

Kopírovací zařízení dílce

Bc. Ladislav Tomšů

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Ladislav Tomšů
Osobní číslo: T12454
Studijní program: N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Konstrukce technologických zařízení
Forma studia: prezenční

Téma práce: Kopírovací zařízení dílců

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte analýza současného stavu**
- 2. Navrhněte kopírovací zařízení pro výrobu dílce**
- 3. Vypracujte technickou dokumentaci**
- 4. Provedte ekonomické zhodnocení**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. František Volek, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

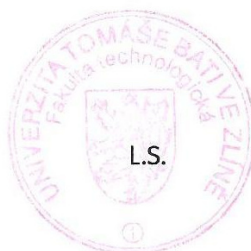
10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



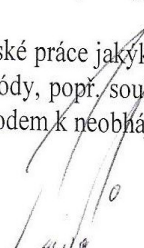

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 07.05.2014



.....

⁴⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlášení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce požít na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

(3) ²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(4) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

(5) ³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

- (1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.
- (2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.
- (3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je návrh konstrukce kopírovacího zařízení. Její stěžejní část tvoří výkresová dokumentace.

Celá práce je rozdělena do dvou částí. První část je teoretická, zabývá se dosavadními postupy výroby obecných ploch, lineárním vedením, kluznými ložisky, nástrojovými materiály a jejich korekcí.

Druhá část je praktická, tato část je věnována samotné konstrukci kopírovacího zařízení a ekonomickému zhodnocení.

Klíčová slova:

Lineární vedení, kluzná ložiska, materiály nástrojů, korekce nástrojů.

ABSTRACT

The aim of this thesis is the design of copying equipment. The crucial part is the design documentation.

The paper is divided into two parts. The first part is theoretical, dealing with existing procedures general production areas, linear guide, slide bearings, tooling materials and their correction.

The second part is practical, this section is dedicated to the design of a copying device, and economic evaluation.

Keywords:

Linear guidance systems, plain bearings, materials, tools, tool offsets.

Děkuji Ing. Františku Volkovi, CSc. za jeho pomoc, věcné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce.

„Zeptáš-li se, budeš pět minut vypadat jako hlupák. Nezeptáš-li se, budeš hlupákem po celý život.“

Čínské přísloví

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 DOSAVADNÍ POSTUPY VÝROBY	12
1.1 CELODŘEVĚNÉ VRTULE	12
1.2 VÍCEVRSTVÉ VRTULE	13
1.3 KOVOVÉ A NEKOVOVÉ MATERIÁLY	13
1.4 KOMPOZITNÍ MATERIÁL	13
1.5 POLYMERNÍ MATERIÁLY.....	14
2 LINEÁRNÍ VEDENÍ SOUČÁSTÍ A JEJICH VÝHODY	15
2.1 ZÁKLADNÍ PRVKY SOUSTAVY.....	15
2.1.1 Uchycení a podpěry tyčí.....	15
2.1.2 Přesné vodící tyče a profilové tyče	16
2.1.3 Kuličková pouzdra a rolny	17
3 KLUZNÁ LOŽISKA	18
3.1 POŽADAVKY KLADENÉ NA LOŽISKA	18
3.1.1 Funkční požadavky	18
3.1.2 Speciální požadavky.....	19
3.2 ROZDĚLENÍ KLUZNÝCH LOŽISEK	19
3.2.1 Radiální kluzná ložiska	19
3.2.2 Axiální kluzná ložiska.....	20
3.3 MAZÁNÍ KLUZNÝCH LOŽISEK	20
3.3.1 Mazání olejem.....	20
3.3.2 Mazání tukem.....	21
3.3.3 Tuhá maziva	21
3.3.4 Samomazná kluzná ložiska	21
3.4 VÝHODY A NEVÝHODY KLUZNÝCH LOŽISEK.....	22
4 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	23
4.1 NÁSTROJOVÉ OCELI UHLÍKOVÉ.....	24
4.1.1 Nástrojové oceli slitinové.....	24
4.1.2 Nástrojové oceli rychlořezné (RO)	24
4.2 STELLITY.....	26
4.3 SLINUTÉ KARBIDY (SK)	26
4.3.1 Rozdělení slinutých karbidů dle ISO (z hlediska řezného procesu):	26
4.3.1.1 Skupina K	27
4.3.1.2 Skupina P	27
4.3.1.3 Skupina M.....	27
4.4 POVLAKOVANÉ SLINUTÉ KARBIDY	28
4.4.1 Povlaky z diamantu	28
4.4.2 Povlaky z kubického nitridu bóru	29
4.5 CERMETY	29
4.6 KERAMICKÉ NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY (KM).....	30
4.6.1 Keramika na bázi oxidu hlinitého	30

1.	Čistá keramika.....	30
2.	Směsná keramika	31
4.6.2	Keramika na bázi nitridu křemičitého.....	31
4.7	POVLAKOVANÉ KERAMICKÉ MATERIÁLY	31
4.8	POLYKRystalický KUBICKÝ NITRID BÓRU (PKNB)	32
4.9	POLYKRystalický DIAMANT (PKD).....	33
4.10	PŘÍRODNÍ DIAMANT.....	34
5	KOREKCE NÁSTROJŮ	35
5.1	KOREKCE DÉLKOVÉ.....	35
5.2	KOREKCE PRŮMĚROVÉ	36
5.3	KOREKCE RÁDIUSOVÉ	36
5.4	ZJIŠŤOVÁNÍ KOREKČÍ V PRAXI.....	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	38
6	KONSTRUKCE KOPÍROVACÍHO ZAŘÍZENÍ	39
6.1	ŘEŠENÍ POHYBLIVOSTI ZAŘÍZENÍ	39
6.1.1	Pohyb podélný.....	39
6.1.2	Pohyb příčný	40
6.1.3	Úhlový přísuv	41
6.1.4	Pohon kopírovacího zařízení.....	43
6.2	ZÁTĚŽOVÉ ANALÝZY	46
6.3	ZHODNOCENÍ POUŽITÉHO MATERIÁLU.....	54
7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	55
7.1	CENÍK A NORMY SPOTŘEBY MATERIÁLU.....	55
7.2	KALKULACE VÝROBKU	59
7.3	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ.....	59
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

V dnešní uspěchané době, tedy v době, kdy základem práce je plné pracovní vytížení a maximální nasazení, kdy tlak zaměstnavatelů na své podřízené na vyšší pracovní výkon vyvolává stresové situace, sílí poptávka po volnočasových aktivitách, lidově řečeno – „je potřeba najít čas vypustit páru“. Ať už je to sport, kultura nebo kutilství, člověk alespoň na chvíli zapomíná na problémy všedního dne. Jednou z takových aktivit je sestavování a provoz rádiem řízených RC modelů dopravních prostředků.

Tématem mojí diplomové práce je návrh konstrukce kopírovacího zařízení pro výrobu potřebných součástí pro tyto modely. Jako příklad je zvolena vrtule RC modelu letadla. Popisované kopírovací zařízení lze samozřejmě využít i ke kopírování jiných součástí, kde je kladen důraz na přesnost opracování.

V rámci mojí diplomové práce budou současně posuzovány kladné, popřípadě záporné stránky mnou navrženého kopírovacího zařízení. Zřetel bude brán především na náročnost konstrukce, dostupnost jednotlivých dílů, vhodnost použitého materiálu a další aspekty ovlivňující funkčnost zařízení.

V rámci ekonomického zhodnocení bude řešena finanční dostupnost tohoto zařízení pro modelářské dílny, popř. samotné modeláře.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DOSAVADNÍ POSTUPY VÝROBY

Všeobecně lze konstatovat, že první vrtule byly celodřevěné a vznikaly pouze manuální činností s použitím na tehdejší dobu dostupnými nástroji (ruční pilky, dláta, nebozezy, hoblíky, pilníky, apod.). Postupem doby, vývojem technologií a zlepšováním nástrojů se požadavky na vrtule značně zvýšily. Hlavní důraz byl ze začátku kladen především na samotné vlastnosti vrtule (dosahovaná obvodová rychlost a výdrž na této rychlosti po určitou dobu, házivost), spolu s tímto požadavkem byla však dalším důležitým kritériem samotná váha vrtule.

Z hlediska historického vývoje vrtulí lze na fiktivní časové ose vytyčit používané materiály zhruba takto:

- Celodřevěné vrtule (ruční výroba, strojní výroba)
- Vícevrstvé vrtule (ruční výroba, strojní výroba)
- Kovové a nekovové materiály (strojní výroba)
- Kompozitní materiál (ruční výroba, strojní výroba)
- Polymerní materiály (strojní výroba)

1.1 Celodřevěné vrtule

Dobře vysušené bukové dřevo se běžnými truhlářskými nástroji opracuje do polotovaru již připomínající vrtuli (pouze rozměrově), následně jsou přiloženy přípravy, které charakterizují hlavní sklon a křivky vrtule.

Takto připravený polotovar je upnut v 3D obráběcím centru a obroben již na požadovaný rozměr. Po vyjmutí se opracuje druhá strana vrtule obdobně jako předchozí (použití pouze jiných šablon).

Po opětovném upnutí je do finálního tvaru dovedena manuálně (hoblíky, brusný papír, apod.). Pro zlepšení povrchu je postupně na obě strany nanesen brusný prach a elektrickou bruskou dojde k zaleštění povrchu (dojde ke snížení drsnosti a zpevnění povrchu).

V konečné fázi dochází již jen k vyvážení vrtule (v případě nerovnováhy je těžší konec lehce zabroušen). Následně se vrtule lakuje a je na ni nanášena krycí barva.

Doba výroby celodřevěné vrtule zhotovené tímto postupem je v řádu dní (6 – 7 dnů). [20]

1.2 Vícevrstvé vrtule

Postup výroby vrtulí z vícevrstvého dřeva je analogický postupu výroby celodřevěných vrtulí. Hlavním rozdílem ve výrobě je nutnost použití patřičného lisu, který při vytvrzování lepidla zachovává konstantní sílu působící na slepované vrstvy.

Vícevrstvý polotovar se používá na větší rozměry vrtulí, díky různé volbě plátů použitého dřeva a pojiva lze značně ovlivnit charakteristické vlastnosti vrtule, při zachování relativně nízké hmotnosti a homogenních vlastností v celé délce. Díky lepidlu, které spojuje jednotlivé pláty slepovaného dřeva, je vrtule více pružná, protože lepidlo po vytvrzení zachová určitou flexibilitu.

Doba výroby vícevrstvé vrtule zhotovené tímto postupem je v řádu dní (8 – 9 dní). [20]

1.3 Kovové a nekovové materiály

Kovové a nekovové materiály se používají především kvůli vysoké životnosti a poměrně nízkému opotřebení (jejich tvrdost je řádově vyšší než u dřevěných lakovaných vrtulí).

Postup výroby se v určitých místech liší od výroby dřevěných vrtulí. V první řadě je nutné vyrobit náboj, do kterého se osadí listy vrtule. Samotné listy vrtule jsou zhotoveny na 5 - ti osém obráběcím centru, kde pomocí CNC kódu jsou zhotoveny dráhy i s příslušnými korekcemi na použité nástroje. Je zhotoven přesný list vrtule a to na jedno upnutí. Konečné úpravy jsou zhotoveny manuálně (pomocí kotoučové a pásové brusky) a doleštěny leštícími kotouči.

V dalším kroku jsou vrtule zbaveny nečistot a mastnoty, dále jsou podrobeny nedestruktivním defektoskopickým zkouškám. Následně jsou vrtule barveny a opatřovány reflexními pruhy. [21]

1.4 Kompozitní materiál

Oba dva díly negativní formy je nutné naseparovat (aby došlo k lehčímu oddělení budoucí vrtule od formy), následně jsou pokládány nastříhané tkaniny (uhlíkové, skleněné, atd.) do prostoru formy (nástřihy jsou vždy stříhány tak, aby hlavní vlákna byla ve sklonu 45°), jsou syceny pryskyřicí s tužidlem a průběžně zbavovány přebytečné pryskyřice vymačká-

váním. Jakmile jsou oba dva díly formy hotové, dochází ke spojení pomocí molitanu nasáklého pryskyřicí. Před samotným spojením formy je zbytek tkaniny prosycen pryskyřicí a omotán kolem středového čepu. Dochází k uzavření formy a vytvrzení pryskyřice (pro zvýšení tvrdosti se forma může zahřívat do 50 °C).

Po odformování je zbavena nečistot a přetoků. V posledním kroku dochází k vyvažování (těžší strana se obrušuje brusným papírem o zrnitosti vyšší jak 2000). [22]

1.5 Polymerní materiály

Vrtule zhotovené z polymerních materiálů jsou určeny především pro RC modeláře, tedy pro letadla dosahujících maximálního rozpětí do 1 metru.

Vrtule jsou vyráběny vstřikováním roztaveného elastomeru nebo reaktoplastu do dutiny vstřikovací formy, kde po několika sekundách je vyhozena již hotová vrtule. Po očištění vrtule od přetoků a následné kontrole, jsou vrtule barveny.

2 LINEÁRNÍ VEDENÍ SOUČÁSTÍ A JEJICH VÝHODY

Lineární vedení se uplatňuje v různých oblastech průmyslu, počínaje potravinářským, zemědělským, přes slévárenský, strojírenský a důlní průmysl, až po transporty a jeřáby.

Toto široké uplatnění je dáno především jejich jednoduchým a přesným vodícím systémem. Pohyb je zajištěn pomocí soustavy několika dílců (uchycení a podpěry tyčí, vodícími tyčemi anebo kolejnicemi, kuličkovými případně kluznými pouzdry nebo rolnami).

Za dobu vývoje lineárního vedení byly provedeny různé modifikace jednotlivých prvků, především pro zlepšení určitých požadovaných vlastností jako bylo například zvýšení přesnosti, zjemnění chodu, zvýšení tuhosti vedení a v poslední řadě snímání koncových bodů (automatizace). [16]

2.1 Základní prvky soustavy

2.1.1 Uchycení a podpěry tyčí

Uchycení tyčí má vliv na přesnost výroby, na druh použitého vedení, velikost posuvových částí a především na celkovou tuhost soustavy, neboť právě uchycení přenáší vybuzené kmity do základny.

Uchycení tyčí může být uskutečněné pomocí uložení s přesahem, pomocí utahovacího šroubu, případně dvěma šrouby pokud vedení požaduje dvojici tyčí. Tyto typy jsou vyráběny v provedení patkovém, přírubovém nebo kompaktním.



Obr. 1. Uchycení tyčí (zleva: kompaktní, patkové a tandemové). [17]

Podpěry tyčí mají zásadní vliv na tuhost vedení (podepírají tyč po celé její délce). Mezi jejich nevýhody patří především přenesení nerovností z montážních a konstrukčních ploch na zbytek vedení a tím přímo ovlivňují zvýšení odchylek. [17]

2.1.2 Přesné vodící tyče a profilové tyče

Pro přesné vodící tyče na lineární vedení se používá plných tyčí a dutých trubek. Plné tyče se svými rozměry shodují s rozměry lineárních kuličkových ložisek. Při použití trubek se musí brát zřetel na minimální vnější průměr (12 mm), menší průměry nejsou vhodné.

Povrch je indukčně kalený (od 0,4 do 2,2 mm podle průměru tyče v rozmezí 60 až 64 HRC) a broušený (Ra 0,3). Tyto tyče se vyznačují dlouhou životností a vysokou rozměrovou stabilitou. Dále podléhají kontrole kvality z hledisek válcovitosti, kruhovitosti, přímosti a stejnorodosti povrchu

Pro zvláštní případy použití (agresivní prostředí) jsou dodávány tyče z nerezové oceli, případně chromované tyče (jejich tvrdost je však nižší 55 až 58 HRC a tím klesá i životnost). [18]



Obr. 2. Plné tyče a trubky pro lineární vedení. [18]

Profilové tyče mají většinou čtyři obroušené oběžné dráhy, po těchto drahách se pohybují vozíky pomocí vnitřního oběhu kuliček. Slouží pro zpřesnění lineárního vedení, zvýšení tuhosti a únosnosti systému (při nízkém valivém odporu). [18]



Obr. 3. Profilová tyč s dírami pro imbusové šrouby. [18]

2.1.3 Kuličková pouzdra a rolny

Lineární kuličková pouzdra jsou charakteristická svým nízkým průřezem, to umožňuje hospodárné a kompaktní uložení. Ložiska se zalisují do děr s tolerancí H7, J7 nebo K7, mohou být domazávána, v tělese nemusí být zajištěna proti axiálnímu posuvu. Ke zvýšení životnosti se přidávají třecí těsnění (chrání ložisko proti nečistotám), případně ještě hřídeľové těsnění. [18]



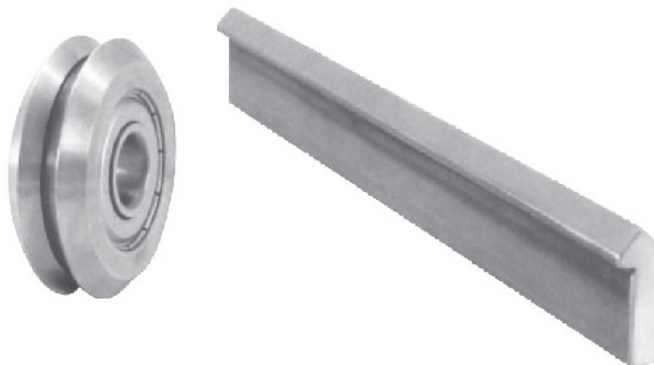
Obr. 4. Kuličkové pouzdro. [18]

Rolny jsou vyráběny s jehličkovými ložisky, jednořadým nebo dvouřadým ložiskem.

