

Konstrukční návrh přípravku pro upnutí obrobků při robotickém broušení

Erik Miko

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Erik Miko
Osobní číslo:	T22990
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukční návrh přípravku pro upnutí obrobků při robotickém broušení

Zásady pro vypracování

- Vypracovat literární studii věnovanou řešené problematice.
- Navrhnout funkční konstrukci přípravku pro broušení daných dílů.
- S využitím CAD systému vytvořit trojrozměrnou sestavu přípravku.
- Vytvořit výkres navržené sestavy včetně kusovníku.

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

Seznam doporučené literatury:

SVOBODA, Pavel a BRANDEJS, Jan. Základy konstruování. Vydání desáté, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2023. ISBN 978-80-7623-111-5.

RAEYMAEKERS, Bart. Design of Mechanical Elements – A Concise Introduction to Mechanical Design Considerations and Calculations. New Jersey: John Wiley & Sons, 2022. ISBN 978-1-119-84991-9.

HARMSEN, Jan, André B. de HAAN a Pieter L. J. SWINKELS. Product and Process Design – Driving Innovation. Berlin: De Gruyter, 2018. ISBN 978-3-11-046772-7.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

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

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou broušení, se zaměřením na jeho robotizovanou podobu. Teoretická část je věnována přehledu základních principů broušení, typům broušicích nástrojů a možnostem automatizace tohoto procesu pomocí průmyslových robotů. Praktická část práce se zaměřuje na konstrukční návrh a výrobu upínacího přípravku určeného pro broušícího robota. Přípravek byl navržen tak, aby umožnil efektivní a opakovatelné upnutí obrobků při automatickém broušení ve výrobním provozu společnosti Hestego a. s.

Klíčová slova: broušení, robotizace, konstrukce přípravku, upínání, Solid Edge

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the topic of grinding, with a specific focus on its robotized form. The theoretical part describes the fundamental principles of grinding, provides an overview of abrasive tools, and explores the possibilities of process automation using industrial robots. The practical part of the thesis is focused on the design and manufacturing of a clamping fixture for a grinding robot. The proposed fixture is intended to enable efficient and repeatable clamping of workpieces during automated grinding in the production environment of Hestego a. s.

Keywords: grinding, robotization, fixture design, clamping, Solid Edge

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu doktorovi Jiřímu Vaňkovi, za jeho vstřícný přístup, cenné připomínky, rady a čas strávený nad touto prací. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Hestego a. s. za možnost realizovat praktickou část práce v jejich podniku.

Zvláštní dík vyjadřuji panu Ing. Martinu Sekerákovi, vedoucímu konstrukce, za jeho ochotu, podporu a cennou pomoc při řešení praktických úkolů spojených s touto prací.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 BROUŠENÍ.....	13
1.1 TECHNOLOGIE BROUŠENÍ A BROUSICÍCH NÁSTROJŮ	14
1.2 METODY BROUŠENÍ.....	16
1.2.1 Podle tvaru obrobeného povrchu a způsobu jeho vytváření [6]:.....	16
1.2.2 Podle aktivní části brousicího kotouče [6]:	16
1.2.3 Podle vzájemné polohy brousicího kotouče a obrobku [6]:.....	16
1.2.4 Rozdělení podle hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k brousicímu kotouči [6]:	16
1.3 ŘEZNÉ PODMÍNKY PŘI BROUŠENÍ	17
1.3.1 Posuv a přísuv	17
1.3.2 Jakost povrchu a přesnost rozměrů	18
1.4 NÁSTROJE PRO BROUŠENÍ.....	19
1.4.1 Brusný nástroj	19
1.5 ZÁKLADNÍ PARAMETRY BRUSNÉHO NÁSTROJE	20
1.5.1 Druh brusiva.....	20
1.5.2 Zrnitost brusiva	20
1.5.3 Tvrdost nástroje.....	20
1.5.4 Pojivo	20
1.5.5 Tvary brusných nástrojů.....	21
2 ROBOTIZOVANÉ BROUŠENÍ.....	22
2.1 POUŽÍVANÉ ROBOTY	24
2.2 NÁSTROJE PRO ROBOTIZOVANÉ BROUŠENÍ	26
2.2.1 Typy nástrojů pro robotizované broušení	26
2.3 PŘÍTLAK BROUŠENÍ	27
2.4 STANOVIŠTĚ ROBOTA	28
2.5 UPÍNACÍ PŘÍPRAVKY	29
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	30
3 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI	31
3.1 HESTEGO A. S.	31
3.2 ZADÁNÍ	32
3.3 NÁVRH UPÍNACÍHO PŘÍPRAVKU	32
3.3.1 Analýza dílů na broušení.....	33
3.3.2 Návrh upínacího přípravku	35
3.3.3 Modelování přípravku	38
3.3.4 Výkresová dokumentace a zadání do výroby.....	42

4	OTESTOVÁNÍ PŘÍPRAVKU V PRAXI.....	44
4.1	TUHOST	44
4.2	VIBRACE PŘI BROUŠENÍ	44
4.3	OPAKOVATELNOST UPNUTÍ.....	44
5	OTESTOVÁNÍ BROUSÍCÍHO ROBOTA V PRAXI.....	45
5.1	RYCHLOST BROUŠENÍ ROBOTA OPROTI MANUÁLNÍMU	45
5.1.1	Výpočet celkové plochy k broušení	45
5.2	POROVNÁNÍ KVALITY BROUŠENÉHO POVRCHU	47
	ZÁVĚR.....	48
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM TABULEK.....	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	53
	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

ÚVOD

V současném průmyslovém prostředí hraje kvalita povrchové úpravy a rozměrová přesnost rozhodující roli v celkové funkčnosti a životnosti strojních součástí. Jedním z nejdůležitějších procesů, který zajišťuje dosažení těchto požadavků, je broušení. Ačkoli je tento proces historicky známý a dlouhodobě využívaný, jeho technické provedení a technologické možnosti se v posledních desetiletích výrazně proměnily. Důraz na zvyšování produktivity, minimalizaci chybovosti a automatizaci vedl k vývoji moderních brousicích technologií, mezi které patří i robotizované broušení.

Robotizace výrobních procesů přináší nové příležitosti v oblasti opakovatelnosti, přesnosti a efektivity operací, které byly dříve závislé na manuální zručnosti pracovníků. V oblasti broušení umožňuje nasazení průmyslových robotů nejen zefektivnění výroby, ale také vyšší bezpečnost práce a konzistenci výstupní kvality.

Cílem této bakalářské práce je analyzovat technologii broušení z hlediska jejího principu, použitých nástrojů, metod a parametrů, se zvláštním zaměřením na její moderní formu – robotizované broušení. Práce se věnuje jak tradičním, tak současným přístupům k této problematice a nabízí komplexní přehled o daném tématu v kontextu současných požadavků na moderní výrobu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BROUŠENÍ

Broušení je společný souhrnný název pro obráběcí procesy, které využívají jako řezné médium tvrdé abrazivní částice. Proces broušení tvarovacích materiálů je pravděpodobně nejstarší existující obráběcí metodou, pochází z doby, kdy pravěký člověk zjistil, že může brousit své nástroje třením o drsné kameny.

V současné době je broušení hlavním výrobním procesem, který představuje asi 20-25 % celkových výdajů na obráběcí operace v průmyslových zemích. Společnost, jak ji známe, by byla bez broušení docela nemožná. Téměř vše, co používáme, bylo buď opracováno broušením v té fázi výroby, nebo bylo opracováno stroji, které za svou přesnost vděčí brusným operacím.

Broušení je tradičně považováno za konečný obráběcí proces při výrobě součástí vyžadujících hladké povrchy a jemné tolerance. Neexistuje žádný proces, který by mohl konkurovat broušení co do nejvyšší přesnosti. [1]

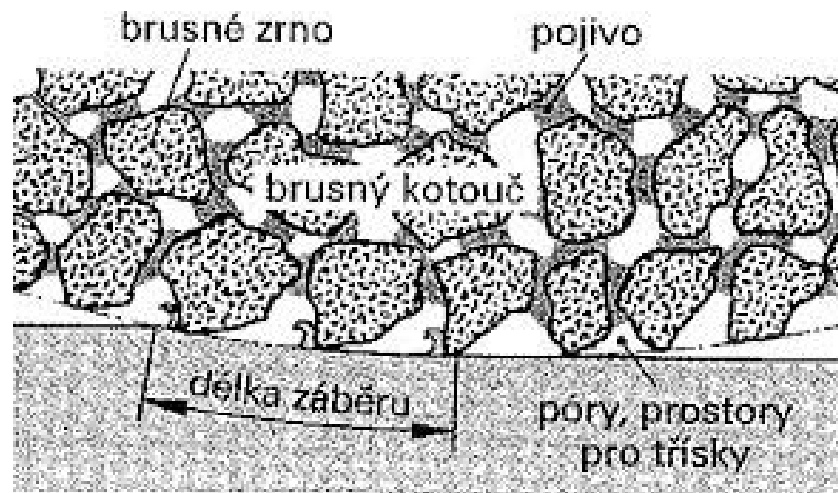
1.1 Technologie broušení a brousicích nástrojů

Broušení je abrazivní dokončovací technologie obrábění, která se snaží o zlepšení jakosti broušeného povrchu. Právě z tohoto důvodu dochází k velice malému úběru materiálu (řádově 0,1 až 0,01 mm). Tato operace je vhodná pro ostření nástrojů, kde je snaha o zachování geometrie nástroje při minimální změně rozměrů a zároveň o vytvoření co nejvyššího povrchu. Ruční broušení patří mezi nejstarší způsoby obrábění. Strojové broušení se používá k obrábění kovů, keramiky, skla, dřeva a umělých hmot. Brousit lze i nejtvrďší materiály, například diamanty. K broušení se využívají brusná zrna, která jsou unášena v konkrétním prostředí po povrchu obrobku [2] [3] [4].



Obrázek 1 Brusná zrna

Nástroje jsou obecně složeny ze dvou materiálů, a to z drobných brusných částeczek zvaných zrnka nebo drť, které mají na starost řezání, a z měkčího pojiva, jež drží brusná zrna pohromadě v pevné hmotě. Pro úběr materiálu se používá tvrdé brusivo s mnoha nahodile orientovanými a tvarovanými břity, a proto není úběr materiálu stabilní. Lze však určit jeho přibližnou velikost, která úzce souvisí s jakostí povrchu obrobku. Velikost zrn má částečný vliv na zrnitost. Zrnitost udává, že čím je materiál tvrdší, tím méně se ostří opotřebovává a méně se tupí. Mezi další zvláštnosti procesu broušení patří záporný úhel čela a schopnost samoostření brusného nástroje [3] [5].



Obrázek 2 Brusná zrna spojená pojivem

1.2 Metody broušení

1.2.1 Podle tvaru obrobeného povrchu a způsobu jeho vytváření [6]:

- rovinné broušení (pro broušení rovinných ploch),
- broušení do kulata (pro broušení rotačních ploch),
- broušení na otáčivém stole (broušení s rotačním posuvem),
- tvarovací broušení (pro broušení závitů, ozubených kol apod.),
- kopírovací broušení (broušení s řízenou změnou posuvu, NC/CNC stroje),
- broušení tvarovými broušicími kotouči (profil broušicího kotouče určuje konečný profil obrobku).

