Konstrukce rotačního upínacího stolu 3osé frézky

Bc. Radek Sedlář

Diplomová práce
2011

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Radek SEDLÁŘ**
Osobní číslo:	**T09701**
Studijní program:	**N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Konstrukce technologických zařízení**
Téma práce:	**Konstrukce rotačního upínacího stolu 3osé frézky**

Zásady pro vypracování:

1.Úvod
2.Vypracujte literární studii na dané téma:
a)NC stroje, principy víceosých obráběcích strojů
b)Víceosé obráběcí frézky
3.Praktická část:
a)Stanovte výkonové poměry a síly na přídavném zařízení
b)Navrhněte varianty řešení
4.Zpracujte konstrukční řešení rotačního upínacího stolu
5.Závěr

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Jandečka K. a kol., Postprocesory a programování NC strojů, UJEP Ústí nad Labem, 2007, ISBN 978-80-7044-870-0
2. KOCMAN, Karel. Speciální technologie: obrábění. Brno: AKADEMIMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2004. 228 s. ISBN 80-214-2562-8.
3. ŠTUPLA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. první. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2011**

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan

L.S.

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta technologická

doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Radek Sedlář Obor: Konstrukce technologických zařízení

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 4.5.2011 Sedlář .....

[1] 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 nevýdělečně 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 nahlížení 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 pořizovat 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.

[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:

(3) 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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

[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 navrhnout přídavné zařízení ke stávající tříosé frézce. Toto zařízení bude rozšiřovat obrábění o čtvrtou naklápěcí (otočnou) osu. Frézka je určena pro obránění měkkých materiálů (plasty, dřevo, neželezné kovy). Při obrábění těchto materiálů nevznikají tak velké síly jako např. při obrábění oceli. S ohledem na tuto skutečnost bude při návrhu přídavného zařízení použito materiálů, které budou vyhovovat pevnostně, ale zároveň budou snižovat hmotnost zařízení.

Stále více součástí nelze vyrobit běžným tříosým obráběním. Použitím přídavných naklápěcích případně rotačně naklápěcích zařízení, se může rozšířit využití stávající techniky a tím zvýšit produktivita výroby.

Klíčová slova:

Frézka, přídavné zařízení, víceosé obrábění

ABSTRACT

The aim of this thesis is to propose additional facilities to the existing three-axis milling machine. This facility will expand on the fourth working tilting (rotating) axis. The machine milling is designed for soft materials (plastic, wood, non-ferrous metals). When machining these materials do not produce so much power as when machining steel. With this in mind when designing the ancillary equipment used in materials that meet the strength, but will also reduce the weight of the equipment

More and more components can not produce a standard three-axis machining. Use additional tilt-tion, or rotary tilting device can extend the use of existing technology and thereby increase productivity.

Keywords:

Milling machine, attachments, multi-axis machining

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc., vedoucímu mé diplomové práce, za metodické vedení, drahocenné rady a připomínky, které mi pomohly, jak při řešení teoretické tak i následně praktické části mé práce.

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

OBSAH

ÚVOD **11**

I TEORETICKÁ ČÁST **12**

1 ŘÍZENÍ VÍCEOSÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ **13**

1.1 JEDNOOSÉ ŘÍZENÍ 14

1.2 DVOUOSÉ ŘÍZENÍ 14

1.2.1 Dvouapůlosé řízení 15

1.3 TŘÍOSÉ ŘÍZENÍ 15

1.4 ČTYŘOSÉ ŘÍZENÍ 16

1.5 PĚTIOSÉ ŘÍZENÍ 17

1.5.1 Výhody pětiosého řízení 18

1.5.2 Frézování tvarových ploch z hlediska naklápění nástroje 18

1.6 VÍCEOSÉ ŘÍZENÍ (OBRÁBĚNÍ POMOCÍ ROBOTŮ) 20

2 KINEMATIKA STROJŮ **23**

2.1 HLAVA – HLAVA 23

2.2 HLAVA – STŮL 24

2.3 STŮL – STŮL 24

2.4 STŮL – STŮL – KOLÍBKA 25

2.5 DĚLIČKA 26

3 TECHNOLOGICKÉ A KONSTRUKČÍ ŘEŠENÍ DALŠÍCH OS V PRŮMYSLU **28**

3.1 VŘETENOVÉ HLAVY 28

3.1.1 Frézovací hlava kolmá 28

3.1.2 Frézovací hlava univerzální automaticky indexovaná 28

3.1.3 Dvouosá frézovací hlava ortogonální 29

3.1.4 Frézovací hlava vidlicová 30

3.2 OTOČNÉ STOLY NC 30

3.2.1 Otočný stůl s pravým bočním umístěním pohonu 30

3.2.2 Otočný stůl se zadním umístěním pohonu 31

3.2.3 Vícevřetenové otočné stoly CNC 32

3.3 CNC STOLY OTOČNÉ A NAKLÁPĚCÍ 33

3.3.1 CNC otočný a naklápěcí stůl se zvětšeným rozsahem naklápění 34

3.3.2 CNC otočný a naklápěcí stůl s letmým uchycením 34

3.4 ROTAČNÍ PRODUKČNÍ SYSTÉMY 35

3.5 PŘÍSLUŠENSTVÍ OTOČNÝCH A NAKLÁPĚCÍCH STOLŮ 36

3.5.1 Ruční, pneumatické a hydraulické koníky 36

3.5.2 Podpěra s otočnou deskou 37

3.5.3 Sklíčidlo se vzduchovým upínáním 38

4 NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ PRO STAVBU NOSNÝCH SOUSTAV OBRÁBĚCÍCH STROJŮ **39**

4.1 HIPERCON 40
4.2 HYDROPOL 41
4.3 DEMTEC 42
4.4 MINERALGUSS (DŘÍVE RHENOCAST) 42
4.5 PŘÍRODNÍ ŽULA 43
4.6 OCELOVÉ SVAŘENCE 45
4.7 VLÁKNOVÉ KOMPOZITY 46
4.8 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI 46
II PRAKTICKÁ ČÁST 47
5 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTÍ 48
6 CNC FRÉZKA AZK HWT C-442 PROFI 49
6.1 POPIS VLASTNOSTÍ 49
6.2 OBRÁBĚCÍ PROSTOR 50
7 NÁVRH PŘÍDAVNÉHO ZAŘÍZENÍ 51
7.1 NÁVRH Č. 1 51
7.2 NÁVRH Č. 2 54
7.2.1 Přesnost zařízení 56
7.2.2 Návrh motoru 58
7.2.3 Hmotnost obrobku 60
7.2.4 Závěr k návrhu č. 2 61
7.3 NÁVRH Č. 3 62
7.3.1 Rám 62
7.3.2 Převodovka 64
7.3.3 Motor 66
7.3.4 Příruba motoru 68
7.3.5 Drážkovaná spojka 68
7.3.6 Redukce hřídele motoru 69
7.3.7 Hřídel 69
7.3.8 Spojka 70
7.3.9 Upínací stůl 71
7.3.10 Víko 72
7.3.11 Stavěcí šroub 72
7.3.12 Kryt 73
7.3.13 Ložiska 73
7.4 UPÍNANÍ OBROBKŮ 74
7.4.1 Sklíčidlo 74
7.4.2 Mezi hroty 75
8 PEVNOSTNÍ ANALÝZY 78
8.1 UPÍNACÍ STŮL 78
8.2 RÁM 79
8.3 SHRNUTÍ ANALÝZ 81
ZÁVĚR 82
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 84
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 86

SEZNAM OBRÁZKŮ 87
SEZNAM TABULEK 90
SEZNAM PŘÍLOH 91

ÚVOD

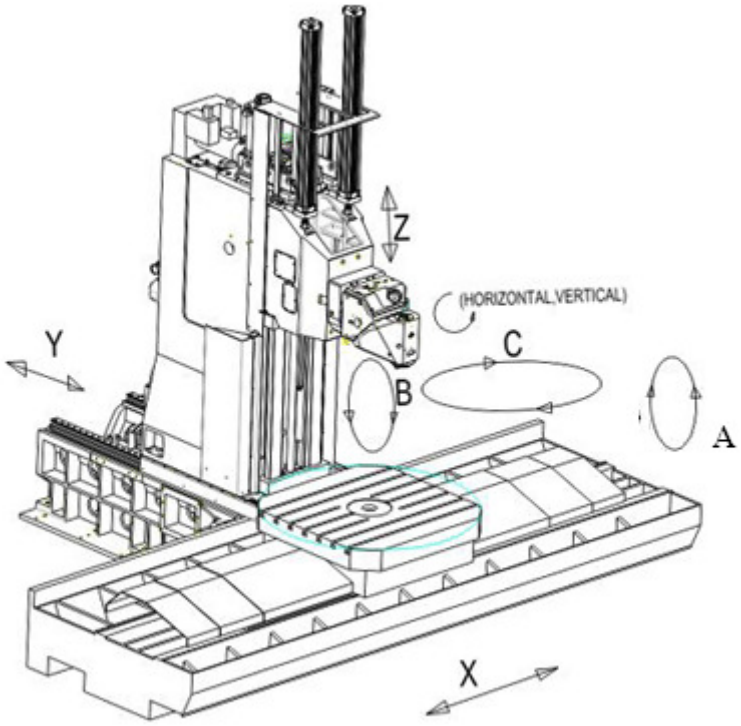
V praxi se vyskytují stroje, které mají řízeny určený počet os. Nejjednodušší jsou jednoose řízené stroje, mezi které patří např. vrtačka. S každou další řízenou osou stroje jsme schopni vyrábět složitější dílce a tím zvětšovat oblast výroby. Velká část obráběcích strojů v průmyslu jsou tříose řízené stroje, které byly pořízeny v době, kdy stroje s větším počtem řízených os nebyly tak běžné, byly finančně dosti náročné a nepotřebné pro výrobní program. V dnešní době se vyrábějí dosti tvarově složité dílce a to jednak kvůli úspoře materiálu a tím i hmotnosti a jednak kvůli designu. Přídavná zařízení v sobě skrývají možnost inovovat stroje až o dvě osy. Díky těmto zařízením jsme na stávajících obráběcích strojích schopni vyrábět tvarově složité dílce a vyhovět nárokům poptávky.

Přídavná zařízení mají také své nevýhody. Umístěním zařízení do obráběcího prostoru stroje se tento prostor dosti zmenší. Záleží na požadavcích výroby, zda je pro ni dostačující doplnit stávající stroj o přídavné zařízení s tím, že se zmenší obráběcí prostor, nebo raději zvolí pořízení zcela nového stroje což je finančně nákladnější.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ŘÍZENÍ VÍCEOSÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Vývoj v oblasti konstrukce CNC strojů a jejich řídicích systémů umožnil zvýšení počtu řízených os (souřadnic) a přechod z pravoúhlého systému řízení na souvislý způsob řízení. Tento princip zároveň umožnil i dosažení lepších technologických výsledků především při opracování tvarových prostorových ploch. Podle počtu řízených os můžeme NC stroje rozdělit na stroje řízené jako jednoosé (stolní vrtačky), dvouosé (umožňuje řídit souvisle dvě osy – např. NC soustruhy), dvaapůlosé (umožňuje řídit souvisle dvě souřadné osy v různých rovinách a třetí osa je řízena mimo tento režim – např. NC vrtačky nebo NC frézky pro výrobu jednodušších součástí), tříosé (umožňuje řídit souvisle řídit tři osy – např. NC frézky nebo NC obráběcí centra), čtyřosé (umožňuje řídit souvisle čtyři osy, nebo souvisle řídit tři souřadné osy a otočný stůl – např. NC frézky, NC horizontální vyvrtávačky), pětiosé (umožňují řídit souvisle pět souřadných os, nebo souvisle řídit tři souřadné osy a dvě osy otočného stolu – např. NC frézky nebo NC obráběcí centra), víceosé (umožňují řídit souvisle požadovaný počet souřadných os – např. speciální obráběcí centra nebo speciální NC frézky pro specifické technologické operace – opracování klikových hřídelí).[1]

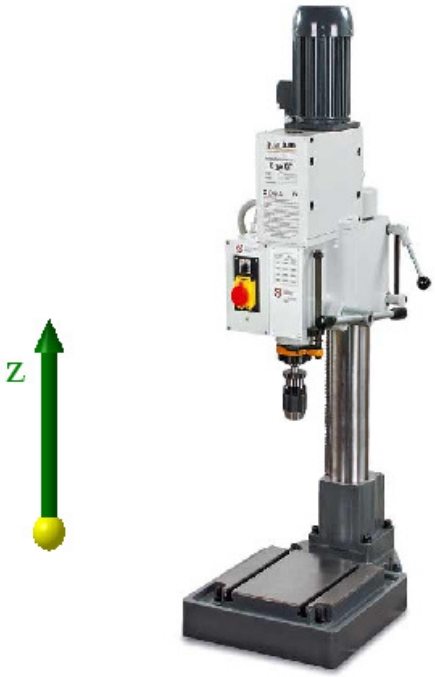


Obr. 1. Popis os obráběcích center [5]

1.1 Jednoosé řízení

Jeden pohyb – po jedné ose.

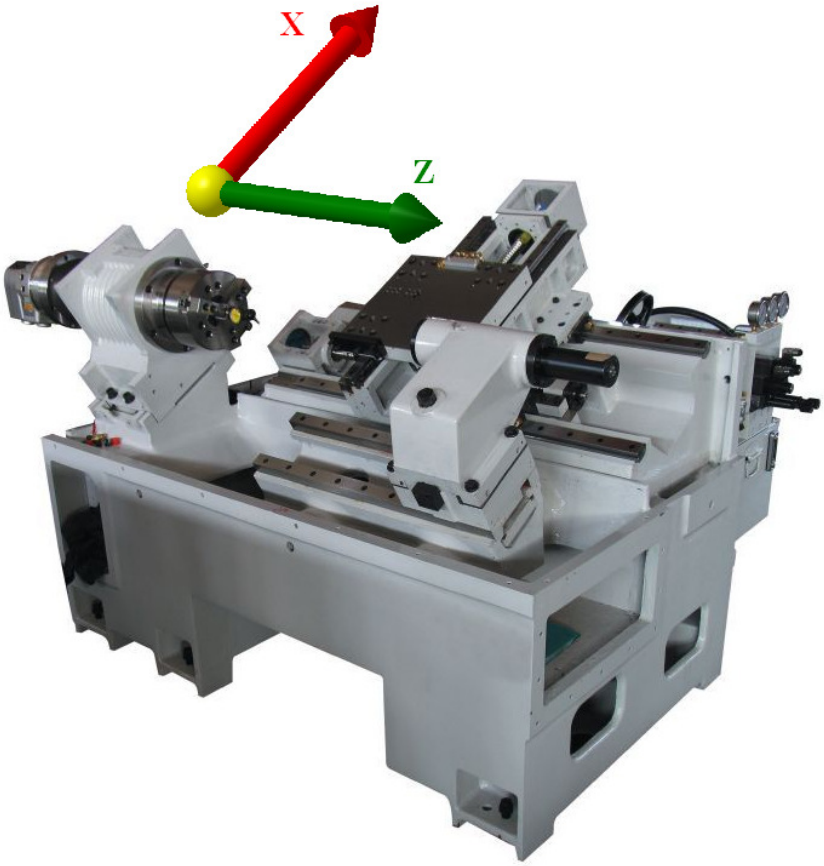
Příkladem: jednoúčelový stroj – vrtání díry. [3]



Obr. 2. Jednoosé řízení (vrtačka)

1.2 Dvouosé řízení

Dvouosé řízení umožňuje souvisle řídit dvě souřadné osy v jedné pracovní rovině a dále parametry technologického procesu jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. U tohoto řízení může být použita přídavná osa, která se však programuje zvlášť, např. osa W. Nástroje u dvouosého řízení se pohybuje mezi dvěma rovinně definovanými body po přímkové nebo kruhové dráze. Ostatní spojovací elementy je možno aproximovat pomocí přímek a kružnic, tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění rovinných kontur pomocí následujících technologií – soustružení rotačních tvarů na NC soustruzích a vrtání, závitování, srážení hran atd. v ose obrobku. [1]



Obr. 3. Dvouose řízený NC stroj (soustruh)

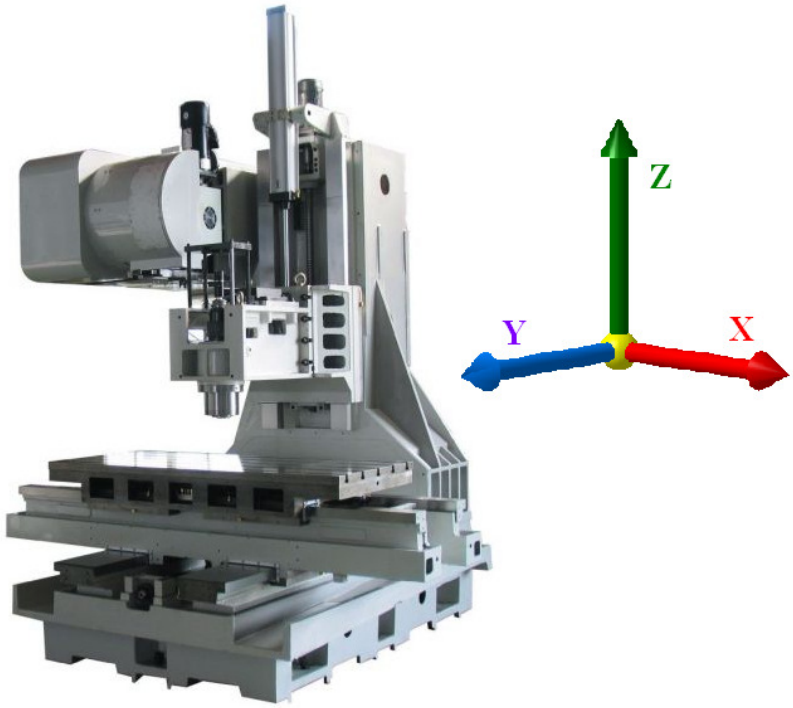
1.2.1 Dvouapůlosé řízení

Dvouapůlosé řízení umožňuje řídit souvisle dvě souřadné osy v různých pracovních rovinách a třetí osu v dalším bloku a parametry technologického procesu jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. Nástroje u dvouapůlosého řízení se pohybují mezi dvěma rovinně definovanými body po přímkové a kruhové dráze. Ostatní spojovací elementy je možné aproximovat pomocí přímek a kružnic. Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění rovinných tvarů pomocí následujících technologií – frézování rovinných tvarů na NC frézkách a vrtání, závitování, srážení hran atd. V současné době je tento způsob na ústupu a používá se pouze u jednodušších NC strojů. [1]

1.3 Tříosé řízení

Tříosé řízení umožňuje řídit souvisle tři souřadné osy X, Y, Z a další parametry technologického procesu jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. Nástroj u tříosého řízení se pohybuje mezi dvěma prostorově definovanými body po přímkové, kruhové, spirálové atd. dráze. Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění otevřených prostorových tvarů

v následujících technologiích – vrtání, závitování, srážení hran, frézování rovinných a prostorových tvarů na NC frézkách nebo NC obráběcích centrech. [1]



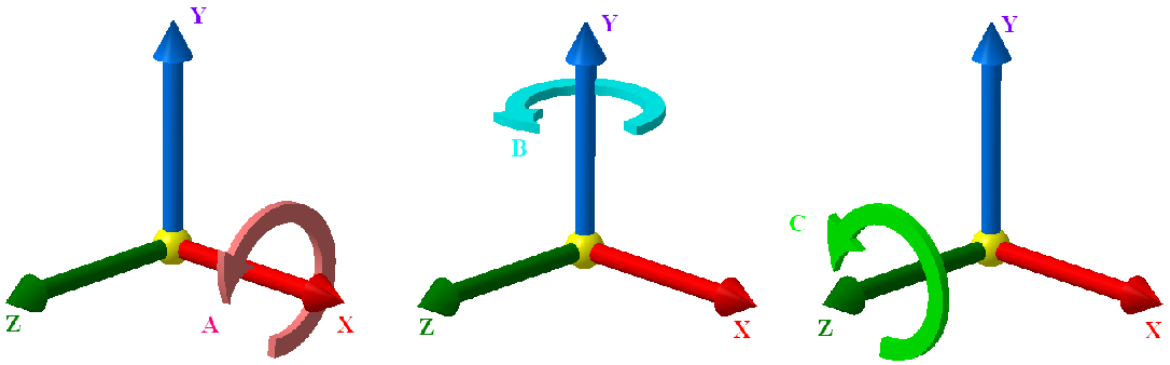
Obr. 4. Tříose řízený NC stroj (frézka)

1.4 Čtyřosé řízení

Čtyřosé řízení umožňuje řídit souvisle tři souřadné osy X, Y, Z a natočení obrobku (např. kolem osy Z – souřadnice C). Místo naklonění nástroje je možné instalovat pomocný otočný stůl se svislou osou rotace. Mimo tyto geometrické parametry jsou řízeny další parametry technologického procesu, jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. Nástroj u čtyřosého řízení se pohybuje mezi dvěma prostorově definovanými body po přímce, kruhové, spirálové aj. dráze. Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění otevřených prostorových tvarů v následujících technologiích – vrtání, závitování, srážení hran, frézování rovinných a prostorových tvarů na NC frézkách, NC vyvrtávačkách nebo NC obráběcích centrech. [1]

Frézování za využití čtvrté osy coby například děličky je poměrně běžnou praxí. Díky děličce pak na běžné tříosé frézce získáváme osu navíc, kterou lze využít například při polohování. Díky děličce jsme tedy schopni kus otáčet a postupně frézovat z více úhlů. V

případě indexování se využívá čtvrté osy pouze při natáčení. Kus se natočí do požadované polohy, zafixuje se a probíhá standardní tříosé či dvouosé frézování. [8]

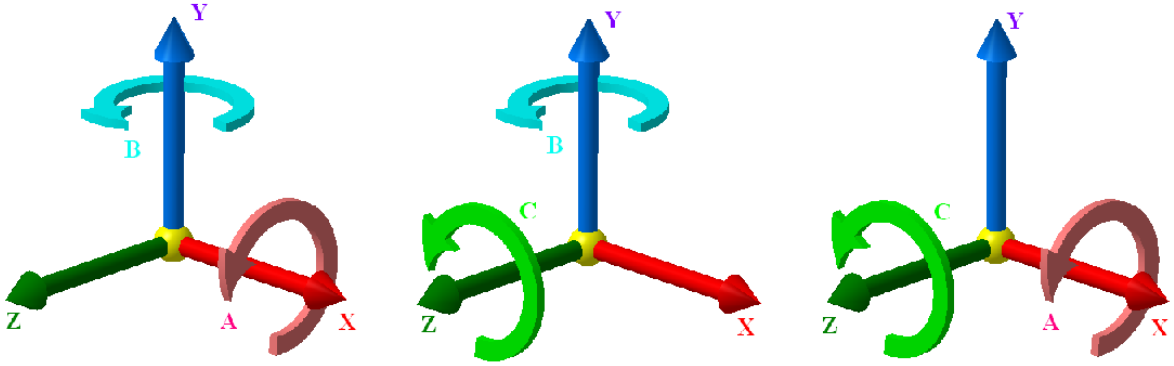


a) Rotace kolem osy X *b) Rotace kolem osy Y* *c) Rotace kolem osy Z*

Obr. 5. Čtyřosé řízení

1.5 Pětiosé řízení

Pětiosé řízení umožňuje řídit souvisle tři souřadné osy X, Y, Z a naklonění nástroje souřadnicemi podle dvou os např.: X, Y v souřadnicích A, B nebo místo naklonění nástroje instalovat pomocný otočný stůl se dvěma rotačními osami. Schéma zobrazující princip je analogické rotaci kolem X, Z nebo Z, Y – a závisí na konkrétní konstrukci NC stroje. Mimo tyto geometrické parametry jsou řízeny další parametry technologického procesu, jako jsou posuvy, otáčky, volba nástroje atd. Nástroj se u pětiosého řízení pohybuje mezi dvěma prostorově definovanými body po přímkové, kruhové, spirálové aj. dráze. Tento způsob řízení nástroje umožňuje obrábění prostorových tvarů z pěti stran objektu pomocí následujících technologií - vrtání, závitování, srážení hran, frézování rovinných a prostorových tvarů na NC frézkách nebo NC obráběcích centrech. [1]



a) Rotace kolem osy X, Y *b) Rotace kolem osy Z, Y* *c) Rotace kolem osy Z, X*

Obr. 6. Pětiosé řízení

1.5.1 Výhody pětiosého řízení

a) Velká část obráběných ploch včetně podkosů může být obráběna při jediném upnutí. Tím se snižuje čas potřebný pro manipulaci s obrobkem a minimalizuje počet chyb.

