí v požadované poloze a zabránit tím zmetkovitosti výroby v důsledku chyby pracovníka.

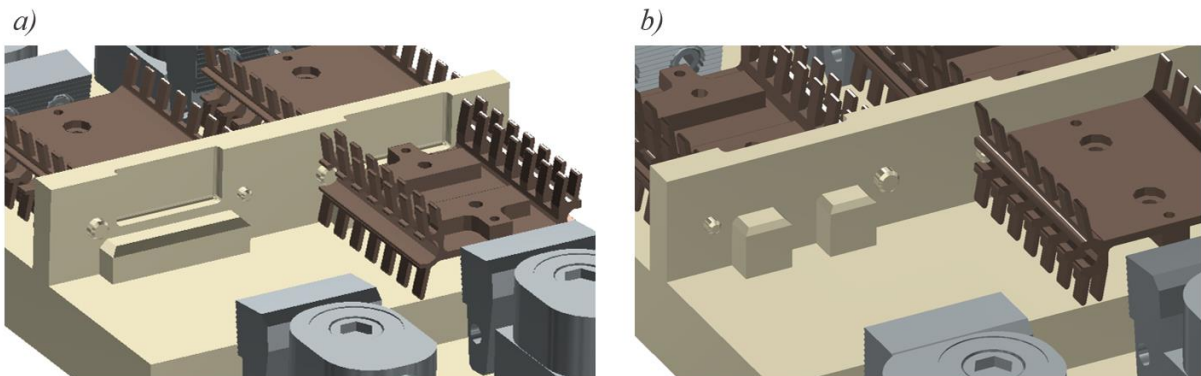
4.3. Vybrané kombinace metod upnutí

4.3.1. Varianta A



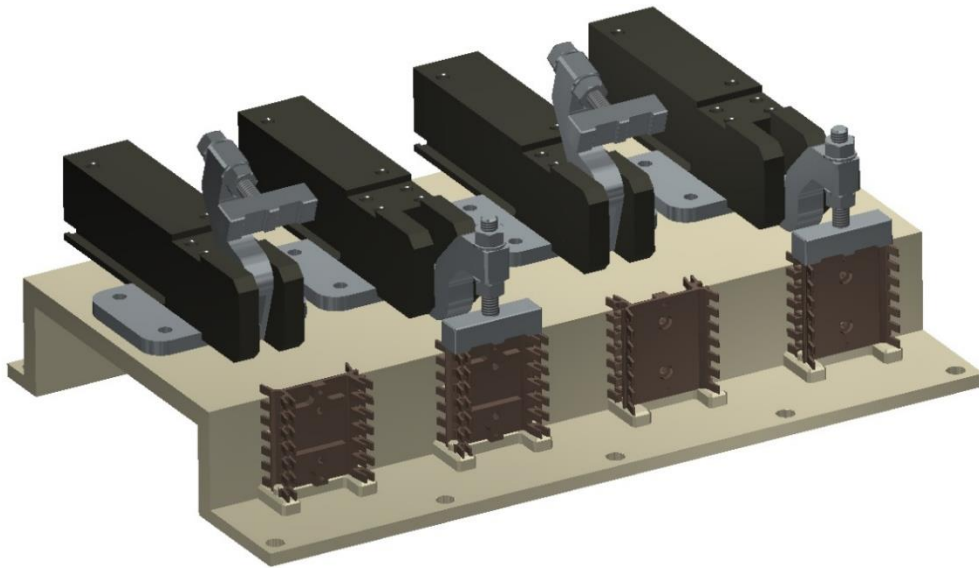
Obr. 4 - 1 Varianta A

Součásti v horizontální poloze se upínají mechanicky pomocí normalizovaných excentrických upínačů oč. 04518-006025 [9]. Kombinují se levý a pravý typ z důvodu snadného povolování upínače. Polotovary se vloží do první části přípravku shora a poté se zajistí upínkou. Pomocí dvou čepů různých průměrů a tvarového výstupku je zajištěno, že k vložení součásti dojde ve správné poloze, obr. 4-2a). U zajištěné součásti se dále obrábí drážky žebrování součásti a frézuje se horní plocha součásti. Z tohoto důvodu je v přípravku i v čelisti excentru vybrání, které umožňuje cestu nástroji. Po provedení všech operací strojem obsluha vyjme součást a upne ji do druhé části přípravku. Opět je díky tvarovanému vybrání a dvěma krátkým čepům zajištěno vložení součásti pouze v jediné správné poloze, obr. 4-2b). U zajištěné součásti probíhá frézování drážek z druhé strany, dále vrtání a zahlubování děr. Na jedno upnutí je možné obrábět čtyři součásti, přičemž u dvou součástí probíhá první část výrobních operací a u zbylých dvou na druhé straně přípravku probíhají operace prováděné z druhé strany obrobku. To znamená, že se před každým spuštěním stroje vkládají až dva polotovary a vyndávají až dva hotové obrobky. Možností pro vylepšení by mohlo být upnutí pouze jednou upínkou z každé strany přípravku.



Obr. 4 - 2 Detail varianty A: a) první část přípravku; b) druhá část přípravku

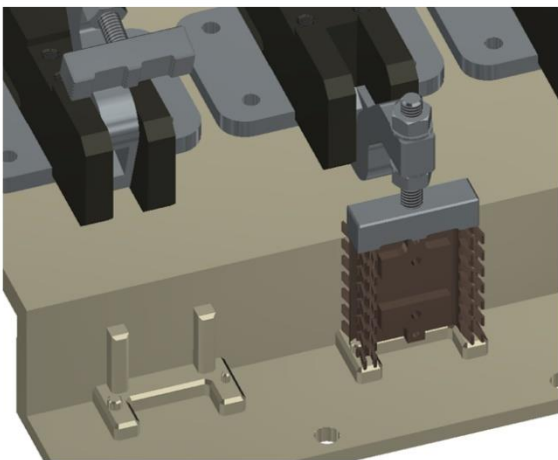
4.3.2. Varianta B



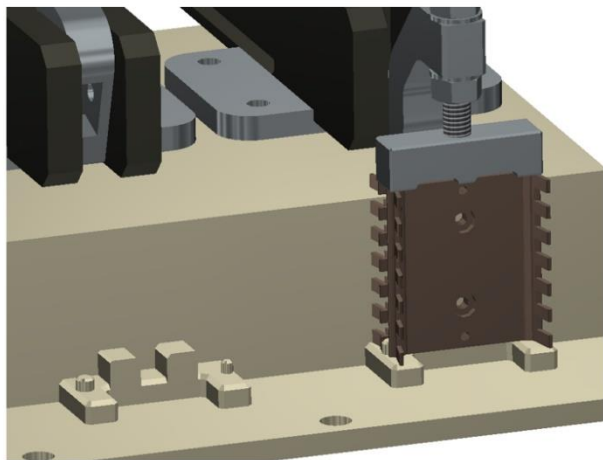
Obr. 4 - 3 Varianta B

Součásti se tentokrát ve vertikální poloze upínají pomocí pneumatických miniaturních upínačů pro vodorovnou montáž očí. 05665-084 [9], které jsou díky šroubům připevněné na základovou desku přípravku. Na přípravek se opět vejdou celkem čtyři součásti a využívá se zde stejný princip jako ve variantě A. Tedy na jeden obráběcí cyklus se vyrobí dva hotové a dva nedokončené obrobky. Polotovaru se v přípravku nasune opět na dva čepy rozdílného průměru, ale díky výklopnému ramenu je manipulační prostor mnohem větší. Vložení polotovaru ve špatné poloze brání dvě podlouhlé zarážky, viz obr. 4-4a). Z důvodu výroby je součást v přípravku umístěna na nízkém výstupku. Spolu s tvarově vybraným přítlačným hranolem umožňuje cestu nástroji při obrábění plochy součásti. Výhodou vyvýšeného upnutí součásti je omezení možných nepřesností obrobků z důvodu špatně vyčištěného pracovního prostoru od třísek. Z poloviny obrobený díl se upne do druhé části přípravku, obr. 4-4b), kde se podobně jako u varianty A frézují drážky z druhé strany součásti a dále se vrtají a zahlubují díry. Zde se opět využívá rozdílného průměru čepů a dvou výstupků, které určují polohu součástí.

