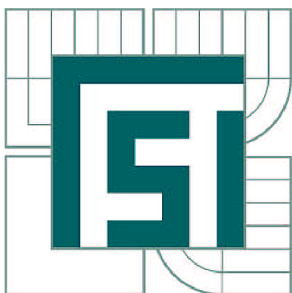


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

KONSTRUKČNÍ NÁVRH PŘÍPRAVKU PRO ODJEHLOVANÍ OZUBENÝCH KOL

CONSTRUCTION OF EQUIPMENT FOR DEBURRING GEARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DANIEL BOSÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL HOLUB, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Daniel Bosák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Konstrukční návrh přípravku pro odjehlování ozubených kol

v anglickém jazyce:

Construction of equipment for deburring gears

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je navrhnout přípravek pro odjehlování ozubených kol na vybraném obráběcím stroji.

Cíle bakalářské práce:

- Rozbor a specifikace úlohy
- Základní výpočtová dokumentace, 3D model a výkres sestavy.

Seznam odborné literatury:

- WECK, Manfred, BRECHER, Christian. Werkzeugmaschinen : Konstruktion und Berechnung. 2006. überarb. Auflage. Verlag Berlin Heidelberg : Springer, 2006. 701 s. ISBN 3-540-22502-1.
- Marek, Jiří, MM Průmyslové spektrum: Konstrukce CNC obráběcích strojů. 2006. Speciální vydání. Dostupný z WWW: <www.mmspektrum.com>. ISSN 1212-2572.
- BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 1986. 145 s. ISBN 55-600-86.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Holub, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 3.11.2011

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá konstrukcí přípravku k odjehlování ozubených kol ve stroji Gleason GP 200. V první části práce je zpracována rešerše o současných metodách odjehlování. Následuje rozbor úlohy, kde jsou analyzovány rozměry a dispoziční řešení stroje se zaměřením na umístění přípravku. Dále je provedena volba vhodného nástroje. Jsou nastíněny dvě varianty konstrukčního řešení. Jedna z nich je dále rozpracována. Jsou vyřešeny důležité konstrukční uzly přípravku. Na konci práce je provedena analýza geometrie a tuhosti přípravku. S přihlédnutím k maximální deformaci je doporučeno maximální zatížení přípravku.

Klíčová slova

Odjehlování, ozubená kola, frézování

Abstract

This thesis deals with the design of the equipment for deburring gears on the Gleason GP 200 machine. The first part contains research of current methods of deburring. At the following analysis of the task dimensions and layout of the machine, focusing on equipment placement, are analyzed. Next, a choice of tool is made. Two variants of design solutions are outlined. One of them is more elaborated. Important structural units are solved. At the end of the thesis an analysis of the geometry and stiffness is made. The maximum equipment load is recommended with regard to the maximum deformation.

Keywords

Deburring, gears, milling, hobbing

Bibliografická Citace

BOSÁK, D. *Konstrukční návrh přípravku pro odjehlování ozubených kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Holub, Ph.D..

Prohlášení

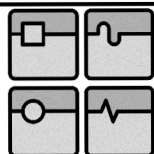
Prohlašuji, že tato bakalářská práce je mým původním dílem. Vypracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Michala Holuba, Ph.D. s použitím zdrojů uvedených na seznamu.

V Brně dne 17. 5. 2012

.....
Daniel Bosák



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalu Holubovi, Ph.D. za cenné rady, strávený čas a ochotu při vypracování této práce.



Obsah

1	Úvod	10
2	Výroba ozubených kol frézováním odvalovací frézou	10
3	Přehled současné situace v praxi	11
3.1	Speciální zařízení k odjehlování ozubených kol	11
3.1.1	Odjehlování kartáčováním	11
3.1.2	Odjehlování 5-osým CNC strojem	12
3.1.3	Odjehlování pomocí speciálního kotouče	13
4	Formulace řešeného problému	14
5	Rozbor postupu při řešení úlohy	14
5.1	Dispoziční řešení stroje	14
5.2	Rozměry pracovního prostoru a upínací plochy	15
5.3	Tvar a rozměry upínacích přípravků	17
5.4	Tvar a rozměry obrobků	17
5.5	Výběr nástroje	19
5.5.1	Kotoučový nůž	20
5.5.2	Soustružnický nůž uběrací přímý	20
5.6	Analýza dosahu nástroje k obrobku	21
6	Návrh variant řešení a jejich porovnání	23
6.1	Varianta A	23
6.1.1	Popis varianty	23
6.1.2	Parametry varianty	24
6.2	Varianta B	25
6.2.1	Popis varianty	25
6.2.2	Parametry varianty	25
6.3	Výběr vhodné varianty	26
7	Konstrukční řešení varianty B	26
7.1	Uložení a způsob aretace vodorovného pojezdu	26
7.2	Uložení a způsob aretace svislého pojezdu	27
7.3	Upnutí přípravku ke stroji	29
7.4	Otočné uložení kotoučového nože	29
7.5	Celkové řešení přípravku	30
7.5.1	Konstrukční řešení jednotlivých modulů	31
8	Analýza parametrů zkonstruovaného přípravku	32
8.1	Analýza dosahu nástroje k obrobku	32
8.2	Analýza tuhosti přípravku	33
8.2.1	Grafické výsledky analýzy	33
8.2.2	Numerické výsledky analýzy	36
8.2.3	Výpočet tuhosti přípravku	36
8.3	Maximální zatížení přípravku	37
9	Závěr	38
10	Seznam použitých zdrojů	39
11	Seznam obrázků a grafů	40
12	Seznam tabulek	40
13	Seznam příloh – výkresová dokumentace	40

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1 Úvod

Ozubená kola jsou součástí mnoha dnes vyráběných strojů a mechanismů. Používají se k přenosu výkonu na krátké vzdálenosti, v převodovkách ke změně hodnot otáček a krouticího momentu. Dále se uplatňují všude tam, kde je potřeba změnit smysl otáčení hřídele. Téměř nenahraditelnou roli mají tedy v převodovkách automobilů, obráběcích strojů a v mnoha dalších strojních zařízeních.

Problematika výroby ozubených kol je velice rozsáhlá. Ozubená kola lze vyrábět mnoha různými způsoby z různých materiálů. V této práci bude nadále pojednáváno pouze o ozubených kolech vyráběných třískovým obráběním, konkrétně frézováním odvalovacím způsobem.

Stěžejní částí této práce je návrh přípravku k odjehlování ozubených kol. Přípravek bude navržen k použití na konkrétním stroji. Jde o stroj značky Gleason, typ GP 200.

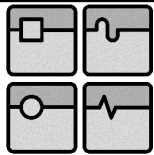
Cílem této práce je navrhnout zařízení, které umožní odjehlení ozubeného kola přímo v odvalovací frézce bez nutnosti jakékoliv manipulace s obrobkem. Odjehlování bude prováděno zároveň s obráběním. V okamžiku, kdy bude kolo dofrézováno, bude současně i odjehleno. Splněním těchto požadavků, tedy odebráním jedné operace, dojde k celkovému zkrácení výrobního času ozubení a s tím souvisejícímu snížení výrobních nákladů.

Přípravek bude namontován v obráběcím stroji na připravené upínací ploše k tomuto účelu určené. Bude zkonstruován tak, aby umožnil odjehlení všech rozměrů kol z výrobního spektra uživatele. Rozměry ozubených kol a upínacích přípravků jsou součástí zadání této práce. Přípravek tedy musí být nastavitelný ve vodorovné i svislé ose. Přípravek bude dostatečně tuhý, a to tak, aby byla vyloučena kolize nástroje s čelní plochou ozubeného kola.

2 Výroba ozubených kol frézováním odvalovací frézou

Frézování ozubených kol odvalovací frézou patří mezi vysoce produktivní metody výroby ozubených kol. Nástrojem je odvalovací fréza, která může být v provedení jednochodém nebo vícechodém. Při frézování představuje nástroj a obrobek záběr šnekového soukolí. V průběhu obrábění odvalovací fréza rotuje, a tím koná hlavní řezný pohyb. Současně dochází k otáčení stolu s polotovarem ozubeného kola kolem svislé osy. Posouváním frézy směrem dolů se postupně vyfrézuje celá šířka ozubení.

Při vyjíždění frézy ze záběru ovšem dochází k plastické deformaci hrany, a tím ke vzniku ostříny. Tato ostřina je nežádoucí a nesmí se na hotovém výrobku vyskytnout. V opačném případě by mohlo dojít k havárii převodu, případně k poranění pracovníků montáže při skládání stroje. Velikost této ostříny závisí na materiálu ozubeného kola. Významně je také ovlivněna řeznými podmínkami samotného procesu frézování.



Obr. 1: Frézování odvalovacím způsobem; červenou šipkou je vyznačeno místo vzniku ostřiny [1]

3 Přehled současné situace v praxi

U značného počtu odvalovacích frézek v průmyslové praxi dnes stále používaných není odjehlování ozubených kol řešeno. Skutečnost je tedy taková, že se nejprve ozubené kolo vyfrézuje, vyjme ze stroje a pak na dalším samostatném zařízení odjehlí. To se provede buď na soustruhu, nebo na speciálním stroji k tomuto účelu zkonstruovaném.

3.1 Speciální zařízení k odjehlování ozubených kol

Existuje mnoho firem zabývajících se problematikou odjehlování ozubených kol. Tyto firmy vyrábějí speciální stroje a nástroje k tomuto účelu určené. Podle principu úběru materiálu a použitého nástroje můžeme metody rozdělit do těchto skupin:

- Odjehlování kartáčováním
- Odjehlování 5-osým CNC strojem
- Odjehlování pomocí speciálního kotouče

3.1.1 Odjehlování kartáčováním

Při tomto způsobu odjehlování je hrana zubu kola s ostřinou vystavena abrazivnímu účinku rotujícího kartáče. Tento kartáč může být osázen dráty z oceli nebo z nylonu, do kterého jsou zalisovány abrazivní částice. Odjehlování kartáčováním propaguje americká společnost Weiler Corporation, která se zabývá výrobou brousících kotoučů a kartáčů. Odjehlovací stroje vyrábí například americká společnost CDMC (Cleveland Deburring Machine Company).

Při samotném odjehlování se ozubené kolo upne do přípravku v odjehlovacím stroji. Roztočený kartáč se přitlačí na odjehlovanou hranu. Současně dochází k otáčení ozubeného kola, takže se kolo rovnoměrně odjehlí po celém obvodu. Vyrábějí se i odjehlovací stroje, které obsahují dva kartáče. Na jedno upnutí je tedy možno odjehlít obě strany ozubeného kola. Pro malé série lze použít též ruční metodu, kdy je kolo otáčeno i přitlačováno ke kartáči ručně.

Tato metoda je velice rychlá a jednoduchá. Pro odjehlování se používají stroje k tomuto účelu speciálně konstruované. Nevýhodou je skutečnost, že velikost sražení hrany závisí na síle přitlaku a rychlosti otáčení kola, není tedy přesně definována.



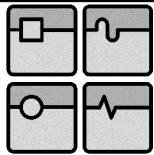
Obr. 2: Odjehlování kartáčováním [2]

3.1.2 Odjehlování 5-osým CNC strojem

Princip této metody spočívá v obrábění hran zubů kol CNC frézou. Protože jde o velice složité tvary, je potřeba použít pětiosý stroj. Jako nástroje se používají frézy, brousící kotouče nebo i výše zmíněné kartáče.

Tato metoda je velice přesná, protože nástroje vykonávají přesně definovaný pohyb. Nevýhodou této metody je potřeba pětiosého řízení (velké investiční náklady). Další nevýhodou jsou dlouhé strojní časy z důvodu frézování každého zubu zvlášť.

Představitelem této metody je například stroj KEM 502 italské firmy Fimat [3]. Tento stroj je schopen pracovat s obrobky do průměru 500mm a výšky 300mm. Je vybaven 5-osým řízením SIEMENS 840D. Po upnutí obrobku dojde k odměření polohy zubů pomocí dotykových sond, aby obrábění probíhalo co nejpřesněji.



Obr. 3: Odjehlování hrany zubu frézováním na stroji KEM 502 [3]





3.1.3 Odjehlování pomocí speciálního kotouče

Metoda je založena na odvalování ozubeného kola a speciálního nástroje, který současně odjehljuje a sráží hrany. Díky speciálnímu tvaru nástroje nedochází k odvalu, ale nástroj se po ozubeném kole smýká. Metoda je rychlá a efektivní, protože lze provádět odjehlení několika hran najednou. Pokud je ale potřeba hrany i srážet, je nutno použít speciální nástroj pro každý modul.

Touto technologií se zabývá firma Samputensili [4].



Obr. 4: Ukázka metody a nástrojů k odjehlování kol [4]

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

4 Formulace řešeného problému

Výše popsané metody odjehlování kol poskytují vysoce kvalitní odjehlení. Pokud ale není zařízení integrováno přímo do odvalovací frézky, projeví se jejich společná nevýhoda. Ta spočívá v tom, že po vyfrézování kola je nutné toto z frézky vyjmout, upnout je do odjehlovacího stroje, ten spustit, po dokončení operace zastavit a kolo vyjmout. Přestože tyto operace mohou probíhat automaticky pomocí podavačů obrobků, stále je zde problém s prodlužujícím se výrobním časem ozubení. Některé odjehlovací stroje navíc ani automatickou výměnu obrobků nemají. U nich je prodloužení celkového výrobního času nezanedbatelné.