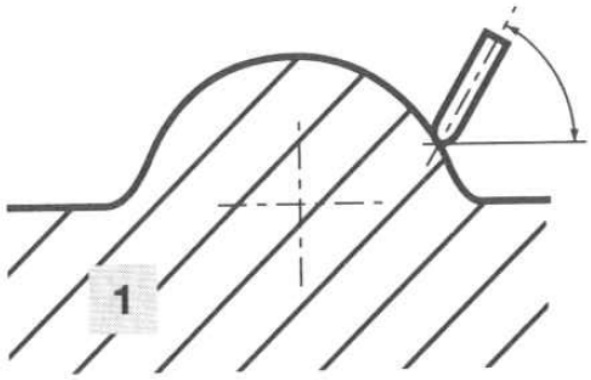
b) Použití kratších nástrojů zvyšuje tuhost stroje, snižuje deformaci plochy, dává lepší povrchovou úpravou a přesnost.

c) Díky vyklonění nástroje lze zkrátit jeho vyložení, což vede k lepší kvalitě povrchu a prodloužení životnosti nástroje [7]

1.5.2 Frézování tvarových ploch z hlediska naklápění nástroje

a) Pevné nastavení vřeteníku

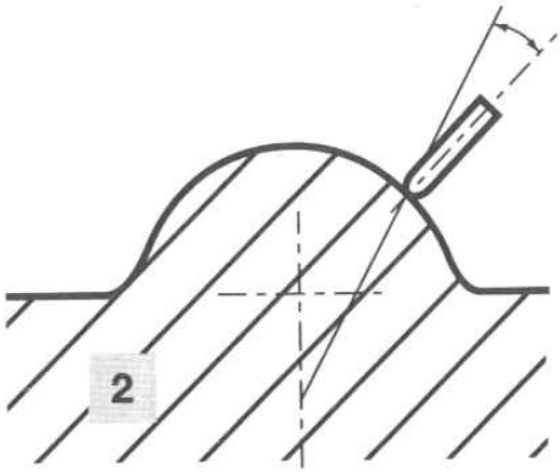
Sklon osy nástroje (např. kulové frézy) je dán pevným nastavením vřeteníku s nástrojem (nebo stolu frézy) např. v osách A, B o určitý úhel. Nazývá se též 3 + 2D (říká se, že nástroj je vlečen). Úhel se nemění při obrábění jakéhokoli tvaru: může nastat situace, že nástroj obrábí nevýhodně část tvaru – když bude nástroj k tečně obráběné plochy, nástroj některé části tvaru z druhé strany neobrobí. Nelze hovořit o typickém obrábění 5D. [3]



Obr. 7. Sklon osy nástroje - pevné nastavení vřeteníku [3]

b) Přímka a úhel k přímce

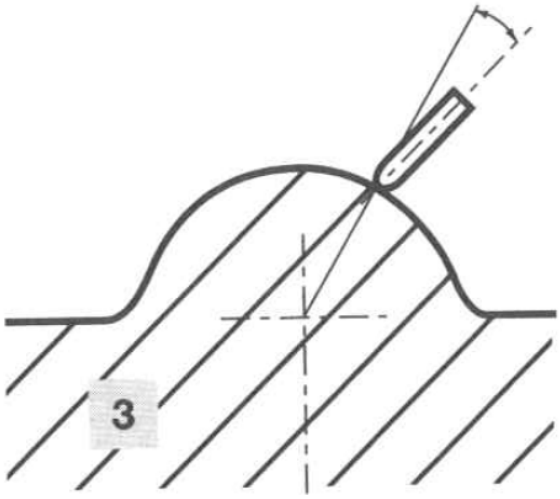
Sklon osy nástroje (např. kulové frézy) je pevně dán přímkou a úhlem k přímce. Přímka je dána např. bodem a osou rotace nakloněného otočného stolu frézky nebo nakláněním frézovací hlavy. Úhel se mění při obrábění jakéhokoli tvaru v dané obráběné rovině. [3]



Obr. 8. Sklon osy nástroje - přímka a úhel k přímce [3]

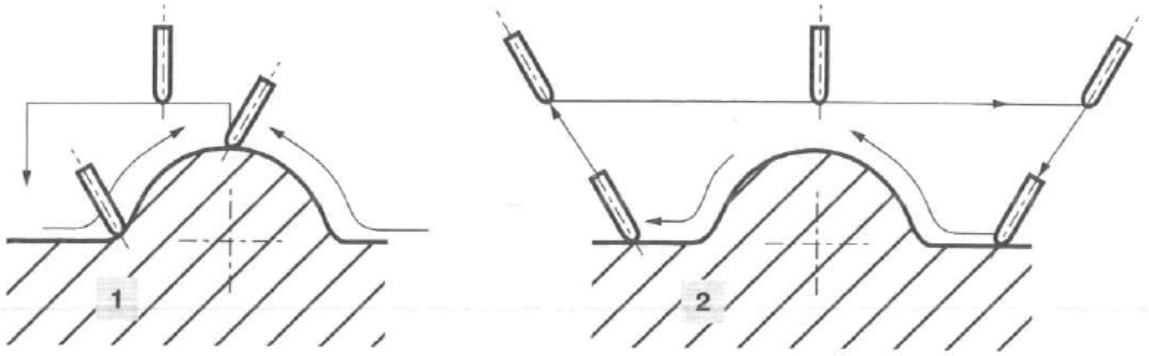
c) Úhel k tečně z bodu obráběné plochy

Sklon osy nástroje (např. kulové frézy) je dán zvoleným úhlem k tečně z bodu obráběné plochy – obráběného místa obrobku. Úhel se nemění z hlediska obráběné plochy (její tečny), ale mění se průběžně dle sklonu jednotlivých obráběných ploch. Je to nejvýhodnější způsob vedení nástroje, ale také vyžaduje nejnáročnější konstrukci obráběného stroje a řídicího systému – frézky. Zde je umožněno libovolné průběžné naklápění frézovací hlavy (nebo stolu) při obrábění. Představitelem jsou pětiosé frézky určené pro nástrojárny – pro výrobu forem, zápustek atd. [3]



Obr. 9. Sklon osy nástroje - Úhel k tečně z bodu obráběné plochy [3]

Pohyb nástroje v oblasti, kde je potřeba, aby se nástroj „překlopil“ na druhou stranu obráběného tvaru (výstupku), ukazuje obrázek. Používají se dva znázorněné způsoby pro frézování tvarových výstupků nakloněným nástrojem v 5D, obdobné platí i pro dutiny. [3]



Obr. 10. Obrábění a přesuny nástroje na tvarových plochách [3]

1.6 Víceosé řízení (obrábění pomocí robotů)

S rozvojem moderních technologií je stále běžnější využití průmyslových robotů i pro různé obráběcí operace. Roboti mohou provádět většinu obráběcích operací, jako je klasické rotační frézování a vrtání, ale také ořezávání libovolných tvarů statickým nástrojem, svařování plasmou nebo laserem. Za zmínku stojí také možnost provádět měření obrobených součástí. [9]

V současné době je 10 - 15 % robotických pohybů použito pro rotační obrábění. Nejpoužívanější jsou šestiosí roboti, ale můžeme se setkat i se speciálními roboty, kteří mají jen 3 nebo 4 osy. [9]

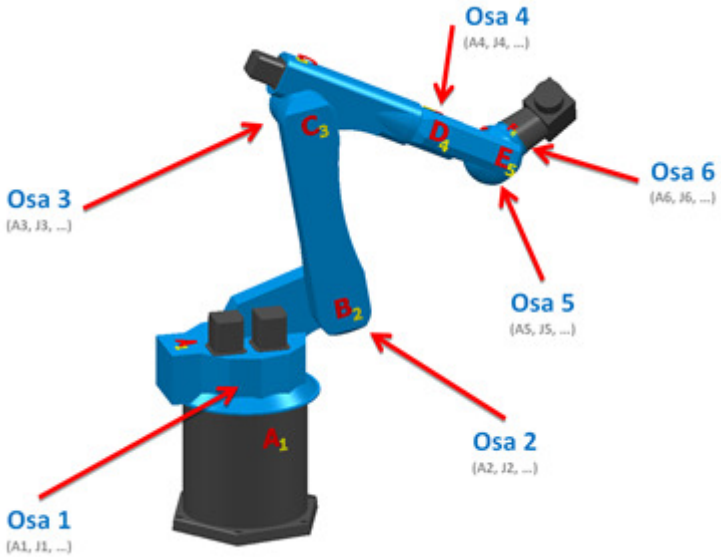
Výhody robotů

Použití robotů pro obrábění je výhodné z několika důvodů. Největší výhodou je velká volnost pohybu, která nám umožňuje obrábět rozměrné součásti na jedno ustavení ze všech stran. Dalšími pozitivy je přemístitelnost robota, nejsme tedy vázání na jedno konkrétní místo, kde obrábění probíhá. V neposlední řadě je možné roboty provozovat i v nepříznivých podmínkách (prašné prostředí, radioaktivní prostředí, obrábění kompozitů, …). Mezi zásadní nevýhodu použití robotů patří limitovaná přesnost a tuhost a také odlišnost programování. [9]

Programování robotů

Pro programování robotů je velmi důležité si uvědomit, že robot při pohybu z jednoho bodu do druhého má díky svým šesti osám většinou hned několik možností, jak pohyb provést. Při pohybu robota je nutné zabezpečit, aby nedošlo k překroucení nebo dokonce k přetržení přívodních kabelů a následné destrukci robota a také, aby nedošlo ke kolizi obráběcího nástroje s obrobkem. [9]

Díky složitosti pohybů je nutné roboty programovat pomocí nějakého systému. Kromě řízení přímo od výrobců robotů, je možné využít i některé standardní CAM systémy, které řízení robotů nabízejí. Například světová jednička v obrábění, anglická společnost Delcam, nabízí ke svému prémiovému CAM systému PowerMILL doplněk pro řízení robotů. Obrábění je prováděno standardním způsobem. Přes definici polotovaru a nástroje se zvolí vhodná technologie, potřebné nastavení osy nástroje a výsledkem je dráha nástroje. Nyní díky zcela přesné simulaci s modelem robota se zjistí bezkoliznost dráhy nástroje a reálné pohyby jednotlivých částí robota. Je možné požadované osy robota fixovat, nastavit potřebné nulové body, určit směr a způsob přejezdů a natáčení robota během jednotlivých částí obrábění. Není tedy nutná simulace v programu výrobce robota. Výstup ze simulace se zapisuje přímo do jazyku daného robota. V současné době jsou podporovány roboty Kuka, ABB, Fanuc, Staubli, Motoman. Díky jednomu CAM systému je tedy možné efektivně řídit více robotů od různých výrobců. [9]



Obr. 11. Obráběcí robot [9]

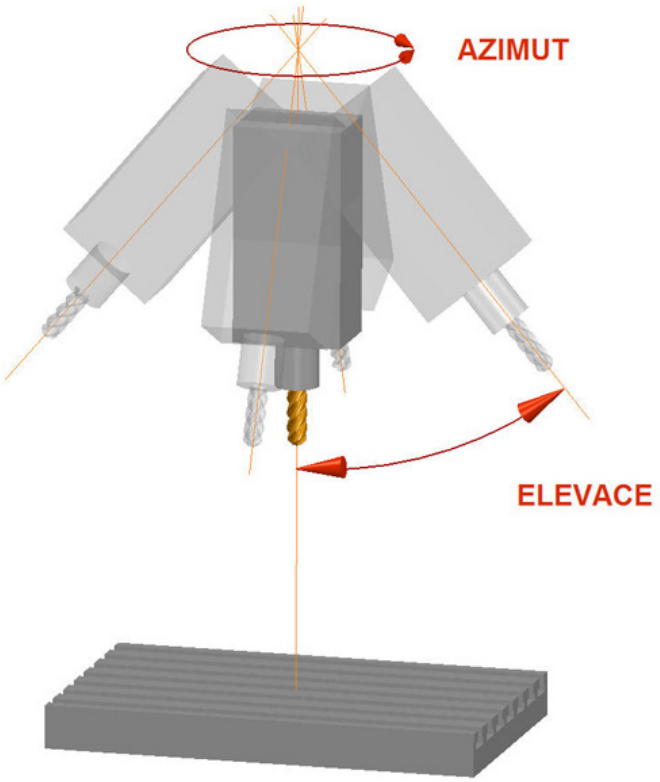
2 KINEMATIKA STROJŮ

Kinematikou víceosých strojů rozumíme definici pohybu jednotlivých částí obráběcího stroje. Lineární pohyby se realizují podle os X, Y, Z. U víceosého obrábění se k těmto osám přidávají pohyby rotačních os A, B, C. Podle toho, která část stroje se pohybuje v rotačních osách, rozeznáváme různé koncepce obráběcích strojů. [6]

2.1 Hlava – hlava

U strojů typu hlava-hlava dochází k pohybu obráběcí hlavy stroje (vřetene) jak v úhlu azimutu, tak elevaci. Tato koncepce se často používá u portálů a obráběcích strojů s velkými pojezdy. Nevýhodou bývá menší tuhost obráběcí hlavy a také limitace úhlu azimutu, kdy u některých strojů není možné obrábění po spirále, díky limitaci úhlu azimutu pouze na hodnoty kolem 360 stupňů. K výhodám této koncepce patří možnost obrábění velkých dílců.

Mezi typické představitele této koncepce patří např. TOS Kuřim, Rambaudi, Fidia, CMS. [6]

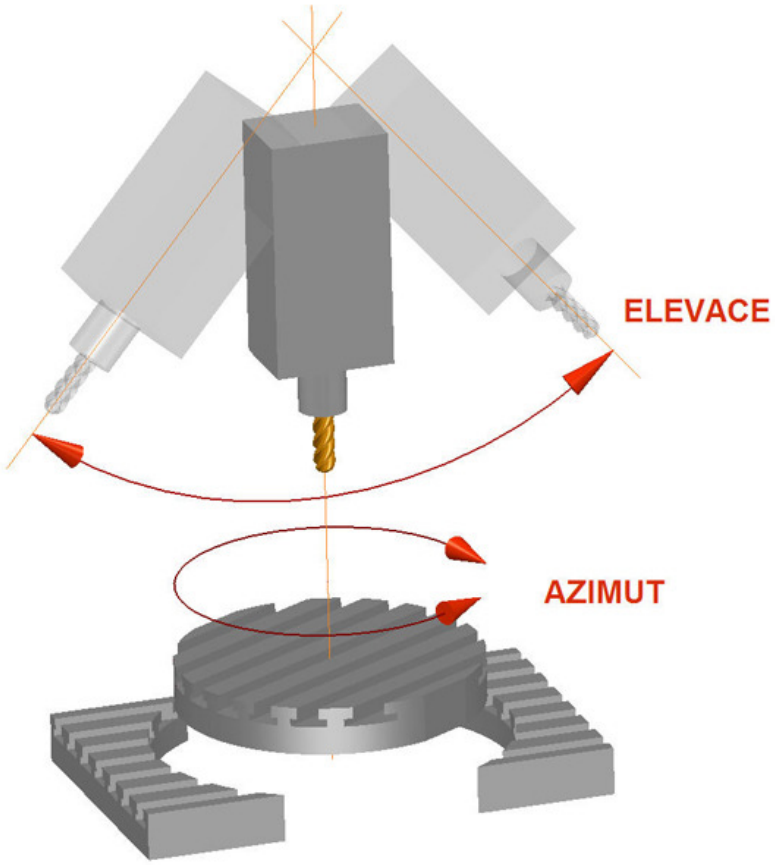


Obr. 12. Koncepce hlava – hlava [6]

2.2 Hlava – stůl

Tato koncepce strojů rozděluje rotační pohyby mezi hlavu a stůl obráběcího stroje. Hlava vykonává rotaci podle úhlu elevace, rotaci v azimutu zajišťuje rotační stůl. Tato koncepce je tužší než konfigurace hlava-hlava. Kromě větší tuhosti je také možné využít neomezených limit úhlu elevace rotačního stolu.

Mezi typické představitele této koncepce patří DMG, Roeders. [6]

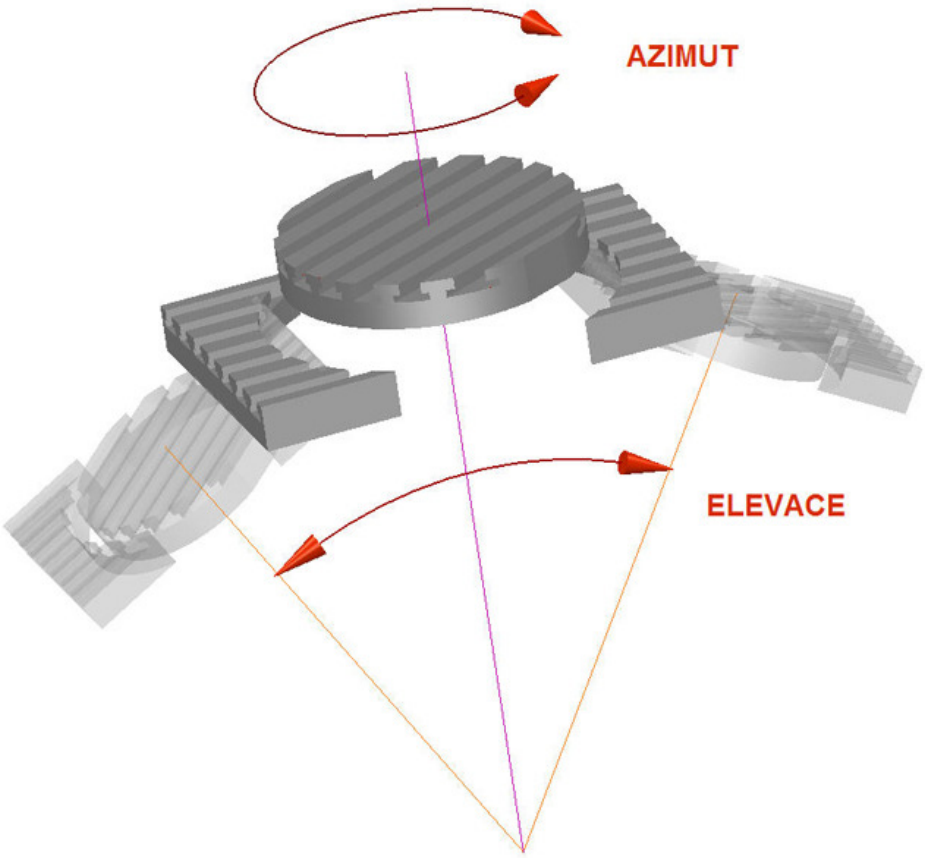


Obr. 13. Koncepce hlava stůl [6]

2.3 Stůl – stůl

U koncepce strojů stůl-stůl jsou rotační pohyby azimutu i elevace zajištěny rotačně sklopným stolem obráběcího stroje. Osa elevace může být umístěna buď vertikálně, anebo i pod úhlem. Zpravidla to bývá úhel 45 stupňů. Výhodou koncepce stůl-stůl je kromě tuhosti také snadný odjez od obrobku v jakékoliv fázi obrábění, jelikož pohyb v ose Z je realizován vřetenem, které má vždy pouze vertikální směr.

Mezi typické představitele této koncepce patří např. DMG, Huron. [6]

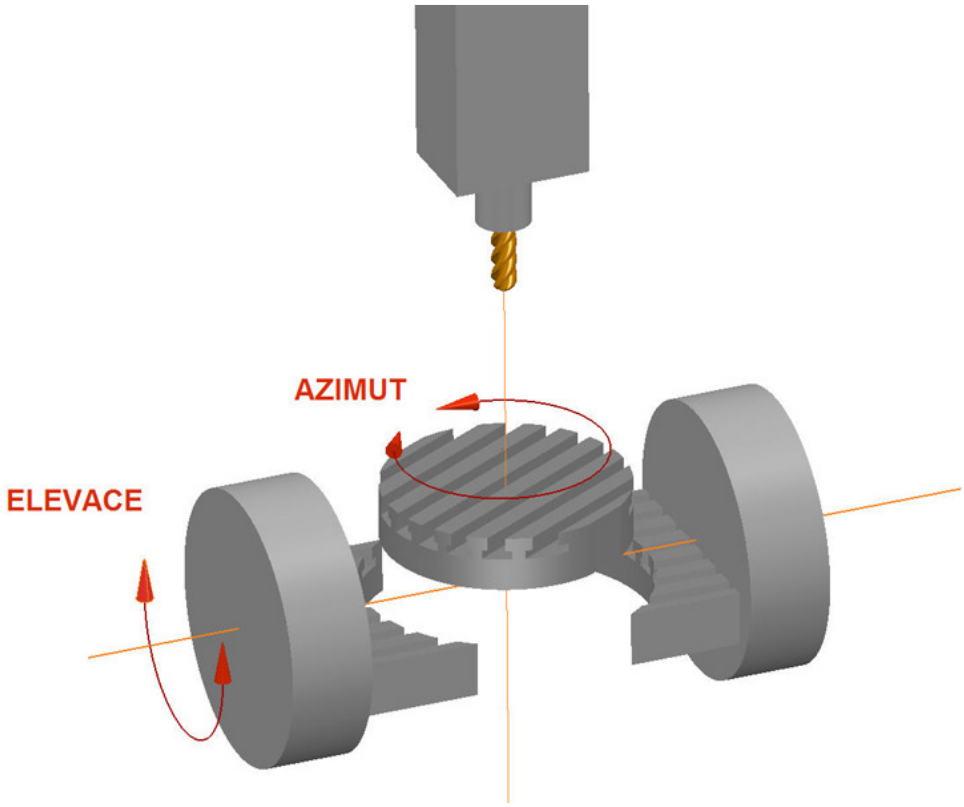


Obr. 14. Koncepce stůl - stůl [6]

2.4 Stůl – stůl – kolíbka

Tato konfigurace je velmi podobná kombinaci stůl-stůl. Rozdíl je pouze v uchycení stolu obráběcího stroje, které je realizováno na obou koncích stolu, většinou orientovaného podle osy X.

Mezi typické představitele této koncepce patří např. Kovosvit MAS, Hermle, Mazak, Quaser. [6]

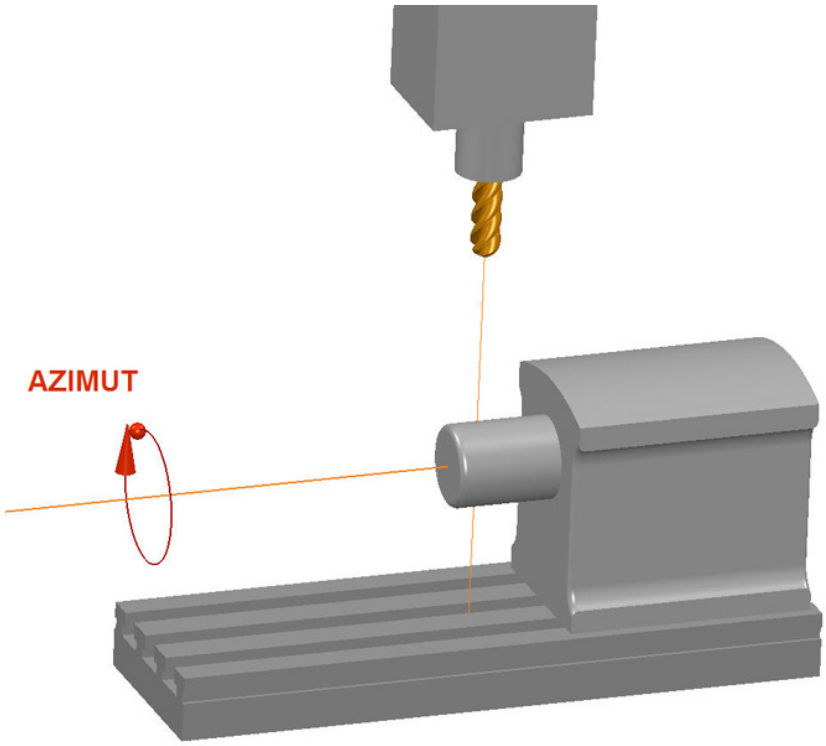


Obr. 15. Koncepce stůl – stůl - kolíbka [6]

2.5 Dělička

Tato koncepce obráběcího stroje umožňuje pouze 4 osé obrábění. Stroje s touto koncepcí disponují pouze úhlem azimutu, který je většinou realizován podle osy X. Velmi často se také můžeme setkat s děličkou, kterou je možné dodatečně upevnit na stůl obráběcího stroje v případě potřeby čtyřosého obrábění, jinak je stroj pouze tříosý. [6]

Při programování v softwaru pak pouze určujeme umístění děličky, tedy jestli se nachází v ose X nebo Y. Pokud stroj obsahuje otočný stůl, lze pak indexovat kolem osy Z. Programování čtyřosého polohování je velice podobné programování pětiosého polohování. Důležitou částí je definice rovin neboli ustavení, kterými v softwaru nadefinujeme umístění prvků, jež budeme obrábět. Postprocesor následně vygeneruje dráhu s natočením A, B nebo C osy mezi jednotlivými ustaveními. [8]



Obr. 16. Dělička [6]

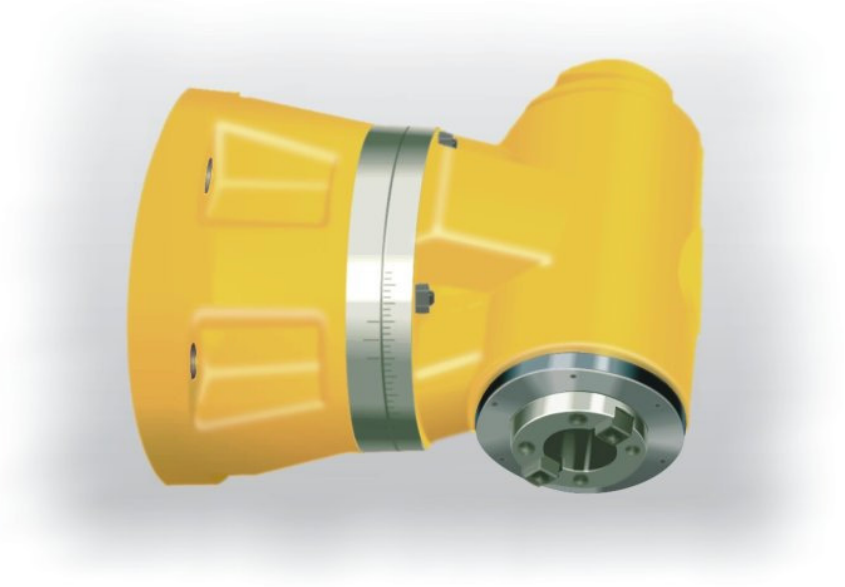
3 TECHNOLOGICKÉ A KONSTRUKČÍ ŘEŠENÍ DALŠÍCH OS V PRŮMYSLU

3.1 Vřetenové hlavy

Výměnné vřetenové hlavy jsou nedílným elementem vybaveni velkých frézovacích strojů. Hlavy s polohovatelnými osami rozšiřují technologické schopnost stroje pro obrábění vodorovných, svislých i šikmých ploch. Hlavy se souvisle ovládaný rotačními osami zvětšují kinematické možnosti celého stroje. Jestliže jsou hlavy vybaveny elektrovřeteny, lze pomocí nich zvětšit také výkonové parametry stroje.

3.1.1 Frézovací hlava kolmá

Kolmá frézovací hlava manuálně polohovatelná - připojení k vřetenu ručně, ruční indexování, automatické upínání a odepínání nástroje.



Obr. 17. Kolmá frézovací hlava [12]

3.1.2 Frézovací hlava univerzální automaticky indexovaná

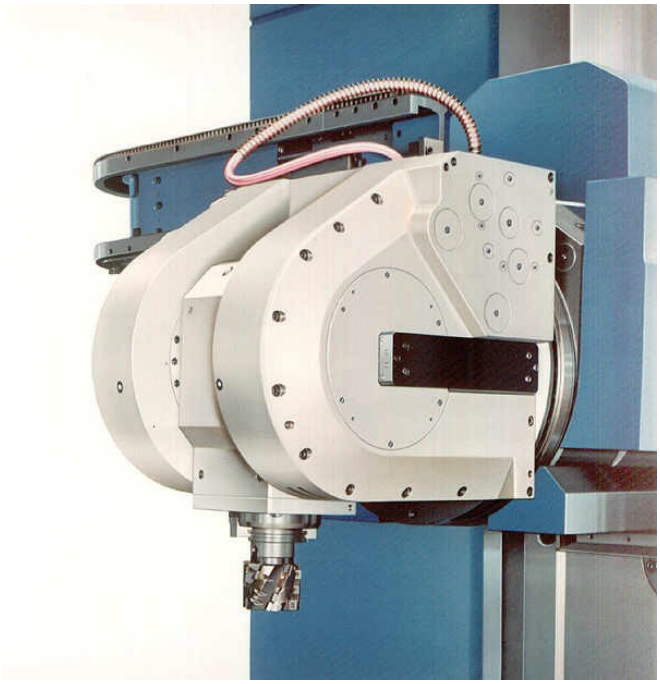
Univerzální frézovací hlava automaticky indexovaná - připojení k vřetenu automaticky, automatické indexování, automatické upínání a odepínání nástroje.