a)

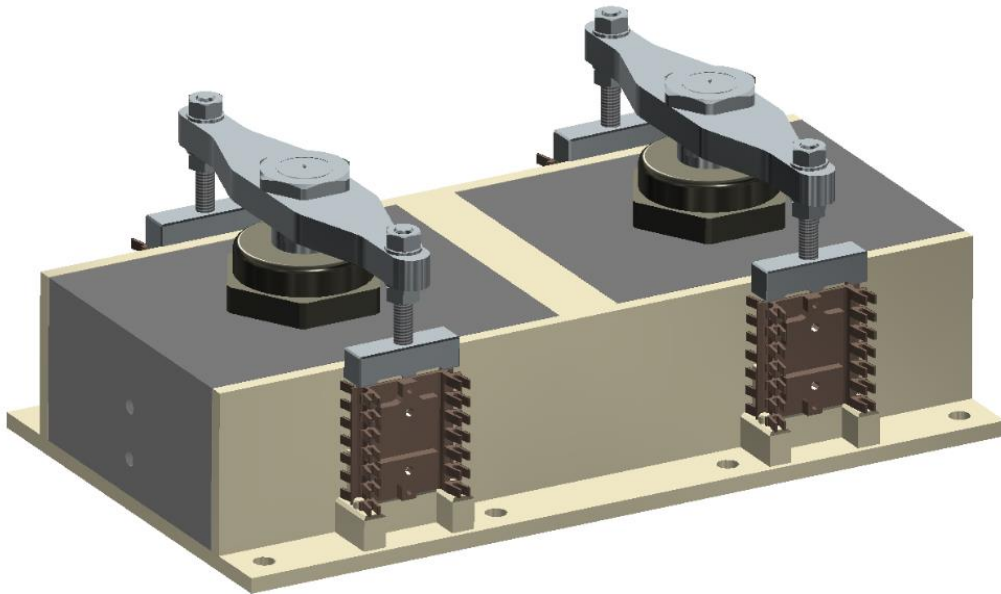


b)



Obr. 4 - 4 Detail varianty B: a) první část přípravku; b) druhá část přípravku

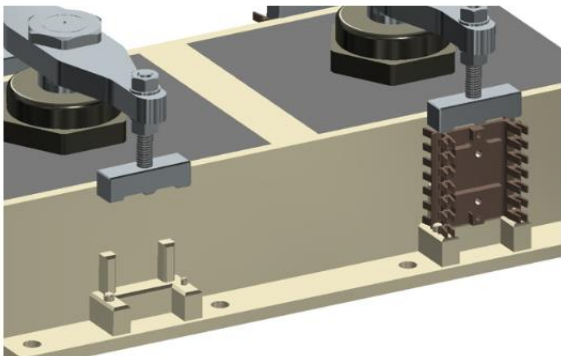
4.3.3. Varianta C



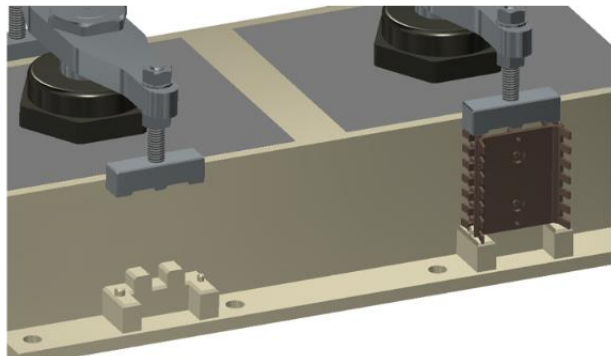
Obr. 4 - 5 Varianta C

Varianta C využívá celkem dvě hydraulické otočné svorky se závitem série B1.892 [10], které součásti upínají ve vertikální poloze. Svorky jsou zvoleny ve variantě s dvojčinným upínacím ramenem. K jednotlivým svorkám je přívod hydraulické kapaliny realizován zvlášť a to z opačných stran přípravku. Uvolněná svorka je pomocí hydraulického pístu nadzvednuta od obrobku a je pootočená o 90° poddle zvoleného typu svorky. Díky otočnému ramenu je zajištěno dostatečné místo pro výměnu dílů. I v tomto koncepčním řešení se mohou najednou upnout čtyři součásti a podobně jako v předchozích variantách se za jeden obráběcí cyklus vyrobí dva hotové a dva nedokončené obrobky. Využívá se zde obdobných metod pro znemožnění upnutí obrobku ve špatné poloze jako ve variantách A a B. První část výroby součásti obnáší frézování vybrání v drážkách po stranách součásti a dále frézování tvarových ploch na přední straně součásti, obr. 4-6a). Dále se vrtají díry. Pro umožnění pohybu frézy je součást opět umístěna na nízkém podstavci a přitlačná část upínky je speciálně tvarovaná. Pro provedení těchto operací obsluha vyjme dvě rozpracované součásti a upne je z druhé strany přípravku, obr. 4-6b). Na součásti se nyní frézují vybrání z druhé části a dále se válcově zahlubují díry vyvrtané v předchozím upnutí.

a)



b)



Obr. 4 - 6 Detail varianty C: a) první část přípravku; b) druhá část přípravku

4.4. Porovnání koncepčních řešení

Jednotlivé varianty se porovnávají podle parametrů, jako je cena za nakupované normalizované upínací prvky. Uvedené ceny v tabulce 2 jsou aktuální k datu 24. 3. 2023 [9][10]. Další náklady jsou například na spojovací materiál nebo upínací médium. V tabulce 2 udávám ceny pouze za upínací prvky a nezahrnuji přídavné náklady, které jsou pouze zmíněny. Z toho důvodu uvedená celková cena neodpovídá finálním nákladům na provoz, ale jedná se pouze o první investiční náklad na nákup normalizovaných upínek.

Tabulka 2 Přehled cen nakupovaných přípravků

Varianta	Cena za kus [Kč]	Počet kusů	Přídavné náklady	Cena celkem [Kč]
A	2 750	4	spojovací materiál	11 000
B	10 388	4	spojovací materiál + stlačený vzduch	41 552
C	17 893	2	spojovací materiál + upínací kapalina	35 786

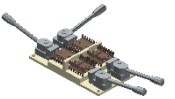

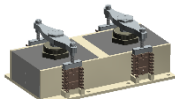
Další parametr k posouzení je manipulační prostor, kterého je možné dosáhnout po maximálním uvolnění upínky. Čím větší prostor je, tím snazší je pro obsluhu vyměnit obráběnou součást a tím rychlejší může být výroba. U všech variant je zvolena obdobná kombinace zajištění správné polohy obráběné součásti.

Jedním z dalších srovnávacích parametrů je i možnost přidat další stejný přípravek a maximálně tím využít pracovní prostor stroje a zefektivnit tím výrobu. Při zachování vyrobitelnosti součástí se do pracovního prostoru stroje může umístit přípravek varianty A s využitou plochou (270 x 187) mm až 3 x, varianty B s plochou (285 x 185) mm 2 x a přípravek varianty C s využitou plochou (260 x 150) mm z důvodu nevhodného tvarování pouze jednou.