Další nevýhodou odjehlovacích strojů je samotná přítomnost dalšího stroje ve výrobní hale. S provozem odjehlovacího stroje souvisí zvýšená spotřeba elektrické energie, provozních náplní, náklady na údržbu a opravy stroje. V neposlední řadě přítomnost dalšího stroje znamená záběr místa v hale. Přestože jeho rozměry nemusejí být veliké, je potřeba dodržet dostatečně velké místo pro obsluhu stroje. Z těchto důvodů je provoz odjehlovacího stroje neefektivní z pohledu energetické, ekologické i ekonomické strategie firem. Všechny výše popsané nedostatky by měl vyřešit v této práci navrhovaný přípravek.

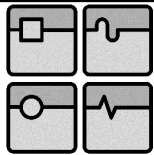
5 Rozbor postupu při řešení úlohy

Před vlastním konstrukčním návrhem přípravku bylo nutno provést důkladný rozbor postupu. Jednotlivé kroky postupu se opíraly o skutečnost, že bude přípravek používán ve stroji Gleason GP 200. Rozměry a konstrukční řešení tedy přímo vycházejí z dispozičního řešení obráběcího stroje a z jeho rozměrů. Rozbor úlohy se skládá z těchto dílčích kroků:

- Analýza dispozičního řešení stroje, volba vhodné upínací plochy.
- Odměření rozměrů pracovního prostoru stroje a upínací plochy.
- Zjištění tvaru a rozměrů upínacích přípravků používaných při obrábění.
- Vymodelování největšího a nejmenšího z obrobků na stroji obráběných.
- Výběr vhodného nástroje k odjehlování.
- Analýza dosahu nástroje k obrobku.

5.1 Dispoziční řešení stroje

Při zkoumání dispozičního řešení stroje bylo vycházeno z dostupných fotografií stroje a jeho pracovního prostoru. Pohled do pracovního prostoru stroje je na následujícím obrázku.



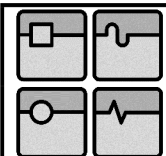
Obr. 5: Pohled do pracovního prostoru stroje Gleason GP 200 [13]

Z obrázku je patrné, že uprostřed pracovního prostoru se nachází otočný stůl se stojanem a upínacím trnem. Na ten je pak upínán samotný obrobek. Na levé straně se nachází vřeteno s odvalovací frézou. Levá strana je tedy plně využita.

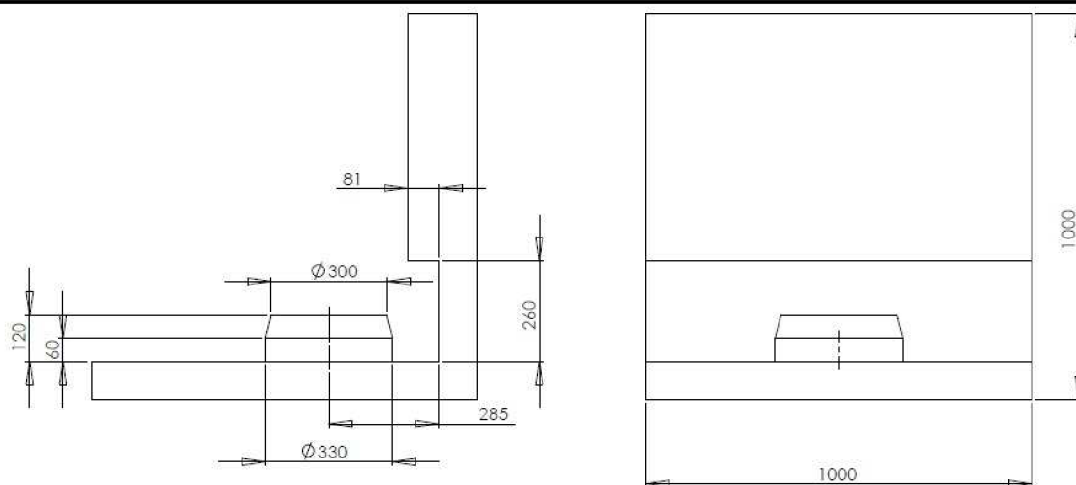
Napravo od otočného stolu, v dolní části, se nachází jediná nekrytovaná plocha. Tato plocha se nachází na rámu stroje, zaručuje tedy dostatečnou tuhost. Na tuto plochu bude umístěn navrhovaný odjehlovací přípravek.

5.2 Rozměry pracovního prostoru a upínací plochy

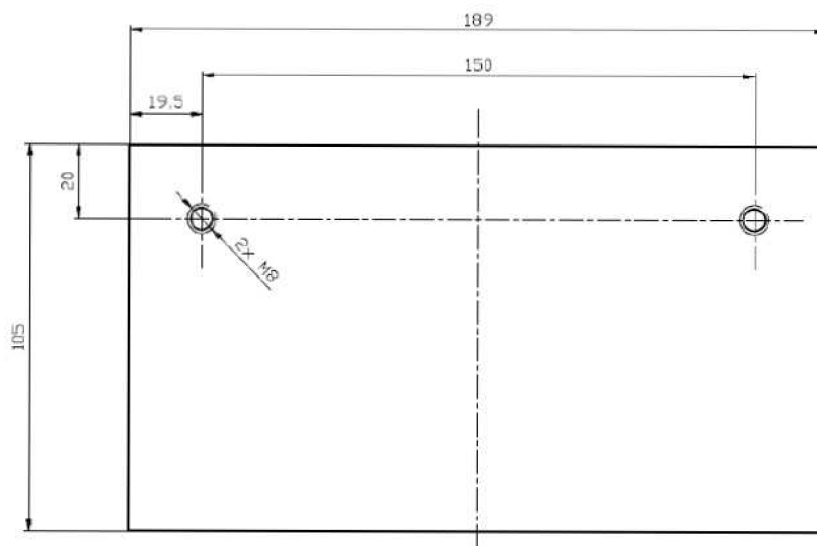
V pracovním prostoru byly odměřeny všechny důležité rozměry potřebné k vytvoření modelu stroje. Dále byly změřeny rozměry upínací plochy přípravku. Jednoduchý výkres pracovního prostoru a rozměry upínací plochy jsou na následujících obrázcích. Kóta 260 mm udává nejnižší možnou polohu smýkadla, na kterém je umístěn upínací hrot. Této hodnoty tedy rozměr nabývá pouze při posunutí koníku do dolní polohy. Aby ovšem byla zaručena 100% funkčnost přípravku při jakémkoliv nastavení stroje, je tato hodnota považována za směrodatnou a odvíjí se od ní rozměry přípravku.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

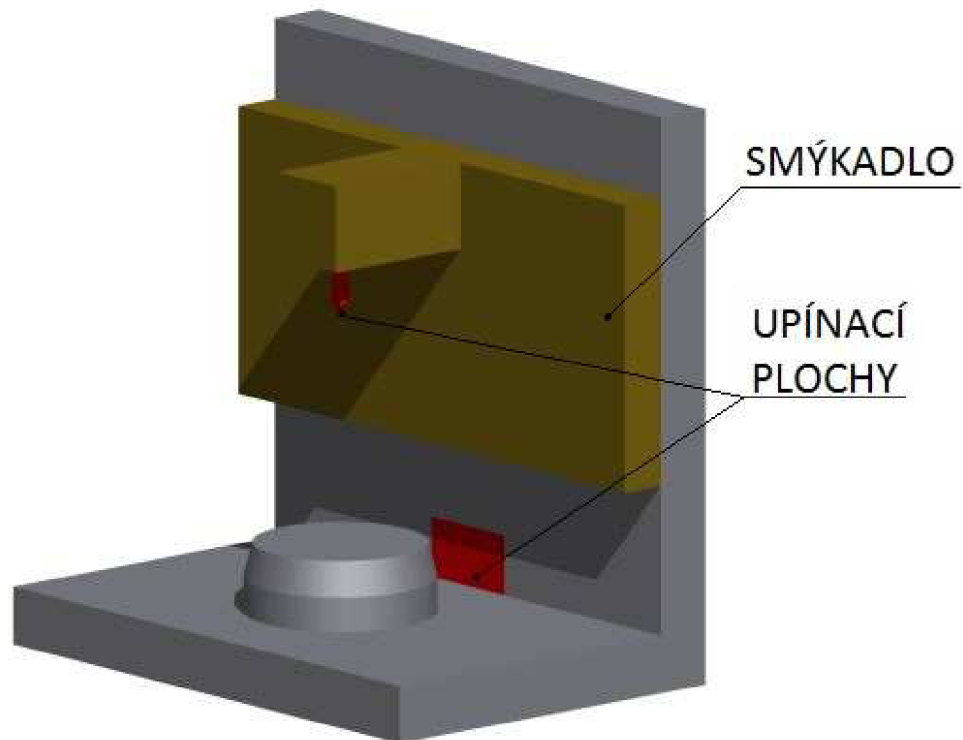
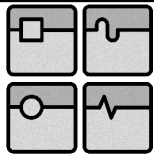


Obr. 6: Rozměry pracovního prostoru stroje [13]



Obr. 7: Rozměry upínací plochy pro přípravek [13]

Na základě těchto výkresů byl zhotoven jednoduchý model pracovního prostoru stroje. Tento model pak posloužil při dalším návrhu. Na níže uvedeném obrázku je tento model vyobrazen.



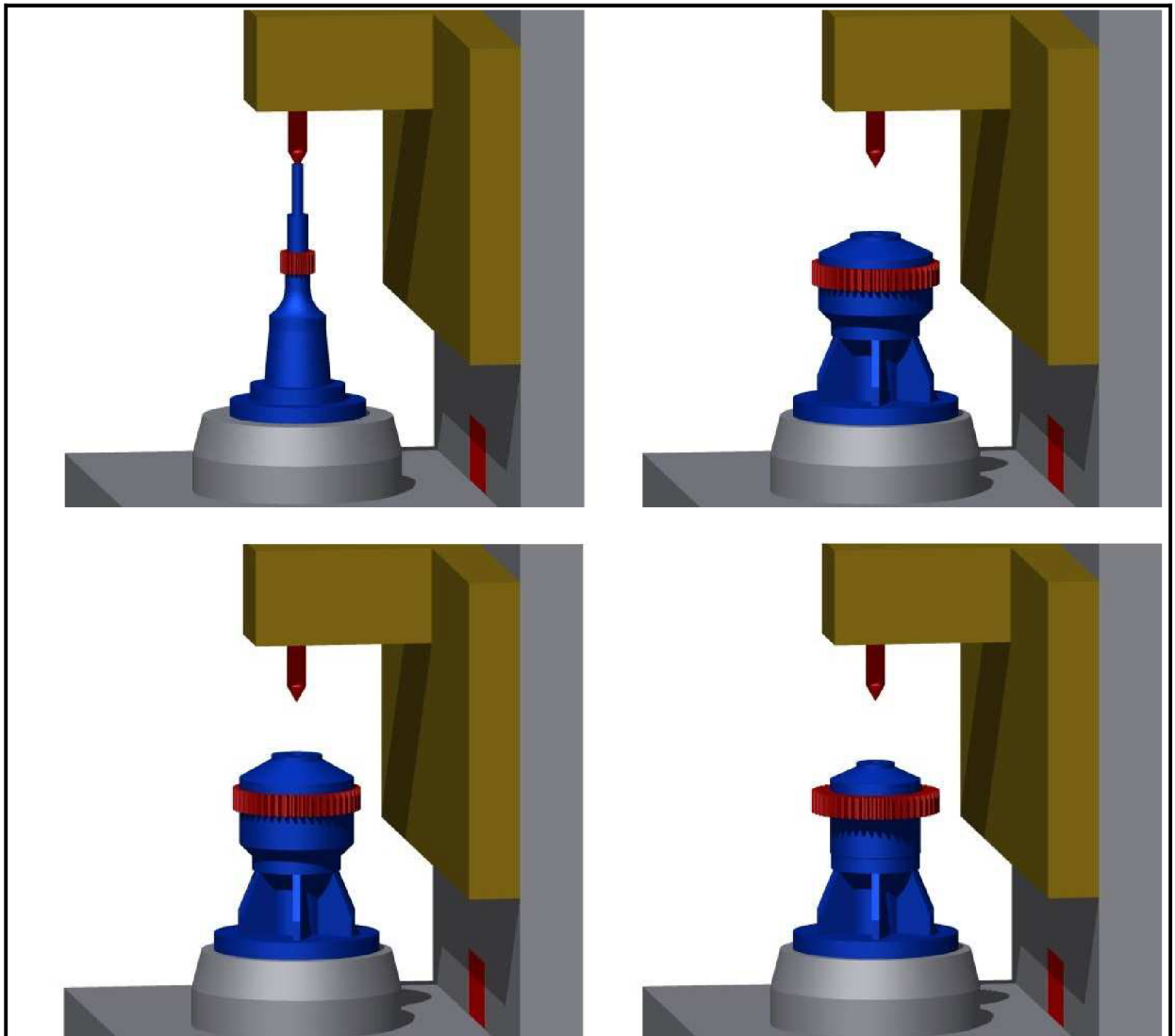
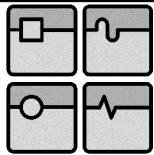
Obr. 8: Zjednodušený model pracovního prostoru stroje; hnědou barvou je znázorněno smýkadlo, červenou barvou upínací hrot a plocha určená k upnutí přípravku

5.3 Tvar a rozměry upínacích přípravků

K návrhu odjehlovacího přípravku byly použity výkresy čtyř přípravků používaných k upnutí ozubeného kola. Tyto čtyři z řady přípravků byly použity proto, že mají krajní hodnoty rozměrů. Pokud tedy bude odjehlovací zařízení navrženo na tyto čtyři, bude kompatibilní i se všemi ostatními. Upínací přípravky byly opět vymodelovány a zakomponovány do stroje.