1.2.2 Podle aktivní části broušicího kotouče [6]:

- obvodové broušení (broušení obvodem kotouče),
- čelní broušení (broušení čelem kotouče kolmým k jeho ose).

1.2.3 Podle vzájemné polohy broušicího kotouče a obrobku [6]:

- vnější broušení (broušení vnějšího povrchu obrobku),
- vnitřní broušení (broušení vnitřního povrchu obrobku).

1.2.4 Rozdělení podle hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k broušicímu kotouči [6]:

- axiální broušení (osa kotouče je rovnoběžná s posuvem stolu),
- tangenciální broušení (hlavní posuv stolu je rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče v bodě D),
- radiální broušení (broušicí kotouč je radiální k hlavnímu posuvu stolu ve zvoleném bodě D),
- obvodové zapichovací broušení (posuv stolu je plynulý radiální),
- čelní zapichovací broušení (posuv stolu je plynulý axiální).

1.3 Řezné podmínky při broušení

Velikost řezné rychlosti ovlivňuje více faktorů. Mezi nejdůležitější faktory patří obráběný materiál, nástroj, kterým je daný materiál obráběn, a způsob broušení, který je použit.

Řezná rychlost se nejčastěji pohybuje od 10 do 100 m·s⁻¹. Volba řezné rychlosti se odvíjí od volby řezného kotouče, kde důležitým faktorem pro nastavení řezné rychlosti je jeho pevnost. Jednou z nejpoužívanějších rychlostí je rozsah mezi 25–35 m·s⁻¹ pro materiály z oceli a 20–25 m·s⁻¹ pro litinové materiály.

Jsou to materiály, které jsou nejčastěji obráběny broušením. Velká řezná rychlost je charakteristická velkými až extrémními teplotami, které při broušení vznikají v místě řezu. Značná část tepla přechází do obráběného materiálu (až 75 %). V materiálu vlivem vysokých teplot dochází k vnitřnímu pnutí, což může mít za následek tzv. brusičské trhliny. Proto je potřeba mít dostatečně přizpůsobené chlazení závislé na druhu broušení.

Pro chlazení se nejčastěji používá řezná kapalina, ale existuje také metoda broušení tzv. „zasucha“, kdy se broušená plocha chladí pouze okolním vzduchem.

Řeznou rychlost kotouče je možné spočítat pomocí dále uvedeného vztahu:

$$V_k = \frac{\pi \times D \times n}{1000 \times 60} \quad (1)$$

V_k – ŘEZNÁ RYCHLOST

D – PRŮMĚR BROUSÍČÍHO KOTOUČE

N – FREKVENCE OTÁČENÍ BROUSÍČÍHO KOTOUČE

1.3.1 Posuv a přísuv

Posuv a přísuv se odvíjejí od několika kritérií, jako je způsob broušení, jakost obrobeného povrchu a druh brusného nástroje.

Při rotačním broušení se podélný posuv volí od 0,3 až 0,5 šířky kotouče, při rovinném broušení se dosahuje až 0,7 šířky kotouče. Radiální přísuv brusného kotouče je při hrubování 0,01 až 0,1 mm na zdvih, při broušení na čisto do 0,01 mm. Pro dosažení zpřesnění obrobené plochy se provádí tzv. vyjiskřování, kdy se bez použití přísuvu obráběná plocha několikrát přejede a přebrousí. Takto se vyrovnávají pružné deformace, které vznikají při broušení vlivem řezných sil a tepelné roztažnosti [2] [7].

1.3.2 Jakost povrchu a přesnost rozměrů

Jelikož se broušení ve velké řadě případů řadí mezi poslední technologické operace, musí po dokončení technologického procesu odpovídat požadované přesnosti a jakosti. Přesnost a jakost povrchu se odvíjejí od způsobu broušení, přesnosti a tuhosti stroje. Dále velkou měrou závisí na parametrech brusného kotouče a použitých řezných podmínkách.

Na každý povrch strojní součásti jsou kladeny kromě rozměrové a geometrické přesnosti také požadavky na jakost povrchu. Při vhodně zvolené jakosti povrchu lze dosáhnout zvýšení životnosti jednotlivé součásti až o 25 %, a tím zajistit celkovou spolehlivost stroje jako celku. Nesprávně zvolená drsnost součásti může vést k jejímu nadměrnému opotřebování, což může vést až k poruše stroje či zničení strojní součásti. Špatně zvolená drsnost obrobku navíc může prodražovat celý výrobní proces.

Drsnost povrchu představuje souhrn všech nerovností povrchu na určité části strojní součásti. Nejběžněji se ve strojírenské praxi měří drsnost pomocí parametru R_a . Mezi další nejčastěji používané parametry drsnosti zařazujeme:

Drsnost podle R_a

Jedná se o průměrnou aritmetickou úchylku profilu. Vypovídající schopnost parametru je omezená, protože R_a citlivě nereaguje na extrémní hodnoty, které se nacházejí na povrchu měřené součásti. Proto se může stát, že hodnoty R_a budou stejné pro určité profily povrchu o různé velikosti a tvaru, ovšem výsledná funkční charakteristika bude rozdílná.

Drsnost podle R_q

Jedná se o průměrnou kvadratickou úchylku profilu. Tento parametr lze využít pro výpočet velikosti prohlubní, pomocí kterého lze spočítat objem opotřeбенého materiálu ve zkoumaném místě povrchu. R_q je citlivější na extrémní hodnoty a vykazuje větší hodnoty než R_a .

Drsnost podle R_z

Jedná se o průměrnou hodnotu z absolutních hodnot pěti maxim a pěti minim profilu křivky. Přibližně lze tuto hodnotu odhadnout jako čtyřnásobek hodnoty R_a .

Drsnost podle R_y

Jedná se o plochu nad aritmetickým průměrem, která je rovna ploše pod přímkou aritmetického průměru [8][10].

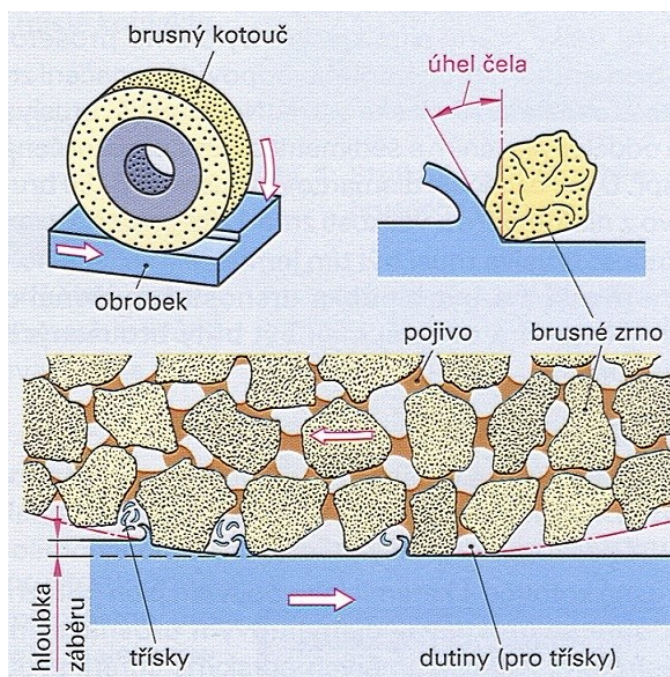
1.4 Nástroje pro broušení

Brusné nástroje jsou přiřazovány k technologickým operacím podle jejich vhodnosti a požadovaných parametrů. Použití nevhodného nástroje pro určitou technologickou operaci vede k nepřesnostem nebo k úplné neschopnosti zhotovit výrobek [8].

1.4.1 Brusný nástroj

Brusný nástroj je de facto celek vhodného tvaru a určité tvrdosti, který se skládá z velkého počtu brusných zrn spojených pojivem. Brusná zrna jsou v brusném kotouči rozmístěna nepravidelně a každé zrno má jinou geometrii ostří. Při volbě zrn je důležitá jejich vhodnost z hlediska fyzikálně-mechanických vlastností. To je zásadní pro zajištění, aby při obrábění materiálu nedocházelo k nechtěným komplikacím, například v důsledku nedostatečné tvrdosti zrna, a aby bylo zrno schopné podle předpokladů pronikat do materiálu a odřezávat třísku.

Je také důležité, aby zrno chemicky nereagovalo s obráběným materiálem při vyšších teplotách, kterých při broušení dosahujeme. Průřez třísek, které jsou brusným nástrojem odřezávány, je velmi malý – v řádech tisícín až desetín tisícín mm^2 [7].



Obrázek 3 Detail úběru materiálu pomocí brusného kotouče

1.5 Základní parametry brusného nástroje

Všechny brusné nástroje mají stanovené základní parametry a musí splňovat požadavky normy ČSN ISO 525.

1.5.1 Druh brusiva

Brusiva se základně dělí na přírodní a umělá. Mezi přírodní brusné materiály patří především diamant, který je také nejčastěji využívaným přírodním brusivem. Ostatní přírodní materiály se v dnešní době používají pouze výjimečně. Výroba brusných nástrojů je převážně založena na umělých brusivech, jako jsou karbid křemíku, korund, karbid boru a umělý diamant.

1.5.2 Zrnitost brusiva

Brusivo je rozmělnováno a tříděno buď pomocí sít, nebo metodou plavení. Zrnitost je označována podle normy ČSN 22 4012 a udává měrný rozměr zrna vyjádřený v setinách milimetru.

1.5.3 Tvrdost nástroje

Tvrdost brusného nástroje je určena soudržností mezi brusnými zrny a pojivem a odolností vůči vylamování zrn z nástroje. Podle snadnosti uvolňování brusných zrn se nástroje rozdělují na měkké, střední a tvrdé. U měkkých nástrojů dochází k uvolňování zrn snadněji. Tvrdost brusných kotoučů je označována písmeny A až Z, kde A značí nejměkčí a Z nejtvrdší nástroj.

1.5.4 Pojivo

Pojivo slouží ke spojení brusných zrn do požadovaného tvaru nástroje a významně ovlivňuje jeho pevnost, a tím i maximální dovolenou obvodovou rychlost. Pojiva se dělí na anorganická a organická. Anorganická pojiva zahrnují keramická (V), silikátová (S), magnezitová (O) a kovová (M, T). Mezi organická pojiva patří šelaková (E), pryžová (R) a pojiva na bázi umělých pryskyřic.

Nejčastěji používaným typem pojiva je keramické pojivo. Silikátová pojiva se využívají v menší míře, protože mohou být narušována chemickým složením chladicích kapalin; jsou však vhodná pro broušení za sucha. Kovová pojiva se používají zejména pro výrobu nástrojů s diamantovým brusivem nebo brusivem z kubického nitridu boru. Šelakové pojivo je vhodné pro velmi tenké kotouče určené k jemné práci.

1.5.5 Tvary brusných nástrojů

Tvary a rozměry brusných kotoučů jsou normalizovány a jejich použití závisí na konkrétním druhu broušení. V závislosti na tvaru kotouče je rovněž řešeno jeho upevnění na nosná tělesa, která jsou následně vkládána do vřeten strojů.

