VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH MALÉ UNIVERZÁLNÍ BRUSKY PRO OSTŘENÍ NÁSTROJŮ

DESIGN OF A SMALL UNIVERSAL GRINDER FOR SHARPENING TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Filip Grym

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Filip Grym**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	**Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**
Akademický rok:	2022/23

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

Návrh malé univerzální brusky pro ostření nástrojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte a konstrukčně zpracujte řešení malé univerzální brusky pro ostření nástrojů (vrtáky, soustružnické nože, atd.). Rozměrové a výkonnostní charakteristiky budou součástí rešerše a návrhu stroje.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.
Návrh variant řešení a zdůvodnění výběru konkrétního řešení.
Konstrukční návrh zvolené varianty – 3D model.
Nezbytné výpočty potřebné pro návrh a dimenzování.
Výkresová dokumentace vybraných uzlů.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

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

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem malé univerzální brusky na broušení nástrojů. Práce začíná úvodem do problematiky technologie broušení nástrojů, vrtání, frézování a soustružení. Dále je provedena rešerše již existujících řešení na trhu a analýza potřeb uživatelů. Na základě těchto poznatků je navrženo několik různých variant přípravků a způsobů broušení, z nichž je vybrána jedna. Na základě vybrané varianty je zpracován 3D model a výkresová dokumentace vybraných uzlů. Funkčnost návrhu je ověřena základními výpočty.

KLÍČOVÁ SLOVA

Broušení nástrojů, vrták, stopková fréza, soustružnický nůž, nástrojová bruska

ABSTRACT

This thesis deals with the design of a small universal grinder for tool sharpening. The thesis begins with an introduction to the issue of tool sharpening, drilling, milling, and turning. Further, a market research and analysis of user needs is conducted. Based on these findings, several different variants of devices and methods for grinding are proposed, from which one is selected. Based on the selected variant, a 3D model and drawing documentation of selected nodes are developed. The functionality of the design is verified by basic calculations.

KEYWORDS

Tool sharpening, drill bit, end mill, lathe tool, tool grinder

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GRYM, F. *Návrh malé univerzální brusky pro ostření nástrojů*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík. Dostupné také z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149217.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Pavlíka a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 11. května 2023 ……..……..

Filip Grym

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Janu Pavlíkovi za odborné vedení při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat svým nejbližším za podporu v průběhu studia.

OBSAH

Úvod **7**

1 Základní poznatky o současných technologiích **8**
1.1 Technologie broušení 8
1.1.1 Brusné nástroje 8
1.2 Technologie vrtání 9
1.2.1 Nástroje 9
1.3 Technologie frézování 10
1.3.1 Nástroje 10
1.4 Technologie soustružení 11
1.4.1 Nástroje 12

2 Rešerše dostupných malých nástrojových brusek na trhu **13**
2.1 Univerzální bruska nástrojová UBN 13
2.2 Univerzální bruska U2 15
2.3 Bruska Tormek T8 17
2.4 Bruska Wellon MR-6025/Mr-600f 19
2.5 Bruska Hemingway Quorn Mk3 21
2.6 Bruska Hemingway Worden Mk3 23
2.7 Závěr rešerše 25

3 Systémový rozbor práce **26**
3.1 Formulace problému 26
3.2 Formulace cíle 26
3.3 Analýza podstatných parametrů 27
3.3.1 Broušení vrtáků 27
3.3.2 Broušení stopkových fréz 28
3.3.3 Broušení běžných celistvých čelních a přímých ubíracích nožů 29
3.3.4 Upnutí nástroje válcového tvaru 29
3.3.5 Upnutí nástroje hranolového tvaru 30
3.3.6 Brusný kotouč 30
3.3.7 Řezné podmínky 30

4 Návrh variant brusky na ostření nástrojů **31**
4.1 Varianta 1 32
4.1.1 Výhody 32
4.1.2 Nevýhody 32
4.2 Varianta 2 33
4.2.1 Výhody 33
4.2.2 Nevýhody 33
4.3 Varianta 3 34
4.3.1 Výhody 34
4.3.2 Nevýhody 34
4.4 Výběr vhodné varianty 35

5 Popis vybraného konstrukčního řešení **36**
5.1.1 Základna 36

5.1.2 Motor ... 36
5.1.3 Brusný kotouč ... 36
5.1.4 Pracovní stůl ... 37
5.1.5 Upínací přípravek ... 39
5.1.6 3D model finální varianty ... 41
5.1.7 Dosažené parametry ... 42

6 Výpočty ... 43
6.1 Výpočet otáček brusného kotouče ... 43
6.2 Kontrola upnutí nástroje v přípravku ... 44
6.2.1 Upnutí nástroje válcového tvaru ... 44
6.2.2 Upnutí nástroje hranolového tvaru ... 48
6.3 Výpočet průhybu vačkové hřídele ... 51

Závěr ... 54

Použité informační zdroje ... 55

Seznam použitých zkratek a symbolů ... 58

Seznam příloh ... 60

ÚVOD

Strojní obrábění je nejrozšířenější technologický proces, kterým se vytváří požadovaný tvar obráběného předmětu pomocí obráběcího nástroje. Aby se u obrábění docílilo vysoké efektivity a přesnosti, mají obráběcí nástroje na okrajích svých pracovních ploch ostré hrany, které přichází do přímého kontaktu s odebíraným materiálem. Jelikož materiál nástroje není dokonale tvrdý, postupem času se jeho ostré hrany zdeformují a ztupí. Pomocí technologie broušení ale lze odebráním malého množství materiálu pod správným úhlem z nástroje obnovit jeho ostrost a tím mu navrátit jeho funkčnost a efektivitu.

Broušení nástrojů je v průmyslu klíčový proces pro zajištění jejich kvality a dlouhé životnosti. Existuje mnoho různých typů brusek na trhu, ale mnohdy jsou příliš velké, drahé nebo složité pro použití v menších podnicích nebo domácích dílnách.

Tato práce se zaměřuje na analýzu současných trendů v oboru malých nástrojových brusek, návrh a konstrukci malé univerzální brusky, včetně ověření její funkčnosti pomocí výpočtů. Bude řešena zejména otázka upnutí obrobku (nástroje) tak, aby bylo dosaženo dostatečné univerzálnosti a účinnosti, ale zároveň jednoduchosti a nízkých kupních i provozních nákladů. Navržená bruska bude především sloužit k broušení nejčastěji používaných nástrojů, tj. vrtáků, stopkových fréz a základních soustružnických nožů.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout malou univerzální brusku na broušení nejčastěji používaných obráběcích nástrojů, která bude dostatečně účinná, a přitom univerzální, dostupná a bude vyhovovat zejména potřebám menších dílen a domácích řemeslníků.

1 ZÁKLADNÍ POZNATKY O SOUČASNÝCH TECHNOLOGIÍCH

1.1 TECHNOLOGIE BROUŠENÍ

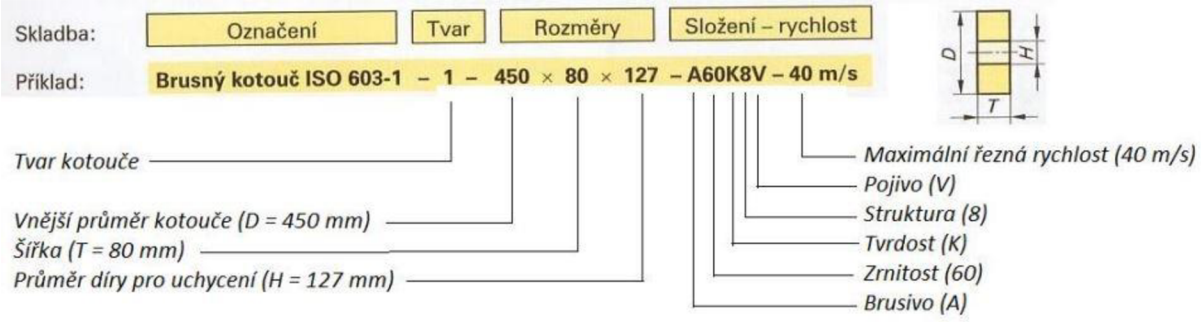
Broušení lze charakterizovat jako obrábění mnohobřitým nástrojem vytvořeným ze zrn brusiva, která jsou spojena pojivem. Historicky patří mezi nejstarší metody obrábění materiálů, které člověk využíval již v prehistorických dobách k výrobě nebo úpravě životně důležitých pomůcek, především k ostření pracovních nástrojů a zbraní. Je to tzv. abrazivní metoda obrábění, tj. brusné nástroje nemají definovanou geometrii břitu. Broušení umožňuje dosáhnout vysoké přesnosti tvaru, rozměrů a drsnosti (textury) povrchu obrobených ploch. [1]

Broušení je obráběcí proces, při kterém se používá nástroj vyrobený z brusných zrn spojených pojivem. Proces je charakterizován nepravidelným ubíráním třísek v důsledku různé geometrie a náhodného rozložení brusných zrn v broušeném nástroji. Třísky jsou malého průřezu (obvykle 10-3 mm2), což vyžaduje velké řezné síly ke překonání odporu, který může dosáhnout až několika desítek tisíc MPa kvůli malému průřezu třísek. Proces broušení se obvykle provádí při vysokých řezných rychlostech, které se pohybují mezi 30 a 100 m/s. Během broušení se však vytváří velké množství tepla, což má negativní vliv na životnost a spolehlivost dané součásti (může dojít ke vzniku zbytkových tahových napětí na povrchu broušené součásti). Z tohoto důvodu je během procesu často nutné použít vydatné chlazení s pomocí chladicích emulzí. [1]

1.1.1 BRUSNÉ NÁSTROJE

K broušení se používají brusné nástroje tvořeny zrny tvrdých materiálů (brusiva – Al2O3, SiC, diamant, kubický nitrid boru) pevně vázanými v tuhých či pružných tělesech různých velikostí a tvarů, jako jsou brousicí, drážkovací a řezací kotouče, brousicí tělíska (Carborundum, Cheil), segmenty a pilníky, brousicí a orovnávací kameny, nebo jsou nanesena a zakotvena na brousících pásech, plátnech a papírech. Pro broušení nástrojů jsou z uvedených typů nástrojů jsou nejčastěji používány brousicí kotouče. [1]

Brusné kotouče nejčastěji vyrábějí z oxidu hlinitého (Al2O3) a karbidu křemíku (SiC). Výběr správného nástroje závisí na našich požadavcích, na jejichž základě vybereme kotouč s konkrétním tvarem, materiálem, zrnitostí a tvrdostí. Zrnitost kotouče se volí podle požadované hrubosti povrchu broušené součásti, zatímco tvrdost kotouče se volí na základě tvrdosti materiálu broušeného dílu. Kotouče se vyrábí v různých tvarech v závislosti na tom, zda volíme obvodové či čelní broušení, na metodě broušení a také na požadavcích obráběné plochy (viz příloha P1). [1]



Obr. 1 Značení brusných kotoučů [2]

1.2 TECHNOLOGIE VRTÁNÍ

Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují díry zplna, nebo zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, předkované atd.). Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obvykle nástroj (vrták), méně často obrobek. Osa vrtáku je zpravidla kolmá k obráběné ploše, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu. Posuvový (vedlejší) pohyb, ve směru své osy, vykonává vrták. [5]

Kvalita otvoru závisí nejen na správném nastavení vrtáku a vhodné rychlosti vrtání, ale i na ostrosti a geometrii řezných hran. Používají se různé druhy vrtáků pro různé materiály a průměry otvorů, například HSS, karbidové nebo diamantové vrtáky. Vrtání je nejčastěji prováděno pomocí strojů, jako jsou soustruhy, frézky nebo vrtačky. [5]

1.2.1 NÁSTROJE

Podle technologie vrtání a druhu, konstrukce a geometrie nástroje lze vrtáky rozdělit do několika hlavních skupin:

- Středící vrtáky
- Šroubovité vrtáky
- Kopinaté vrtáky
- Vrtáky s vyměnitelnou špičkou
- Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami
- Korunkové vrtáky
- Dělové a hlavňové vrtáky
- Ejektorové vrtáky
- BTA nebo STS vrtáky
- Vrtáky do plechu
- Odstupňované vrtáky
- Speciální sdružené nástroje

Nejčastěji používaným nástrojem pro vrtání krátkých děr je šroubovitý vrták, na jehož válcovitém těle jsou vytvořeny obvykle dvě protilehlé šroubovité drážky pro odvod třísky. Vrtáky určené pro vrtání ocelí a litin běžné pevnosti a tvrdosti mají úhel stoupání šroubovice drážek 27° ±5°, větší úhel (42° ±5°) mají vrtáky pro vrtání materiálů s vysokou houževnatostí (např. měkké cementační oceli, slitiny hliníku bez přísady Si, termoplasty), menší úhel (12° ±5°) vrtáky pro vrtání tvrdších materiálů, dávajících drobivou třísku (bronz, mosaz, slitiny hořčíku, tvrdá pryž, bakelit, skelný laminát, tvrzený papír, umakart, novodur, silon, polystyrén, plexisklo). [5]

Pro zmenšení tření vrtáku ve vrtané díře jsou jeho vedlejší hřbety odlehčeny na menší průměr (jmenovitý průměr je zachován pouze na úzké hřbetní fazetce) a tělo vrtáku se směrem ke stopce mírně kuželovitě zužuje. Úhel špičky u běžného šroubovitého vrtáku, určeného pro vrtání běžných nelegovaných ocelí střední pevnosti a litin střední tvrdosti, dosahuje hodnotu $\varepsilon_r=2\kappa_r=118°$, pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů 140°, pro vrtání plastů a tvrdých pryží 90°. Někdy se špička vrtáku vybrušuje pod dvojitým úhlem, např. 90° a 120° (zejména pro vrtání materiálu s horší obrobitelností), což snižuje opotřebení nástroje v důsledku snížení jeho tepelného namáhání, dochází i ke snížení posuvové síly. [5]

Hlavní ostří vrtáku jsou spojena příčným ostřím, které vzhledem k nepříznivé geometrii břitu a pracovním podmínkám v daném místě nástroje výrazně zvyšuje krouticí moment a zejména posuvovou sílu. Proto jsou u většiny současných šroubovitých vrtáků aplikovány různé úpravy příčného ostří (zkrácení pomocí podbroušení), nebo je nástroj konstruován tak, že příčné ostří je zcela odstraněno. [5]

Šroubovitý vrták má poměrně složitou geometrii břitů, protože nástrojové úhly hřbetu i čela jsou podél hlavního ostří proměnné. Pokud má např. nástrojový ortogonální úhel čela v řezu vedeném na obvodu nástroje hodnotu $\gamma o=+20^{o}$, v řezech směrem ke středu se tato hodnota zmenšuje a v ose nástroje může dosahovat nulové nebo dokonce záporné hodnoty. To je z hlediska procesu řezání velmi nevýhodné, zejména s přihlédnutím k nulové hodnotě řezné rychlosti v ose nástroje. Průběh úhlů hřbetu a čela podél hlavních ostří je ovlivněn způsobem podbroušení hlavních hřbetů, které může být realizováno podle kuželové, válcové, šroubovité nebo rovinné plochy. [5]

Šroubovité vrtáky jsou nejčastěji vyráběny z rychlořezných ocelí, pro těžší podmínky obrábění jsou určeny vrtáky s pájenými SK břitovými destičkami a vrtáky z monolitních slinutých karbidů bez povlaků, nebo častěji s otěruvzdornými povlaky, většinou na bázi TiN. [5]

1.3 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

Frézování je obráběcí metoda, při které je materiál obrobku odebírán břity rotujícího nástroje. Posuv nejčastěji koná obrobek, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišuje frézování válcové (frézování obvodem nástroje) a frézování čelní (frézování čelem nástroje). Od těchto základních způsobů se odvozují některé další způsoby, jako je frézování okružní a planetové. [4]

Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou vytvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. [4]

Čelní frézování se uplatňuje při práci s čelními frézami, které mají břity vytvořeny na obvodě i čele nástroje. [4]

1.3.1 NÁSTROJE

Vzhledem k mnohostrannému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě a k velkému rozsahu technologie frézování se v současné době používá mnoho typů fréz. Frézy jsou vícebřité, někdy i tvarově složité, nástroje, které lze v závislosti na jejich technologickém uplatnění třídit do jednotlivých skupin podle různých hledisek:

- Podle umístění zubů
  - Válcové
  - Čelní
  - Válcové čelní
- Podle nástrojového materiálu zubů

    - Rychlořezná ocel
    - Slinuté karbidy
    - Cermety
    - Řezné keramiky
    - KNB
    - PKD
- Podle provedení zubů
    - Zuby frézované
    - Zuby podsoustružené
- Podle směru zubů
    - Zuby přímé
    - Zuby ve šroubovici
- Podle počtu zubů
    - Jednozubé
    - Polohrubé
    - Hrubozubé
- Podle konstrukčního uspořádání
    - Celistvé
    - S vloženými noži
    - S vyměnitelnými břitovými destičkami
- Podle geometrického tvaru funkční části
    - Válcové
    - Kotoučové
    - Úhlové
    - Drážkovací
    - Kopírovací
    - Rádiusové
    - Na výrobu ozubení
- Podle způsobu upnutí
    - Nástrčné
    - Stopkové
- Podle smyslu otáčení
    - Pravořezné
    - Levořezné [4]

1.4 TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ

Soustružení je obráběcí metoda používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů, většinou pomocí jednobřitých nástrojů různého provedení. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi. Soustružením lze obrábět vnější a vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy, rovinné čelní plochy a zápichy. Na soustruzích lze dále vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit, vyrábět hřbetní plochy tvarových fréz podsoustružováním atd. Hlavní pohyb je rotační, koná ho obrobek, posuvový pohyb je přímočarý a koná ho nástroj. Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici a při soustružení čelní plochy po Archimedově spirále. [4]

1.4.1 NÁSTROJE

Z technologického hlediska se rozlišují soustružnické nože radiální (nejčastěji užívané), prizmatické, kotoučové a tangenciální. [4]

Radiální nože lze dělit podle konstrukce, směru posuvového pohybu, způsobu obrábění, tvaru tělesa nože a použitého nástrojového materiálu. Radiální nože lze dělit:

- Podle konstrukce
    - Celistvé
    - S pájenými břitovými destičkami
    - S vyměnitelnými břitovými destičkami
- Podle směru posuvového pohybu
    - Pravé
    - Levé
- Podle způsobu obrábění
    - Obrábění vnějších ploch
    - Obrábění vnitřních ploch [4]

V každé z uvedených skupin se dále nože mohou členit na uběrací, zapichovací, upichovací, kopírovací, závitové a tvarové. [4]

- Podle tvaru tělesa
    - Přímé
    - Ohnuté [4]

2 REŠERŠE DOSTUPNÝCH MALÝCH NÁSTROJOVÝCH BRUSEK NA TRHU

2.1 UNIVERZÁLNÍ BRUSKA NÁSTROJOVÁ UBN

Univerzální víceúčelová nástrojová bruska, vhodná jak na HSS nástroje, tak i na nástroje s karbidovými plátky. Tento stroj je vyroben ve vysoké kvalitě a nabízí výhodný poměr cena/výkon. [6]

Výhody této brusky spočívají ve snadné obsluze, velkém rozsahu nastavení a relativně dobrém poměru cena/výkon. Nástroje se upínají pomocí 5C kleštin v rozsahu průměrů 1,5 – 30 mm do hlavy, kterou lze nastavit do 24 různých pozic. Bruska má tichý chod bez vibrací a velký rozsah příslušenství. Je poháněna jednofázovým motorem přes řemenový převod a je vybavena LED osvětlením.

Obr. 2 Bruska UBN [6]

Tab. 1 Technické parametry brusky UBN [6]

Brousitelné nástroje	Vrtáky, frézy, elektrody
Druh broušení	čelní
Upínání nástrojů pomocí	Kleštin
Max. průměr frézy	30 mm
Max. průměr vrtáku	13 mm
Nast. úhel horizontální	0-180°
Nast. úhel vertikální	0-45°
Negativní úhel čelní	0-52°
Podélný posuv držáku nástrojů	140 mm
Podélný mikro posuv	18 mm
Podélný mikro posuv na další ose	6 mm
Průměr brusného kola	100 mm
Motor	250 W (230/400 V)
Otáčky	5200 ot./min
Rozměry	500 x 400 x 380 mm
Hmotnost	55 kg
Cena bez DPH	27 264,46 Kč

2.2 UNIVERZÁLNÍ BRUSKA U2

Tento nástroj na broušení je schopen zpracovávat nástroje různých tvarů a velikostí. Nástroj lze napolohovat do 24 různých pozic a plně otáčet nástrojem v 360 stupních, což umožňuje precizní broušení všech stran nástroje. Díky snadné výměně nástavce lze použít nástroj na broušení i soustružnických nástrojů. Je vhodný pro broušení nástrojů HSS i povlakovaných, jednobřitých i vícebřitých, s různými tvary, jako jsou stopkové frézy, vrtáky, rádiusové frézy a úhlové frézy s různými tvary, včetně rádiusových a záporných úhlů. Standardní vybavení zahrnuje brusný kotouč (kámen), kleštiny v balení průměr 4, 6, 8, 10, 12 mm, řemen motoru, uzamykací kolík a sadu nástrojů k obsluze brusky. [7]

Obr. 3 Bruska U2 [7]

Tab. 2 Technické parametry brusky U2 [7]

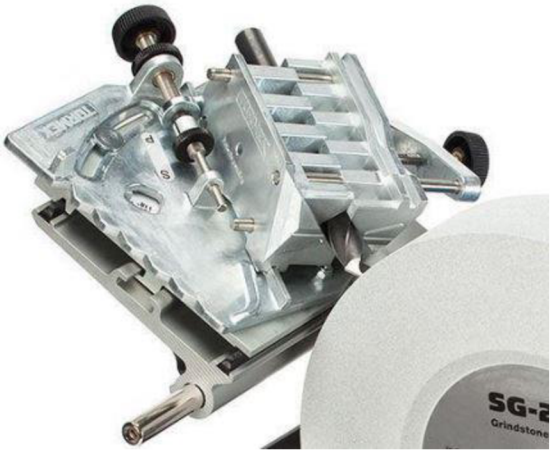
Brousitelné nástroje	Vrtáky, frézy, rádiusové frézy, úhlové frézy
Druh broušení	čelní
Upínání nástrojů pomocí	Kleštin
Max. průměr frézy	25 mm
Max. průměr vrtáku	18 mm
Nast. úhel horizontální	0-180°
Nast. úhel vertikální	0-45°
Negativní úhel čelní	0-26°
Podélný posuv držáku nástrojů	-
Podélný mikro posuv	-
Podélný mikro posuv na další ose	-
Průměr brusného kola	100 mm
Motor	1-3 HP (230/400 V)
Otáčky	3600 ot./min
Rozměry	450 x 400 x 350 mm
Hmotnost	45 kg
Cena bez DPH	51 120,- Kč

2.3 BRUSKA TORMEK T8

Bruska nástrojů od švédské firmy Tormek je tvořena stojanem, který je odlitý jako jeden kus, což má za následek vyšší přesnost broušení a celkovou tuhost konstrukce. Jedná se o univerzální zařízení, na kterém je možno brousit různé typy nástrojů, a to pomocí přípravků a nástavců, jenž mohou být na brusku upevněny. Unikátní systém pohonu dokáže udržovat konstantní otáčky motoru i při plném zatížení stroje. Brusný kámen Tormek umožňuje skvěle brousit všechny druhy ocelí, včetně HSS ocelí. Bruska je také vybavena lapovacím kolem, díky kterému lze dosáhnout, co nejmenší drsnosti povrchu. Stroj také disponuje celou řadou propracovaných řešení, jako je sytém aretace brusného kamene EasyLock, nádobu na vodu se systémem zdvihu pomocí točítka nebo oddělitelnou škrabku na nečistoty s integrovaným magnetem. [8]

Výhoda této brusky jsou malé zástavbové rozměry, široká škála kompatibilních přípravků a kotouč chlazený vodou, což přispívá ke zvýšení kvality broušení a životnosti broušeného nástroje. Nevýhodou je, že v základní konfiguraci lze brousit pouze šroubovité vrtáky. K broušení širší škály nástrojů je nutné dokoupit přípravky k tomu určené. Další nevýhodou je pomaluběžný motor, což dále zužuje praktičnost.