5.4 Tvar a rozměry obrobků

Pro konstrukci přípravku byl použit výkres největšího a nejmenšího obrobku, který lze na tomto stroji obrábět. Tyto obrobky byly vymodelovány a zakomponovány do dříve vymodelovaných upínacích přípravků.



Obr. 10: Obrobky upnuté do různých přípravků; přípravky jsou vyznačeny modře, obrobky červeně; vlevo nahoře je upínací trn s nejmenším obrobkem

5.5 Výběr nástroje

Odjehlování bude prováděno vhodným nástrojem upnutým do držáku. Vzhledem k tomu že nástroj bude pracovat s přerušovaným řezem, navíc v těsné blízkosti čelní plochy ozubeného kola, musí tento nástroj splňovat některá specifická kritéria. Ta jsou následující:

- Vysoká tuhost nástroje, aby nedošlo ke kontaktu břitu s čelní plochou kola a tím ke zničení obrobku i nástroje
- Houževnatost rezné části nástroje, aby vlivem rázů nedošlo ke zlomení nebo vyštípnutí břitu
- Geometrie zajišťující plynulý chod s co nejmenšími rázy
- Dlouhá životnost, případně snadná výměna nástroje

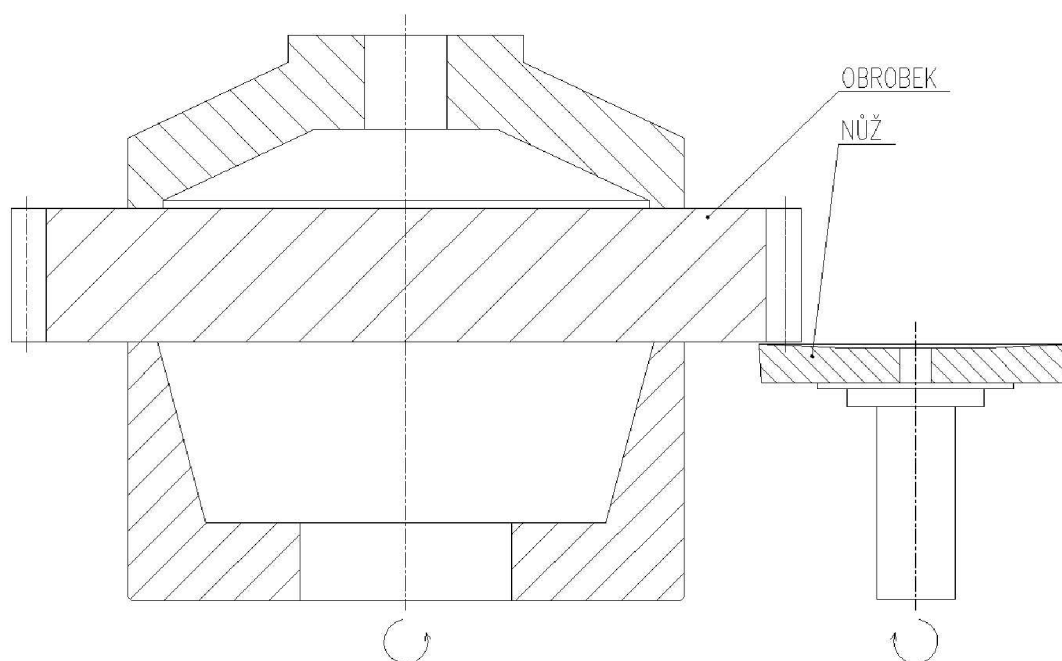
Po zvážení těchto kritérií byly zvoleny dva různé nástroje, a to kotoučový nůž a soustružnický nůž uběrací přímý.

5.5.1 Kotoučový nůž

Princip odjehlování nožem ve tvaru kotouče je podobný metodě popsané v kapitole 3.1.3. Spočívá v současném otáčení odjehlovaného ozubeného kola a nože. Ozubené kolo se otáčí společně s upínacím stolem a nůž se otáčí díky odvalování s kolem. Nůž je umístěn těsně pod čelní plochu ozubeného kola s takovým přesazením, aby bezpečně odjehlil celou výšku zubu. Vůle mezi kolem a nožem musí být malá, aby došlo k odjehlení, ale nesmí být nulová kvůli nebezpečí kolize nástroje a obrobku. Vůle by se měla pohybovat okolo hodnoty 0,1 mm.

Výhoda tohoto řešení spočívá v plynulosti řezného procesu, protože dochází k odvalu mezi nástrojem a obrobkem. Další výhodou je možnost reverzace chodu, na levý i pravý směr otáčení stačí tedy jeden nástroj. Jako další výhodou lze uvést to, že díky značné délce ostří nástroje (celý obvod kotouče) je trvanlivost nástroje velmi vysoká. Životnost je též značná, protože nástroj lze několikrát přebrousit. Jistou výhodou je i to, že upnutí nástroje je velice pevné, a tak i při přetížení nedojde k vytržení nástroje z držáku.

Nevýhodou odjehlování kotoučovým nožem je značná složitost jeho upnutí. Musí být uložen otočně, aby se mohl odvalovat s obrobkem, zároveň však uložení musí být schopno přenášet značné radiální i axiální zatížení a také klopné momenty. Tyto síly smí vyvolat jen minimální deformace, aby nedošlo ke změně geometrie řezného procesu, či dokonce ke kolizi nástroje s obrobkem. Z tohoto vyplývají vysoké nároky na tuhost přípravku a uložení nástroje.



Obr. 11: Nákres záběru kotoučového nože s obrobkem

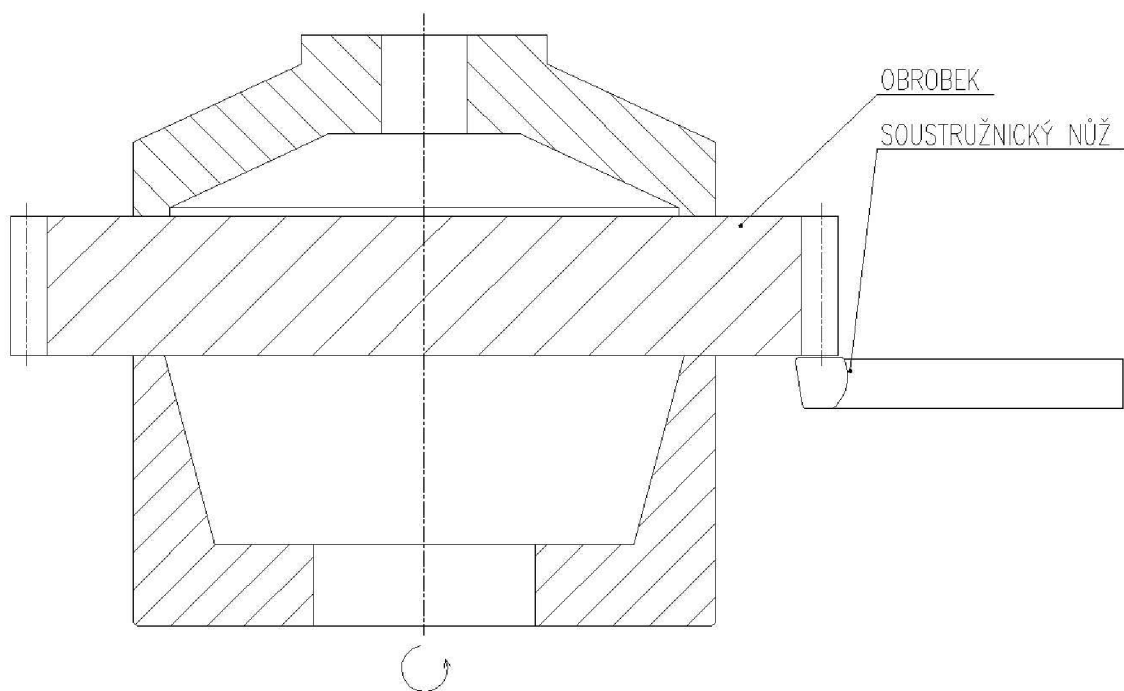
5.5.2 Soustružnický nůž uběrací přímý

V případě použití soustružnického nože probíhá odjehlování v podstatě soustružením, kdy je hlavní řezný pohyb vyvozen otáčením obrobku (ozubeného kola) a nůž je nastaven těsně pod čelo obrobku. Při vyjždění odvalovací frézy ze záběru vzniká otřep, který je záběrem soustružnického nože odstraňován. Stejně

jako v předchozím případě je potřeba zajistit malou, ale nenulovou vůli mezi nástrojem a obrobkem.

Výhoda tohoto řešení spočívá ve značně jednodušším provedení přípravku. Nůž je uchycen na pevně, není tedy potřeba řešit žádné pohyblivé uložení. Další výhodou je možnost použití normalizovaného nože, jsou tedy nižší pořizovací náklady.

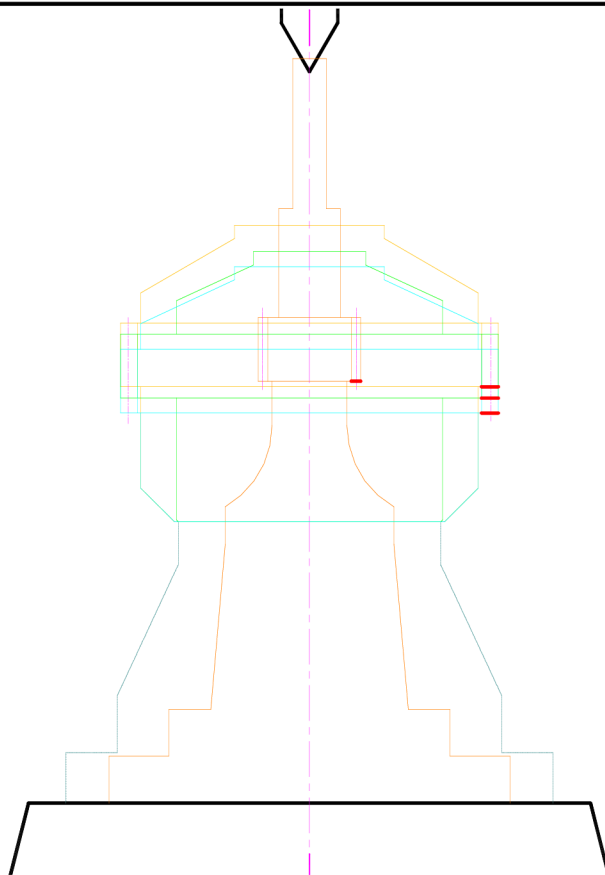
Hlavní nevýhodou je nerovnoměrný chod, kdy se řezný bod stále přesouvá mezi hlavou a patou zubu. Protože je ostří nástroje kratší než u kotoučového nože, dojde rychleji k jeho opotřebení. Další nevýhoda je v nutnosti použití různých nástrojů pro levý a pravý chod (pravý – levý nůž). Protože se k upínání soustružnických nožů používá šroubů, při nedostatečném utažení zde hrozí riziko uvolnění nože a s tím související kolize nástroje a obrobku.



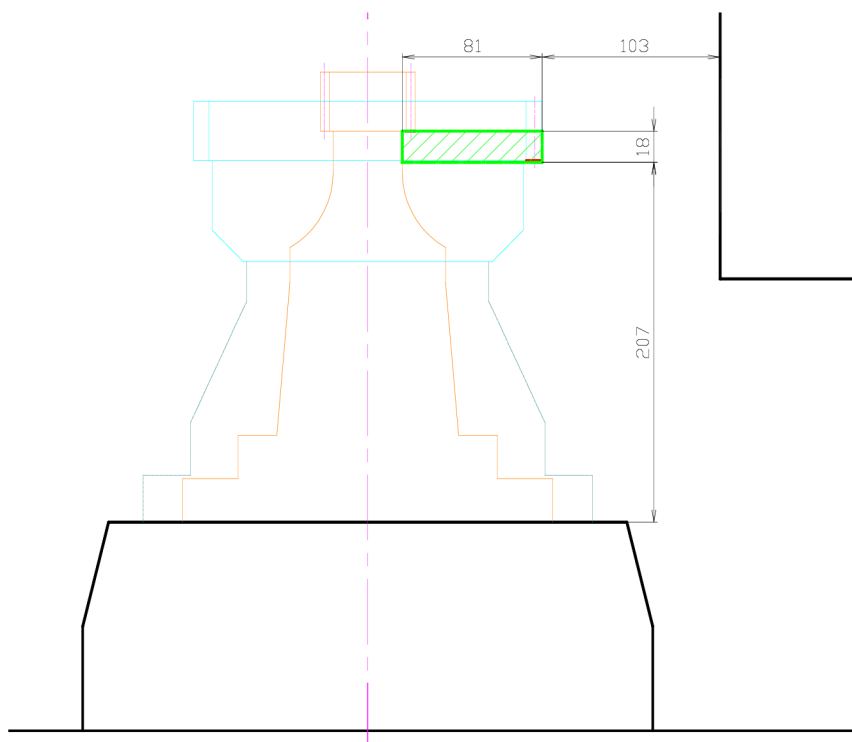
Obr. 12: Nákras záběru soustružnického nože s obrobkem

5.6 Analýza dosahu nástroje k obrobku

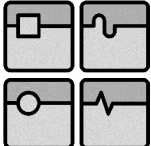
Protože do obráběcího stroje lze upínat různě velké obrobky na různé upínací přípravky, bylo nutno zjistit, jak velké rozsahy posuvu musí přípravek umožňovat. Analýza vycházela ze čtyř výše popsaných upínacích přípravků a z rozměrů největšího a nejmenšího obrobku. Níže uvedené nákresy situaci nastiňují.