Mezi základní způsoby upevnění patří lepení, tmelení a mechanické uchycení. Před nasazením do vřetene je nezbytné brusný kotouč správně vyvážit, aby bylo zajištěno jeho bezpečné a přesné fungování. Dále je nutné provést orovnění kotouče, při kterém se odstraní nerovnosti a opotřebená brusná zrna. Tímto způsobem se kotouči vrátí jeho původní tvar a řezné vlastnosti.

K orovňávání se nejčastěji využívají diamantové rovnače. Při upínání brusného kotouče na vřeteno brusky se používají příruby. Průměr obou přírub musí být stejný a jejich velikost by měla být alespoň třetinová vzhledem k průměru samotného brusného kotouče. Mezi přírubu a brusný kotouč se vkládají pružné podložky, vyrobené například z pryže, papíru nebo kůže.



Obrázek 4 Příklad druhů tvaru brusných nástrojů

2 ROBOTIZOVANÉ BROUŠENÍ

První průmyslové roboty se začaly vyskytovat již v 60. letech. Dříve však byly k vidění jen velmi zřídka. To se postupem času změnilo a dnes se v průmyslu již jedná o poměrně běžnou záležitost. V posledním desetiletí se počet instalovaných průmyslových robotů více než ztrojnásobil. Je to dáno jak snižující se pořizovací cenou robotů, tak jejich lepšími možnostmi použití a rychlejším zaváděním do výroby pomocí metod, jako je off-line programování. Průmyslové roboty jsou také neustále modernizovány a vylepšovány. Můžeme se tak dnes setkat s vylepšenými senzory, strojovým viděním nebo implementací umělé inteligence. Díky tomu je lze také vidět použité k novým činnostem, které by dříve nebylo možno robotizovat [9] [10].



Obrázek 5 Druhy průmyslových robotů

Broušení je jedna z typických úloh, které se v dnešní době provádějí pomocí průmyslových robotů. Pracoviště jsou koncipována dvojím způsobem, a to broušení strojem nebo robotem. Při broušení strojem se používá pevný broušící stroj, kde robot pomocí uchopovací hlavy manipuluje a polohuje díl. U broušení robotem je díl upnut na pracovním stole nebo v pevném upínacím přípravku a robot, který je vybaven nástrojem pro broušení, takto upnutý díl brousí [16].

Automatizované robotické broušící systémy rychle a efektivně odstraňují přebytečný materiál z povrchu obráběných dílů a výrobků. Také zlepšují návratnost investic společnosti a zvyšují kvalitu výroby. Výběrem robota na broušení výrobci šetří čas a produkční náklady a zároveň zlepšují integritu jednotlivosti každého obrobku. Díky robotům pro broušení jsou pracovníci v bezpečí. Ruční broušení je těžká, špinavá a hlučná práce. Kovový prach, který při broušení vzniká, je pro oči a plíce pracovníka škodlivý [17].



Obrázek 6 Broušící robot

2.1 Používané roboty

Mezi nejpoužívanější roboty patří roboty od společnosti KUKA. Jsou to roboty střední nosnosti od 30 do 60 kg. Nejvhodnějším je asi robot KUKA KR 60–3 HA, který má velmi vysokou přesnost. Má dosah od 2033 do 2429 mm, možnost pracovat se 6 osami a váží od 665 do 679 kg [11].



Obrázek 7 Robot KUKA KR 60-3 HA

Mezi další společnosti, které poskytují roboty pro broušení svarů, patří firma ABB. Mezi nejfrekventovanější robot používaný pro tuto činnost patří IRB 6600. Dodává se ve třech variantách s nosností od 100 do 205 kg, dosahem 1930 až 3350 mm a s váhou 1730 až 1950 kg. Tento robot dokáže pracovat se 6 osami a jeho výhodami jsou odolnost proti působení velkých sil a velká tuhost z důvodu paralelogramu spojujícího ramena [12] [13].



Obrázek 8 Robot IRB 6600 od firmy ABB

Dalším z představitelů je firma FANUC. Ideální řadou pro broušení svarů je M-710iC. Jako nejvhodnější robot pro tuto činnost je typ M-710iC/70. Ten pracuje se 6 osami, má zatížitelnost až 70 kg a maximální dosah 2050 mm. Vyznačuje se vysokými osovými rychlostmi a malými nároky na prostor [14].



Obrázek 9 Robot M-710iC/70 od firmy FANUC

2.2 Nástroje pro robotizované broušení

Výběr vhodného nástroje je klíčovým faktorem pro efektivitu a kvalitu automatizovaného broušení. Brousící robot musí být vybaven takovým nástrojem, který odpovídá nejen požadavkům na materiál a geometrii obrobku, ale také dynamickým vlastnostem robotického systému.

2.2.1 Typy nástrojů pro robotizované broušení

Brusné kotouče – Nejčastěji používanými nástroji pro robotické broušení. Využívají se především při hrubém broušení kovových dílců. Lze je rozdělit podle typu pojiva (např. pryskyřičné, keramické) a zrnitosti (např. P36–P120).

Brusné pásy – Umožňují kontinuální obrábění s menším opotřebením a bez nutnosti časté výměny. Jsou ideální pro ploché nebo mírně zakřivené povrchy.

Lamelové kotouče – Díky překrývajícím se lamelám z brusiva zajišťují rovnoměrnější úběr materiálu a vyšší flexibilitu. Jsou vhodné pro dokončovací práce.

Brusné houby a podložky – Využívají se při jemném broušení a dokončovacích operacích, zejména u měkkých materiálů (např. kompozity, plasty). Jsou dostupné v různých stupních tvrdosti a pružnosti [19] [20] [21].

2.3 Přítlak broušení

Při ručním broušení se přítlačná síla a její odlehčení regulují pomocí koordinace mozku a rukou brusiče. Jelikož stroj nemyslí a pouze koná zadané příkazy, je nutné mu dát vědět, jak velkou silou má na broušený povrch přitlačit. Tuto činnost zajišťuje kompenzátor přítlaku, který se stará o rovnoměrnost broušeného povrchu. Tyto kompenzátory jsou ve většině případů umístěny na konci manipulačního ramene.

Samostatná zařízení pro kontrolu přítlačné síly mohou fungovat na principu aktivního nebo pasivního odměřování. Aktivní technologie využívá k ovládání elektromechanické součásti. V uzavřené smyčce, pomocí odezvy z akcelerometrů, polohových a tlakových senzorů, jejich řídicí jednotka reguluje vyvozenou sílu. Tuto sílu pak můžeme vstupními signály nastavit a měnit. Pasivní odměřování využívá pneumatické regulátory. Je vhodné pro méně náročné operace a nedosahuje takové přesnosti udržování tlaku jako aktivní odměřování. Toto řešení má však nižší pořizovací náklady. Oba tyto typy obvykle vyvozují přítlačnou sílu pomocí pneumatického systému, a proto je pro jejich činnost třeba externí přívod tlaku vzduchu.



Obrázek 10 Robotické broušení plechu s kompenzátozem přítlaku

2.4 Stanoviště robota

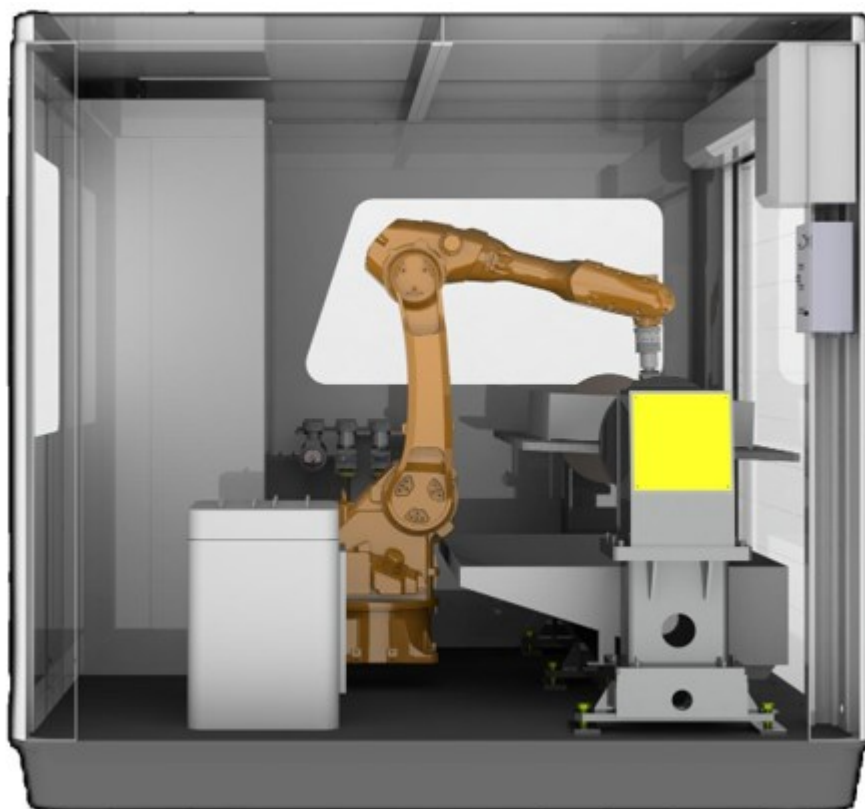
Pro robotizované broušení je nezbytné, aby bylo pracoviště uzpůsobeno manipulaci robotem. Pokud robot uchopuje dílce pomocí chapadla, musí být součástí pracoviště definovaný uchopovací prostor. V tomto případě se obvykle zřizují dvě hlavní stanoviště – nakládací a vykládací. Nakládací stanoviště je tvořeno pevným stolem, na kterém je umístěn rám s upínacím přípravkem. Obsluha do tohoto přípravku vkládá neobrobený dílec, aby jej robot mohl správně uchopit [15].

Naopak vykládací stanoviště je určeno k odkládání již opracovaných dílců. Může jít o jednoduchý pevný stůl nebo o speciální stojan, který je možné po naplnění vyvézt z prostoru. V případě, že je robot vybaven více chapadly, je možné doplnit pracoviště o třetí stanoviště – tzv. stanoviště pro odkládání chapadel. Toto doplňkové místo přispívá k lepší organizaci pracovního prostoru [15].

2.5 Upínací přípravky

Upínací přípravky jsou klíčové pro přesné, bezpečné a opakovatelné upnutí dílců v rámci robotizovaného broušení. Mohou být navrženy jako specifické pro konkrétní typ dílce, nebo jako multifunkční, tedy schopné obsluhovat více různých tvarů či velikostí. V obou případech je důležité, aby robot uchopoval dílce vždy ze stejného místa, čímž se zajišťuje správná trajektorie a minimalizuje riziko chyb [15].

Moderní upínací přípravky mohou být vybaveny senzory pro detekci dílců, které napomáhají hladkému chodu automatizovaného procesu. V případě výroby s proměnlivým sortimentem dílců je možné přípravky rychle vyměňovat, čímž se zvyšuje flexibilita celého systému [15].



Obrázek 11 Pracovní stanoviště brousícího robota

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části bylo navrhnout a vymodelovat upínací přípravek na brousícího robota od značky FANUC pro firmu Hestego a. s. v softwaru Solid Edge. Brousící robot byl do této firmy nově zakoupen, a to z důvodu zrychlení procesu broušení víka a korpusů na třídící zařízení pro značku Tomra s.r.o. Tyto víka se zde doposud brousily manuálně, proto byl zakoupen brousící robot na zrychlení výroby a také odlehčení práce pro pracovníky ve výrobě.