4.4.1. Přehled jednotlivých parametrů srovnání

V tabulce 3 jsou znázorněny výhody a nevýhody jednotlivých variant. Jsou hodnoceny čísla od 1 do 3, přičemž číslo 1 představuje nejnižší hodnocení, 2 neutrální a 3 je hodnocení nejvyšší. Souhrnná hodnota je váženým součtem dílčích hodnocení podle důležitosti parametru, čím vyšší hodnocení, tím výhodnější způsob upnutí.

Tabulka 3 Přehled parametrů srovnání koncepčních řešení

Varianta	Obrázek	Cena [Kč]	Manipulační prostor	Poka-Yoke metoda	Rozšíření přípravku	Souhrn
		45	25	20	10	100
A		3	1	2	3	2,3
B		1	3	2	2	1,8
C		2	3	2	1	2,15

5. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V této kapitole je zvoleno nejvýhodnější řešení přípravku, pro které se bude vytvářet detailnější model. Pro toto konstrukční řešení bude zpracována bezvýkresová dokumentace, která se následně porovná s klasickým 2D výkresem.

5.1. Volba výsledného konstrukčního řešení

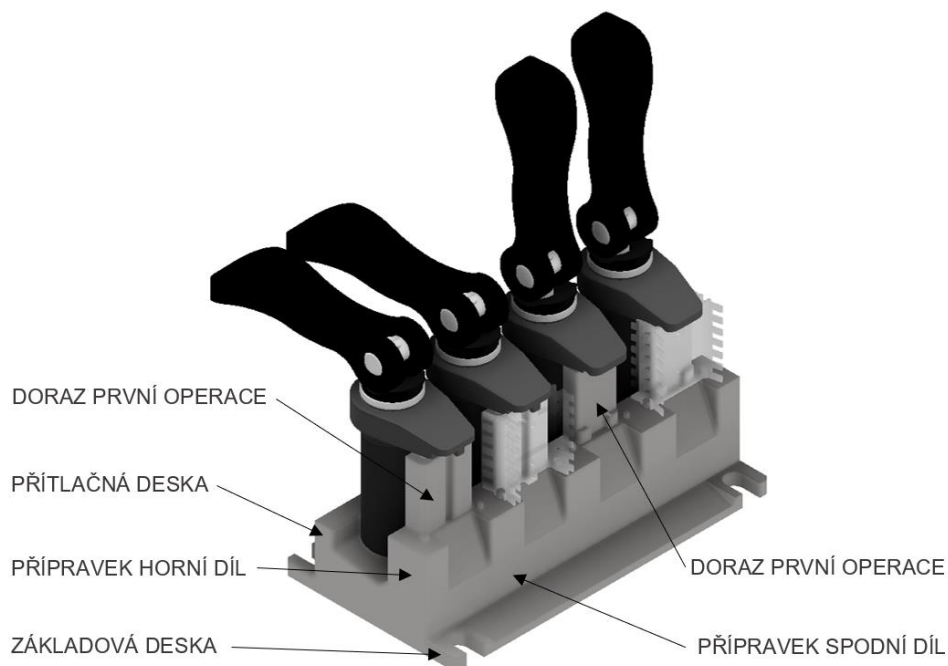
Podle předcházející kapitoly zabývající se koncepčními řešeními a následným srovnáním volím konstrukční řešení, které bude obrobek upínat pomocí mechanického upínače. Tento způsob se jeví jako nejvhodnější s ohledem na zadaný typ kusové výroby. Hlavní nevýhodou varianty A je malý manipulační prostor, proto zvolím obdobnou upínku jako v koncepčním řešení s hydraulickým upnutím, ovšem mechanicky ovládanou. Vhodný je upínací hák s nákrůžkem a excentrickou pákou oč. K0013.110 [5], obr. 5-1, který zajistí dostatečný prostor pro výměnu součástí. Pro snadné a přesné nastavení upínací páky je součástí upínky kolík, který usnadní zajištění ramene ve správné poloze vůči obrobku. Pro umožnění výroby je nutné upínací páku upravit tak, aby nebránila nástroji v cestě. Další výhodou oproti excentrickému upínání v horizontální poloze součásti ve variantě A je menší ruční páka, čímž vzniká více místa v pracovním prostoru stroje. Upínací sílu lze regulovat pomocí šroubu. Součást se bude upínat v poloze vertikální a k vymezení správné polohy upnutí obrobku se bude využívat stejného způsobu jako ve všech koncepčních řešeních. Aktuální cena upínacího háku k datu 24. 3. 2023 je 2 778 Kč za jeden kus [5].



Obr. 5 - 1 Upínací hák s nákrůžkem a excentrickou pákou [5]

5.2. Model upínacího přípravku

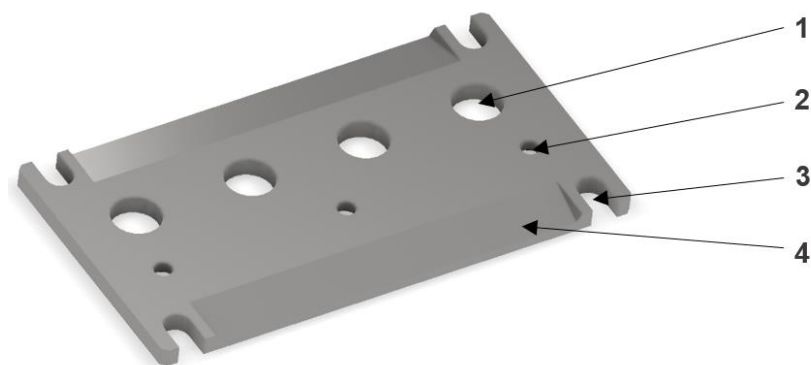
V této kapitole bude uvedeno konstrukční řešení jednotlivých součástí upínacího přípravku, obr. 5-2.



Obr. 5 - 2 Upínací přípravek

Základová deska

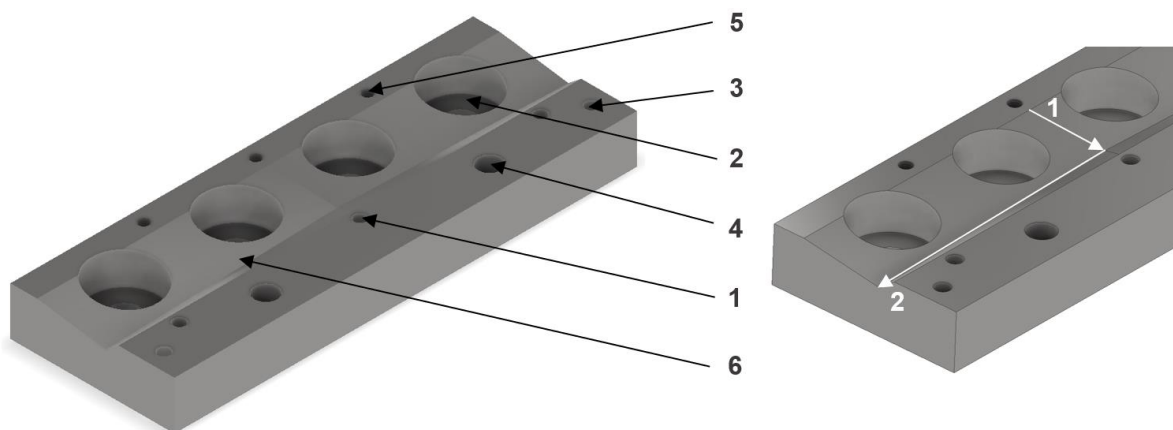
Prvním dílem přípravku je základová deska, viz obr. 5-3. Je vyrobena z oceli E295 a z důvodu funkční horní a dolní plochy jsou tyto plochy broušené. V desce jsou zhotoveny čtyři otvory (1) pro zapaštění hlav šroubů DIN 6912 - M10x16, které připevňují upínky ke spodnímu dílu přípravku. Tři díry (2) s kuželovým zahloubením ze spodní strany desky jsou zhotoveny pro trojici šroubů se zápustnou hlavou DIN 7991 - M6x16, které spojují základovou desku a spodní díl přípravku. Šrouby se zápustnou hlavou jsem volil z důvodu možného dosednutí spodní plochy desky na pracovní stůl stroje. Upínací otvory (3) v rozích základové desky mají rozpětí (80 x 160) mm, které odpovídá rozteči otvorů pracovního stolu. Šikmá plocha (4), která je na obou delších stranách přípravku, slouží k odtoku chladicí kapaliny a odvodu třísek vzniklých při obrábění.