Podle druhu aplikace je lze rozdělit na:

- Vodící - kde jsou přímo součástí lineárního systému a mechanicky realizují lineární posuv.
- Podpůrné - zajišťují stabilitu vodícího lineárního vedení.

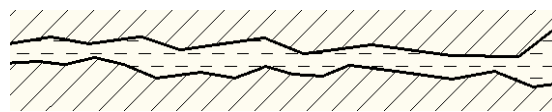
Pro zlepšení vedení a vymezení vůle se používá systém (V), rolny mají po obvodu vybroušenou drážku tvaru písmene V a přesně svými obroušenými čely zapadají do V kolejnice (tím je zajištěna minimální vůle). Používají se pro vyšší rychlosti a do prašných prostředí. Vyznačují se dlouhou životností, jednoduchou údržbou a vysokou spolehlivostí. [17]



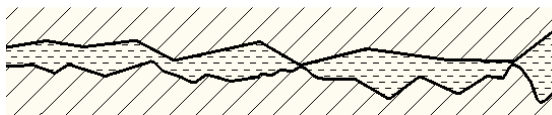
Obr. 5. Kolejnice a rolna systému V. [17]

3 KLUZNÁ LOŽISKA

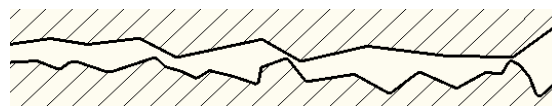
Kluzná ložiska jsou strojní součásti, které vymezují vzájemnou polohu dvou stýkajících se částí mechanismu při jejich vzájemném pohybu. Tento pohyb je doprovázen kluzným třením a opotřebením (adhezivní, abrazivní, erozivní, kavitační, únavové a vibrační). Podle tloušťky mazacího filmu pracuje ložisko v oblasti kapalinového tření (kluzné plochy odděleny souvislou vrstvou maziva) (Obr. 6), mezního tření (kluzné desky jen s částí odděleny vrstvou maziva, na vrcholech kluzných ploch dochází k přímému dotyku) (Obr. 7) a suchého tření (na kluzných plochách není tekuté ani plastické mazivo) (Obr. 8). [10],[11]



Obr. 6. Kapalinné tření



Obr. 7. Mezní tření



Obr. 8. Suché tření.

3.1 Požadavky kladené na ložiska

Při volbě ložiska je nutné znát a pečlivě uvážit všechny požadavky, kterým ložisko musí vyhovět. Tyto požadavky bývají velmi rozdílné, někdy dokonce protichůdné, a lze je rozdělit do tří hlavních skupin: funkční, ekonomické a speciální. [11]

3.1.1 Funkční požadavky

Tyto požadavky jsou zpravidla rozhodujícími prvky při volbě ložiska. Do této skupiny patří únosnost ložiska, obvodová rychlost čepu, ztráty třením, útlum vibrací, hluchnost, trvanlivost ložiska, provozní teplota a přípustná nesouosost. [10]

Tlumení vibrací – oproti valivým ložiskům se kluzná pouzdra (s dostatečnou mazací vrstvou) vyznačují značnou schopností útlumu. [10]

Trvanlivost ložiska – trvanlivost kluzného pouzdra je teoreticky neomezená (nedochází k přímému dotyku pouzdra a čepu), ideální trvanlivost narušuje pouze samotný provoz

(oblast mezního mazání). Trvanlivost závisí na mnoha aspektech, především na pracovních podmínkách, údržbě, konstrukci a jakosti výroby. [10]

Obvodová rychlost čepu – volba vhodného ložiska je závislá na druhu mazání (hydrostatické, hydrodynamické, v oblasti mezního mazání). Ložiska s hydrodynamickým mazáním jsou vhodné pro střední a velké rychlosti, s hydrostatickým mazáním jsou obzvláště vhodné pro malé rychlosti a pro kývavý pohyb, v oblasti mezního mazání mají malé nebo střední kluzné rychlosti. [10]

3.1.2 Speciální požadavky

Mezi tyto požadavky patří odolnost proti vlivům okolního prostředí (prašnost, velký obsah vodních par), nutnost použití určitých látek jako mazacího média (kapalné, plynné).

V prašném prostředí se předchází rychlému opotřebení kluzného pouzdra, tomuto jevu lze předejít vhodnou konstrukcí těsnění ložiska, volbou vhodnějšího mazání (tukové), nebo účinnou filtrací oleje.

V prostředí vodních par lze předcházet korozi vhodnou volbou ložiskového materiálu (plastické materiály, polyamidy, plněný teflon, atd.). [10]

3.2 Rozdělení kluzných ložisek

Podle typu pohybu rozdělujeme kluzná uložení pro pohyb otáčivý a posuvný. Ložiska pro otáčivý pohyb rozdělujeme na radiální, axiální a kombinovaná. U jednotlivých druhů působí zátěžná síla kolmo na osu, ve směru osy a šikmo k ose ložiska. [11]

3.2.1 Radiální kluzná ložiska

Radiální ložiska zachycují síly působící kolmo k jejich ose. Podle obvodové rychlosti se liší typem mazání (hydrodynamická, hydrostatická). Ložiska se upevňují v radiálním směru na lícované válcové ploše čepu nebo díry v tělese.

Správné radiální upevnění ložiska na čepu a v tělese má značný vliv na využití jeho únosnosti a na trvanlivosti. Při volbě radiálního upevnění ložiska posuzujeme a bereme v úvahu následující vlivy: obvodové zatížení, bodové zatížení, velikost zatížení a přesnost uložených ploch. [12]

3.2.2 Axiální kluzná ložiska

Podle hydrodynamické teorie mazání se axiální ložiska řeší jako ložiska segmentová a to: s pevnými segmenty, nebo se segmenty naklápěcími. [10]

- Ložiska s pevnými segmenty

Spolehlivost závisí především na sklonu kluzných ploch, kluzné rychlosti, viskozitě a na množství maziva. Pro jeden směr pohybu má segment jednu klínovou plochu, pro dva směry pohybu jsou na segmentu dvě klínové plochy s opačnými sklony. [10]

- Ložiska s naklápěcími segmenty

Výhodou ložisek s naklápěcími segmenty je především možnost měnit sklon segmentů, tím se ložisko lépe přizpůsobuje provozním podmínkám. [10]

3.3 Mazání kluzných ložisek

Mazáním rozumíme všechny zásahy do kluzných ploch, ať už kapalnou, plastickou nebo tuhoun látkou. O způsobu mazání rozhoduje především konstrukce, množství a druh maziva, počet mazaných míst, spolehlivost a požadavek na jeho trvanlivost. Taktéž musíme zohlednit provozní podmínky (kluzná rychlost, doba běhu, čistota, atd.). Rozeznáváme tři způsoby mazání: olejem, tukem, tuhými mazivy. [10]

3.3.1 Mazání olejem

Správnou funkci ložiska v oblasti hydrodynamického mazání je nutno zabezpečit dopravou potřebného množství maziva, a tím doplnit ztráty, které vznikly okrajovou netěsností. Olej lze dodávat různými způsoby:

- Ručně olejnicí – vhodné u krátkodobě běžících, málo zatížených ložisek
- Knotem
- Kapací maznicí
- Mazacím tlakovým přístrojem
- Mazacím kroužkem – pro středně zatížené a pro menší kluzné rychlosti
- Tlakovým čerpadlem – pro největší rychlosti a zatížení

Nejvýkonnější je tlakové mazání, i přes své nevýhody (vysoká pořizovací cena, vyžaduje vlastní soustavu, popř. zvláštní hnací jednotku) zabezpečuje vysokou trvanlivost ložisek. [10]

3.3.2 Mazání tukem

Tukové mazání není vhodné pro přesná kluzná uložení s velmi malou ložiskovou vůlí. Použití tuku jako maziva je výhodné v těchto případech:

- Při malé kluzné rychlosti
- V případě, kdy by mazání olejem vedlo k nespolehlivé funkci zařízení nebo poškození výrobku
- Při vysoké provozní teplotě a při velkých měrných zatíženích
- U těžko přístupných ložisek, k částečnému zajištění mazání na delší dobu
- V nepříznivých pracovních podmínkách (prašnost, vlhkost, chemicky aktivní prostředí)

Mazání tukem je krátkodobé, obecně je možné rozlišit tři druhy mazání tukem:

- Ruční mazání – vhodné pro málo zatížená ložiska. Mazání se provádí mazacím litem nebo Staufferovou maznicí
- Samočinné maznice
- Ústřední tlakové mazání – nejspolehlivější [10]

3.3.3 Tuhá maziva

V případech, kdy nelze použít kapalných nebo plastických maziv, zejména při vysokých teplotách nebo při velmi vysokých místních tlacích, se používají tuhá maziva (grafit, koloidní grafit). Mezi jejich základní vlastnosti patří: tepelná a chemická stálost, vysoká teplota tání, dobrá přilnavost, schopnost vytvářet souvislý povrch a nesmějí působit korozívně. [10]

3.3.4 Samomazná kluzná ložiska

Ložiska jsou vyráběna práškovou metalurgií z kovových prášků (nejčastěji železný nebo bronzový práškový kov). Po lisování, slinutí a kalibraci vzniká velmi pórovité ložisko, do jehož pórů je ve vakuu přiváděn olej (tento olej pak již slouží jako mazadlo mezi stykovými plochami po celou dobu životnosti ložiska).

Použití samomazných kluzných ložisek je v rozmezí od -10 do + 80 °C. Tyto ložiska nacházejí uplatnění v místech, kde je mazání velmi obtížné nebo zcela nemožné. [19]



Obr. 9. Bronzová samomazná kluzná ložiska. [19]

3.4 Výhody a nevýhody kluzných ložisek

Kluzná ložiska doprovází celá řada výhod, které valivá ložiska postrádají. Mezi jejich výhody patří: klidný a tichý chod, schopnost tlumení rázů, delší trvanlivost, menší rozměry a hmotnost, použitelnost pro velké rychlosti otáčení a cenová dostupnost.

K jejich nevýhodám patří: obtížnější konstrukční návrh, velký rozběhový moment (suché tření), složitější mazací systém a příp. i chlazení oleje. [11]

4 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

Mezi základní požadavky kladené na nástrojové materiály patří především jeho odolnost proti opotřebení, pevnost v ohybu, tvrdost, houževnatost a tepelná vodivost. Nástrojový materiál by měl splňovat všechny uvedené vlastnosti při vyšších a vysokých teplotách a to po dostatečně dlouhou dobu. Jedná se především o požadavek vysoké řezivosti a tím i vysokého řezného výkonu, také vysoké odolnosti proti mechanickým a teplotním rázům a dále kvantifikovaném velkým minutovým úběrem obráběného materiálu a teplotním rázům pro všechny kategorie řezných nástrojů.

Obecně se využívá pro výrobu řezných nástrojů těchto nástrojových materiálů:

1. nástrojové oceli uhlíkové
 - nástrojové oceli slitinové
 - nástrojové oceli rychlořezné (RO)
2. stellite
3. slinuté karbidy (SK)
4. povlakované slinuté karbidy
5. cermety
6. keramické nástrojové materiály (KM)
7. povlakované keramické materiály
8. polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB)
9. polykrystalický diamant (PKD)
10. přírodní diamant

V obráběcích centrech a automatizovaných výrobních linkách se používají nástroje s vyměnitelnými destičkami a to jak destičky ze slinutého karbidu tak i povlakované. Těchto materiálů se využívá v rozsahu 80 %, ve zbylých 20 % jsou nástroje z rychlořezné oceli a to zejména v případech použití na tzv. osové nástroje (tvarové nástroje, výstružníky, výhrubníky, vrtáky).

Použitelnost nástrojů je podmíněna jejich stabilitou parametrů a vysokou kvalitou. [1]

4.1 Nástrojové oceli uhlíkové

Nástrojové uhlíkové oceli jsou určeny pro aplikace, kdy nástroj není používán v náročných podmínkách a za poměrně nízkých teplot. Tvrdosti je dosaženo rychlým martenzitickým zakalením do vody. Při překročení 220 °C dochází k popouštění (rozpad martenzitu) a tím k výraznému snížení tvrdosti.

Doporučená řezná rychlost: 2-4 m/min

Největší přípustná teplota na břitu: 220 °C [3], [4]

4.1.1 Nástrojové oceli slitinové

Pro vyšší teploty, nebo větší namáhání jsou určeny slitinové nástrojové oceli. Tyto oceli obsahují karbidotvorné prvky (Mo, V, Cr a W), ty zvyšují tvrdost a odolnost proti opotřebení (tvorba speciálních karbidů ve struktuře oceli), zvyšují prokalitelnost, teplotní stabilitu (odolnost proti popouštění).

Kvalitní nástrojové oceli slitinové se vyznačují vysokým obsahem uhlíku (cca 2 %) a chromu (cca 12 %).

Doporučená řezná rychlost: 5-10 m/min

Největší přípustná teplota na břitu: 250 – 300 °C [3], [4]

4.1.2 Nástrojové oceli rychlořezné (RO)

Pro volbu nástroje z rychlořezné oceli musíme respektovat:

- tuhost a výkon obráběcího centra
- možnost volby řezných parametrů
- druh operace obrábění
- obrobitelnost a složitost tvaru obrobku
- požadované parametry (drsnotu povrchu, tvarovou a rozměrovou stálost)

Tvrdost rychlořezných ocelí je dána vysokým obsahem legujících prvků vyloučených ve formě karbidu. Legující prvky mají přímý vliv na prokalitelnost (s rostoucím obsahem legujících prvků roste i prokalitelnost).

Jsou využívány pro výkonné a tvarově složité rychlořezné nástroje, a to z důvodu:

- vyznačují se odolnosti proti nárazům (při přerušovaném řezu)
- Doporučená řezná rychlost: 20-30 m/min
- Největší přípustná teplota na břitu: 560 °C

Důležitým předpokladem je vhodná volba řezného prostředí (řezných emulzí a olejů). [1], [3]

Tab. 1. Charakteristiky aplikací RO. [1]

Označení dle normy	Hutní značení	Obráběné materiály a charakteristika pracovních podmínek
19 802	Maximum Speciál G Extra	Značně namáhané nástroje pro obrábění materiálů o nižší a střední pevnosti cca 850 MPa hrubováním
19 855	Maximum Speciál 55	Vysoce namáhané nástroje pro obrábění ocelí o vysoké pevnosti a materiálů těžkoobrobitelných při vysokých řezných rychlostech
19 856	Maximum Speciál 55G	Vysoce namáhané nástroje pro obrábění ocelí o vysoké pevnosti a materiálů těžkoobrobitelných při vysokých řezných rychlostech
19 857	MKG	Hrubování oceli o vysoké pevnosti a materiálů těžkoobrobitelných
19 858	Radeco C	Jemné a přesné obrábění oceli a ocelolitiny o vysoké pevnosti, tvrdých a abrazivních materiálů, nepřerušovaný řez
19 859	MK	Nejvýše namáhané nástroje pro obrábění, hrubování oceli o vysoké pevnosti, pevných a houževnatých materiálů
19 860	MKH	Nejvýše namáhané nástroje pro obrábění, hrubování oceli o vysoké pevnosti, pevných a houževnatých materiálů
19 861	Radeco M10	Jemné obrábění oceli a ocelolitiny, ubírání třísek velkého průřezu u ocelí a ocelolitiny o vysoké pevnosti

4.2 Stellity

Stellity řadíme mezi řezné slitiny, jejichž řezivost a tvrdost je dána množstvím přítomných karbidů chromu a wolframu. Stellity obsahují 30 – 55 % Co, 2 – 4 % C, 10 – 30 % W, 20 – 40 % Cr, dále obsahují menší množství Mo, Ni a dalších prvků. Přítomnost železa ve stellitech se pohybuje do hodnoty 10 %, je považováno za nečistotu.

Stellity jsou běžnými nástroji neobrobitelné, křehké, nekujné a tepelné zpracování se u nich neprovádí. Nástroje (břitové destičky) zhotovené z tohoto materiálu se po odlití pouze přebrušují. [1]

4.3 Slinuté karbidy (SK)

Slinuté karbidy jsou vyráběny práškovou metalurgií (spékáním karbidu titanu, wolframu, chromu, tantalu a dalších). Tvrdost SK je dána mechanickými vlastnostmi materiálu, jako pojiva se používá při slinování kobaltu. U slinutých karbidů se ke zvýšení tvrdosti neprovádí tepelné zpracování.