Obr. 4 Bruska Tormek T8 [8]



Obr. 4 Přípravek k upínání nástrojů Tormek T8 [8]

Tab.3 Technické parametry brusky Tormek T8 [8]

Brousitelné nástroje	Vrtáky, frézy (pouze se speciálním přípravkem)
Druh broušení	obvodové
Upínání nástrojů pomocí	Univerzální prizmy
Max. průměr frézy	-
Max. průměr vrtáku	22 mm
Nast. úhel horizontální	-
Nast. úhel vertikální	-
Negativní úhel čelní	-
Podélný posuv držáku nástrojů	-
Podélný mikro posuv	-
Podélný mikro posuv na další ose	-
Průměr brusného kola	250 mm
Motor	200 W (230 V)
Otáčky	900 ot./min
Rozměry	270 x 270 x 330 mm
Hmotnost	14,8 kg
Cena bez přípravku	19 729,- Kč

2.4 BRUSKA WELLON MR-6025/MR-600F

Tato bruska od čínského výrobce Wellon umožňuje broušení různých typů nástrojů, zejména vrtáků, fréz, soustružnických nožů a jiných. Pracovní stůl používá vodící lišty zajišťující vysokou přesnost, plynulý pohyb a stabilitu. Motor se může otáčet o 360 stupňů v horizontální rovině a brusný kotouč může být roztočen v obou smyslech. Bruska také nabízí rychlou výměnu brusného kotouče a zvýšenou bezpečnost při obsluze. Výrobce slibuje dobrou ovladatelnost. Bruska je kompatibilní se širokou škálou příslušenství. [9]

Obr. 5 Bruska Wellon [9]

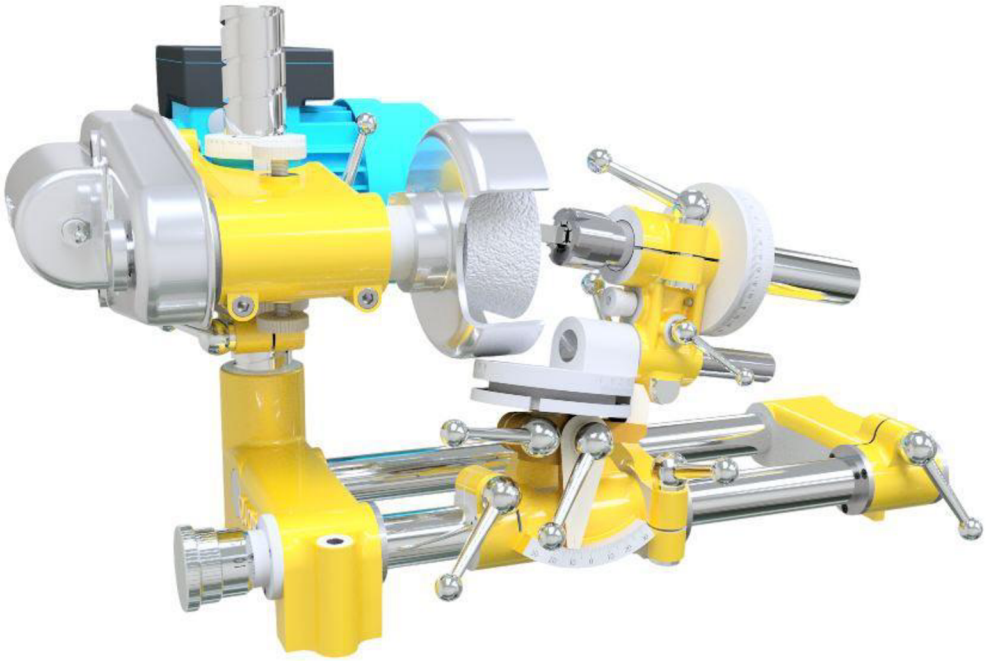
Tab.4 Technické parametry brusky Wellon [9]

Brousitelné nástroje	Vrtáky, frézy
Druh broušení	Čelní/obvodové
Upínání nástrojů pomocí	Kleštin
Max. průměr frézy	30 mm
Max. průměr vrtáku	22 mm
Nast. úhel horizontální	-
Nast. úhel vertikální	-
Negativní úhel čelní	-
Podélný posuv držáku nástrojů	350 mm
Příční posuv	150 mm
Podélný mikro posuv	-
Průměr brusného kola	150 mm
Motor	350 W (400 V)
Otáčky	5000 ot./min
Rozměry	730 x 710 x 715 mm
Hmotnost	209 kg
Cena (po přepočtu)	38 000,- Kč

2.5 BRUSKA HEMINGWAY QUORN MK3

Univerzální bruska Hemingway Quorn Mk3 umí brousit různé nástroje a frézovací nože, včetně soustružnických nástrojů. Lze ji také použít k výrobě nebo oživení ručních nástrojů, a dokonce brousit malé válcové díly s vysokou přesností. S Quornem mohou uživatelé dosáhnout úrovně přesnosti a dokončení, které není možné s nejistými přístupy nebo běžnými nástroji. Bruska se také může použít pro další úkoly, jako je broušení kalených ventilů, ložiskových ploch a otvorů, a někteří uživatelé připojili hlavu k jiným strojům. [10]

Specialita této brusky je, že je dodávána jako sada, kterou si zákazník sám složí a nainstaluje. Tím se výrazně sníží výrobní náklady. Díky tomu je bruska velice jednoduché konstrukce a je velmi všestranná. Přes svoji jednoduchost na ní lze s poměrně vysokou přesností brousit širokou škálu nejen obráběcích nástrojů.



Obr. 6 Bruska Quorn Mk3 [10]

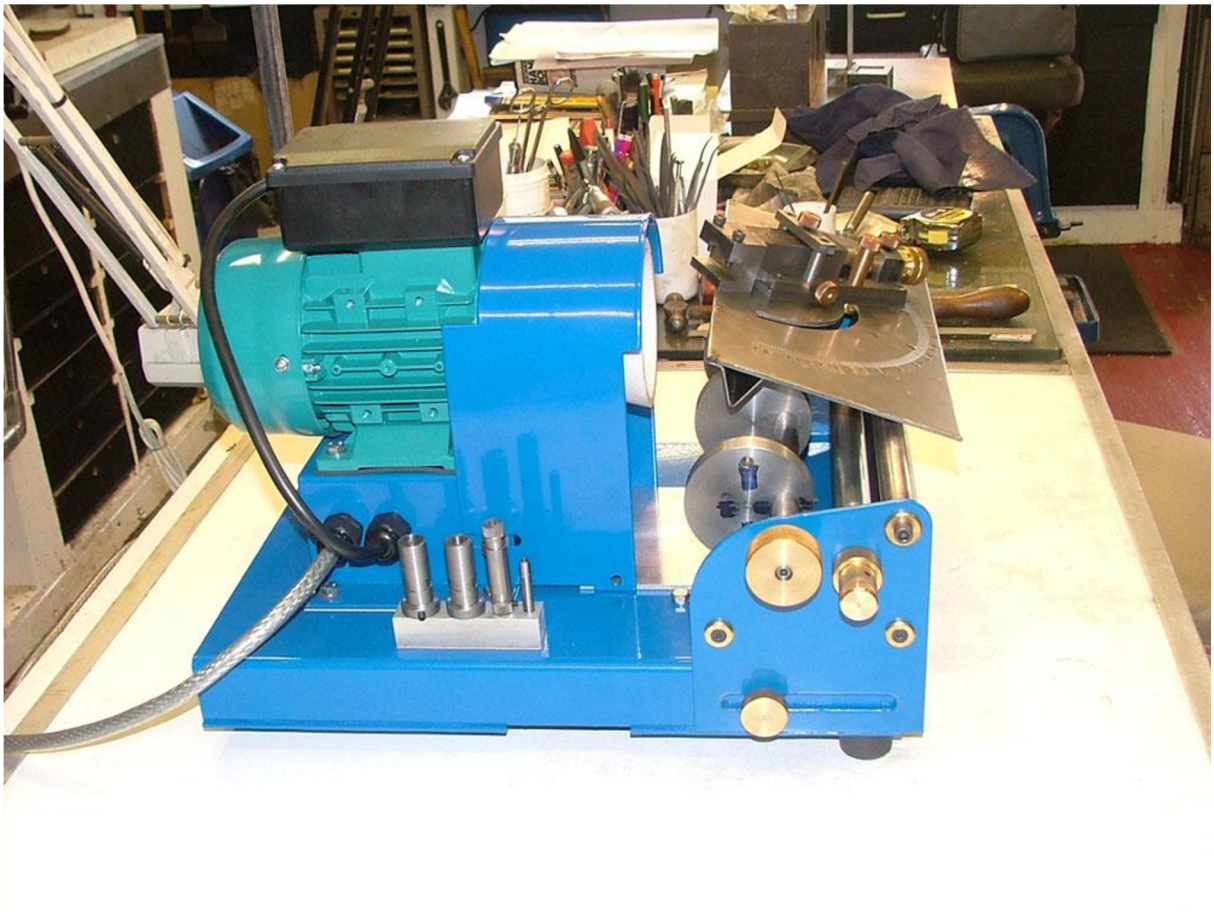
Tab.5 Technické parametry brusky Quorn Mk3 [10]

Brousitelné nástroje	Vrtáky, stopkové frézy, ruční nástroje
Druh broušení	čelní
Upínání nástrojů pomocí	ER kleštin
Max. průměr frézy	25 mm
Max. průměr vrtáku	16 mm
Nast. úhel horizontální	0-180°
Nast. úhel vertikální	0-55°
Negativní úhel čelní	0-20°
Podélný posuv držáku nástrojů	220 mm
Příční posuv	-
Podélný mikro posuv	10 mm
Průměr brusného kola	4‘‘ (101,6 mm)
Motor	250 W (230 V)
Otáčky	2800 ot./min
Rozměry	550 x 320 x 380 mm
Hmotnost	26 kg
Cena (po přepočtu)	17 318,- Kč

2.6 BRUSKA HEMINGWAY WORDEN MK3

Ostré nástroje s přesnou geometrií jsou klíčem k úspěšnému obrábění, a proto jsou nástroje broušené pomocí přípravku nezbytné pro malé dílny. Worden Mk3 je kompletní sada umožňující opakované ostření soustružnických nožů a frézovacích nástrojů s přesností do 0,5° ve všech rovinách. Nabízí možnost brousit různé úhly a přesné nástroje pro obrábění materiálů jako je ocel, mosaz nebo plast. Stavební sada Worden Mk3 obsahuje všechny potřebné součásti a je snadno sestavitelná. [22]

Druhá, jednodušší bruska od Hemingway. Tato bruska je rovněž dodávána jako sada, kterou si zákazník sestaví sám. Je velmi jednoduché konstrukce z relativně levně vyrobitelných součástí. Tato bruska se od ostatních liší zejména svým polohováním nástroje. Nástroj je zde upevněn v kleštině v přípravku, který je umístěn na polohovacím stole. Přípravek sám o sobě se může otáčet kolem svislé osy a zajišťuje mikro posuv. Stůl se poté může pohybovat v dalších 3 osách.



Obr. 7 Bruska Worden Mk3 [22]

Tab.6 Technické parametry brusky Worden Mk3 [22]

Brousitelné nástroje	Vrtáky, stopkové frézy
Druh broušení	čelní
Upínání nástrojů pomocí	ER kleštin
Max. průměr frézy	25 mm
Max. průměr vrtáku	16 mm
Nast. úhel horizontální	0-180°
Nast. úhel vertikální	0-55°
Negativní úhel čelní	0-20°
Podélný posuv držáku nástrojů	220 mm
Příční posuv	-
Podélný mikro posuv	10 mm
Průměr brusného kola	4‘‘ (101,6 mm)
Motor	250 W (230 V)
Otáčky	2800 ot./min
Rozměry	400 x 315 x 247 mm
Hmotnost	23 kg
Cena (po přepočtu)	12 235,- Kč

2.7 ZÁVĚR REŠERŠE

V rešerši bylo vybráno 6 zástupců univerzálních brusek na nástroje. U prvních dvou zástupců (UBN a U2) se jedná o brusky profesionální, schopné splnit vysoké požadavky na kvalitu a přesnost broušení. To je ovšem vykoupeno vysokou nákupní cenou a nízkou univerzálností (nelze brousit např. soustružnické nože nebo ruční nástroje). Další bruskou zahrnutou v rešerši je bruska Tormek T8. Tato bruska slouží převážně na broušení vrtáků. Je zde ale možnost dodatečné montáže přípravků na broušení dalších nástrojů. Čínská bruska Wellon je průmyslová bruska sloužící na broušení velkého rozsahu průměrů vrtáků a fréz. Její hlavní nevýhodou jsou velké rozměry a hmotnost. Poslední dvě brusky od britské firmy Hemingway jsou brusky určené spíše pro domácí dílny a malé firmy. Mezi jejich hlavní výhody patří nízká cena, malé rozměry a univerzálnost. To je vykoupeno nižší přesností broušení a menším rozsahem brousitelných průměrů. Zejména poté u modelu Worden Mk3, jehož konstrukce je velmi jednoduchá, a ne příliš robustní, lze očekávat vibrace a nižší tuhost.

Největší nevýhodou rešeršovaných brusek jsou vysoké pořizovací náklady. Pro malé firmy a domácí dílny jsou tyto brusky kromě posledních dvou cenově nedostupné.

Další nevýhodou je nemožnost brousit soustružnické nože bez užití speciálních přípravků, jelikož většina brusek využívá systém kleštin, do kterých lze upnout jen omezené množství válcových nástrojů. Navíc je třeba mít ke každému průměru nástroje jednu kleštinu, což dále navyšuje cenu.

Některé brusky vyžadují trojfázovou zásuvku, což je zejména pro domácí dílny nevhodné.

Drtivá většina nástrojových brusek využívá čelního broušení.

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PRÁCE

3.1 FORMULACE PROBLÉMU

Broušení nástrojů je extrémně náročné na přesnost a kvalitu. Nepřesné či nekvalitní broušení může vést k nepřesnému obrábění, nízké životnosti nástroje a nízké kvality povrchu obrobku. Dostupné brusky na trhu jsou profesionální, přesné, univerzální a zajišťují kvalitní broušení, nicméně jejich hlavní nevýhoda spočívá ve vysoké nákupní ceně, složité obsluze, případně v příliš velkých zástavbových rozměrech. Mnohdy jsou poháněny třífázovým motorem, což je zejména pro domácí dílny nevhodné. Největší nevýhoda je poté v nutnosti použití speciálních a drahých přípravků pro každý druh nástroje. Pro upínání kulatých nástrojů vyžadují prakticky všechny dostupné brusky navíc sadu kleštin, které jsou poměrně drahé.

3.2 FORMULACE CÍLE

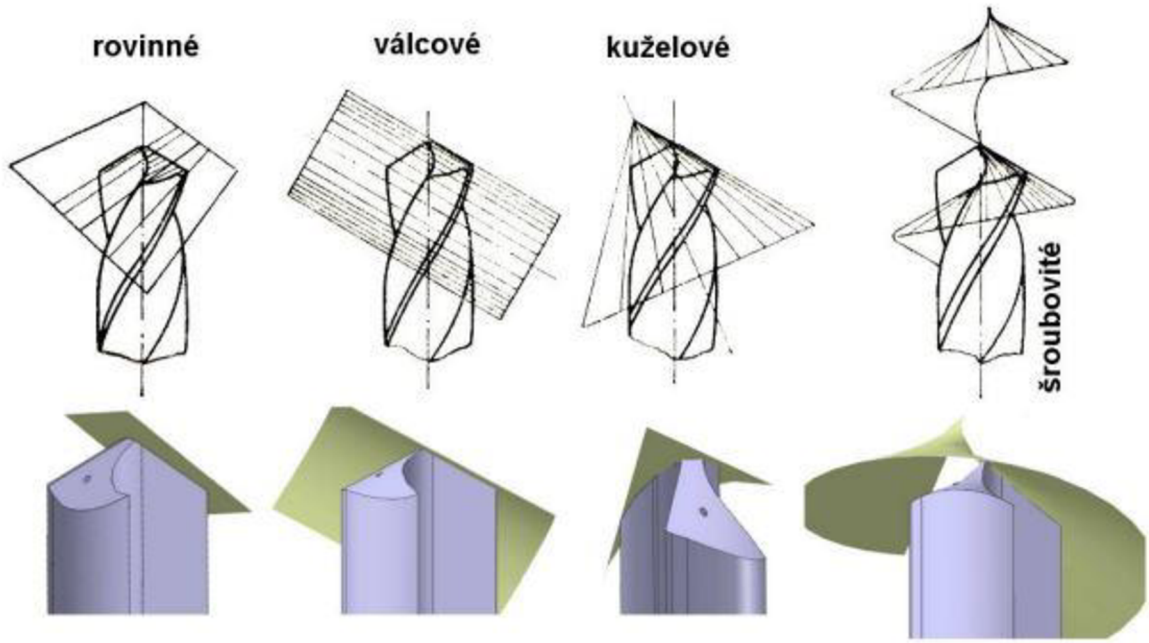
Cílem je navrhnout takovou univerzální brusku nástrojů, která bude splňovat následující:

- Cenová dostupnost pro malé firmy nebo domácí dílny
- Možnost brousit šroubovité vrtáky a stopkové frézy s válcovou stopkou o průměrech od 3 do 16 mm
- Možnost brousit standardní celistvé soustružnické nože
- Dostatečná tuhost a robustnost konstrukce
- Snadná obsluha
- Nízké výrobní náklady, jednoduchost a snadná smontovatelnost

3.3 ANALÝZA PODSTATNÝCH PARAMETRŮ

3.3.1 BROUŠENÍ VRTÁKŮ

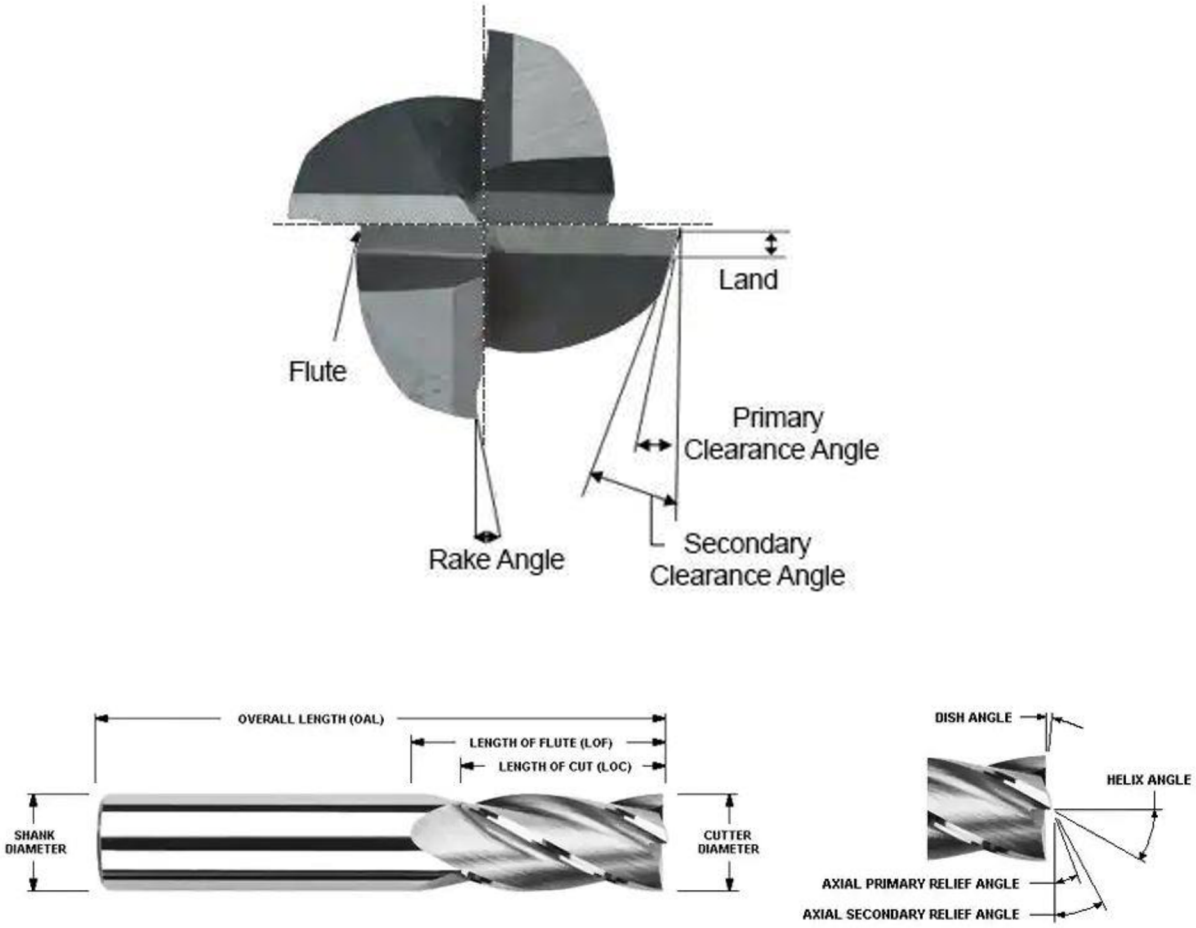
Při broušení vrtáků je nejdůležitější správné nastavení úhlu špičky. Ten závisí na druhu materiálu, do kterého chceme vyvrtat otvor. Nejčastější hodnoty úhlů špičky jsou 118° (kovové materiály), 90° (dřevo a plast) a 140° (vrtáky malých průměrů). Na kvalitu nabroušení vrtáku má dále vliv podroušení vrtáku. Existují různé typy podbroušení, jako je rovinný, válcový, kuželový a šroubovitý, z nichž každý se hodí pro určité průměry vrtáků a materiály. Dále je důležité, aby ostří bylo dokonale symetrické, protože každá nepřesnost může ovlivnit kvalitu vrtání. Abychom dosáhli dokonalé symetrie ostří, je vhodné použít speciální přípravky. [11]



Obr. 7 Způsoby podbroušení vrtáku [5]