Obr. 5 - 3 Základová deska

Přípravek spodní díl

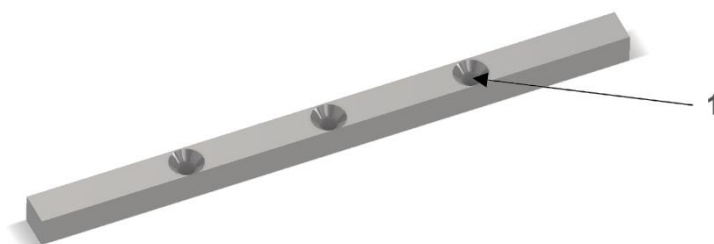
Na základovou desku se pomocí tří šroubů se zápustnou hlavou DIN 7991 - M6x16 připevní spodní díl přípravku, viz obr. 5-4, který je zhotoven z oceli E295. Otvory pro tyto šrouby (1) jsou vrtány skrz celý materiál. Plochy, kterými tyto otvory procházejí, jsou obě funkční a z toho důvodu jsou broušené. Čtyři díry (2) se skládají z průchozí díry o průměru 11 mm a válcového zahloubení pro zapuštěný dřík upínky, které má průměr 26 mm a je hluboké 13 mm. Upínka je připevněna ke spodnímu dílu zespodu pomocí čtyř šroubů DIN 6912 - M10x16. Dvojice otvorů (3) pro kolíky ČSN EN ISO 2338 - 5 m6 x10, sloužící k přesnému ustavení horního dílu přípravku vůči spodnímu, je vrtaná skrz celý materiál z důvodu snadné výroby i následné demontáže. Horní díl přípravku se ke spodnímu připevní pomocí dvou šroubů DIN 912 - M8x20. Pro tyto šrouby jsou v této součásti zhotoveny dvě díry (4) s válcovým zahloubením pro šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. V zadní části spodního dílu přípravku jsou zhotoveny tři díry (5) pro zápustné šrouby DIN 7991 - M5x20, které připevňují přítlačnou desku. Celá součást je symetrická a je pro ni symetricky zpracován i odtok chladicí kapaliny a odvod třísek (6). Část, která není zakrytá horním dílem přípravku ani přítlačnou deskou, je postupně vyspádovaná ke středu dílu a poté kolmo ven ze součásti.



Obr. 5 - 4 Přípravek spodní díl

Přítlačná deska

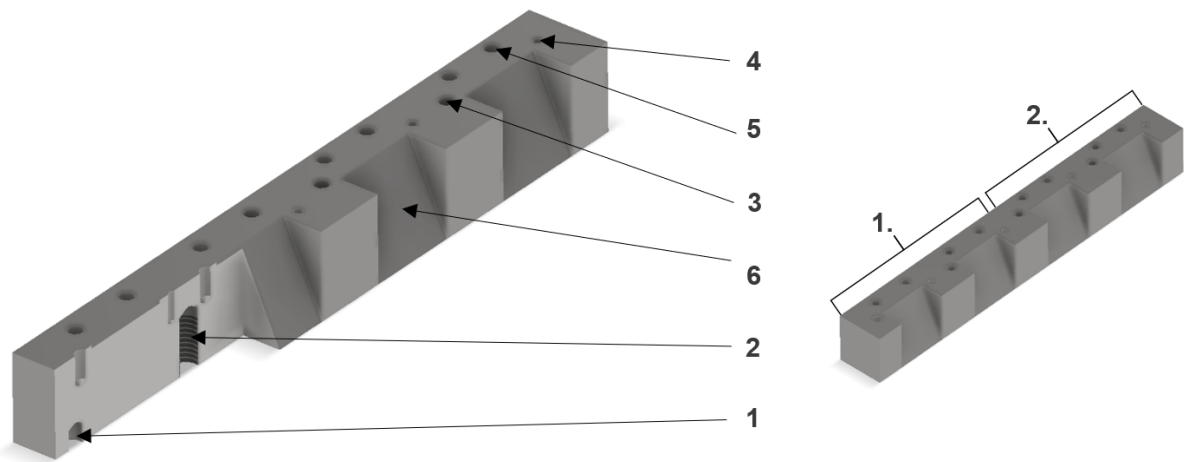
Přítlačná deska, viz obr. 5-5, vyrobená z oceli E295, slouží k ustavení upínek v dané poloze a zabraňuje tak jejich pootočení. Po montáži upínek ke spodnímu dílu přípravku se ze zadní strany přidá přítlačná deska, která se zajistí trojicí šroubů se zápustnou hlavou DIN 7991 - M5x20. Pro tyto šrouby jsou v součásti připravené tři díry s kuželovým zahloubením.



Obr. 5 - 5 Přítlačná deska

Přípravek horní díl

Horní díl přípravku, viz obr. 5-6, je vyroben z oceli 16MnCr5. Celý díl je cementovaný a kalený z důvodu kontaktu s obrobkem, jeho dolní a horní plocha je broušená, protože se jedná o funkční plochy. Přesná poloha vůči spodnímu dílu je zajištěna pomocí dvou kolíků ČSN EN ISO 2338 - 5 m6 x10, pro které jsou zhotoveny dva otvory (1) na spodní straně dílu. Spodní a horní díl jsou zajištěny pomocí dvou šroubů DIN 912 - M8x20, pro které jsou v součásti vyrobeny dvě díry (2). Při demontáži přípravku se nejdříve vyšroubuje dvojice šroubů a vzniklých otvorů se závitem se využije pro snadnější rozdělení dvou spojených dílů kolíky. Otvor (3) pro kolík ČSN EN ISO 2338 - 4 m6 x10 je na součásti ve čtyřech dvojicích v kombinaci s otvorem (4) pro kolík ČSN EN ISO 2338 - 2,5 m6 x10. Dvě dvojice těchto kolíků slouží pro ustavení obráběné součásti při první operaci a zbylé dvě dvojice ustavují součást při obrábění součásti z druhé strany. Z důvodu složitého tvaru obráběné součásti je poloha dvou dvojic kolíků pro první operaci odlišná od polohy druhých dvojic. Všechny dvojice kolíků mají zamezit vložení obráběné součásti v jiné poloze, než ve které se má obrábět. Rozdělení součásti na první a druhou operaci je znázorněno na obr. 5-6 (vpravo). Osm otvorů (5) pro kolíky ČSN EN ISO 2338 - 4 m6 x20, které jsou umístěny v zadní části dílu, je průchozích kvůli snadné demontáži. Kolíky slouží ke spojení horního dílu přípravku a dorazu první nebo druhé operace. U těchto otvorů je z důvodu zaručení dostatečné přesnosti spojení předepsané posunuté toleranční pole. V přední části dílu jsou čtyři zkosení (6), která slouží pro odvod třísek vzniklých obráběním součásti. Jsou umístěna v těsné blízkosti obráběných součástí a díky tomu jsou minimalizována místa, kde by se mohly třísky hromadit.