3.1 Hestego a. s.

Společnost Hestego a.s. je moderní česká strojírenská firma specializující se na zpracování plechů. Je rozdělena do tří výrobních divizí.

Hlavní předností všech divizí je poskytnutí špičkového konstrukčního řešení splňujícího technické i technologické parametry těch nejnáročnějších zákazníků.

Divize teleskopických krytů se zaměřuje na vývoj a výrobu:

- teleskopických krytů
- kabelových nosičů
- stěračů vodicích ploch

Divize zakázkové výroby produkuje výrobky pro:

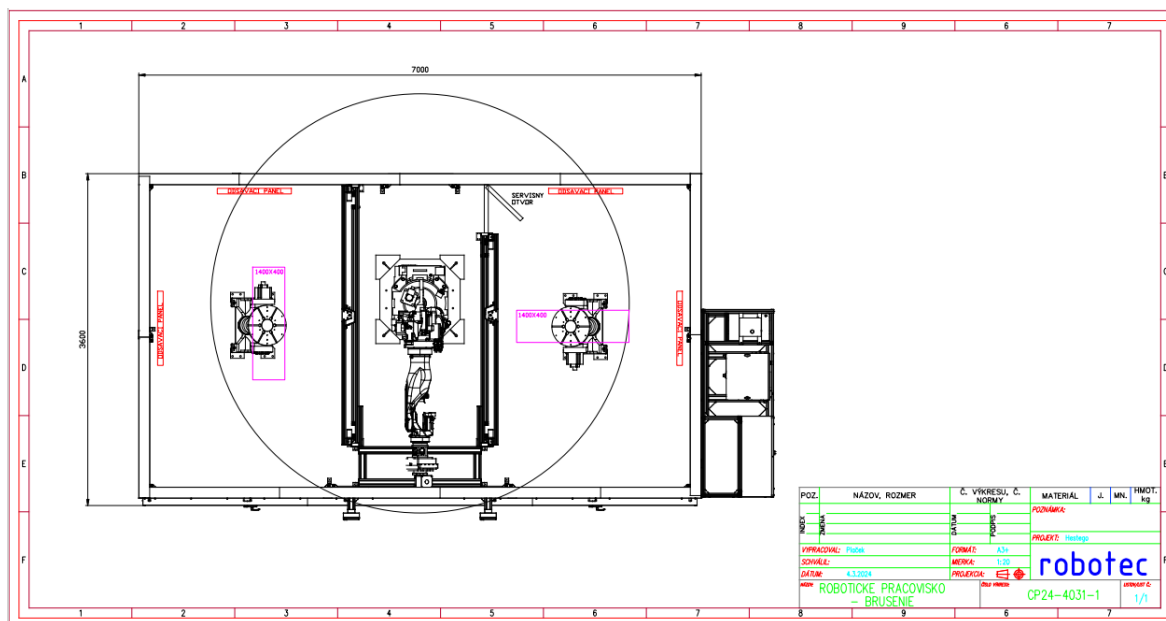
- elektrotechnický průmysl
- energetický průmysl
- zábavný průmysl
- odpadové hospodářství

Divize kapotází strojů se zabývá vývojem a výrobou vnějšího krytování strojů.

Firma hestego má dále také dlouhodobou spolupráci s technickými univerzitami v ČR, ČVUT v Praze a VUT v Brně, a dále s Výzkumným centrem pro strojírenskou výrobní techniku a technologii v Praze.

3.2 Zadání

Cílem návrhu bylo vytvoření upínacího přípravku pro broušícího robota, který měl být upevněn na jeho pohyblivý stůl. Přípravek měl zajistit efektivní a opakovatelné upnutí víka pro broušení před lakováním. Konstrukce měla být navržena jako lehká, ergonomická pro obsluhu, rozměrově kompatibilní s pracovním prostorem robota a zároveň dostatečně tuhá pro stabilní upnutí během celého cyklu broušení. Brousit se měly všechny vnější plochy víka, včetně svarů a rohů.



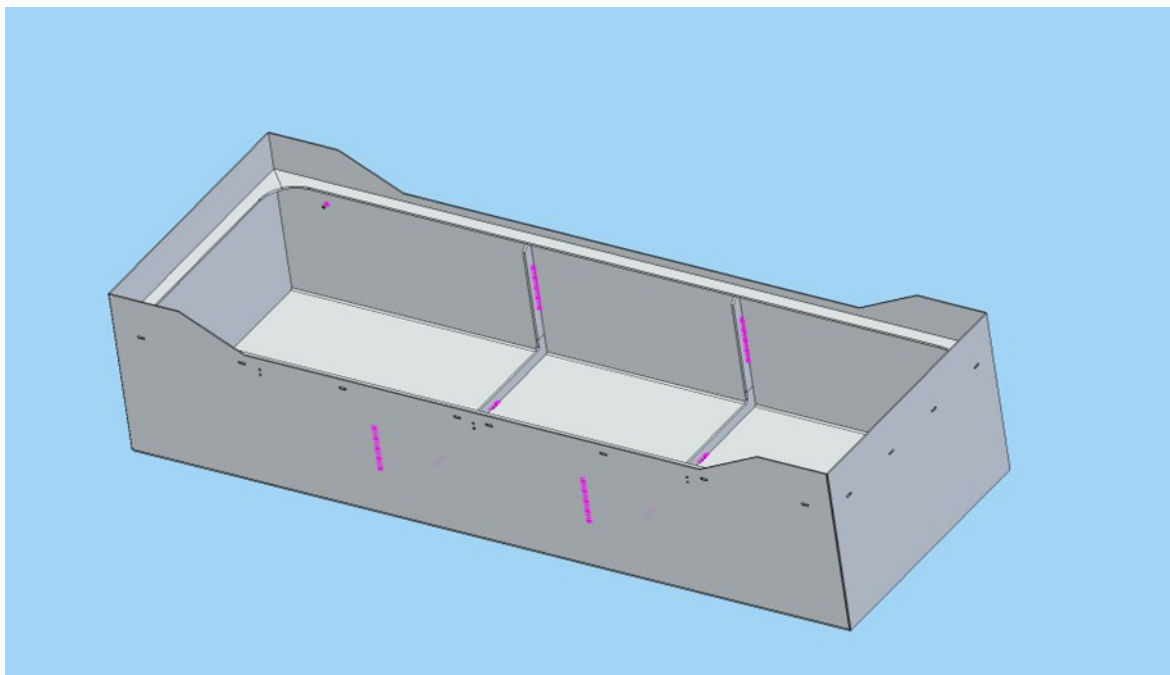
Obrázek 12 Výkres pracoviště robota

3.3 Návrh upínacího přípravku

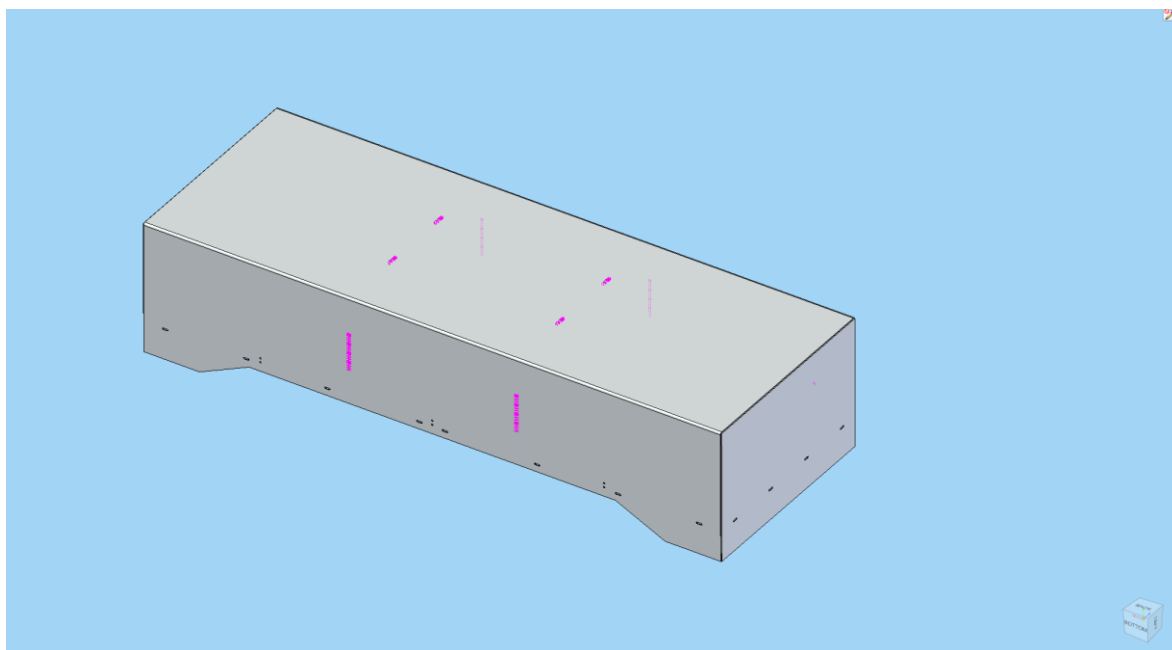
V této části bude podrobně popsán postup návrhu upínacího přípravku od prvotního návrhu až po finální výrobek. Nejprve byla provedena analýza dílů určených k broušení a vytvoření prvotní návrh jejich upnutí. Následně byl zvolen a vymodelován přípravek, který splňoval požadavky na upínací mechanismus pro daný díl. Ve finální fázi byla vytvořena výkresová dokumentace upínacího přípravku pro výrobu a montáž.

3.3.1 Analýza dílů na broušení

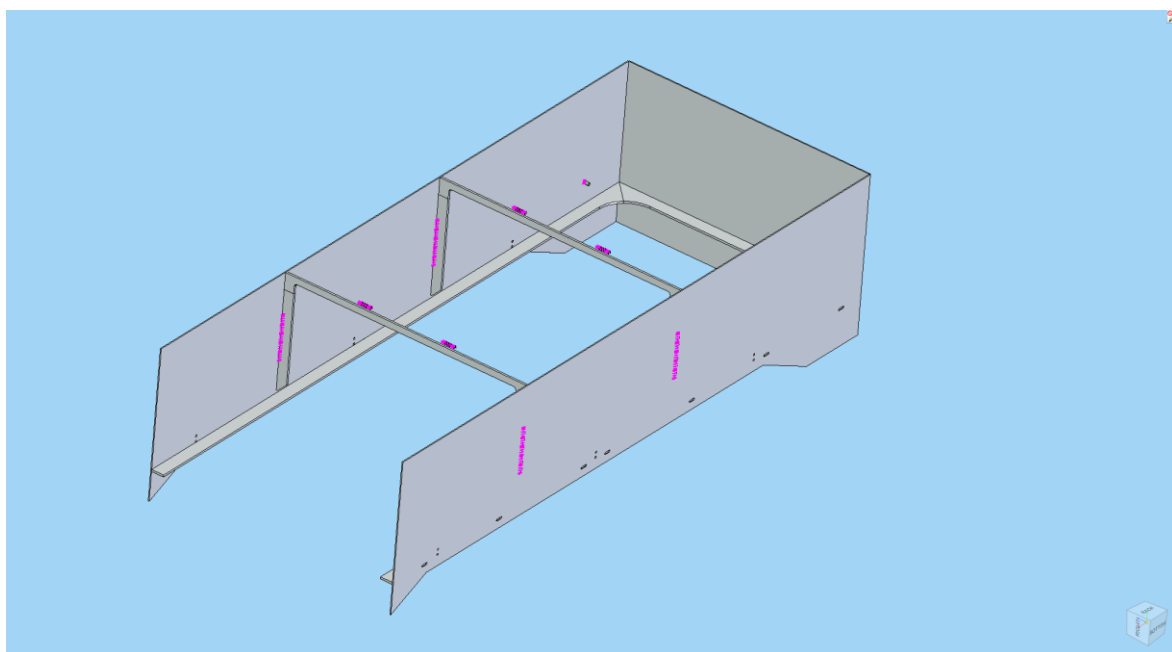
Na základě geometrie a technologických požadavků jednotlivých vík byla provedena analýza, ze které vyplynulo, že broušení se bude týkat všech vnějších stěn včetně svařovaných rohů. Aby bylo umožněno robotickému rameni dosažení na všechny požadované plochy, bylo zvoleno upnutí z vnitřní strany pomocí obvodového svarového lemu. Tento lem poskytoval vhodnou dosedací plochu pro aretaci bez ovlivnění broušených oblastí. Zvolený způsob umožňoval plný přístup k plochám určeným ke zpracování a eliminoval nutnost překlápění dílů nebo dokončení manuálním broušením.