3.3.2 BROUŠENÍ STOPKOVÝCH FRÉZ

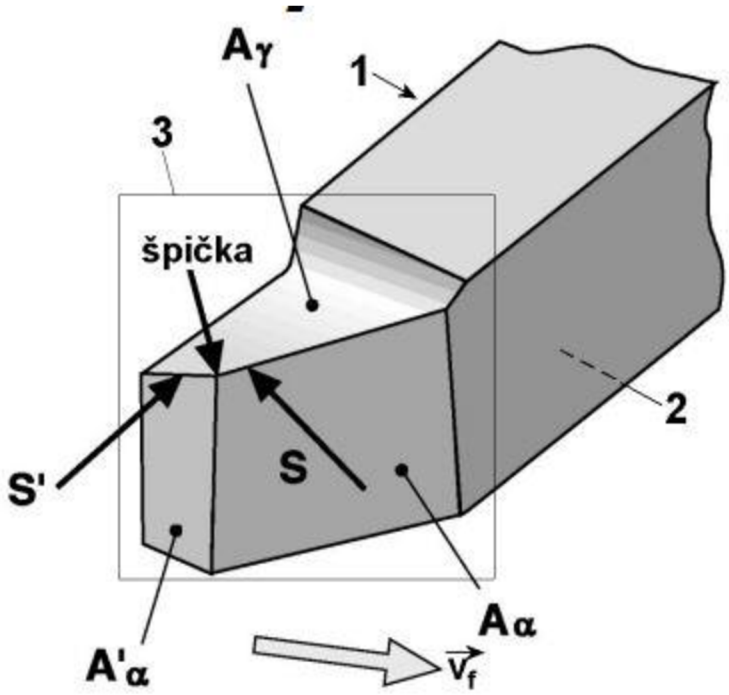
Běžné stopkové válcové frézy mají na čele 2 nebo 4 břity. Každý břit má hlavní a vedlejší hřbet. Úhel hlavního hřbetu je obvykle 5° a úhel vedlejšího hřbetu se pohybuje mezi 10° - 12°. Šířka hlavního hřbetu je u nové frézy cca 1 mm, pravidelným broušením se tato plocha ale rozšiřuje do prostoru vedlejšího hřbetu. Jakmile šířka hlavního hřbetu dosáhne hodnoty cca 2 mm, je nutné brousit vedlejší hřbet. Tím se šířka hlavního hřbetu opět vrátí na hodnotu 1 mm. Oba hřbety se brousí obdobným způsobem, je pouze nutné nastavit ke každému správný úhel. Čelo frézy je konkávní (1°-2°), tj. fréza přichází do kontaktu s materiálem na koncích hřbetů a díky tomu je zde nejvíce opotřebována. To je rovněž nutné zohlednit při broušení. [12]



Obr. 8 Pracovní úhly a detail stopkové frézy [18]

3.3.3 BROUŠENÍ BĚŽNÝCH CELISTVÝCH ČELNÍCH A PŘÍMÝCH UBÍRACÍCH NOŽŮ

Běžné celistvé čelní a přímé ubírací nože se dělí na pravé a levé, přičemž jsou si navzájem zrcadlově totožné. Na těchto nožích jsou klíčové dvě části – čelo nástroje a hřbet nástroje. Hřbet nástroje se skládá ze dvou ploch – hlavní ostří ($A'\alpha$) a vedlejší ostří ($A\alpha$). Úhel ve vodorovné rovině mezi těmito dvěma plochami bývá u čelních nožů používaných pro běžné oceli okolo 55°, u nožů přímých 80°-85°. Obě plochy jsou rovněž pod úhlem vůči svislé rovině, Vedlejší ostří zpravidla 10°-12°, hlavní ostří 15°. Úhly se u různých typů nožů určených pro různé materiály můžou lišit. Čelo nástroje ($A\gamma$) je na horní straně nástroje a je to plocha, po níž odchází tříska. [13][14][15]



Obr. 9 Pracovní plochy soustružnického nože [15]

3.3.4 UPNUTÍ NÁSTROJE VÁLCOVÉHO TVARU

Aby bylo docíleno kvalitního a přesného broušení nástroje, je nutné ho správně upnout. Základní metody upnutí válcových nástrojů:

- Univerzální prizma
- Kleštiny
- Sklíčidlo vrtačkové
- Sklíčidlo soustruhové

Výhoda prizmat je v jednoduchosti a v možnosti upnutí velkého rozsahu válcových nástrojů pomocí jednoho páru prizmat. Nevýhoda běžných prizmat je poměrně složitá obrobitelnost, jelikož jsou prizmy opatřeny zuby, které se mohou do sebe zaklesnout a tím umožňují upnutí široké škály vrtáků či fréz.

Výhoda kleštin je ve vysoké přesnosti a tuhosti upnutí a možností otáčet nástrojem podle podélné osy. Jejich nevýhoda ale je, že jedna kleština umožňuje upnutí pouze jednoho průměru vrtáku či frézy. Pro upnutí širšího rozsahu průměrů je tudíž nutné mít kleštin celou sadu, což je drahé.

Běžné vrtačkové sklíčilo je vhodné pouze do vrtaček nebo tam, kde na vrták nepůsobí větší radiální síly, jelikož vrtačkové sklíčidlo neposkytuje dostatečnou tuhost.

Na rozdíl od vrtačkového sklíčidla poskytuje soustruhové sklíčidlo mnohem větší odolnost vůči bočním silám, rovněž do něj lze upnout velkou škálu nástrojů, avšak toto řešení je pro brusky nástrojů příliš rozměrově náročné. [11]

3.3.5 UPNUTÍ NÁSTROJE HRANOLOVÉHO TVARU

Soustružnický nůž se u soustruhu upíná do nožové hlavy, kde je nůž držen minimálně dvěma šrouby. Toto upnutí zaručuje vysokou tuhost při obrábění a zamezení vibrací. Nožové hlavy jsou otočné a najednou mohou být upnuty až čtyři různé nástroje. Výška nože se vymezuje pomocí ocelových podložek. U větších soustruhů se využívají tzv. upínky. [16]

3.3.6 BRUSNÝ KOTOUČ

Druhů brusných kotoučů je celá řada. Dělí se podle tvaru, rozměru, materiálu či jemnosti zrn. Vybraný brusný kotouč má velký vliv na broušení nástroje. Pro broušení nástrojů se používají jemnější zrnitosti (mezi 60 a 120), jelikož jsou nástroje vyrobeny z tvrdých ocelí. [11]

3.3.7 ŘEZNÉ PODMÍNKY

Pro optimální broušení je nutné dodržet řezné podmínky. Doporučená obvodová rychlost kotouče je pro broušení nástrojů z rychlořezné oceli (HSS) 25 $m \cdot s^{-1}$, pro nástroje ze slinutých karbidů (SK) 15 $m \cdot s^{-1}$. Je proto nutné zvolit správné otáčky motoru a skombinovat ho se správným průměrem kotouče. [17]

4 NÁVRH VARIANT BRUSKY NA OSTŘENÍ NÁSTROJŮ

Ve všech navrhnutých variantách je volena základna z ohýbaného plechu, která je opatřena příslušnými otvory pro montáž sestavy motoru, pojezdů přípravků a otvory pro montáž k pracovní desce či ponku.

Všechny varianty jsou vybaveny stejným elektrickým motorem, který je postaven na plechové základně. Zde je také umístěn vypínač motoru.

Nástroj je ve všech variantách upnut ve speciálním upínacím přípravku, jejímž základem jsou jednoduché prizmy. Přípravek je vybaven mikro posuvem a stavěcím šroubem, kterým lze ustavit na stole/držáku.

4.1 VARIANTA 1

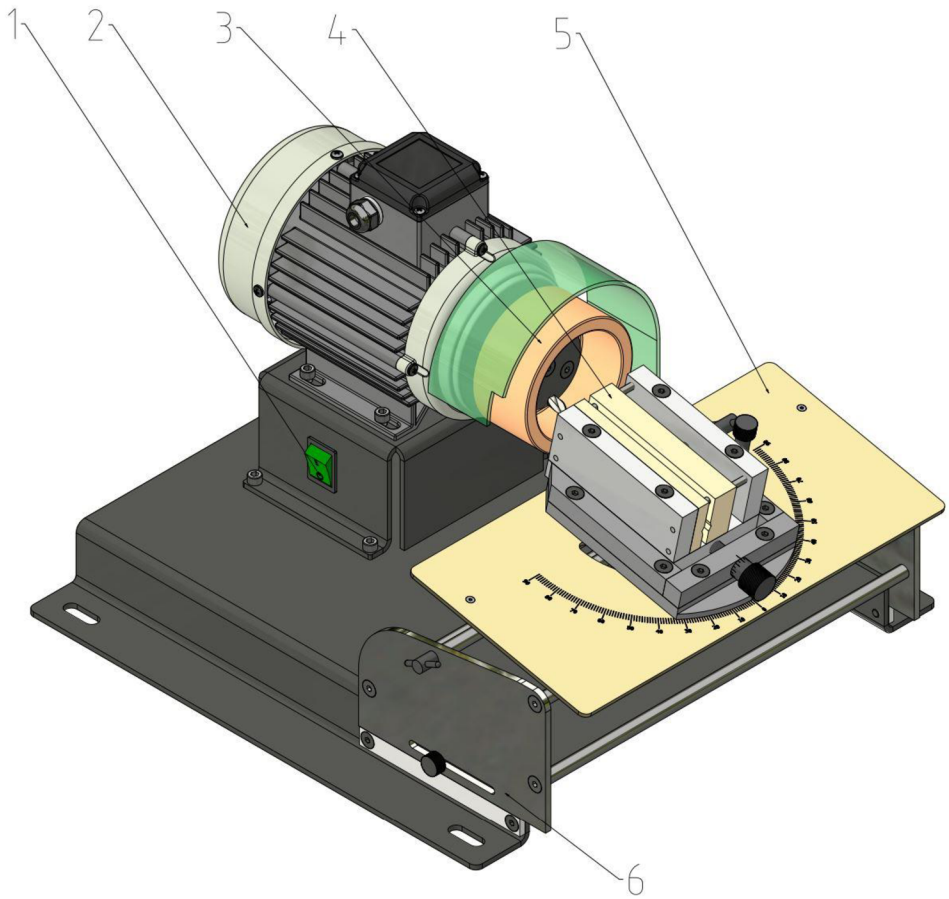
V první návrhové variantě je voleno čelní broušení nástroje, stejně jako u většiny brusek z rešerše. Motor (2) je tím pádem umístěn v podélné ose a je osazen brusným kotoučem (3) soudkovitého tvaru vhodným pro čelní broušení. Upínací přípravek nástroje (4) je umístěn na stavitelném stole (5), který umožňuje translační pohyb je 2 osách a rotační pohyb podle 1 osy. Přípravek je možné otáčet na čepu kolem svislé stoly a ustavit ho v potřebném úhlu.

4.1.1 VÝHODY

Mezi hlavní výhody této varianty patří velký rozsah nastavitelných úhlů a pojezdů díky stavitelnému stolu a dostatku prostoru před kotoučem. Díky tomu je přístroj všestranný a umožňuje snadnou a bezpečnou manipulaci.

4.1.2 NEVÝHODY

Nevýhodou je, že kvůli čelnímu broušení a podélnému umístění motoru je bruska poměrně dlouhá. Dále čelní broušení neslibuje takovou přesnost jako broušení obvodové.



1 – vypínač, 2 – elektromotor, 3 – brusný kotouč, 4 – upínací přípravek, 5 – stůl, 6 – pojezd stolu

Obr. 10 Schéma první návrhové varianty

4.2 VARIANTA 2

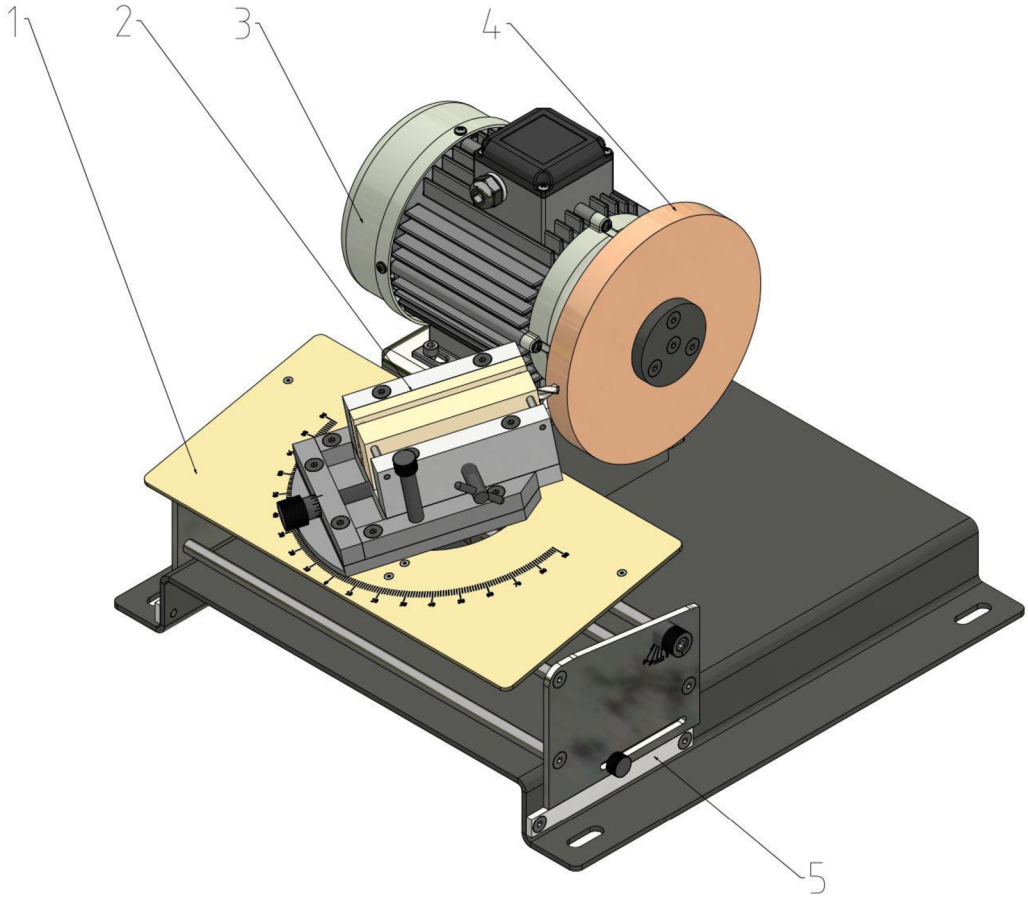
Ve druhé variantě je narozdíl od první varianty využito broušení čelní. Motor je kvůli tomu pootočen o 90° a je osazen kotoučem rovným, který je vhodný pro čelní broušení. Systém upínání a polohování nástroje je totožný s variantou 1. Vzhledem k omezenému prostoru u vypínače je vypínač přesunut na zadní stranu držáku motoru.

4.2.1 VÝHODY

Výhoda této varianty spočívá v menších zástavbových rozměrech. Dále je broušení obvodem kotouče nejpřesnější způsob broušení rovinných ploch, protože se pracuje s relativně úzkým kotoučem a obrobek se vlivem tepla vzniklého při broušení deformuje jen nepatrně. [1]

4.2.2 NEVÝHODY

Aby přípravek nebo součásti stolu nekolidovaly s motorem, je nutné použít větší kotouč, což znamená větší moment setrvačnosti, tím pádem se déle se roztáčí a přístroj má vyšší spotřebu elektrické energie. Rozsah nastavitelných úhlů stolu je omezen válcovou geometrií kotouče.



1 – stůl, 2 – upínací přípravek, 3 – elektromotor, 4 – brusný kotouč, 5 – pojezd stolu

Obr. 11 Schéma druhé návrhové varianty

4.3 VARIANTA 3

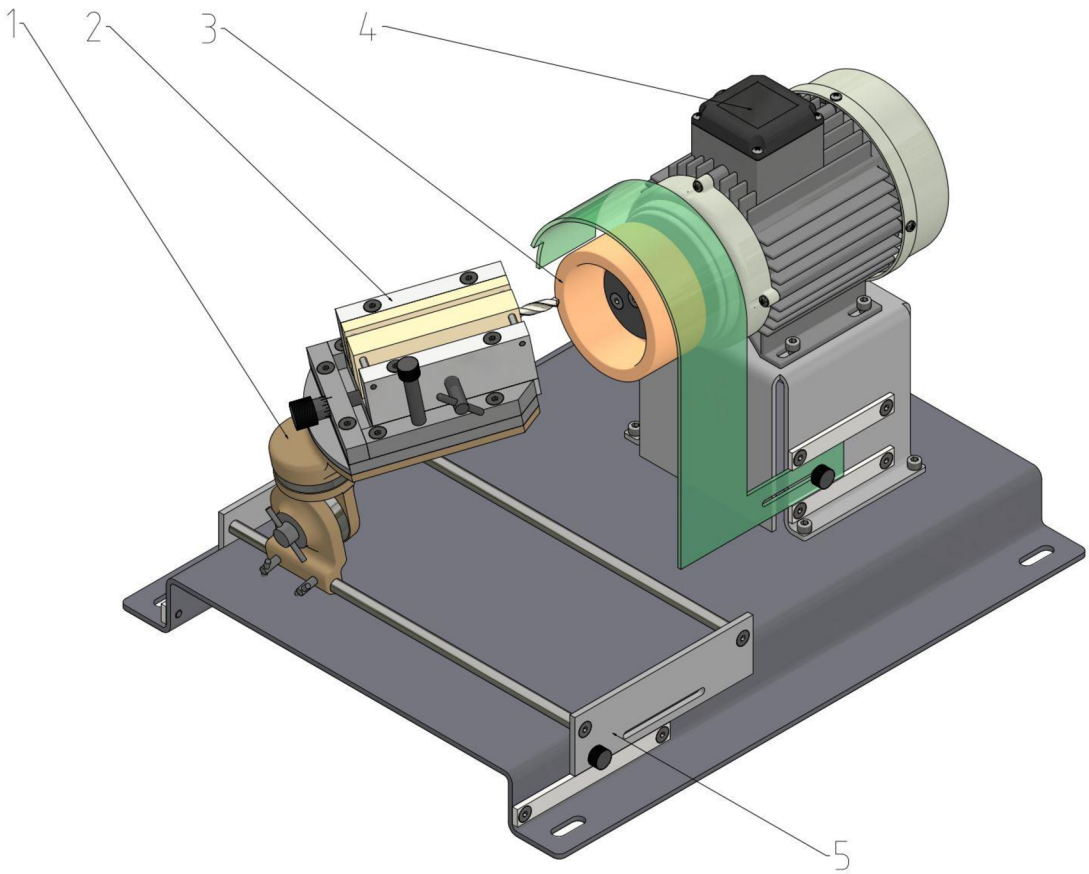
Stejně jako v první variantě je u třetí varianty voleno broušení čelní. Varianta 3 se ale liší systémem upevnění a polohování přípravku s nástrojem. Namísto stolu je tu využito konvenčnější řešení podobné běžným bruskám. Jedná se o držák přípravku (1), který je schopen vykonávat translační pohyb ve 2 osách a rotační pohyb ve 3 osách.

4.3.1 VÝHODY

Hlavní výhodou je větší polohovatelnost nástroje díky držáku.

4.3.2 NEVÝHODY

Přístroj je kvůli držáku vyšší. Díky tomu, že je držák ukotven pouze na jedné straně, je jeho ukotvení namáháno na krut, což může znamenat protáčení držáku nebo hladké tyče, na níž je upevněn. Další velkou nevýhodou této varianty je, že držák je poměrně drahý na výrobu, protože je složen z několika odlitků, které jsou choulostivé na přesné obrobení a složení.



1 – stavitelný držák přípravku, 2 – upínací přípravek, 3 – brusný kotouč, 4 – elektromotor, 5 – pojezd stolu

Obr. 12 Schéma třetí návrhové varianty

4.4 VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY

Pro výběr výsledné varianty byly všechny varianty zaneseny do tabulky (Tab. 7) a porovnány podle několika kritérií.

Tab.7 Srovnání kritérií navržených variant

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Přesnost broušení		✓	
Rozsah nastavitelných úhlů	✓		✓
Univerzálnost	✓		
Doba roztočení kotouče	✓		✓
Rozměry		✓	
Cena	✓	✓	

Po zvážení výhod a nevýhod všech variant byla vybrána varianta 1. Tato varianta splňuje všechny požadavky pro nenáročné broušení velké škály nástrojů za zachování nízké ceny a snadné obsluhy.

5 POPIS VYBRANÉHO KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Jelikož i vybraná varianta obsahuje několik nedostatků, byly tyto nedostatky ve finální verzi odstraněny. Ve finální verzi bylo nutné opatřit stůl širšími bočnicemi a tyčemi s větším průměrem kvůli tuhosti konstrukce. Zároveň jsou v bočnicích vyrobeny osazení pro spojující tyče. Jsou upraveny lišty pro pojezd stolu, otvory pro šrouby jsou zhotoveny s vyšší vůlí, aby šlo lišty po smontování seřídit a tím vykompenzovat výrobní nepřesnosti vzniklé zejména ohýbáním plechu. Nakonec je v konečné verzi vylepšena ergonomie. Stupnice nastavování úhlu stolu je pootočena a zvětšena, aby na ni obsluha lépe viděla a ovládací kolečko je opatřeno rafikou. Stůl je opatřen páčkami pro snazší posuv stolu v příčném směru a bočnice jsou opatřeny ovládacím prvkem umožňujícím snazší přísuv stolu v podélném směru.

5.1.1 ZÁKLADNA

Základna je z ohýbaného 5 mm plechu. Je opatřena otvory pro montáž motoru, pojezdových lišt a otvory pro ukotvení brusky k pracovní ploše.

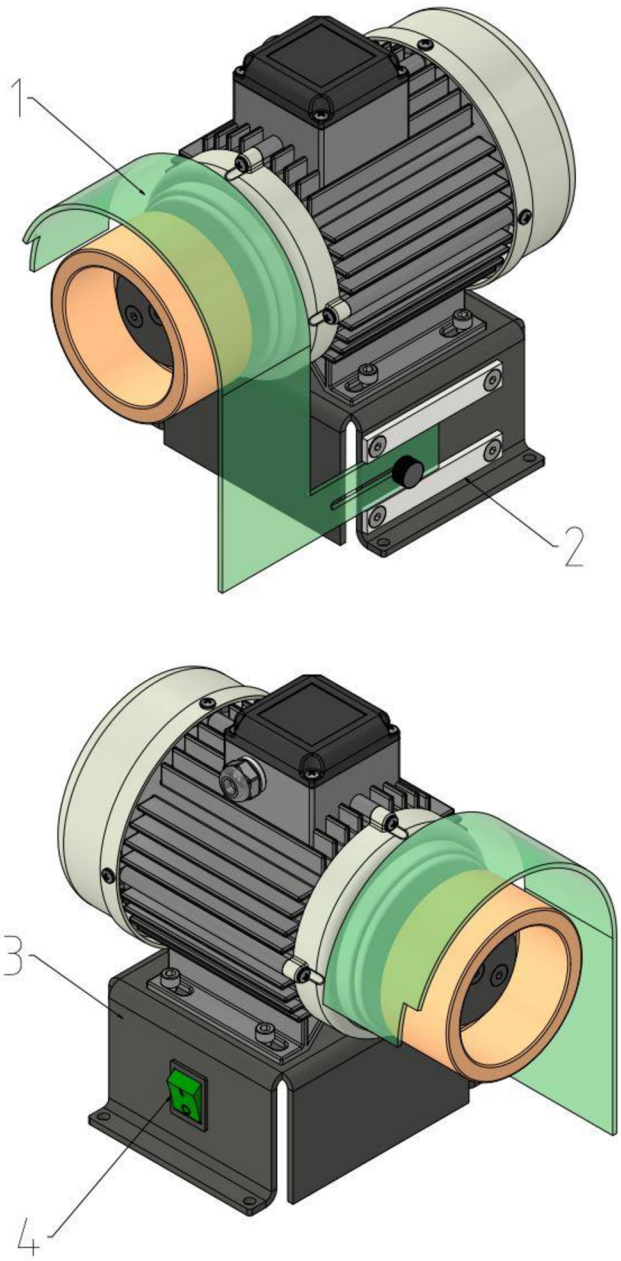
5.1.2 MOTOR

Motor je běžný jednofázový asynchronní. Je umístěn na plechovém stojanu (3), na kterém je zboku umístěn vypínač (4). Jeho výkon činí 250 W při 2800 ot./min.