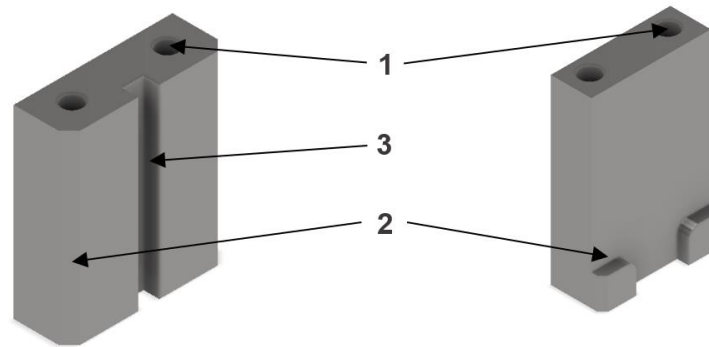
Obr. 5 - 6 Přípravek horní díl

Doraz první operace

Doraz zadní strany obrobku při první operaci, viz obr. 5-7 (vlevo), bude v sestavení přípravku dvakrát. Je vyroben z oceli 16MnCr5 a je cementovaný a kalený z důvodu kontaktu s obrobkem. Funkční plocha, která se musí brousit, je zde spodní a přední plocha, na kterou bude dosedat obrobek. Dva otvory (1) pro kolíky ČSN EN ISO 2338 - 4 m6 x20 jsou průchozí kvůli demontáži a pomocí kolíků spojí doraz s horním dílem přípravku. Celkový tvar (2) dorazu zamezuje vložení obráběné součásti v jiné poloze, protože se využívá tvarové nesouměrnosti zadané součásti. Svislé vybrání (3) v součásti umožňuje vrtání děr do obrobku. Při upnutí, díky vybrání v dorazu, vrták pronikne obrobkem, ale dorazu se nedotkne.

Doraz druhá operace

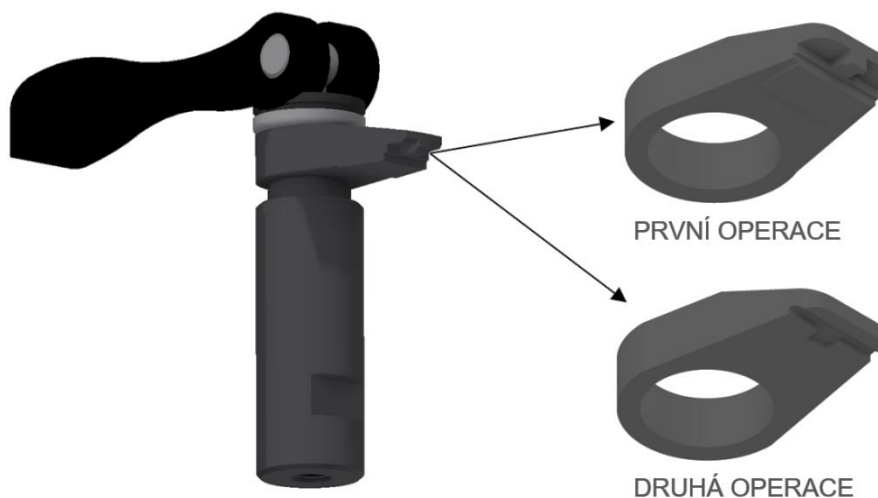
Doraz zadní strany obrobku pro druhou operaci, viz obr 5-7 (vpravo), je obdobný jako doraz první operace. Je vyroben ze stejného materiálu, je cementovaný a kalený. Funkční broušené plochy jsou spodní a přední. Také využívá tvarových odlišností (2) zadané součásti a tím zabraňuje jejímu špatnému vložení do přípravku. Dva otvory (1) pro kolíky ČSN EN ISO 2338 - 4 m6 x20 jsou opět průchozí kvůli demontáži a pomocí kolíků spojí doraz s horním dílem přípravku.



Obr. 5 - 7 Doraz první operace / Doraz druhá operace

Upínky

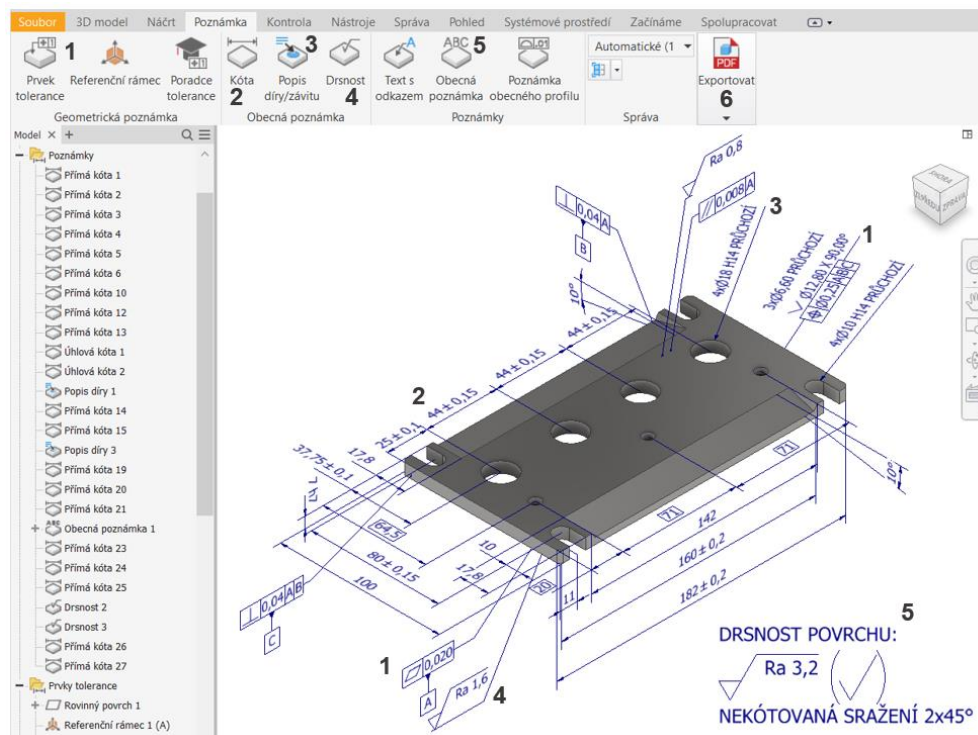
Přípravek obsahuje celkem čtyři upínací háky s nákrůžkem a excentrickou pákou. Z důvodu umožnění výroby je nutné rameno upínky upravit tak, aby nebránilo nástroji v cestě a aby svým tvarem co nejvíce přilehla na obráběnou součást. Aby se zvětšila opěrná plocha, bude se celé přitlačné rameno vyrábět nové, které bude širší. Bude vyrobeno z oceli 16MnCr5 a následně se bude cementovat a kalit. Celkem se vyrobí dva páry, jeden pro první výrobní operace a druhý pro obrábění obrobku z druhé strany, viz obr. 5-8. U obou vyráběných ramen se přitlačení obrobku k zadnímu dorazu přípravku docílí pomocí zkosení na spodní ploše ramena. V případě, kdy by obrobek nebyl dostatečně přitlačen k zadnímu dorazu, zkosení obráběnou součástí dotlačí a nebo ztíží obsluhu stlačení excentrické páky a tím ji upozorní, na nutnost dotlačit obrobek k zadní dosedací ploše manuálně. Poté lze páku snadno stlačit a ustavit tak obrobek pro výrobu.