Slinuté karbidy jsou využívány především kvůli vysoké otěruvzdornosti. Jsou těžko obrobitelné, jsou velmi křehké a dochází u nich k vydrolování břitu. [1]

4.3.1 Rozdělení slinutých karbidů dle ISO (z hlediska řezného procesu):

1. K – SK pro slitiny Fe, (vyznačujících se při obrábění krátkou třískou), neželezných kovů a nekovových materiálů
2. P – SK pro slitiny Fe, které se vyznačují při obrábění plynulou třískou
3. M – SK pro slitiny Fe, které se vyznačují při obrábění krátkou i plynulou třískou a slitiny nekovových materiálů
4. N – SK pro neželezné slitiny Al, Mg, Cu, určené k obrábění dřeva, kompozitů a plastů
5. S – SK pro obrábění žárovevných slitin na bázi Fe, Ni nebo Co, dále pro obrábění slitin titanu
6. H – SK pro materiály zušlechtné, z tvrzených litin a kalených ocelí

Podskupiny SK mají dodatkové dvoumístné číslo. Toto číslo označuje odolnost vůči otěru a houževnatost. Nízkým dvojčíslem se vyznačují druhy s malou houževnatostí, ale vysokou odolností proti otěru. U dvojčísel s vysokou hodnotou je tomu naopak. [1], [13]

4.3.1.1 Skupina K

- označuje se červenou barvou
- značení písmenem a dvojčíslem (K01 – K40)
- chemické složení: WC (85 - 90 %), Co (5 - 13 %), NbC, TaC
- mechanické vlastnosti WC: nízká odolnost proti zvýšeným teplotám (difúze), houževnatost
- pro obrábění materiálů, vyznačujících se krátkou třískou (malé teplotní zatížení čela nástroje) [13]

4.3.1.2 Skupina P

- označuje se modrou barvou
- značení písmenem a dvojčíslem (P01 – P50)
- chemické složení: WC (32 – 83 %), TiC (7 – 63 %), Co (5 - 17 %), NbC, TaC
- Mechanické vlastnosti: zvýšená odolnost proti vyšším teplotám a spojené difuzi, křehkost
- pro obrábění materiálů, vyznačujících se plynulou třískou (velké teplotní zatížení čela nástroje) [13]

4.3.1.3 Skupina M

- označuje se žlutou barvou
- značení písmenem a dvojčíslem (M01 – M40)
- chemické složení: WC (78 - 85 %), TiC (5 - 10 %), Co (5 – 15 %), NbC (4 - 7 %), TaC
- pro obrábění materiálů, vyznačujících se dlouhou nebo krátkou třískou (univerzální použití) [13]

4.4 Povlakované slinuté karbidy

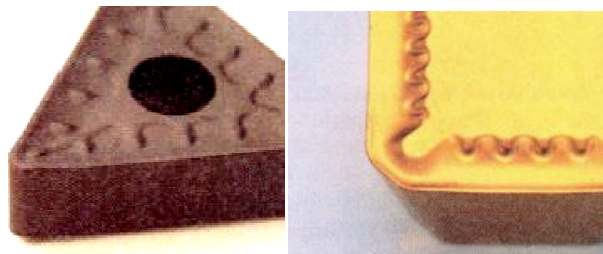
Jsou to skládané materiály z tvrdých karbidů, karbidy jsou fixovány v měkké pojivové kovové bázi. Účel této bázi je spojování karbidů do konzistentního tělesa.

Povlakování má za účel zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností a tím i zlepšení řezného výkonu. Mezi faktory spadá především druh a tloušťka povlaku, metoda nanášení a substrát.

Typ povlaku má přímý vliv na odolnost nástroje proti opotřebení (tepelné opotřebení závisí na termochemické stabilitě, abrazivní opotřebení je ovlivněno tvrdostí).

Obecně lze říci, že pro vyšší řezné rychlosti hledáme povlaky vyznačující se vysokou termochemickou stabilitou, proto je povlak z Al_2O_3 v tomto případě lepší než povlak z TiC . Materiály, které se vyznačují vysokou termochemickou stabilitou lze seřadit takto (nejvíce stabilní > nejméně stabilní): $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{TiN} > \text{TiCN} > \text{TiC}$.

Naopak při obrábění, kdy je řezná rychlost nižší, začíná převládat opotřebení abrazivní, trvanlivost povlaku z TiC narůstá (je tvrdší než Al_2O_3). Materiály, které se vyznačují vysokou odolností vůči abrazivnímu opotřebení, lze seřadit takto (nejvíce odolné > nejméně odolné): $\text{TiC} > \text{TiCN} > \text{TiN} > \text{Al}_2\text{O}_3$. [1], [2]



Obr. 10. Povlakované slinuté karbidy. [13]

4.4.1 Povlaky z diamantu

Tyto povlaky se nanášejí nejčastěji chemickou metodou (CVD), povlak se vytváří na ohřátém substrátu při teplotě $900\text{ }^\circ\text{C}$ a zároveň při nízkém tlaku ze směsi vodíku a metanu. Výsledný povlak je pak tvořen shlukem krystalů (o zrnitosti $1 - 10\text{ }\mu\text{m}$), krystaly vykazují identické vlastnosti jako přírodní diamant a syntetický diamant.

Nástroje s diamantovými povlaky jsou určeny k obrábění neželezných kovů a slitin, keramiky, kompozitů vyztuženými vlákny a především pro obrábění hliníkových slitin. [2]

4.4.2 Povlaky z kubického nitridu bóru

Tyto povlaky jsou ekvivalentem povlaků z diamantů, vyznačují se několika vynikajícími vlastnostmi zejména: nízkou měrnou hmotností, vysokou tvrdostí (> 4000 HV), vysokou tepelnou stabilitou (až do 1127 °C) a nízkou chemickou reaktivitou. [2]

4.5 Cermety

Jedná se o materiál, který by měl vykazovat mechanické vlastnosti podobné keramice (tvrdost) a kovu (houževnatost). Je založen na principu slinování materiálů s tvrdou fází (TiC, TiCN, TiN, Mo₂C), proto se můžeme setkat i s označením slinuté karbonitridy.

- První generace cermetů: vyznačují se vyššími řeznými rychlostmi oproti slinutým karbidům, to z důvodu obsaženého titanu ve struktuře. Díky legujícím prvkům (Ni, Mo) se výrazně zlepšila smáčivost a pevnost celé slitiny. Molybden bývá nahrazován Mo₂C, to má za následek snížení tloušťky pláště a zvýšení pevnosti. Nástroje z těchto cermetů se používají pro lehké řezání a v současné době se téměř nepoužívají.
- Druhá generace cermetů: pro zvýšení odolnosti a pevnosti vůči mechanickému namáhání (vydrolování) byly do slitiny přidány TiC a WC. Díky této změně se nástroje z cermetů druhé generace používají k soustružení se střední posuvovou rychlostí a lehké frézování.
- Třetí generace cermetů: kombinace TiC – TiN. Tato kombinace umožnila zmenšení velikosti zrna (vyšší tvrdost oproti druhé generaci), s odstraněním nežádoucí zbytkové pórovitosti vzrostla ohybová pevnost. Třetí generace se vyznačuje vyšší odolností proti vydrolování a opotřebení vůči generacím předchozím. Nástroje z třetí generace jsou určeny hlavně pro dokončovací operace obrábění.

Charakteristické vlastnosti:

- | | | |
|---------------------|------------|----------------------|
| • Měrná hmotnost: | 5,1 - 7,4 | [g/cm ³] |
| • Tepelná vodivost: | 9 – 15 | [W/m.k] |
| • Tvrdost: | 1759 – 346 | [HV 20 – 1000°C] [2] |



Obr. 11. Destičky z cermetů 3 generace. [13]

4.6 Keramické nástrojové materiály (KM)

Keramické řezné materiály jsou slinuté kombinované materiály, rozdělují se do dvou hlavních skupin a to podle báze, na které jsou založeny (kysličník hlinitý, nitrid křemičitý).

Uplatnění především při obrábění litin, nástrojových ocelí, vysokolegovaných slitin a některých ocelí. [1]

4.6.1 Keramika na bázi oxidu hlinitého

Elektricky vyrobený korund (Al_2O_3) je výchozí složkou pro keramické materiály na bázi oxidu hlinitého. Korund je jedním z nejtvrděších doposud známých materiálů a minerálů. Jeho nevýhodou je značná křehkost, proto pro zvýšení houževnatosti se přidává nikl, chrom, molybden a karbidy titanu, wolframu a molybdenu.

Tvrдость samotného korundu, popřípadě přimísených karbidů udává řezivost keramických nástrojů. Tento materiál se vyznačuje vysokou odolností vůči otěru, může dlouhodobě pracovat v teplotách kolem $1200\text{ }^\circ\text{C}$ a není potřeba zvýšení tvrdosti pomocí tepelného zpracování (neprovádí se).

Mechanické vlastnosti keramických destiček pozitivně ovlivňuje struktura (především u čisté keramiky) a karbid titanu (směsná keramika).

1. Čistá keramika

Obsah korundu (Al_2O_3) dosahuje hodnoty až 99,9 %. Používá se pro dokončovací operace (soustružení), řezná rychlost přesahuje 100 m/min . Pro zvýšení řezivosti se přidávají různé přísady, nejčastěji oxid zirkonu ($\text{ZrO}_2 - 20\%$). [1]

2. Směsná keramika

Hlavní složkou je korund (Al_2O_3) a karbid titanu (TiC 20 - 40 %). Díky karbidu titanu se směsná keramika vyznačuje zvýšenou odolností proti rázům mechanickým a teplotním. Použití ve frézování i soustružení, především pro obrábění ocelí a šedé litiny (frézování), zušlechťených a cementačních ocelí (soustružení). [1]

4.6.2 Keramika na bázi nitridu křemičitého

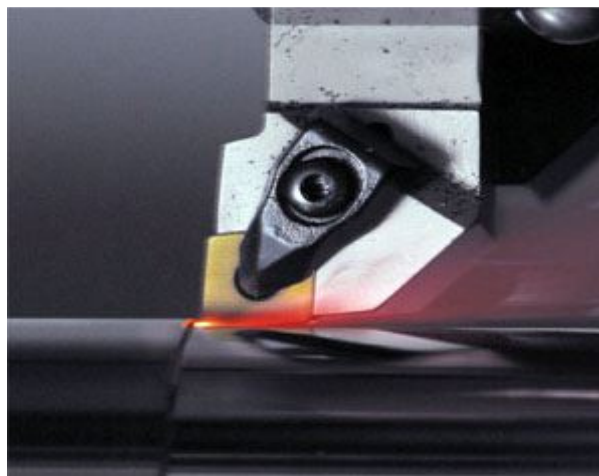
Vyznačuje se relativně vyšší odolností proti teplotním a mechanickým rázům (odolává porušení břitu), odolná proti kolísajícímu úběru materiálu, vhodná pro přerušované řezy, pro hrubování i dokončování litiny (šedé litiny, litiny s hrubou licí kůrou). [1]

4.7 Povlakované keramické materiály

Povlakování keramických materiálů, přesněji Al_2O_3 s přídavkem TiCN , přineslo výrazné zlepšení v oblasti životnosti nástroje při obrábění vysokými řeznými rychlostmi a možnosti obrábění tvrdých materiálů (kalené materiály s tvrdostí přesahující 50 HRC, příp. zpevněné litiny).

Vzniklý povlak má zlatavou barvu, díky této kontrastní barvě lze snadno kontrolovat opotřebení břitu a zároveň snadno identifikovat již použité hrany na destičce. Tento povlak přinesl mimo jiné výrazné zlepšení určitých mechanických vlastností, především ve zvýšené odolnosti vůči otěru a zlomu.

Povlakované keramické destičky jsou určeny především pro dokončovací operace. [15]



Obr. 12. Pohled na povlakovanou keramiku při dokončovacím soustružení. [15]

4.8 Polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB)

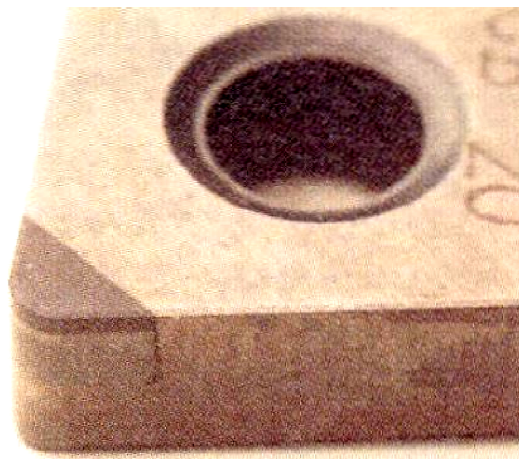
Tento materiál se vyznačuje nižší tepelnou vodivostí oproti polykrystalickému diamantu, délková roztažnost je ale o něco větší při použití v teplotách od 430 °C do 1160 °C. Je extrémně stabilní v naší atmosféře.

Používá se při obrábění žáruvzdorných materiálů, nežíhané tvrdé litiny, kalených ocelí a v neposlední řadě k obrábění niklových a kobaltových slitin. Výhodně se jeví i jejich nasazení v oblasti dokončovacích operací jako náhrada za broušení.

Z chemické stránky jsou hlavní složkami bor a dusík. Bor se řadí mezi polokovové prvky, vyznačuje se vysokým bodem varu i tání, avšak nitrid boru má podobné charakteristické vlastnosti jako grafit.

Charakteristické vlastnosti:

• Měrná hmotnost	3,5 – 4,35	[g/cm ³]
• Tvrdost	2700 – 3500	[HV]
• Pevnost v tlaku	2,7 – 3,5	[GPa]
• Pevnost v tahu	590 – 800	[MPa]
• Pevnost v ohybu	500 – 800	[MPa]
• Měrná tepelná vodivost	45 – 200	[W/m.k]
• Součinitel délkové roztažnosti α	4,6 – 4,9	[1/10 ⁶ .K] [1], [2]



Obr. 13. Destička s břitem z PKNB. [14]

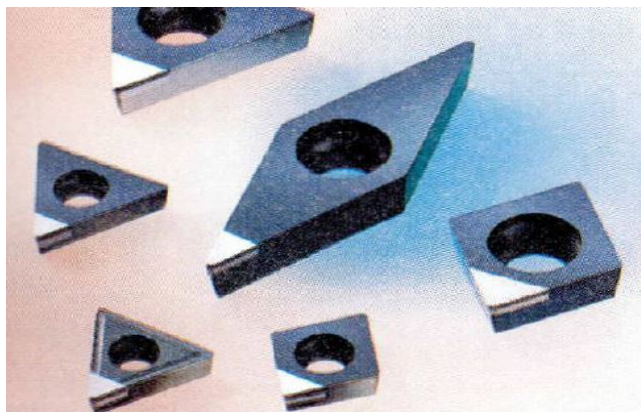
4.9 Polykrystalický diamant (PKD)

Jedná se o syntetický materiál, krystaly jsou spojeny do kompaktního tělesa různými pojivy. Vyznačuje se nízkou tepelnou stálostí (přeměna na grafit od teploty 650 °C), proto se nepoužívá na obrábění železných materiálů (oceli, litiny), docházelo by k difuzi mezi obráběným materiálem a nástrojem (rychlé opotřebení břitu v důsledku chemických reakcí). Ve vakuu pod 1500 °C ke grafitizaci nedochází, ke grafitizaci dopomáhá i přítomnost kobaltu, železa nebo niklu (snížení odolnosti opotřebení a pevnosti). Mezi další problémy spadá rozdílná délková roztažnost (opět v případě nanesení PKD na kovové pojivo s příměsí niklu nebo kobaltu). Z tohoto důvodu se PKD používá na obrábění neželezných materiálů (hliníkové slitiny, slitiny mědi a kompozitních materiálů, keramiky a přírodních materiálů), velmi dobře odolává abrazivním účinkům.

Charakteristické vlastnosti:

• Měrná hmotnost	3,4 – 4,5	[g/cm ³]
• Tvrdost	5000 – 8000	[HV]
• Pevnost v tlaku	4,2 – 8,0	[GPa]
• Pevnost v tahu	780 – 910	[MPa]
• Pevnost v ohybu	1200 – 1700	[MPa]
• Měrná tepelná vodivost	120 – 550	[W/m.k]
• Součinitel délkové roztažnosti α	3,2 – 4,6	[1/10 ⁶ .K]

Pro potlačení degradace a zvýšení pevnosti vazby polykrystalického diamantu jsou jeho krystaly určeny k výrobě celistvých těles. Tyto tělesa jsou chráněna kovovými povlaky titanu a chromu. [1], [2]



Obr. 14. Vyměnitelné břitové destičky s břitem z PKD. [14]

4.10 Přírodní diamant

Přírodní diamant je nejtvrdší známý materiál a na Mohsově stupnici se nachází na desátém místě, teplota tavení je nad 4000 °C, vyznačuje se vysokým indexem lomu, je elektricky nevodivý, chemicky inertní. Této tvrdosti se částečně přibližuje syntetický polykrystalický diamant (PKD).