5.1.3 BRUSNÝ KOTOUČ

Je použit brusný kotouč soudkového tvaru s brusivem z umělého korundu s keramickým pojivem. Je volena jemná drsnost. Rozměry kotouče jsou 100 x 50 x 19 mm. [19]

Motor s kotoučem je opatřen ochranným krytem (1), aby byla obsluha chráněna proti odletujícím třískám a jiskrám. Je vyroben z 3 mm plechu, aby v případě roztržení kotouče co nejvíce ochránil obsluhu. Jelikož se broušením z kotouče odebírá materiál, kotouč se postupně zkracuje. Kvůli tomu lze kryt v ose motoru posouvat a nastavovat do potřebné polohy (2) podle opotřebení kotouče nebo v případě použití jiného rozměru nebo typu kotouče tak, aby nepřekážel, ale vždy dostatečně chránil obsluhu před třískami. I tak se samozřejmě doporučuje mít ochranu zraku.



1 – kryt kotouče, 2 – nastavování polohy krytu, 3 – stojan motoru, 4 – vypínač motoru

Obr. 13 Schéma sestavy motoru

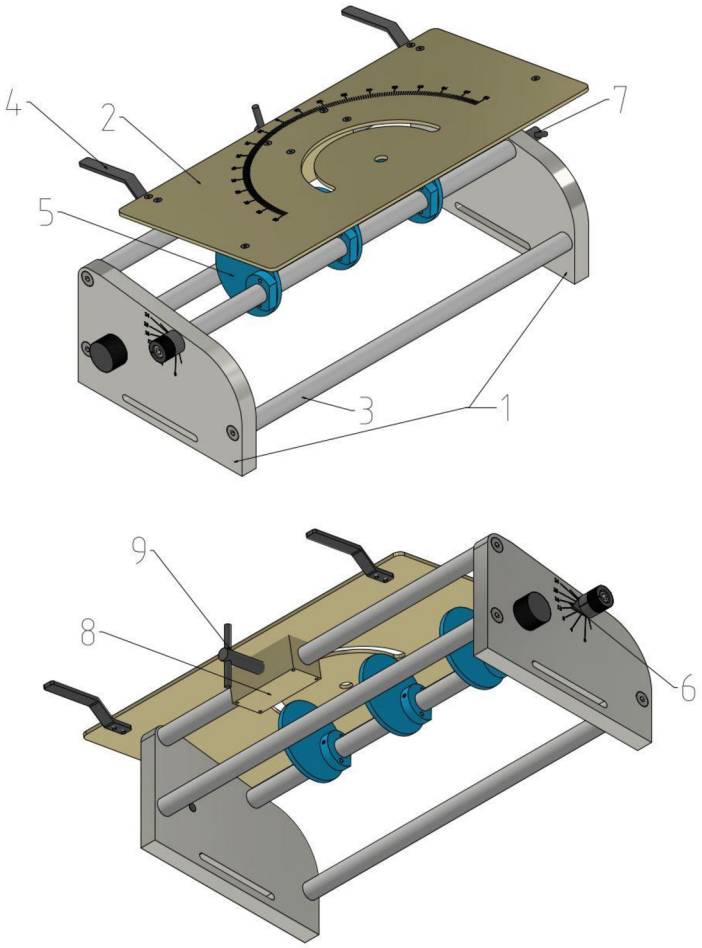
5.1.4 PRACOVNÍ STŮL

Sestava pracovního stolu je tvořena dvěma výpalky plechu tloušťky 15 mm (1), které jsou si navzájem zrcadlově podobné, deskou (stolem) z 3 mm plechu (2), na kterém je zhotovena stupnice (-90° až +90°) a do kterého je vyfrézována drážka obloukového tvaru a díra pro čep, toto umožňuje otáčení přípravku podle svislé osy a nastavení přípravku do potřebného úhlu podle stupnice. Dále je sestava tvořena 4 tyčemi průměru 15 mm (3), které drží sestavu pohromadě. Nakonec je sestava vybavena sérií nezbytných ovládacích a ergonomických prvků zajišťující pohodlnou, bezpečnou a přesnou obsluhu (4).

Přísuv stolu v ose motoru je zajištěn dvěma pojezdovými lištami namontovanými v základně. Po těch pojíždí bočnice stolu. Při nastavení požadované polohy lze stůl zablokovat utažením dvou šroubů v drážkách bočnic z každé strany (Obr. 16-6).

Nastavení úhlu stolu je realizováno pomocí vačkové hřídele s 3 vačkami vypálených z 5 mm plechu rovnoměrně odsazenými od sebe na vačkové hřídeli (5). Touto vačkovou hřídelí lze otáčet pomocí ovládacího prvku na pravé straně. Ovládací prvek je osazen rafikou a bočnice stupnicí (6), pomocí kterého obsluha nastaví požadovaný úhel. Z druhé strany je poté stavěcí šroub (7), kterým lze zablokovat vačkovou hřídel v jedné poloze a tím ustavit stůl v požadovaném úhlu. Stůl lze naklonit do úhlů od -2° do 25°, což zaručuje univerzálnost a možnost brousit různé druhy nástrojů, a to nejen proti ostří, ale i souběžně s ním. Nastavení úhlu stolu se pro vyšší přesnost doporučuje překontrolovat nivelačním úhloměrem.

Deska stolu je pevně spojena s vodítkem (hranol s dírou) (8), které se volně pohybuje po hladké bezešvé tyči spojující bočnice. Po přísuvu nástroje ke kotouči je příčným pohybem stolu vykonáno samotné broušení. V případě potřeby ustavení stolu v jedné poloze na tyči je vodítko vybaveno závitem, ve kterém je stavěcí šroub (9), kterým lze stůl opět zablokovat. Pokud tento šroub překáží obsluze v broušení, lze jej vyšroubovat a odstranit.



1 – bočnice, 2 – deska stolu, 3 – spojující tyče, 4 – páčky pro příčný posun stolu, 5 – vačky, 6 – nastavení úhlu stolu, 7 – zámek úhlu stolu, 8 – vodítko stolu, 9 – zámek příčné polohy stolu

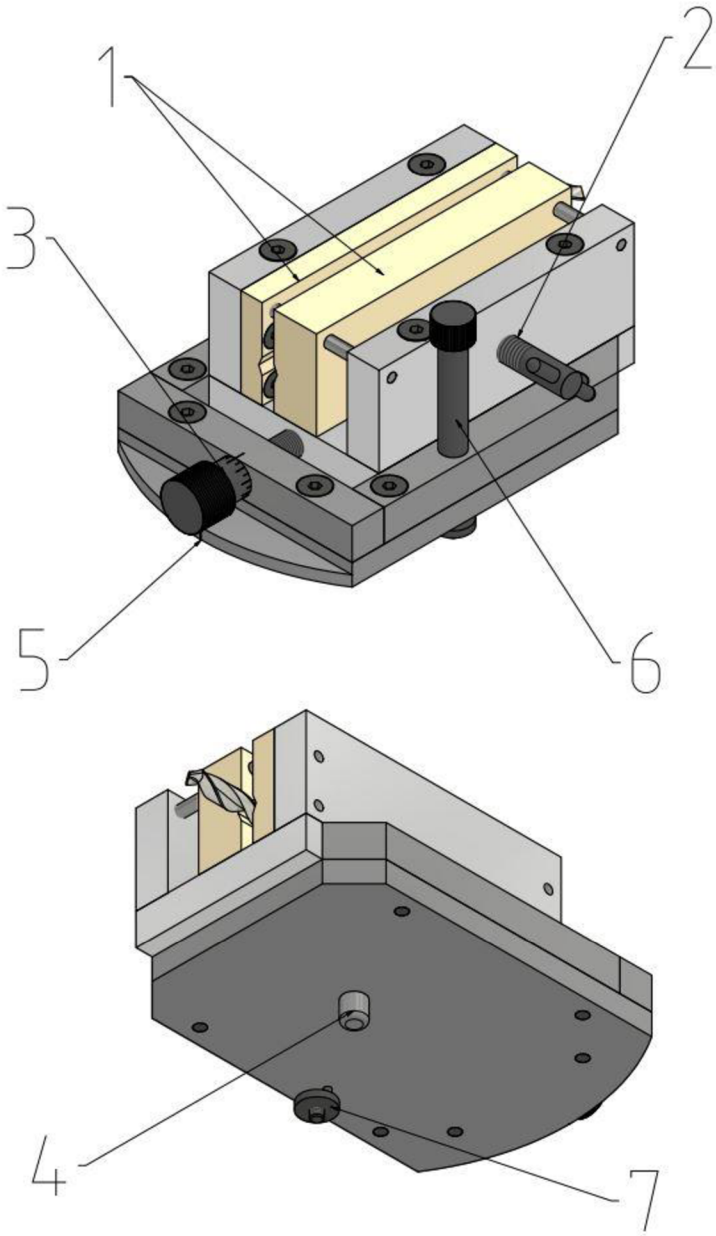
Obr. 14 Schéma sestavy pracovního stolu

5.1.5 UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK

Základem přípravku upínající nástroj jsou 2 jednoduché prizmy (1), z nichž jedna je pevně spojena s tělem přípravku a druhá se pohybuje po 2 vodících tyčích pomocí trapézového pohybového šroubu (2), kterým lze prizmu přitáhnout a tím nástroj upnout.

Hlavní výhodou tohoto přípravku je jednoduchost a univerzálnost. Obě prizmy mají v sobě zhotovenu podélnou drážku s vnitřním úhlem 135°, která umožňuje přímé upnutí válcových nástrojů v rozsahu průměrů od 3 do 16 mm. Zároveň ale mají rovné plochy, mezi které lze upnout nástroj hranolového tvaru, např. soustružnický nůž.

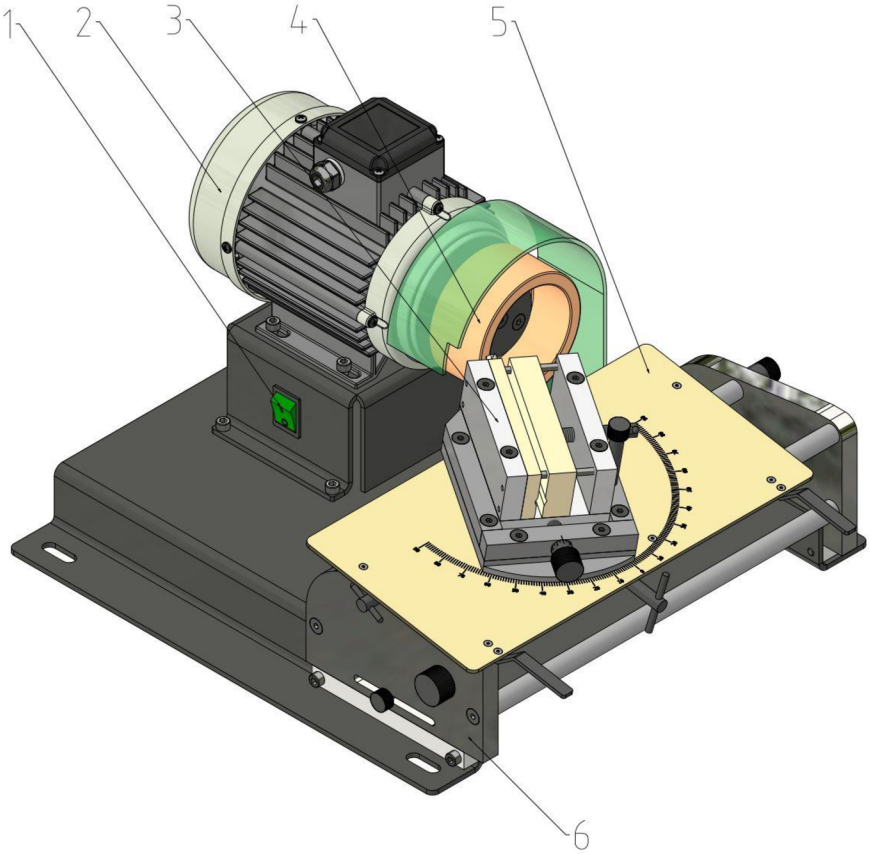
Přípravek dále disponuje mikro posuvem (s rozsahem posuvu 0–10 mm) (3), který je realizován pohybovým šroubem s metrickým závitem s jemným stoupáním (M10x1). Pohybový šroub je rovněž opatřen stupnicí. Na spodní straně základny přípravku je našroubován čep průměru 10 mm (4), který je vložen do desky stolu s točnou vůlí, podle níž se přípravek otáčí kolem svislé osy. Na přední straně přípravu je ryska (5), která na stupnici stolu ukazuje úhel natočení přípravku. Přípravek lze poté ustavit v požadovaném úhlu pomocí šroubu (6), který se pohybuje v obloukové drážce stolu. Z druhé strany je matice s malým čepem mimo osu (7), který je volně zasunut do šroubu a který znemožňuje matici otáčet. Tím je zajištěno, že se stavěcí šroub dá utáhnout pomocí jedné ruky bez toho, aniž by obsluha musela přidržet matici.



1 – univerzální prizmy, 2 – pohybový (upínací) šroub prizmy, 3 – mikro posuv, 4 – čep, 5 – ryska, 6 – zámek úhlu přípravku, 7 – matice zámku úhlu přípravku

Obr. 15 Schéma upínacího přípravku

5.1.6 3D MODEL FINÁLNÍ VARIANTY



1 – vypínač, 2 – elektromotor, 3 – upínací přípravek, 4 – brusný kotouč, 5 – stůl, 6 – pojezd stolu

Obr. 16 Schéma finální návrhové varianty

5.1.7 DOSAŽENÉ PARAMETRY

Tab. 8 Dosažené parametry

Parametr	Hodnota
Typ broušení	**čelní**
Materiál broušených nástrojů	**HSS**
Rozsah průměrů válcových nástrojů	3-16 mm
Rozsah rozměrů hranolových nástrojů	0-20 mm
Úhel náklonu stolu	-2° až 25°
Úhel natočení	180°
Mikro posuv	10 mm
Přísuv stolu	80 mm
Příčný posuv stolu	130 mm
Průměr kotouče	100 mm
Napětí motoru	230 V
Výkon motoru	250 W
Otáčky motoru	4800 ot./min
Rozměry	500 x 432 x 305 mm
Hmotnost	26 kg
Odhadovaná cena	Do 10 000,- Kč

6 VÝPOČTY

6.1 VÝPOČET OTÁČEK BRUSNÉHO KOTOUČE

Pro správné broušení je nutné dodržet správnou řeznou rychlost. Obecně platí, že příliš vysoká řezná rychlost může způsobit přehřátí nástroje a snížení jeho životnosti. Naopak, příliš nízká řezná rychlost může vést k neefektivnímu broušení a nízké produktivitě. Pro nástroje z rychlořezné oceli (HSS) je ideální rychlost 25 $m \cdot s^{-1}$, pro nástroje ze slinutých karbidů (SK) je ideální 15 $m \cdot s^{-1}$. Vzhledem k tomu, že je bruska určena pro nízkonákladové účely, tj. amatérské použití či malé firmy, je vhodnější brusku uzpůsobit pro broušení HSS nástrojů, jelikož nástroje z SK se v této cílové skupině využívají zřídka. Bruska je tudíž na vržena pro obvodovou rychlost 25 $m \cdot s^{-1}$.

Příslušné otáčky kotouče můžeme získat dvěma způsoby – z tabulek nebo výpočtem.

Tabulková hodnota (viz. Příloha P2) uvádí k průměru kotouče 100 mm a obvodové rychlosti kotouče 25 $m \cdot s^{-1}$ hodnotu 4780 min^{-1}.

Tuto hodnotu lze ověřit výpočtem. Řeznou rychlost lze vyjádřit jako

$$v_c = \omega \cdot r\,, \tag{1}$$

kde ω je obvodová rychlost kotouče v $rad \cdot s^{-1}$ a r je poloměr kotouče. Obvodovou rychlost lze vyjádřit jako

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}\,, \tag{2}$$

kde n je počet otáček kotouče za minutu. Dosazením n do rovnice (1) lze získat

$$v_c = \omega \cdot r\,, \tag{3}$$

Z čehož lze vyjádřit počet otáček za minutu n

$$n = \frac{60 \cdot v_c}{2 \cdot \pi \cdot r}\,. \tag{4}$$

Upravením tohoto vztahu získáme

$$n = \frac{60 \cdot v_c}{\pi \cdot d_k} = \frac{60 \cdot 25}{\pi \cdot 0{,}1} = 4774{,}65\ min^{-1} \tag{5}$$

Výsledné otáčky pro motor jsou zaokrouhleny na stovky, tedy $n = 4800\ min^{-1}$.

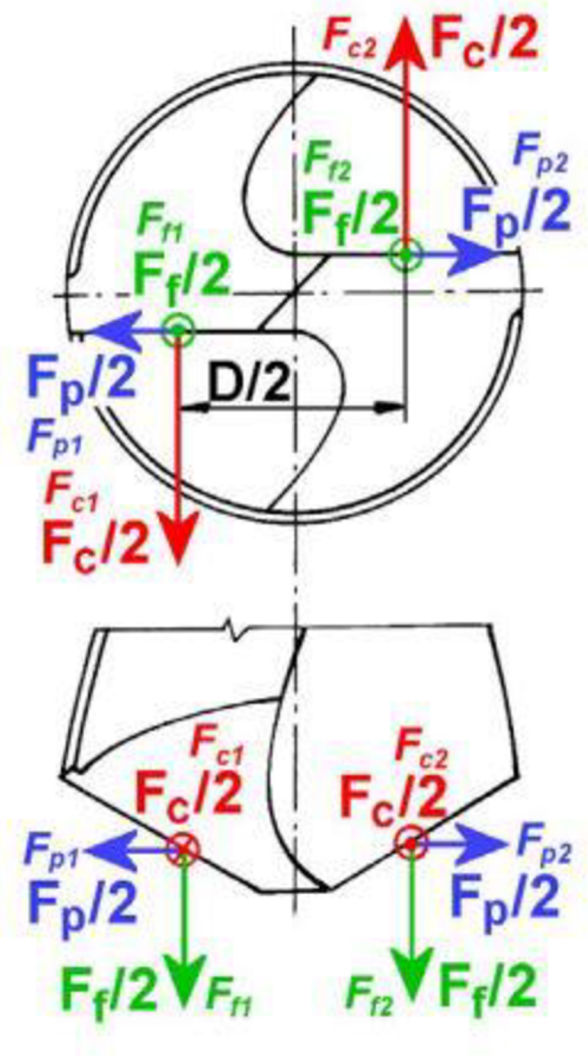
6.2 KONTROLA UPNUTÍ NÁSTROJE V PŘÍPRAVKU

6.2.1 UPNUTÍ NÁSTROJE VÁLCOVÉHO TVARU

Upnutí je realizováno pomocí 2 prizmat s podélnou drážkou, do kterých jsou upínány nástroje válcového tvaru. Při broušení břitu nástroje vzniká kroutící moment, který má snahu protočit nástroj v přípravku. Tomu je nutné zamezit dostatečnou upínací silou. Protože je u broušení velmi obtížné vypočítat sílu působící na nástroj od brusného kotouče, bude počítáno se silou, která vzniká při obrábění. Je tedy uvažováno s řeznou silou od vrtání. Řezná síla od vrtání je zaručeně vyšší než síla od broušení, tudíž splňuje-li upínací síla požadavek neprotočení při vrtání, zaručeně je splněn i při broušení. Lze předpokládat, že síla od broušení vrtáku bude podobně vysoká jako síla od broušení frézy.

Řeznou sílu, která při vrtání vzniká lze rozdělit do 3 složek:

- F_f – axiální (posuvovou)
- F_p – radiální
- F_c – tangenciální (tečná) k dráze hlavního pohybu [23]



Obr. 17 Schéma působení sil na vrták při vrtání [5]

Je počítáno se sílou F_c, protože ta způsobuje kroutící moment kolem podélné osy nástroje.

Je známo, že čím je průměr nástroje větší, tím je řezná síla větší, tj. je počítáno s největším průměrem nástroje, pro který je bruska stavěná, tj. 16 mm. Pro dosazení do vztahů [23] použijeme hodnoty doporučeného posuvu [24] a měrného řezného odporu [25].

Sílu F_{c_vrtani} je možné vyjádřit ze vztahu:

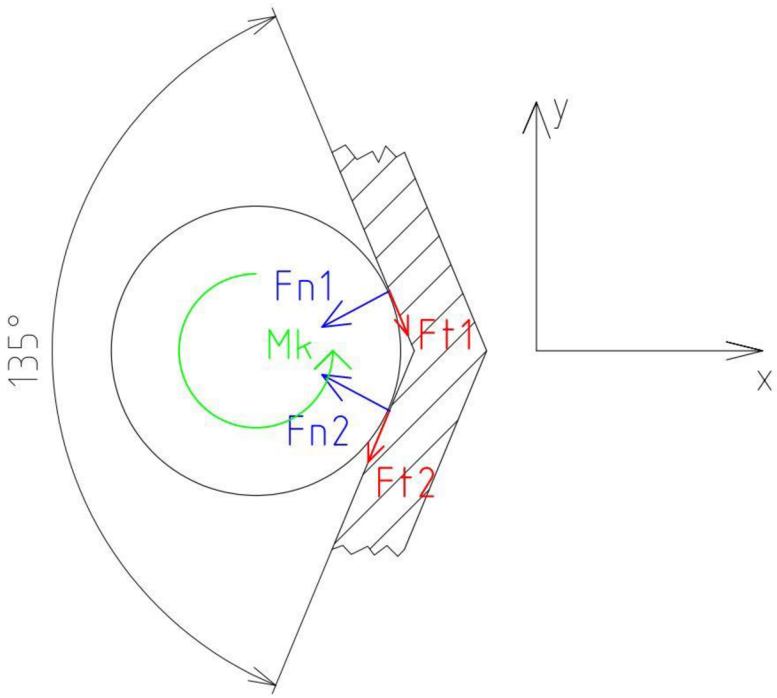
$$\frac{F_{c_vrtani}}{2} = \frac{D \cdot f}{4} \cdot p \rightarrow F_{c_vrtani} = \frac{D \cdot f}{2} \cdot p = \frac{16 \cdot 0{,}26}{2} \cdot 1900 = 3952\ N\ , \tag{6}$$

kde D je průměr vrtáku v mm, f je posuv v mm a p je měrný řezný odpor v MPa. Vzhledem k tomu, že je v jednu dobu broušeno pouze jedno ostří (polovina vrtáku/frézy), můžeme celkovou F_{c_vrtani} vydělit dvěma, čímž získáme sílu $F_{c_brouseni}$. Tato síla způsobuje kroutící moment M_c. na rameni $\frac{D}{4}$.

$$F_{c_brouseni} = \frac{F_{c_vrtani}}{2} = 1976\ N \tag{7}$$

$$M_c = \frac{F_{c_brouseni} \cdot D}{4000} = \frac{1976 \cdot 16}{4000} = 7{,}9\ N \cdot m. \tag{8}$$

Aby se vrták v prizmě neprotočil, musí být dodržena statická rovnováha. Síly a moment působící na vrták jsou znázorněny na Obr. 17. Normálové síly $F_{n1,2}$ jsou síly, kterými působí prizma na vrták. Vzniklé třecí síly $F_{t1,2}$ musí eliminovat vliv kroutícího momentu M_c. Výpočet je proveden pouze pro jednu čelist, protože ve druhé čelisti vznikají síly reakční o stejných velikostech, ale opačných směrech. Statický součinitel tření f_s zjistíme z tabulky [26] pro ocel – ocel.