Obr. 18. Univerzální automaticky indexovaná frézovací hlava [12]

3.1.3 Dvouosá frézovací hlava ortogonální

Obr. 19. Dvouosá frézovací hlava ortogonální [12]

3.1.4 Frézovací hlava vidlicová



Obr. 20. Frézovací hlava vidlicová [10]

3.2 Otočné stoly NC

Otočné stoly se používají pro naklápění, polohování i jako nosiče obrobků v produktivních obráběcích centrech. Stále častěji se však dostávají i do různých montážních zařízení. Různé tvary, stupně vylepšení a varianty ve stavebnicovém systému pak umožňují dostatečnou flexibilitu včetně různých kombinací otočných stolů dle zákaznických požadavků. Všechna provedení se vyznačují vysokou hospodárností díky ověřené provozní spolehlivosti, nízkým nákladům na údržbu, dlouhé životnosti a nízké spotřebě energie. [4]

3.2.1 Otočný stůl s pravým bočním umístěním pohonu

Otočný stůl s bočním umístěním skříně pohonu umožňuje vertikální i horizontální montáž na stůl stroje. Tento typ svou zástavnou plochou maximálně využívá pracovní rozjezd stroje v ose X. Pro zvýšení tuhosti upnutí obrobku při frézování je možné využívat hydraulické nebo pneumatické zpevnění jednotlivého natočení pracovních poloh. Otočný stůl podstatně zvyšuje výrobní možnosti tříosého vertikálního stroje v podobě čtvrté CNC řízené osy. Následné využití tohoto vybavení je pro všestranné obrábění na rotačních plochách obrobků včetně frézování plynulých tvarových ploch. [5]

Obr. 21. Otočný stůl s pravým bočním umístěním pohonu [5]

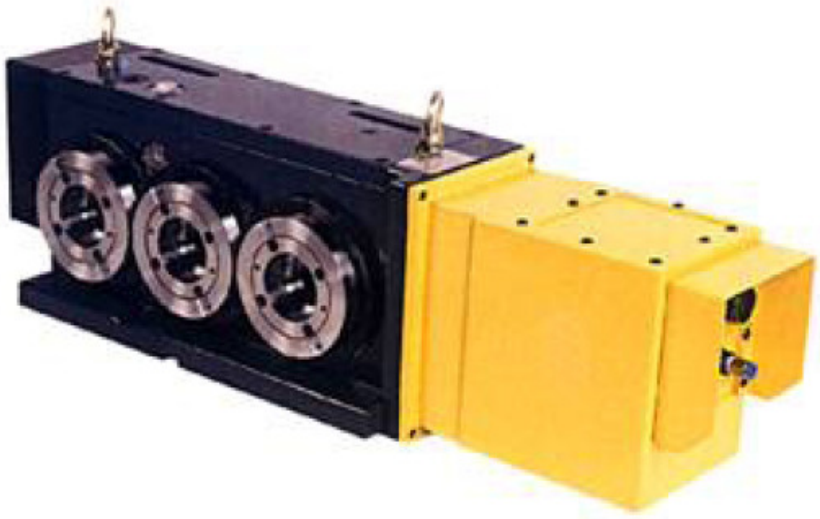
3.2.2 Otočný stůl se zadním umístěním pohonu

Stůl se zadním umístěním pohonu vhodný pro vertikální montáž na stůl stroje. Tento typ svou zástavnou plochou je vhodný tam, kde upřednostňujeme manipulační umístění v ose Y. Těleso stolu možno středit na drážky stolu obráběcího stroje a upínat pomocí T-drážek. Dle potřeby je možné využít k otočnému stolu jako další výbavu volitelné příslušenství. [5]

Obr. 22. Otočný stůl se zadním umístěním pohonu [5]

3.2.3 Vícevřetenové otočné stoly CNC

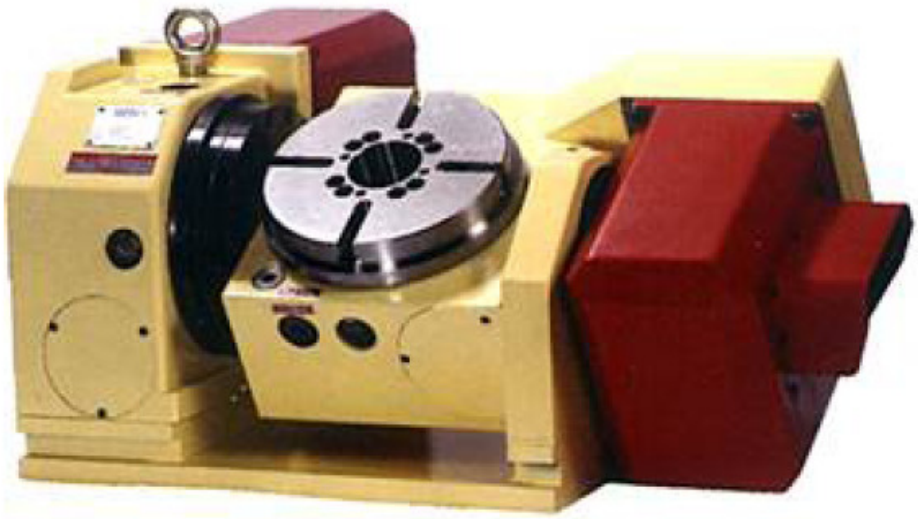
Vícevřetenové otočné stoly nám několikanásobně zvyšují produktivitu výroby v závislosti na počtu použitých vřeten. Používají se pro upínání a obrábění rotačních součástí ve sklíčidlech bez podpěrných koníků. Tento typ stolu je velmi vhodný pro technologie opracování součástí ve středních a vyšších výrobních sériích. Konstrukční uspořádání zajišťuje kompaktní pohon přes AC servomotor. Při upnutí na stůl stroje je usnadněna instalace středěním na polohovací drážku v základně stolu. Rychlé upnutí je za pomocí T-drážek. [5]



Obr. 23. Vícevřetenový otočný stůl [5]

3.3 CNC stoly otočné a naklápěcí

Varianta stolů s CNC řízenou čtvrtou a pátou osou významnou měrou zvyšuje další užitnou hodnotu obráběcího stroje ve větší kombinaci pracovních poloh. Kromě standardního obrábění součástí okolo rotační osy obrobku umožňuje další kombinace opracování s naklápěcí rovinou. Tyto možnosti jsou nabízeny pro složitější tvarové opracování ploch obrobků. Vlastní těleso otočného a naklápěcího stolu je upínáno na stůl vertikálního centra pomocí T-drážek. [5]

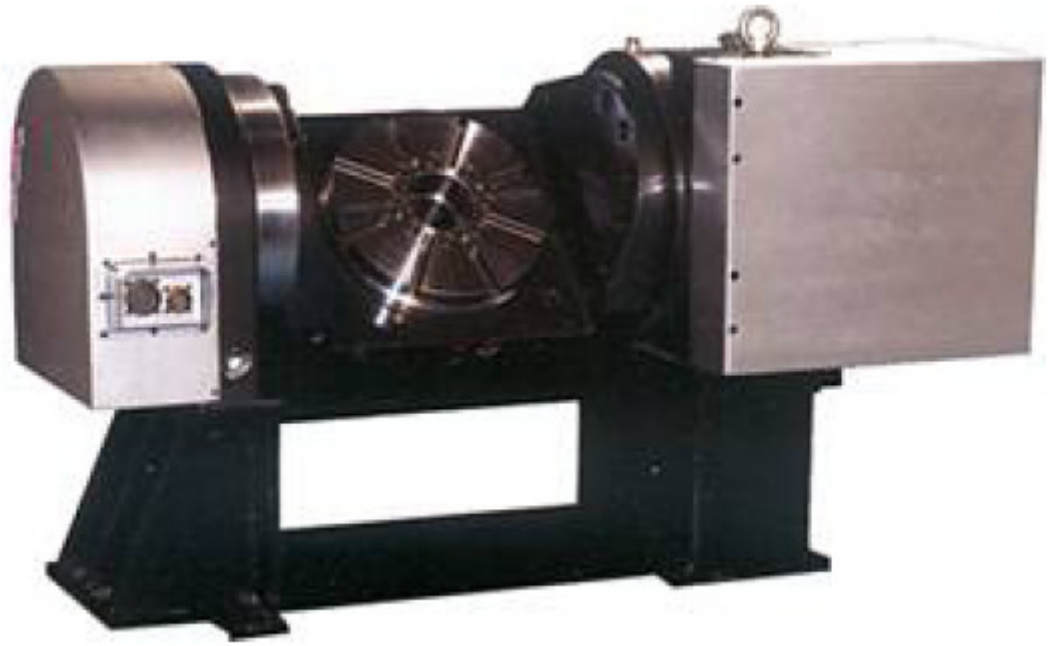


Obr. 24. CNC otočný stůl naklápěcí [5]

3.3.1 CNC otočný a naklápěcí stůl se zvětšeným rozsahem naklápění

Tento typ otočných a naklápěcích stolů je pro zvláštní kategorii použití. Speciální konstrukce pro umístění celého kompletu otočného a naklápěcího stolu umožňuje prostorovou proluku pro zvýšený rozsah naklápění upnutého obrobku. [5]

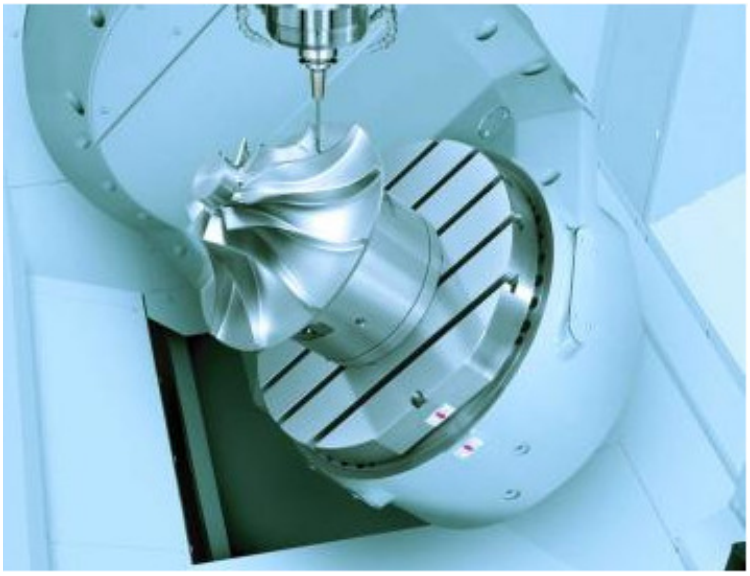
Úhel naklopení od vodorovné polohy až 110° v obou směrech.



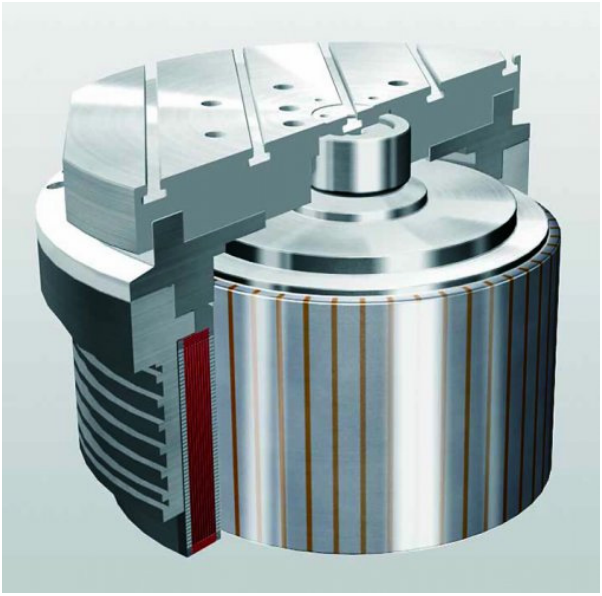
Obr. 25. Otočný stůl se zvětšeným rozsahem naklápění [5]

3.3.2 CNC otočný a naklápěcí stůl s letmým uchycením

U obráběcích center firmy NEWTECH je realizována čtvrtá a pátá osa (B naklápěcí v rozsahu ±170° a C otočná v rozsahu 360°) uložením čtvrté osy letmo v rámu na loži. Pohon obou os je zajištěn prstencovým motorem, síla tedy působí přímo bez použití převodů, odpadají vůle, redukuje se počet užitých dílů, a tím se zvyšuje spolehlivost soustavy. Tuhost obou os je zajištěna aplikací ložisek velkých průměrů (740 mm, resp. 500 mm), deformace na nejexponovanějším místě stolu činí 5 mikrometrů při působení 3000 N. Standardní otáčky osy C 120 min^{-1} lze opčně zvýšit až na 1200 min^{-1}, a tak lze na stroji provádět i soustružnické operace. [11]



Obr. 26. CNC otočný a naklápěcí stůl s letmým uchycením [11]

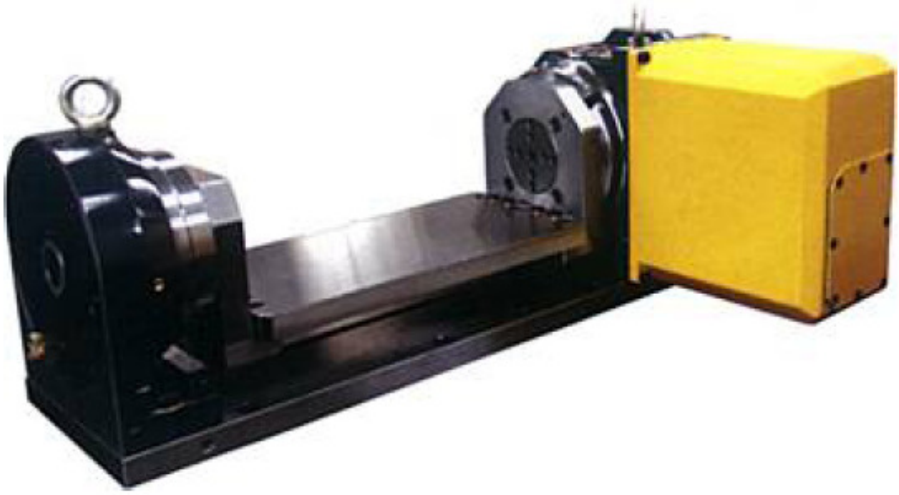


Obr. 27. Pohon čtvrté a páté osy prstencovým motorem [11]

3.4 Rotační produkční systémy

Tento systém je technologickou aplikací výrobního nasazení otočného stolu, naklápěcí desky s čelní podpěrou. Pracovní upínací deska je uchycena na čelní lícní desce otočného stolu a čelní desce protilehlé opěry. V tomto rotačním produkčním systému mohou být proto následně upínány tvarově velmi složité součásti, k jejichž upnutí je zapotřebí upínacích přípravků. Pokud je to možné, mohou být rovněž upnuty přímo na základnu sys-

tému. Tento celý komplet je možno umístit na pracovní plochu stroje vertikálního centra. [5]



Obr. 28. Rotační produkční systém [5]

3.5 Příslušenství otočných a naklápěcích stolů

3.5.1 Ruční, pneumatické a hydraulické koníky

Podpěrné osové zařízení v ose otočného stolu je ve formě klasických koníků a to ve třech možných variantách upínání. V základním provedení je to ruční koník. Dle potřeby lze zvolit variantu s pneumatickým nebo hydraulickým výstupem pinoly koníka. U pneumatických koníků lze volit provedení s obslužnou pneumatickou částí na zádi koníka, nebo s pneumatikou umístěnou ve spodní části tělesa koníka, tzv. varianta kompaktního koníka. [5]

Obr. 29. Koník s pneumatickým vysouváním pinoly [5]

3.5.2 Podpěra s otočnou deskou

Čelní otočná podpěra s lícní deskou slouží jako osový protipól k lícní desce otočného stolu… Používá se tam, kde podepření ve formě koníka nestačí pro zabezpečení spolehlivého upnutí použité technologické varianty obráběné součástky. Bývá proto použita k upínání přípravků s obrobky nebo v kompletaci celkových technologických sestav výrobních systémů. [5]

Obr. 30. Podpěra s otočnou deskou [5]

3.5.3 Sklíčidlo se vzduchovým upínáním

Použití varianty sklíčidla, kde ruční upínání čelistí je nahrazeno pneumatickým pohonem upínací soustavy sklíčidla umožňuje rychlejší bezpečnější upínání rotačních součástí při výrobě na otočném stolu. [5]

Obr. 31. Sklíčidlo se vzduchovým upínáním [5]

4 NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ PRO STAVBU NOSNÝCH SOUSTAV OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Nosné struktury se začínají všeobecně více podřizovat výsledkům výpočtových optimalizací. Často je již možné nalézt na strojích zkosené stojany a to dokonce ve všech třech rovinách, což je požadavek plynoucí z optimální topologické podoby stojanů. Při pozorném sledování je možné rozpoznat, že již mizí dříve velmi významné rozdíly mezi japonskými a obecně asijskými a evropskými nosnými strukturami a komponenty. Především v oblasti užívaných komponentů valivých vedení došlo v posledních letech k velkému sblížení. S ohledem na užívané materiály ve stavbě nosných struktur lze konstatovat, že nedochází k významným změnám. Častěji je však možné vidět náhrady původně litinových pohyblivých stojanů za stojany svařované, bohatě žebrované. Někdy jsou stojany vytvářeny až z překvapivě tenkých ocelových plechů, ale s o to složitější topologickou strukturou. Pokud sledujeme uplatňování nekonvenčních materiálů ve stavbě nosných dílců, tak je zřejmé že k žádnému dramatickému rozšiřování u nich nedochází. [13]

Pokud uvažujeme o uplatňování méně obvyklých materiál ve stavbě nosných dílců, než je ocel ve formě svařenců a různé druhy litiny, pak mezi nejdosažitelnější materiály patří polymerní a cementrové betony, přírodní žula, nebo kombinace svařenců a odlitků s betonovými výplněmi. Bohužel žádný z uvedených nestandardních materiálů nenabízí významně odlišné hodnoty specifického modulu pružnosti. Lze tedy s jistým zjednodušením konstatovat, že z oceli, litiny, kamene, betonu nebo kombinací těchto materiálů můžeme při shodné hmotnosti dílců vytvořit přibližně stejně tuhé dílce. Pokud budeme hledat potenciální materiál pro stavbu dílců velmi lehkých a tuhých, pak je to ocel v podobě tenkostěnných svařenců. Pokud budeme naopak hledat materiál s větším vnitřním materiálovým tlumením, pak je to litina a betony. Avšak z těchto materiál je obtížné navrhovat dílce lehké s vysokou statickou tuhostí. Pokud bychom nazírali materiály z hlediska teplotně mechanického, pak se mohou jevit betony jako vhodnější, ale skutečnost, že tyto materiály potřebujeme ve stavbě strojů spojovat obvykle s ocelovými dílci, tento klad částečně smazává. Při kombinacích oceli a betonu je pak otázkou poměr jejich tuhosti, tepelné roztažnosti a problém nestejného šíření tepla v těchto materiálech, který určuje výsledné teplotně mechanické chování. [13]

Z hlediska volby nejvhodnějšího materiálu pro stavbu nosných dílců nelze paušálně činit žádné rozhodnutí ani doporučení. Vždy je možné se zabývat jen konkrétní náhradou

materiálu u konkrétního dílce. Nepochybně lze z oceli, litiny i betonů postavit stroj se stejnými kvalitativními parametry. Významnějšími otázkami pro vhodnou volbu stavebního materiálu jsou pak spíš než fyzikální vlastnosti materiálu otázky zpracovatelnosti, obrobitelnosti, nákladů na výrobu, rychlosti dodávky dílce od zadání do výroby a další technologicko-hospodářské ukazatele. [13]

Výraznější potenciál pro uplatnění lehkých struktur z nekonvenčních materiálů je pak možné hledat u dílců pohyblivých a velmi vyložených. Jedná se zejména o vřeteníky a příčníky. U stojanových těles je pak obvykle třeba hledat kompromis mezi statickou tuhostí a modálními vlastnostmi při co nejnižší hmotnosti. [13]

Nevyčerpaný potenciál ve stavbě nosných struktur stále spočívá v jejich optimálním dimenzování. Dnešní výpočtové metody umožňují hledat optimální rozložení materiálu v určeném hraničním konstrukčním prostoru a umožňují také již ve fázi návrhu stroje analyzovat interekci modálních vlastností skeletu stroje s pohony a jejich regulací. Užitím těchto metod lze skutečně navrhovat skelety strojů s menším instalovaným množstvím stavebního materiálu, při vysoké statické tuhosti a modálních vlastnostech přiměřených pohonům. Lze se tak vyvarovat zbytečného a škodlivého předimenzovávání dílců a šetřit suroviny a následně i energii potřebnou pro pohyby stroje. [13]

4.1 HIPERCON

HIPERCON je vysokopevnostní cementový beton vyztužený armováním, který se používá na odlitky. Rozmístění komponent na opracované odlitky se provádí pomocí závitových pouzder vlepených do vrtaných otvorů. Beton je odléván za průběžného střásání ve vakuové atmosféře, tak aby byl minimalizován vzduch obsažený ve struktuře. [13]

Společnost TOSHULIN a. s. vyrábí karuselový soustruh, jehož hlavní nosné dílce byly vyrobeny z tohoto betonu. [13]

Přednosti materiálu HIPERCON:

- vysoká pevnost v tlaku
- nízká tepelná vodivost
- dobré materiálové tlumení
- flexibilní změna tvaru konstrukce
- nízké náklady [13]

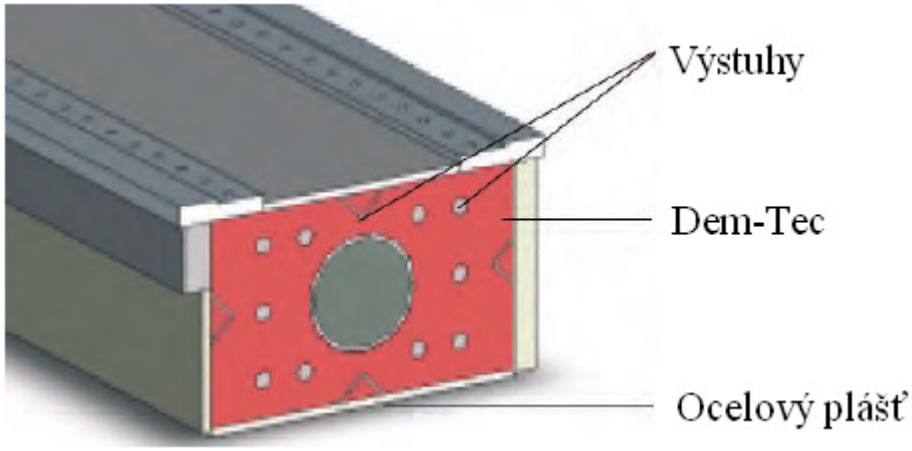
Obr. 32. Detail obrobené (broušené) plochy a vlepených ocelových závitových pouzder pod lineární vedení. [13]

4.2 Hydropol

Hydropol je hybridní materiál patentovaný firmou Framag, je založen na kombinaci ocelového svařence, vyplněného polymerbetonem. Takto vytvořené dílce dokáží vykazovat dobré hodnoty statické tuhosti i tlumení hlavních strukturálních vlastních tvarů kmitů, ale vykazují vysokou hmotnost. Proto se většinou nedal Hydropol užít pro pohyblivé dílce. Na základě tlaku zákazníků a trhu je třeba nabídnout adekvátní řešení také pro pohyblivé dílce stojanů a příčníků a dílce vřeteníků, které jsou obvykle nejvíce vyložené. U těchto pohyblivých dílců je nezbytné řešit problém hmotnosti a minimalizovat jí. Společnost Framag proto přišla s nabídkou hybridních materiálů založených opět na ocelových svařencích a výplni, ovšem výplň je rozdílná oproti Hydropolu a má dva stupně nižší hustoty než u základního hydropolu. Snížení hustoty je dosaženo změnou plniva epoxidové matrice. Materiál Hydropol je nyní nabízen jako řešení vhodné pro nepohyblivé dílce, základny, lože, materiál Hydropol Light je pak určen pro stojany a příčníky a materiál Hydropol Super-Light je určen pro vřeteníky a dílce s nároky na nejnižší hmotnost. [13]

4.3 DemTec

DemTec je obchodní název pro základní stavební materiál používaný firmou Demmeler. Společnost Demmeler je v ČR známá spíše jako výrobce velkých přídavných otočných stolů. Mezi její tradiční produkty však patří také výroba nosných dílců obráběcích strojů. Nosné díly jsou tvořeny obdobně jako Hydropol vnější svařovanou strukturou s žebrováním a výplní. Jako výplň však Demmeler užívá cementový beton s armováním. Pro armování je užito jak hlavních výztužných armovacích tyčí, která propůjčují tělesu vyšší tuhost, tak i drobných armovacích prvků kotvených k vnitřním stěnám svařenců. Jako materiál výplně je užit tzv. drátkobeton, tedy beton s rozptýlenými drobnými armovacími drátky. [13]

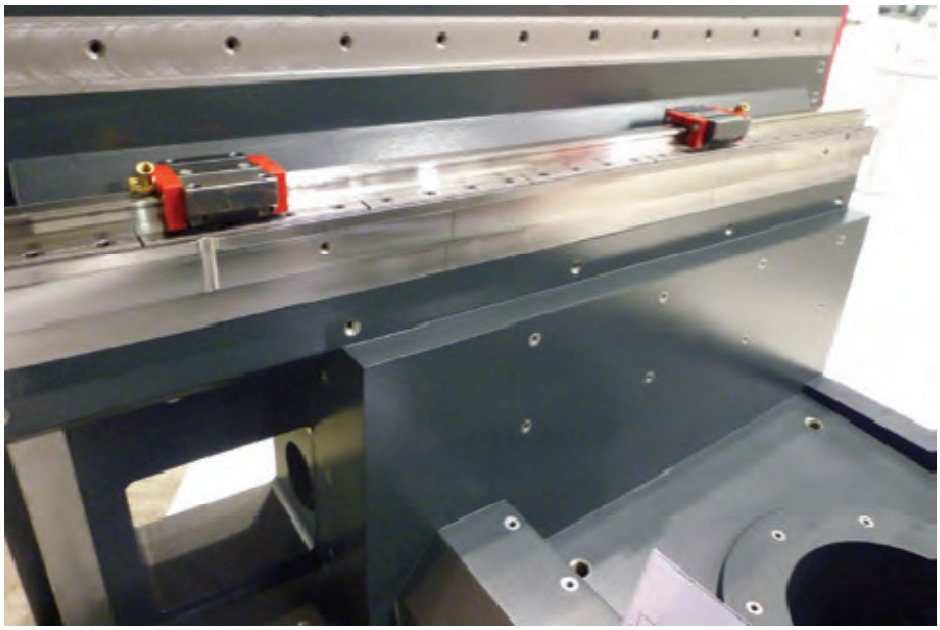


Obr. 33. Základní koncepční schéma materiálové struktury DemTec. [13]