Díky svoji tvrdosti odolává po dlouhou dobu abrazivnímu opotřebení. Kvůli svoji vysoké ceně a nízkému výskytu se používá převážně pouze jeho prach vzniklý při výrobě šperků. Tento diamantový prach se přidává do brousicích a leštících past, do brusných kotoučů a jejich orovnávacích kamenů. [1], [2], [14]



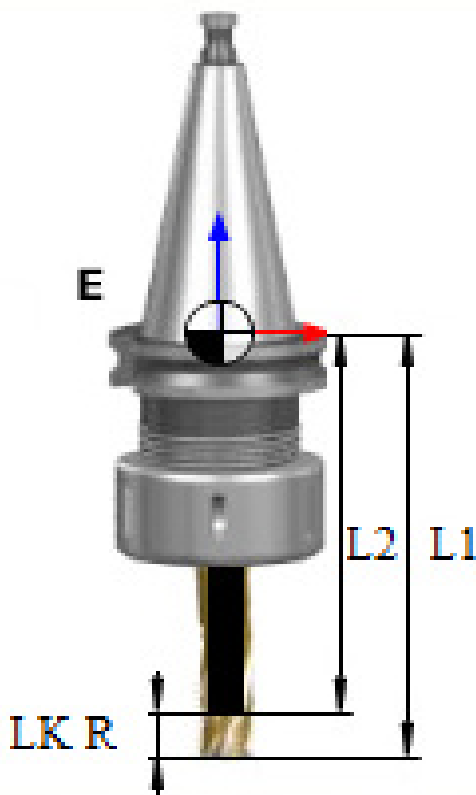
Obr. 15. Přírodní diamant. [14]

5 KOREKCE NÁSTROJŮ

Při práci na obráběcích centrech využíváme různorodé typy nástrojů (frézy, vrtáky, výhrubníky, závitníky atd.). Každý nástroj je charakteristický svoji délkou a průměrem. Lze říci, že korekcí vyjadřujeme průměrový nebo délkový rozdíl mezi jednotlivými nástroji. Každý nástroj má tzv. vztažný bod P (umístěn na špičce nástroje), který je závislý na jeho rozměrech (průměru a délce). Je nutné zavést korekci a tím jednoznačně zadat výchozí bod, od kterého se již nástroj posouvá po dané kontuře. [6]

5.1 Korekce délkové

Rozdíly mezi jednotlivými délkami nástrojů se udávají v kartézských souřadnicích. Hodnota tohoto rozdílu se přičítá k nulovému bodu, ve kterém dochází k výměně nástroje. Tyto hodnoty by měly být zjištěny pro všechny používané nástroje pro dané obráběcí centrum, a to z důvodu usnadnění práce (každý nedostatek následně musí být upraven v programu). Délková korekce se zabývá úpravou hodnot v ose Z (od špičky nástroje z bodu P do nulového bodu výměny nástroje). [7]



L1 – délka 1. nástroje od vřetena

L2 – délka 2. nástroje od vřetena

LK R – korekce délky mezi nástroji 1 a 2

Obr. 16. Délková korekce. [5]

5.2 Korekce průměrové

Průměrové korekce vyhodnocujeme ke středu frézovacího nástroje, každému nástroji jsou přičteny korekce v osách Y, X a jsou vztaženy k poloměru nikoli k průměru. Důvod aplikace průměrové korekce je totožný jako u délkové korekce. [8]

5.3 Korekce rádiusové

Z důvodů geometrie výrobku a přesnosti rozměrů se u všech nástrojů v dnešní době zjišťují rádiusové korekce. U korekce je nutný výpočet ekvidistanty, která konfiguruje dráhu nástroje. Novější obráběcí centra mají v řídicím systému programové funkce (G41, G42 a G40), tyto funkce umožňují konfiguraci rádiusové korekce.

Tato korekce může být opomenuta pouze v případech např. frézování drážek o shodné šíři jako je průměr frézy nebo frézování kontury, kde se programuje k ose rotace nástroje.

- G41 – Funkce je použita v případě, že se nástroj nachází vlevo od kontury. Skutečná dráha nástroje je sloučena s ekvidistantou s připočteným rozdílem o poloměr nástroje.
- G42 – Funkce je použita v případě, že se nástroj nachází vpravo od kontury.
- G40 – Ruší předešlé funkce G41 a G42, používá se po dokončení kontury a zadává se před odjezdem nástroje do výchozího bodu. [7]

5.4 Zjišťování korekcí v praxi

- Koncové měrky (korekce délková)

Na koncovou měrku, postavenou na technologické základně, pomalu najíždí špička nástroje. Pomalým přísuvem a současným smýkáním koncové měrky mezi technologickou základnou a nástrojem se vymezí co možná nejmenší vůle.

- Třmenový mikrometr (korekce průměrová)

Zvolíme výchozí nástroj jakožto nulový, změříme jej a připočteme od něho k jednotlivým nástrojům rozdíl daný jejich geometrií.

- Dotyková sonda (korekce délková, průměrová)

Stroj vybavený dotykovou sondou a náležitým řídicím systémem změří jednotlivé nástroje, následně se automaticky zapíše tyto zjištěné korekce do tabulky nástrojů. Tímto způsobem

odpadá záměna jednotlivých korekcí mezi nástroji, neboť stroj si nástroje vede pod určitým číslem a přiřazuje jim jejich naměřenou korekci. [9]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 KONSTRUKCE KOPÍROVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Cílem práce je vytvoření technické dokumentace, řešení pohyblivosti zařízení stroje a jeho celkové ekonomické zhodnocení.

V části zabývající se řešením pohyblivosti bude provedena analýza s použitím FEM v programu Catia V5R18, pomocí kterého bude určen následně použitý materiál, bude brán zřetel na tuhost soustavy, a především na vyměnitelnost jednotlivých dílů (normalizované dílce) a na jednoduchost obsluhy.

Výkresová dokumentace bude zahrnovat výkresy všech vyráběných dílů, celkovou sestavu a kusovník.

V ekonomickém zhodnocení bude rozebrána cena jednotlivých normalizovaných polotovarů, norma spotřeby materiálu, kalkulace výrobku a následně celkové zhodnocení.

6.1 Řešení pohyblivosti zařízení

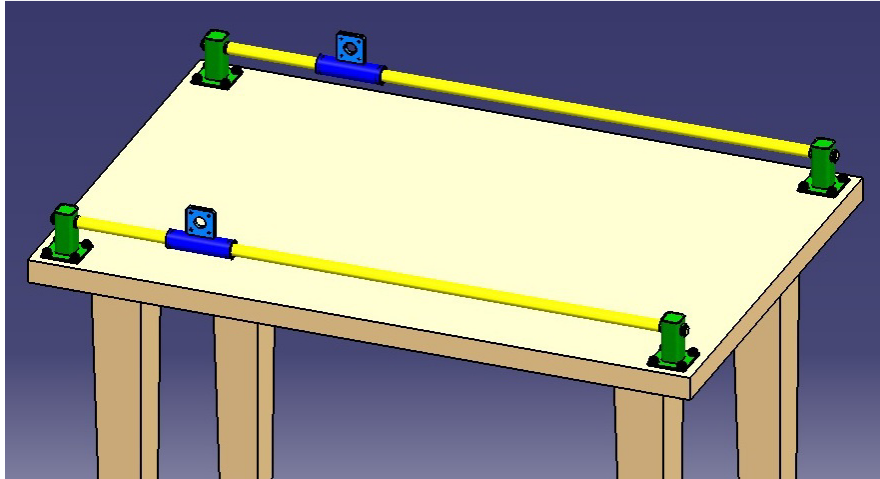
Existuje mnoho konstrukcí kopírovacích zařízení a strojů, avšak většina je limitována svými rozměry jak prostorovými tak pracovními. Dosavadní kopírovací stroje a zařízení se vyznačují i značnou náročností na obsluhu a složitou údržbou (mnoho nevyměnitelných dílčích dílů).

Aby kopírovací zařízení bylo co nejvíce přínosné, účelné a efektivní, musely být vyřešeny hlavní pohyby zařízení, a to ve směru os x , y . Úběr materiálu byl realizován rotací kolem osy y .

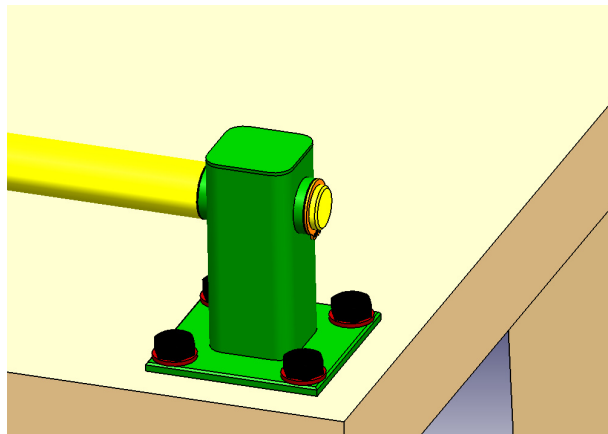
6.1.1 Pohyb podélný

Podélný posuv zajišťují dvě vodící tyče (žlutá barva) o průměru 25 mm z materiálu Cf53 (1.1213), povrch je kalený (HRC 62 +/-2). Vodící tyče jsou uloženy v ustavovacích pouzdech (světle zelená barva) v toleranci k6/H7 a zajištěny pojistným kroužkem (oranžová barva). Ustavovací pouzdra jsou součástí kotvících těles (světle zelená barva), které jsou přišroubovány šrouby M10 k pracovní desce (běžová barva).

Hlavním prvkem podélného posuvu jsou lineární pojezdy, umožňující posuv v ose x (tmavě modrá barva), tyto pojezdy obsahují lineární kuličková pouzdra, která jsou zajištěna pojistnými kroužky a stíracími kroužky, které zajišťují čistý povrch pro lineární kuličková pouzdra. Součástí lineárního pojezdu je kotvící část příčného vedení (světle modrá barva).



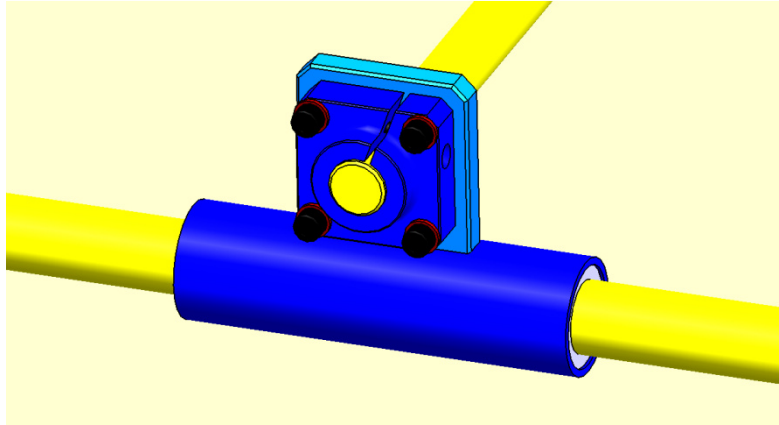
Obr. 17. Pohyb podélný.



Obr. 18. Detail uchycení vodící tyče a podélného posuvu.

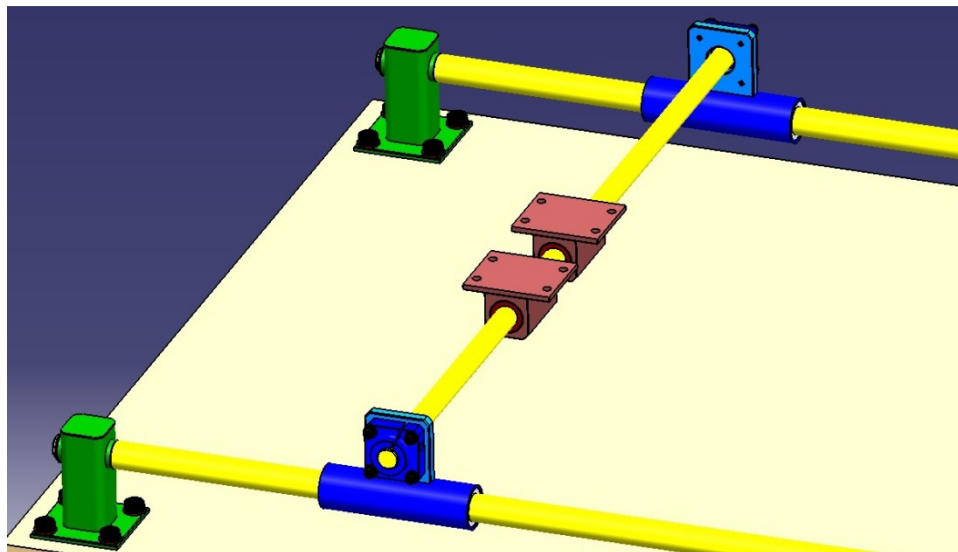
6.1.2 Pohyb příčný

Příčný posuv zajišťuje vodící tyč (žlutá barva) o průměru 20 mm z materiálu Cf53 (1.1213), povrch je kalený (HRC 62 +/-2). Vodící tyč je uchycena v přírubě FWBA – 20 (tmavě modrá barva), která je pevně spojena imbusovými šrouby M6 s kotvící částí příčného vedení (světle modrá barva).



Obr. 19. Detail uchycení příčného vedení k podélnému pojezdu.

Hlavními prvky příčného posuvu a zároveň úhlového přísuvu jsou lineární sety (starorůžová barva), opatřené samomaznými teflonovými kluznými pouzdry (oranžovohnědá barva). Ty umožňují posuv v ose y a rotaci kolem ní. Samomazná bronzová kluzná pouzdra byla zvolena ze tří důvodů, a to: značné tlumení vibrací, dostatečné tuhosti (značný vliv na samotný posuv oproti kuličkovým pouzdrům) a dlouhé životnosti.



Obr. 20. Pohyb příčný.

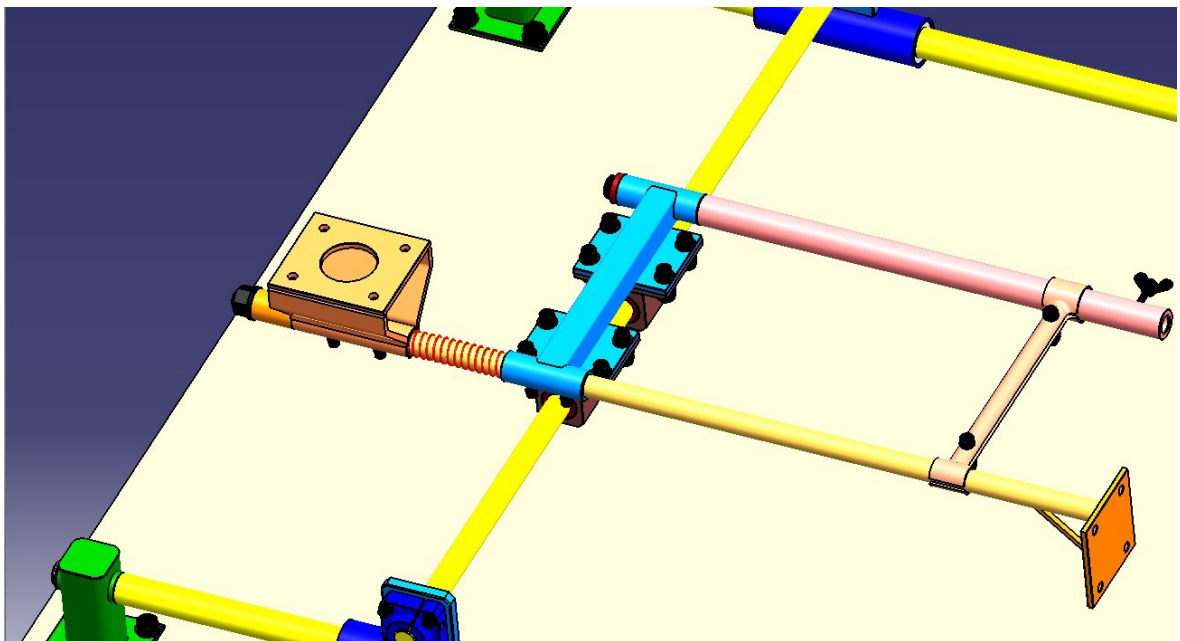
6.1.3 Úhlový přísuv

Dvojice lineárních setů je pevně spojena s ustavovací částí úhlového přísuvu (světle modrá barva) pomocí imbusových šroubů M8. Ustavovací část úhlového přísuvu slouží zároveň jako nosný prvek pro rameno frézovacího zařízení (světle žlutá barva) a rameno kopírovací jehly (růžová barva).

Kopírovací rameno je uchyceno přes hrubou podložku pomocí šroubu M10 x 1,25 v pouzdře s uložením k6/H7.

Rameno frézky je uchyceno v pouzdře pomocí dvou imbusových šroubů M6 (možnost regulace vyložení ramene). Rameno je z jedné strany obrobena, obrobena je dosedací plocha pro ustavení vodícího pouzdra (světle oranžová barva) elektromotoru, na kterém je navařena konstrukce (světle oranžová barva) pro uchycení samotného elektromotoru. Vodící pouzdro elektromotoru je po dosažení určité vzdálenosti (vzdálenost se odvíjí od použitých řemenic a délky plochého řemene) uchyceno pomocí imbusových šroubů M6. Z druhé strany je k ramenu navařena kotvící plocha pro ustavovací kostku frézky (oranžová barva) a pro zvýšení tuhosti byla navařena podpěra mezi rameno a kotvící plochu (oranžová barva).

Při samotném obrábění a manipulaci se zařízením by mohlo docházet k nerovnoběžnosti ramen vůči sobě navzájem působením vnějších sil, proto jsou ramena k sobě pevně spojena spojkou, tedy tyčí tvaru I (narůžovělá barva).



Obr. 21. Úhlový přísuv.