Obr. 17 Schéma působení sil a momentů v čelisti přípravku

Rovnice statické rovnováhy:

$$F_{t1} \cdot \frac{D}{2} + F_{t2} \cdot \frac{D}{2} = M_c \tag{9}$$

Zanedbáme-li hmotnost vrtáku, bude platit, že

$$F_{t1} = F_{t2} = F_t. \tag{10}$$

Pro třecí sílu F_t platí, že

$$F_t = F_n \cdot f_s. \tag{11}$$

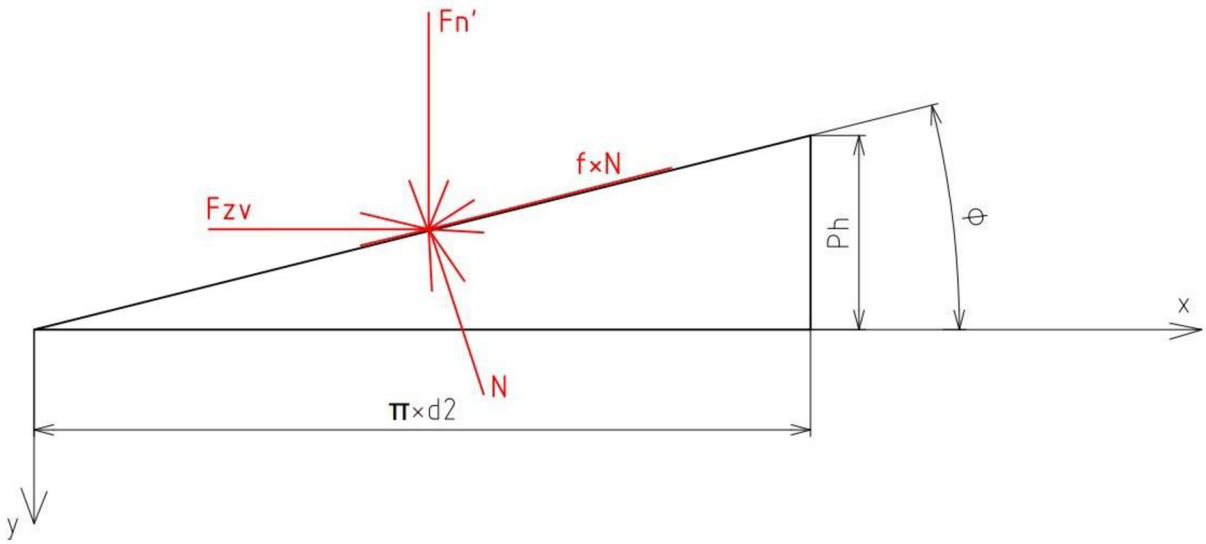
Dosazením do rovnice (8) a vyjádřením F_n lze získat velikost obou normálových sil F_n:

$$F_n = \frac{M_c}{f_s \cdot D} = \frac{7{,}9}{0{,}15 \cdot 0{,}016} = 3292\ N \tag{12}$$

Převedením těchto sil do osy šroubu je získána síla $F_n{}'$:

$$F_n' = 2 \cdot F_n \cdot \cos(27{,}5°) = 5840\ N \tag{13}$$

Síla $F_n{}'$ je síla, kterou je třeba vyvinout šroubem, aby byl nástroj bezpečně upnut. K určení sil, které bude muset vykonat obsluha při upínání je třeba spočítat zvedací sílu šroubu pomocí statické rovnováhy. Šroub je typu Tr 10x1,5. Koeficient tření uvažujeme stejný jako u prizmat. Detail sil působících na závit šroubu je znázorněn na Obr. 18.



Obr. 18 Schéma sil působících na závit pohybového šroubu

Rovnice statické rovnováhy pohybového šroubu:

$$x:\ F_{zv} - f_s \cdot N \cdot \cos(\varphi) - N \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0 \tag{14}$$

$$y:\ F_n' + f_s \cdot N \cdot \sin(\varphi) - N \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0 \tag{15}$$

kde φ je úhel stoupání závitu a α je vrcholový úhel lichoběžníkového závitu ($\alpha = 30°$)

Úhel stoupání závitu lze vypočítat jako

$$\tan(\varphi) = \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \frac{1{,}5}{\pi \cdot 9{,}25} = 0{,}0516 \tag{16}$$

$\varphi = 2{,}95°$,

kde P_h je stoupání závitu šroubu.

Vyřešením statické rovnováhy je získána zvedací síla

$F_{zv} = 1218\ N$,

Z níž lze dále získat zvedací moment

$$M_{zv} = F_{zv} \cdot \frac{d_2}{2} = 1218 \cdot \frac{0{,}00925}{2} = 5{,}6\ N \cdot m \tag{17}$$

kde d_2 je jmenovitý průměr šroubu.

Vzhledem k tomu, že osová síla začne působit na šroub až v momentě styku prizmy s nástrojem, je třecí moment mezi prizmou a šroubem zanedbán. Výsledný utahovací moment je tedy roven momentu zvedacímu:

$$M_v = M_{zv} = 5{,}6\ N \cdot m \tag{18}$$

Utahovací šroub má páku dlouhou $d_p = 40\ mm$, tudíž síla, kterou je potřeba vykonat na konci této páky má velikost

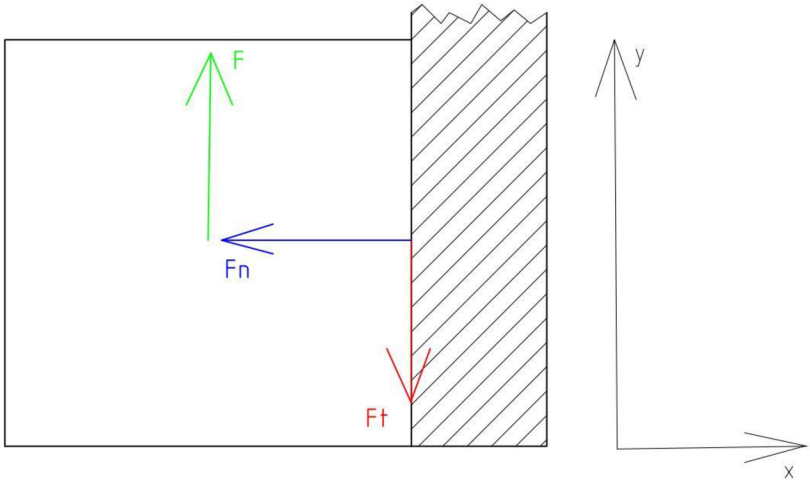
$$F_v = \frac{M_v}{d_p} = \frac{5{,}6}{0{,}04} = 140\ N \tag{19}$$

Lze předpokládat, že síla od broušení bude mnohem menší než ta, se kterou bylo počítáno (síla od vrtání), tzn. Tato utahovací síla je předimenzovaná a je zaručeno, že se nástroj nebude protáčet.

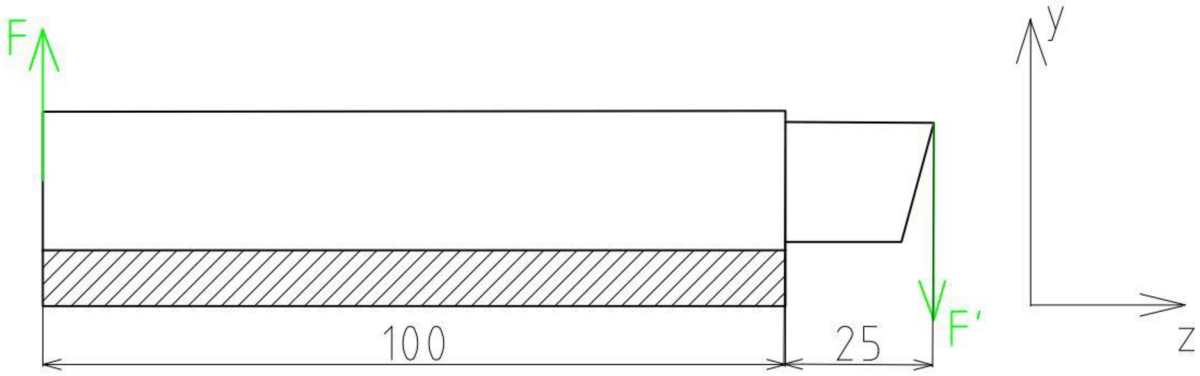
6.2.2 UPNUTÍ NÁSTROJE HRANOLOVÉHO TVARU

Upnutí hranolového nástroje (např. soustružnického nože) je počítáno stejným způsobem jako upnutí kulatého nástroje. Zde se řešení pouze liší v rozkladu sil na prizmě, kdy zde působí pouze jedna vodorovná normálová síla a tečná síla směřuje kolmo dolů. Kroutící moment zde působí kolem osy rovnoběžné s osou šroubu. Síla od broušení působí na břitu nástroje směrem dolů, čímž pádem na konci stopky míří síla kolmo vzhůru. Kontrola upnutí bude počítána právě ke konci stopky. Nástroj je v prizmě napolohován tak, že celou délkou svojí stopky je upnut v prizmě, zatímco celé ostří přesahuje přes konec přípravku. Délka této funkční části představuje rameno kroutícího momentu, kterým se snaží bruska vytrhnout soustružnický nůž z prizmy. Bude počítáno s nastavením stolu v úhlu 0°, protože v této poloze bude rameno a tím pádem i kroutící moment nejvyšší.

Stejně jako u broušení vrtáku či fréz je i zde složité určit přesnou hodnotu síly od brusného kotouče, tudíž je opět počítáno s variantou, jako by byl nástroj používán k obrábění (v tomto případě soustružení).



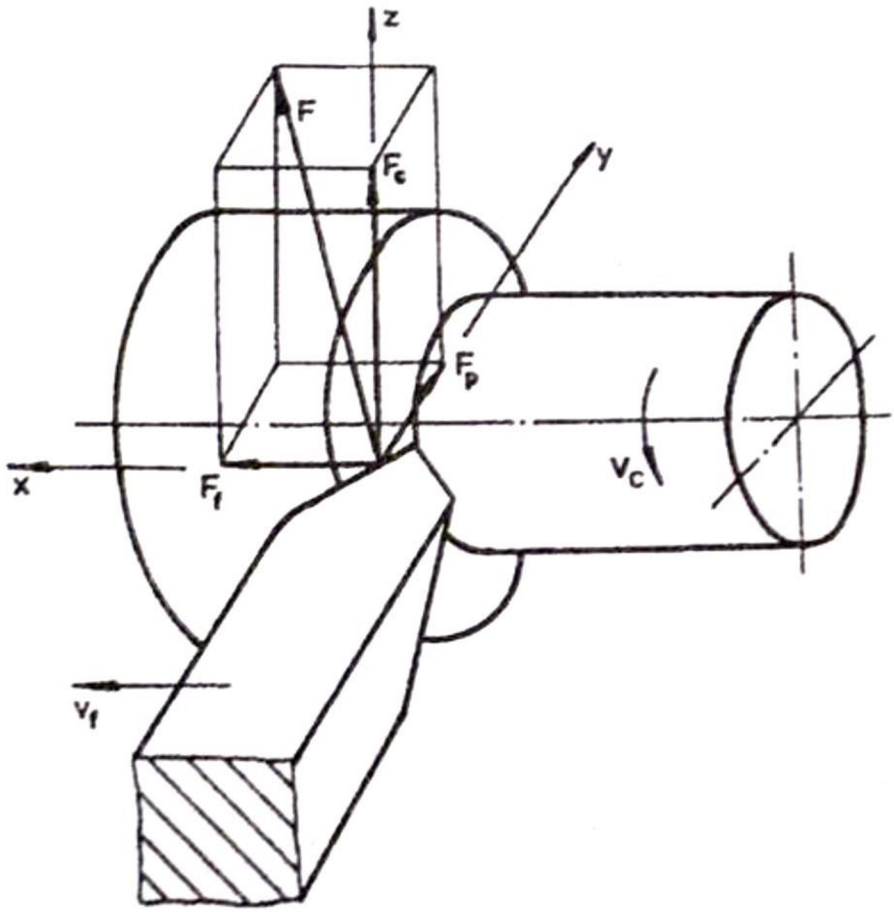
Obr. 19 Schéma sil působících na nástroj v rovině x-y



Obr. 20 Schéma sil působících na nástroj v rovině z-y

Stejně jako u vrtání se řezná síla i u soustružení rozděluje do 3 hlavních složek:

- F_f – posuvová složka
- F_p – pasivní složka
- F_c – řezná složka [29]



Obr. 21 Schéma působení sil na soustružnický nůž při soustružení [29]

Pro účel výpočtu je zapotřebí pouze složka F_c. Hodnotu této síly ale není možné v tomto případě spočítat, protože není známa hodnota potřebných koeficientů. Místo toho je použita hodnota z reálného měření [30], přičemž je vybrána maximální hodnota z měření.

$F_{c_soustruzeni} = F' = 3240\ N$

Síla F se spočítá z momentové rovnováhy.

$$F \cdot 0{,}1 = F' \cdot 0{,}025 \tag{20}$$

$$F = \frac{F' \cdot 0{,}025}{0{,}1} = \frac{3240 \cdot 0{,}025}{0{,}1} = 810\ N \tag{21}$$

Aby nedošlo k vytržení nástroje z přípravku, musí platit:

$$F = F_t = F_n \cdot f_s, \tag{22}$$

kde F_t je třecí síla, F_n je normálová síla a f_s je koeficient tření pro ocel-ocel. Z toho vyplývá, že

$$F_n = \frac{F}{f_s} = \frac{810}{0{,}15} = 5400\ N \tag{23}$$

Obdobně jako u kontroly upnutí válcových nástrojů je vypočítána pomocí statické rovnováhy zvedací síla šroubu.

$$F_{zv} = 1126\ N$$

Nakonec je vypočítán zvedací moment a ovládací síla, stejně jako u předchozího případu.

$$M_{zv} = F_{zv} \cdot \frac{d_2}{2} = 1126 \cdot \frac{0{,}00925}{2} = 5{,}2\ N \cdot m \tag{24}$$

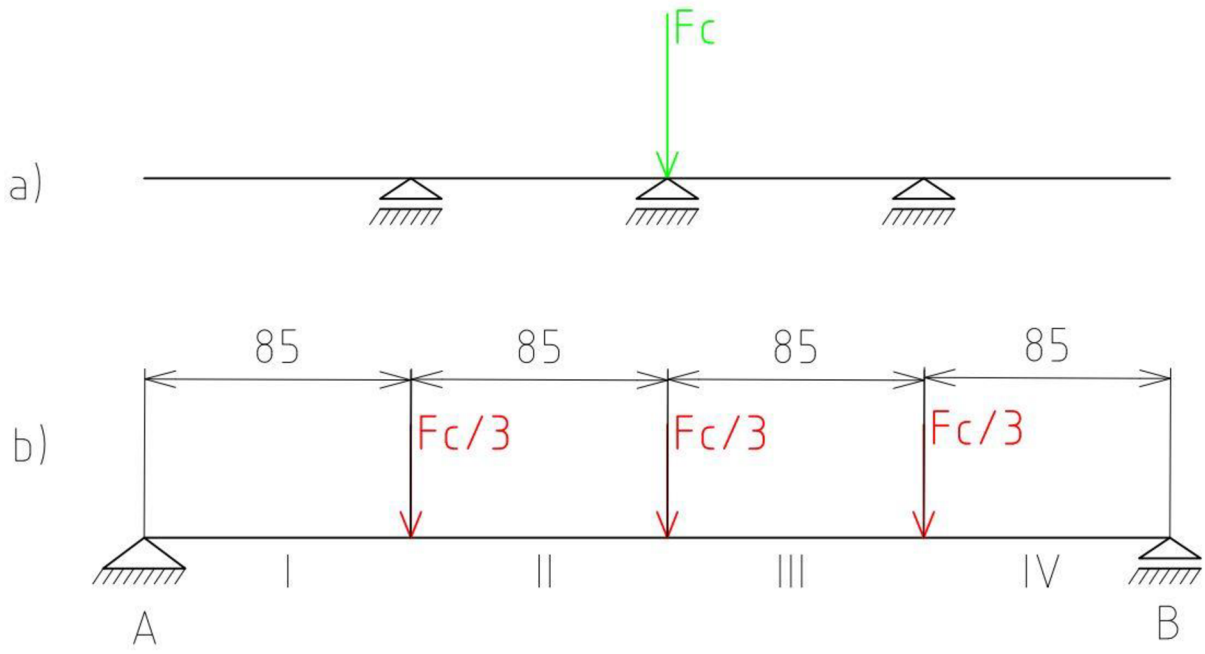
$$F_v = \frac{M_v}{d_p} = \frac{5{,}2}{0{,}04} = 130\ N \tag{25}$$

Upne-li obsluha soustružnický nůž nebo jakýkoli hranolový nástroj v přípravku silou 130 N, je zaručeno, že nástroj nebude silou broušení z přípravku vytržen.

6.3 VÝPOČET PRŮHYBU VAČKOVÉ HŘÍDELE

Stůl s přípravkem se při broušení opírá do vačkové hřídele se 3 vačkami. Vačková hřídel je tím pádem zatížena veškerou silou od broušení. Je tudíž nezbytné překontrolovat její průhyb.

Síla je počítána v případě, kdy je stůl uprostřed, aneb v poloze, kdy na hřídel působí nejvyšší ohybový moment. Největší průhyb hřídele bude uprostřed. Nejprve je proveden rozbor a znázornění sil od desky stolu na vačky a od vaček na hřídel.



Obr. 21 Schéma sil působících a) od desky stolu na vačky b) od vaček na hřídel

Hřídel je vyrobena z oceli C35E, její Youngův modul pružnosti je $E = 210\ GPa$ a průměr $d_h = 15\ mm$. Jelikož broušení probíhá na stolu s přesahem přes vačkovou hřídel, je zde působení na vačkovou hřídel 1,5krát větší než řezná síla

$$F_c = 1{,}5 \cdot F_{c_brouseni} = 1{,}5 \cdot 1976 = 2964\ N. \tag{25}$$

Je-li zanedbán průhyb hřídele, je každá z vaček poté zatížena silou $F_c/3$. Vačky jsou na hřídeli umístěny symetricky, tzn. síly ve vazbách jsou

$$F_A = F_B = \frac{F_c}{2} = 1482\ N \tag{26}$$

Jsou vyjádřeny ohybové momenty v úsecích I a II (viz. Obr 21). Vyjadřovat ohybové momenty i v úsecích III a IV není třeba, jelikož je prut i síly na něj působící symetrické. Výsledek bude tudíž nakonec stačit vynásobit dvěma.

$$M_{oI} = F_A \cdot x = \frac{F_c \cdot x}{2} \tag{27}$$

$$M_{oII} = F_A \cdot (x + 0{,}085) - \frac{F_c}{3} \cdot x = \frac{F_c \cdot (x + 0{,}085)}{2} - \frac{F_c}{3} \cdot x \tag{28}$$

K výpočtu průhybu hřídele je použita Castiglianova věta.

$$w_i = 2 \cdot \int_0^L \frac{M_o}{E \cdot J_y} \cdot \frac{\partial M_o}{\partial F_c}\, dx$$

$$= 2 \cdot \left[\int_0^{0{,}085} \frac{\frac{F_c \cdot x}{2}}{E \cdot \frac{d_h^4}{64}} \cdot \frac{x}{2} dx + \int_0^{0{,}085} \frac{\frac{F_c \cdot (x + 0{,}085)}{2} - \frac{F_c}{3} \cdot x}{E \cdot \frac{d_h^4}{64}} \cdot \left(\frac{x}{2} + \frac{0{,}085}{2} - \frac{x}{3} \right) dx \right] \tag{29}$$

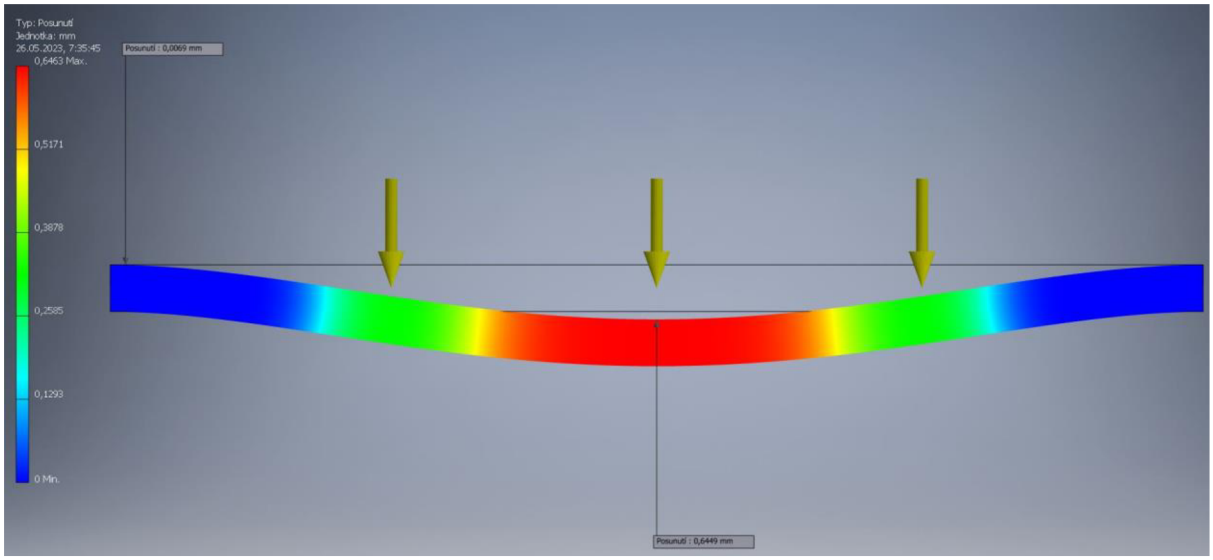
Po integraci a několika úpravách je dosaženo výsledku

$$w_i = 0{,}648\ mm$$

Kontrolou v simulaci v Autodesk Inventor byl zjištěn výsledek

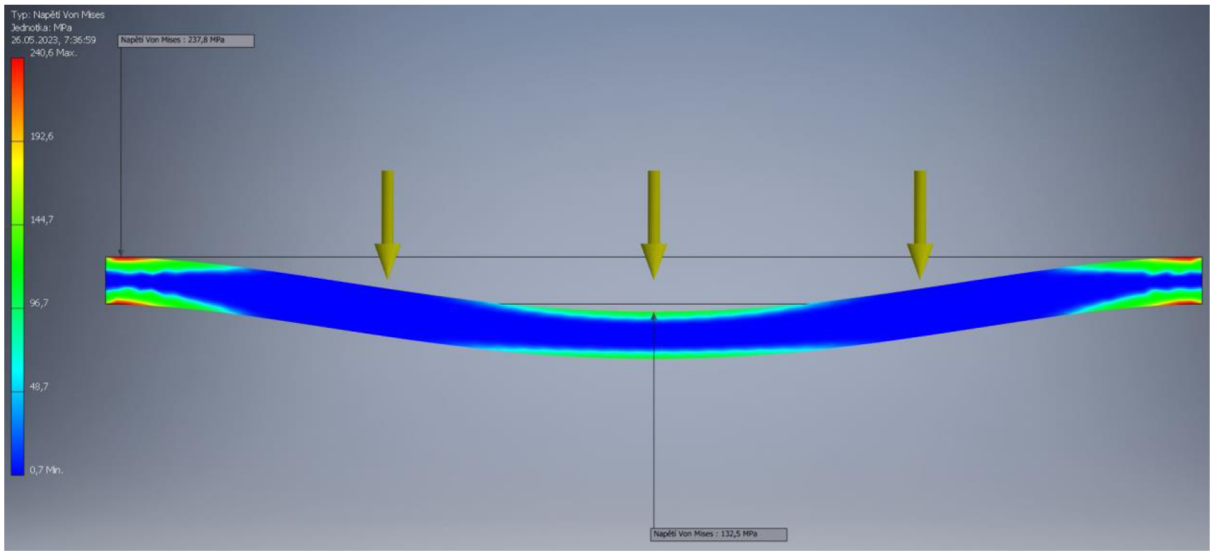
$$w_{i_inventor} = 0{,}6449\ mm$$

Odchylka ve výpočtu je pravděpodobně způsobena zaokrouhlovací chybou. V každém případě je hodnota přípustná, obzvlášť v tomto případě, kdy se jedná o extrémní případ zatížení.