4.4 Mineralguss (dříve Rhenocast)

Německá společnost Schneeberger není jen známým výrobcem přesné lineární techniky, ale již řadu let nabízí dodávku nosných dílců z polymerbetonu a také dodávku celých skeletů strojů. Její polymerbeton nazývá obchodně Mineralguss (dříve Rhenocast) a není bez zajímavosti, že moderní slévárna Schneeberger již několik let úspěšně funguje v ČR. Odlévání polymerbetonu Schneeberger probíhá nejčastěji do kovových forem, často duralových s ocelovou výztuží. Do vnitřní části formy jsou osazeny veškeré inserty a to jak závitová pouzdra, tak i ocelové lišty (většinou pod lineární vedení), nebo ocelové desky pro ustavování strojů, transport nebo spojování s dalšími dílci. Nejprve je forma sestavena, do vnitřní části je nástřikem aplikován separační vosk a na něj vnější barva dílce. Následně je do formy nalévána směs epoxidu a různě hrubých frakcí kamene. Kombinace jednotli-

vých frakcí kamene je podřízena aktuální odlévané části dílce a během odlévání se mění. Litina ve formě je následně střásána na velkých vibračních základových deskách. Po vytvrzení je provedeno odformování a dílec je připraven pro drobné opravy a obrábění funkčních ploch, nebo slepování s dalšími dílci. Stejně jako u cementových betonů dochází k lití za studena a do vnitřní struktury dílce je tedy možné s výhodou zabudovat rozvody infrastruktury médií nebo průchodky pro kabelové svazky. Pro odlehčení dílců je možné do vnitřních prostor zalít polystyrenová jádra, která v dílci zůstávají a zajistí při lití potřebný vymezený odlehčený prostor. V dosažitelných přesnostech obrobení hlavních vodicích ploch, ocelových insertů, je možné dosáhnout stejných přesností, jako i dílců ocelových nebo litinových. [13]



Obr. 34. Detail polmerbetonového odlitku s integrovanou ocelovou lištou pod lineární vedení a s osazenou kolejnicí lineárního vedení [13]

4.5 Přírodní žula

Žuly, též granity, jsou hlubinné vyvřelé horniny. Za žuly se považují všechny hlubinné horniny, které obsahují podstatné množství draselných živců, kyselých plagioklasů a křemene. Žuly jsou obvykle do šeda zbarvené s modrým odstínem, známé jsou ovšem také červené žuly (rapakivi). Žuly jsou stejnoměrně zrnité (eugranitické), občas porfyrické. Struktura je hypidiomorfně zrnitá. [14]

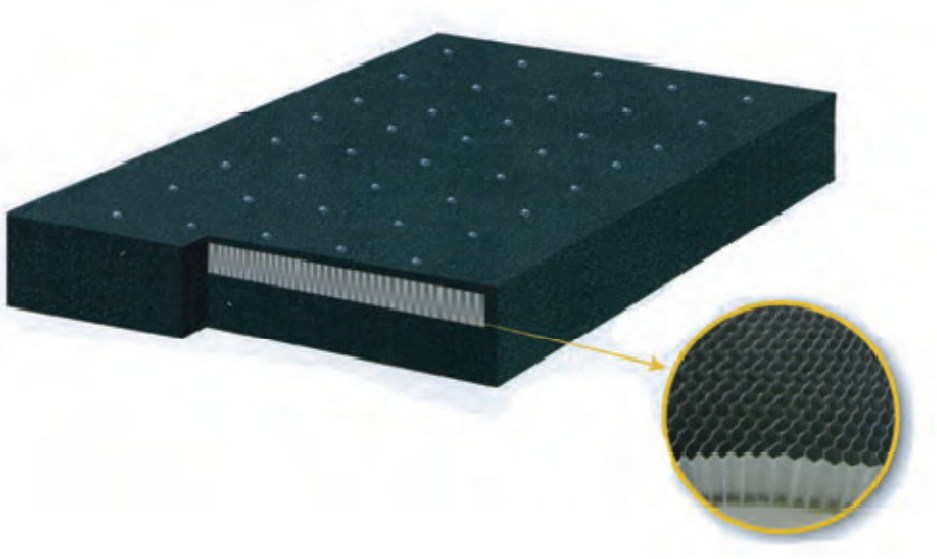
Hustota žul se pohybuje kolem 2,80 g/cm³. Odlučnost žuly je kvádrovitá někde tlustě lavicovitá, vyskytuje se také sloupcovitá a kulovitá odlučnost, nepravidelně polyedrická odlučnost je typická pro zvrásněné oblasti. [14]

Mineralogickými složkami žuly jsou především živce (ortoklas a plagioklas), křemen, slídy (muskovit a/nebo biotit) a amfibol (hornblende). Žula obsahuje také malé příměsi magnetitu, granátu, zirkonu a apatitu. Vzácně obsahuje i pyroxen a velmi vzácně železem bohatý olivín a fajalit. [14]

Dílce jsou opracovávány řezáním a broušením a spojování je prováděno téměř výhradně pomocí kovových vlepených insertů se závitovým pouzdrem. [13]

Obr. 35. Příklad žulové nosné struktury
části obráběcího stroje [13]

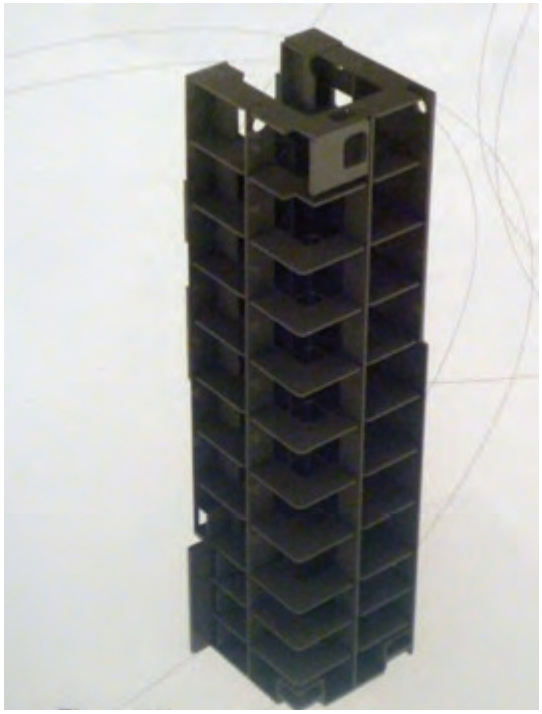
Dalším zajímavým produktem je patentovaná deska z umělého granitu s vloženou hliníkovou voštinou. Při takové kombinaci dosahuje tlumení desky až deseti násobku oproti desce ocelové. Rozměry je možno upravit v rozmezí 300 x 300mm do 8000 x 3000mm.



Obr. 36. Granitová deska s voštinou - sendvičová struktura [13]

4.6 Ocelové svařence

Ocelové svařence patří mezi standardní druhy základních těles nosných struktur.



Obr. 37. Hustě žebrovaný svařovaný vřeteník [13]

4.7 Vláknové kompozity

Ucelenou nabídku výroby nosných dílců pro obráběcí stroje z vláknových kompozitů představovala na EMO pouze společnost Compotech. Společnost Compotech patří mezi největší zpracovatele vysokomodulových uhlíkových vláken v České Republice a mezi jednoho z největších producentů Hi-Tech kompozitních materiálů v ČR. Zhruba před 4-mi lety začala společnost zahajovat svoji spolupráci s oborem obráběcích strojů a to především úspěšnou spoluprací s fy Tajmac-ZPS, a. s. v oblasti vývoje koaxiálních náhonových hřídelí pro vícevřetenové soustružnické automaty a dále pak výzkumně-vývojovou spoluprací s Výzkumným centrem VCSVTT při vývoji realizaci a testování plně kompozitových vřeteníků. Vzhledem k velké poptávce po nosných dílcích obráběcích strojů s nižší hmotností, vyšším tlumením a výrazně lepšími modálními parametry se společnost rozhodla vystavovat svoji nabídku řešení pro obor obráběcích strojů na EMO. Je třeba s respektem říci, že nabídka společnosti Compotech pro oblast obráběcích strojů je velmi ucelená a promyšlená a schopnost hledat možné provedení nosných dílců z uhlíkových kompozitů je velmi vysoká. Lze s jistotou předpokládat, že pokročilé kompozitní materiály s unikátními vlastnostmi si budou v oblasti obráběcích strojů postupně vytvářet pevnou pozici a je potěšující že právě česká firma přichází na světový trh s takovouto nabídkou hi-tech řešení. [13]

4.8 Souhrn teoretické části

Na trhu se vyskytují obráběcí stroje, od jejichž počtu řízených os si může odvodit složitost obrobků, které jimi jsme schopni vyrobit. Sortiment strojů začíná u jednoose řízených a pokračuje přes dvou-, dvouapůl-, tří-, čtyř- až k pětiosému a víceosému řízení. Existuje několik možností, jak můžeme toto řízení realizovat. Nejčastěji však dochází při obrábění ke skládání pohybů jak stolu s obrobkem, tak nástrojové hlavy. Stoly a hlavy mohou být v různých provedeních a dodávané s nejrůznějším příslušenstvím. Pokud se podíváme na konstrukci strojů, často se již ustupuje od tradičních technologií a zavádějí se nové, které se snaží být jejich dobrými konkurenty.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTÍ

Cílem praktické části diplomové práce je navrhnout přídavné zařízení pro tříosou frézku. Toto zařízení by mělo rozšiřovat současnou CNC frézku AZK HWT C-442 Profi o jednu osu a tím zvětšovat rozsah možné výroby na tomto stroji. Jak je uvedeno v teoretické části diplomové práce, řešení podobných případů je prováděno pomocí rotačních nebo naklápěcích stolů. Tímto směrem se bude ubírat i návrh konstrukce.

Celé přídavné zařízení bude vymodelováno v programu Catia R5 v18. K finální verzi návrhu bude zhotovena výkresová dokumentace.

6 CNC FRÉZKA AZK HWT C-442 PROFI

6.1 Popis vlastností

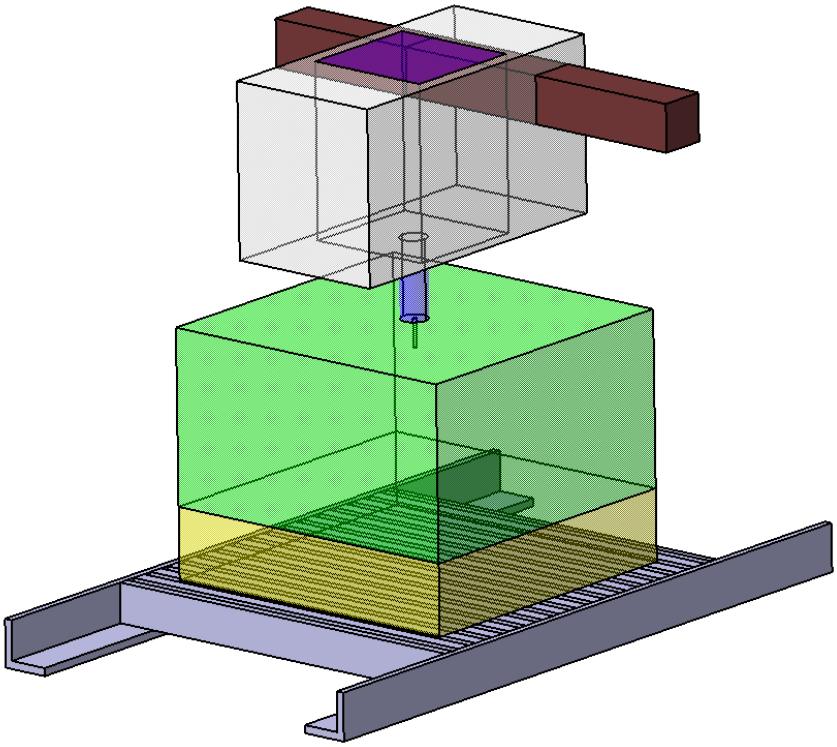
Frézka je vhodná především pro zhotovování grafitových elektrod, frézování plastu, dřeva, hliníku apod. Je opatřena kompenzací tepelné dilatace vřeteníku, osvětlením nástroje a pracovního prostoru, odsávacími hubicemi a úplným zakytováním. [17]

Tab. 1. Vlastnosti CNC frézky AZK HWT C-442 Profi [17]

Obráběcí prostor (X×Y×Z)	400 mm × 400 mm × 200 mm
Velikost upínací plochy (X×Y)	500 mm × 500 mm, 8 mm T drážky
Programovatelná rychlost posuvu	max. 3 m/min
Programovatelný krok	0,00625 mm
Otáčky vřetena	2000-25000 ot./min
Max. upínací průměr nástroje	10 mm
Motor vřetena	1000 W univerzální
Řídící jednotka	PC
Napájení	230 V/50 Hz
Příkon	2300 VA
Vnější rozměry (š×h×v)	1200 mm × 1000 mm × 1400 mm
Hmotnost	410 kg
Materiál obrobku	grafit, plasty, dřevo, barevné kovy
Max. hmotnost obrobku	20 kg

6.2 Obráběcí prostor

Na obr. 38 je schematicky znázorněná frézka. V ose Y se pohybuje obrobek spolu s upínacím stolem což je schematicky znázorněno dvěma L profily, které dovolují v rovině posuv stolu jen v jednom směru. Naproti tomu v ose X a Z se pohybuje obráběcí nástroj. Při pohybu nástroje v ose X se posunuje celý vřeteník frézky. V ose Y nástroj spolu s vřetenem vyjíždí nebo zajíždí z vřeteníku frézky.



Obr. 38. Schematické znázornění frézky

Zelenou barvou je na obrázku znázorněn prostor, do kterého je schopen zajet konec nástrojové hlavy. Rozměry toho prostoru jsou ve směru X 400 mm, ve směru Y 400 mm, ve směru Z 200 mm a leží 90 mm nad upínacím stolem. Pokud bude v nástrojové hlavě upnut obráběcí nástroj a posune se horní plocha prostoru ve směru Z - na špičku nástroje, dostane se obráběcí prostor frézky při daném nástroji. Obráběcí prostor se posouvá v ose Z v závislosti na vyložení nástroje, přičemž teoretické nejmenší vyložení je 0 mm.

Do tohoto prostoru bude umístěno přídavné zařízení, které bude rozšiřovat frézku o čtvrtou osu.

7 NÁVRH PŘÍDAVNÉHO ZAŘÍZENÍ

V průběhu návrhu přídavného zařízení bylo postupováno od prvotního návrhu až po konečnou verzi v několika variantách. V následujícím budou rozebrány tři varianty. Každá z těchto variant je modifikací předcházející, přitom třetí verze je verzí finální.

7.1 Návrh č. 1

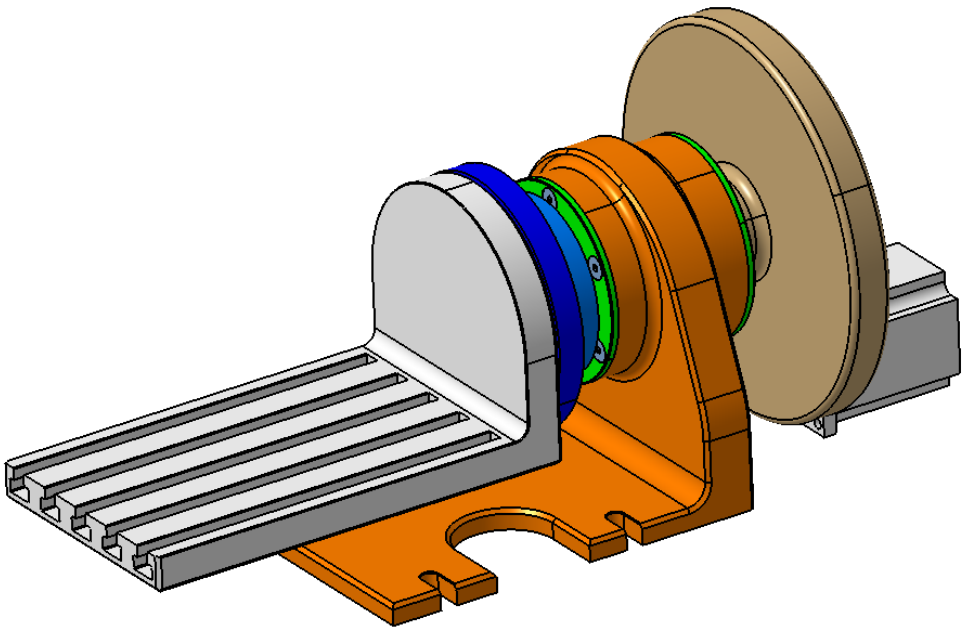
Tento prvotní návrh zařízení je vyobrazení hlavních částí zařízení, které budou postupně modifikovány tak, aby zařízení splňovalo požadavky pro obrábění. Zařízení se skládá z těchto hlavních částí, obr. 39:

a) Rám

- má tvar písmene L,
- slouží k upnutí celého zařízení pomocí čtyř drážek ke stolu frézky,
- uvnitř jsou ložiska, která zajišťují otáčení nebo natáčení stolu.

b) Krokový motor

- slouží jako pohon celého zařízení,
- má za úkol polohovat stůl a zároveň sloužit jako brzda pro ustavení při obrábění.



Obr. 39. Návrh č. 1 axonometrický pohled

c) Převodový mechanismus

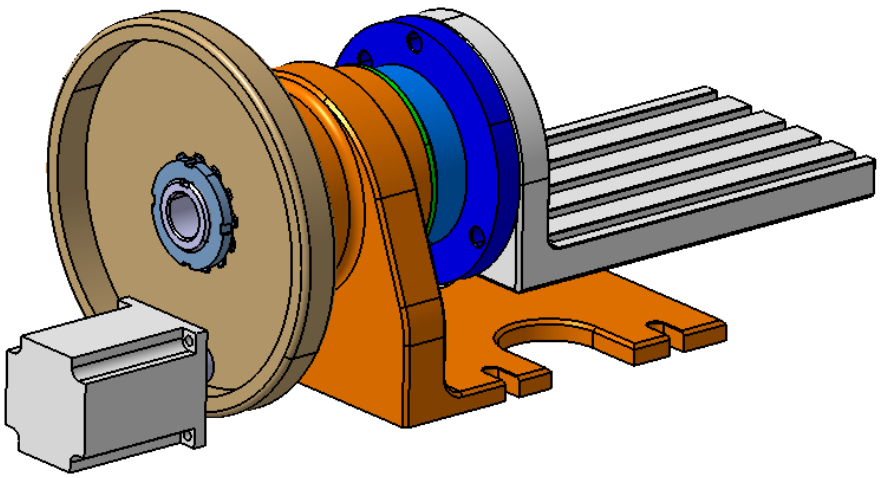
- jedná se o 2 ozubená kola (pastorek s vnějším ozubením, hnané kolo s vnitřním ozubením),
- průměr pastoru d = 20 mm,
- průměr hnaného kola D = 190 mm,
- převodový poměr i = 1:9,5.

d) Hřídel

- přenáší krouticí moment z hnaného kola na přírubu, na niž je upevněn naklápěcí stůl,
- je osazen dvěma jednořadými kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem,
- ozubené kolo přenáší krouticí moment na hřídel pomocí pera, a je na ní zajištěno KM matkou s MB podložkou,
- příruba je na hřídeli našroubovaná a zajištěná svěrným spojem.

e) Ložiska

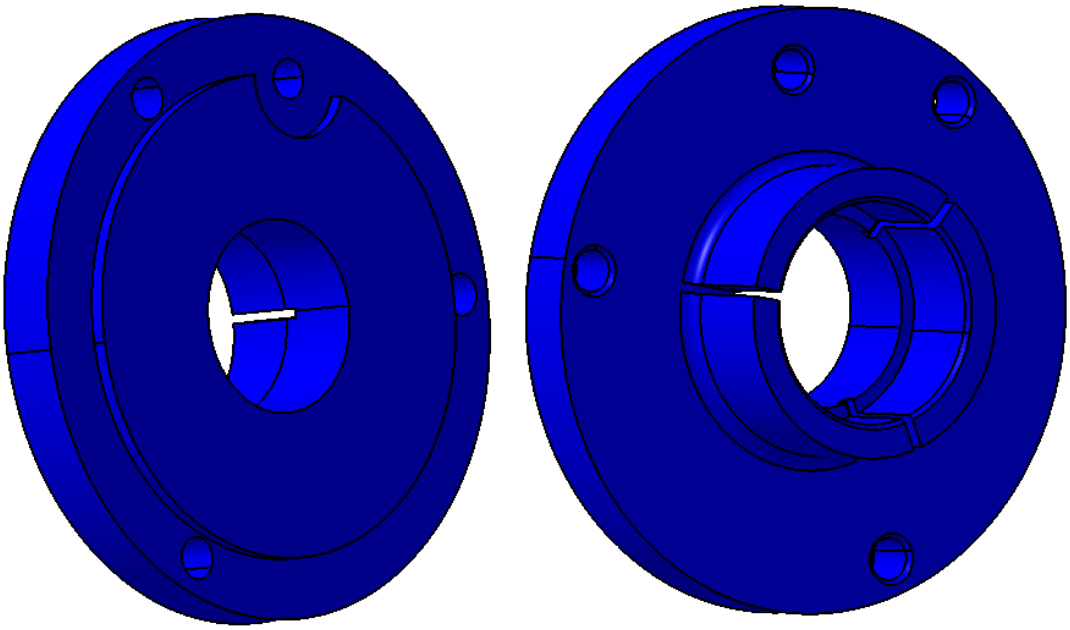
- jedná se o jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem,
- přenášejí reakční síly z hřídele na rám,
- zajišťují přesný chod zařízení.



Obr. 40. Návrh č. 1 axonometrický pohled

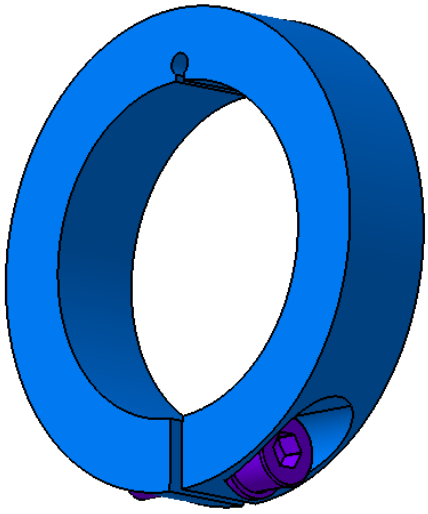
f) Příruba

- přenáší krouticí moment z hřídele na upínací stůl,
- opatřena závitem pro našroubování na hřídel,
- pomocí objímky zajištěna svěrným spojem proti povolení,



Obr. 41. Příruba

- je univerzální a místo upínacího stolu na ni lze upevnit i sklíčidlo,
- tento prvek byl v nezměněné podobě použit i v dalších verzích zařízení.



Obr. 42. Objímka

g) Upínací sůl

- slouží k upevnění obrobku,
- je připevněn na přírubě a spolu s ní se natáčí kolem osy hřídele.

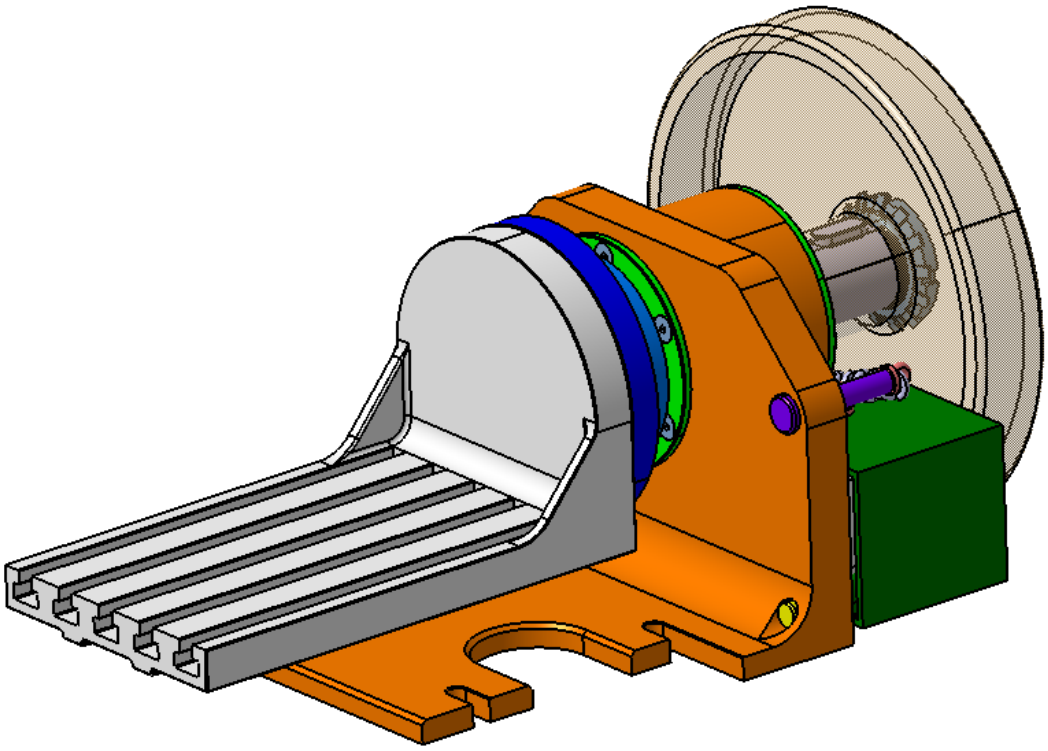
V této studii není zhotoveno připevnění motoru k rámu a jiné detaily. Jednalo se o předběžný návrh, který měl za úkol, nastínit jakými směry by bylo vhodné se dále uchylovat.

7.2 Návrh č. 2

Tento návrh se liší od předchozího návrhu několika změnami, které měly za úkol především zvýšit tuhost a přesnost zařízení.

a) Rám

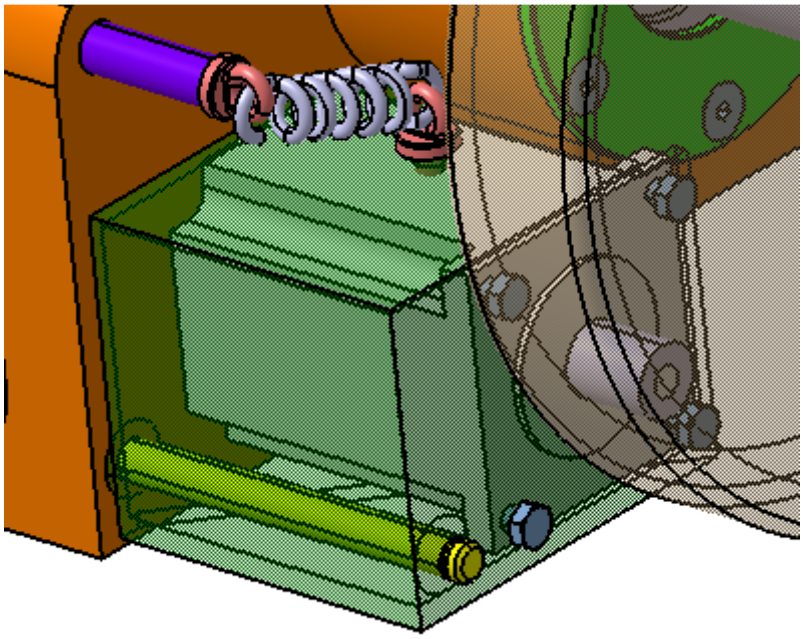
- celý náboj s ložisky byl posunut směrem k převodovému mechanismu,
- byl rozšířen do strany a v této části byly zhotoveny dva otvory pro čepy.