Obr. 5 - 8 Přitlačné rameno 1. a 2. upínky

5.3. Bezvýkresová dokumentace

Pro všechny jednotlivé díly přípravku je zhotovena bezvýkresová dokumentace, která je dodána jako digitální data v přílohách. Veškerá data jsou zpracovávána v programu Autodesk Inventor, který podporuje přidávání anotací k vytvořeným modelům. Je možné model okótovat ve 3D prostoru a přidávat například délkové nebo geometrické tolerance. Postup vytváření dokumentace pro jednotlivé díly se opakuje, a proto je vybrána základová deska, viz obr. 5-9, jako příklad tvorby bezvýkresové dokumentace. V prostředí Autodesk Inventor se anotace k modelu součásti přidávají v záložce poznámka. Pomocí prvku tolerance (1) se předepisují základny součásti, ale také geometrické tolerance. Je také možné zapsat geometrickou toleranci polohy díry s informací jak o přesnosti polohy díry, tak i o jejím tvaru. Lze popsat velikost otvoru, zahloubení nebo počet stejných děr na součásti. Všechny tyto informace se vypisují automaticky v závislosti na předchozích zadaných údajích o součásti. Dalším krokem je okótování délkových rozměrů součásti. To se provádí pomocí ikony kóty (2) a na součásti se kótují jednotlivé rozměry. Při tvorbě jednotlivých kót je možné upravovat počet desetinných míst nebo typ kóty. Lze vybírat z klasické, základní nebo referenční kóty a je možné přidávat symetrické odchylky, horní a dolní odchylky nebo toleranční pole. Je také možné za hodnotu kóty doplnit libovolnou poznámku. Takto se mohou popisovat i otvory, ale je vhodnější využívat popisu díry/závitu (3). Tato funkce zjednoduší popis děr, kde se na jedné vynášecí čáře objevuje informace o velikosti díry, případně závitu, tak i její hloubka nebo typ a velikost zahloubení. Nemusí se tak vše kótovat zvlášť. K jednotlivým povrchům se může předepisovat jejich drsnost (4). Je možné zapisovat obecné poznámky (5), které se v pracovním prostředí programu zobrazují v libovolném rohu obrazovky a v něm zůstávají nehybně, i když se s modelem součásti pohybuje nebo otáčí. Lze zapsat jakoukoliv poznámku včetně celkové drsnosti povrchu součásti, avšak pouze jako textovou informaci. Anotacemi popsaný model lze exportovat do 3D PDF (6).



Obr. 5 - 9 Základová deska - anotace v Autodesk Inventor

6. DISKUZE

V práci byly rozpracovány tři koncepční návrhy přípravků pro upínání součásti pro obrábění na čtyř-osém obráběcím centru, které má dva otočné pracovní stoly. Díky tomu bude optimálně vyvážený čas výroby součástí a čas potřebný na výměnu obrobků. Podle kritérií, jako jsou cena za nakupované upínky, velikost manipulačního prostoru nebo zajištění výroby ve správné poloze součásti, se zhotovilo konstrukční řešení přípravku, které vychází z koncepčních řešení. Přípravek byl zkonstruován pro upnutí celkem čtyř obrobků najednou, přičemž u prvních dvou je prováděna série prvních výrobních operací a u zbylé dvojice se provádí operace z druhé strany součásti. To bylo voleno z důvodu zadané kusové výroby a požadavku na výrobu 5 000 kusů za rok. Součást je ustavena ve vertikální poloze, což se z konstrukčních důvodů jeví jako nejlepší řešení. Díky kombinaci různých průměrů ustavujících kolíků a tvarování zadních dorazů pro jednotlivé operace je zajištěno vložení obráběné součásti ve správné pozici a tím se zabráňuje výrobě špatných kusů z důvodu nepozornosti pracovníků. Přípravek se skládá z celkem šesti dílů, které se musí vyrábět, a ze čtyř nakoupených upínek. Možnou nevýhodou je, že zakoupené upínky se nemůžou ihned namontovat do přípravku, ale z důvodu lepšího ustavení obrobku je nutné vyměnit originální přitlačné rameno upínky za rameno námi vyrobené. Bylo navrženo pro první i pro druhou výrobní operaci. Možným vylepšením by mohlo být zvětšení osové vzdálenosti upínek a tím docílit větší vzdálenosti obrobků od sebe. V důsledku toho by vznikl větší manipulační prostor pro výměnu obrobků. Aktuální osová vzdálenost byla volena s ohledem na co nejmenší velikost přípravku a nijak nezabráňuje snadnému vyjmutí a vložení obráběných součástí.

Následně se pro model upínacího přípravku zpracovávala bezvýkresová dokumentace v programu Autodesk Inventor. Postup tvorby anotací ve 3D prostoru byl velmi intuitivní a v některých ohledech i snazší než tvorba klasických výkresů. Správný postup tvorby modelu součásti přináší velké zjednodušení při následném kótování. Například při vytváření děr pomocí nástroje pro tvorbu děr je možné využít nástroje pro popis díry. Takový popis obsahuje veškeré informace nutné pro výrobu díry na jedné vynášecí čáře. Není proto za potřeby kótovat zvlášť průměr díry, její hloubku a případně zahloubení. Další výhodou je propojenost s modelem. V případě úprav na modelu se automaticky upravují rozměry kót. Kóty lze doplnit o potřebné náležitosti, jako jsou délkové tolerance nebo textová poznámka, případně lze upravit počet desetinných míst. Lze také zrušit viditelnost určitých kót v některých přednastavených pohledech na model a tím zvýšit čitelnost a celkovou jasnost kótování. Předností se také jeví popisování 3D anotací na výkres v Inventoru, kde se klasicky zvolí požadované pohledy na součást a nechají se prokreslit i kóty, které se v případě změn součásti samy přepisují. Oproti tomu nevýhodou je, že nelze jednoduše nastavit celkovou drsnost povrchu pro celou součást a tím zjednodušit celý výkres. Alternativou je zapsání drsnosti jako obecné poznámky do rohu, avšak ta je zapsána pouze jako textový údaj a nenesou v modelu žádnou informaci. Nepříznivé je, že v případě popisu díry nebo závitů pomocí geometrické tolerance, tedy v případě, kdy je na vynášecí čáře kóty zapsáno větší množství informací, občas chyběla možnost upravit počet desetinných míst za desetinnou čárkou. To způsobuje zbytečné číslice na kótě a částečně zhoršuje čitelnost všech informací na modelu.

Autodesk Inventor nabízí možnost exportovat model popsaný anotacemi do 3D PDF. Je možné nastavit si vlastní šablonu, do které se popsaný model vloží, a nebo si zvolit jednu z přednastavených šablon Autodesku. Tímto způsobem vznikla bezvýkresová dokumentace pro jednotlivé díly upínacího přípravku, která je vložena v přílohách. Prvním nepříznivým požadavkem je nutnost otevírání souborů pouze v prohlížeči Adobe Acrobat a následně je nutné povolit zobrazování dat ve 3D. Na druhou stranu je možné, aby okótovaný model otevřel i někdo, kdo nemá program, ve kterém se bezvýkresová dokumentace zpracovávala. Výhodou 3D PDF je možnost otáčení a posouvání součástí nebo rozložení na jednotlivé díly sestav. Je možné vytvořit řezy nebo skrýt jednotlivé díly sestavy. To může zlepšit prezentaci modelu například při komunikaci se zákazníkem. V 3D PDF jsou zakresleny i všechny kóty, které byly vytvořeny v programu, ale na rozdíl od prostředí Inventoru se při otáčení s modelem neupravují tak, aby byly stále čitelné v souladu s technickým kreslením. To znamená, že kóty popsané z přední strany součásti jsou ze zadní strany popsané zrcadlově. Číselné hodnoty jsou tedy velmi špatně čitelné a celkově se tak popsaný model stává velmi nepřehledným. Částečnou předností šablony od Autodesku je možnost zobrazení přednastavených pohledů na součást, ale velkým nedostatkem je nezachování skryté viditelnosti některých kót v těchto pohledech. To například znamená, že když v prostředí Inventoru nastavím v určitém pohledu pouze dvě důležité kóty pro tento pohled, v 3D PDF se zobrazí veškeré anotace na součásti a to opět snižuje čitelnost modelu. Další nevýhodou je, že obecná poznámka nezůstává v rohu šablony, ale volně se otáčí s otáčením modelem.