Obr. 22 Simulace průhybu v Autodesk Inventor

Nakonec je pomocí MKP provedena kontrola napjatosti na hřídeli. Maximální napětí uprostřed hřídele činí 132,5 MPa. Maximální napětí v celé hřídeli je ale na krajích u vazeb. Zde maximální hodnota činí 240,6 MPa. Tato špička je způsobena zjednodušením modelu, pravděpodobně uvažováním tuhého vetknutí. Na reálném zařízení se dá očekávat výrazně menší napjatost. Napětí je počítáno dle pravidla Von Mises.



Obr. 23 Simulace napjatosti v Autodesk Inventor

Mez kluzu oceli C35E pro $d_h = 15\ mm$ je $R_e = 300\ MPa$ [31]. Bezpečnost hřídele vůči MSP:

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{max}} = \frac{300}{240{,}6} = 1{,}25 \tag{30}$$

Tyto hodnoty jsou s ohledem na mez kluzu materiálu přípustné.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývala broušením nástrojů, rešerší, návrhem a výpočtem malé univerzální hobby brusky na broušení nástrojů.

První část práce se zabývala úvodem do současných technologií a metod obrábění a broušení obráběcích nástrojů, a to konkrétně vrtáků, válcových celistvých fréz a celistvých soustružnických nožů. Byly shrnuty základní poznatky, typy používaných nástrojů a možnosti jejich ostření.

Ve druhé části byla provedena rešerše již dostupných brusek na trhu. Celkem bylo zahrnuto 6 brusek z různých cenových kategorií. Byly ověřeny a porovnány jejich parametry, výhody a nevýhody.

V další části byly na vrženy 3 varianty řešení, které byly rozebrány. Z nich byla poté vybrána první varianta, která byla dále vylepšena do podoby finálního návrhu. Výhoda této varianty spočívá zejména ve funkčnosti, univerzálnosti a nízké ceně. U této varianty se upíná nástroj do přípravku na polohovatelném stole a je voleno broušení čelní. Byly vypracovány 3D modely všech variant v Autodesk Inventor včetně sestavy motoru, stolu/držáku přípravku a samotného upínacího přípravku.

Vybraná varianta byla nakonec ověřena základními výpočty. Konkrétně byly vypočítány otáčky motoru v závislosti na průměru kotouče a typu broušených nástrojů tak, aby bylo docíleno správné řezné (obvodové) rychlosti, kontrola upnutí válcových i hranolových nástrojů v univerzální prizmě, tj. zda nedojde k protočení nebo vytržení nástroje z přípravku silou broušení, a nakonec byl spočítán průhyb a napjatost ve vačkové hřídeli, která slouží k polohování stolu, a na kterou působí síla od broušení.

Navržená varianta brusky nabízí vysokou univerzálnost díky polohovatelnému stolu a univerzálnímu přípravku pro upínání nástroje, do kterého lze upnout válcové součásti o průměru od 3 do 16 mm a hranolové součásti šířky 20 mm a výšky 35 mm. Navrženou variantu lze prodávat jako sadu, kterou si zákazník snadno složí sám, tím se ušetří výrobní náklady.

Bruska slouží pro hobby užití, pro domácí díly nebo pro malé podniky, které si nemohou dovolit brusku za několik desítek tisíc korun. Bruska byla navrhována s důrazem na jednoduchost, praktičnost, univerzálnost a snadnou obsluhu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] HUMÁR, A. *Technologie obrábění - 3. část: Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program* [online]. Brno, 2005 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: *http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf*

[2] Údaje na brusných kotoučích. *ELUC* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: *https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1257*

[3] VASILKO, Karol, Dominik MICHEL a Ján HRUBEC. *Brúsenie a ostrenie rezných nástrojov*. Bratislava: Alfa, 1984, 338 s. : il., čb. fot.

[4] HUMÁR, A. *Technologie obrábění - 1. část: Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program* [online]. Brno, 2005 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: *http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf*

[5] HUMÁR, A. *Technologie obrábění - 2. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno, 2004 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: *http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf*

[6] Univerzální bruska nástrojová UBN. *Prima dílna* [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://www.primadilna.cz/Univerzalni-bruska-nastrojova-UBN-plne-vybavena-klestiny-5C-1-5-30-mm-50-kg-d8219.htm*

[7] U2 – Univerzální bruska. *Vabex Zlín s.r.o.* [online]. Zlín, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://www.shop.strojnisveraky.cz/produkty/u2-univerzalni-bruska-detail?gclid=CjwKCAjwvsqZBhAlEiwAqAHElRpzPxKo8KwUVNMpdph1Cc7AiAeYriMmMtBvwZ7P2fZBn3ZvQ4-u1BoC2AwQAvD_BwE*

[8] Bruska Tormek T8. *OPP Polička* [online]. Polička, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://www.opp.cz/elektronicky-obchod/brusky-tormek/bruska-tormek-t-8*

[9] Universal Tool Grinding Machine. *Made-in-China* [online]. Čína, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://wellonmachinery.en.made-in-china.com/product/pBkQhXREgHUd/China-Universal-Tool-Grinding-Machine-MR-6025-Universal-Cutter-Grinder-Machine.html*

[10] Quorn Mk3. *Hemingway Kits* [online]. Velká Británie, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://www.hemingwaykits.com/category-68*

[11] BOWMAN, M. *Tool and Cutter Grinding*. Third Edition. Crowood Pr, 2021. 144 s. ISBN 978-1-785-00860-5.

[12] Projects Down Under, 2020, End Mill Sharpening Guide : Universal Tool & Cutter Grinder AKA D Bit Grinder, YouTube video. Dostupné z: *https://www.youtube.com/watch?v=neupF0-UnPo*

[13] Mrpete222, 2022, LATHE TOOL BITS - Shapes & Geometry #710 tubalcain atlas, YouTube video. Dostupné z: *https://www.youtube.com/watch?v=neupF0-UnPo*

[14] High Speed Steel Tool Bits & Cut-Off Blades Technical Properties. *Magiccut.com* [online]. Indie, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://www.magicuttools.com/toolbits-properties.asp*

[15] SEDLÁK, J. *Základní terminologie obrábění, Teoretické základy obrábění* [online]. Brno, 2019 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://moodle-archiv-2019-2020.ro.vutbr.cz/pluginfile.php/164329/mod_resource/content/1/Z%C3%A1kladn%C3%AD%20terminologie%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD_01_doc.%20Sedl%C3%A1k%20-%20studenti.pdf*

[16] Upínání soustružnických nožů a obrobků. *ELUC* [online]. Olomouc, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1222#*

[17] Nastavení brusného kotouče. *Tumlikovo* [online]. Olomouc, 2011 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *http://www.tumlikovo.cz/rubriky/optimalni-nastaveni/brusneho-kotouce/*

[18] DIAGRAM OF AN END MILL. *MSC Direct*. [online]. USA, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://www.mscdirect.com/basicsof/end-mills*

[19] GRINDING PROCESS: CHOICE OF ABRASIVES, CLASSIFICATION OF WHEELS, WHEEL STRUCTURE, WHEEL SHAPES AND WHEEL SELECTION. *Mechtech.* [online]. USA, 2021 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://www.mechtechguru.com/2021/11/Grinding%20Process.html*

[20] End Mill Terminology. *Mitsubishi Materials* [online]. Německo, 2016 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *http://www.mitsubishicarbide.com/it/technical_information/tec_rotating_tools/tec_solid_end_mills/tec_solid_end_mills_technical/tec_solid_end_mills_terminology*

[21] Single Point Cutting Tool Types, Geometry, Nomenclature & Angles. *Dizz.com* [online]. USA, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://dizz.com/single-point-cutting-tool/*

[22] Worden Mk3. *Hemingway Kits* [online]. Velká Británie, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: *https://www.hemingwaykits.com/HK130X*

[23] Vrtání a vyvrtávání. *Techstroj* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: *http://techstroj.g6.cz/T/T15.pdf*

[24] Doporučené řezné podmínky vrtáků. *Tumlikovo* [online]. 2011 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: *http://www.tumlikovo.cz/doporucene-rezne-podminky-vrtaku*

[25] Výpočet pomocí měrného řezného odporu. *Střední škola technická Opava* [online]. Opava [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://sst.opava.cz/pernikar/nove_www/teorie_obrabeni_soubory/odpor.htm

[26] Součinitel smykového tření. *ConVERTER* [online]. c2002 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: *http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm*

[27] Trapézové závity. *BORNEMANN Gewindetechnik* [online]. Deligsen (Německo), c2019 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: *https://www.bornemanngewindetechnik.de/cs/produkty/lichob%C4%9B%C5%BEn%C3%ADkov%C3%A9-*

[28] SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0

[29] Silové poměry při procesu řezání, řezná síla a její složky. *ELUC* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: *https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1196*

[30] Kistler Group, 2020, Cutting Force: Turning, YouTube video. Dostupné z: *https://www.youtube.com/watch?v=2o55WvdrbLo&t=1s*

[31] Mechanical properties of steel C35E (1.1181). *Steelnumber.com* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: *http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=182*

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

v_c	[m·s^{-1}]	Rychlost na obvodu kotouče
ω	[rad·s^{-1}]	Úhlová rychlost kotouče
r	[m]	Poloměr brusného kotouče
n	[min^{-1}]	Otáčky motoru
d_k	[m]	Průměr brusného kotouče
F_f	[N]	Axiální/posuvová síla
F_p	[N]	Radiální/pasivní síla
F_c	[N]	Tangenciální/řezná síla
D	[m]	Průměr vrtáku/frézy
f	[mm·ot^{-1}]	Posuv
p	[MPa]	Měrný řezný odpor
M_c	[N·m]	Točivý moment na vrtáku/fréze od broušení
F_n	[N]	Normálová síla v upínací prizmě
F_t	[N]	Třecí síla v upínací prizmě
f_s	[-]	Statický koeficient tření ocel-ocel
$F_{n'}$	[N]	Osová síla v pohybovém šroubu
F_{zv}	[N]	Zvedací síla šroubu
N	[N]	Normálová síla na závitu šroubu
φ	[°]	Úhel šroubovice závitu šroubu
P_h	[mm]	Stoupání závitu šroubu
d_2	[m]	Jmenovitý průměr šroubu
M_{zv}	[N·m]	Zvedací moment šroubu
M_v	[N·m]	Celkový utahovací moment šroubu
F_v	[N]	Výsledná síla na páce šroubu
d_p	[m]	Délka páky šroubu
F	[N]	Síla vyvolaná broušením na konci soustružnického nože
F'	[N]	Síla vyvolaná broušením na ostří soustružnického nože
F_A	[N]	Síla ve vazbě A
F_B	[N]	Síla ve vazbě B
M_{oI}	[N·m]	Ohybový moment v úseku I
M_{oII}	[N·m]	Ohybový moment v úseku II
E	[GPa]	Youngův modul pružnosti pro ocel C35E

d_h	[m]	Průměr vačkové hřídele
wi	[mm]	Průhyb středu hřídele
J_y	[m^4]	Kvadratický moment průřezu vačkové hřídele

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1 Normalizované tvary brusných kotoučů

Příloha P2 Tabulka doporučených otáček kotoučů

Příloha P3 Schéma šroubovitého vrtáku

Příloha P4 Schéma stopkové celistvé válcové frézy

Příloha P5 Schéma celistvého soustružnického nože

Příloha P6 První návrhová varianta

Příloha P7 Druhá návrhová varianta

Příloha P8 Třetí návrhová varianta

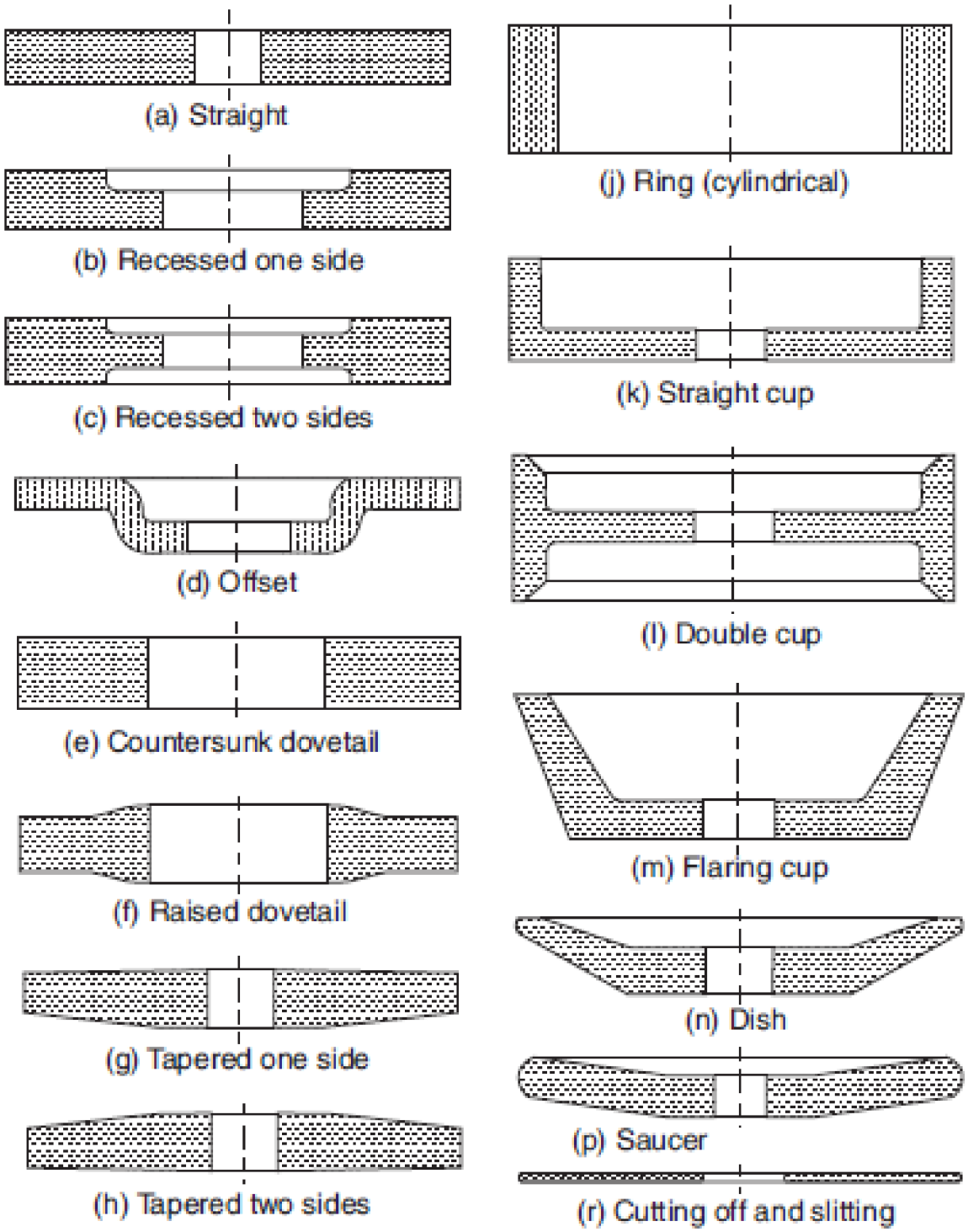
Příloha P9 Finální návrhová varianta

Příloha P10 Detail upnutí vrtáku průměru 3 mm

Příloha P11 Detail upnutí vrtáku průměru 16 mm

Příloha P12 Detail upnutí soustružnického nože

Příloha P1 Normalizované tvary brusných kotoučů



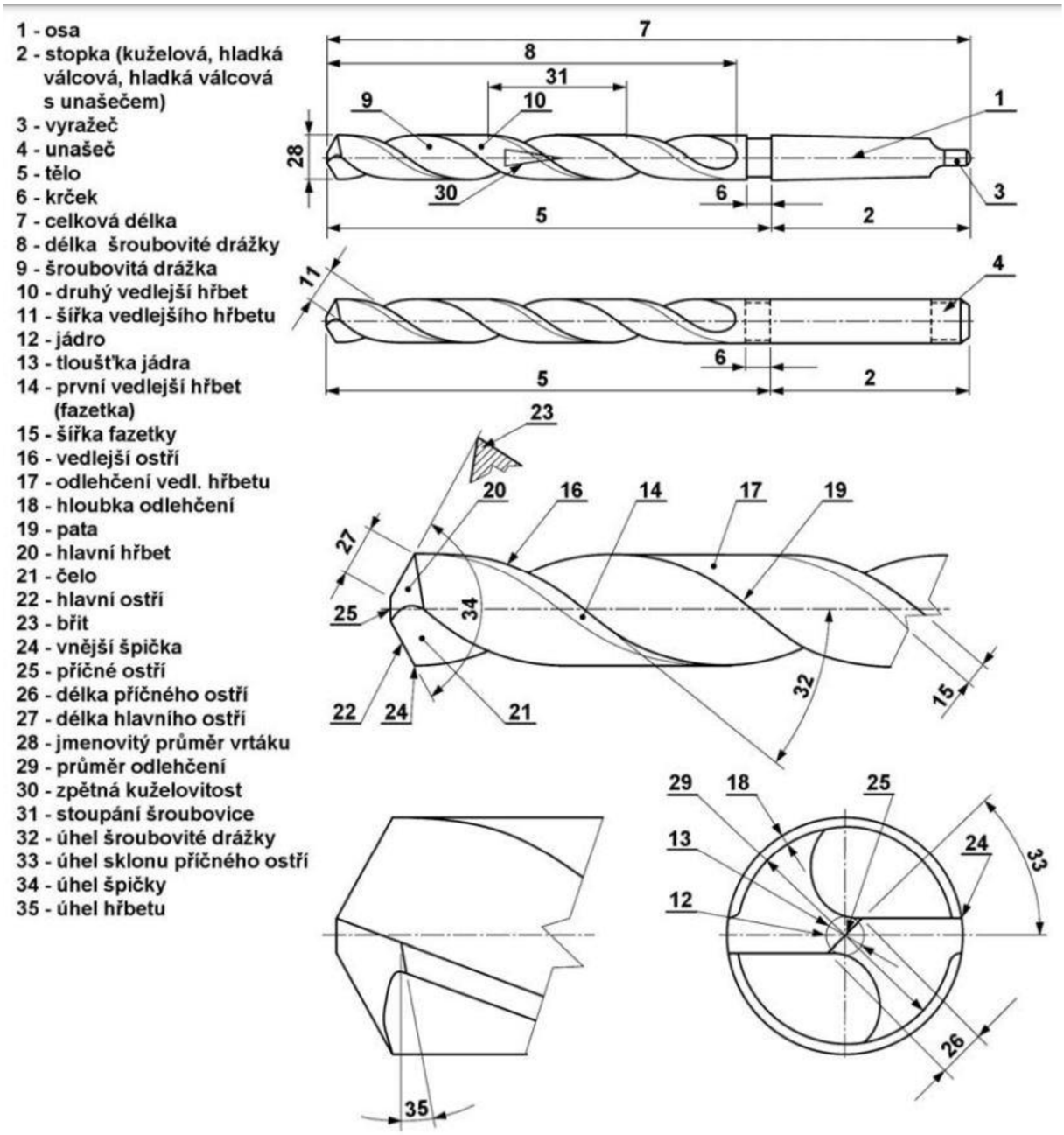
Příloha P1 [19]

Příloha P2 Tabulka doporučených otáček kotoučů

Průměr brusného kotouče [mm]	Obvodová rychlost brusnéhou kotouče v_k [m/s]								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	Počet otáček brusného kotouče n_k/min								
4	23 900	47 800	71 700	95 500					
6	15 900	31 800	47 700	63 600	79 500	95 500			
10	9 550	19 100	28 600	38 200	47 700	57 300	66 800	76 400	85 700
13	7 350	14 700	22 000	29 400	36 800	44 200	51 500	58 800	66 200
16	5 970	11 900	17 900	23 900	29 800	35 800	41 800	47 700	53 700
20	4 780	9 500	14 300	19 100	23 900	28 600	33 400	38 200	43 100
25	3 810	7 600	11 500	15 300	19 100	23 000	26 700	30 500	34 300
30	3 190	6 380	9 550	12 150	15 900	19 100	22 300	25 500	28 700
40	2 390	4 780	7 200	9 550	11 950	14 320	16 700	19 100	21 500
50	1 910	3 820	5 730	7 650	9 550	11 450	13 400	15 300	17 200
60	1 590	3 180	4 770	6 360	7 950	9 550	11 200	12 700	14 300
75	1 270	2 540	3 820	5 100	6 350	7 640	9 000	10 200	11 450
100	955	1 910	2 860	3 820	4 780	5 730	6 700	7 640	8 600
125	765	1 530	2 300	3 060	3 820	4 600	5 350	6 110	6 870
150	636	1 270	1 910	2 550	3 200	3 800	4 450	5 100	5 720
175	545	1 090	1 640	2 200	2 730	3 270	3 820	4 360	4 900
200	478	955	1 440	1 910	2 390	2 880	3 350	3 830	4 300
250	382	765	1 145	1 530	1 910	2 290	2 680	3 300	3 440
300	319	640	955	1 280	1 600	1 910	2 230	2 550	2 870
350	273	545	820	1 090	1 370	1 640	1 900	2 180	2 450
400	239	480	725	960	1 200	1 450	1 680	1 910	2 150
500	191	380	575	770	960	1 150	1 340	1 525	1 720
600	159	318	515	700	850	1 030	1 200	1 390	1 570
750	127	255	380	510	635	765	890	1 020	1 145
900	106	210	320	425	530	640	750	850	955
1 000	95	190	285	380	480	570	670	765	860