Obr. 13: schéma znázorňující všechny referenční upínací přípravky a obrobky; červeně, zeleně, modře a oranžově jsou označeny jednotlivé přípravky s obrobky, černou barvou stroj. Plochy k odjehlení jsou znázorněny tlustou červenou čarou



Obr. 14: Minimální dosah odjehlovacího přípravku; zelenou barvou je vyznačen dosah přípravku, tlustou červenou čarou upínací plocha pro přípravek

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Z analýzy vyplývá, že minimální rozsah nastavení přípravku je 81 mm v horizontální ose a 18 mm ve vertikální. Kvůli změně rozměrů nástrojů při přeastřování je vhodné, aby rozsahy byly větší o míru maximálního přeastření.

Dále je patrné, že je potřeba přípravek zkonstruovat tak, aby v žádné pozici nekolidoval s částmi obráběcího stroje, ani s upínacími přípravky. Upínací plocha pro odjehlovací přípravek se nachází daleko od místa styku nástroje s obrobkem, je proto nutné zajistit vysokou tuhost celé sestavy přípravku.

6 Návrh variant řešení a jejich porovnání

Z analýzy provedené v předchozí kapitole vyplynuly dvě varianty řešení odjehlovacího přípravku. U obou je v základu použit kotoučový nůž:

- Varianta A – držák nože je umístěn na jediném otočném spoji zajišťujícím nastavení ve vodorovné i svislé ose.
- Varianta B – nožový držák umístěn na dvou navzájem kolmých posuvech, které zajišťují nastavení ve vodorovné a svislé ose.

Pro porovnání jednotlivých variant byla vybrána tato porovnávací kritéria:

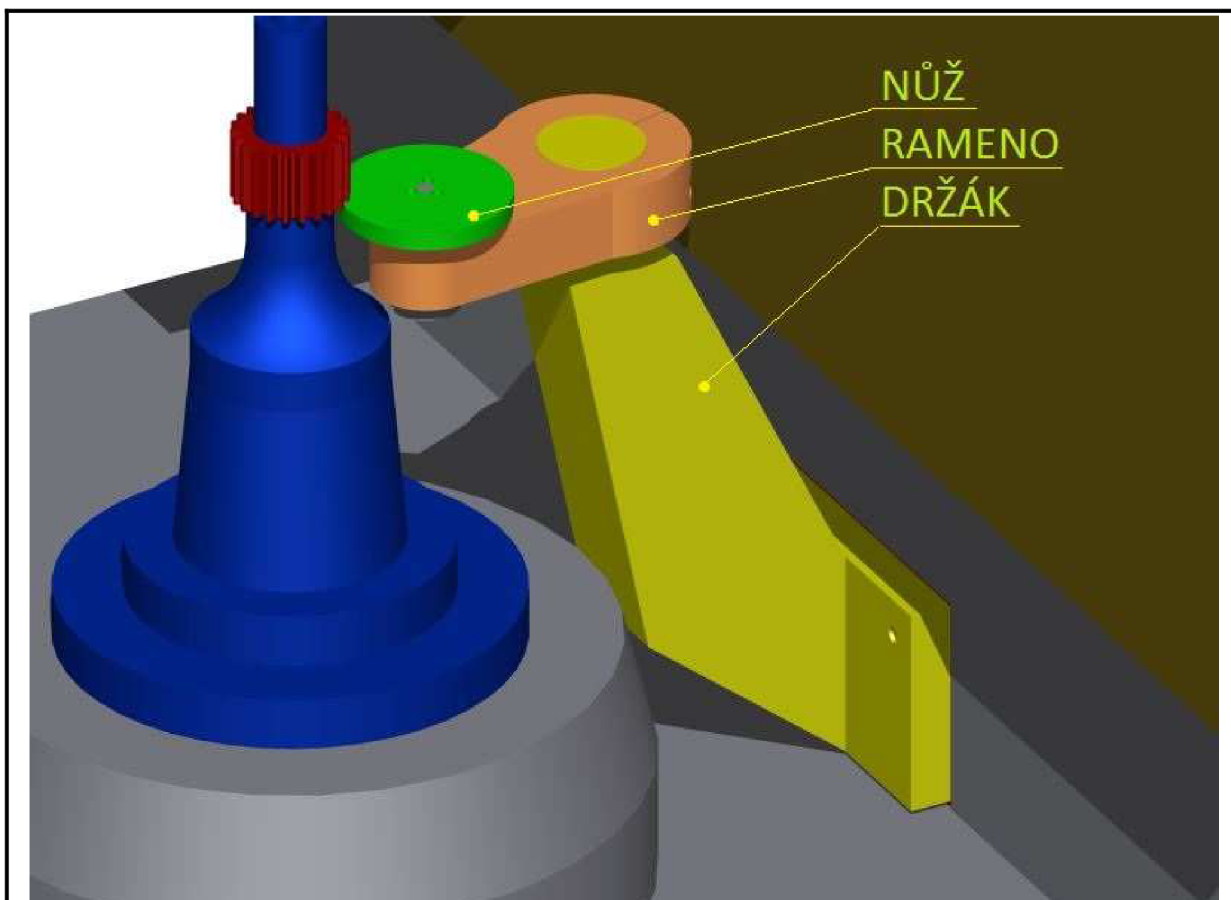
- Splnění dosahu nástroje k obrobku všech velikostí.
- Tuhost přípravku.
- Možnost použití různých nástrojů.
- Složitost konstrukce a náročnost na technologii výroby.
- Pohodlnost ustavení nástroje do pracovní polohy.

6.1 Varianta A

6.1.1 Popis varianty

U této varianty se odjehlovací přípravek skládá z minima součástí. K rámu stroje je napevno přišroubován základní držák. Tento držák je na konci opatřen válcovým zakončením. Na něj je pomocí svěrného spoje připevněno otočné rameno. Na konci ramene se nachází rotační uložení kotoučového nože. Nastavení nože ve vodorovném i svislém směru je zajištěno právě svěrným spojením na válcovém zakončení držáku. Svislé nastavení se provádí posouváním otočného ramene ve spoji. Nastavení ve vodorovném směru se děje natáčením ramene ve spoji. Tím se mění osová vzdálenost obrobku a nože.

U této varianty je s výhodou použit kotoučový nůž, u kterého je při natáčení ramene kolem svislé osy zachována stále stejná geometrie řezu. Vyvození svěrné síly je provedeno jedním šroubem.



Obr. 15: Varianta A odjehlovacího přípravku; zelenou barvou je vyobrazen kotoučový nůž, oranžovou otočné rameno a žlutou základní držák

6.1.2 Parametry varianty

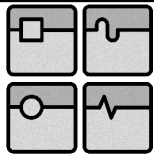
Protože otočné rameno má relativně malé rozměry, není problém zkonstruovat přípravek tak, aby mohl být seřízen na libovolný rozměr obrobku z daného rozsahu. Rozsah nastavení je tedy vyhovující.

Tuhost konstrukce je ovlivněna tuhostí samotných součástí včetně nástroje a také tuhostí spojů mezi součástmi. U této varianty značně snižuje tuhost skutečnost, že při obrábění kol největších průměrů je rameno vytočeno z osy stroje a na celý přípravek tedy působí další ohybové momenty. Dalším faktorem snižujícím tuhost přípravku je malá vzdálenost ložisek nesoucích hřídel, na které je upnut nástroj. Limitující je i průměr svěrného spoje, který již nelze zvětšit.

Varianta A počítá pouze s použitím kotoučového nože jako řezného nástroje. Při nastavování různých průměrů kol dochází k otáčení ramene přípravku. Pokud by byl použit soustružnický nůž, byl by na každém průměru ustaven pod jiným úhlem. Soustružnický nůž tedy nelze použít.

Tato konstrukce je jednoduchá na výrobu. Základní držák může být řešen jako svařenec. Další operace by pak byly především vrtání, frézování a soustružení. Přípravek je tedy i levný.

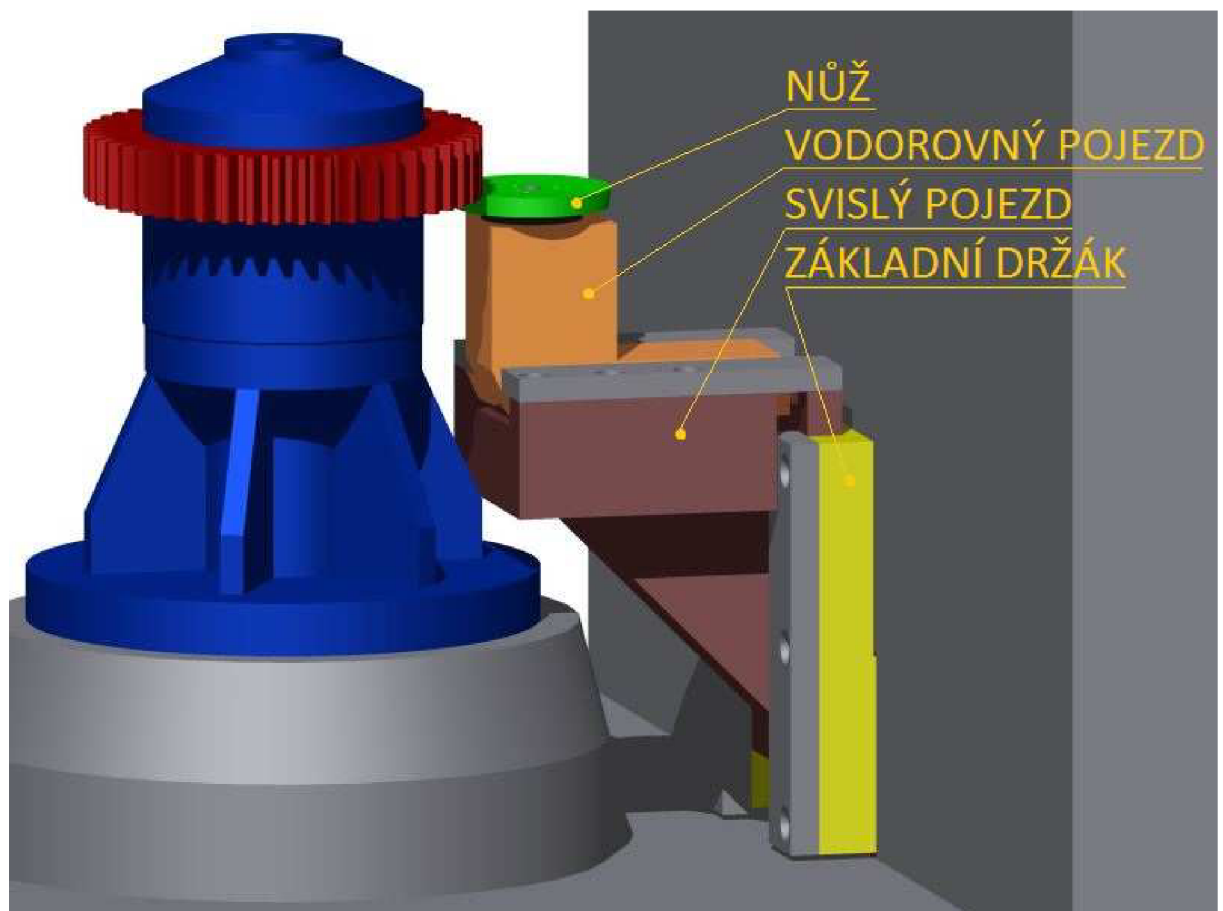
Protože svěrný spoj zajišťuje rameno ve dvou směrech, musí být při ustavování přípravku současně seřízeny výška i průměr. Vzhledem k tomu, že zvláště výška musí být seřízena velmi přesně, je nutné doplnit přípravek seřizovacím šroubem.



6.2 Varianta B

6.2.1 Popis varianty

Tato varianta je navržena s ohledem na tuhost. Je založena na sériovém zařazení dvou nezávislých posuvů. Na rám stroje je připevněn základní držák. Na něm je pomocí lineárního svěrného spoje upevněn svislý pojezd se zdvihem 18 mm. Ten je opatřen vodorovným vedením pro vodorovný pojezd. Na vodorovném pojezdu je umístěn držák nože. Ustavení přípravku do požadované polohy se tedy provádí dvěma nezávislými posuvy.







Obr. 16: Varianta B odjehlovacího přípravku; nůž je vyobrazen zeleně, vodorovný pojezd oranžově, svislý pojezd hnědě a základní držák žlutě

6.2.2 Parametry varianty

Protože tato konstrukce je značně robustní, z prostorových důvodů není téměř možné navrhnout přípravek tak, aby zajistil nastavení do všech možných poloh. Nabízí se zde varianta modulárního řešení, kdy na různé průměry budou použity různé moduly vodorovného pojezdu.