Obr. 43. Návrh č. 2 axonometrický pohled

b) Motor

- Upevněn na přírubě



Obr. 44. Detail příruby s motorem

c) Příruba motoru

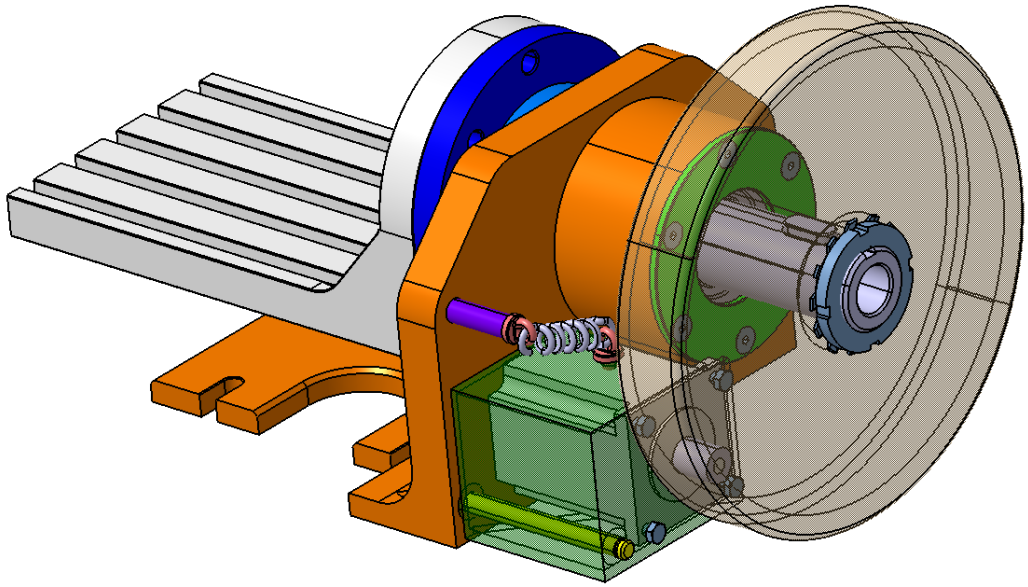
- příruba je ve spodní části nasunuta na čepu, kolem kterého se může spolu s motorem natáčet,
- v horní části je zachycena tažná pružina, která má za úkol vymezovat vůli v ozubení,
- slouží zároveň jako kryt motoru.

d) Převodový mechanismus

- principielně stejný, ale kvůli změně umístění motoru se změnilo umístění pastorku

e) Upínací stůl

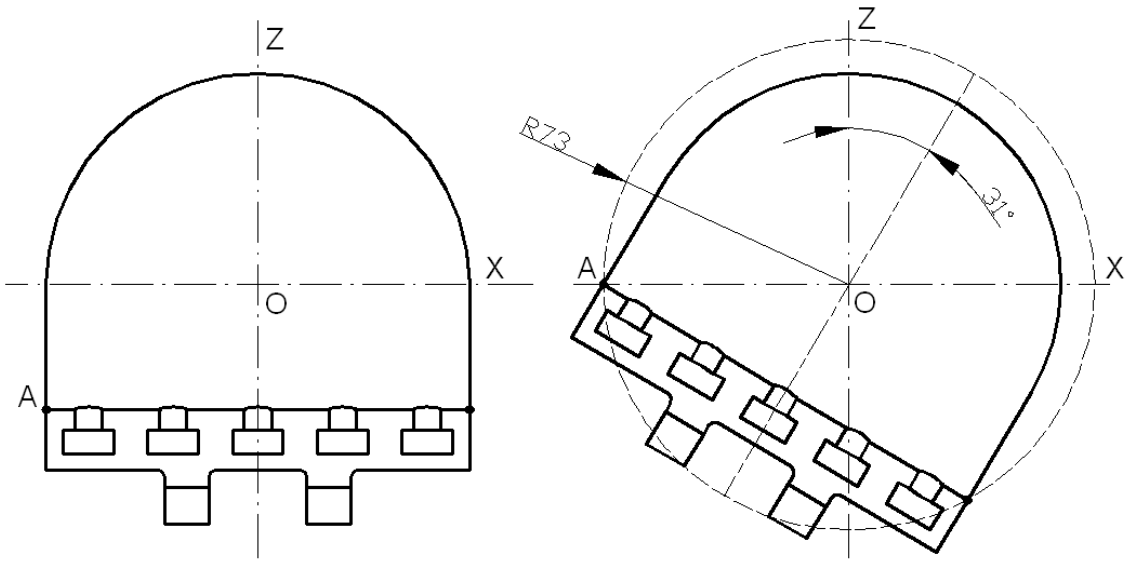
- ve spodní části a na bocích byl vyztužen dvěma žebry, která mají za úkol zmenšení deformace stolu při obrábění a tím i zvětšení přesnosti při obrábění



Obr. 45. Návrh č. 2 axonometrický pohled

7.2.1 Přesnost zařízení

Byl navržen minimální krok, který by mělo zařízení na výstupu splňovat. Jeho velikost byla zvolena s ohledem na reálný největší posuv v jedné z os, kterou vykoná nejvzdálenější bod obrobku od osy otáčení. Tento stav může dle obr. 46 nastat ve dvou mezních případech, a to když bude bod *A* ležet buď na ose *Z*, nebo na ose *X*.



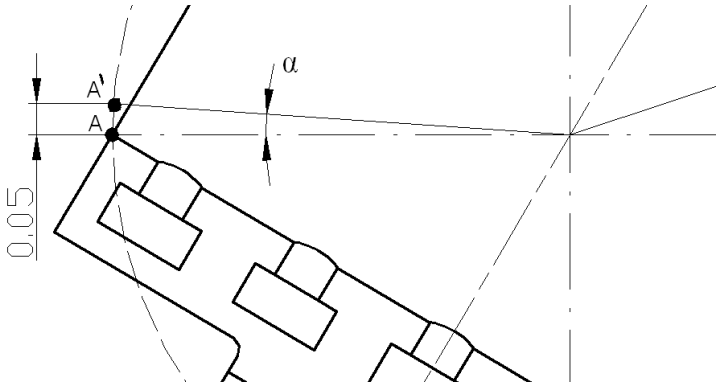
Obr. 46. Mezní poloha

Velikost kroku byla volena tak, aby při obrábění v těchto mezních případech byla velikost posuvu, kterou bod vykoná 0,05mm. Tato hodnota je dostatečná vzhledem k tomu, že na frézce se obrábějí obrobky, u kterých se větší přesnost nevyžaduje a jejich vlastnosti to ani nedovolí. Jestliže je vzdálenost bodu *A* od bodu *O*, kterým prochází osa otáčení rovna 73 mm, pak platí že:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{k}{|AO|} = \frac{0{,}05}{73} \tag{1}$$

$$\alpha = 0°2'21{,}28''$$

Hodnota úhlu α je velikost natočení stolu pro potřebný maximální krok 0,05mm. Velikost minimálního kroku roste, při konstantním úhlu, se vzdáleností od osy otáčení. Tudíž pokud je ve vzdálenosti $|AO|$ v mezním případě rovna 0,05 mm bude její hodnota směrem k ose otáčení pod touto hodnotou.



Obr. 47. Posun bodu

Standardní délka kroku u krokových motorů je 1,8°, tuto délku lze dále elektronicky zmenšit pomocí programovatelných jednotek pro řízení krokových motorů, které nabízí možnost dělení kroku čtyřmi, osmi nebo šestnácti.

Dělení kroku se používá jednak pro zvýšení rozlišení, jednak pro zjemnění chodu a omezení rezonancí.

Pro zvýšení rozlišení se používá běžně dělení kroku čtyřmi, tj. u standardního krokového motoru, který má 200 celokroků na otáčku je pak k dispozici 800 mikrokroků na otáčku. V závislosti na aplikaci (zejména na zatížení, které působící na stojící rotor) je možno použít pro zvýšení rozlišení i dělení osmi, je ale vhodné toto dělení před použitím vyzkoušet.

Dělení kroku nezvyšuje přesnost polohy při velkém momentovém zatížení působícím na rotor, neboť vektor magnetického pole se pouze posune, ale nezesílí. Výsledná

přesnost tedy závisí na poměru statického momentu motoru a momentového zatížení stojícího rotoru. Pokud by zatížení dosáhlo hodnoty statického momentu motoru, bude výchylka od zadané polohy dva celé kroky bez ohledu na nastavené dělení kroku.

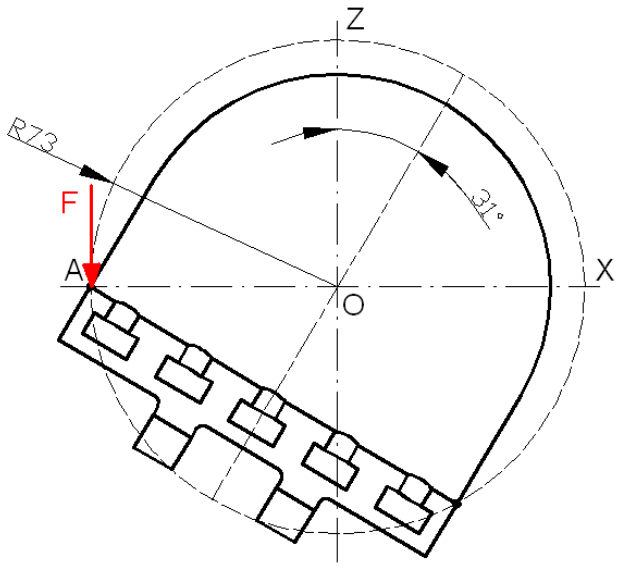
Pro zjemnění chodu je velmi důležité použít dělení kroku minimálně čtyřmi, vzhledem k tomu, že je velký rozdíl mezi chodem s menším dělením a dělením čtyřmi. Rozdíl mezi větším dělením, např. osmi či šestnácti je již minimální, standardně se tedy používá dělení kroku čtyřmi.

Pokud se použije elektronické dělení kroku čtyřmi, dosáhne se hodnoty 0,45° jednoho kroku krokového elektromotoru. Hodnota potřebná na výstupu zařízení je však 0°2´21,28´´. Převodový poměr, který je zapotřebí vyvodit na převodovém mechanismu se získá podílem těchto dvou hodnot.

$$i_p = \frac{0{,}45°}{0°2´21{,}28} = 11{,}47 \tag{2}$$

7.2.2 Návrh motoru

Za předpokladu, že je stůl v mezní poloze, dle obr. 48, tj. bod *A* leží na ose *X* a zároveň v tomto bodě působí síla *F* od vrtáku, jejíž nositelka je rovnoběžná s osou *Z*, bude motor zatížen maximálním krouticím momentem $M_{k,z}$.



Obr. 48. Zatížení stolu osovou silou

Jestliže při vrtání otvorů na frézce vzniká maximální osová síla ve vrtáku F_{max} = 100N, může být vypočítána hodnota $M_{k,z}$, rovnice (3).

$$M_{k,z} = \frac{F_{max}.|AO|}{i_p} = \frac{100.0{,}073}{11{,}47} = 0{,}64Nm \tag{3}$$

Zabezpečení pootočení stolu při obrábění je realizováno pomocí přídržného momentu krokového motoru $M_{k,p}$. Tento moment vzniká díky zbytkovému napětí v cívkách motoru.

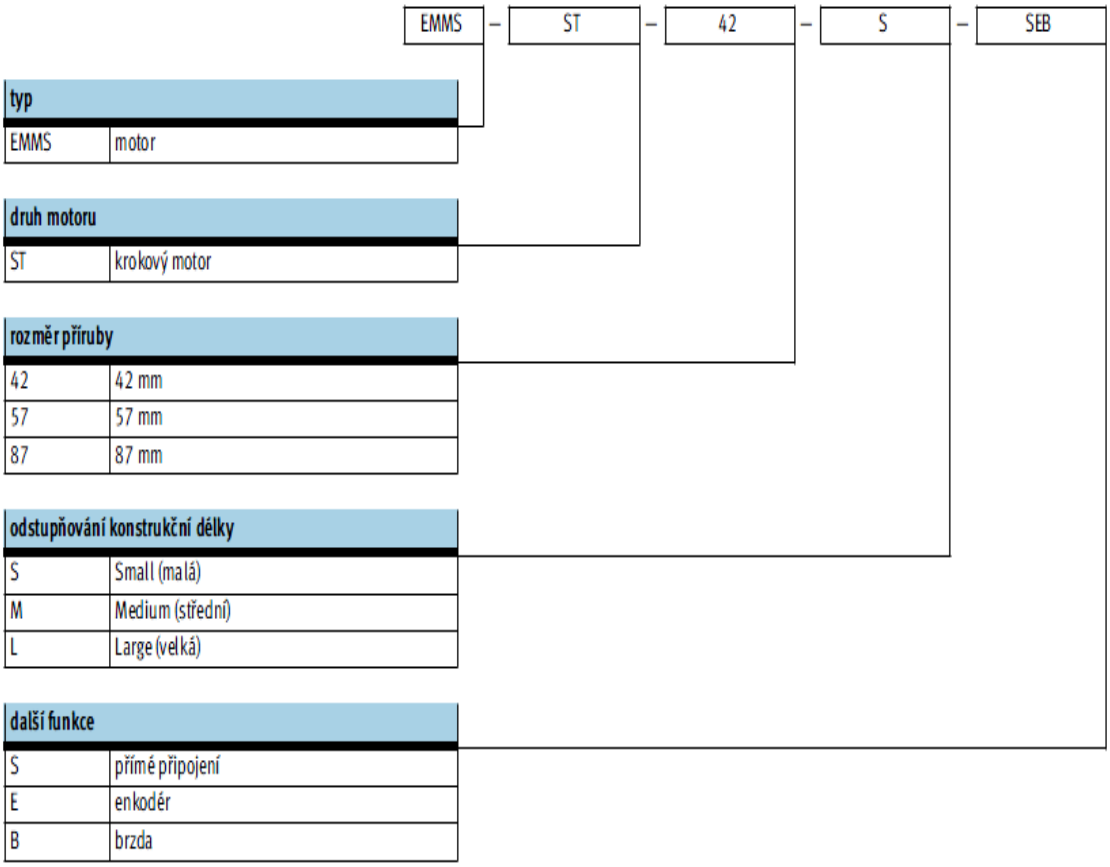
$$M_{k,p} \geq M_{k,z}.k \tag{4}$$

Kde k je koeficient bezpečnosti.

$$M_{k,z}.k = 0{,}64.1{,}5 = 0{,}95Nm$$

$$M_{k,p} \geq 0{,}95Nm$$

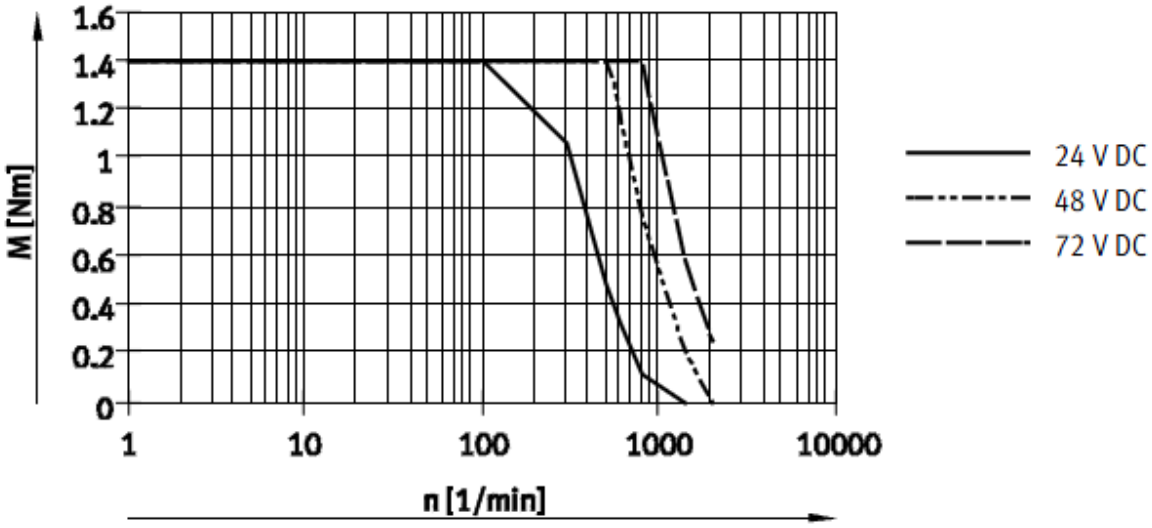
Pro pohon tohoto zařízení byl zvolen krokový motor od firmy FESTO s označením EMMS – ST – 57 – M – SE.



Obr. 49. Legenda typového označení [15]

Tab. 2. Obecné technické údaje o motoru [15]

Napájecí napětí [V DC]	48
Jmenovitý proud [A]	5
Přídržný moment [Nm]	1,4
Úhel pro jeden krok [°]	1,8 ±5 %
Odpor vinutí [Ω]	0,25 ±10 %
Induktivita vinutí [mH]	0,95
Moment setrvačnosti pohonu [kg.cm^2]	0,48
Zatížení hřídele, radiální [N]	52
Zatížení hřídele, axiální [N]	10
Moment setrvačnosti rotoru [kgcm$_2$]	0,48
Hmotnost s enkodérem [g]	1200



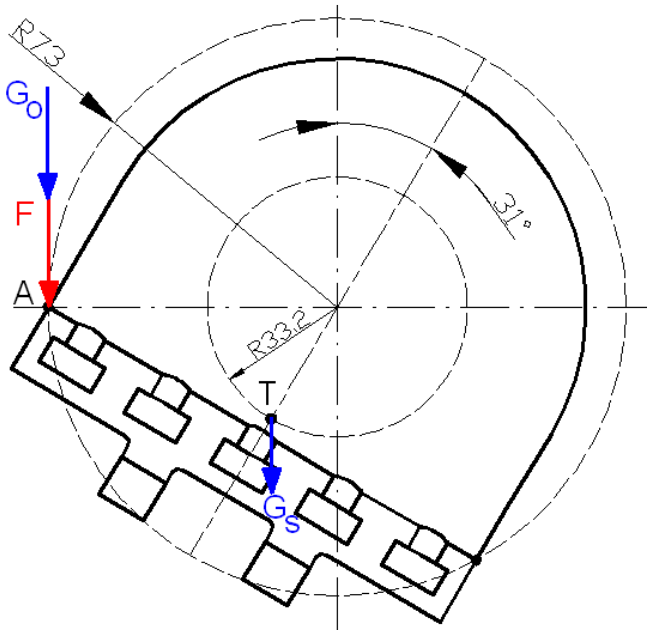
Obr. 50. Závislost krouticího momentu M na otáčkách n [15]

Ostatní technické údaje o motoru jsou v přílohách P I a P II.

Hodnota přídržného momentu $M_{k,p}$ je 1,4Nm, což větší než požadovaných 0,95Nm.

7.2.3 Hmotnost obrobku

Pokud se uvažuje stejná situace jako v kapitole 7.2.2, přičemž se do bodu *A* umístí i těžiště obrobku spolu s tíhovou silou G_o, může být vypočtena maximální hmotnost obrobku m_o pro tento případ.



Obr. 51. Zatížení osovou silou, a tíhovou silou od stolu a obrobku

$$i.M_{k,p} - F_{max}.|AO| - G_o.|AO| - G_s.|TO| = 0 \tag{5}$$

$$G_o = g.m_o \tag{6}$$

$$G_s = g.m_s \tag{7}$$

$$\rightarrow m_o = \frac{i.M_{k,p} - F_{max}.|AO| - G_s.t}{g.|AO|} \tag{8}$$

$$m_o = \frac{11{,}47.1{,}4 - 100.0{,}073 - 20.0{,}0332}{9{,}81.0{,}073} = 11{,}8Kg$$

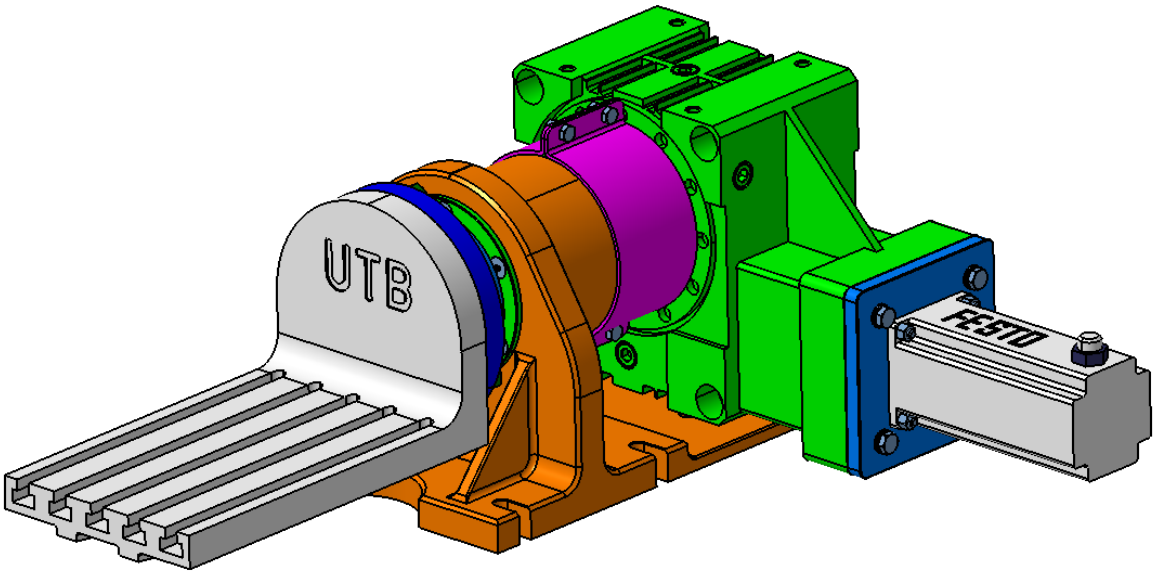
Kde G_s je tíhová síla od upínacího stolu, která působí v těžišti stolu na rameni $|TO|$.

7.2.4 Závěr k návrhu č. 2

Tento návrh se jevil jako schůdný, pokud by bylo dosaženo minimálního požadovaného převodového poměru 11,31. Tento převodový poměr je možné zajistit zmenšením průměru pastorku nebo zvětšením průměru kola, případně kombinací obou těchto možností. V tomto případu bylo uvažováno s tím, že by v celém mechanismu nevznikaly žádné vůle. Tohoto stavu zřejmě není možné úplně dosáhnout, a proto místo čelního ozubení byla zvolena sériově vyráběná šneková servopřevodovku.

7.3 Návrh č. 3

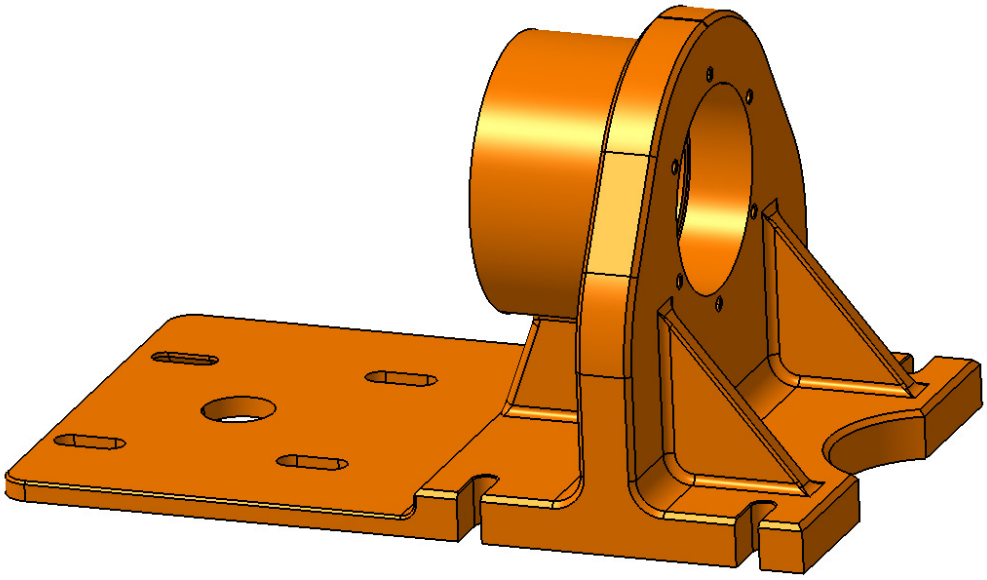
Jak již bylo zmíněno v předcházejícím, tato verze je verzí konečnou. Návrh byl optimalizován tak aby vyhovoval všem požadavkům. Nyní zde budou popsány nejdůležitější funkční části celého zařízení.



Obr. 52. Návrh č.3

7.3.1 Rám

Rám se oproti předcházející verzi výrazně změnil. Původně byl uchycen ve čtyřech místech pod upínacím stolem. Nová verze má v této části pouze dva body pro upnutí a celá tato část je tímto značně zkrácena. Další dva upínací body jsou přesunuty do zadní části, čímž se velmi zvětšila tuhost zařízení. Rám je opatřen pro zvýšení tuhosti celkem třemi žebry, z toho dvě jsou v přední části a jedno v části zadní. V rámu jsou zhotoveny v přední a zadní části otvory se závity pro upevnění víček. Vždy po šesti na každé straně. Zadní část rámu byla prodloužena kvůli potřebě uchycení převodovky. V této části jsou zhotoveny čtyři drážky, z nichž tři jsou pro ustavovací šrouby a čtvrtá je pro šroub, který slouží k zajištění polohy převodovky. Mezi těmito drážkami je otvor pro snadnější vypouštění převodového oleje z převodovky.



Obr. 53. Rám

Během obrábění se z nástroje přenáší silové působení na obrobek a z toho přes další součásti zařízení až na rám. Jelikož cílem bylo dosáhnout co nejnižší hmotnosti celého zařízení, při zachování jeho tuhosti vnikla nutnost odklonit se od běžně užívané oceli k jiným materiálům. Jako vhodné se jevily slitiny hliníku řady 6000. Tato řada má hlavní legující prvky křemík a měď. Slitiny se dají dobře tvářet, svařovat a obrábět. Jsou odolné vůči korozi a mají střední pevnostní vlastnosti. Z této skupiny byl vybrán běžně dostupný materiál označovaný podle ČSN EN 573-3 jako EN AW-6082 nebo podle ČSN 42 4400.