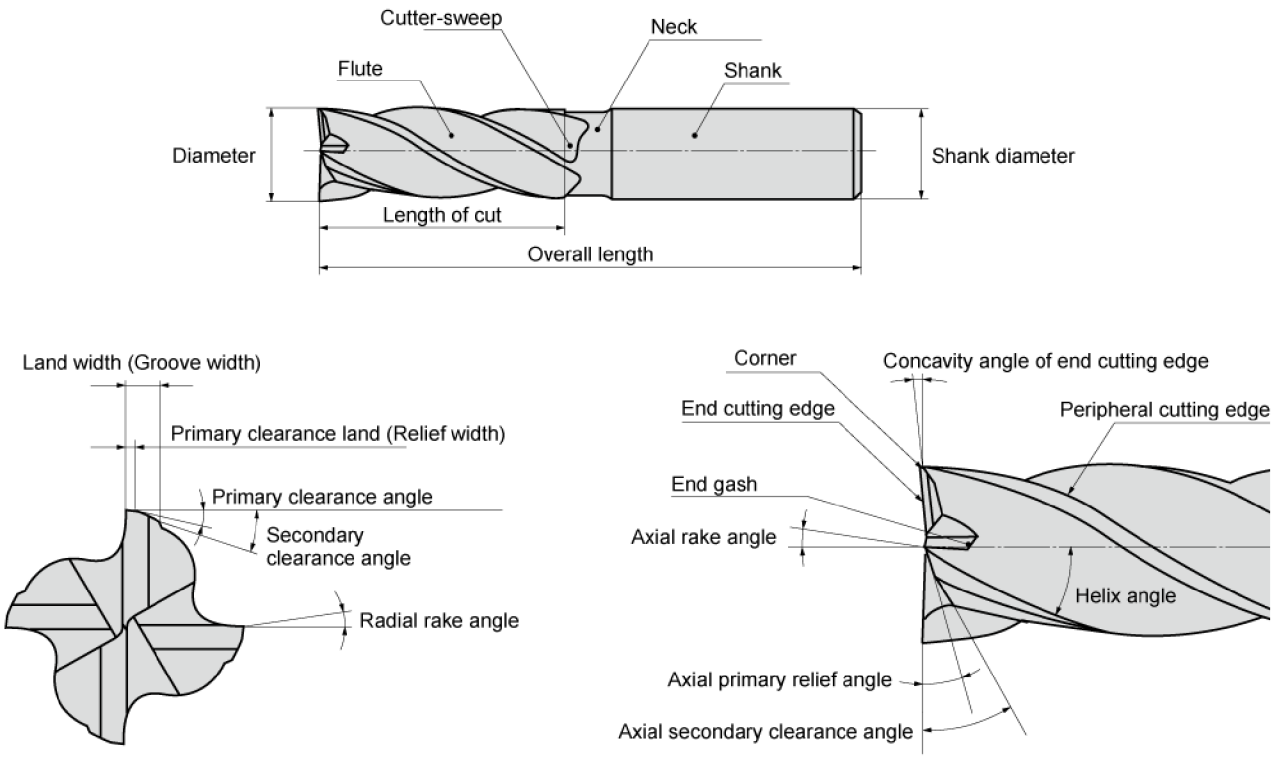
Příloha P2 [17]

Příloha P3 Schéma šroubovitého vrtáku



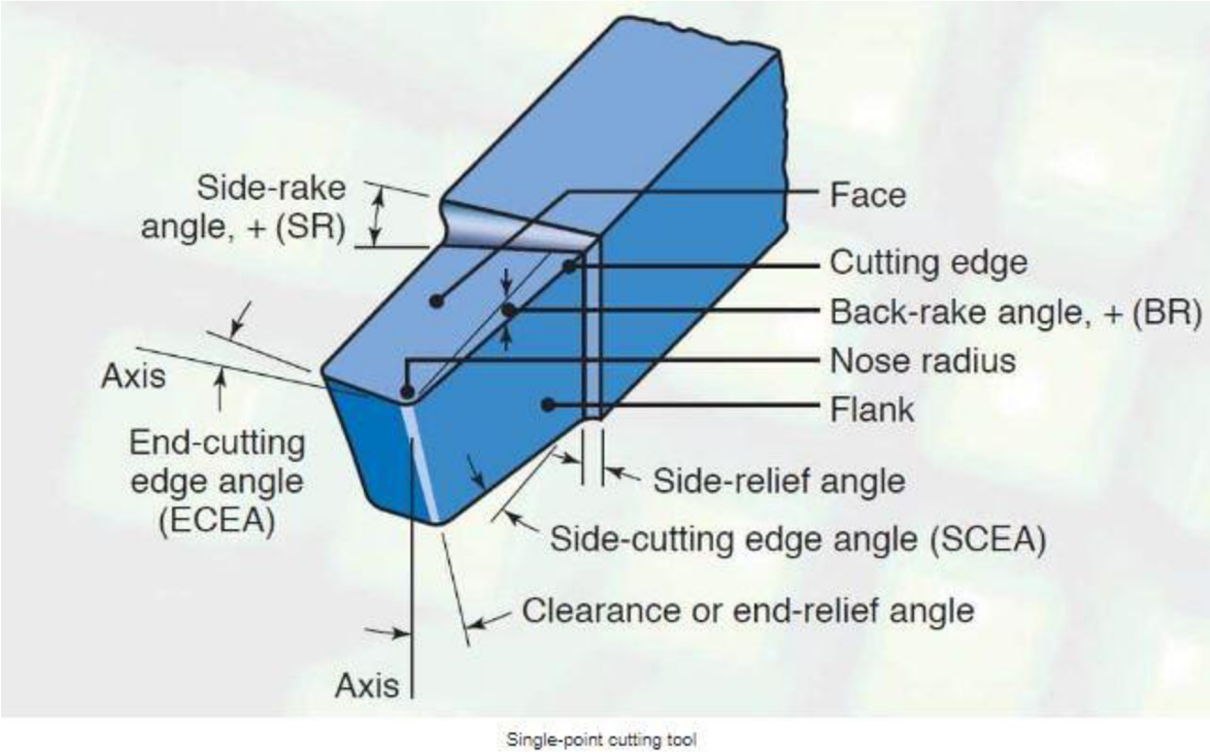
Příloha P3 [5]

Příloha P4 Schéma stopkové celistvé válcové frézy



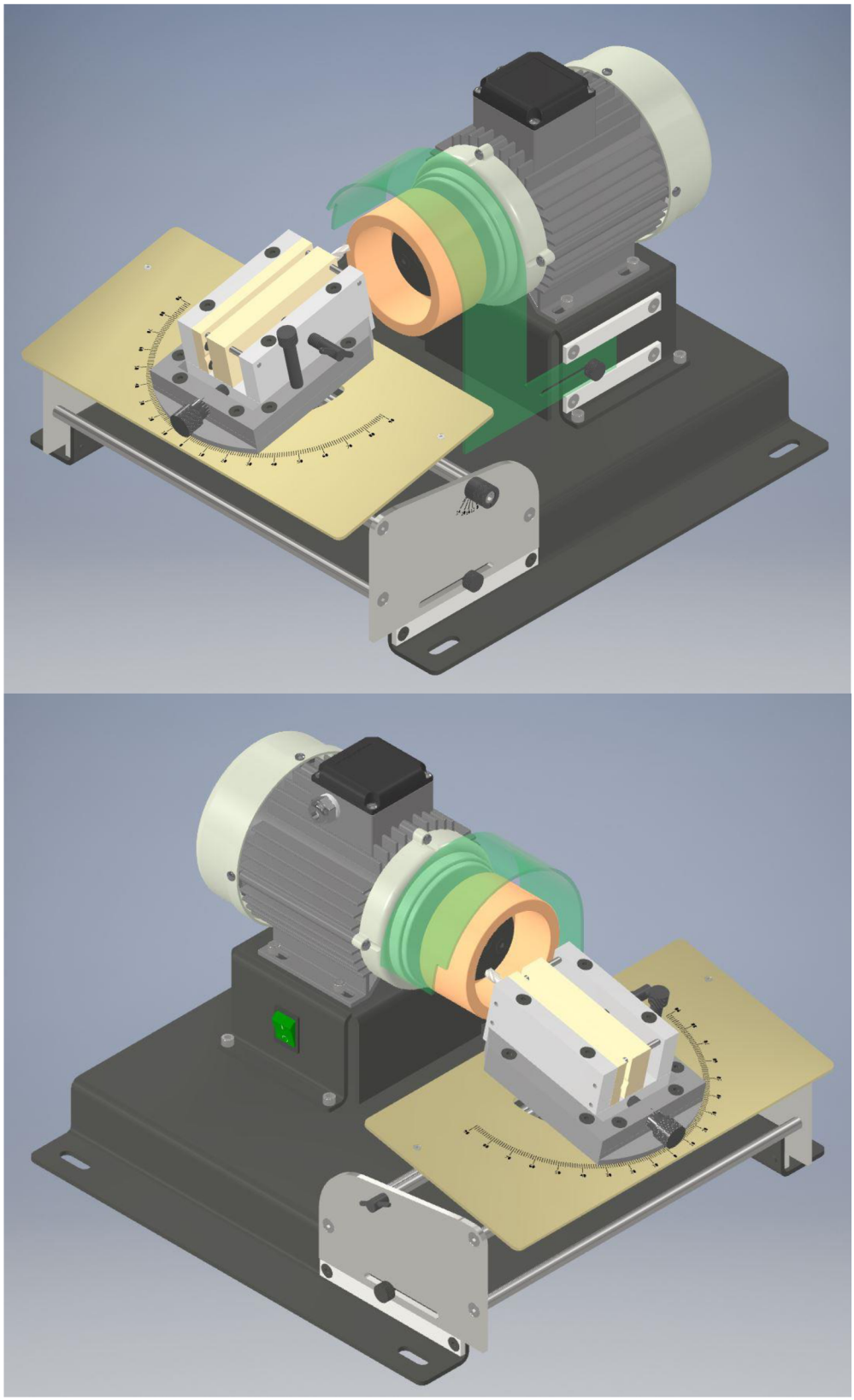
Příloha P4 [20]

Příloha P5 Schéma celistvého soustružnického nože



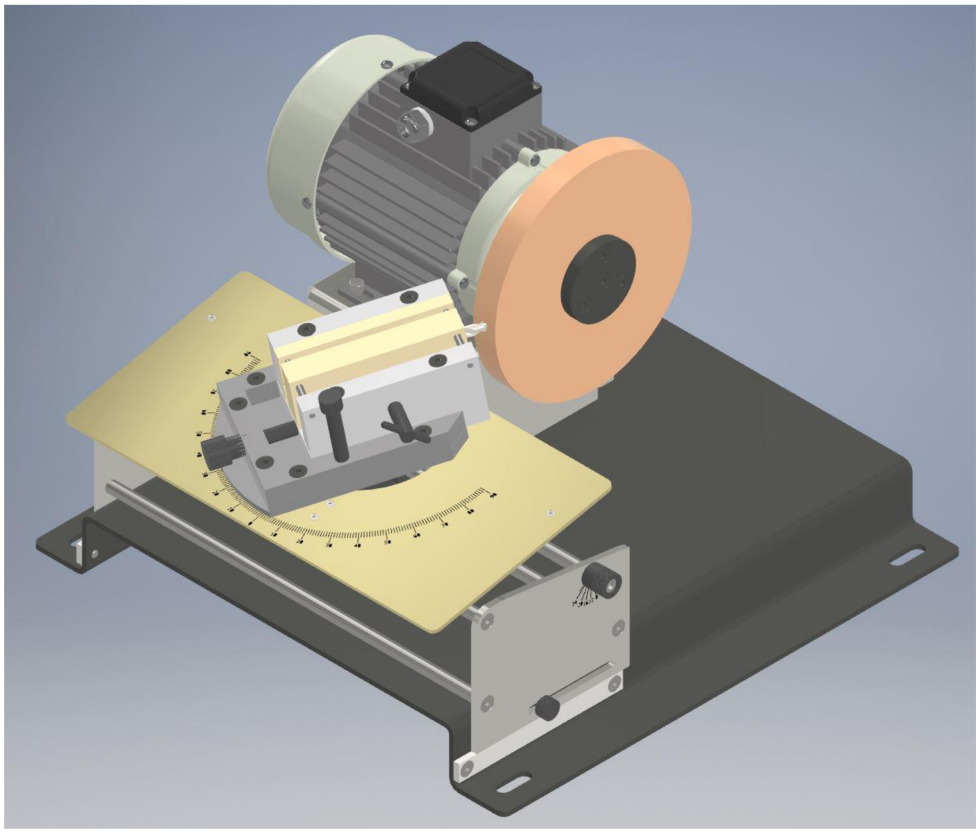
Příloha P5 [21]