Konstrukce varianty B byla podřízena maximální tuhosti a robustnosti. Hřídel kotoučového nože tedy byla prodloužena, aby byla zajištěna vyšší tuhost rotačního uložení. U zajištění pojezdů je použito opět svěrného spojení. Styk je na co největší ploše.

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Protože posuv ve vodorovné ose je přímočarý, je zde možnost použít soustružnický nůž. Přípravek je ovšem primárně konstruován pro nůž kotoučový.

Technologie výroby je mnohem složitější než v předchozím případě. Už jenom fakt, že je použito více součástí a součásti jsou větší, bude hrát na konečné ceně svou roli. Svislý pojezd lze zkonstruovat jako svařenec. Další součásti se vzhledem ke kusové výrobě budou pravděpodobně frézovat, odpad je tedy značný. Vodicí plochy lineárních pojezdů je nutné brousit. Je nutno zajistit přesahy na svěrných spojích, což znamená úzké tolerance rozměrů.

Seřízení přípravku je prováděno nezávisle ve dvou směrech, je tedy jednoduché. Vzhledem k velké hmotnosti přípravku je však nutno doplnit jej seřizovacím šroubem ve svislé ose.

6.3 Výběr vhodné varianty

Obě varianty mají svá pro a proti a obě jsou použitelné. Varianta A je konstrukčně jednodušší a celkově se spíše hodí do lehčího nasazení kusové výroby, kdy ani delší seřizování není na závadu a předčí jeho nízká cena.

Pokud má být přípravek využíván denně v provozu po dlouhou dobu, měl by být robustnější a jednodušší na seřízení, seřizovací čas hraje svou roli. Proto byla pro další podrobné rozpracování zvolena varianta B.

7 Konstrukční řešení varianty B

Řešení bylo provedeno s ohledem na všechny výše zmíněné skutečnosti. Celý problém byl rozdělen na dílčí problémy a konstrukční uzly. Ty byly po zhodnocení rozměrů přípravku a realizovatelnosti řešení podrobně rozpracovány.

Řešené konstrukční uzly:

- Uložení a způsob aretace vodorovného pojezdu.
- Uložení, způsob aretace a seřizování svislého pojezdu.
- Upnutí přípravku ke stroji.
- Otočné uložení kotoučového nože včetně utěsnění.

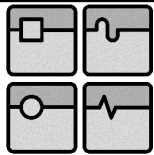
Po vyřešení konstrukčních uzlů byl vymodelován celý přípravek. Protože se nepodařilo provést konstrukci tak, aby kotoučový nůž byl schopen odjehlovat všechny rozměry obrobků, byly zkonstruovány dvě verze tělesa vodorovného pojezdu, každá s jinými rozměry. Jako další v řadě byl zkonstruován modul pro použití soustružnického nože jako nástroje.

7.1 Uložení a způsob aretace vodorovného pojezdu

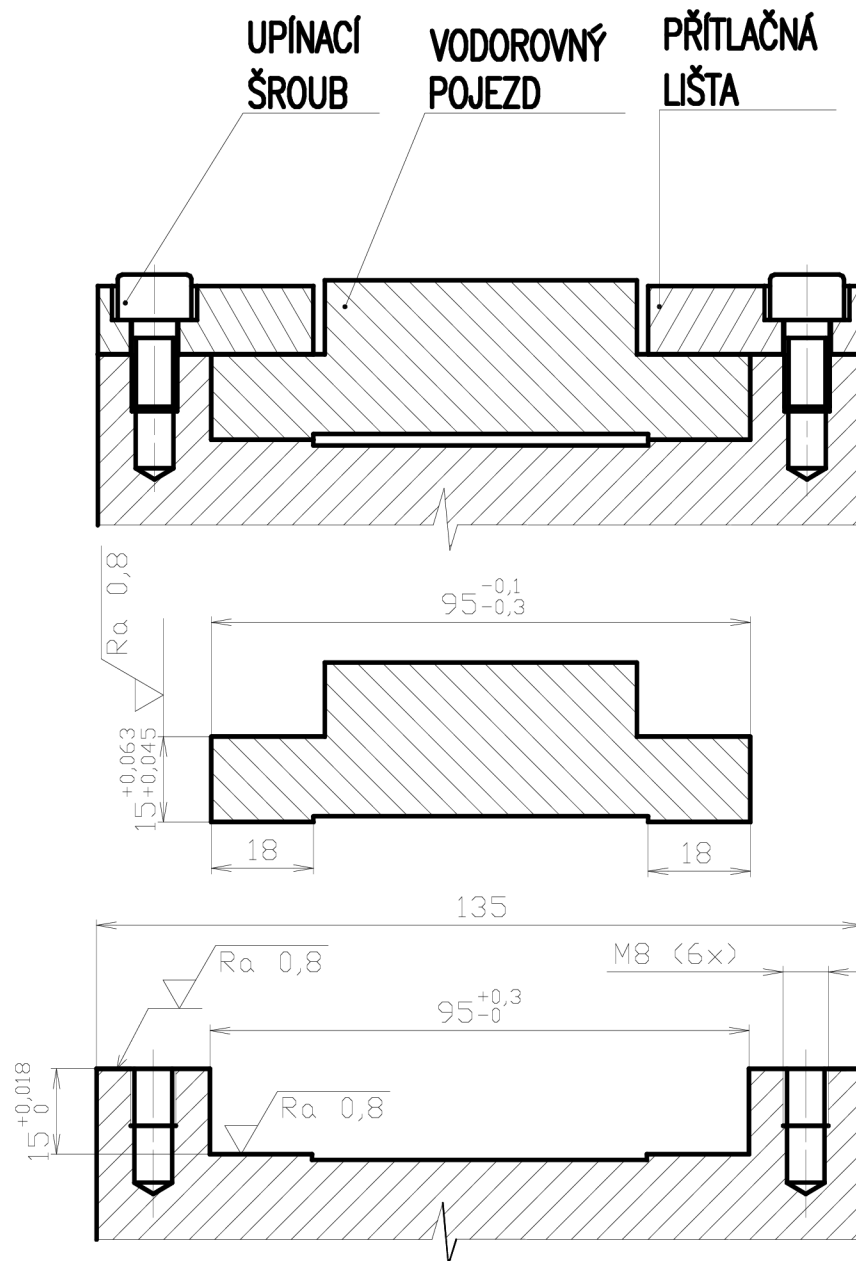
K uložení pojezdu bylo použito přímočaré vedení, které zajistí přesné nastavení vzájemné polohy součástí a následné zajištění v nastavené poloze. Boční vůle musí být zvolena tak, aby byl umožněn vzájemný pohyb součástí. Aretace v nastavené poloze se provede pomocí lišt, které se přitáhnou šrouby. Aby bylo vyvinuto dostatečné předpětí spoje, musí po utažení šroubů vzniknout uložení s přesahem.

Přestože se toto řešení při použití na lineárním vedení nedoporučuje, zde není na závadu, protože není potřeba dodržet přesné vymezení. Je pouze potřeba vyvinout dostatečné předpětí.

Protože ani velká boční vůle nebrání funkci přípravku, je z technologických důvodů vhodné použít větší tolerance. Tato vůle totiž nemá téměř žádný vliv



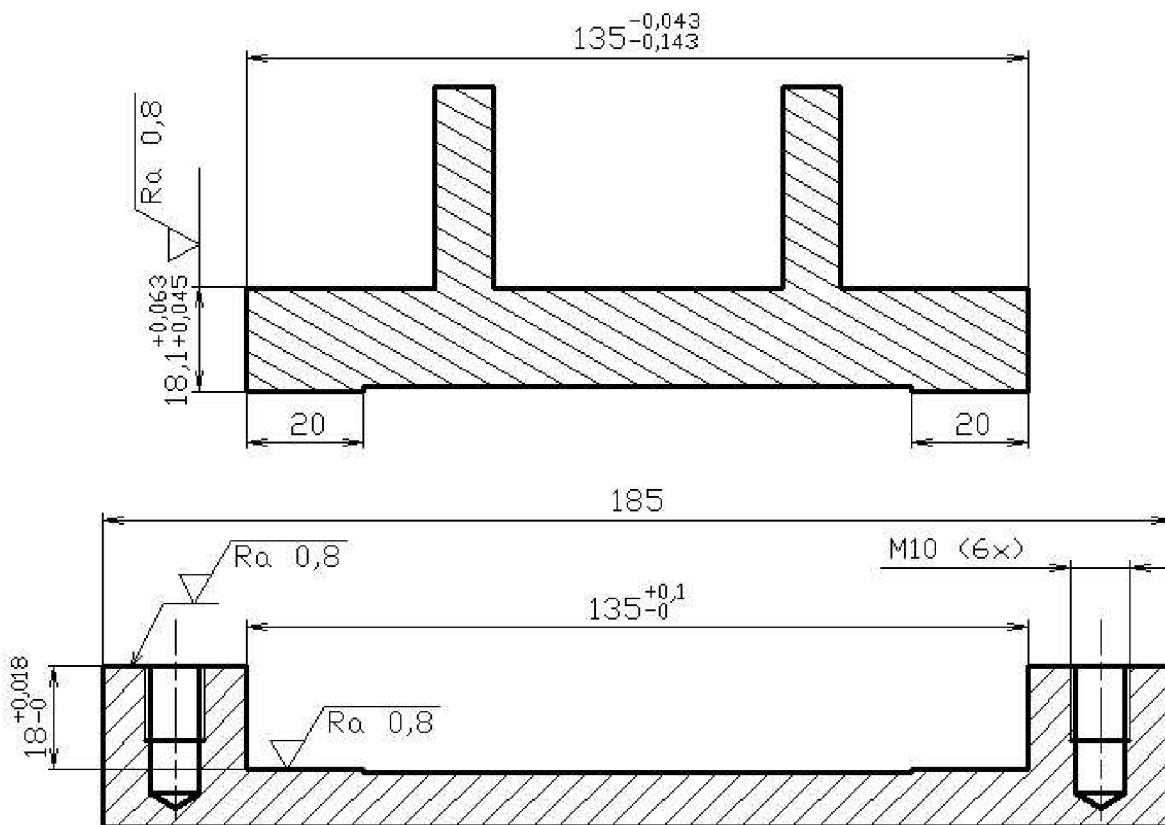
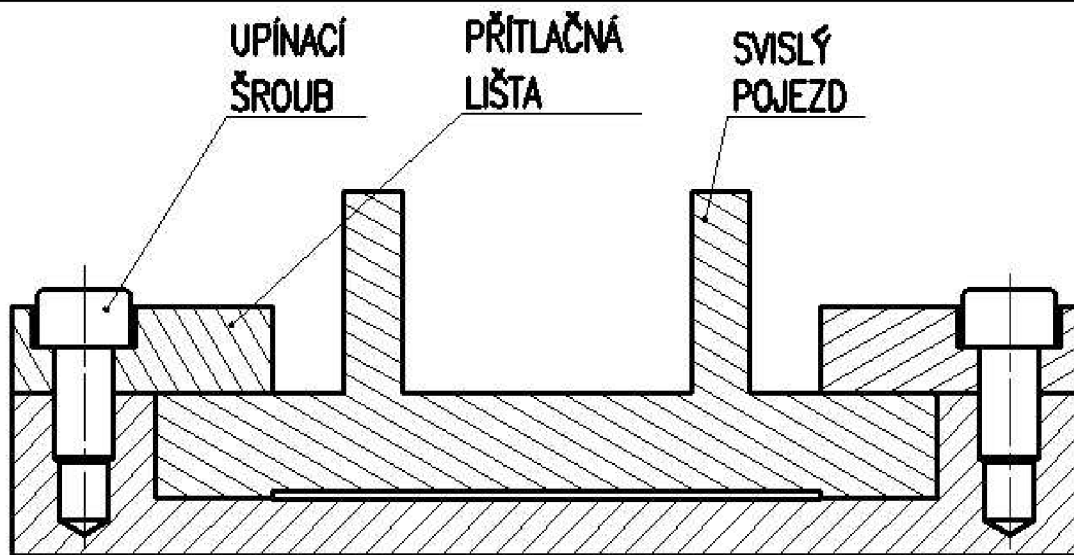
na přesnost nastavení nástroje, je pouze nutné vyvodit dostatečné předpětí spoje, aby nedošlo ke vzájemnému pohybu součástí. Jmenovité rozměry a tolerance jsou patrné z následujícího obrázku. Tolerování svěrného spoje odpovídá uložení H7/x7, tedy uložení se značným přesahem [5].



Obr. 17: Schéma vodorovného vedení

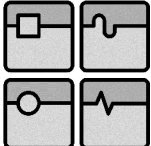
7.2 Uložení a způsob aretace svislého pojezdu

Principiálně je uložení provedeno shodně s uložení vodorovného pojezdu. Velká boční vůle by ale v tomto případě mohla způsobit naklonění kotoučového nože. Proto zde musí být kladeny vyšší požadavky na přesnost vedení. Jsou tedy použity užší tolerance. Pro uložení bočních ploch byla zvolena tolerance H9/f9 [5]. Vše je znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 18: Schéma svislého vedení

Protože hmotnost přípravku je vysoká, je k ustavení do přesné výšky použit seřizovací šroub. Je použit závit M8 se stoupáním 1,25 mm, což je dostatečně jemný závit na přesné ustavení. Otáčení šroubu bude prováděno stranovým klíčem 13 mm. Z tohoto důvodu je seřizovací šroub opatřen šestihranem.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 29
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

7.3 Upnutí přípravku ke stroji

Pro upnutí přípravku bude sloužit výše zmíněná upínací plocha. Tato je opatřena dvěma závity M8. Šroubový spoj bude značně předeprnut, aby bylo docíleno pevného a tuhého svěrného spojení. Protože veškerá svěrná síla bude vyvinuta pouze těmito dvěma šrouby, je toto spojení pravděpodobně nejslabším článkem celého přípravku. Na materiál šroubů jsou tedy kladeny vysoké nároky. Proto budou použity šrouby o pevnosti 12.9 [6].