Obrázek 13 Model víka s pohledem na vnitřní část



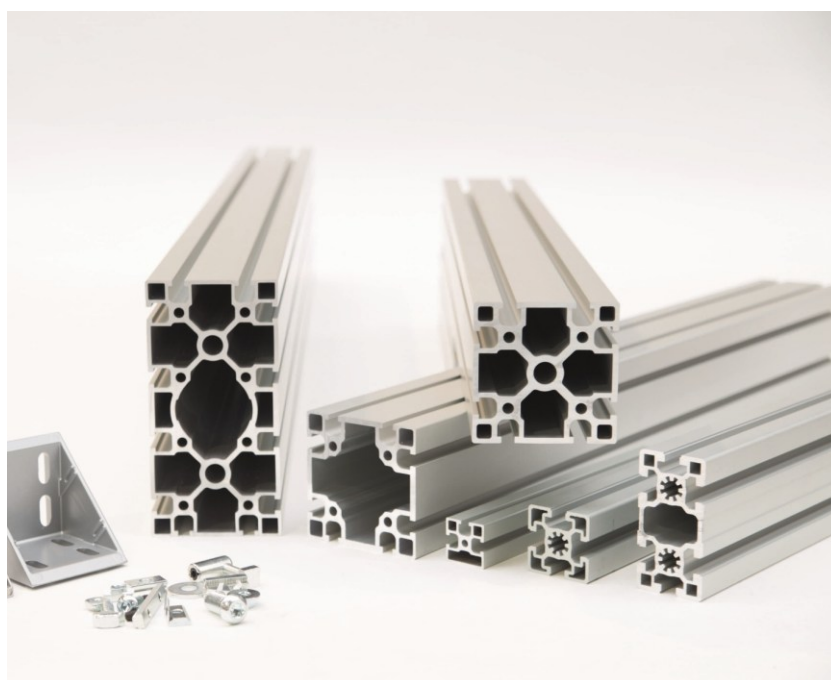
Obrázek 14 Model víka s pohledem na vnější část



Obrázek 15 Model víka v řezu

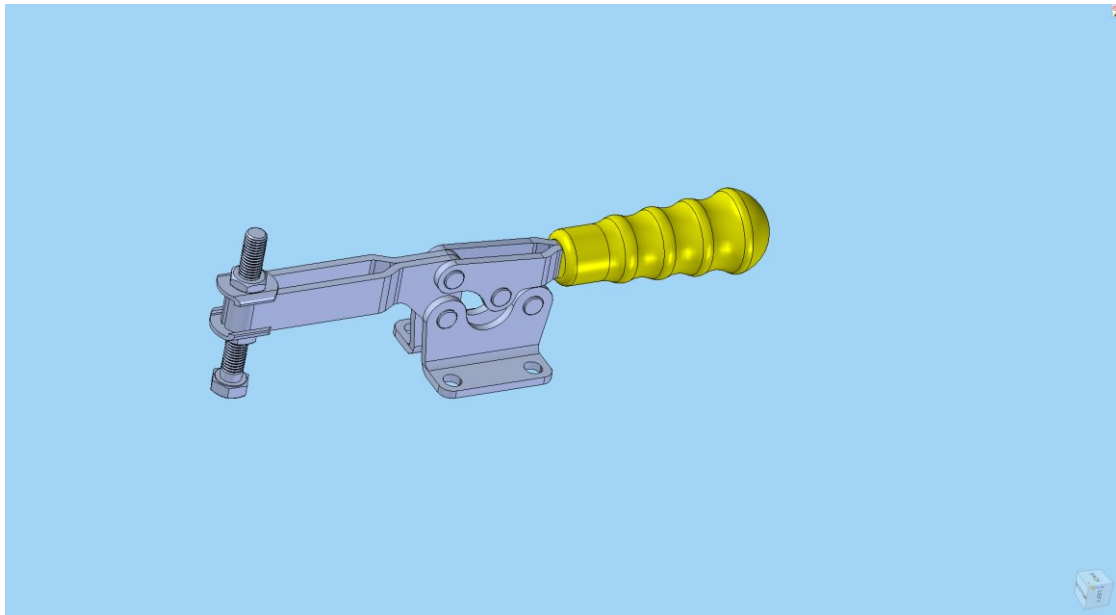
3.3.2 Návrh upínacího přípravku

Základní nosná konstrukce byla realizována z hliníkových profilů typu 45×45 mm s T-drážkami. Tento konstrukční systém byl zvolen z důvodu nízké hmotnosti, modulárnosti a možnosti snadné montáže bez nutnosti svařování. Spojování profilů bylo provedeno pomocí šroubů a přílozek do T-drážky, což zajistilo pevné, avšak rozebíratelné spoje. Vzhledem k rozdílným rozměrům vík byla konstrukce navržena tak, aby každé víko mělo samostatný přípravek, který zajistí přesné ustavení a opakovatelnost upnutí.



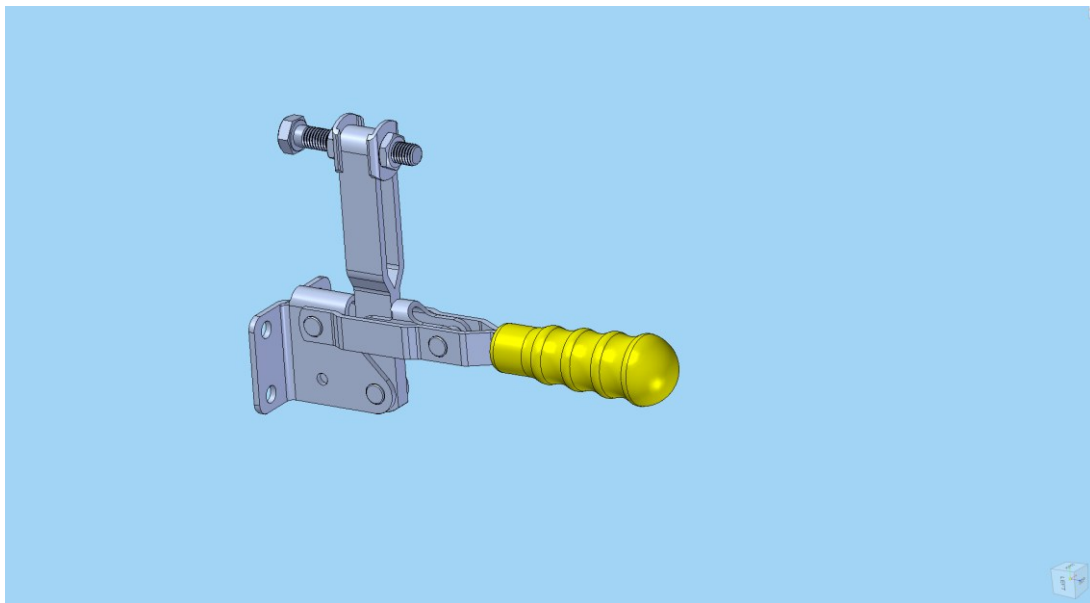
Obrázek 16 Hliníkové profily

K samotnému uchycení víka byly použity rychloupínky JC-Metal 140 UZ, které již byly v minulosti úspěšně aplikovány ve společnosti Hestego. Tato volba umožnila rychlé, opakovatelné a pevné upnutí víka za vnitřní lem přípravku s minimální námahou obsluhy.



Obrázek 17 JC-Metal 140 UZ

Aby byla zajištěna dostatečná tuhost víka při působení přitlačných sil během broušení, byly jako boční vyztužení přípravku použity rychloupínky JC-Metal 240 UZ. Tyto upínky byly vybaveny svisle orientovaným madlem, což zlepšovalo ergonomii při obsluze z vnitřní strany přípravku.

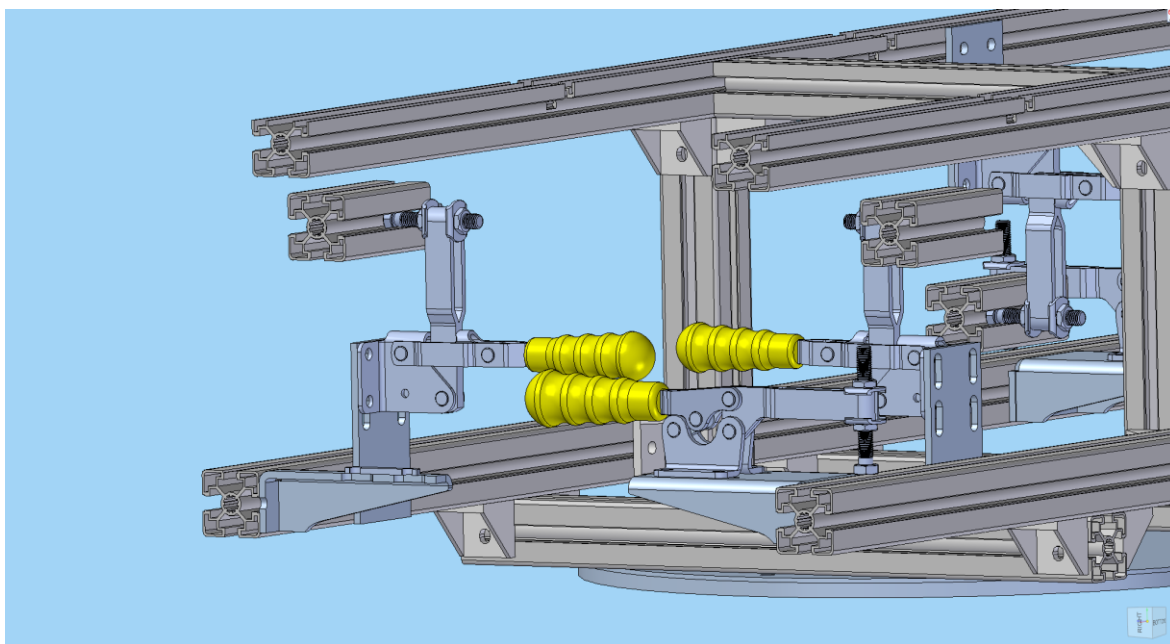


Obrázek 18 JC - Metal 240 UZ

3.3.3 Modelování přípravku

Návrh byl modelován v prostředí CAD softwaru Solid Edge. Jako podklad sloužil 3D model víka, ke kterému byly přesně umístěny a rozvrženy hliníkové profily. Geometrie konstrukce byla uzpůsobena rozměrům víka.