V případě, kdy by se měla porovnat bezvýkresová dokumentace a klasický 2D výkres, je jedním z největších rozdílů jednoduchost tvorby. V tomto případě je určitě jednodušší tvorba bezvýkresové dokumentace, kde se již známé informace o modelu do poznámek vpisují automaticky a je nutné pouze doplnit údaje nové. Velkým usnadněním jsou tak automatické opravy číselných hodnot kót v případě změn na součásti. Příznivě také probíhá tvorba geometrických tolerancí, kdy program neumožní zvolit toleranci nevhodnou pro vybranou plochu. Nevýhodou je, že není možné nastavit drsnost povrchu pro celou součást tak, jak je tomu u klasických výkresů, kde se celková drsnost součásti zapisuje nad popisovým polem. Pro uvedení drsnosti povrchu každé plochy součásti by bylo nutné ke všem plochám určit vlastní drsnost povrchu, tím by se čitelnost výrazně zhoršila. Druhým důležitým parametrem pro porovnání je jednoznačnost a srozumitelnost výstupu. V případě bezvýkresové dokumentace záleží na jednoduchosti součásti a od toho se odvíjí čitelnost modelu. Pro jednoduché součásti je 3D popsaný model velmi názorný a snadno čitelný. V případě, kdy je nutné na složitější součást vynést více poznámek, začne se model stávat přehlceným údaji a přestává být jasné, která informace odpovídá kterému místu. Oproti tomu u výkresové dokumentace platí zavedené zvyklosti kótování a zobrazování pohledů a díky tomu jsou i složité součásti snadněji čitelné. Pro názorné porovnání bezvýkresové dokumentace a klasického výkresu byl vytvořen i výrobní výkres základové desky, který je v přílohách.

Možným vylepšením by byla lepší šablona pro tvorbu 3D PDF, která by zachovávala skrytou viditelnost kót v přednastavených pohledech na součást. A také možnost upravovat směr textu kóty v závislosti na poloze součásti a zamezit tak nečitelnosti hodnot poznámek, jak je tomu v pracovním prostředí programu Autodesk Inventor. Dalším vylepšením by mohlo být stanovení určitých náležitostí jak kótovat 3D modely a tím celý proces globalizovat. Tím by mohlo být snazší číst v bezvýkresové dokumentaci, například jak je tomu u výkresové dokumentace.

7. ZÁVĚR

Hlavním cílem byla konstrukce frézovacího přípravku pro upínání součástí na obráběcím stroji s užitím bezvýkresové dokumentace, který práce splnila. Dílčími cíli bakalářské práce bylo analyzovat problém a provést bibliografickou rešerši existujících řešení pro upínání, popsat využitelnost PMI informací v oblasti bezvýkresové dokumentace, vypracovat koncepční návrhy možných řešení frézovacího přípravku, rozpracovat vybraný návrh formou bezvýkresové dokumentace a tu dále porovnat s 2D výkresovou dokumentací. Dílčí cíle byly splněny.

Přínosem práce je konstrukce upínacího přípravku pro zadanou součást a tím zjednodušená výroba 5 000 kusů za rok v provozu s kusovou výrobou. V rešeršní části byly popsány dostupné možnosti upínání obrobků pro obrábění a z nich byla následně rozpracována tři koncepční řešení, která byla dále porovnávána, a vzniklo konstrukční řešení upínacího přípravku. To bylo kombinací nejlepších vlastností všech koncepčních řešení a bylo rozpracováno se detailněji.

Celkový výstup práce je poněkud netradičně zpracován pomocí bezvýkresové dokumentace, které se práce věnovala. V rešeršní práci byl popsán aktuální stav používání bezvýkresové dokumentace a také jak se s takovou dokumentací pracuje. Pro navržené konstrukční řešení byla dále zpracována bezvýkresová dokumentace jednotlivých vyráběných dílů upínacího přípravku a dvou podsestav upravených katalogových upínek. Dále vznikla i celá sestava frézovacího přípravku. Všechna tato data byla převedena do formy 3D PDF jako výstup bezvýkresové dokumentace a jsou přiložena v přílohách bakalářské práce. Vznikl také klasický výkres sestavení frézovacího přípravku a pro účely porovnání bezvýkresové a výkresové dokumentace výkres základové desky. Oba výkresy jsou také obsahem příloh. Z porovnání obou typů dokumentací na součásti základové desky vyplývá, že přenositelnost veškerých informací a náležitostí 2D výkresu není zcela stoprocentní, jako například informace o celkové drsnosti povrchu dílu. Avšak v tomto konkrétním případě již veškeré další údaje o součásti přípravku přenositelné byly a jejich jednoznačnost závisí i na zkušenosti čtenáře orientovat se v technických výkresových dokumentacích. Plnohodnotná přenositelnost veškerých údajů a poznámek o součásti do bezvýkresové dokumentace by se pro tento konkrétní případ dala vyjádřit asi 95 %.

Možným vylepšením výstupu dat bezvýkresové dokumentace by mohlo být zpracování lepší šablony pro 3D PDF, která by byla schopna lépe prezentovat vytvořená data například konečnému zákazníkovi. V dnešní době se zatím stále ještě málo používaná bezvýkresová dokumentace stává, hlavně v zahraničí, oblíbeným prostředkem pro zpracovávání informací o součástech nebo celých sestavách. Dá se očekávat, že by se v příštích letech četnost jejího používání mohla zvyšovat.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŘASA, Jaroslav, Václav HANĚK a Jindřich KAFKA. *Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže*. Praha: Scientia, 2003. ISBN 978-80-7183-284-3.
- [2] CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA. *Přípravky: vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988.
- [3] PŘÍPRAVKY. In: *Spszengrova* [online]. Ostrava: spszengrova, 2020, s. 1-12 [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/pripravky>
- [4] Technologické výrobní postupy - volba základů. *ELUC* [online]. Olomouc: ELUC, 2021 [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1337>
- [5] KIPP. In: *www.kipp.cz* [online]. Heubergstraße: Kipp, 2023 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty>
- [6] HOFFMAN, E.G. *Jig and fixture design*. 5th ed. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, 2004. ISBN 978-1401811075.
- [7] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Základy konstruování*. Vydání deváté, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2022. ISBN 978-80-7623-089-7.
- [8] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-736-1033-7.
- [9] NORELEM. *Norelem* [online]. Markgröningen: Norelem, 2023 [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Dom%C5%AF.html>
- [10] ROEMHELD. *Roemheld* [online]. Laubach: Roemheld, 2023 [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://ws.roemheld.de/en>
- [11] MAGNETICKÉ UPÍNAČE. *Walmagmagnetics* [online]. Zlín: Walmagmagnetics, 2023 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://eshop.walmagmagnetics.com/NextCategory/cs-CZ/P123/magneticke-upinace>
- [12] VAKUOVÝ UPÍNAČ. *Stopkovefrezy.cz* [online]. Brno: Stopkovefrezy, 2023 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: https://www.stopkovefrezy.cz/Upinani-podpery-podlozky-c4_505_3.htm
- [13] FRACTAL VISE. *Plasmatio* [online]. Maroko: Plasmatio, 2023 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://plasmatio.com/products/carbon-infused-nylon-fractal-vise>