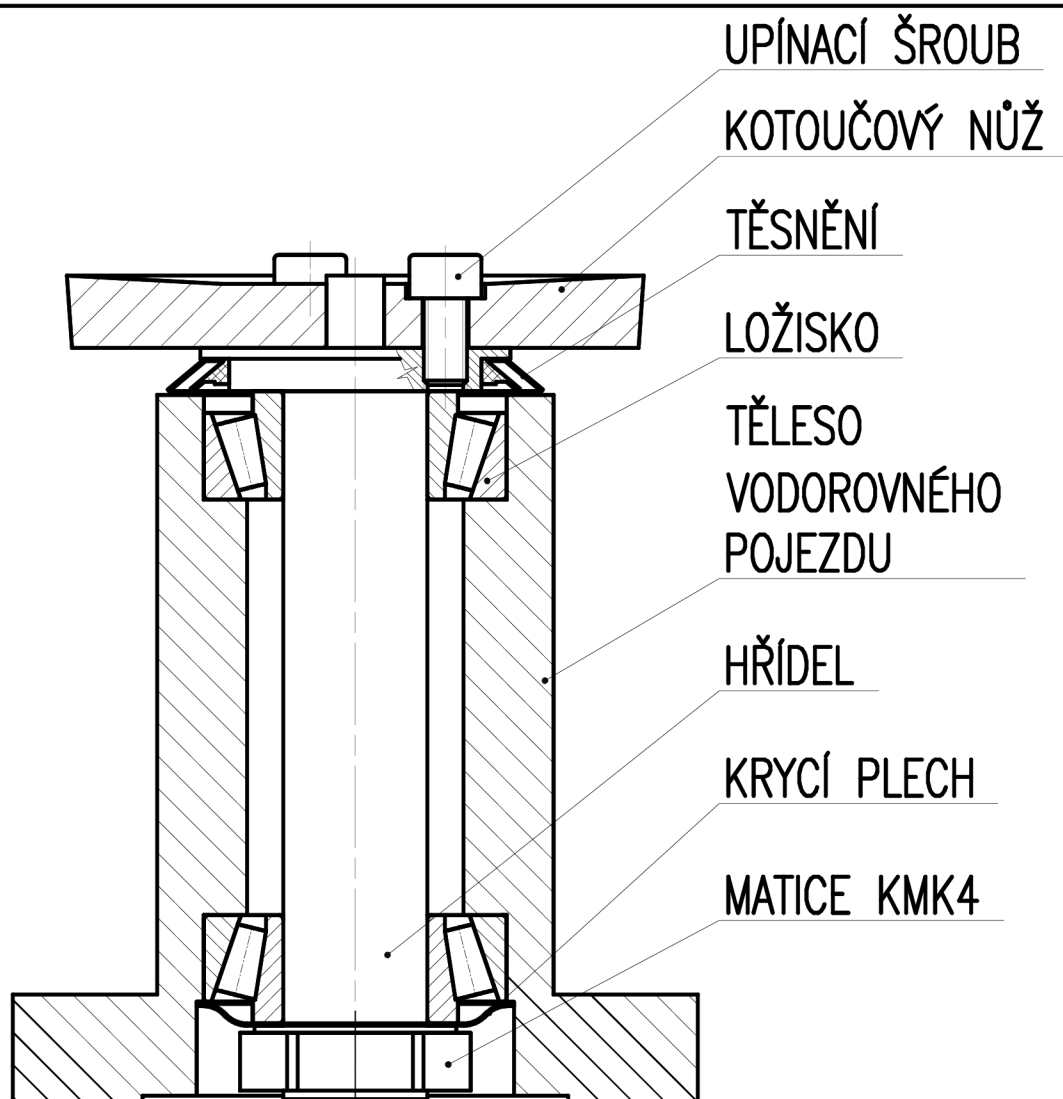
7.4 Otočné uložení kotoučového nože

Z důvodu co nejvyšší tuhosti bylo zvoleno uložení s kuželíkovými ložisky. Bylo zvoleno uložení do „O“, které umožňuje přenos větších klopných momentů než uložení do „X“ [6]. Ložiska byla s ohledem na tuhost volena co možná největší. Z prostorových důvodů ale byla jejich velikost omezena. Jako nejvhodnější rozměr se nakonec ukázalo „LOŽISKO 32004“ [7].

Vymezení vůlí v ložiscích bude uskutečněno jejich předpětím. Předpětí se bude vyvolávat pomocí matice na hřídeli. Z důvodu jednodušší výroby a montáže nebude použita KM matice, ale matice KMK4. Tato matice se nezajišťuje pomocí podložky, ale pomocí zajišťovacího zařízení se stavěcím šroubem [8].

Aby nedošlo ke vniknutí třísek a řezného oleje do ložisek, bude z horní strany provedeno utěsnění pomocí těsnění. Vzhledem k omezenému prostoru bude použito axiální těsnění CR MVR 1. Toto těsnění je složeno z krycího plechu a pryžového dosedacího břitu. Ze spodní strany uložení není nebezpečí vniknutí nečistot velké, proto je zde použit pouze krycí plech [9].

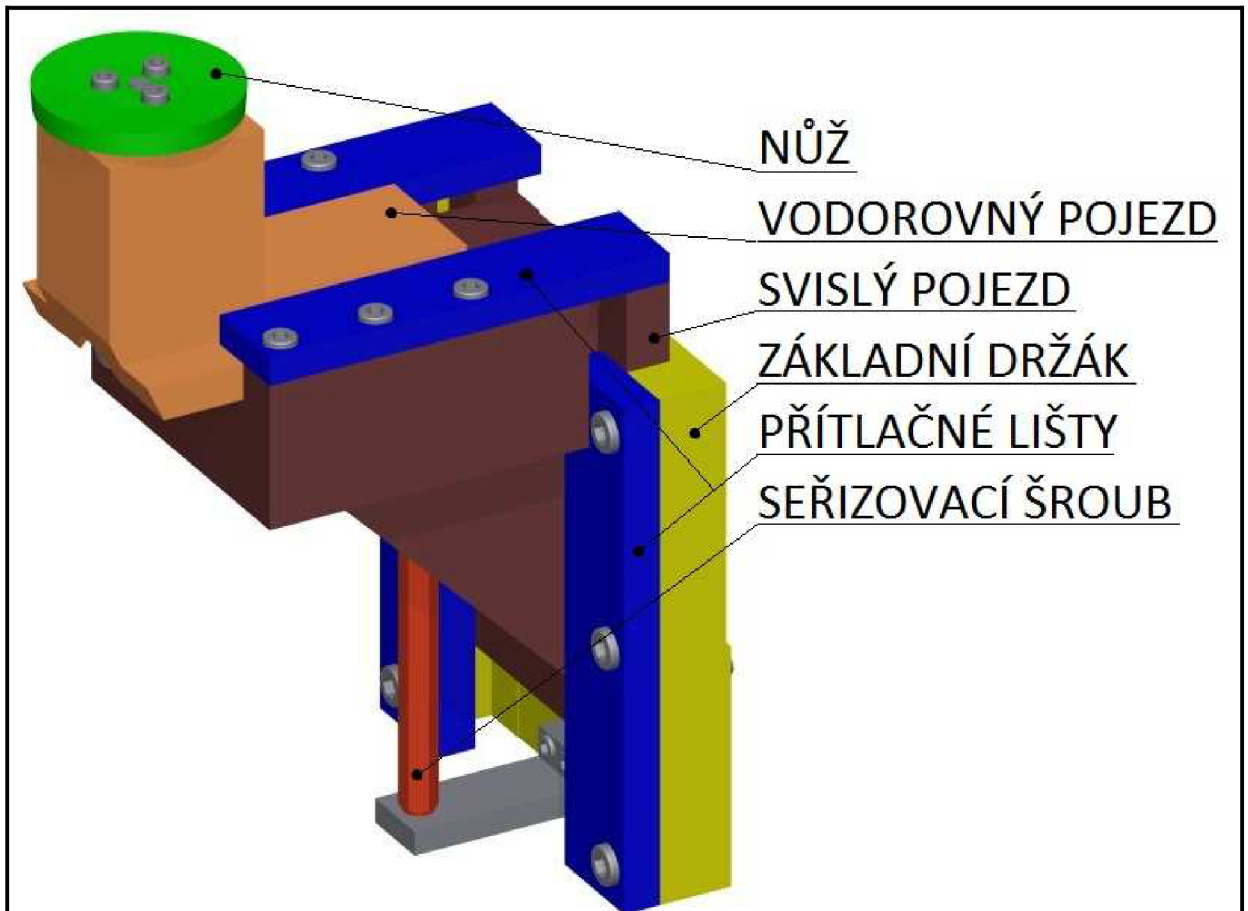
Uchycení kotoučového nože k hřídeli bude provedeno třemi šrouby. Aby byl nůž vystředěn, bude v ose hřídele lícovaný středící čep. Stejně tak v kotoučovém noži bude středící díra.



Obr. 19: Řez otočným uložením kotoučového nože

7.5 Celkové řešení přípravku

Na následujícím obrázku je vyobrazeno celkové řešení přípravku. V základu je na něm nainstalován modul pro velké obrobky. Tento modul může spolehlivě odjehlovat kola velkých průměrů. Kvůli velkým rozměrům ale nemůže dosáhnout na ozubená kola malých rozměrů. Příčinou je kolize s upínacím trnem na malé obrobky.

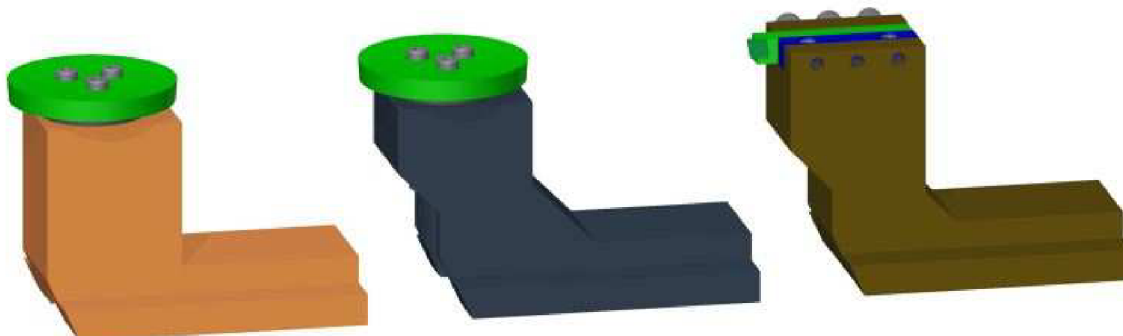


Obr. 20: Celkový pohled na odjehlovací přípravek s modulem pro velké obrobky; nůž je vyobrazen zeleně, vodorovný pojezd oranžově, svislý pojezd hnědě, základní držák žlutě, přítlačné lišty modře a šroub na seřizování výšky červeně

7.5.1 Konstrukční řešení jednotlivých modulů

Aby bylo možno odjehlovat všechny velikosti kol, byl jako doplněk k základnímu modulu zkonstruován ještě modul pro malé obrobky. Ten má předsunuté uložení nože, takže umožňuje obrábět menší kola bez kolize s upínacím trnem. Tato konstrukční úprava si ale vyžádala zmenšení vzdálenosti kuželíkových ložisek a s tím spojené větší zatížení ložisek a nižší tuhost.

Pro použití soustružnického nože jako nástroje byl zkonstruován ještě jeden modul. Ten umožňuje upnutí soustružnického nože s rozměry upínací části 12x12 mm. Lze použít buď nůž z rychlořezné oceli, nebo nůž s výměnnými břitovými destičkami. Označení držáku SCACL/R 1212 F09. Je však nutno pořídit levý i pravý nůž a podle směru otáčení stolu jeden z nich použít. Aby se daly do držáku upnout nože s oběma orientacemi, je držák vybaven podložkou, kterou lze podle potřeby přemísťovat.



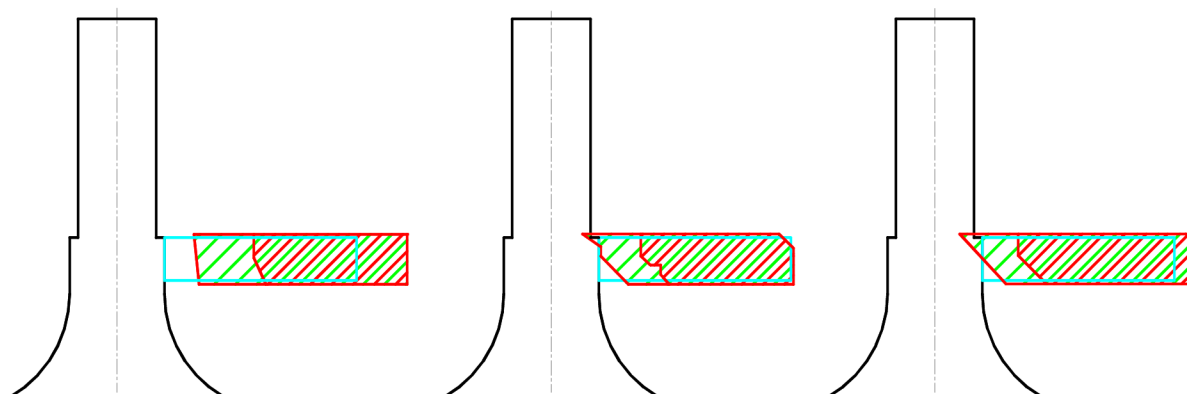
Obr. 21: Pohled na jednotlivé moduly vodorovného pojezdu; vlevo je modul pro velká kola, uprostřed modul pro malá kola, a vpravo modul se soustružnickým nožem

8 Analýza parametrů zkonstruovaného přípravku

Po dokončení konstrukce přípravku byl podroben analýze parametrů, aby bylo zjištěno, zda bylo splněno zadání. V první řadě byla provedena geometrická analýza, tedy zda přípravek splňuje zadání co se týče dosahu nástroje k obrobku. Poté byla provedena analýza tuhosti přípravku.