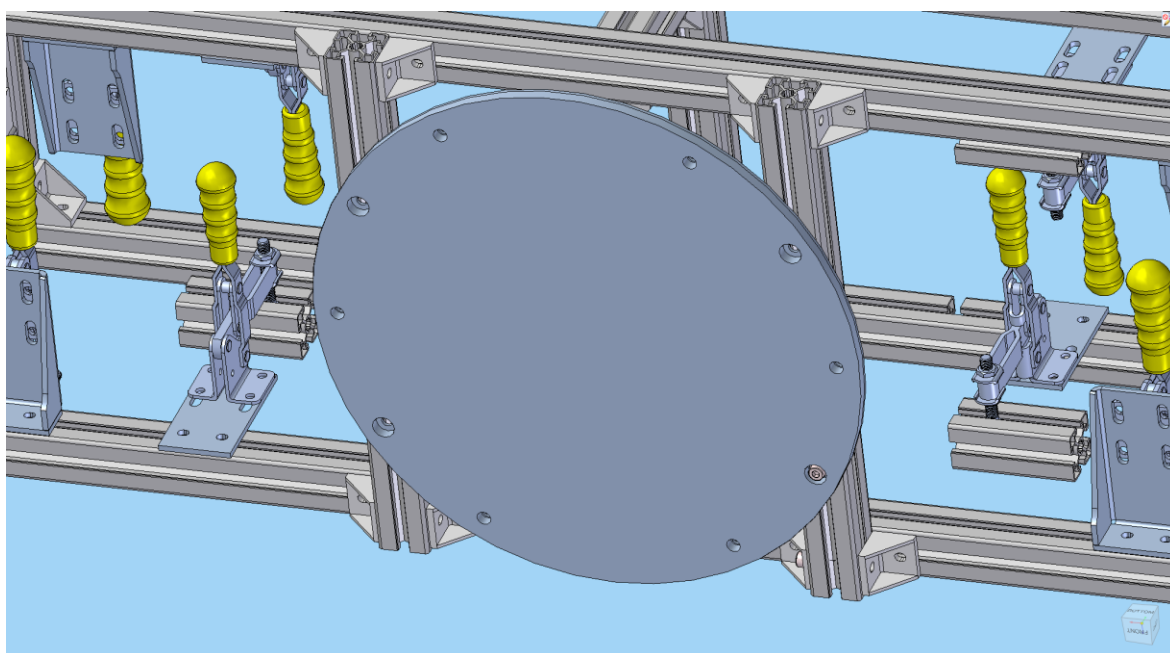
Montážní konzole pro upínky byly vymodelovány z oceli S235JR o tloušťce 5 mm. Jejich rozměr byl optimalizován podle přenosu sil a polohy upínacích mechanismů. Upevňování bylo realizováno šroubovými spoji s možností pozicování v T-drážce.



Obrázek 19 Konstrukce přípravku v řezu

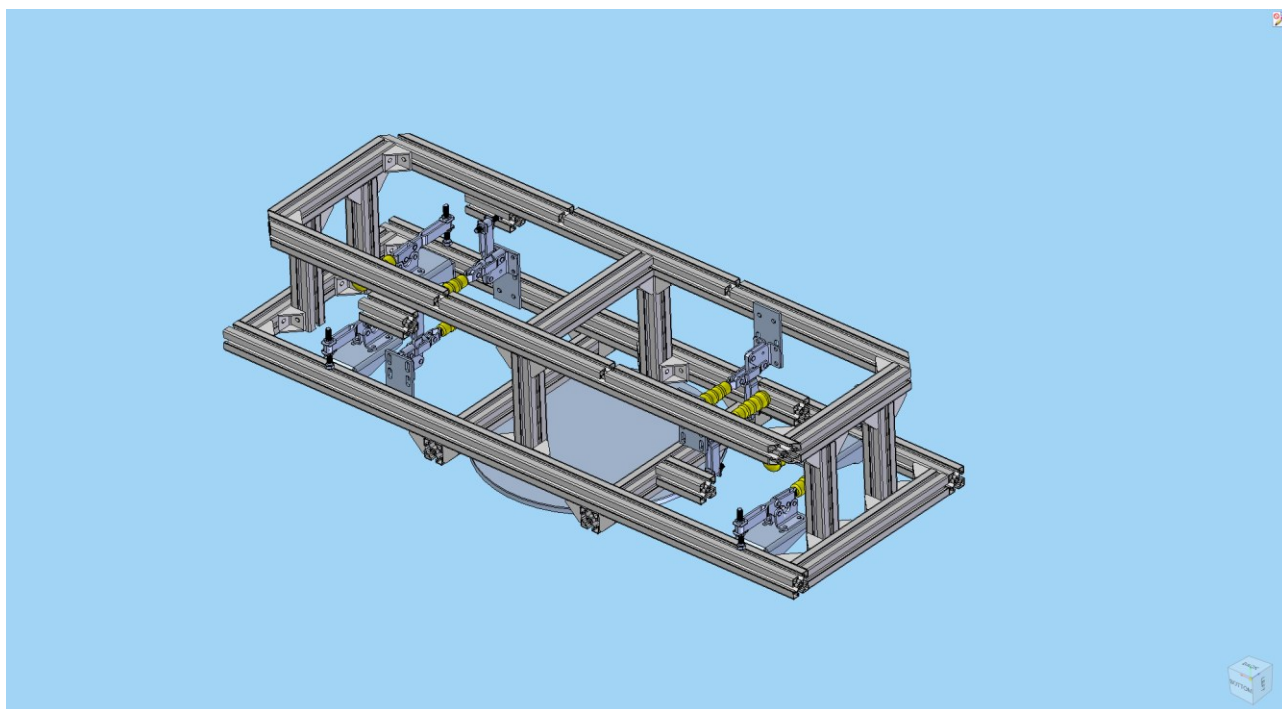
Dalším řešeným tématem bylo, jak celou konstrukci upevnit na pohyblivý stůl robota. K tomu byl použit plech S235JR o tloušťce 10 mm a plech DC01 o tloušťce 3 mm. Oba tyto plechy byly vypáleny laserem do tvaru dvou kruhů s otvory, které přesně kopírovaly tvar a rozměry stolu robota. Na silnějším plechu byly vypáleny čtyři otvory s větším průměrem, které sloužily jako zápusné otvory pro šrouby určené k upevnění na přípravku.

Ostatní otvory budou sloužit k upnutí celé konstrukce přípravku na stůl robota pomocí šroubů, které se připevní maticemi. Díry na šrouby přesně kopírují polohu děr se stolem robota, proto bude přípravek přesně centrovaný a celá konstrukce tak bude pevně nasazena na stůl robota bez hrozby pootočení.

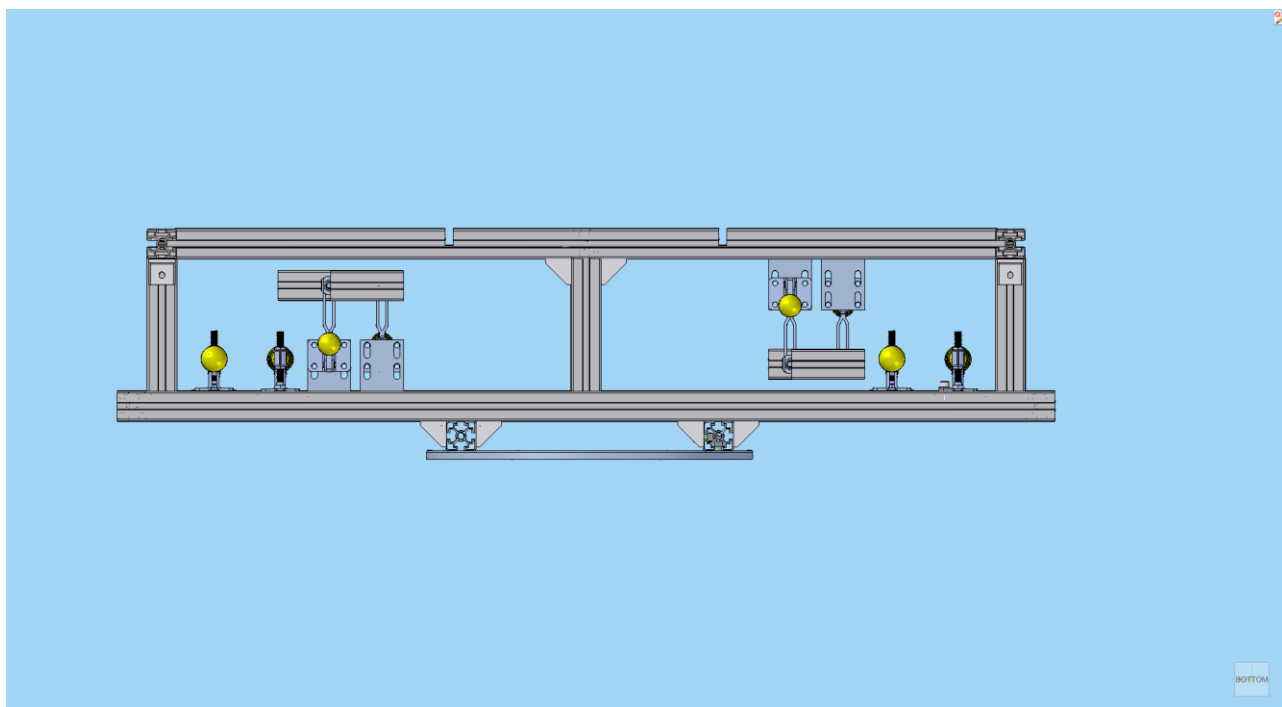


Obrázek 20 Pohled na upínací mechanismus na stůl robota

Když byly jednotlivé díly přípravku vymodelované, byla provedena finální montáž do konečného celku.