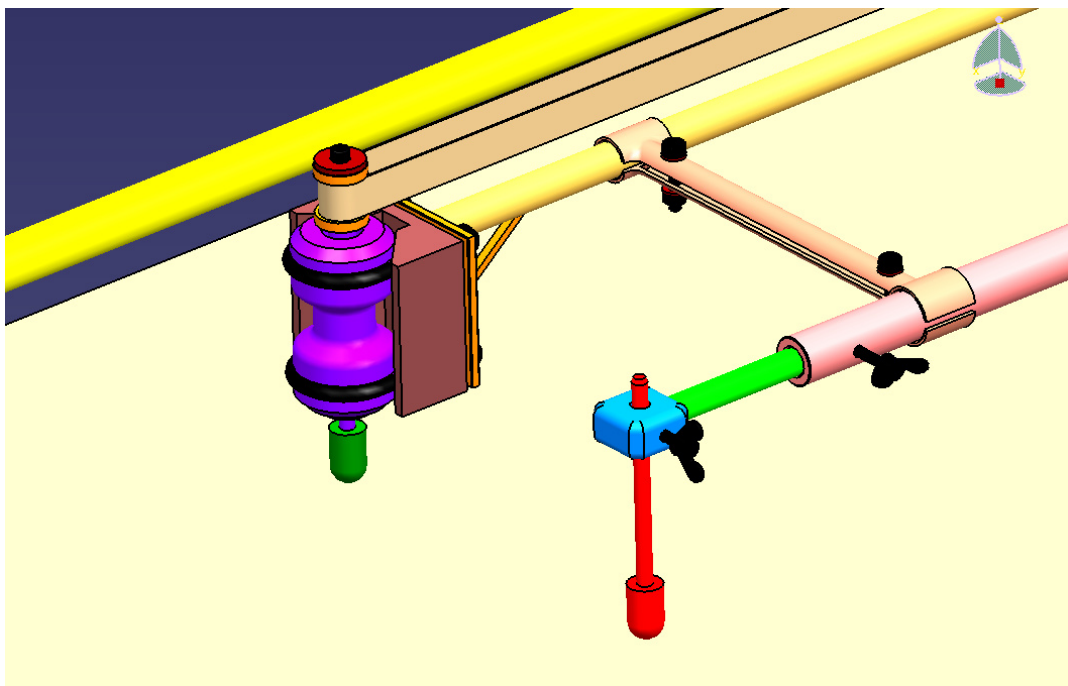
Umístění motoru na druhém konci ramene frézovacího zařízení je záměrné, a to z důvodu bezpečnosti při obrábění dílce (obrábění probíhá pouze, když pracovník ovládá zařízení). Bylo využito váhy motoru a jeho kotvení jako protizávaží vůči váze kopírovacího ramene, kopírovací jehly a ramene frézky spolu s ustavovacími aspekty, frézku a nástrojem.

6.1.4 Pohon kopírovacího zařízení

- Frézka, fréza a kopírovací jehla.

Kopírovací rameno (růžová barva) má vnitřní otvor pro usazení ramene kopírovací jehly (světle zelená barva). Rameno je zaaretováno křídlovým šroubem M6, pro rychlou manipulaci při seřízení délkových korekcí nástrojů v ose x. Rameno kopírovací jehly je našroubováno do ustavovací kostky kopírovací jehly (světle modrá barva). Ustavovací kostka slouží pro seřízení délkových korekcí nástrojů v ose y, poloha kopírovací jehly (červená barva) je zajištěna křídlovým šroubem M6.

Na rameno frézky (světle žlutá barva) je navařena kotvící plocha (oranžová barva) s otvory o průměru 8,2mm. Na kotvící plochu je přes ustavovací kostku (hnědá barva) připevněna frézka (fialová barva) pomocí třmenových šroubů M8. Poloha frézky je neměnná, pouze v ose x může docházet k posuvu a to v případě zvolení jiného typu plochého řemene, hnací nebo hnací řemenice, eventuálně volbou váhově jiného elektromotoru.



Obr. 22. Detail kopírovacího a frézovacího ramene.

- Ustavení nástrojů.

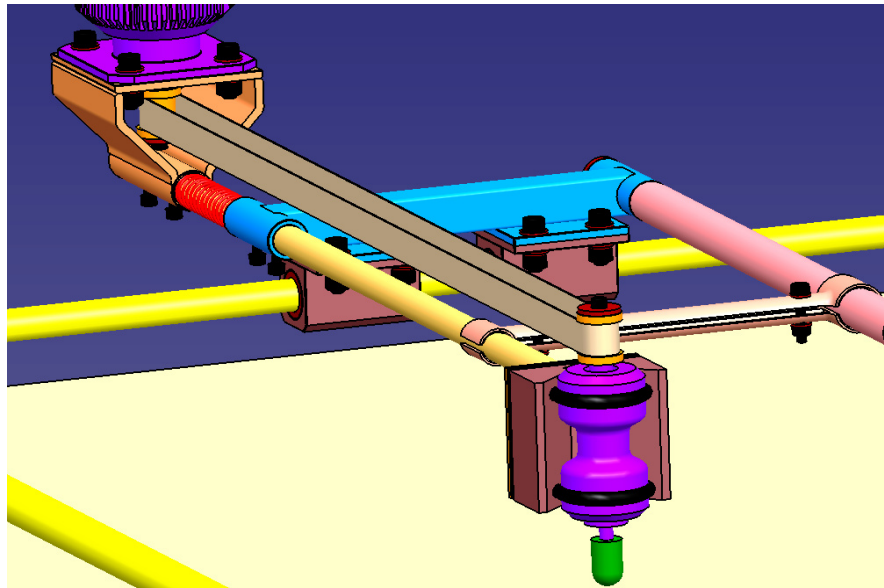
Veškeré korekce jsou seřizovány na kopírovací jehle (červená barva). Délková korekce v ose x je zajištěna pohybem ramene kopírovací jehly (světle zelená barva) v dutině tyče (růžová barva). Tato korekce se seřizuje pomocí analogového úchylkoměru a vodící lišty, následně je tato poloha zajištěna šroubem. Délková korekce v ose y je zajištěna pohybem

kopírovací jehly v ustavovací kostce (světle modrá barva). Čela nástroje (tmavě zelená barva) a kopírovací jehly se opřou o etalon, následně zajistí šroubem.

Tyto délkové korekce jsou prováděny vždy při výměně nástroje (každý nástroj má svoji příslušnou kopírovací jehlu s odpovídající geometrií bříty).

- Pohon.

Hnací a hnaná řemenice (oranžová barva) pro plochý řemen mají stejný průměr, otáčky se regulují potenciometrem integrovaným na elektromotoru. Mezi řemenicemi je napnut plochý řemen (šedá barva), dopnutí řemene je uskutečněno pomocí tlačné pružiny (červená barva).



Obr. 23. Pohon kopírovacího zařízení.

- Výpočet plochého řemene

Stanovení délky řemene:

$$L = \frac{\pi}{2} \cdot (D1 + D2) + 2y + \frac{(D1 + D2)^2}{4y} \quad (1)$$

Po dosazení

$$L = \frac{\pi}{2} \cdot (20 + 20) + 2 \cdot 695 + \frac{(20 + 20)^2}{4 \cdot 695} = 1453,4 \Rightarrow 1455 \text{ mm}$$

Výpočet obvodové rychlosti:

$$V = \frac{\pi \cdot D1(m) \cdot n1}{60} \quad (2)$$

Po dosazení

$$V = \frac{\pi \cdot 0,02 \cdot 2860}{60} = 2,99 \Rightarrow 3 \text{ m/s}$$

Obvodová rychlost může být zvýšena změnou průměrů hnané nebo hnací řemenice. Dojde ke změně úhlu opásání, který je v tomto provedení u obou řemenic stejný.

Výpočet úhlu opásání:

$$\beta_1 = 180 - 60 \cdot \frac{(D1 + D2)}{y} \quad (3)$$

$$\beta_2 = 360 - \beta_1 \quad (4)$$

Po dosazení do rovnic 3 a 4

$$\beta_1 = 180 - 60 \cdot \frac{(20 + 20)}{695} = 178^{\circ}56' \Rightarrow \beta_2 = 181^{\circ}04'$$

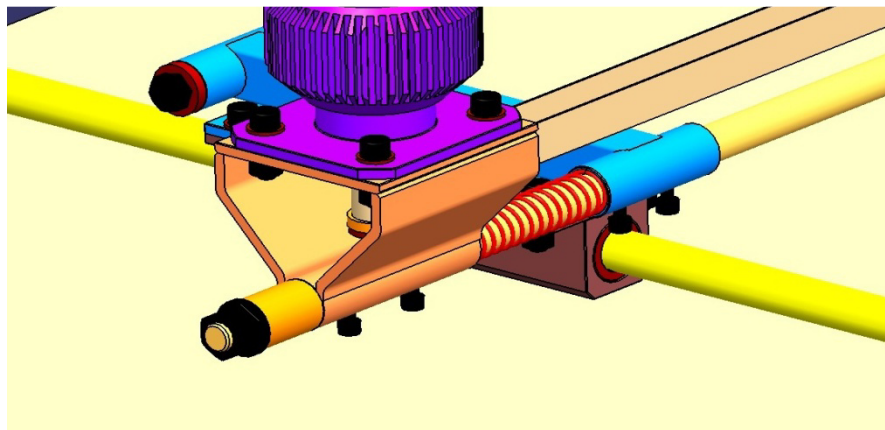
Napětí v řemenu:

$$Pc = \frac{N}{V} \quad (5)$$

Po dosazení

$$Pc = \frac{550}{3} = 183,34 \Rightarrow 200 \text{ N}$$

Podle napětí v řemenu byla zvolena odpovídající tuhost tlačné pružiny. Tlačná pružina se rozpíná mezi pouzdry a tím napíná plochý řemen. Díky osovému uložení nemůže dojít ke vzpěrnému vybočení pružiny. Výsledné napětí řemene je dáno polohou přítlačné matice, a tím i tlačné trubky (oranžová barva).



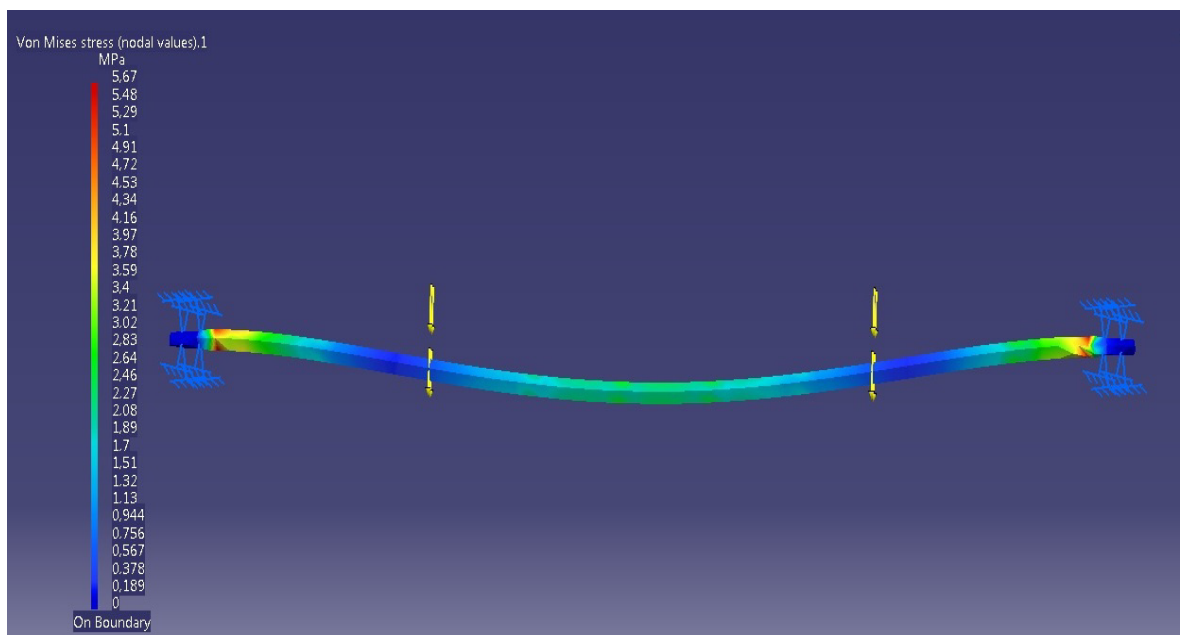
Obr. 24. Detail na uchycení elektromotoru.

6.2 Zátěžové analýzy

- Pohyb podélný

Analýza byla řešena pro nejvíc zatěžující případ, tj. veškerá váha zařízení je přenesena pouze na jednu stranu podélného posuvu (na vodící tyč). A to tak, že první zatížení je zaměřeno na maximální ohybové napětí a průhyb vodící tyče a druhé zatížení na maximální smykové napětí a otlacení v uložení tyče.

Maximální ohybové napětí, průhyb (posunutí):



Obr. 25. Maximální ohybové napětí.

$$F_{Max} = F_{R1} = F_{R2} \quad (6)$$

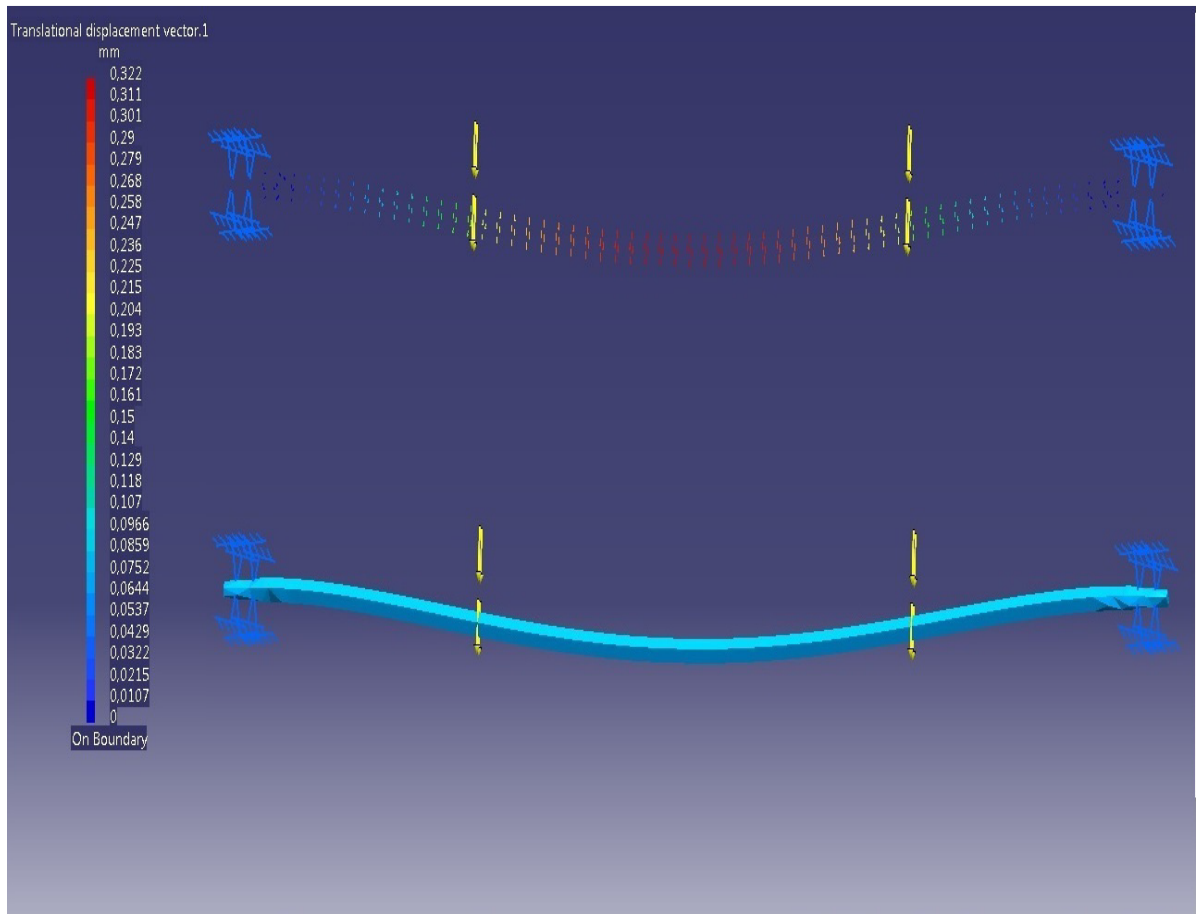
$$F_{Max} = \frac{F}{2} \quad (7)$$

$$M_{OMax} = \frac{F_{Max}}{2} \quad (8)$$

$$\sigma_o = \frac{|M_{OMax}|}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (9)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot D^3_{pod}}{32} \quad (10)$$

Maximální ohybové napětí při zatěžující síle $F = 162,23 \text{ N}$ (síla je složena z hmotností zbylých posuvů a pohonu) je $5,67 \text{ MPa}$. Dovolené ohybové napětí je 300 MPa , tyč o $\varnothing 25 \text{ mm}$ a délce $l = 1250 \text{ mm}$ po stránce ohybového napětí vyhovuje.



Obr. 26. Maximální průhyb (posunutí).

$$\delta_{Max} = \frac{F}{192 \cdot EI} \cdot l^3 = \frac{1}{4} \cdot \frac{F}{9,807} \cdot l^3 \cdot C \quad (11)$$

$$C = \frac{1}{48} \cdot EI \quad (12)$$

Při zatěžující síle F je maximální průhyb 0,322 mm, pro lineární vedení realizovanými kuličkovými pouzdry je toto prohnutí ve středních hodnotách použitelnosti (0,01 – 0,5 mm; tyto hodnoty pochází z doporučených parametrů od firmy Matis.s.r.o.).