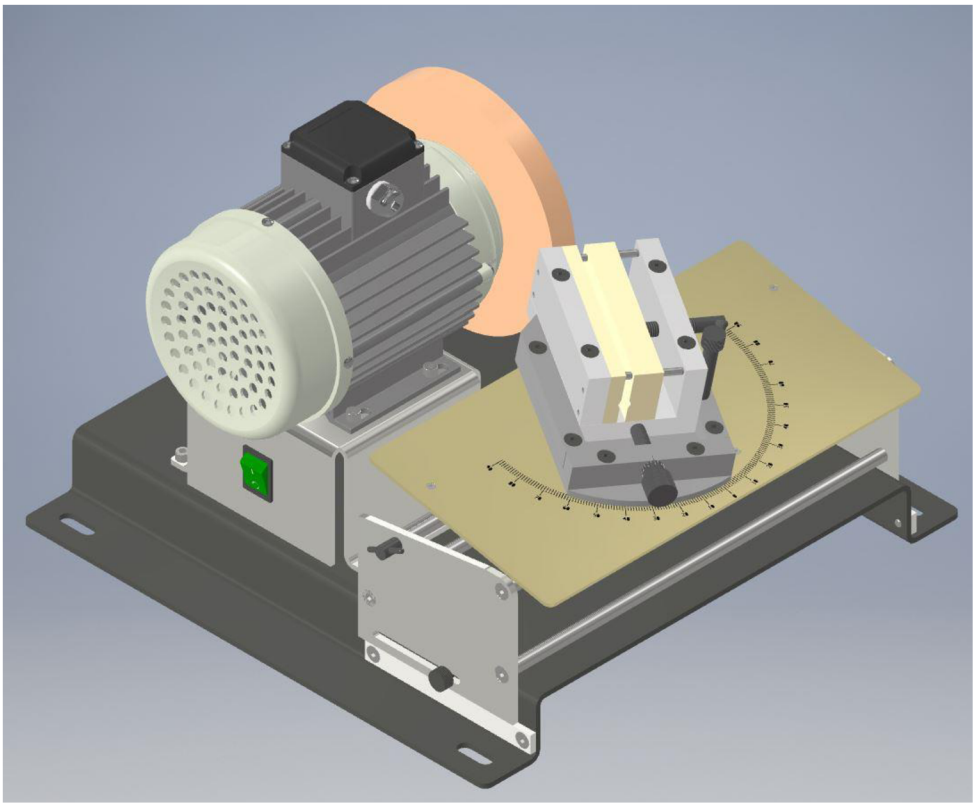
Příloha P6 První návrhová varianta



Příloha P6

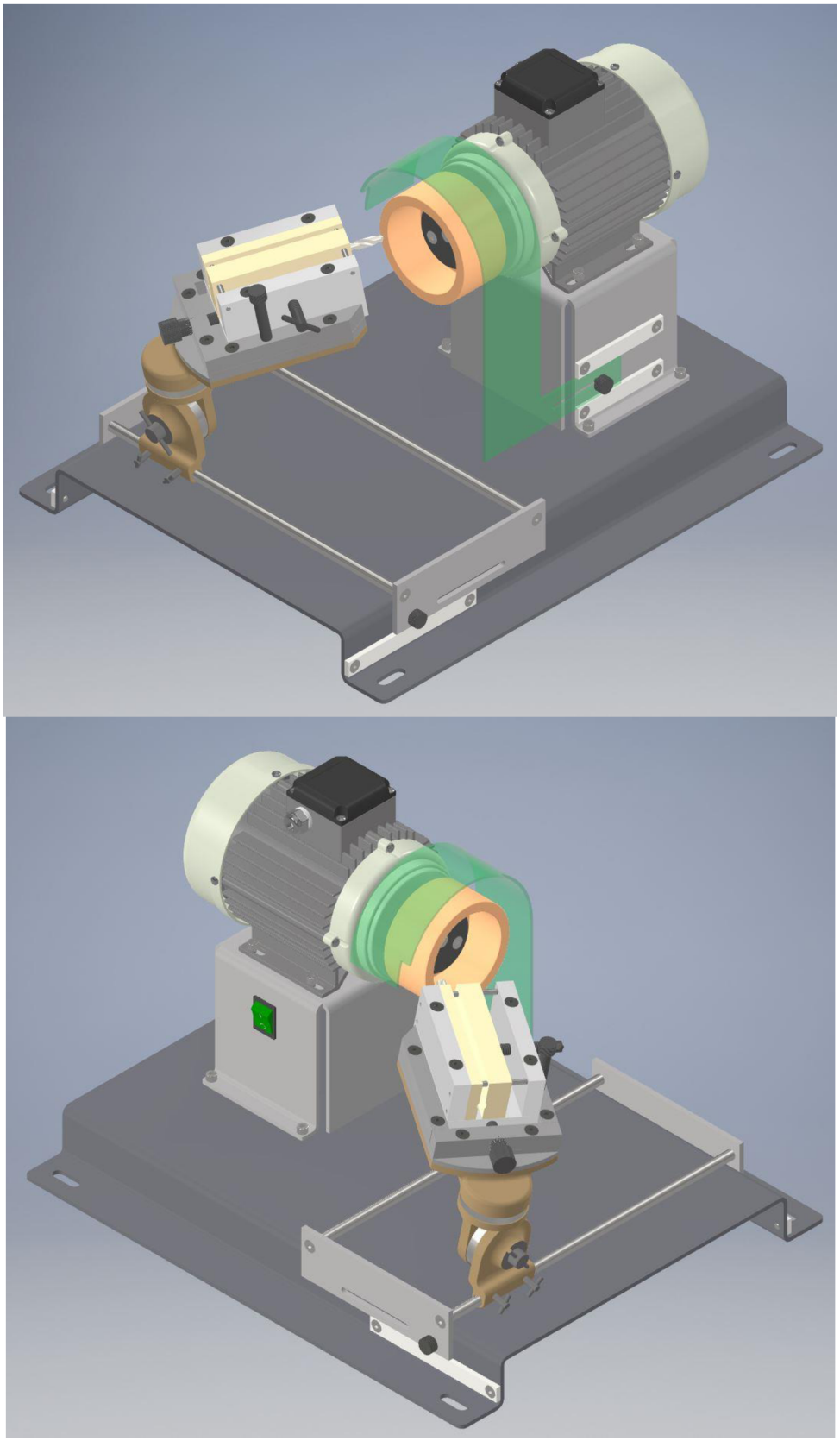
Příloha P7 Druhá návrhová varianta





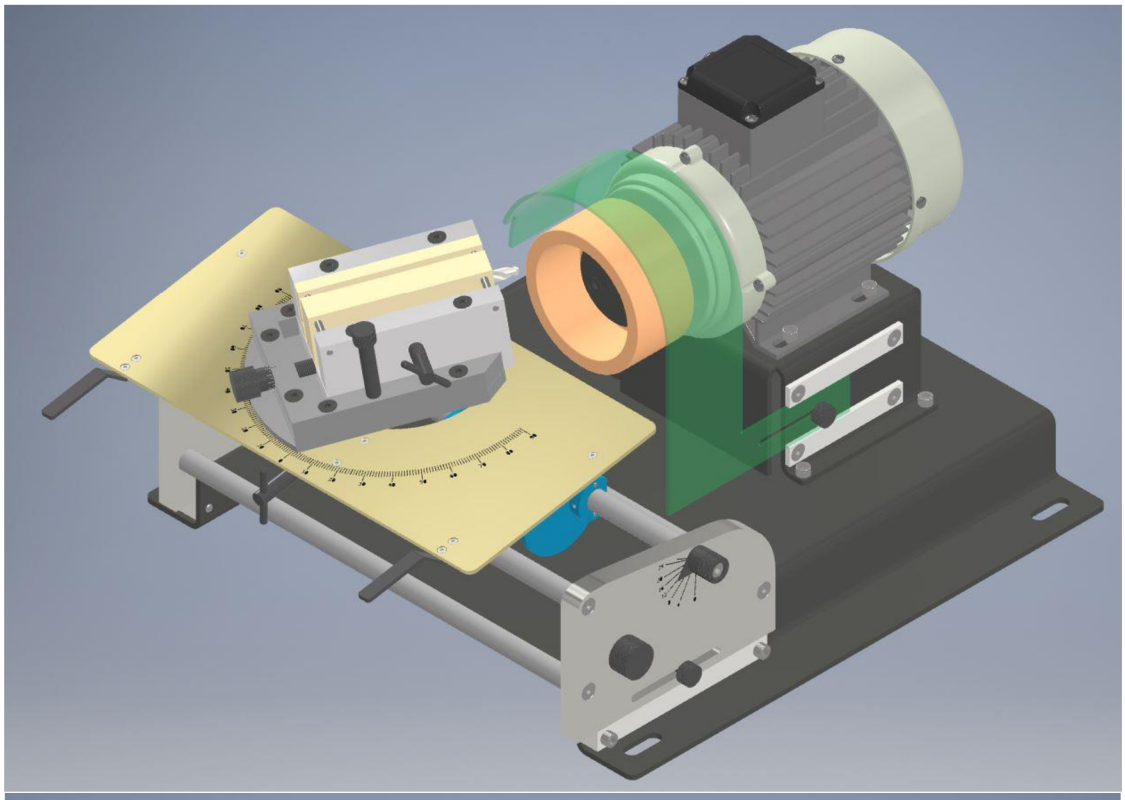
Příloha P7

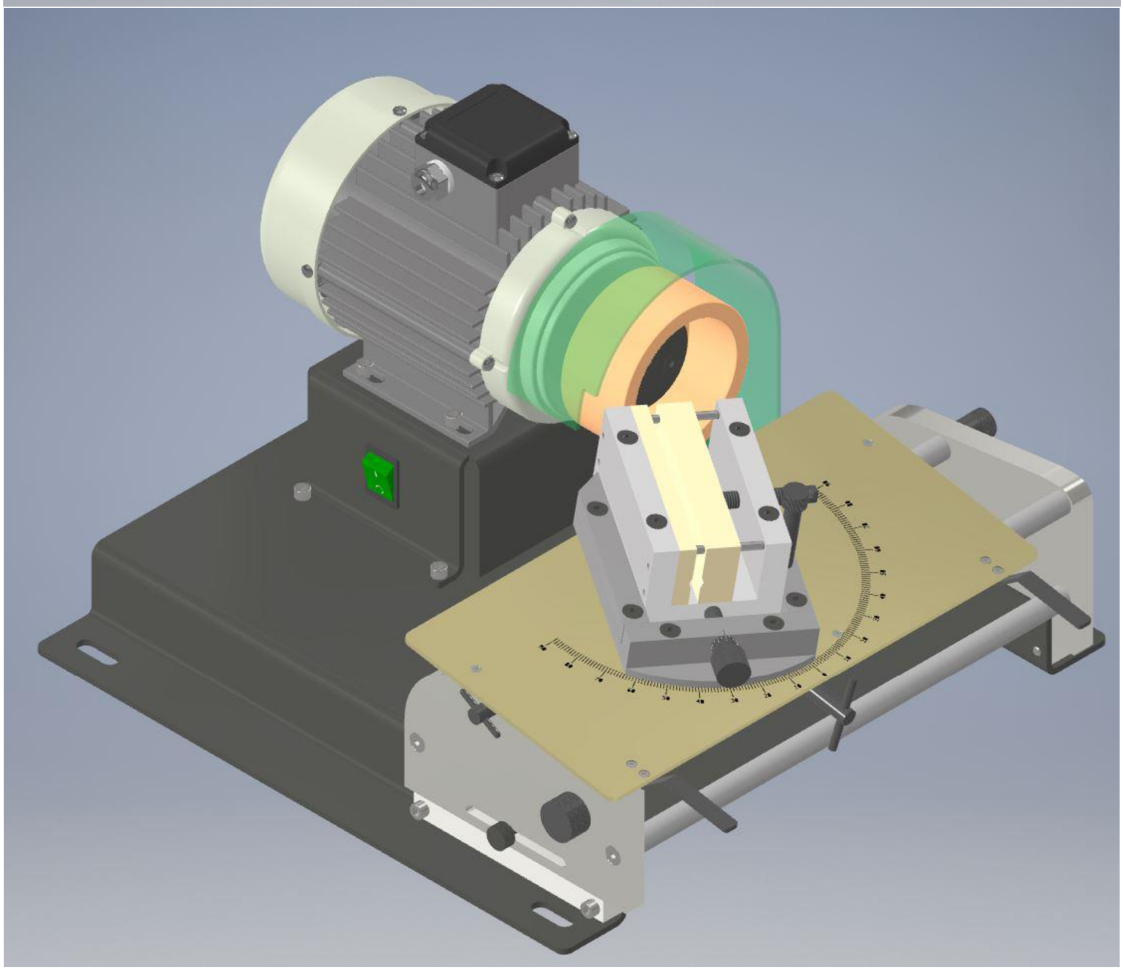
Příloha P8 Třetí návrhová varianta

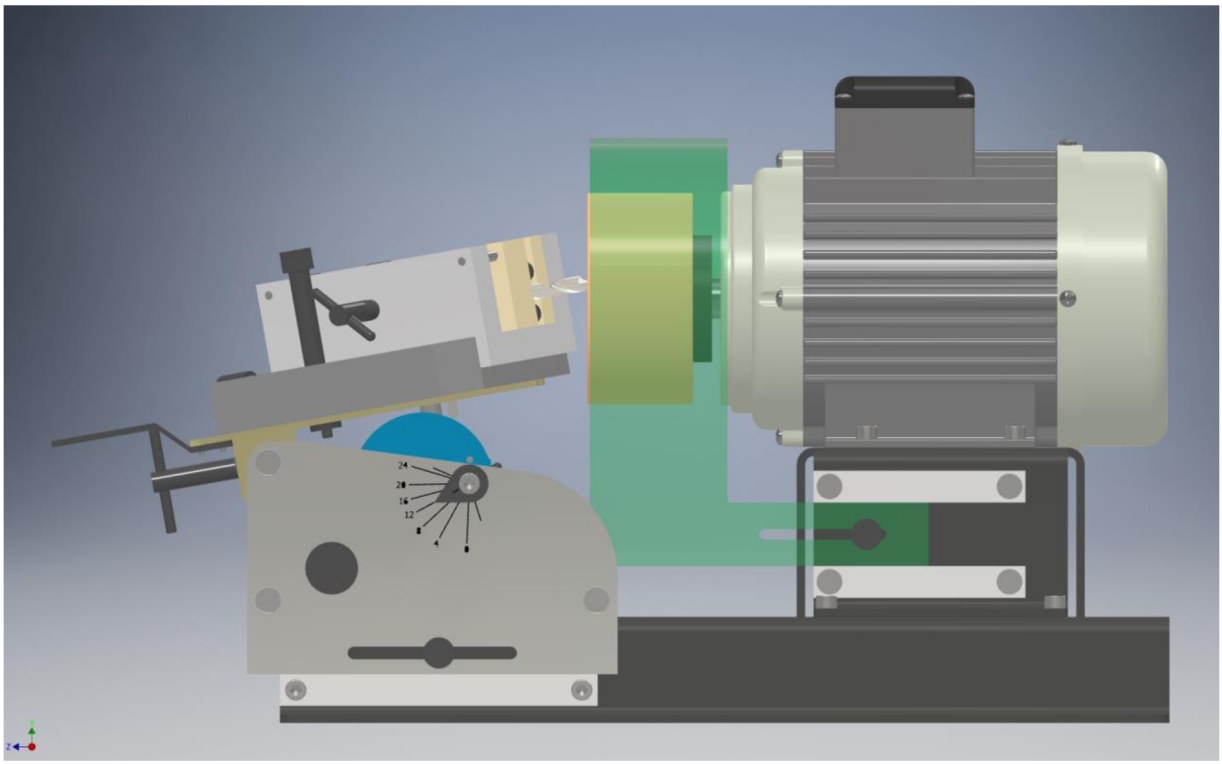


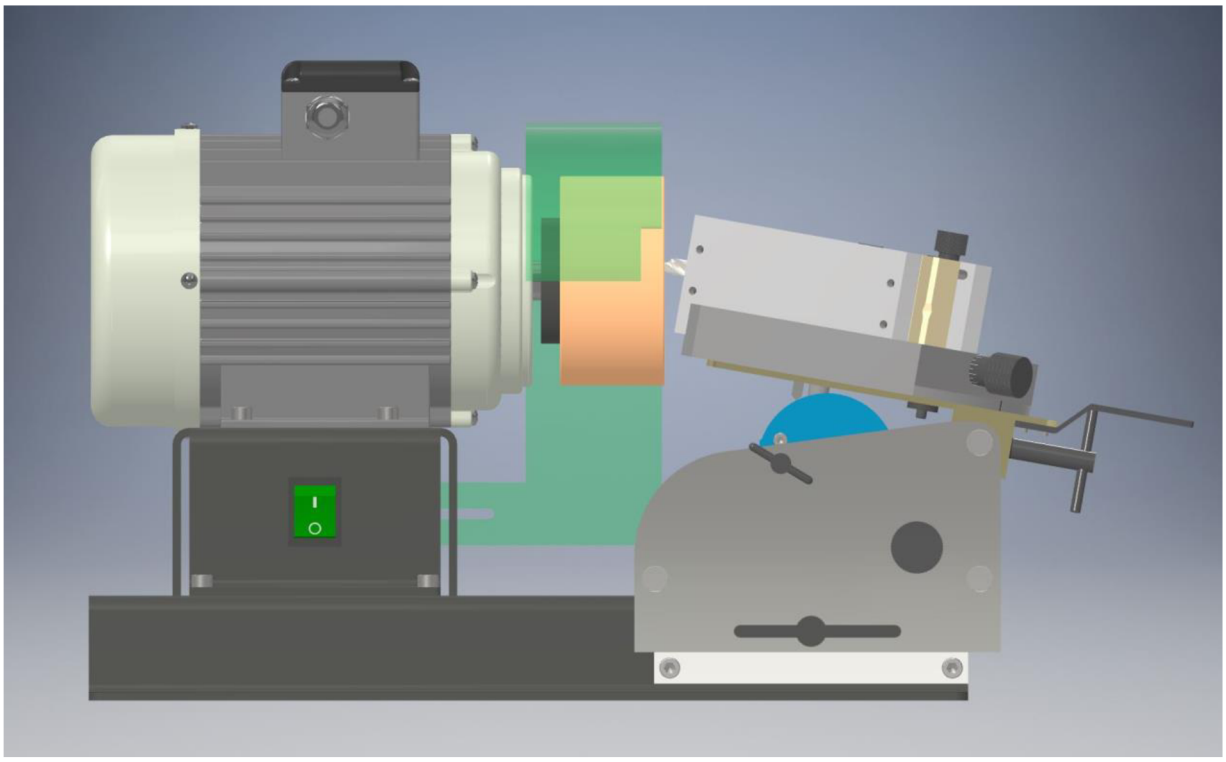
Příloha P8

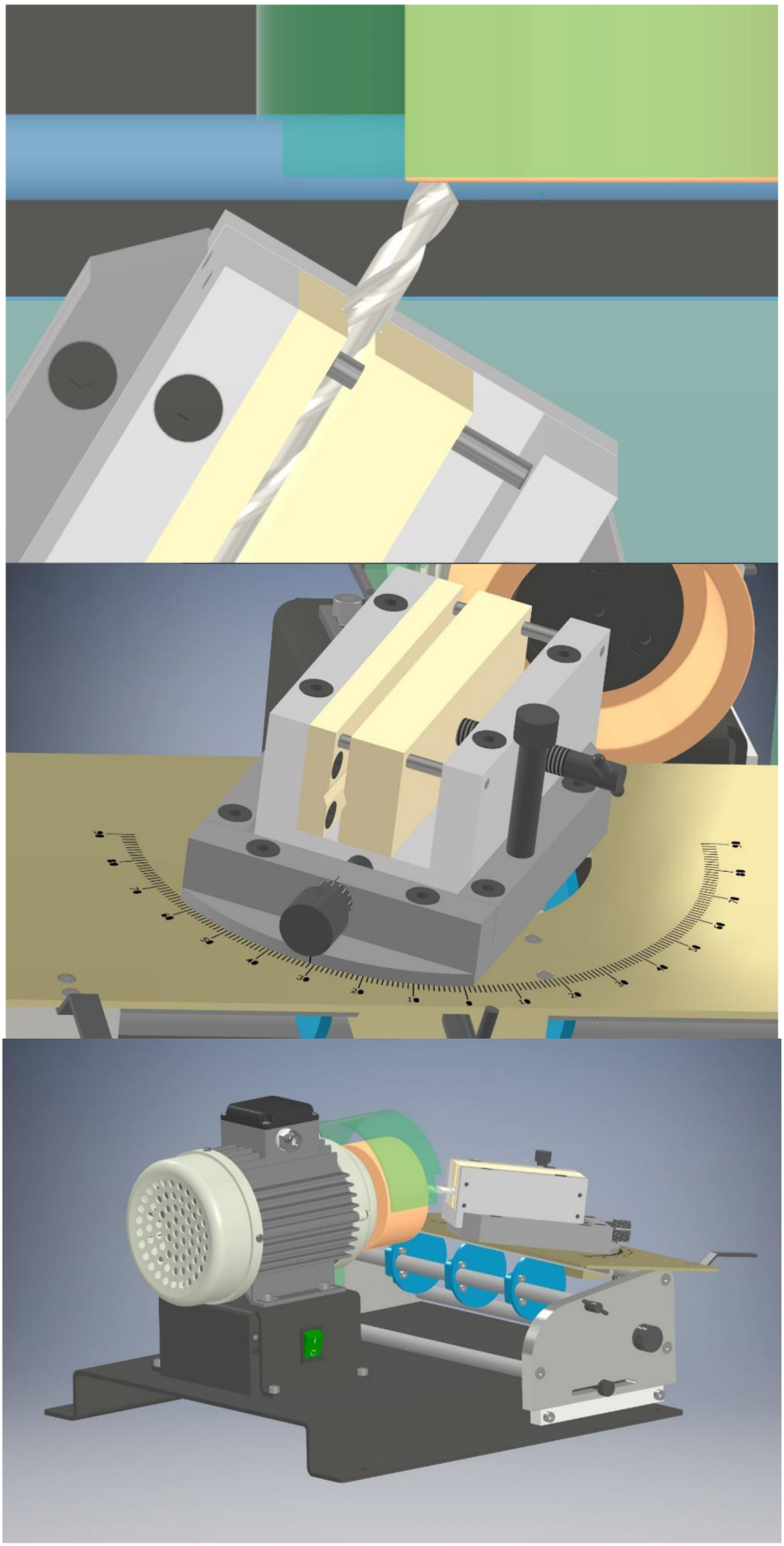
Příloha P9 Finální návrhová varianty





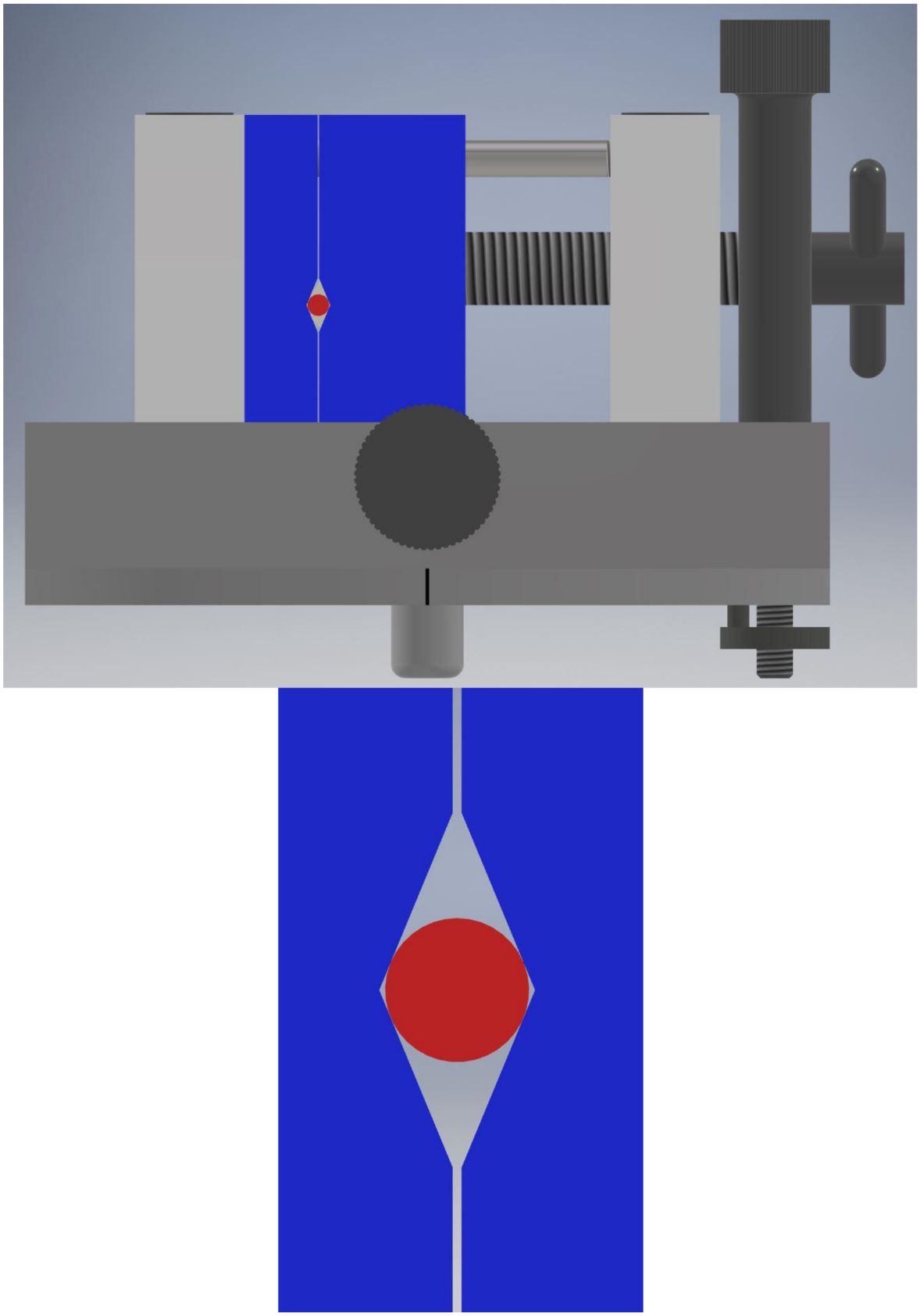

24
20
16
12
8
4





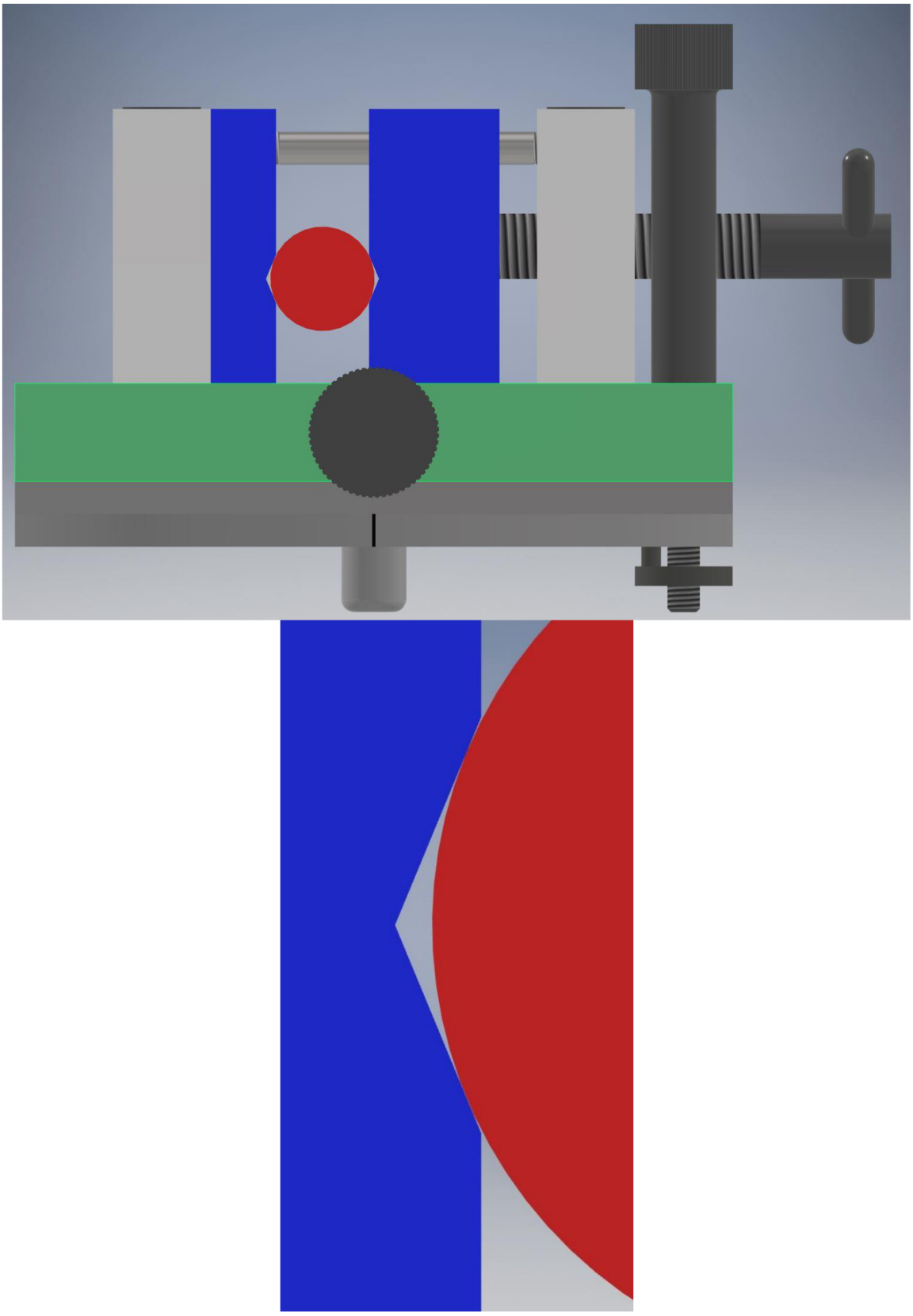
Příloha P9

Příloha P10 Detail upnutí vrtáku průměru 3 mm



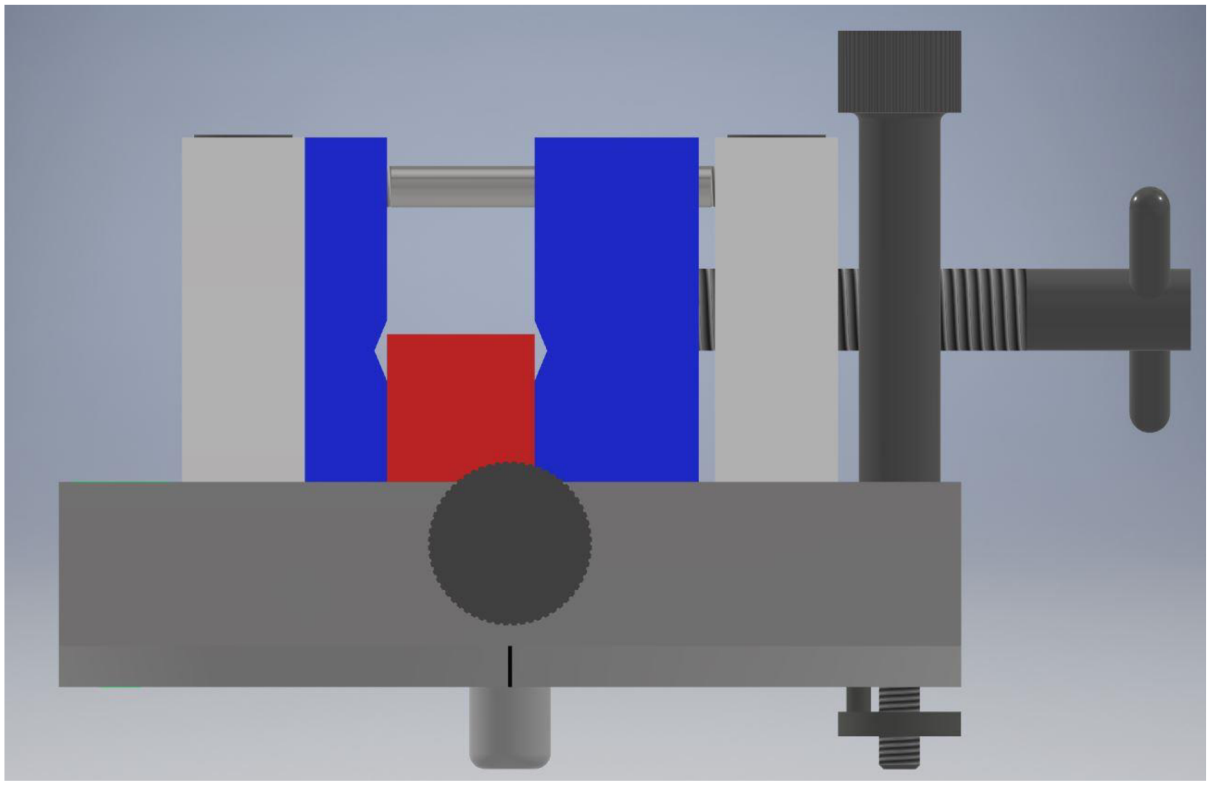
Příloha P10

Příloha P11 Detail upnutí vrtáku průměru 16 mm



Příloha P11

Příloha P12 Detail upnutí soustružnického nože



Příloha 12