- [14] PROFIKA. *Profika.cz* [online]. Benátky nad Jizerou: Profika, 2023 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/cnc-stroje-detail/cnc-vertikalni-centrum-i-cut4500>
- [15] DMGMORI. *DMGMORI* [online]. Dmgmori, 2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/horizontalni-frezovani/nh/nh-4000-dcg>
- [16] AGOVIC, A., T. TRAUTNER a F. BLEICHER. Digital Transformation - Implementation of Drawingless Manufacturing: A Case Study. *Procedia CIRP*. 2022, 107, 1479-1484. ISSN 22128271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2022.05.178.
- [17] ŠKARKA, Matěj. Autodesk Inventor 2019.1. In: *Inventor 3D blog* [online]. Ostrava: Inventor 3D blog, 2018 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.inventor3dblog.cz/autodesk-inventor-2019-1/>
- [18] NECHVÁTAL, Filip. Bezvýkresová dokumentace – nastupující realita. *Cad.cz* [online]. Praha: Cad.cz, 2013 [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/pdmplm/86-pdmplm/4632-bezvykresova-dokumentace-nastupujici-realita.html>
- [19] ASME Y14.41:2003, 2003. Digital Product Definition Data Practices - Engineering Drawing and Related Documentation Practices. Standard. The American society of Mechanical Engineers. New York, USA.
- [20] ISO 16792:2021, 2021. Technical product documentation - Digital product definition data practices. Standard. The American Society of Mechanical Engineers. New York, USA.
- [21] KITSIOS, V., Haslauer, R., 2014. 3D Master - Zeichnungslose Produktbeschreibung mit CATIA V5. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- [22] SHEVCHENKO, NATALIYA. An Introduction to Model-Based Systems Engineering (MBSE). *Carnegie Mellon University* [online]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2020 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://insights.sei.cmu.edu/blog/introduction-model-based-systems-engineering-mbse/>
- [23] TSENG, Y.J., Joshi, S., 1998. Recognition of interacting rotational and prismatic machining features from 3-d mill-turn parts. *International Journal of Production Research* 36, 3147–3165
- [24] WEILGUNY, L.J.H., Gerhard, D., 2009. Implementation of a knowledge based engineering technology at an automotive oem. *International Conference on Engineering Design, ICED'09* 17, 69–79.

- [25] MORRIS, Nicole. Inventor 2022 – what’s new and exciting?. In: *Govdesignhub* [online]. USA: Govdesignhub, 2021 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: https://govdesignhub.com/2021/04/15/inventor-2022-whats-new-and-exciting/#.Y_Xq6XbMJPY
- [26] EN AW-6060 (AlMgSi). *Proal-hliníkové profily* [online]. Ostrava-Svinov: Proal-hliníkové profily, 2023 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-6060/>

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

<i>ASME</i>	American Society of Standardization
<i>CAD</i>	Computer aided design
<i>CGM</i>	Computer Graphics Metafile
<i>DFP</i>	Drawing-Free Process
<i>DMU</i>	Digital Mock-up
<i>DWG</i>	DraWinG
<i>FBM</i>	Feature Based Machining
<i>GPS</i>	Geometric Product Specification
<i>JT</i>	Jupiter Tessellation
<i>MBD</i>	Model-Based Definition
<i>MBSE</i>	Model-Based Systems Engineering
<i>PMI</i>	Product & Manufacturing Informations
<i>STEP</i>	Standard for the Exchange of Product Data
<i>UDF</i>	User-Defined Feature

10. SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2 - 1	Druhy ploch obrobku	13
Obr. 2 - 2	Opěrky: a) s obrobkem; b) s rovnou hlavou; c) s kulovou hlavou [2]	14
Obr. 2 - 3	Opěrné lišty: a) bez drážky; b) s drážkou [2]	14
Obr. 2 - 4	Ustavení pomocí dvou prizmat proti sobě [2]	15
Obr. 2 - 5	Středící čep plný a zploštělý [5]	15
Obr. 2 - 6	Upínací přípravky [8]	16
Obr. 2 - 7	Mechanické upínací prvky [1]	16
Obr. 2 - 8	Středící upínač [9]	17
Obr. 2 - 9	Přítlačný upínač: a) regulovatelný; b) pevný [9]	17
Obr. 2 - 10	Vertikální upínač: a) excentrický; b) výkyvný [9]	18
Obr. 2 - 11	Upínací hák s nákrůžkem a zesilovačem upínací síly [5]	18
Obr. 2 - 12	Pneu. upínače k vodorovné montáži: a) miniaturní; b) těžké provedení [9]	19
Obr. 2 - 13	Pneu. upínače vertikální: a) miniaturní; b) těžké provedení; c) výkyvný [9],[10]	19
Obr. 2 - 14	Hydraulické upínky: a) s pevnou čelistí; b) koncentrické upínání [10]	20
Obr. 2 - 15	Hydraulické upínky: a) otočné svorky se závitem; b) mini svěrka [10]	20
Obr. 2 - 16	Magnetické upínání: a) elektropermanentní; b) elektro; c) permanentní [11]	21
Obr. 2 - 17	a) vakuové upínací zařízení; b) vakuová deska [12]	21
Obr. 2 - 18	Fraktální svěrka [13]	22
Obr. 2 - 19	CNC vertikální centrum i-CUT4500 [14]	22
Obr. 2 - 20	Obráběcí centrum NH 4000 DCG [15]	23
Obr. 2 - 21	CNC vysokorychlostní horizontální centrum HS4000II [14]	23
Obr. 2 - 22	Pěti-osé obráběcí centrum NT 4200 DCG [15]	23
Obr. 2 - 23	Model součásti popsany pomocí MBD [17]	24
Obr. 2 - 24	Model součásti a 2D výkres [25]	28
Obr. 3 - 1	Zadaná součást: a) pohled shora; b) pohled zdola; c) extrudovaný polotovar	30
Obr. 4 - 1	Varianta A	32
Obr. 4 - 2	Detail varianty A: a) první část přípravku; b) druhá část přípravku	32
Obr. 4 - 3	Varianta B	33
Obr. 4 - 4	Detail varianty B: a) první část přípravku; b) druhá část přípravku	33
Obr. 4 - 5	Varianta C	34
Obr. 4 - 6	Detail varianty C: a) první část přípravku; b) druhá část přípravku	34
Obr. 5 - 1	Upínací hák s nákrůžkem a excentrickou pákou [5]	36
Obr. 5 - 2	Upínací přípravek	37
Obr. 5 - 3	Základová deska	37
Obr. 5 - 4	Přípravek spodní díl	38
Obr. 5 - 5	Přítlačná deska	38
Obr. 5 - 6	Přípravek horní díl	39
Obr. 5 - 7	Doraz první operace / Doraz druhá operace	40
Obr. 5 - 8	Přítlačné rameno 1. a 2. upínky	40
Obr. 5 - 9	Základová deska - anotace v Autodesk Inventor	41

11. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Porovnání mechanických upínacích prvků	16
Tabulka 2	Přehled cen nakupovaných přípravků	35
Tabulka 3	Přehled parametrů srovnání koncepčních řešení	35

12. SEZNAM PŘÍLOH

Digitální data - bezvýkresová dokumentace:

1. BD-01.00_frezovaci_pripavek
2. BD-01.01_zakladova_deska
3. BD-01.02_pripavek_spodni_dil
4. BD-01.03_pripavek_horni_dil
5. BD-01.04_pritlacna_deska
6. BD-01.05_doraz_prvni_operace
7. BD-01.06_doraz_druha_operace
8. BD-02.00_soucast_chladice
9. BD-03.00_upinka_prvni_operace
10. BD-03.01_pritlacne_rameno_upinky_1
11. BD-04.00_upinka_druha_operace
12. BD-04.01_pritlacne_rameno_upinky_2

Výkresy:

1. VD-01.00_frezovaci_pripavek
2. VD-01.01_zakladova_deska