Maximální smykové napětí, kontrola na otláčení:

$$p = \frac{F}{S_{otl}} = \frac{F}{l_o \cdot D_o} \leq p_D \quad (13)$$

Po dosazení:

$$p = \frac{162,24}{50 \cdot 20} = 0,162 \leq 0,4 [MPa] \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot D_{pod}^2}{4}} \leq \tau_D \quad (14)$$

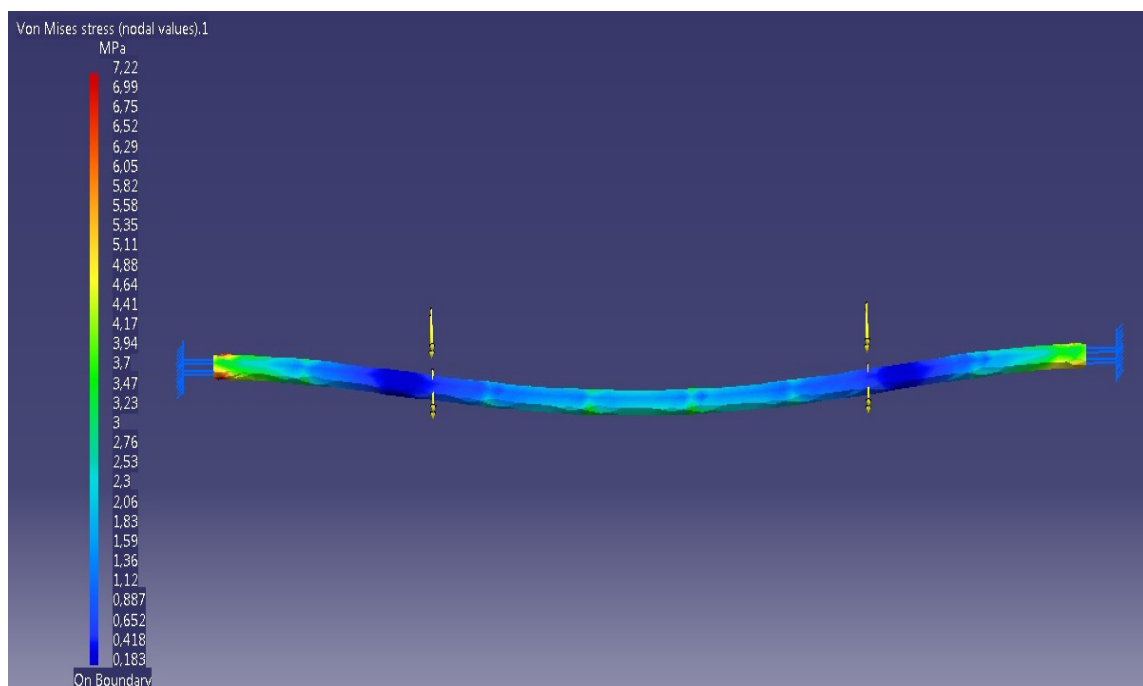
Po dosazení:

$$\tau = \frac{162,24}{\frac{\pi \cdot 20^2}{4}} = 0,516 \leq 125 [MPa] \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- Pohyb příčný

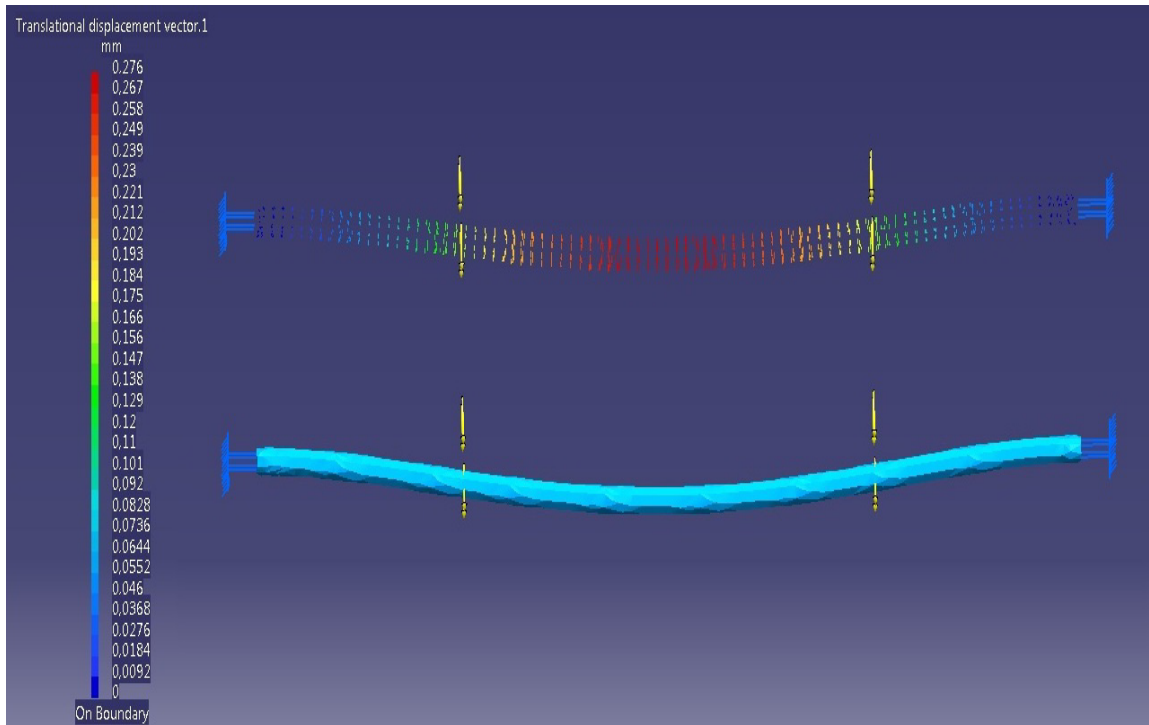
Analýza byla řešena pro nejvíc zatěžující případ, tj. veškerá váha zařízení je přenesena pouze na jednu stranu příčného posuvu (na vodící tyči). A to tak, že první zatížení je zaměřeno na maximální ohybové napětí a průhyb vodící tyče a druhé zatížení na maximální smykové napětí a otlacení v uložení tyče.

Maximální ohybové napětí, průhyb (posunutí):



Obr. 27. Maximální ohybové napětí.

Maximální ohybové napětí při zatěžující síle $F = 139,12 \text{ N}$ (síla je složena z hmotnosti příčného přísuvu, části příčného posuvu a pohonu) je $7,22 \text{ MPa}$. Dovolené ohybové napětí je 300 MPa , tyč o $\varnothing 20 \text{ mm}$ a délce $l = 860 \text{ mm}$ po stránce ohybového napětí vyhovuje.



Obr. 28. Maximální průhyb (posunutí).

Při zatěžující síle F je maximální průhyb 0,276 mm, pro lineární vedení, realizované kluznými pouzdry, je toto prohnutí v hraničních hodnotách použitelnosti (0,005 – 0,3 mm; hodnoty pochází z parametrů od firmy Matis s.r.o.).

Kluzná pouzdra byla volena z důvodu větší tuhosti a tlumení rázů a vibrací vznikajících při obrábění.

Maximální smykové napětí, kontrola na otláčení:

Vzorce z předešlé sekce (podélný posuv).

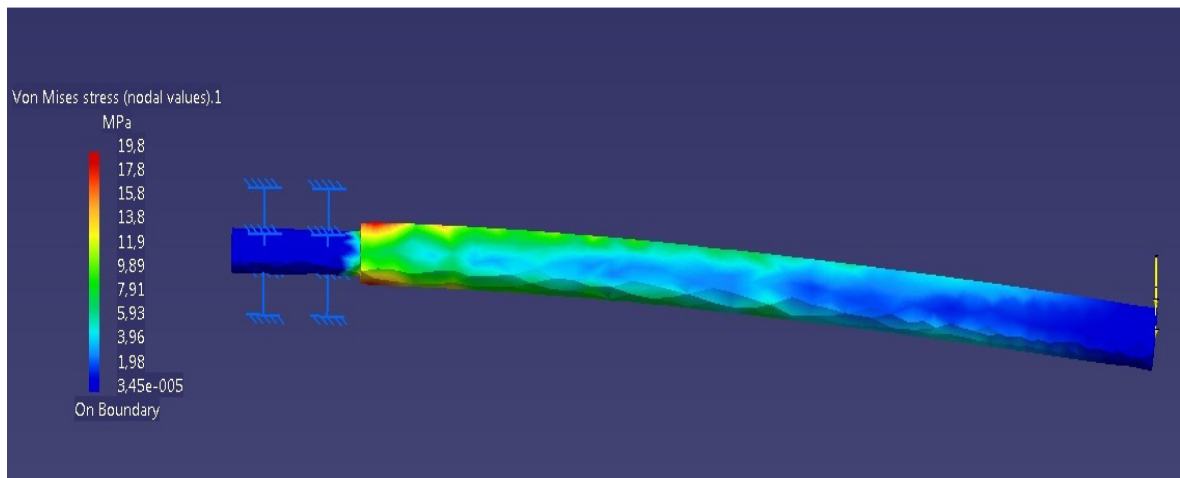
$$\tau = 0,443 \leq 125 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$

$$p = 0,302 \leq 0,4 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$

- Úhlový přísuv

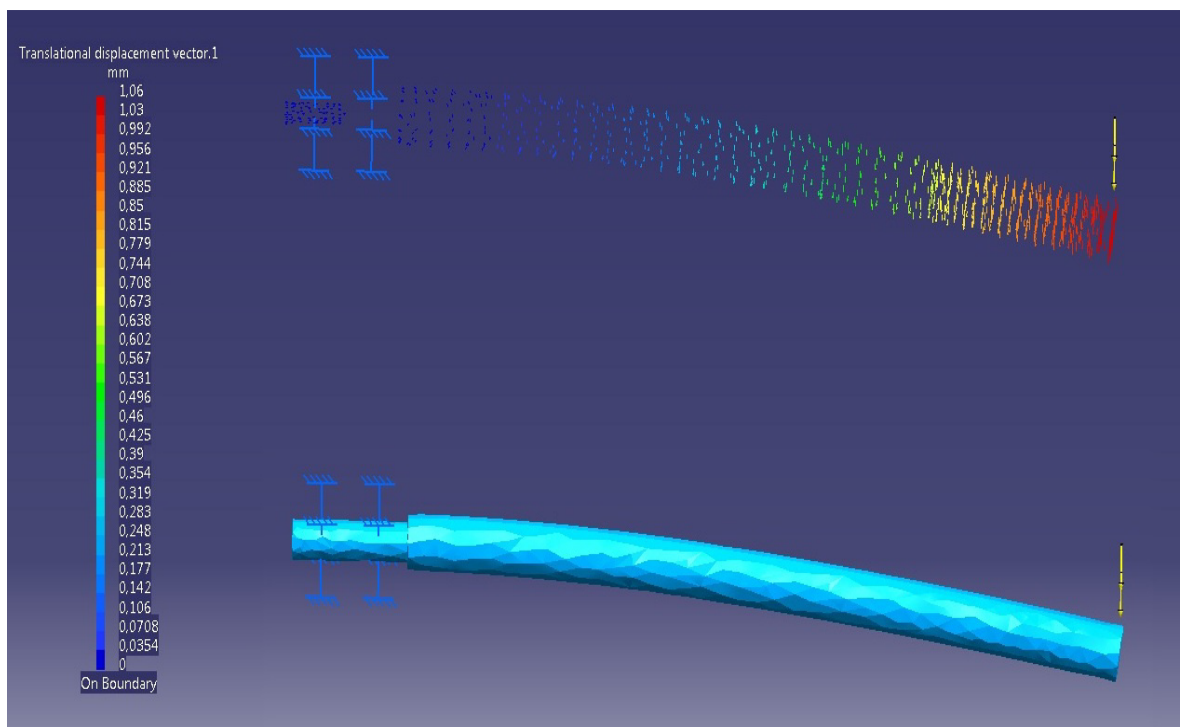
Analýza byla rozdělena na dvě části, a to pro rameno kopírovací a rameno frézky. U obou ramen bylo zjišťováno maximální ohybové napětí, ohyb na konci tyče, smykové napětí a otláčení v uložení.

Rameno kopírovací - maximální ohybové napětí, ohyb (posunutí):



Obr. 29. Maximální ohybové napětí.

Maximální ohybové napětí při zatěžující síle $F = 100 \text{ N}$ (síla je složena z hmotnosti pohonu a dílčích částí úhlového přísuvu) je 19,8 MPa. Dovolené ohybové napětí je 100 MPa, tyč o $\varnothing 25 \text{ mm}$ a délce $l = 460 \text{ mm}$ po stránce ohybového napětí vyhovuje.



Obr. 30. Maximální ohyb (posunutí).

Při zatěžující síle F je maximální ohyb 1,06 mm, na obráběcí proces tento ohyb nemá vliv, při ustavování nástrojů se tento ohyb eliminuje. Výsledný ohyb bude v praxi menší, a to z důvodu použití spojky tyčí I.

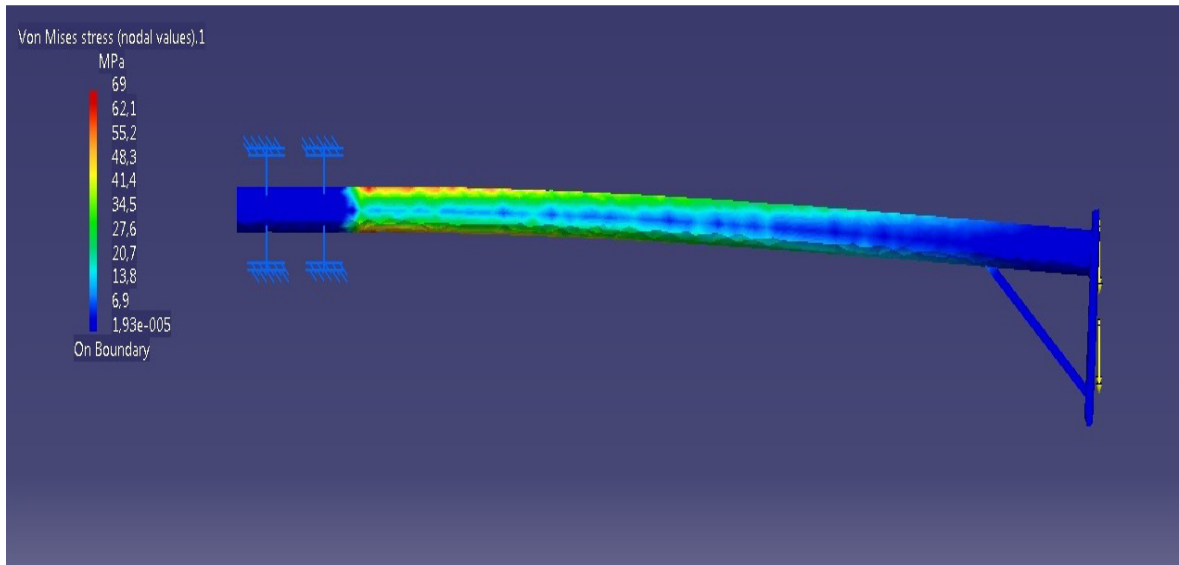
Maximální smykové napětí, kontrola na otláčení:

Vzorce z předešlé sekce (podélný posuv).

$$\tau = 0,204 \leq 207 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$

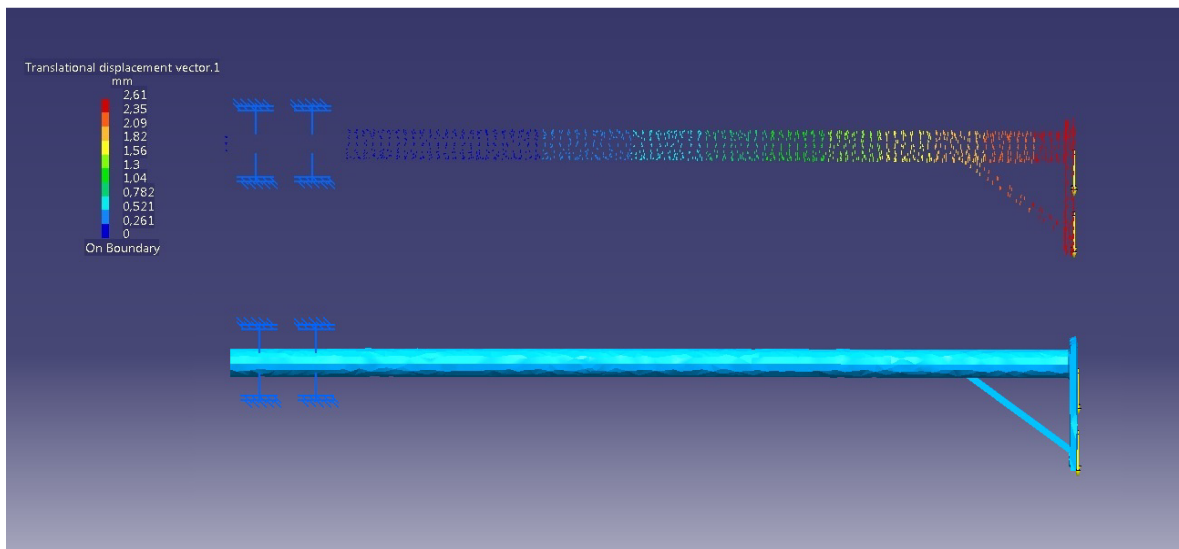
$$p = 0,085 \leq 0,2 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$

Rameno frézky (část uchycení frézky) - maximální ohybové napětí, ohyb (posunutí):



Obr. 31. Maximální ohybové napětí.