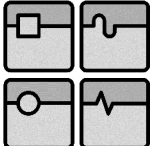
8.1 Analýza dosahu nástroje k obrobku

V hotovém modelu stroje, přípravku a nástroje byla odměřováním zjišťována oblast, do které dosáhne špička nástroje přípravku. Pro jednotlivé výměnné moduly přípravku jsou tyto oblasti vykresleny na následujícím obrázku. Oblasti byly nejprve odměřovány s upínacím přípravkem pro velmi malé obrobky (viz obr. 10 vlevo nahoře). Tyto oblasti jsou šrafovány zeleně. Následně byla analýza provedena s upínacím stojanem (ostatní přípravky na obr. 10). Oblasti dosahu nástroje pro tento typ upnutí je šrafován červeně. Modrou barvou je ohraničena oblast požadovaného dosahu špičky nástroje. Černou barvou je vyobrazen upínací trn. Všechny analýzy byly prováděny pro nástroj nový, tedy nepřeostřovaný.



Obr. 22: Vyobrazení dosahu špičky nástroje pro jednotlivé moduly; vlevo modul pro velká kola, uprostřed modul pro malá kola, a vpravo modul se soustružnickým nožem

Z obrázku je patné, že ani jeden modul nedosahuje patřičných parametrů. To, že nástroje nemohou dosáhnout do levé dolní části oblasti (malé průměry kol), je dáno tvarem upínacího trnu a tento parametr není možné změnit. Modul

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

pro odjehlování velkých kol nelze použít pro průměry menší než cca 70mm. Modul pro malá kola lze použít téměř na všechny průměry, ale není tak tuhý jako předchozí zmíněný. Modul se soustružnickým nožem lze použít na všechny průměry.

8.2 Analýza tuhosti přípravku

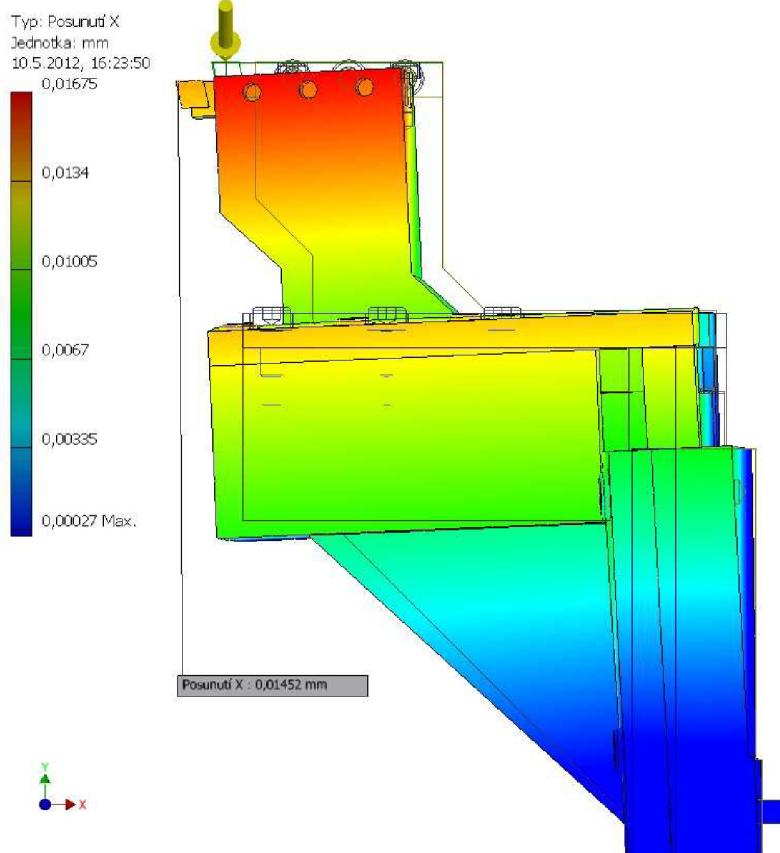
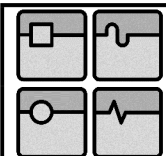
Pro zjištění tuhosti celého přípravku byla provedena analýza metodou konečných prvků v programu Autodesk Inventor. Pevnou vazbou byl zavazben rám stroje. Dotyky jednotlivých součástí sestavy byly řešeny různými způsoby. Pro šroubové spoje a nalisování byl použit dotyk „vázaný“, tzn. tělesa jsou k sobě pevně spojena. Pro komponenty, které se po sobě posouvají (kuželíky ložisek) byl použit dotyk „posouvání bez oddělení“, tedy tělesa se po sobě mohou posouvat, ale stále se dotýkají. Pro všechny předepjaté třecí spoje byl použit dotyk „oddělení bez posouvání“, tedy tělesa se od sebe mohou oddělit, ale je znemožněn jejich vzájemný posuv. Pro součásti, které spolu neinteragují, byl použit dotyk „separace“. Protože deformace nástroje se na celkové deformaci soustavy stroj – přípravek – nástroj – obrobek podílí minimální měrou, byla tělesa nástrojů modelována jako absolutně tuhá.

Analyzována byla situace, kdy je svislý posuv vysunut v horní poloze. Na vodorovné ose byly analyzovány dvě situace, a to pro špičku nástroje na průměru 70 mm a 200 mm. Velikost zatěžující síly a její směr vycházejí ze zatížení soustružnického nože při soustružení válcové plochy. Protože úhel nastavení hlavního ostří je v tomto případě 90°, nevzniká radiální složka řezné síly. Poměr hlavní řezné síly a axiální síly byl zvolen 2:1.

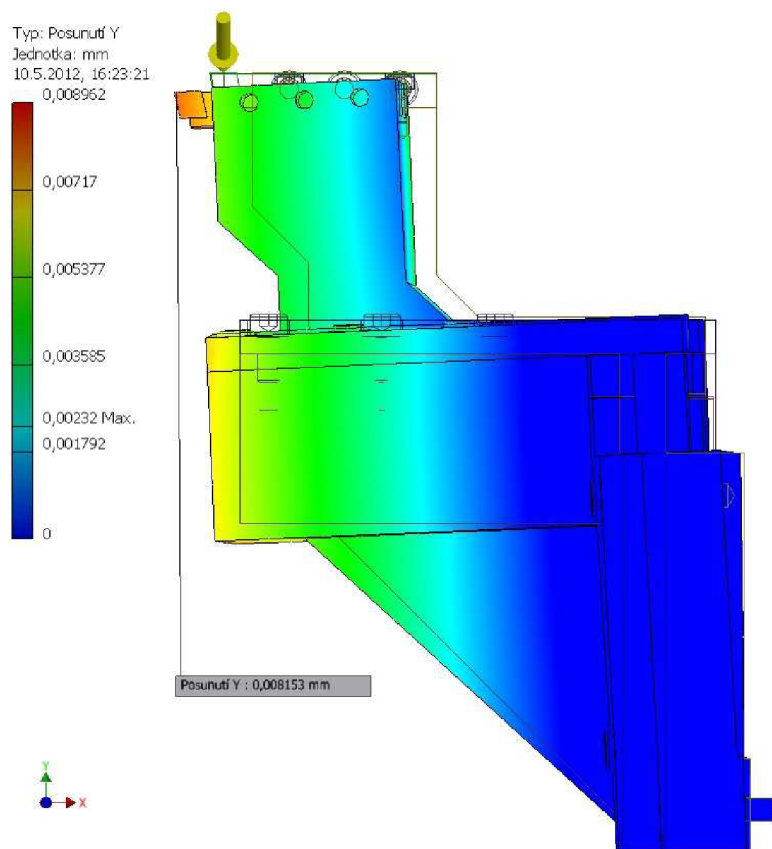
Pro analýzu byla použita hlavní řezná síla o velikosti 400 N a axiální síla o velikosti 200 N. Celková zatěžující síla je tedy vektorovým součtem těchto dvou sil a je rovna hodnotě 447 N.

8.2.1 Grafické výsledky analýzy

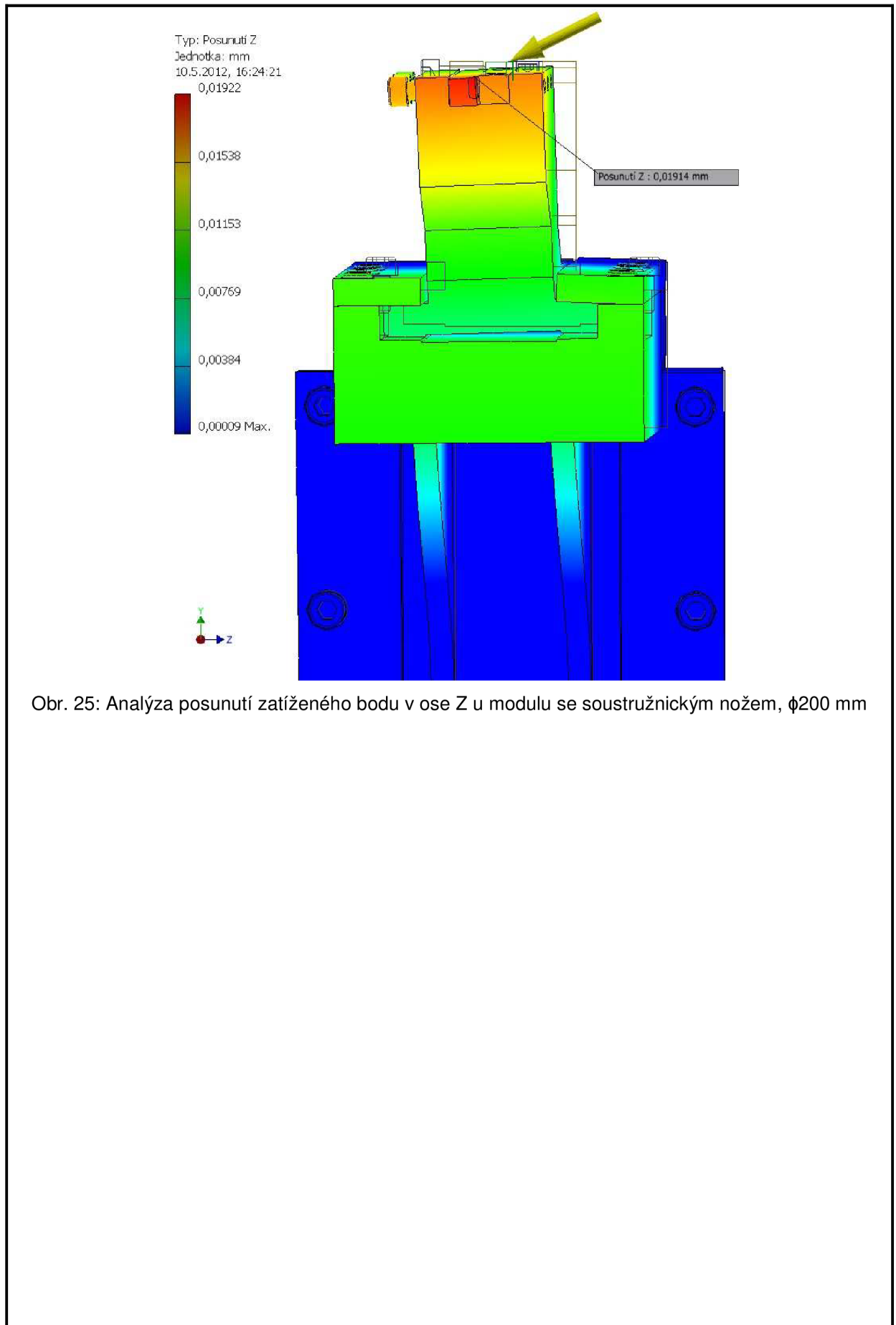
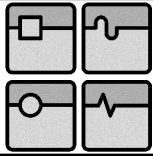
Pro názorné zobrazení průhybů jednotlivých částí přípravku bylo použito zvětšené měřítko průhybů. Grafické výsledky analýzy na následujících obrázcích jsou pro modul se soustružnickým nožem, pro špičku nástroje nastavenou na průměr 200 mm. Obrázky vystihují průhyb v ose X, Y a Z.