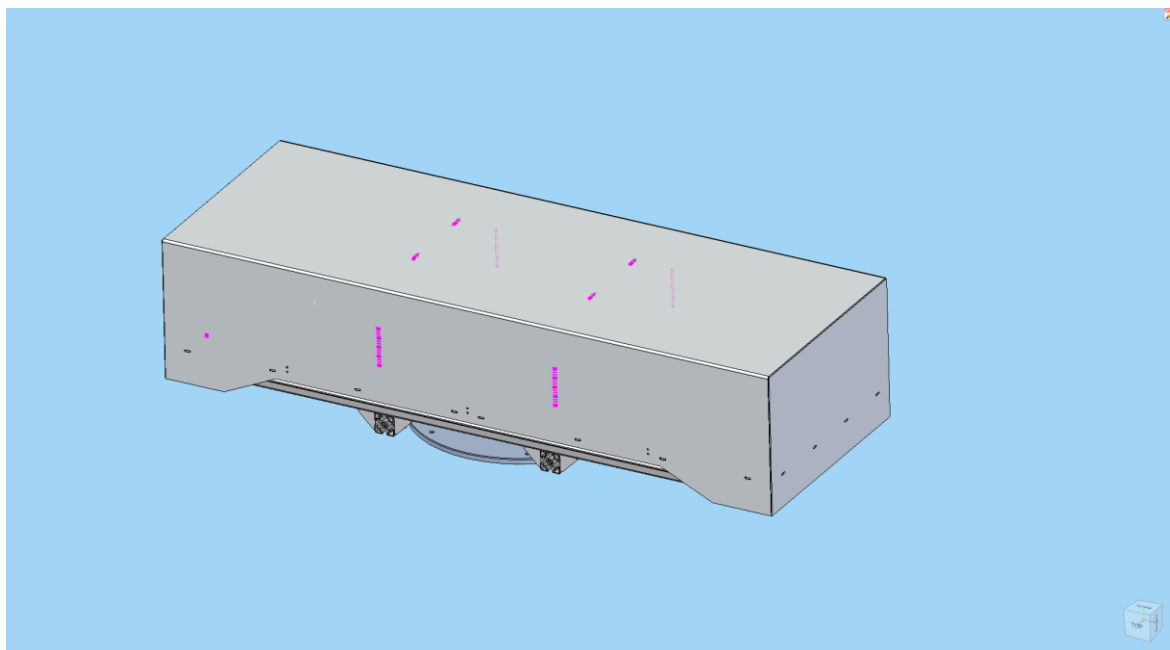


Obrázek 21 Celá konstrukce přípravku

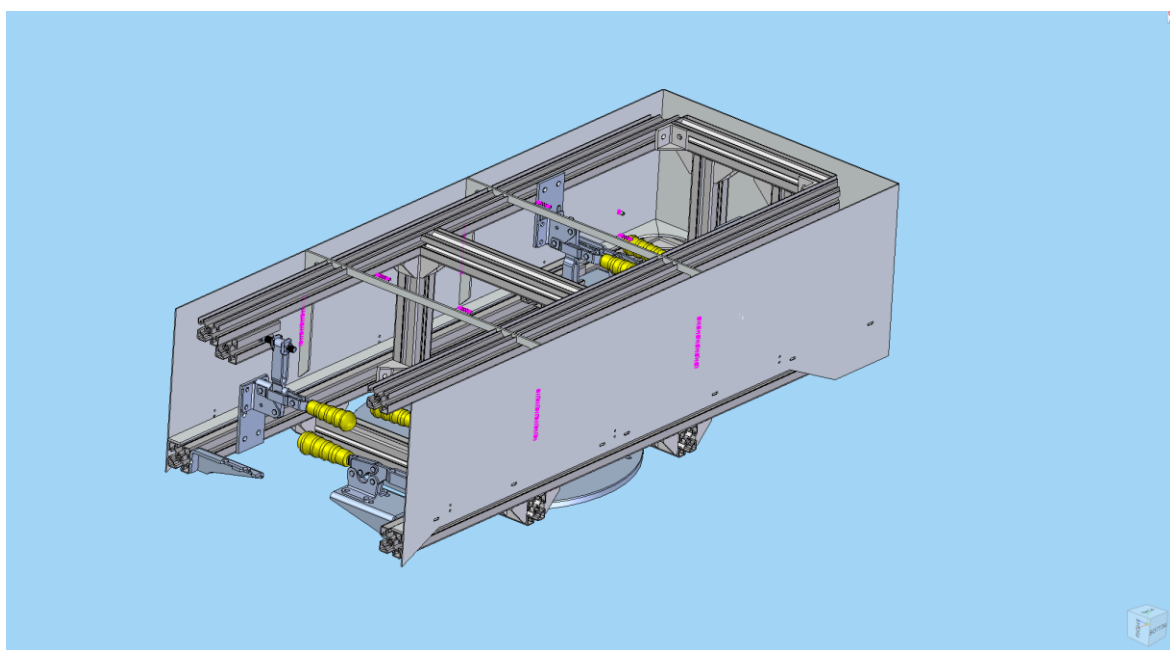


Obrázek 22 Celá konstrukce přípravku s pohledem z boční strany

Jakmile bude celý upínací přípravek upevněn na stůl robota, víka určená k broušení se nasadí shora na konstrukci přípravku. Po nasazení víka obsluha ze spodní části rukou zatáhne za madla upínek, čímž dojde k upevnění a aretaci víka k přípravku a zároveň k vyztužení jeho bočních stěn pomocí bočních upínek.



Obrázek 23 Upínací přípravek s víkem

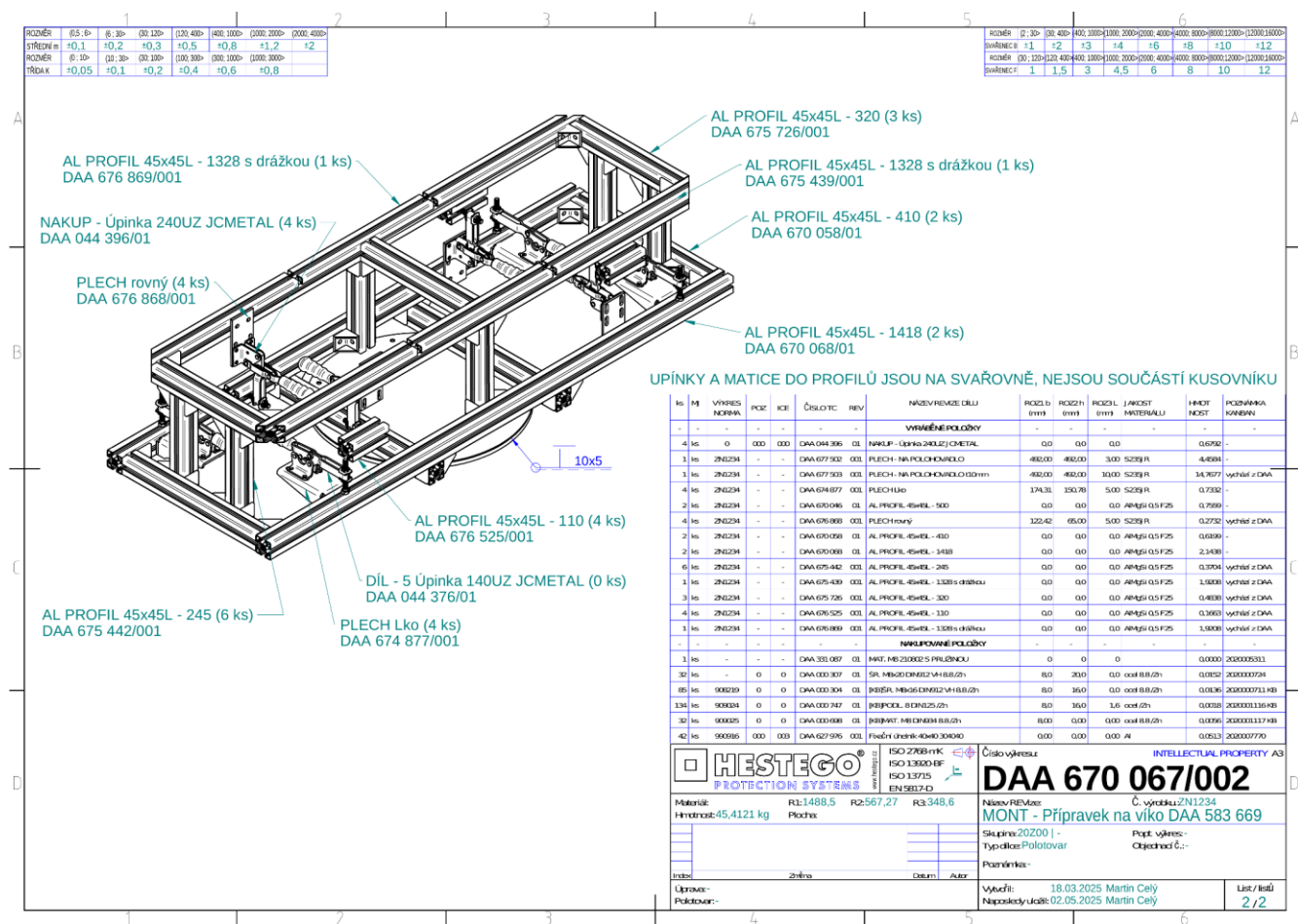


Obrázek 24 Upínací přípravek s víkem v řezu

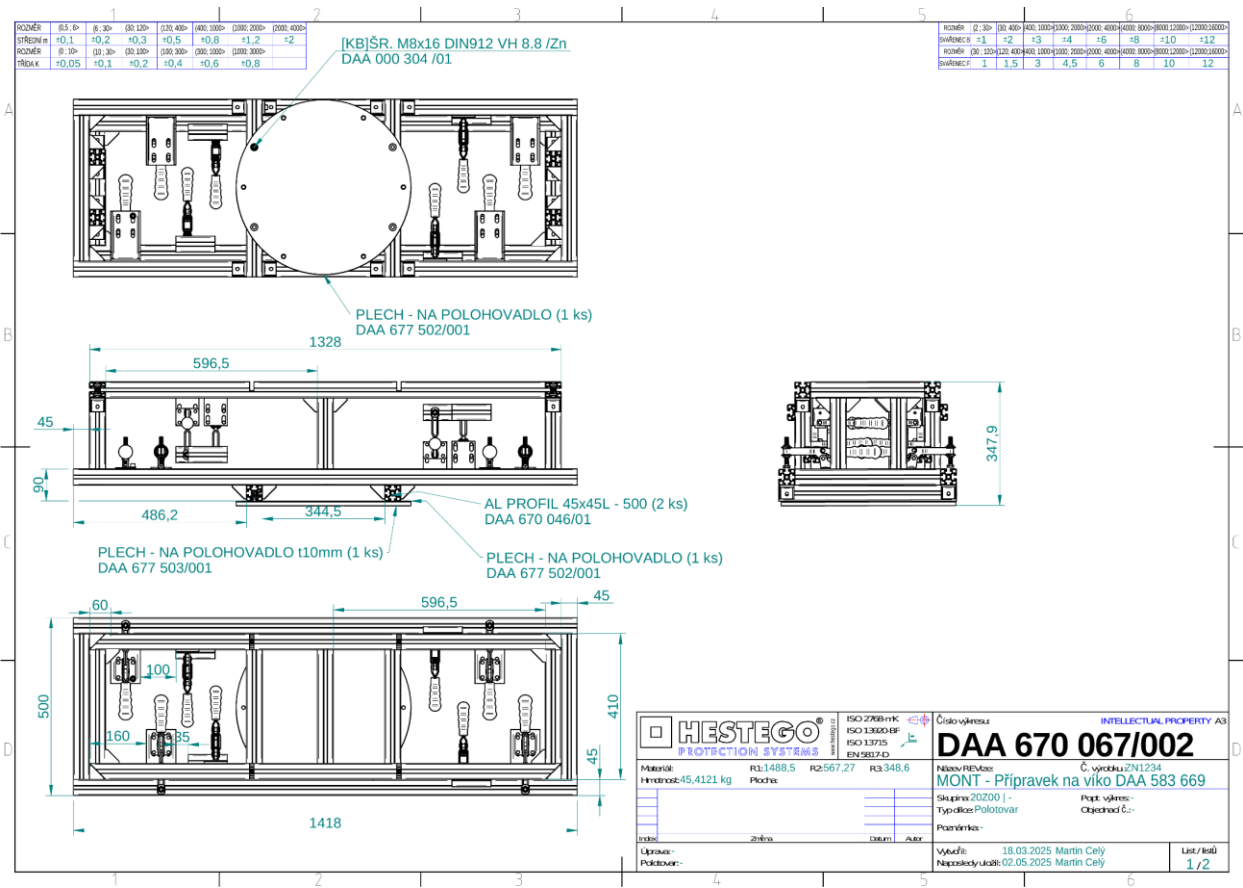
3.3.4 Výkresová dokumentace a zadání do výroby

Po schválení finálního modelu byla v softwaru Solid Edge vygenerována kompletní výkresová dokumentace. Tento nástroj umožnil efektivní převod modelu do 2D výkresů, včetně kótování, kusovníku a podrobných pohledů.