Tab. 3. Fyzikální vlastnosti materiálu EN AW-6082

Hustota [g/cm^3]	2,70
Rozpětí bodu tání [°C]	570-645
Modul elasticity [MPa]	69 500
Poissonův koeficient	0,33
Tepelná vodivost (0-100°C) - [W/(m.°C)]	174
Odpor při 20°C - [μΩ.cm]	4,2
Měrné teplo (0-100°C) - [J/(kg.°C)]	935
Mez pevnosti v tahu [MPa]	275
Smluvní mez v kluzu [MPa]	220

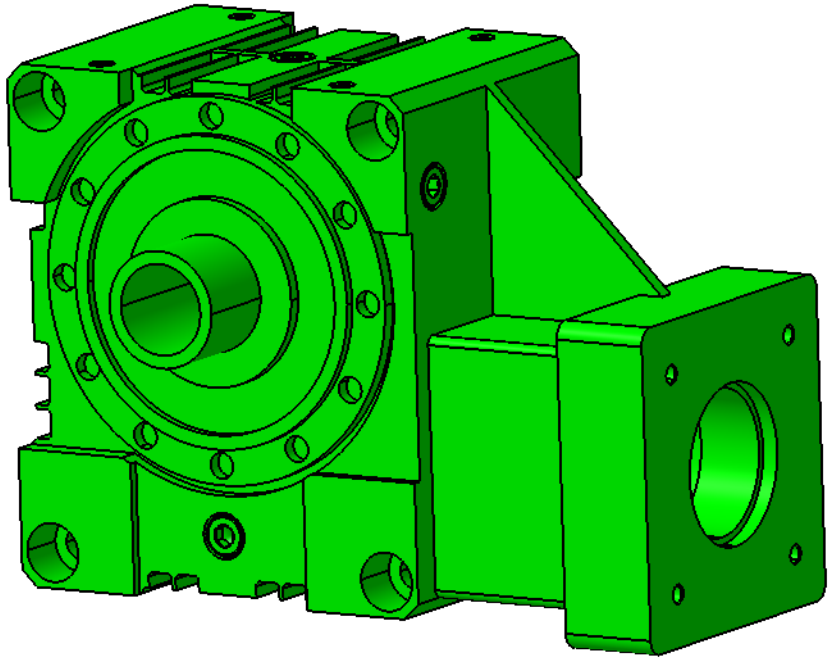
Tab. 4. Technologické vlastnosti materiálu EN AW-6082

Svařitelnost	Hodnocení
Elektrický oblouk	Velmi dobré
Inertní plyn	Dobré
Pájení	Dobré
Obrobitelnost	
Odlamování třísek při obrábění - stav T651	Přijatelné
Lesk opracovaného povrchu - stav T651	Velmi dobré
Korozní odolnost	
Atmosferická	Velmi dobré
Proti mořské vodě	Dobré
Vhodnost k eloxování	
Ochranný	Velmi dobré
Lesklý	Přijatelné
Tvrdý	Velmi dobré

Rám je navržen jako obrobek.

7.3.2 Převodovka

V této variantě byla použita některá ze sériově vyráběných převodovek. . Jelikož cílem je dosažení, co největší přesnosti musela být zvolena převodovka s co nejmenší vůlí v natočení. Pokud by byla použita standardní, ať již planetová, šneková, kuželová nebo čelní převodovky dopouštělo by se při obrábění velkým nepřesností, které by byly zapříčiněny velkou vůlí v ozubení. Pokud je zapotřebí dosáhnout velkého převodového poměru používají se vícestupňové převodovky. Ty mají nevýhodu v tom, že každým dalším stupněm se vůle v natočení zvětšuje. Z těchto důvodu bylo nutné použít přesnou šnekovou servopřevodovku. Díky šnekovému ozubení se dosahuje velkých hodnot převodového čísla, i když má převodovka jen jeden stupeň. Zároveň dosahuje vůle v natočení menší než několik minut. Přesně tyto převodovky vyrábí rakouská firma TAT. Z jejich nabídky byla zvolena šneková servopřevodovku jejíž vůle v natočení je menší než 0°01´.



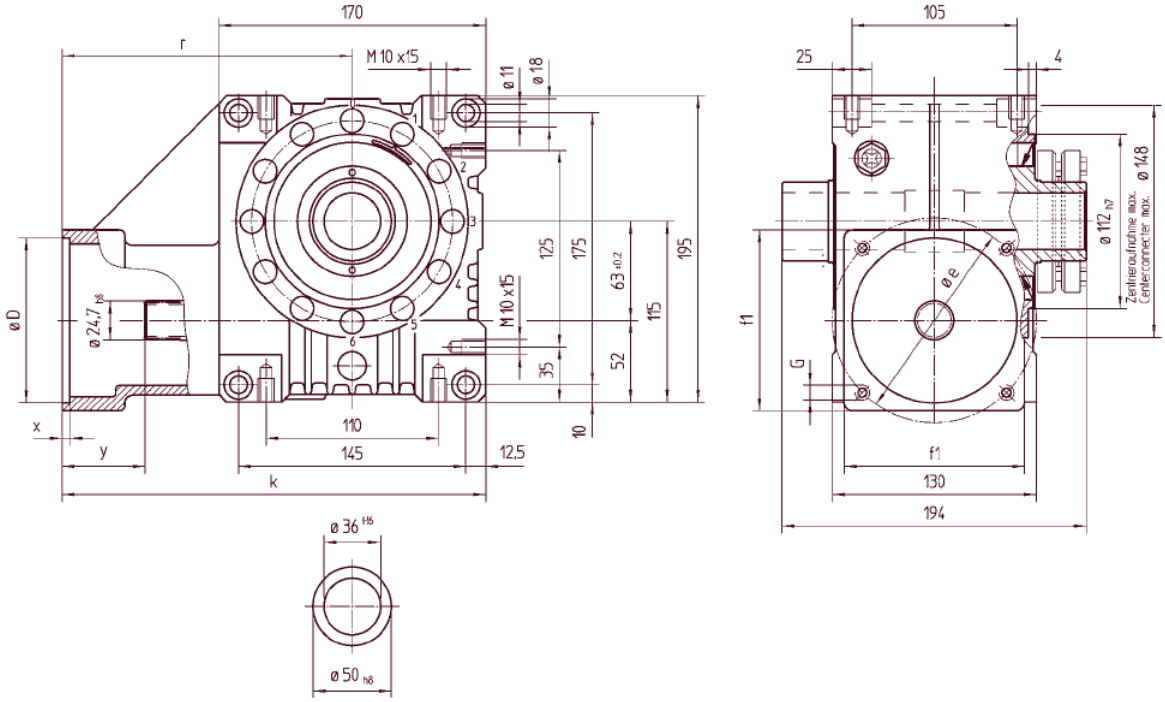
Obr. 54. Přesná šneková převodovka od firmy TAT

Tato vůle se promítne do přesnosti polohování zařízení. Pokud bude požadováno, stejně jako u předchozího návrhu, aby se při jednom z 800 mikrokroků krokového motoru upínací stůl otočil o hodnotu 0°2´21,28´´, je nutné tuto nepřesnost dohnat zvětšením převodového poměru.

Pokud se od sebe odečte jeden krok natočení stolu a vůli v natočení dostává se hodnotu 0°1´21,28´´. Tato hodnota je velikost natočení, které musí být zprostředkováno převodovkou. Krokový motor má jak již bylo zmíněno při elektronickém dělení kroku velikost jednoho kroku 0,45°. Potřebný převodový poměr se zjistí z podílu jednoho kroku motoru a velikosti natočení po převodování.

$$i = \frac{0{,}45°}{0°01´21{,}28´´} = 19{,}3 \tag{9}$$

Nejbližší vyšší převodový poměr je 19,5. Byla zvolena šnekovou servopřevodovka s označením ALTANTA 98 83 520



Obr. 55. Rozměry převodovky [16]

Tab. 5. Rozměry převodovky [16]

i	D G7	k	r	x	y	f_1	e	G	m[kg]
19,5	60	234	164	4	54	100	75	M5	7

7.3.3 Motor

Zvýšením převodového poměru klesla hodnota potřebného přídržného momentu motoru. Pokud budou tejné podmínky jako v předchozím případě, lze vypočítat velikost potřebného přídržného momentu. Pro připomenutí, na rám působily:

- osová síla od vrtáku F_{max} v bodě A,
- tíhová síla obrobku G_o v bodě A,
- tíhová síla stolu G_s v bodě T.

$$i.M_{k,p} - F_{max}.|AO| - G_o.|AO| - G_s.|TO| = 0 \tag{10}$$

$$G_o = g.m_o \tag{11}$$

$$G_s = g.m_s \tag{12}$$

$$\rightarrow M_{k,p} = \frac{F_{max}.|AO| + G_o.|AO| + G_s.|TO|}{i} \tag{13}$$

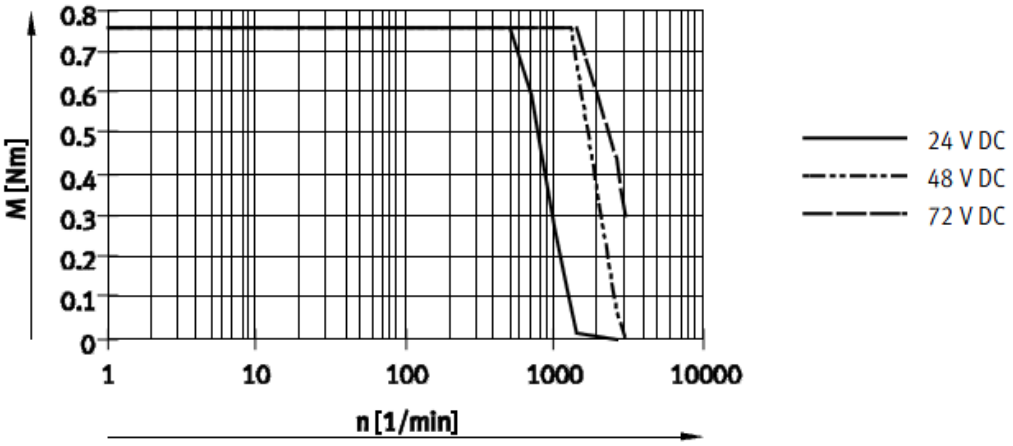
$$M_{k,p} = \frac{100.0{,}073 + 100.0{,}073 + 20.0{,}0332}{19{,}5} = 0{,}78Nm$$

Pokud by bylo omezení, že na tomto zařízení nikdy obráběn tak velký obrobek, který by měl těžiště umístěno maximální vzdálenosti od osy rotace, může být zvolen menší motor než v předchozím případě.

Byl proto vybrán krokový motor firmy FESTO stejné řady, jen v kratším provedení, s označením EMMS – ST – 57 – S – SE.

Tab. 6. Obecné technické údaje o motoru [15]

Napájecí napětí [V DC]	48
Jmenovitý proud [A]	5
Přídržný moment [Nm]	0,8
Úhel pro jeden krok [°]	1,8 ±5 %
Odpor vinutí [Ω]	0,15 ±10 %
Induktivita vinutí [mH]	0,5
Moment setrvačnosti pohonu [kg.cm^2]	0,29
Zatížení hřídele, radiální [N]	52
Zatížení hřídele, axiální [N]	10
Moment setrvačnosti rotoru [kgcm^2]	0,29
Hmotnost s enkodérem [g]	970



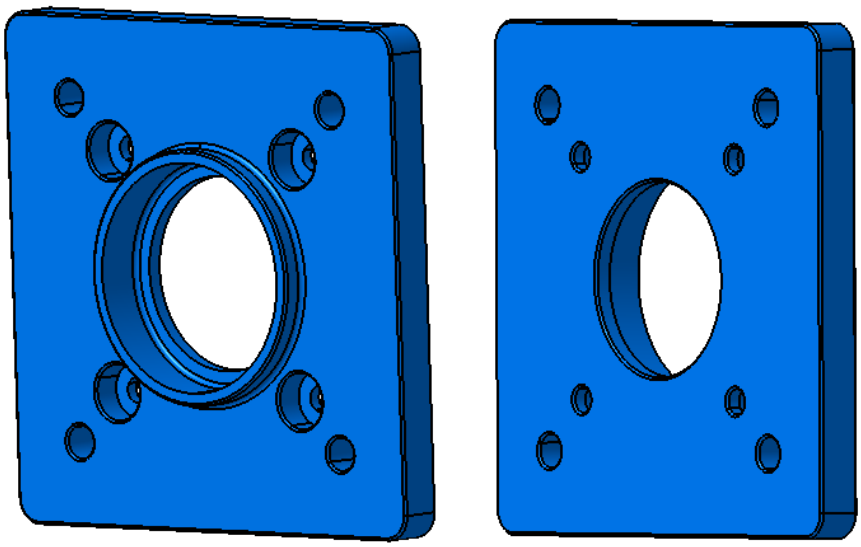
Obr. 56. Závislost krouticího momentu M na otáčkách n [15]

Ostatní technické údaje jsou v přílohách P I a P II.

Hodnota přídržného momentu $M_{k,p}$ je 0,8Nm, což větší než požadovaných 0,78Nm.

7.3.4 Příruba motoru

Protože je převodovka standardně dělaná pro servomotory, které mají normalizovanou přírubu pro spojení s převodovkou, byla navržena příruba pro připevnění motoru k převodovce.

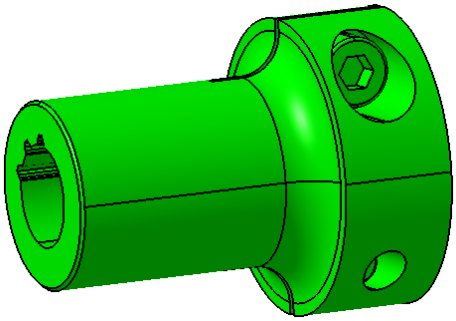


Obr. 57. Příruba motoru

Pro docílení nízké hmotnosti, byla pro přírubu navržena běžná hliníková slitina s označením ČSN 42 4004.

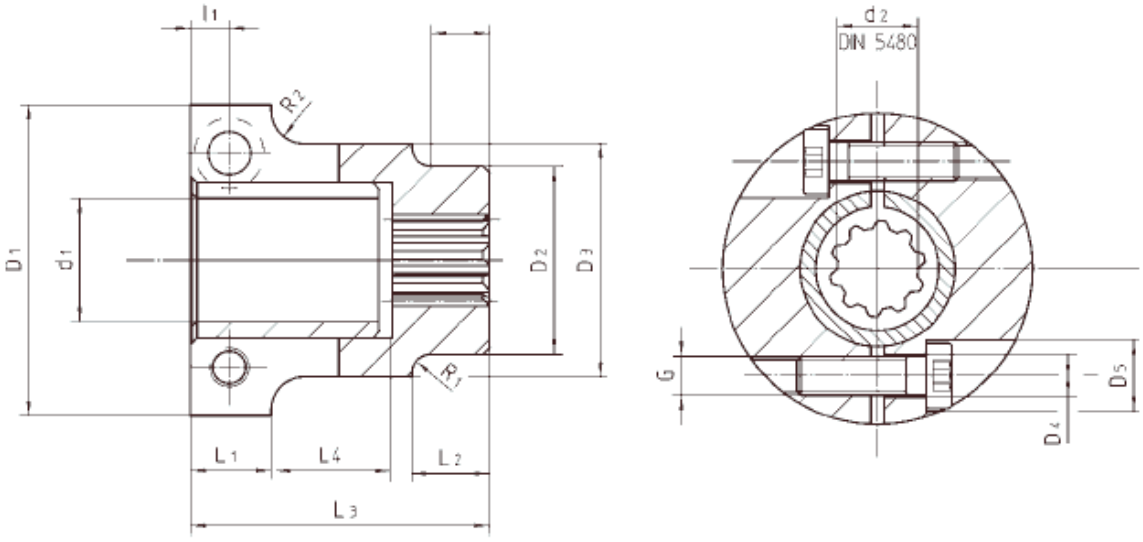
7.3.5 Drážkovaná spojka

Vstupní hřídel do převodovky je osazena drážkováním. Pro spojení hřídele motoru s touto drážkovanou hřídelí používá firma TAT spoji speciální spojku. Spojka je v podstatě naříznutý náboj, který se stahuje pomocí dvou šroubů a tím dochází k upevnění spojky na hřídeli motoru. V druhé části má spojka vnitřní drážkování, do kterého zapadá hřídel převodovky.



Obr. 58. Spojka s naznačeným drážkováním

Byla zvolena spojka s označením ATLANTA 65 51 011



Obr. 59. Rozměry spojky [16]

Tab. 7. Rozměry spojky [16]

d_1	d_2	D_1	D_2	D_4	D_5	l_1	l_2	L_1	L_3	R_1	G	L_4	m[kg]
11	15x1,25x10	36	23	5,5	9	7,5	13	14	46	5	M5	31,2	0,2

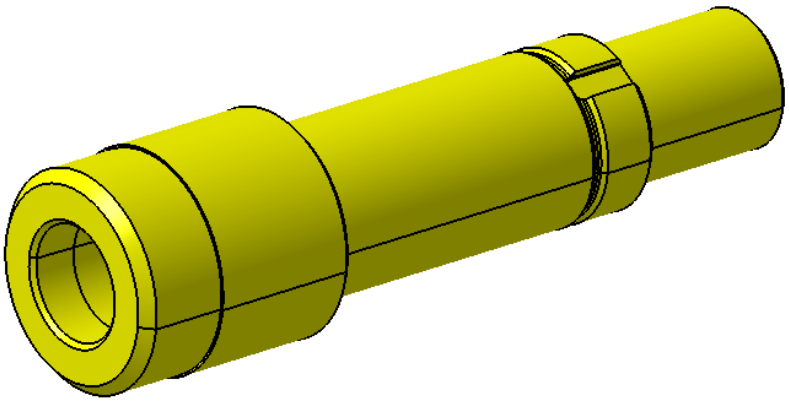
7.3.6 Redukce hřídele motoru

Použitím příruby pro spojení motoru s převodovkou se zvětšila vzdálenost mezi oběma hřídeli. Spojka s drážkováním se v delším provedené nevyrábí a také otvor pro hřídel motoru její nejmenší řady má průměr 8 mm. Vybraný motor má však průměr hřídele 6,35 mm. Z těchto důvodů je na hřídel motoru nalisována za tepla redukce, která propojí motor se spojkou.

7.3.7 Hřídel

Hřídel je osazena dvěma jednořadými kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem. Ložiska jsou na hřídeli a zároveň v náboji rámu stahována přes distanční kroužek pomocí KM matice. Dotahováním matice na hřídeli dochází k vymezování vůle v ložiskách. V přední části je na hřídeli metrický závit, na který lze našroubovat příruba. Zadní část hřídele je nasunuta do převodovky a pomocí svěrné spojky spojena s výstupní hřídelí převodovky. Uvnitř hřídele je kuželová díra pro upevnění zploštělého soustružnického hrotu.

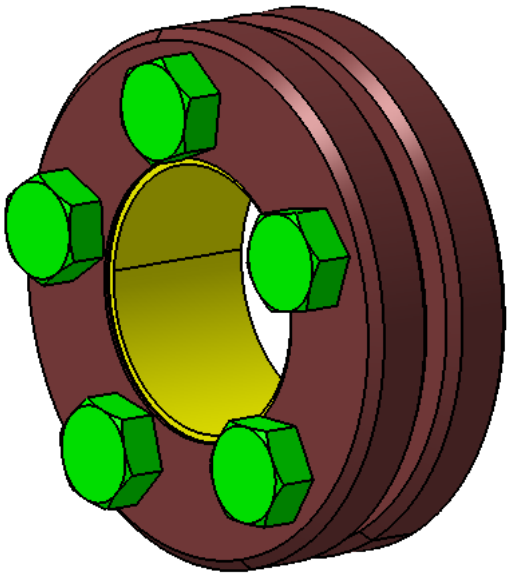
Otvor je pro nástroje s kuželem Morse 3 a prochází celou hřídelí pro snadnější vyražení hrotu.



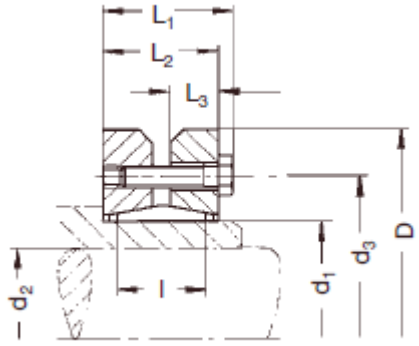
Obr. 60. Hřídel

7.3.8 Spojka

Firma TAT ke svým převodovkám také dodává spojky pro spojení výstupního hřídele převodovky s hnanou hřídelí. Pro převodovku ALTANTA 98 83 520 je vhodná spojka ATLANTA 80 84 036. Skládá se z vnitřního rozříznutého kroužku, dvojice disků a pěti šroubů. Na venkovním průměru vnitřního kroužku je vytvořen kužel. Stejně tak na vnitřním průměru disků, na každém disku s opačným smyslem úhlu. Při utahování šroubů dochází k přibližování disku, které pak stahují vnitřní kroužek. Ten vyvozuje tlak na hřídel převodovky, jenž je stlačován, čímž dochází ke svěrnému spojení obou hřídelů.



Obr. 61. Spojka



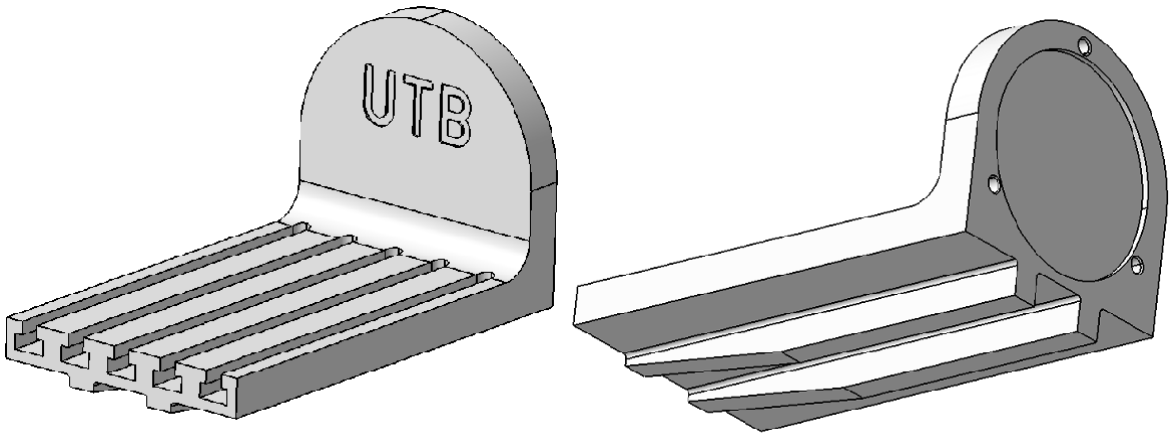
Obr. 62. Rozměry spojky [16]

Tab. 8. Rozměry spojky [16]

a_0	T_{2max}	d_1	d_2	d_3	D	L_1	L_2	L_3	l	G	$M_{k,max}$	m
50	609[Nm]	36	28	52	72.2	27.7	23.5	10	22	5xM6	12[Nm]	0,2[kg]

7.3.9 Upínací stůl

Slouží k ustavení a upnutí obrobku při obrábění. Je přichycen pomocí tří šroubů k přírubě. Oproti minulé verzi byly odstraněny boční žebra, která zmenšovala upínací plochu a neměla při této velikosti podstatný vliv na tuhost stolu. Velikost upínací plochy je 190 x 125 mm.

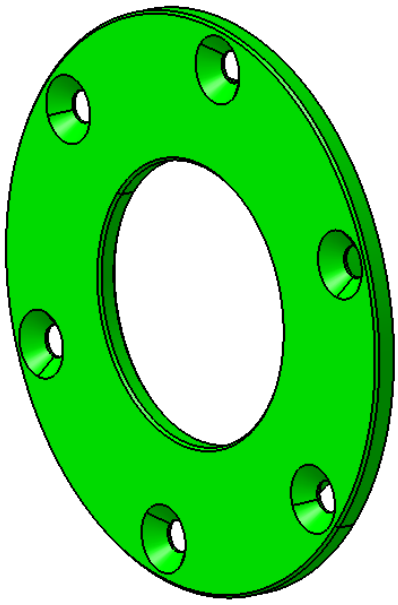


Obr. 63. Upínací stůl

Stejně jako rám je navržen z lehké hliníkové slitiny ČSN 42 4400.

7.3.10 Víko

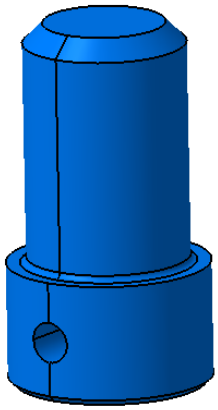
Víka slouží pro zakrytí vnitřní části náboje. Jsou připevněna pomocí šesti šroubů k rámu. Při dotahování šroubů víko zajišťuje vnější kroužek ložiska. Jsou navržena ze stejného materiálu jako příruba motoru a to z ČSN 42 4004.



Obr. 64. Víko

7.3.11 Stavěcí šroub

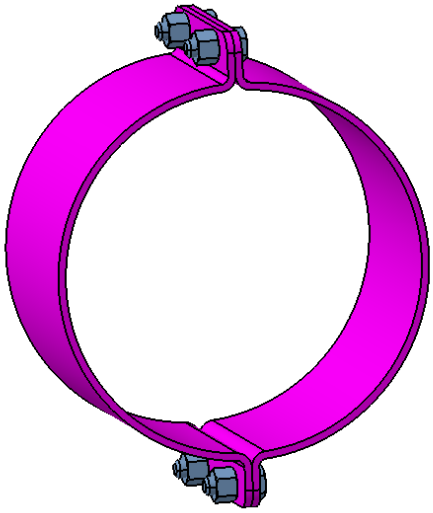
Převodová skříň má zdola čtyři závitové otvory. Z nich tři jsou pro stavěcí šrouby a jeden pro šroub na zajištění polohy. Stavěcí šrouby mají válcovou hlavu, pomocí které je převodovka ustavena v rámu. V této válcové části je zároveň vyvrtán otvor pro dotažení šroubu při montáži.



Obr. 65. Stavěcí šroub

7.3.12 Kryt

Tento kryt slouží k zakrytí spojky a části hřídele. Skládá se z dvou plechových částí, čtveřice šroubů a matek. Pomocí šroubů jsou tyto dvě plechové části k sobě staženy, dosedají při tom na převodovou skříň a rám.



Obr. 66. Kryt

7.3.13 Ložiska

Hřídel je osazena dvěma jednořadými kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem. Výhodou těchto ložisek je, že se tlačení kroužků proti sobě, silou ve směru osy ložiska, vymezuje jejich vůle. Podle katalogu firmy SKF jsme zvolili ložiska 7207 VEB35/S7 7/9PE1 UL.

Obr. 67. Ložiska

Tab. 9. Značení ložisek

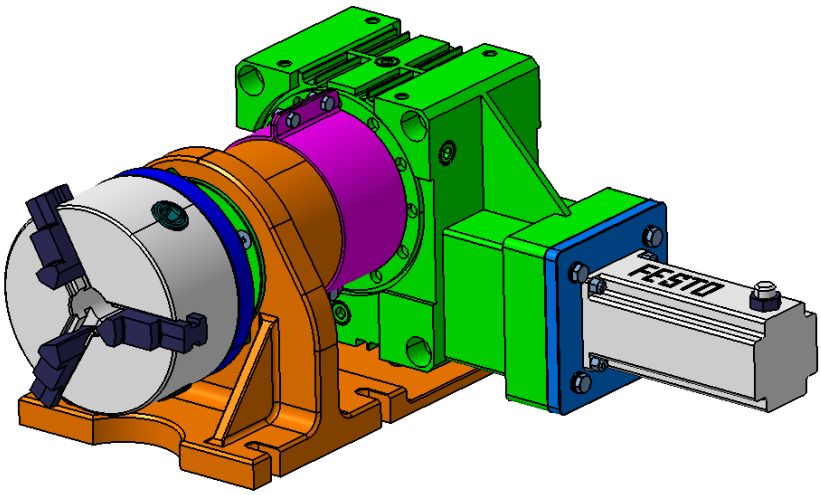
druh	Rozměrová řada	Díra	varianta	přesnost	Materiál klece	Vedeni klece	Svěrný úhel	párovnání	předpětí
VE	B	35	S	7/9	P	E	1	U	L
			Kryt ložiska		Polyamid 6.6	venkem	15°	univerzální	lehké

7.4 Upínaní obrobků

Toto přídavné zařízení bylo navrženo s více možnostmi uchopení obrobku při obrábění. První možnost, a to upevnění na upínacím stolu, byla popsána v předchozí kapitole. Další dvě možnosti budou popsány nyní.