Obr. 23: Analýza posunutí zatíženého bodu v ose X u modulu se soustružnickým nožem, $\phi 200$ mm



Obr. 24: Analýza posunutí zatíženého bodu v ose Y u modulu se soustružnickým nožem, $\phi 200$ mm



8.2.2 Numerické výsledky analýzy

Celkově bylo provedeno šest analýz. Hodnoty naměřené jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tabulka 1: Naměřené hodnoty posunutí v jednotlivých osách pro dva průměry a tři moduly přípravku

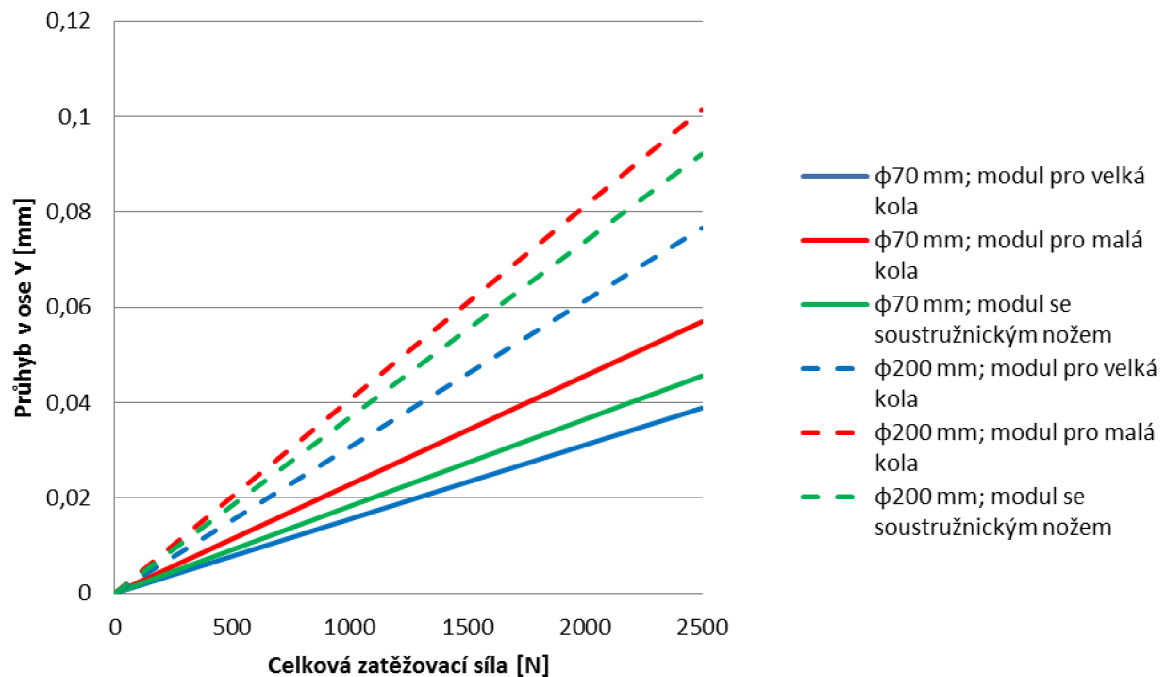
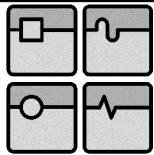
	Použitý modul přípravku		
	pro velká kola	pro malá kola	se soustružnickým nožem
Odjehlovaný průměr, osa [mm]	posunutí [mm]	posunutí [mm]	posunutí [mm]
70; osa X	0,01119	0,0146	0,01452
70; osa Y	0,00697	0,0102	0,00815
70; osa Z	0,01492	0,05863	0,01914
200; osa X	0,01699	0,0207	0,04213
200; osa Y	0,01368	0,0182	0,01648
200; osa Z	0,02575	0,0689	0,03266

8.2.3 Výpočet tuhosti přípravku

Pro zjednodušení situace uvažujeme případ, kdy průhyb je lineárně závislý na zatěžující síle. Tento předpoklad není zcela správný. Důvodem je velké množství svěrných spojů a použití valivých ložisek. Tyto prvky mají progresivní zatěžovací charakteristiku. Pro porovnání jednotlivých variant mezi sebou je však předpoklad lineárního chování dostačující. Protože deformace v ose X a Z jsou z hlediska vůle mezi nástrojem a obrobkem nepodstatné, bude dále počítána pouze tuhost přípravku v ose Y. Tuhost v ose Y se v tomto případě vypočte jako podíl velikosti zatěžující síly a průhybu v ose Y. Tato tuhost udává závislost průhybu v ose Y na celkové zatěžující síle za předpokladu, že hlavní řezná síla a axiální síla jsou v poměru 2:1. Následující tabulka a graf znázorňují tuhosti v ose Y pro jednotlivé konfigurace přípravku.

Tabulka 2: Tuhost v ose Y pro jednotlivé konfigurace přípravku

	Použitý modul přípravku		
	pro velká kola	pro malá kola	se soustružnickým nožem
Odjehlovaný průměr [mm]	tuhost [N.mm ⁻¹]	tuhost [N.mm ⁻¹]	tuhost [N.mm ⁻¹]
70	64172	43974	54853
200	32691	24640	27137







Obr. 26: Znárodnění tuhosti jednotlivých modulů při dvou různých odjehlovaných průměrech

Ze sklonu zatěžovacích přímků je patrné, že nejvyšší tuhosti dosahuje přípravek pro velká kola. U přípravků s otočným uložením kotoučového nože vedle zmenšení vzdálenosti kuželíkových ložisek ke snížení tuhosti přípravku. Přesto je ale tuhost všech třech přípravků podobná, což svědčí o tom, že největší deformace vzniká v místě upnutí přípravku do stroje a v jeho blízkosti. Vzhledem k rozměrům upínací plochy již nelze v těchto místech tuhost zvyšovat. Se zvyšujícím se vyložení vodorovného pojezdu tuhost přípravku klesá, což je způsobeno větším ohybovým momentem v nejslabším místě, tedy v místě upevnění přípravku na stroj.

8.3 Maximální zatížení přípravku

Aby vlivem deformace nedošlo k nadměrnému zvětšení vůle mezi břitem nástroje a obrobkem, je nutné, aby deformace přípravku nepřesáhla jistou mez. Proto je nutné stanovit maximální sílu, která může na přípravek působit.

Aby nedošlo ke kolizi nástroje a čela obrobku, bude při seřizování přípravku nastavena jistá vůle mezi nástrojem a obrobkem. Tato vůle je zvolena na 0,1 mm. Za předpokladu, že se vůle může maximálně zdvojnásobit, je povolený průhyb přípravku 0,1 mm. Z tohoto předpokladu vyplývá, že pokud nemá nastat nadměrná deformace u žádného modulu přípravku, celková zatěžující síla by měla být maximálně 2500 N.

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 38
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

9 Závěr

Cílem práce bylo zkonstruovat přípravek k odjehlování ozubených kol na odvalovací frézce pro dané rozměry kol. Po přezkoumání dostupných řešení bylo zvoleno řešení odlišné, vycházející svou podstatou ze soustružení. Ze dvou navrhovaných variant byla s ohledem na tuhost přípravku jedna zvolena.

Přípravek byl zkonstruován. Upnutí přípravku ke stroji je provedeno pomocí dvou závitů na upínací ploše. Ustavení přípravku do pracovní polohy je řešeno sériovým zařazením dvou pojezdů, svislého a vodorovného. Seřízení svislého pojezdu se provádí seřizovacím šroubem na klíč č. 13. Aretace přípravku v pracovní poloze se provádí svěrným spojením, k vyvození svěrné síly je použito šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Přípravek má výměnné moduly. Byly zkonstruovány tři varianty, dvě s kotoučovým nožem a jedna s nožem soustružnickým. Kotoučový nůž je otočně uložen v kuželíkových ložiscích. Protože v přípravku nevzniká velké mechanické napětí, ale je dbáno na tuhost, bude přípravek vyroben z běžných levných konstrukčních ocelí. Pouze upínací šrouby jsou vysokopevnostní.

Všechny části přípravku budou vyrobeny třískovým obráběním. Těleso svislého pojezdu bude obrobena ze svařence. Vzhledem k velkým rozměrům polotovarů bude využití materiálu velmi malé. Předpokládá se však kusová výroba, kde výroba odlitků či dokonce výkovků nepřipadá v úvahu. V konečném důsledku je tedy třískové obrábění z hutních polotovarů nejekonomičtější řešení.

Při použití všech modulů přípravku lze špičku nástroje nastavit od průměru 40 mm do průměru 245 mm. Výšková nastavitelnost je 21 mm. V tomto ohledu je tedy zadání splněno. Je zde i jistá rezerva pro ostření nástrojů.

Byla provedena analýza tuhosti přípravku statickou silou s poměrem hlavní řezné síly a axiální síly 2:1. Při dodržení maximálního průhybu 0,1 mm v ose Y je maximální zatěžující síla v předpokládaném směru 2500 N. Toto je velmi vysoká hodnota řezné síly, lze proto konstatovat, že přípravek je tuhý dostatečně.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] DVOŘÁK, Roman. Technologie obrábění po skandinávsku. *MM Průmyslové spektrum*. 07.09.2011, roč. 2011, č. 9, s. 24. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-obrabeni-po-skandinavsku.html>
- [2] Weiler Corporation - Solutions Showcase: Gear deburring. WEILER CORPORATION. *Weiler Corporation: Industrial Power Brushes, Abrasives, Maintenance Products* [online]. 5.9.2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: http://www.weilercorp.com/showcase/sol_gear.htm
- [3] FIMAT. *KEM 502 DEBURRING MACHINE: Compact 5-axis Deburring Machine for gear chamfering*. Torino (Italy), [2007]. Dostupné z: http://www.fimat-srl.it/eng/deburring_machines_for_gears.pdf
- [4] SAMPUTENSILI. *Chamfering and deburring tools*. Bologna (Italy), [2006], 8 s. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/samputensili/chamfering-and-deburring-tools/33463-23717.html>
- [5] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [6] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [7] Kuželíková ložiska: katalog SKF. [online]. 2006 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: http://zbozi.arkov.cz/dl/446/kuzelikova_loziska.pdf.html
- [8] Příslušenství ložisek: katalog SKF. [online]. 2006 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: http://zbozi.arkov.cz/dl/454/prislusenstvi_lozisek.pdf.html
- [9] SKF. *Industrial V-ring products*. Illinois (U.S.), June 2005, 20 s. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/344138.pdf>
- [10] WECK, Manfred. *Werkzeugmaschinen - Fertigungssysteme Band 2: Konstruktion und Berechnung*. 5. vyd. Düsseldorf: VDI Verlag, 1994, 720 s. ISBN 31-840-1384-7.
- [11] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8 (Brož.).
- [12] KLEPAL, Václav. *Frézování čelních ozubených kol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [13] Interní dokumenty VUT v Brně

11 Seznam obrázků a grafů

Obr. 1: Frézování odvalovacím způsobem [1].....	11
Obr. 2: Odjehlování kartáčováním [2]	12
Obr. 3: Odjehlování hrany zubu frézováním na stroji KEM 502 [3]	13
Obr. 4: Ukázka metody a nástrojů k odjehlování kol [4]	13
Obr. 5: Pohled do pracovního prostoru stroje [13]	15
Obr. 6: Rozměry pracovního prostoru stroje	16
Obr. 7: Rozměry upínací plochy pro přípravek [13].....	16
Obr. 8: Zjednodušený model pracovního prostoru stroje	17
Obr. 9: Výkres nejmenšího a největšího obrobku z výrobního spektra [13]	18
Obr. 10: Obrobky upnuté do různých přípravků	19
Obr. 11: Nákres záběru kotoučového nože s obrobkem	20
Obr. 12: Nákres záběru soustružnického nože s obrobkem.....	21
Obr. 13: schéma znázorňující všechny referenční upínací přípravky a obrobky	22
Obr. 14: Minimální dosah odjehlovacího přípravku	22
Obr. 15: Varianta A odjehlovacího přípravku	24
Obr. 16: Varianta B odjehlovacího přípravku	25
Obr. 17: Schéma vodorovného vedení	27
Obr. 18: Schéma svislého vedení	28
Obr. 19: Řez otočným uložením kotoučového nože.....	30
Obr. 20: Celkový pohled na odjehlovací přípravek s modulem pro velké obrobky	31
Obr. 21: Pohled na jednotlivé moduly vodorovného pojezdu	32
Obr. 22: Vyobrazení dosahu špičky nástroje pro jednotlivé moduly.....	32
Obr. 23: Analýza posunutí zatíženého bodu v ose X u modulu se soustružnickým nožem, $\phi 200$ mm	34
Obr. 24: Analýza posunutí zatíženého bodu v ose Y u modulu se soustružnickým nožem, $\phi 200$ mm	34
Obr. 25: Analýza posunutí zatíženého bodu v ose Z u modulu se soustružnickým nožem, $\phi 200$ mm	35
Obr. 26: Znázornění tuhosti jednotlivých modulů při dvou různých odjehlovaných průměrech.....	37

12 Seznam tabulek

Tabulka 1: Naměřené hodnoty posunutí v jednotlivých osách pro dva průměry a tři moduly přípravku	36
Tabulka 2: Tuhost v ose Y pro jednotlivé konfigurace přípravku.....	36

13 Seznam příloh – výkresová dokumentace

Číslo výkresu	Název
3-BP/00	PŘÍPRAVEK
3-BP/00	PŘÍPRAVEK – SOUPIS POLOŽEK
3-BP/101	MODUL PRO VELKÁ KOLA
3-BP/102	MODUL PRO MALÁ KOLA
3-BP/103	MODUL SE SOUSTRUŽNICKÝM NOŽEM
3-BP/101/2	HŘÍDEL