Tato dokumentace slouží jako podklad pro samotnou výrobu a montáž přípravku na broušícího robota.



Obrázek 25 Výkres sestavy přípravku s kusovníkem



4 OTESTOVÁNÍ PŘÍPRAVKU V PRAXI

Cílem praktického ověření bylo prověřit, zda navržený upínací přípravek splňuje všechny funkční požadavky při reálném použití ve výrobním prostředí. Testování proběhlo přímo na pracovišti brousicího robota za běžných provozních podmínek.

Fotodokumentace přípravku s robotem se nachází v příloze této bakalářské práce.

4.1 Tuhost

Tuhost přípravku byla hodnocena na základě jeho schopnosti odolávat deformacím při zatížení vznikajícím během robotického broušení. Během provozu nedocházelo k žádnému znatelnému průhybu nebo prohýbání konstrukce. Použité hliníkové profily i výztuhy z ocelových plechů prokázaly dostatečnou tuhost, která zaručila stabilitu víka v průběhu celého pracovního cyklu.

4.2 Vibrace při broušení

Při testování byly sledovány případné nežádoucí vibrace přenášené mezi robotem, přípravkem a upnutým víkem. Přípravek během broušení nevykazoval žádné znatelné rezonance ani uvolnění upínacích prvků. Kontrola spojů po ukončení broušení neodhalila žádné povolené šrouby nebo známky únavy materiálu. Z toho vyplývá, že konstrukce přípravku je z hlediska provozních vibrací stabilní a bezpečná.

4.3 Opakovatelnost upnutí

Opakovatelnost upnutí byla ověřena opakovaným nasazováním a upínáním víka. Bylo potvrzeno měřením, že víko je po každém upnutí umístěno ve stejné poloze s minimální odchylkou. Rychloupínky JC-Metal zajišťují konzistentní přitlak a stálé ustavení. Tato vlastnost je klíčová pro zajištění rovnoměrného broušení a minimalizaci nutnosti kalibrace mezi jednotlivými cykly. Z hlediska opakovatelnosti lze přípravek hodnotit jako plně vyhovující.

5 OTESTOVÁNÍ BROUSÍČÍHO ROBOTA V PRAXI

Cílem otestování brousícího robota bylo prověřit chování a plnění úkolů, které odpovídají jeho plánovanému využití v praxi.

5.1 Rychlost broušení robota oproti manuálnímu

Víko, které se bude brousit má tyto dané rozměry: výška 320 mm, šířka 509 mm, délka 1427 mm.

Plochy k broušení: 5 vnějších stěn (vše kromě spodní).

5.1.1 Výpočet celkové plochy k broušení

$$0,320 \times 1,427 = 0,4566m^2 \times 2 = 0,9132m^2$$

$$0,320 \times 0,509 = 0,1629m^2 \times 2 = 0,3258m^2$$

$$0,509 \times 1,427 = 0,7264m^2$$

$$0,9132 + 0,3258 + 0,7264 = 1,9654m^2$$

Tabulka 1 Porovnání broušení robota oproti manuálnímu

Parametr	Ruční broušení	Robotické broušení
Celková plocha	1,9654 m ²	1,9654 m ²
Přibližná doba broušení	2–4 hodiny	10–20 minut
Pracovní tempo	0,5–1 m ² /hod	3–6 m ² /hod
Závislost na obsluze	Vysoká (lidská únava, variabilita)	Nízká (stálá kvalita)
Kvalita výstupu	Kolísavá (dle zkušeností)	Konzistentní
Ergonomie práce	Fyzicky náročná	Minimální námaha pro obsluhu

5.2 Porovnání kvality broušeného povrchu

Pro porovnání výsledků byly analyzovány vzorky broušené ručně a vzorky broušené pomocí brousícího robota za použití navrženého upínacího přípravku. Hodnocení bylo provedeno vizuálně.

Broušené povrchy zhotovené roboticky vykazovaly vyšší rovnoměrnost a nižší drsnost. Povrchové vady způsobené lidským faktorem (např. nerovnoměrný tlak, nepřesný pohyb) byly u robotického broušení zcela eliminovány. Tím bylo dosaženo vyšší kvality finálního povrchu a lepší připravenosti pro následné lakování.

Z výsledků lze vyvodit, že automatizované broušení s využitím navrženého přípravku významně zvyšuje kvalitu opracování a zároveň zvyšuje efektivitu celého procesu.

Fotodokumentace broušeného povrchu se nachází v příloze této bakalářské práce.

ZÁVĚR

V praktické části této bakalářské práce byl úspěšně navržen a vymodelován upínací přípravek pro brousicího robota značky FANUC, který bude využíván ve firmě Hestego a.s. Hlavním cílem bylo zefektivnit a automatizovat proces broušení vík pro firmu Tomra s.r.o., který byl dosud prováděn ručně, a tím zvýšit produktivitu výroby.

Celý přípravek byl navržen jako lehká a flexibilní konstrukce složená z hliníkových profilů, které umožňují snadnou montáž a manipulaci. Pro samotné upnutí byly zvoleny ověřené rychloupínky od firmy JC-Metal, které zajistily dostatečnou pevnost a stabilitu při broušení.

V softwaru Solid Edge byl vytvořen kompletní 3D model přípravku, který následně sloužil jako podklad pro výkresovou dokumentaci. Ta obsahuje veškeré potřebné informace pro výrobu jednotlivých dílů i sestavení celého přípravku.

Výsledkem práce je prakticky využitelný a funkční upínací přípravek, který přispívá ke zvýšení efektivity výroby ve firmě Hestego a.s. Další rozvoj přípravku by mohl spočívat v možnosti rychlé výměny segmentů pro různé rozměry vík.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MALKIN, Stephen a Changsheng GUO. *Grinding technology*. 2. vyd. New York: Industrial Press Inc., 2008. ISBN 08-311-3247-7.
- [2] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3337-1.
- [3] MASLOV, Jevgenij Nikiforovič. *Teorie broušení kovů*. Praha: SNTL, 1979.
- [4] ŘÍČKA, Jaroslav a Vladimír BULLA. *Technologie Obrábění*. Praha: SNTL, 1979.
- [5] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění 3. část* [online]. 2005 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvenčni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf.
- [6] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [7] LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie*. Brno: Univerzita obrany, 2006 [i.e. 2007]. ISBN 978-80-7231-220-7.
- [8] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [9] RUI SHU, Zhang, Zhang CHANG a Zheng WEI GANG. The status and development of industrial robots. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [online]. 2018, 423 [cit. 2022-05-15]. ISSN 1757-899X. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/423/1/012051
- [10] Industrial robots - worldwide installations. In: Statista: The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/264084/worldwide-sales-of-industrial-robots/>
- [11] BLUMENBECKER: KUKA roboty [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.cz/cs/company-area/obchod/roboty-kuka/kuka-roboty-stredninosnost/>
- [12] ABB Robotika [online]. 2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-6660-pro-opracovani-povrchu>

- [13] IRB 6600: Industrial Robot [online]. 2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://searchext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0053EN_F&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [14] FANUC. Vyhledávač robotů [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99adam710/m710ic70>
- [15] NOHAVICA, Radek. Robotické broušení svarů [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018 [cit. 2025-04-22].
- [16] Grinding Robots. Industrial Robots for Sale [online]. Copyright 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.robots.com/applications/grinding>
- [17] NOVÁK, Martin. *Broušení kovů*. Vydání: první. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2019. ISBN 978-80-7561-174-1.
- [18] 3M. *Robotics Abrasive Solutions* [online]. 2024 [cit. 2025-04-12]. Dostupné z: https://www.3m.com/3M/en_US/robotics-us/
- [19] Saint-Gobain Abrasives. *Norton Robotics Solutions* [online]. 2024 [cit. 2025-04-12]. Dostupné z: <https://www.nortonabrasives.com/en-us/solutions/robotics>
- [20] Klingspor Schleifsysteme. *Produktpro strojní a robotické broušení* [online]. 2024 [cit. 2025-04-12]. Dostupné z: <https://www.klingspor.de>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Brusná zrna.....	14
Obrázek 2 Brusná zrna spojená pojivem	15
Obrázek 3 Detail úběru materiálu pomocí brusného kotouče.....	19
Obrázek 4 Příklad druhů tvaru brusných nástrojů	21
Obrázek 5 Druhy průmyslových robotů	22
Obrázek 6 Brousící robot.....	23
Obrázek 7 Robot KUKA KR 60-3 HA	24
Obrázek 8 Robot IRB 6600 od firmy ABB	25
Obrázek 9 Robot M-710iC/70 od firmy FANUC	25
Obrázek 10 Robotické broušení plechu s kompenzátorem přtlaku	27
Obrázek 11 Pracovní stanoviště brousícího robota.....	29
Obrázek 12 Výkres pracoviště robota.....	32
Obrázek 13 Model víka s pohledem na vnitřní část.....	33
Obrázek 14 Model víka s pohledem na vnější část.....	34
Obrázek 15 Model víka v řezu.....	34
Obrázek 16 Hliníkové profily	35
Obrázek 17 JC-Metal 140 UZ.....	36
Obrázek 18 JC - Metal 240 UZ.....	37
Obrázek 19 Konstrukce přípravku v řezu	38
Obrázek 20 Pohled na upínací mechanismus na stůl robota.....	39
Obrázek 21 Celá konstrukce přípravku	40
Obrázek 22 Celá konstrukce přípravku s pohledem z boční strany.....	40
Obrázek 23 Upínací přípravek s víkem	41
Obrázek 24 Upínací přípravek s víkem v řezu	41
Obrázek 25 Výkres sestavy přípravku s kusovníkem.....	42
Obrázek 26 Výkres sestavy přípravku s kóty	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Porovnání broušení robota oproti manuálnímu.....	46
--	----

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Apod. A podobně

Tzv. Takzvané

VK Řezná rychlost

D Průměr brousícího kotouče

N Frekvence otáčení brousícího kotouče

Např. Například

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Fotodokumentace upínacího přípravku

Příloha P II: Fotodokumentace broušeného povrchu na robotovi

PŘÍLOHA P I: FOTODOKUMENTACE UPÍNACÍHO PŘÍPRAVKU



**PŘÍLOHA P II: FOTODOKUMENTACE BROUŠENÉHO POVRCHU
NA ROBOTOVÍ**