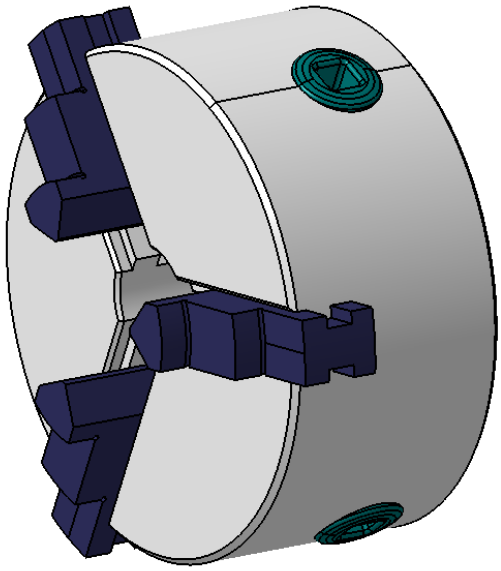
7.4.1 Sklíčidlo

Při obrábění rotačních součástí se vyskytují případy, kdy je zapotřebí obrábět součásti po celém jejich obvodě. To upnutí na stůl často nedovoluje, proto byla navržena příruba tak aby se na ni kromě stolu dalo připevnit také sklíčidlo.



Obr. 68. Přídavné zařízení se sklíčidlem

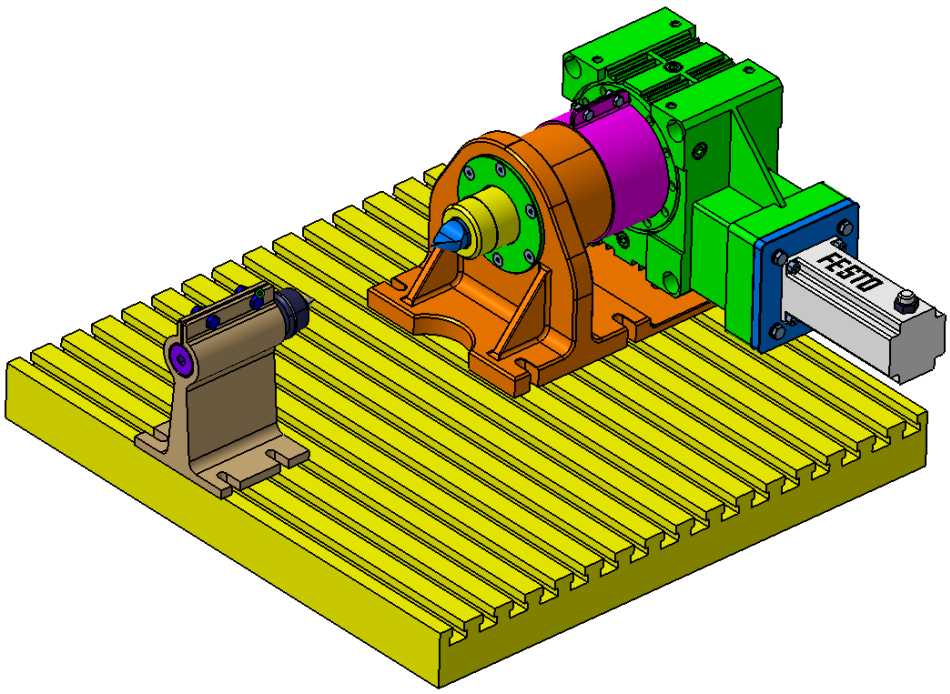
Díky sklíčidlu lze na zařízení frézovat např. různé typy drážkování, spirálové a šroubové drážky po obvodu válcových součástí. Na přírubu lze namontovat sklíčidlo s průměrem 125mm. Toto sklíčidlo je k dispozici v laboratořích UVI.



Obr. 69. Model sklíčidla

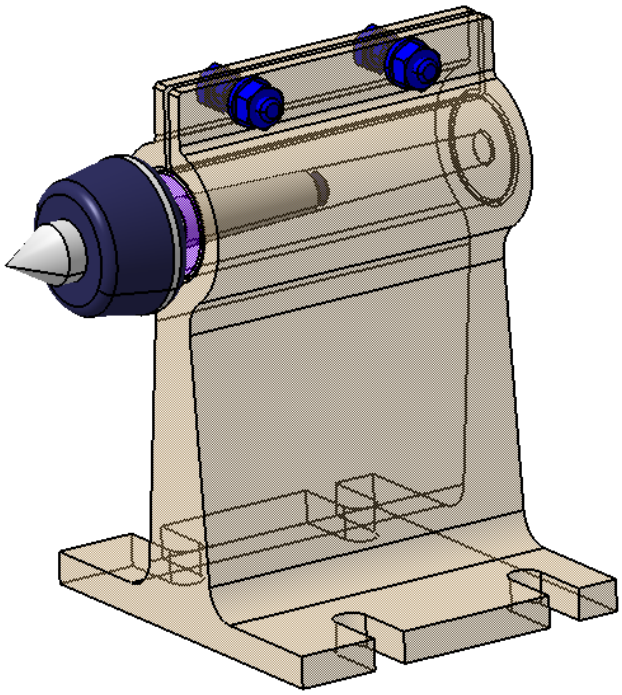
7.4.2 Mezi hroty

Tento typ upínání se v praxi vyskytuje při obrábění na soustruhu nebo při broušení. Aplikuje se u obrobků, u nichž se vyžaduje přesná souosost mezi povrchem součásti a osou rotace. Poměr L/D by neměl být větší než 3, dochází pak k průhybu obrobku.



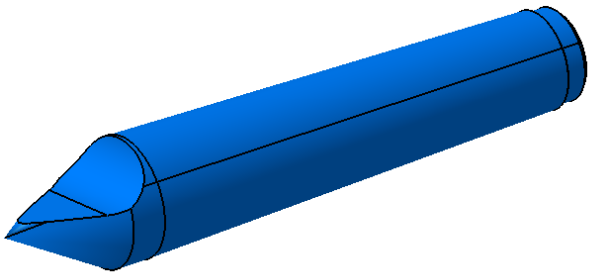
Obr. 70. Přídavné zařízení připravené pro obrábění mezi hroty

Před upnutím se obrobek na soustruhu zarovná na délku a do čel se navrtají středící důlky. Jeden středící důlek se nasune na otočný hrot, který je umístěn v koníku. Druhy středící důlek se nasune na pevný zploštělý hrot. Tento hrot je pomocí Morse kuželu nasunut v hřídeli, čímž se na součást přenáší rotační pohyb. Před montáží zploštělého hrotu musí být demontován upínací stůl, případně sklíčidlo, s přírubou z hřídele.



Obr. 71. Koník

Koník byl proto zařízení rovněž navržen. Skládá se z těla, náboje s vnitřním Morse kuželem velikosti 1 pro upnutí otočného hrotu a dvojice šroubů s matkami. Při dotáhnutí šroubů dojde k sevření náboje tělem koníka a tím k pevnému ustavení součásti.



Obr. 72. Model zploštělého pevného hrotu

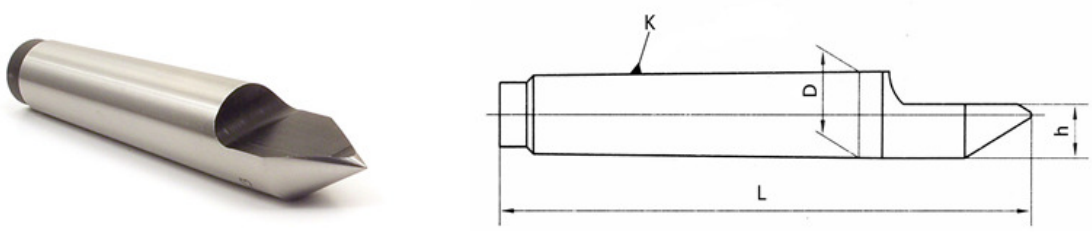
Zploštělý soustružnický hrot

Vlastnosti a použití:

- Vyroben z legované oceli.
- Tvrdost 58-62 HRC.
- Tolerance 0,01mm.

Tab. 10. Rozměry hrotu

Model	Kužel Morse	D[mm]	L[mm]	h[mm]	Hmotnost[kg]
DH3	MK3	23,825	125	15,05	0,33



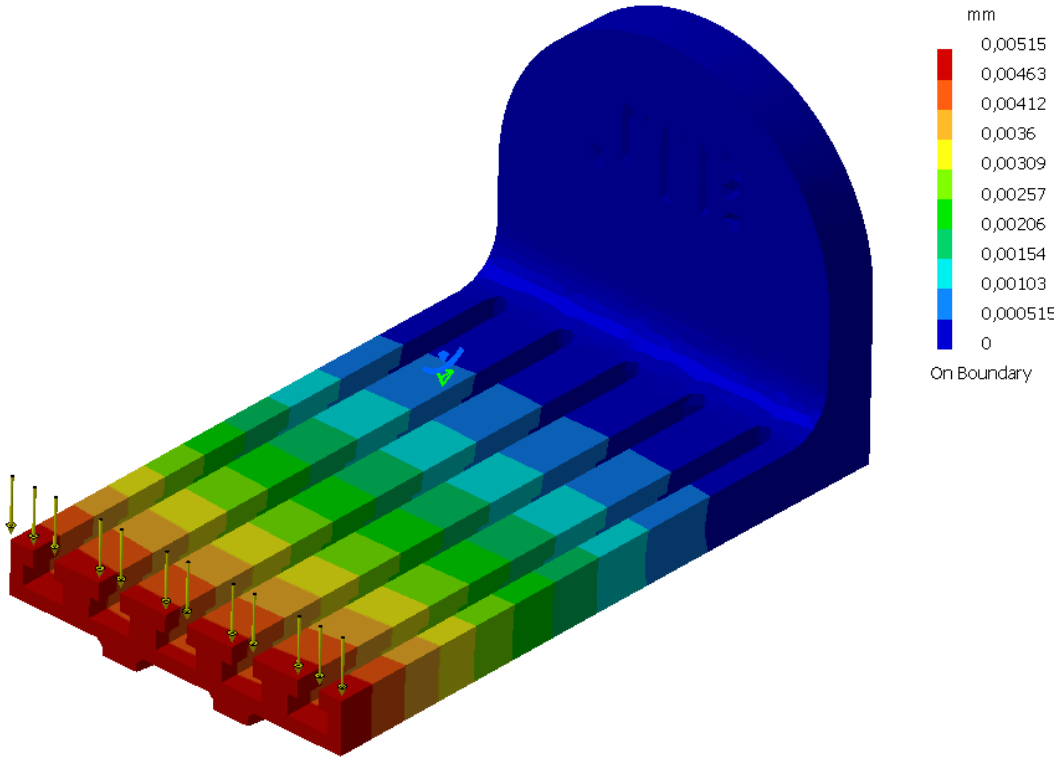
Obr. 73. Rozměry hrotu

8 PEVNOSTNÍ ANALÝZY

Na tomto zařízení může vlivem působení sil při obrábění docházet k deformaci některých jeho částí. Proto byly provedeny v programu CATIA R5 simulace zatížení. Jako při návrhu motoru byl vzat případ, kdy bude docházet k vrtání, ale tentokráte na přední hraně stolu. Při této situaci bude totiž vznikat největší ohybový moment, protože působící sila bude ležet na nejvzdálenějším rameni. Analýzy byly aplikovány na rám a na upínací stůl, z toho důvodu, že tyto součásti nejvíce přenáší zatížení a jsou navrženy z hliníkové slitiny. Během provádění analýz byl optimalizován tvar součástí tak, aby hodnota celkového posunutí bodu *R,* v němž působí síla *F*, dosáhla hodnoty menší než je 0,01mm.

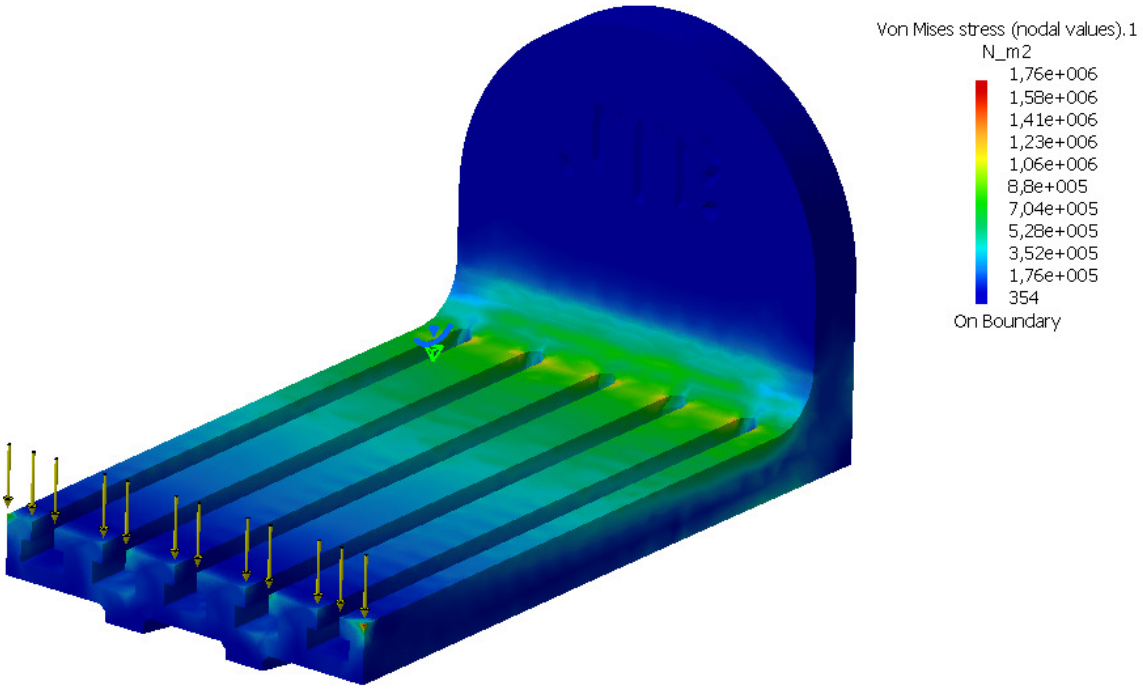
8.1 Upínací stůl

Jako první byl podroben napěťové analýze upínací stůl. Přední hrana stolu byla zatížena silou kolmou na upínací plochu o velikosti 100N. Zadní strana stolu má vazbu, která odpovídá uchycení stolu na přírubu. Po optimalizování tvaru součásti je výsledná hodnota největší deformace v bodě *R* 0,00515 mm.



Obr. 74. Průběh deformace stolu

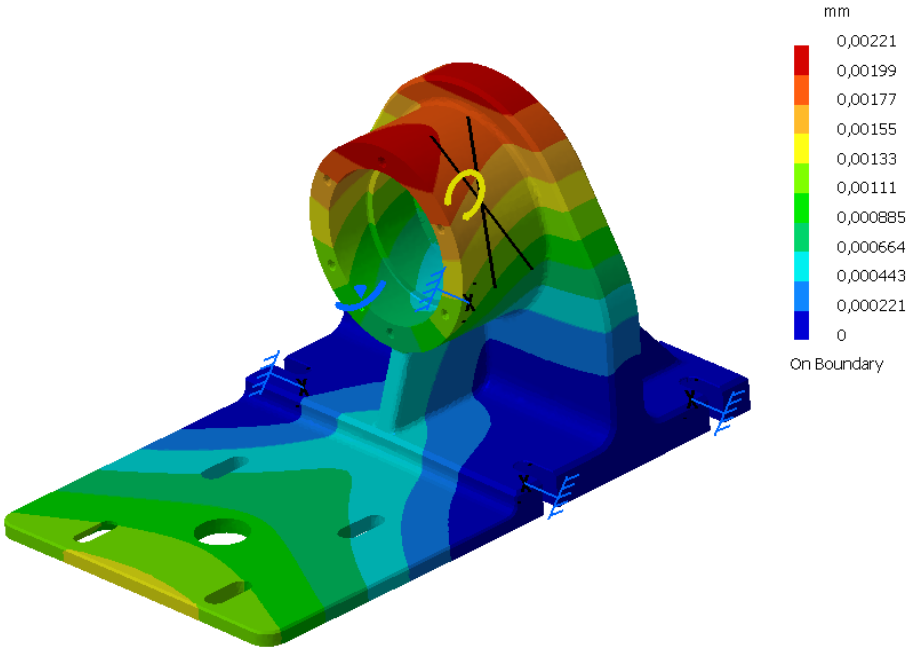
Této deformaci odpovídá Von Misesovo napětí o velikosti 1,76 MPa.



Obr. 75. Průběh Von Misesova napětí

8.2 Rám

Pokud si představíme stejný případ zařízení jako v předchozím případě, bude se na rám přenášet krouticí moment rovný součinu zatěžující síly a jejího ramene. Tento moment bude přenášen přes hřídel a ložiska.



Obr. 76. Průběh deformace rámu

Do prostoru mezi ložiska byl vložen moment o velikosti 25 Nm. Na rám jsme umístili vazby simulující jeho přichycení ke stolu frézky. Největší deformace rámu má hodnotu 0,00221 mm.

Tato deformace však odpovídá největšímu posunu bodu v horní části rámu. Posunutí bodu R lze vypočíst podle obr. 77 z následujících vztahů:

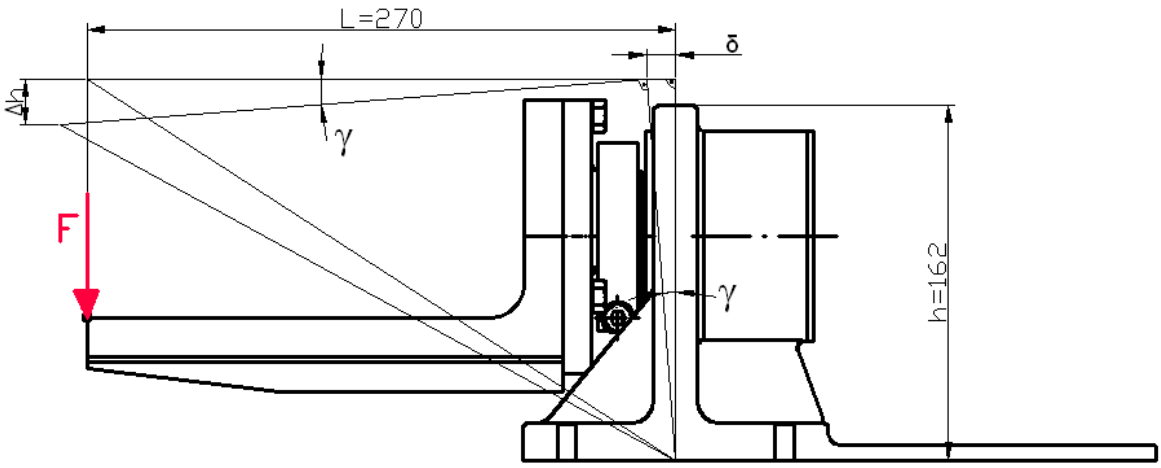
$$tg\gamma = \frac{\delta}{h} \tag{14}$$

$$tg\gamma = \frac{\Delta h}{L} \tag{15}$$

$$\frac{\delta}{h} = \frac{\Delta h}{L} \tag{16}$$

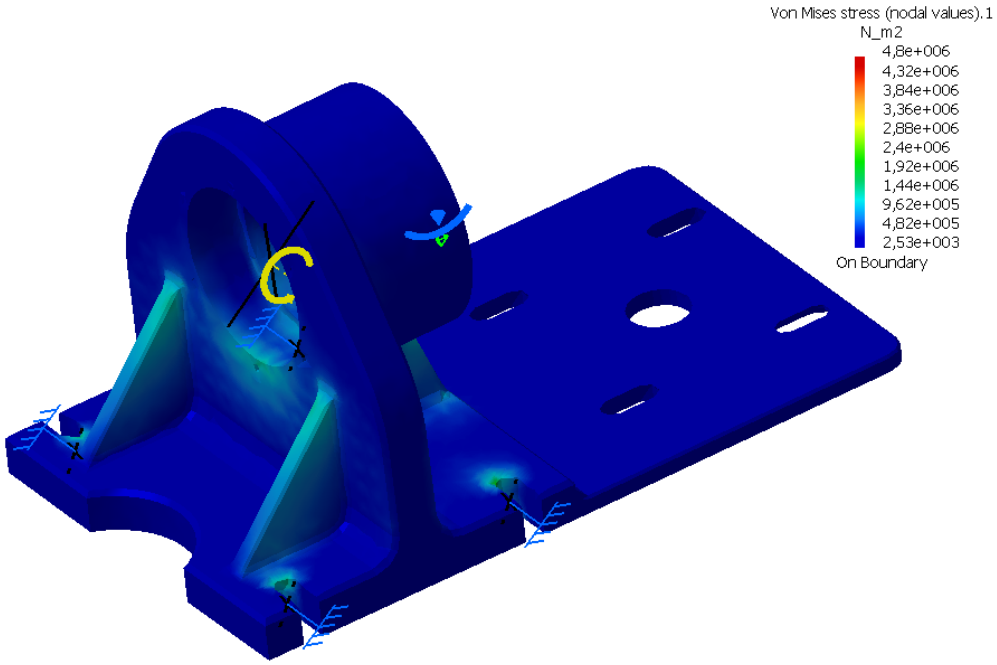
$$\Delta h = \frac{\delta . L}{h} \tag{17}$$

$$\Delta h = \frac{0{,}00221.270}{162} = 0{,}00368mm$$



Obr. 77. Posun bodu R

Při tomto zatížení vzniká Von Misesovo napětí o maximální hodnotě 4,8 MPa.



Obr. 78. Průběh Von Misesova napětí

8.3 Shrnutí analýz

Pokud se sečtou hodnoty obou posunutí bodu R při zatěžování, dostává se hodnota nižší než 0,01 mm. Při analýzách jsou uvažovány případy, kdy byla každá část zatížena zvlášť. Ve skutečnosti však bude deformace menší, neboť celek součástí bude mít podstatně větší tuhost než jednotlivé součásti.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout přídavné zařízení pro tříosou frézku. Toto zařízení by mělo rozšiřovat možnosti obrábění na CNC frézce AZK HWT C-442 Profi, jenž se nachází v laboratoři UVI.

Teoretická část se zabývala studií oblasti víceosého obrábění a kinematikou stojů, které víceosé obrábění podporují. V části těchto kinematických soustav se aplikuje možnost obrábění čtvrtou a pátou osou pomocí výkyvné hlavy. Tato varianta v daném případě není schůdná, protože vřeteník frézky tuto možnost nepodporuje. Musela být tedy zvolena varianta, u které funkce čtvrté osy bude vykonávána pomocí naklápěcího případně rotačního stolu.

Při projektování byly zhotoveny tři návrhy zařízení.

První návrh sloužil jen pro vyobrazení hlavních částí zařízení, které se postupně budou modifikovat tak, aby odpovídaly provozním nárokům frézky. Mezi hlavní části patří krokový motor, převodový mechanismus, hřídel, ložiska, rám, příruba a upínací stůl.

Návrh č. 2 je modifikovanou verzí prvního návrhu. Hlavními změnami bylo vyztužení upínacího stolu a rozšíření rámu z důvodu uložení motoru na kyvné přírubě. Byl stanoven minimální krok, který bude zařízení vykonávat, o velikosti 0°2´21,28´´. Při použití krokového motoru s elektronickým dělím kroku čtyřmi je jeden krok motoru roven 0,45°(0°27´). Aby bylo dosaženo potřebného kroku na výstupu, musí být zařízení opatřeno převodovým mechanismem s převodovým číslem větším než 11,47. Navržený převod měl však převod jen 1:9,5. Změnami rozměrů ozubených kol by bylo možné dosáhnout potřebného převodového poměru, ale není jisté, zda by bylo dostatečné vymezení vůle v ozubení pomocí pružiny, jenž „táhla“ motor do záběru.

Z předešlých důvodů byl zhotoven třetí konečný návrh. Namísto převodu s čelním ozubením, byla použita šneková servopřevodovka s vůlí v natočení menší než 0°1´. Tato vůle se promítla do přesnosti zařízení, a proto musela být použita převodovka s větším převodovým poměrem. Díky zvětšení převodového čísla byl použit menší motor než v předešlém případě. Celé zařízení se rozšířil o přírubu pro uchycení motoru k převodovce a spojku pro jejich propojení, dále o spojku spojující převodovku s hřídelí. Nosný rám zařízení byl vyztužen o žebra zvyšující jeho tuhost a upínací body byly rozmístěny symetricky do přední a zadní časti rámu. Přední číst rámu byla zkrácena a zadní rozšířena z důvodu

uložení převodovky. Rám a upínací stůl jsou navrženy z hliníkové slity, která podstatně snižuje hmotnost celého zařízení na přibližně 17 kg.

Pro toto zařízení byla navržena možnost upnutí obrobku, kromě upnutí na naklápěcím stolu, za pomoci sklíčidla nebo mezi hroty. Pro tuto variantu byl zhotoven koník, který doplňuje otočným hrotem hrot pevný upnutý v hřídeli.

Na trhu s těmito přídavnými zařízeními se vyskytuje řada podobných zařízení. Většina těchto zařízení má dokonce daleko větší přesnost polohování, která se pohybuje o kolo ±0°0´15´´. Vyrábějí se však ve dvojnásobných velikostech, jejich hmotnost začíná u hranice 50 kg a cena u 13 500 Euro. Takto velká přesnost je pro tuto frézku naprosto zbytečná, hmotnost je přesahující možnosti frézky a cena blížící se k ceně frézky samotné.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

[1] JANEČKA, KAREL. Postprocesory a programování NC strojů. první. [s.l.] : UJEP, FVTM, 2007. 244 s. ISBN 978-80-7044-870-0.

[2] KOCMAN, Karel. Speciální technologie: obrábění. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2004. 228 s. ISBN 80-214-2562-8.

[3] ŠTUPLA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. první. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

Internetové zdroje:

[4] DVOŘÁK, Luděk. Otočné stoly. MM průmyslové spektrum [online]. 10.12. 2009, 11, [cit. 2010-11-19]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/otocne-stoly>. ISSN 1212-4572.

[5] STROJTOS LIPNÍK, a.s. [online]. 2006 [cit. 2010-11-19]. OTOČNÉ STOLY, DĚLIČKY, PRODUKČNÍ SYSTÉMY. Dostupné z WWW: <http://www.strojtos.cz/>.