Maximální ohybové napětí při zatěžující síle $F = 100 \text{ N}$ je 69 MPa . Dovolené ohybové napětí je 100 MPa , tyč o $\varnothing 18 \text{ mm}$ a délce $l = 520 \text{ mm}$ po stránce ohybového napětí vyhovuje.



Obr. 32. Maximální ohyb (posunutí).

Při zatěžující síle F je maximální ohyb 2,6 mm, na obráběcí proces tento ohyb nemá vliv. Pomocí spojky tyčí I bude ohyb přenesen i do kopírovacího ramene, tím dojde ke zmenšení ohybu (vzroste tuhost).

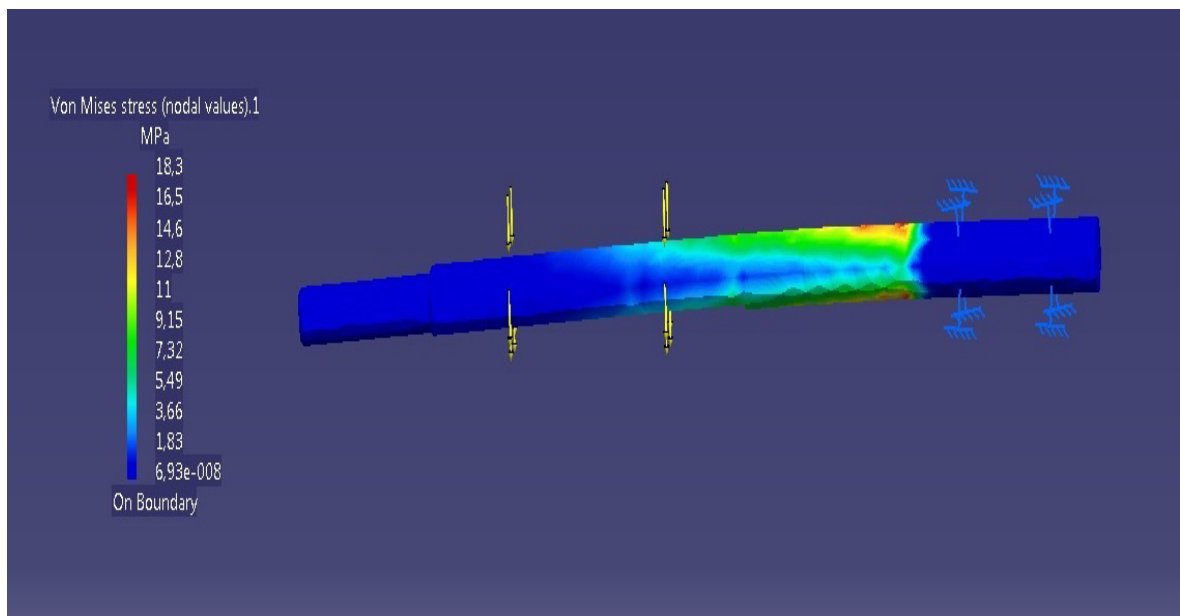
Maximální smykové napětí, kontrola na otláčení:

Vzorce z předešlé sekce (podélný posuv).

$$\tau = 0,393 \leq 207 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$

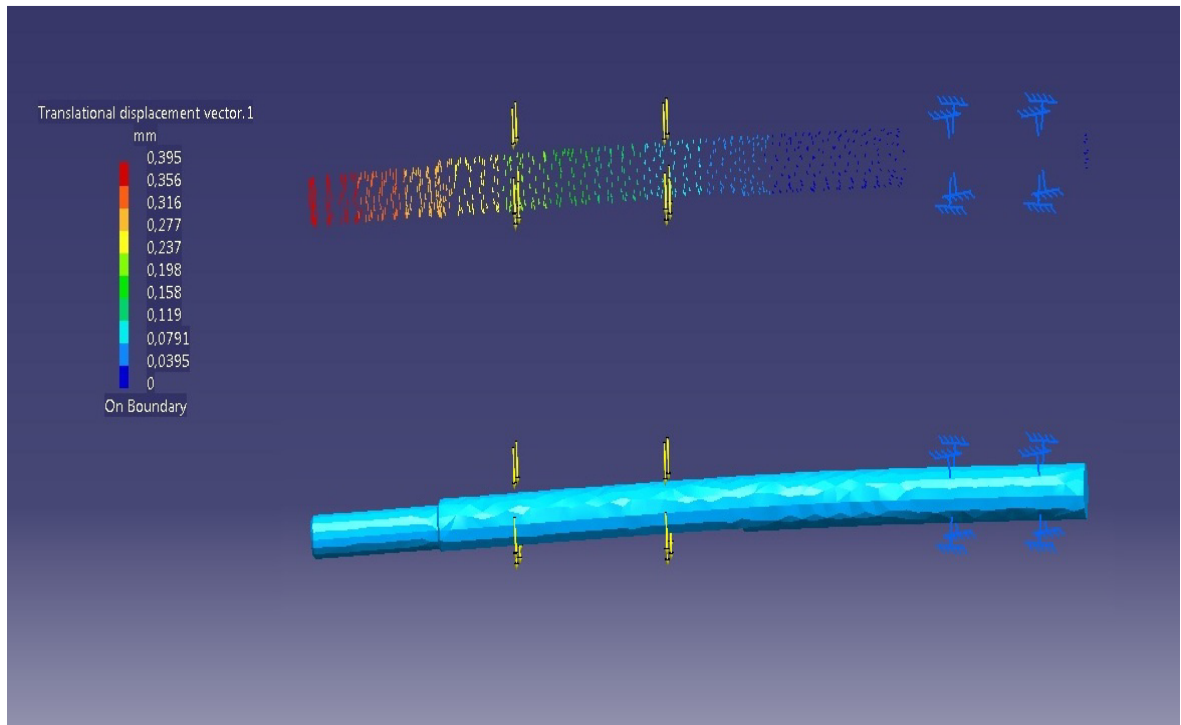
$$p = 0,079 \leq 0,2 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$

Rameno frézky (část uchycení motoru) - maximální ohybové napětí, ohyb (posunutí):



Obr. 33. Maximální ohybové napětí.

Maximální ohybové napětí při zatěžující síle $F = 100 \text{ N}$ je 18,3 MPa. Dovolené ohybové napětí je 100 MPa, tyč o $\varnothing 18 \text{ mm}$ a zatěžující délce $l = 265 \text{ mm}$ po stránce ohybového napětí vyhovuje.



Obr. 34. Maximální ohyb (posunutí).

Při zatěžující síle F je maximální ohyb 0,395 mm, tento ohyb je zanedbatelný, neboť v místě osy elektromotoru kde je připevněna řemenice je posunutí v rozmezí 0,16 – 0,2 mm. Úhlové vychýlení řemenic vůči sobě (smekání řemenu z řemenice) je teoreticky nemožné (řemenice jsou opatřeny náběhovými hranami).

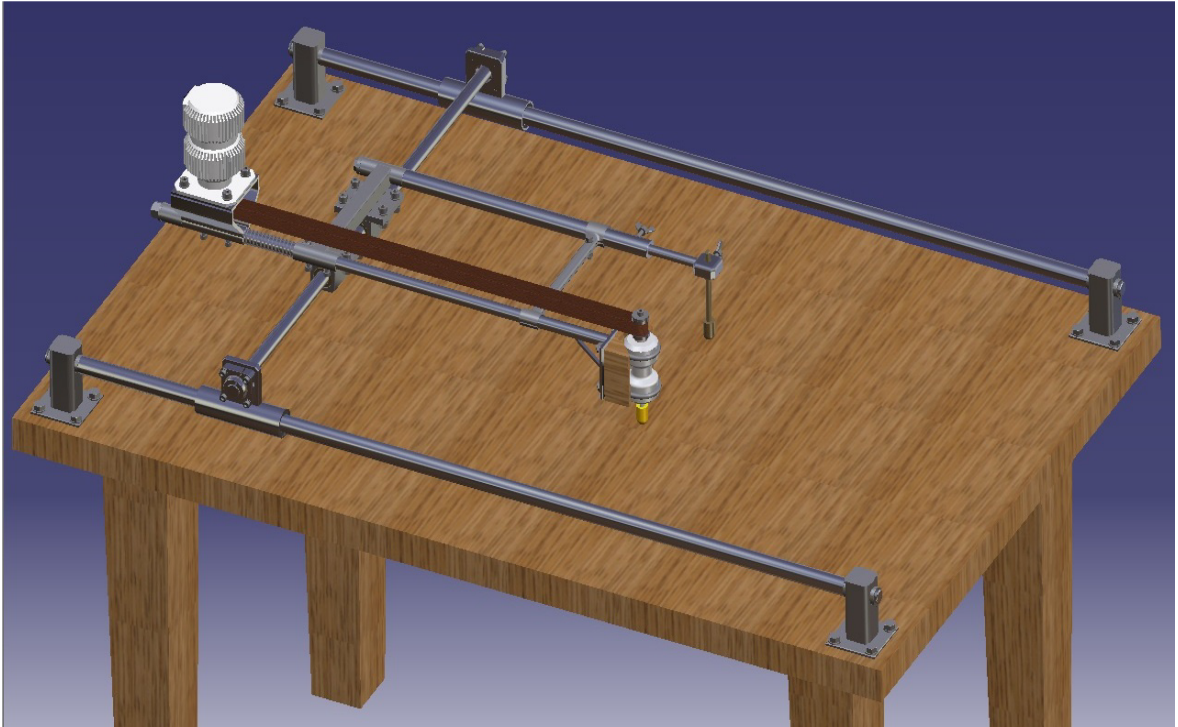
Maximální smykové napětí, kontrola na otláčení:

Vzorce z předešlé sekce (podélný posuv).

$$\tau = 0,393 \leq 207 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$

$$p = 0,079 \leq 0,2 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$

6.3 Zhodnocení použitého materiálu



Obr. 35. Celkový pohled na kopírovací zařízení.

Veškeré jednotlivé díly byly voleny tak, aby byly v první řadě normalizované a běžně dostupné, v druhé řadě byl brán zřetel na nejjednodušší výrobu nenormalizovaných dílů.

V podélném posuvu byla záměrně zvolena lineární kuličková pouzdra, a to z důvodu lehčí manipulace při dlouhém obráběcím úseku, kde by běžná kluzná pouzdra kladla příliš velký odpor.

V příčném posuvu a zároveň úhlovém přísuvu byla použita kluzná pouzdra, kde byla využita jejich tuhost, větší odpor proti posuvu (přesnější vedení kopírovacího ramene) a především značné tlumení vibrací vznikající při obrábění.

Kopírovací rameno a rameno frézky je vyrobeno ze slitiny hliníku, využito bylo její nízké hmotnosti při zachování dobrých mechanických vlastností. Při použití standardní oceli, která by svými vlastnostmi vyhovovala, ovšem nastává problém s hmotností a bylo by pak nutné použít větších průměrů přesných vodících tyčí.

Pohon – plochý řemen: plochý řemen byl zvolen z důvodu menší síly potřebné k napnutí řemene oproti běžně používaným klínovým řemenům. Má pouze jednu styčnou plochu a jeho opásání na řemenici je přibližně 180°. Díky těmto skutečnostem dojde v krizových chvílích k prokluzu řemene a tím k ochraně nástroje a obrobku.

7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické zhodnocení slouží pro výpočet nákladů na výrobu navrženého zařízení dle popsaného technologického postupu, dále k určení prodejní ceny a návratnosti investice. Sumy jednotlivých složek nákladů jsou určeny podle dostupných ceníků zveřejněných na internetu, případně zaslaných přímo dodavatelskou společností. Normy spotřeby času a materiálu jsou stanoveny měřením při výrobě tohoto přístroje.

Zařízení se bude vyrábět v kusové, případně malosériové výrobě a lze upravovat některé jeho vlastnosti podle přání zákazníka (rozměry pracovní plochy, tuhost, výkon motoru). Z tohoto důvodu se jedná o kalkulaci předběžnou, kde provedené výpočty jsou pouze orientační. Předpokladem je firma zabývající se výrobou lehkých, případně i těžkých technických zařízení.

7.1 Ceník a normy spotřeby materiálu

Přímý materiál na výrobu kopírovacího zařízení je rozdělen dle jednotlivých částí, sestav a podsestav a koresponduje se strukturou kusovníku. V jednotlivých tabulkách je u každé položky uvedena měrná jednotka, její cena a norma spotřeby včetně zakalkulované ztráty.

Ceny jsou uvedeny v Kč včetně DPH.

Tab. 2. Ceník – podélný posuv.

Ceník - T - 002 - 03					
Pozice	Položka	Cena 1 MJ [Kč]	MJ	NSm	Cena [Kč]
1	Pracovní deska - 1420 x 920 x 850	6515,00	ks	1	6515,00
2	Stojan (svařenec)	124,82	ks	4	499,28
3	Vodící tyč (W25)	1296,15	m	2,7	3499,61
4	Lineární pojezd (svařenec)	83,18	ks	2	166,36
5	Ložisko KH-2540	304,00	ks	4	1216,00
6	Pojistný kroužek 35	1,24	ks	4	4,96
7	DLR/LS/LXS - 25	19,00	ks	4	76,00
8	Pojistný kroužek 20	0,63	ks	4	2,52
9	Šroub M10 x 70	13,00	ks	16	208,00
10	Podložka 10,5	0,34	ks	32	10,88
11	Podložka 10	0,22	ks	16	3,52
12	Matice M10	0,30	ks	16	4,80
	Celkem				12206,9

Tab. 3. Ceník – podélný posuv - stojan.

Ceník - T - 002 - 03 - 001					
Pozi- ce	Položka	Cena 1 MJ [Kč]	M J	NSm	Cena [Kč]
1	Podélný posuv - stojan TR 4HR 40 x 3	1305,26	m	0,09	117,47
2	Podélný posuv - pouzdro TR Ø25 x 3	72,00	m	0,05	3,60
3	Podélný posuv - kryt P 1,5	634,80	m ²	0,001	0,63
4	Podélný posuv - ustavovací část P 4	1555,20	m ²	0,002	3,11
	Celkem				124,82

Tab. 4. Ceník – podélný posuv – lineární pojezd.

Ceník - T - 002 - 03 - 002					
Pozice	Položka	Cena 1 MJ [Kč]	MJ	NSm	Cena [Kč]
1	Podélný posuv - nosná trubka TR Ø 40 x 4	279,80	m	0,137	38,33
2	Ustavovací část příčného uložení 4 HR 70	4485,00	m	0,01	44,85
	Celkem				83,18

Tab. 5. Ceník – příčný posuv.

Ceník - T - 003 - 03					
Pozice	Položka	Cena 1 MJ [Kč]	MJ	NSm	Cena [Kč]
1	Vodící tyč (W20)	987,24	m	0,75	740,43
2	FWBA - 20	907,54	ks	2	1815,08
3	Lineární posuv (svařenec)	318,11	ks	2	636,22
4	Bronzové kluzné pouzdro	34,44	ks	2	68,88
5	Šroub M6 x 25	2,05	ks	8	16,40
6	Podložka 6,4	0,10	ks	8	0,80
7	Šroub M4 x 10	1,30	ks	2	2,60
	Celkem				3280,41

Tab. 6. Ceník – příčný posuv – lineární pojezd.

Ceník - T - 003 - 03 - 001					
Pozi- ce	Položka	Cena 1 MJ [Kč]	MJ	NSm	Cena [Kč]
1	Lineární posuv - domek 4 HR 40 Z	4485,00	m	0,07	313,95
2	Upínací část úhlového přísuvu TYČ PLOCHÁ 80 x 8 Z	594,34	m	0,007	4,16
	Celkem				318,11

Tab. 7. Ceník – úhlový přířuv.

Ceník - T - 004 - 03					
Pozice	Položka	Cena 1 MJ [Kč]	MJ	NSm	Cena [Kč]
1	Ustavovací část úhlového přířuvu (svařenec)	145,65	ks	1	145,65
2	Rameno frézky (sestava)	176,45	ks	1	176,45
3	Úhlový přířuv - kopírovací rameno Ø 25	1108,55	m	0,465	515,06
4	I 25/10/18	12,00	ks	1	12,00
5	Pružina tlačná 2 x 22 x 100 x 13	23,00	ks	1	23,00
6	Dimenzační trubka TR Ø 25 x 4	77,00	m	0,035	2,70
7	Matice M14	1,70	ks	1	1,70
8	Šroub M6 x 25	2,05	ks	1	2,05
9	Šroub M6 x 10	1,94	ks	4	7,76
10	Šroub M6 x 30	2,19	ks	2	4,38
11	Podložka 6,4	0,10	ks	4	0,40
12	Matice M6	0,20	ks	2	0,40
13	Šroub M8 x 25	2,80	ks	8	22,40
14	Podložka 8,4	0,30	ks	16	4,80
15	Podložka 8	0,12	ks	8	0,96
16	Matice M8	0,40	ks	8	3,20
17	Podložka M10,5	1,50	ks	1	1,50
18	Šroub M10 x 1,25 x 30	3,82	ks	1	3,82
	Celkem				928,22

Tab. 8. Ceník – úhlový přířuv – ustavovací část.

Ceník - T - 004 - 03 - 001					
Pozice	Položka	Cena 1 MJ [Kč]	MJ	NSm	Cena [Kč]
1	Úhlový přířuv - ustavovací pouzdro KR 25h11	304,26	m	0,07	21,30
2	Úhlový přířuv - rozpěra TR 4HR 28 x 2	90,20	m	0,22	19,84
3	Úhlový přířuv - upínací část TYC PLOCHÁ 80 x 8 Z	594,34	m	0,14	83,21
4	Úhlový přířuv - ustavovací pouzdro frézky KR 25h11	304,26	m	0,07	21,30
	Celkem				145,65

Tab. 9. Ceník – úhlový přísuv – rameno frézky.

Ceník - T - 004 - 03 - 002					
Pozice	Položka	Cena 1 MJ [Kč]	MJ	NSm	Cena [Kč]
1	Úhlový přísuv - rameno frézky Ø 18	165,72	m	0,75	124,29
2	Úhlový přísuv - držák frézky 4 HR 80	5717,31	m	0,005	28,59
3	Úhlový přísuv - podpěra 4 HR 5	53,27	m	0,078	4,16
4	Úhlový přísuv - ustavovací plocha motoru P 5	2856,00	m ²	0,001	2,86
5	Úhlový přísuv - ustavovací vzpěra motoru P 5	2856,00	m ²	0,002	5,71
6	Úhlový přísuv - ustavovací pouzdro motoru Ø 25	108,55	m	0,1	10,86
	Celkem				176,45

Tab. 10. Ceník – pohon.

Ceník - T - 005 - 03					
Pozi- ce	Položka	Cena 1 MJ [Kč]	MJ	NSm	Cena [Kč]
1	Elektromotor (1LA7090-6AA13-ZA11)	1971,88	ks	1	1971,88
2	Řemen plochý FL 1450 x 20 T150	115,86	ks	1	115,86
3	Frézka PROXXON MICROMOT 50/E	829,00	ks	1	829,00
4	Nástroj	-	ks	1	-
5	Prizmatická ustavovací čelist 80 x 80 x 40	3,44	ks	1	3,44
6	Ustavovací tyč kopírovací jehly Ø 14	1038,38	m	0,16	166,14
7	Ustavovací kostka kopírovací jehly 4 HR 40	12407,97	m	0,005	62,04
8	Kopírovací jehla	67,00	ks	1	67,00
9	Řemenice	189,00	ks	2	378,00
10	Podložka 6,4	0,10	ks	2	0,20
11	Šroub M6 x 15	1,98	ks	2	3,96
12	Šroub M8 x 25	2,80	ks	4	11,20
13	Podložka 8,4	0,30	ks	12	3,60
14	Podložka 8	0,12	ks	8	0,96
15	Matice M8	0,40	ks	8	3,20
16	Šroub M8 x 50 x 90	3,23	ks	2	6,46
17	Pero 4e7 x 4 x 20	2,50	ks	1	2,50
	Celkem				3625,44

7.2 Kalkulace výrobku

Kalkulace slouží ke stanovení nákladů na výrobu a konečné ceny výrobku. Obsahuje tři složky: náklady přímé, nepřímé a ziskovou přírážku.

Přímé náklady se pojí přímo s počtem kusů vyráběných kopírovacích zařízení a zahrnují přímý materiál a přímé mzdy. Předpokládaná výše celkových nákladů na materiál je 20 041 Kč (viz. Ceník a normy spotřeby materiálu). Norma spotřeby času na vyrobení jednoho kusu výrobku je 8 Nh na jednoho pracovníka a paušální mzda zaměstnance stanovena na 150 Kč/h. Mzdové náklady na 1 kus výrobku jsou 1200 Kč.

$$VN = 20041 + 1200$$

$$VN = \mathbf{21241\text{ Kč}}$$

Nepřímé náklady jsou odvozeny od způsobu hospodaření firmy a zahrnují celou řadu nákladů přímo nesouvisejících s daným výrobkem, ale nezbytných pro jeho výrobu. Zahrnují se sem odpisy výrobní haly a zařízení, náklady na správu, spotřeba energie atd.

7.3 Celkové zhodnocení

Mezi hlavní výhody zařízení patří multifunkčnost v obrábění rozličných ploch, nízké náklady na provoz, snadná ovladatelnost, vysoká přesnost obrábění, rychlá a snadná vyměnitelnost opotřebovaných dílů. Proto je jeho výroba vhodná pro malé i velké výrobní společnosti rozšiřující své služby.

Hlavní nevýhodou je nutnost přesného ustavení nástrojů a kopírovacích jehel vůči sobě, vysoké nároky na upnutí výrobku (tuhost).

Pro výrobu tohoto zařízení stačí běžně vybavená zámečnická dílna. Využívají se normalizované díly pro nejvíce mechanicky namáhané části zařízení, které podléhají jako první opotřebení. Ostatní vyráběné části zařízení jsou zhotovovány z normalizovaných polotovárů a jejich následná úprava je jednoduchá a časově nenáročná.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout konstrukční řešení problému uvedeného v úvodu. Základní požadavky kladené na konstrukci, jako maximální využití normalizovaných součástí a snadná vyrobiteľnost kteréhokoli dílu, byly splněny. Konstrukce splňuje podmínky přesnosti, které na ni budou v provozu kladeny.

Lze konstatovat:

- z hlediska výroby jsou všechny nenormalizované díly snadno vyrobiteľné i ve standardně vybavených dílnách
- zhotovení navrženého kopírovacího zařízení je méně finančně náročné než nákup obdobného zařízení
- provozní a pořizovací náklady jsou nižší než běžně používané technologie (CNC stroje, vstřikovací stroje)

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788072047222.
- [2] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [3] POPOV, Alexey. *Řezné nástroje: Nástrojové materiály, nástrojové oceli* [online]. Liberec, Technická univerzita v Liberci, ©2012 [cit. 2013-10-01]. Dostupné z: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/kom/KOM_RN_PR_04_CZE_Popop_Nastr_ojove_materialy,_nastrojove_oceli.pdf
- [4] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-600-1.
- [5] HEIDENHAIN [online]. ©2012 [cit. 2013-11-27]. Dostupné z: <http://content.heidenhain.de>
- [6] KARAFIÁTOVÁ, Stanislava. *Technologie 3 – učební texty pro 3. ročník oborů s předměty programování a obsluhou CNC strojů*. Brno, 2001.
- [7] ŠTULPA, Miroslav. *Obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-207-8.
- [8] TRUNDA, Jiří. *Technologie výroby frézováním na CNC strojích*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Karel Osička.
- [9] SVOBODA, Emil. *Technologie a programování CNC strojů*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998.
- [10] VINŠ, Jindřich. *Kluzná ložiska*. Praha: SNTL, 1971. ISBN 04-235-71.
- [11] VOLEK, František. *Základy konstruování a části strojů I*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-654-8.
- [12] Radiální upevnění ložiska. *ZKL GROUP* [online]. ©2010 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/321-radialni-uevneni-loziska>
- [13] POPOV, Alexey. *Řezné nástroje: Slinuté karbidy* [online]. Liberec, Technická univerzita v Liberci, ©2012 [cit. 2013-10-01]. Dostupné z: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/kom/KOM_RN_PR_05_CZE_Popop-Jersak_Slinite_karbidy.pdf

- [14] POPOV, Alexey. *Řezné nástroje: Mineralokeramické a supertvrdé řezné materiály* [online]. Liberec, Technická univerzita v Liberci, ©2012 [cit. 2013-10-01]. Dostupné z: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/kom/KOM_RN_PR_06_CZE_Popov-Jersak_Mineralokeramicke_a_supertvrde_materialy.pdf
- [15] Nová PVD povlakovaná keramika. *WINTER servis s.r.o.* [online]. ©2009 [cit. 2013-12-07]. Dostupné z: <http://www.winter-servis.cz/index.php?page=novinky/2>
- [16] Lineární vedení a pohony. *T.E.A. TECHNIK s.r.o.* [online]. ©2007 [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/linearni-vedeni/>
- [17] Lineární vedení. *Matis s.r.o.* [online]. ©2012 [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://www.matis.cz/cs/kategorie/linearni-vedeni>
- [18] Lineární vedení. *EXVALOS s.r.o* [online]. ©2010 [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://www.exvalos.cz/>
- [19] Samomazná pórovitá ložiska. *JINPO spol. s.r.o.* [online]. ©2008 [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://www.jinpo.cz/vylisky.html>
- [20] Jak vzniká vrtule? *Fiala propellers* [online]. ©2009 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: http://www.vrtule-fiala.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=54&lang=cs
- [21] HOSS, Gabriel. *How It's Made. 701. díl. Airplane Propellers* [epizoda dokumentárního seriálu]. Canada, 2008 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=_VyHg2GXOxw
- [22] Výroba vrtulí. *Kámenští modeláři* [online]. ©2009 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://www.letadelka.com/navody/vyroba-vrtuli/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

D_1	Průměr hnané řemenice [mm].
D_2	Průměr hnací řemenice [mm].
D_o	Průměr otláčované tyče [mm].
E	Modul pružnosti v tahu [MPa].
F	Zatěžující síla [N].
FEM	Finite Element Method (Metoda konečných prvků).
F_{Max}	Maximální zatěžující síla [N].
$F_{R1,2}$	Reakční síly v uložení [N].
HRC	Tvrdost podle Rockwella.
HV	Tvrdost podle Vickerse.
I	Kvadratický moment průřezu [mm ⁴].
KM	Keramické nástrojové materiály.
L	Délka řemenu [mm].
l	Délka tyče [mm].
l_o	Délka otláčované plochy [mm].
MJ	Měrná jednotka.
M_{OMax}	Maximální hodnota ohybového momentu [N.mm].
N	Výkon motoru [W].
Nh	Normohodina.
NSm	Norma spotřeby materiálu.
n_1	Otáčky motoru [ot. min ⁻¹].
p	Maximální hodnota měrného tlaku [MPa].
Pc	Napětí v řemenu [N].
p_D	Dovolená hodnota měrného tlaku [MPa].

PKD	Polykrystalický diamant.
PKNB	Polykrystalický kubický nitrid bóru.
RO	Rychlořezné nástrojové oceli.
SK	Slinuté karbidy.
S_{otl}	Otlačovaná plocha [mm^2].
V	Obvodová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].
VN	Variabilní náklady.
W_O	Průřezový modul v ohybu [mm^3].
y	Osová vzdálenost [mm].
β_1	Úhle opásání hnané řemenice [$^\circ$].
β_2	Úhle opásání hnací řemenice [$^\circ$].
δ_{Max}	Maximální průhyb [mm].
π	Ludolfovo číslo [-].
σ_O	Maximální hodnota ohybového napětí [MPa].
σ_{OD}	Dovolené hodnota ohybového napětí [MPa].

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Uchycení tyčí (zleva: kompaktní, patkové a tandemové). [17]</i>	15
<i>Obr. 2. Plné tyče a trubky pro lineární vedení. [18]</i>	16
<i>Obr. 3. Profilová tyč s dírami pro imbusové šrouby. [18]</i>	16
<i>Obr. 4. Kuličkové pouzdro. [18]</i>	17
<i>Obr. 5. Kolejnice a rolna systému V. [17]</i>	17
<i>Obr. 6. Kapalinné tření</i>	18
<i>Obr. 7. Mezní tření</i>	18
<i>Obr. 8. Suché tření</i>	18
<i>Obr. 9. Bronzová samomazná kluzná ložiska. [19]</i>	22
<i>Obr. 10. Povlakované slinuté karbidy. [13]</i>	28
<i>Obr. 11. Destičky z cermetů 3 generace. [13]</i>	30
<i>Obr. 12. Pohled na povlakovanou keramiku při dokončovacím soustružení. [15]</i>	31
<i>Obr. 13. Destička s břitem z PKNB. [14]</i>	32
<i>Obr. 14. Vyměnitelné břitové destičky s břitem z PKD. [14]</i>	33
<i>Obr. 15. Přírodní diamant. [14]</i>	34
<i>Obr. 16. Délková korekce. [5]</i>	35
<i>Obr. 17. Pohyb podélný</i>	40
<i>Obr. 18. Detail uchycení vodící tyče a podélného posuvu</i>	40
<i>Obr. 19. Detail uchycení příčného vedení k podélnému pojezdu</i>	41
<i>Obr. 20. Pohyb příčný</i>	41
<i>Obr. 21. Úhlový přísuv</i>	42
<i>Obr. 22. Detail kopírovacího a frézovacího ramene</i>	43
<i>Obr. 23. Pohon kopírovacího zařízení</i>	44
<i>Obr. 24. Detail na uchycení elektromotoru</i>	45
<i>Obr. 25. Maximální ohybové napětí</i>	46
<i>Obr. 26. Maximální průhyb (posunutí)</i>	47
<i>Obr. 27. Maximální ohybové napětí</i>	48
<i>Obr. 28. Maximální průhyb (posunutí)</i>	49
<i>Obr. 29. Maximální ohybové napětí</i>	50
<i>Obr. 30. Maximální ohyb (posunutí)</i>	50
<i>Obr. 31. Maximální ohybové napětí</i>	51
<i>Obr. 32. Maximální ohyb (posunutí)</i>	51

<i>Obr. 33. Maximální ohybové napětí.</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 34. Maximální ohyb (posunutí).</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 35. Celkový pohled na kopírovací zařízení.</i>	<i>54</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Charakteristiky aplikací RO. [1]</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 2. Ceník – podélný posuv.</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 3. Ceník – podélný posuv - stojan.</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 4. Ceník – podélný posuv – lineární pojezd.</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 5. Ceník – příčný posuv.</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 6. Ceník – příčný posuv – lineární pojezd.</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 7. Ceník – úhlový přísuv.</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 8. Ceník – úhlový přísuv – ustavovací část.</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 9. Ceník – úhlový přísuv – rameno frézky.</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 10. Ceník – pohon.</i>	<i>58</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Výkresy

P I	Kopírovací zařízení	T – 001 – 03
P II	Podélný posuv	T – 002 – 03
P III	Příčný posuv	T – 003 – 03
P IV	Úhlový přísuv	T – 004 – 03
P V	Pohon (sestava)	T – 005 – 03
P VI	Stojan - svařenec	T – 002 – 03 – 001
P VII	Lineární pojezd – svařenec	T – 002 – 03 – 002
P VIII	Lineární pojezd – svařenec	T – 003 – 03 – 001
P IX	Ustavovací část úhlového přísuvu – svařenec	T – 004 – 03 – 001
P X	Rameno frézky	T – 004 – 03 – 002
P XI	Podélný posuv – stojan	T – 002 – 03 – 001 – 01
P XII	Podélný posuv – pouzdro	T – 002 – 03 – 001 – 02
P XIII	Podélný posuv – kryt	T – 002 – 03 – 001 – 03
P XIV	Podélný posuv – ustavovací část	T – 002 – 03 – 001 – 04
P XV	Podélný posuv – nosná trubka	T – 002 – 03 – 002 – 01
P XVI	Ustavovací část příčného uložení	T – 002 – 03 – 002 – 02
P XVII	Lineární posuv – domek	T – 003 – 03 – 001 – 01
P XVIII	Upínací část úhlového přísuvu	T – 003 – 03 – 001 – 02
P XIX	Úhlový přísuv – ustavovací pouzdro	T – 004 – 03 – 001 – 01
P XX	Úhlový přísuv – rozpěra	T – 004 – 03 – 001 – 02
P XXI	Úhlový přísuv – ustavovací pouzdro frézky	T – 004 – 03 – 001 – 03
P XXII	Úhlový přísuv – rameno frézky	T – 004 – 03 – 002 – 01
P XXIII	Úhlový přísuv – držák frézky	T – 004 – 03 – 002 – 02
P XXIV	Úhlový přísuv – podpěra	T – 004 – 03 – 002 – 03

P XXV	Úhlový přísuv – ustavovací plocha motoru	T – 004 – 03 – 002 – 04
P XXVI	Úhlový přísuv – ustavovací vzpěra motoru	T – 004 – 03 – 002 – 05
P XXVII	Úhlový přísuv – ustavovací pouzdro motoru	T – 004 – 03 – 002 – 06
P XXVIII	Úhlový přísuv – kopírovací rameno	T – 004 – 03 – 003
P XXIX	Dimenzační trubka	T – 004 – 03 – 004
P XXX	Prizmatická ustavovací čelist	T – 005 – 03 – 001
P XXXI	Ustavovací tyč kopírovací jehly	T – 005 – 03 – 002
P XXXII	Ustavovací kostka kopírovací jehly	T – 005 – 03 – 003
Kusovníky		
P XXXIII	Kusovník	T – 001 – 03
P XXXIV	Kusovník	T – 002 – 03
P XXXV	Kusovník	T – 003 – 03
P XXXVI	Kusovník	T – 004 – 03
P XXXVII	Kusovník	T – 005 – 03
P XXXVIII	Kusovník	T – 002 – 03 - 001
P XXXIX	Kusovník	T – 002 – 03 – 002
P XL	Kusovník	T – 003 – 03 – 001
P XLI	Kusovník	T – 004 – 03 – 001
P XLII	Kusovník	T – 004 – 03 – 002