[6] Frézování - 5 os [online]. Brno: DELCAM BRNO, s.r.o. Optimalizace Page Rank.cz, c 2010 [cit. 2010-11-20]. Kinematika strojů. Dostupné z WWW: <http://www.frezovani-5os.cz/metody-frezovani/kinematika-stroju/>.

[7] Frézování - 5 os [online]. Brno: DELCAM BRNO, s.r.o. Optimalizace PageRank.cz, c 2010 [cit. 2010-11-20]. 5 os polohování. Dostupné z WWW: <http://www.frezovani-5os.cz/metody-frezovani/5-os-polohovani/>.

[8] Frézování - 5 os [online]. Brno: DELCAM BRNO, s.r.o. Optimalizace PageRank.cz, c 2010 [cit. 2010-11-20]. Indexování 4. osy. Dostupné z WWW: <http://www.frezovani-5os.cz/metody-frezovani/indexovani-4.-osy/>.

[9] Frézování - 5 os [online]. Brno: DELCAM BRNO, s.r.o. Optimalizace PageRank.cz, c 2010 [cit. 2010-11-20]. Obrábění pomocí robotů. Dostupné z WWW: < http://www.frezovani-5os.cz/clanky/obrabeni-pomoci-robotu.html/>.

[10] TOS KUŘIM-OS, a.s. : Fotogalerie [online]. Brno : 2009 [cit. 2010-11-21]. Vřetenové hlavy. Dostupné z WWW: <http://www.tos-kurim.cz/fotogalerie/gallery-15_vretenove_hlavy/>.

[11] JEŘÁBEK, Vít. Nové pětiosé obráběcí centrum : Čtvrtá a pátá osa. MM Průmyslové spektrum [online]. 19. prosince 2006, 12, [cit. 2010-11-21]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-petiose-obrabeci-centrum>.

[12] TOS VARNSDORF a.s. : Výrobní program [online]. Varnsdorf : TOS VARNSDORF a.s., © 1998-2010 [cit. 2010-11-21]. Frézovací hlavy. Dostupné z WWW: <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/prislusenstvi/frezovaci-hlavy/>.

[13] SMOLÍK, Jan, et al Stavba nosných soustav. In Obráběcí stroje na EMO Milano 2009 [online]. [s.l.] : [s.n.], © 2010 [cit. 2010-11-22]. Dostupné z WWW: <http://www.rcmt.cvut.cz/actions.html?zoom=20100225_emo2009_sbornik>.

[14] Granit. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 30. 10. 2010 [cit. 2010-11-22]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Granit>.

[15] Katalog FESTO : Krokové motory EMMS-ST [online]. [s.l.] : [s.n.], 2008 [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <http://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/Default.aspx?cat=1521>.

[16] TAT [online]. 2009 [cit. 2011-04-29]. Přesné převodovky. Dostupné z WWW: <http://www.tat.at/cz/product_detail.php?page_id=576&id=77>.

[17] AZK [online]. 2008 [cit. 2011-05-04]. Frézky HWT. Dostupné z WWW: <http://www.azk.cz/line-c-profi.php?lang=cz>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

X		Osa X
Y		Osa Y
Z		Osa Z
α	[°]	Velikost natočení stolu pro potřebný maximální krok 0,05mm
A		Bod A
O		Bod O
T		Bod T
k	[-]	Velikost kroku
i_p	[-]	Potřebný převodový poměr
F	[N]	Síla od vrtáku
M_k	[Nm]	Krouticí moment
$M_{k,z}$	[Nm]	Zpětný krouticí moment
$M_{k,p}$	[Nm]	Potřebný krouticí moment
G_o	[N]	Tíhová síla obrobku
m_o	[kg]	Hmotnost obrobku
G_s	[N]	Tíhová síla stolu
m_s	[kg]	Hmotnost stolu
i	[-]	Převodový poměr
R	[mm]	Bod R
γ	[°]	Úhel natočení rámu
δ	[mm]	Velikost maximální def. rámu
h	[mm]	Výška rámu
Δh	[mm]	Posun bodu R
L	[mm]	Vzdálenost bodu R

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Popis os obráběcích center [5] 13
Obr. 2. Jednoosé řízení (vrtačka) 14
Obr. 3. Dvouose řízený NC stroj (soustruh) 15
Obr. 4. Tříose řízený NC stroj (frézka) 16
Obr. 5. Čtyřosé řízení 17
Obr. 6. Pětiosé řízení 17
Obr. 7. Sklon osy nástroje - pevné nastavení vřeteníku [3] 18
Obr. 8. Sklon osy nástroje - přímka a úhel k přímce [3] 19
Obr. 9. Sklon osy nástroje - Úhel k tečně z bodu obráběné plochy [3] 20
Obr. 10. Obrábění a přesuny nástroje na tvarových plochách [3] 20
Obr. 11. Obráběcí robot [9] 22
Obr. 12. Koncepce hlava – hlava [6] 23
Obr. 13. Koncepce hlava stůl [6] 24
Obr. 14. Koncepce stůl - stůl [6] 25
Obr. 15. Koncepce stůl – stůl - kolíbka [6] 26
Obr. 16. Dělička [6] 27
Obr. 17. Kolmá frézovací hlava [12] 28
Obr. 18. Univerzální automaticky indexovaná frézovací hlava [12] 29
Obr. 19. Dvouosá frézovací hlava ortogonální [12] 29
Obr. 20. Frézovací hlava vidlicová [10] 30
Obr. 21. Otočný stůl s pravým bočním umístěním pohonu [5] 31
Obr. 22. Otočný stůl se zadním umístěním pohonu [5] 32
Obr. 23. Vícevřetenový otočný stůl [5] 33
Obr. 24. CNC otočný stůl naklápěcí [5] 33
Obr. 25. Otočný stůl se zvětšeným rozsahem naklápění [5] 34
Obr. 26. CNC otočný a naklápěcí stůl s letmým uchycením [11] 35
Obr. 27. Pohon čtvrté a páté osy prstencovým motorem [11] 35
Obr. 28. Rotační produkční systém [5] 36
Obr. 29. Koník s pneumatickým vysouváním pinoly [5] 37
Obr. 30. Podpěra s otočnou deskou [5] 37
Obr. 31. Sklíčidlo se vzduchovým upínáním [5] 38

Obr. 32. Detail obrobené (broušené) plochy a vlepených ocelových závitových pouzder pod lineární vedení. [13] 41
Obr. 33. Základní koncepční schéma materiálové struktury 42
Obr. 34. Detail polmerbetonového odlitku s integrovanou ocelovou lištou pod lineární vedení a s osazenou kolejnicí lineárního vedení [13] 43
Obr. 35. Příklad žulové nosné struktury části obráběcího stroje [13] 44
Obr. 36. Granitová deska s voštinou - sendvičová struktura [13] 45
Obr. 37. Hustě žebrovaný svařovaný vřeteník [13] 45
Obr. 38. Schematické znázornění frézky 50
Obr. 39. Návrh č. 1 axonometrický pohled 51
Obr. 40. Návrh č. 1 axonometrický pohled 52
Obr. 41. Příruba 53
Obr. 42. Objímka 53
Obr. 43. Návrh č. 2 axonometrický pohled 54
Obr. 44. Detail příruby s motorem 55
Obr. 45. Návrh č. 2 axonometrický pohled 56
Obr. 46. Mezní poloha 56
Obr. 47. Posun bodu 57
Obr. 48. Zatížení stolu osovou silou 58
Obr. 49. Legenda typového označení [15] 59
Obr. 50. Závislost krouticího momentu M na otáčkách n [15] 60
Obr. 51. Zatížení osovou silou, a tíhovou silou od stolu a obrobku 61
Obr. 52. Návrh č.3 62
Obr. 53. Rám 63
Obr. 54. Přesná šneková převodovka od firmy TAT 65
Obr. 55. Rozměry převodovky [16] 66
Obr. 56. Závislost krouticího momentu M na otáčkách n [15] 67
Obr. 57. Příruba motoru 68
Obr. 58. Spojka s naznačeným drážkováním 68
Obr. 59. Rozměry spojky [16] 69
Obr. 60. Hřídel 70
Obr. 61. Spojka 70
Obr. 62. Rozměry spojky [16] 71

Obr. 63. Upínací stůl 71
Obr. 64. Víko 72
Obr. 65. Stavěcí šroub 72
Obr. 66. Kryt 73
Obr. 67. Ložiska 73
Obr. 68. Přídavné zařízení se sklíčidlem 74
Obr. 69. Model sklíčidla 75
Obr. 70. Přídavné zařízení připravené pro obrábění mezi hroty 75
Obr. 71. Koník 76
Obr. 72. Model zploštělého pevného hrotu 76
Obr. 73. Rozměry hrotu 77
Obr. 74. Průběh deformace stolu 78
Obr. 75. Průběh Von Misesova napětí 79
Obr. 76. Průběh deformace rámu 79
Obr. 77. Posun bodu R 80
Obr. 78. Průběh Von Misesova napětí 81

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Vlastnosti CNC frézky AZK HWT C-442 Profi [17] 49
Tab. 2. Obecné technické údaje o motoru [15] 60
Tab. 3. Fyzikální vlastnosti materiálu EN AW-6082 63
Tab. 4. Technologické vlastnosti materiálu EN AW-6082 64
Tab. 5. Rozměry převodovky [16] 66
Tab. 6. Obecné technické údaje o motoru [15] 67
Tab. 7. Rozměry spojky [16] 69
Tab. 8. Rozměry spojky [16] 71
Tab. 9. Značení ložisek 74
Tab. 10. Rozměry hrotu 77

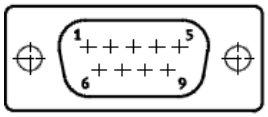
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I	Zapojení konektorů a enkodéru			
Příloha P II	Rozměry motorů			
Příloha P III	Značení ložisek			
Příloha P IV	Rozměry ložisek pro různé typy ložisek			
Příloha P V	Výkres:	Sestava – 4. OSA	Číslo:	00-01-00
Příloha P VI	Výkres:	KUSOVNÍK	Číslo:	00-01-00-K
Příloha P VII	Výkres:	RÁM	Číslo:	00-01-01
Příloha P VIII	Výkres:	HŘÍDEL	Číslo:	00-01-02
Příloha P IX	Výkres:	PŘÍRUBA SKLÍČIDLA	Číslo:	00-01-03
Příloha P X	Výkres:	OBJÍMKA	Číslo:	00-01-04
Příloha P XI	Výkres:	VÍČKO	Číslo:	00-01-05
Příloha P XII	Výkres:	UPÍNACÍ STŮL	Číslo:	00-01-06
Příloha P XIII	Výkres:	KRYT SPOJKY	Číslo:	00-01-07
Příloha P XIV	Výkres:	DISTANČNÍ KROUŽEK	Číslo:	00-01-08
Příloha P XV	Výkres:	REDUKCE HŘÍDELE MOTORU	Číslo:	00-01-09
Příloha P XVI	Výkres:	STAVĚCÍ ŠROUB	Číslo:	00-01-10
Příloha P XVII	Výkres:	PŘÍRUHA MOTORU	Číslo:	00-01-11
Příloha P XVIII	Výkres:	Sestava – KONÍK	Číslo:	00-02-00
Příloha P XIX	Výkres:	TĚLO KONÍKA	Číslo:	00-02-01
Příloha P XX	Výkres:	NÁBOJ	Číslo:	00-02-02
Příloha P XXI	CD			

PŘÍLOHA P I: ZAPOJENÍ KONEKTORŮ A ENKODÉRU

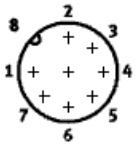
Zapojení konektoru

připojení motoru
velikost 42, 57



PIN	funkce
1	větev A
2	větev A/
3	větev B
4	větev B/
5	–
6	–
7	brzda (24 V)
8	brzda (0 V)
9	–

připojení enkodéru

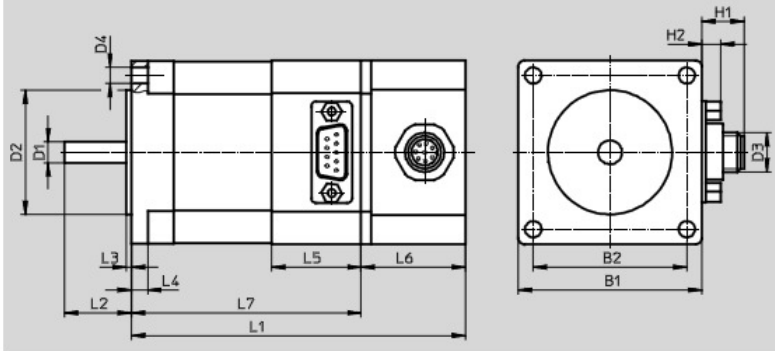


PIN	funkce
1	stopa signálu A
2	stopa signálu A/
3	stopa signálu B
4	stopa signálu B/
5	0 V
6	stopa signálu N
7	stopa signálu N/
8	5 V

Technické údaje – enkodér		
enkodér, optický		
napájecí napětí	[V DC]	5
impulsů/otáčku	[1/min]	500
nulový impuls		ano
ovladač linky		protokol RS422

PŘÍLOHA P II: ROZMĚRY MOTORU

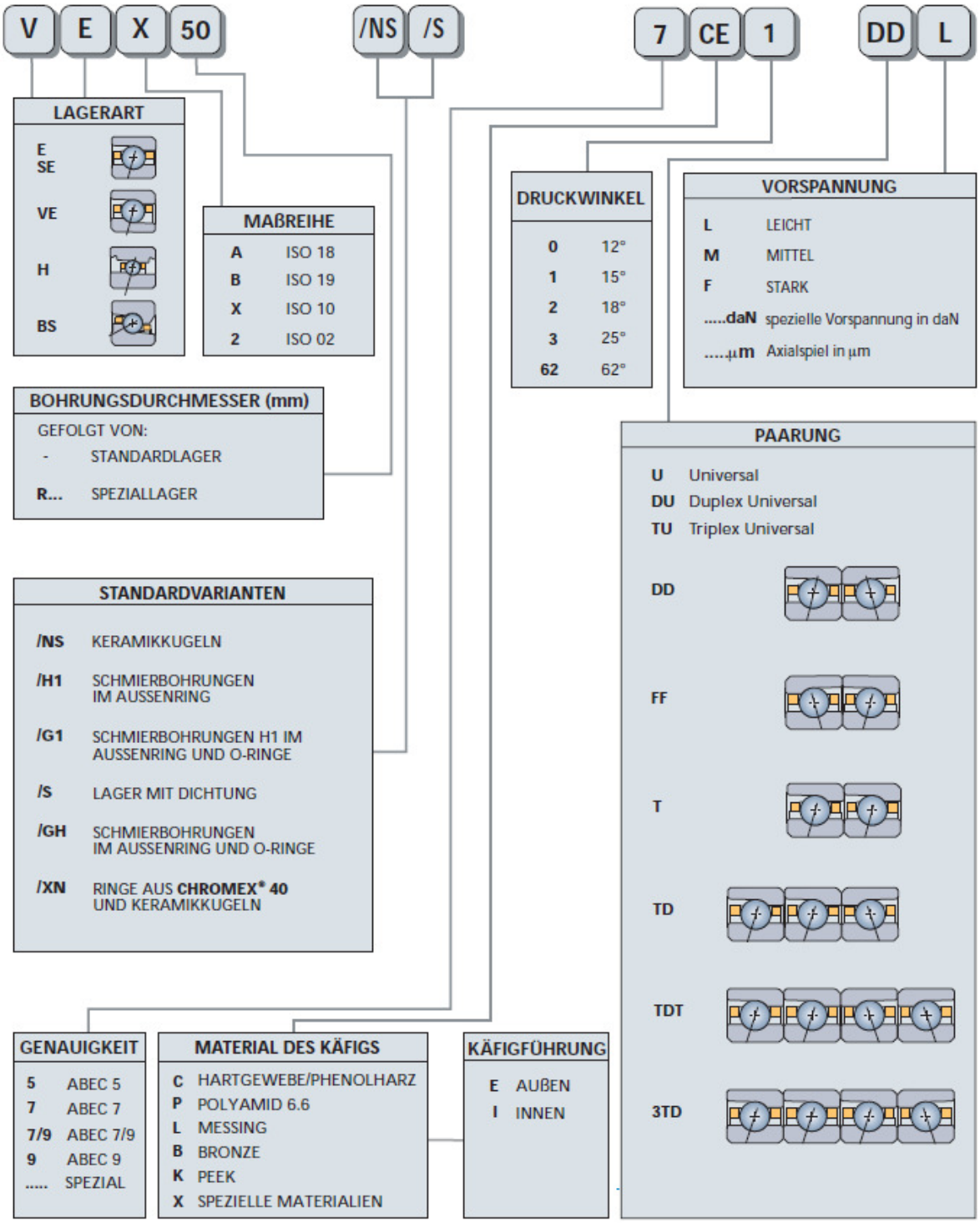
EMMS-ST-...-SE/SEB



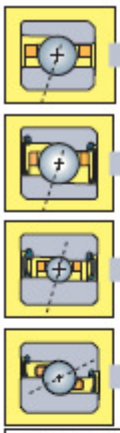
typ	B1	B2	D1 ∅	D2 ∅	D3	D4 ∅	H1	H2
EMMS-ST-42-S-S	42,3	31	5-0,012	22-0,05	–	M3x4,5	–	6,5
EMMS-ST-42-S-SE					M12		13	
EMMS-ST-42-S-SB					–		–	
EMMS-ST-42-S-SEB					M12		13	
EMMS-ST-57-S-S	56,4	47,14	6,35-0,013	38,1±0,025	–	5	–	
EMMS-ST-57-S-SE					M12		13	
EMMS-ST-57-S-SB					–		–	
EMMS-ST-57-S-SEB					M12		13	
EMMS-ST-57-M-S					–		–	
EMMS-ST-57-M-SE					M12		13	
EMMS-ST-57-M-SB					–		–	
EMMS-ST-57-M-SEB					M12		13	
EMMS-ST-87-S-S	85,6	69,5	11-0,013	73-0,046	–	6,6	–	
EMMS-ST-87-S-SE					M12		13	
EMMS-ST-87-S-SB					–		–	
EMMS-ST-87-S-SEB					M12		13	
EMMS-ST-87-M-S					–		–	
EMMS-ST-87-M-SE					M12		13	
EMMS-ST-87-M-SB					–		–	
EMMS-ST-87-M-SEB					M12		13	
EMMS-ST-87-L-S					–		–	
EMMS-ST-87-L-SE					M12		13	
EMMS-ST-87-L-SB					–		–	
EMMS-ST-87-L-SEB					M12		13	

typ	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
EMMS-ST-57-S-S	73,5	20,6±0,5	1,6	5	27,5	3	–
EMMS-ST-57-S-SE	102,5					32	70,5±0,8
EMMS-ST-57-S-SB	123,5					53	
EMMS-ST-57-S-SEB	138					64,5	
EMMS-ST-57-M-S	95					3	–
EMMS-ST-57-M-SE	124					32	92±0,8
EMMS-ST-57-M-SB	145					53	
EMMS-ST-57-M-SEB	159,5					67,5	

PŘÍLOHA P III: ZNAČENÍ LOŽISEK

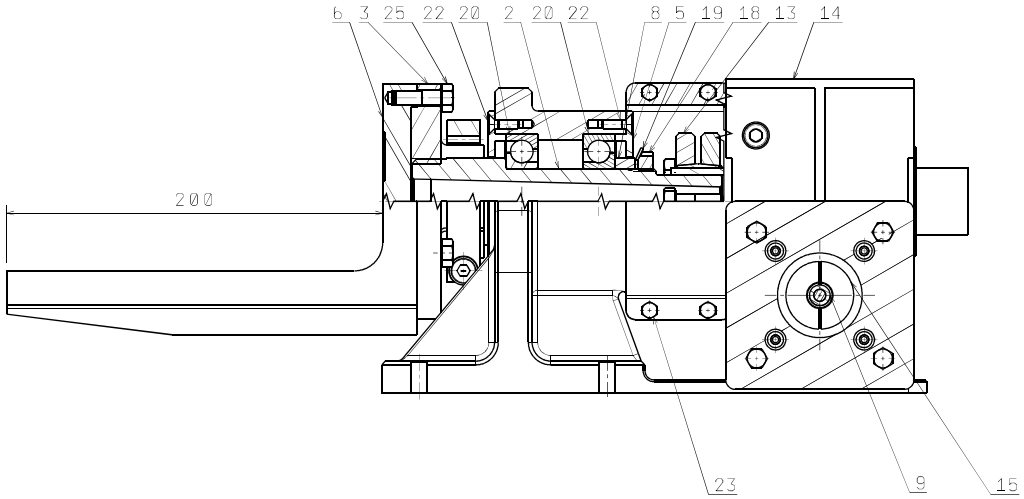


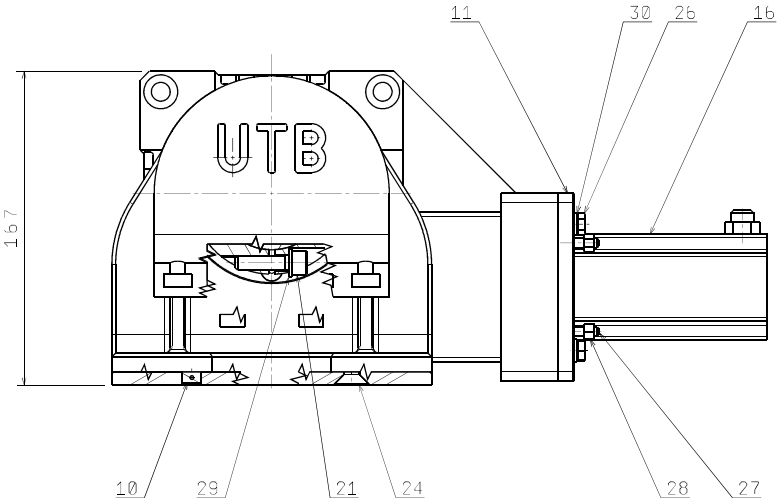
PŘÍLOHA P IV: ROZMĚRY LOŽISEK PRO RŮZNÉ TYPY LOŽISEK

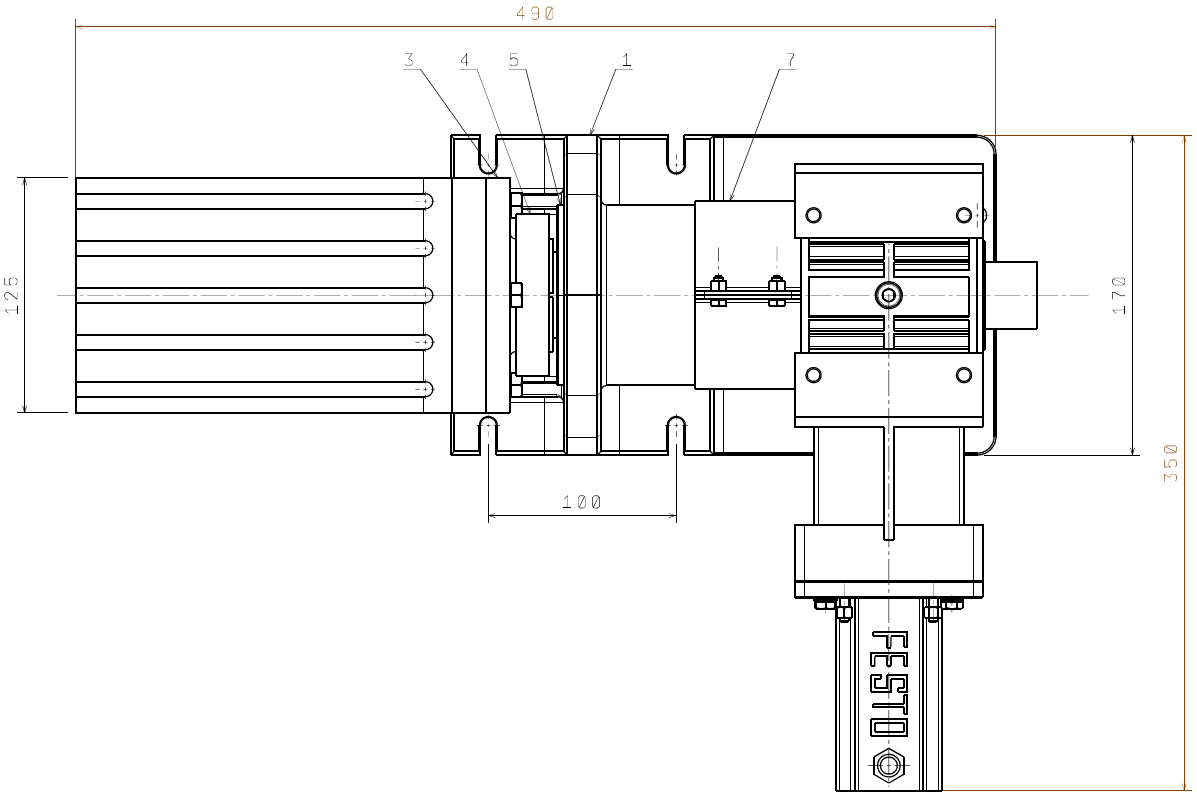


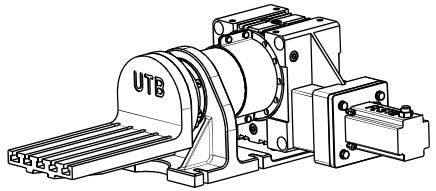
ISO 18	ISO 19	ISO 10	ISO 02
SEA.. Ø 10 ÷ 150	SEB.. Ø 17 ÷ 280	EX.. Ø 6 ÷ 240	E 200 Ø 7 ÷ 140
	VEB.. Ø 8 ÷ 120	VEX.. Ø 6 ÷ 120	
	HB.. Ø 30 ÷ 120	VEX../S Ø 20 ÷ 120	
	HB../S Ø 30 ÷ 120		BS 200 Ø 12 ÷ 75
			BS 200/S Ø 15 / 25

Ø BOHRUNG	D	B	D	B	D	B	D	B
6	13	3.5	15	5	17	6	19	6
7	14	3.5	17	5	19	6	22	7
8	16	4	19	6	22	7	24	8
9	17	4	20	6	24	7	26	8
10	19	5	22	6	26	8	30	9
12	21	5	24	6	28	8	32	10
15	24	5	28	7	32	9	35	11
17	26	5	30	7	35	10	40	12
20	32	7	37	9	42	12	47	14
25	37	7	42	9	47	12	52	15
30	42	7	47	9	55	13	62	16
35	47	7	55	10	62	14	72	17
40	52	7	62	12	68	15	80	18
45	58	7	68	12	75	16	85	19
50	65	7	72	12	80	16	90	20
55	72	9	80	13	90	18	100	21
60	78	10	85	13	95	18	110	22
65	85	10	90	13	100	18	120	23
70	90	10	100	16	110	20	125	24
75	95	10	105	16	115	20	130	25
80	100	10	110	16	125	22	140	26
85	110	13	120	18	130	22	150	28
90	115	13	125	18	140	24	160	30
95	120	13	130	18	145	24	170	32
100	125	13	140	20	150	24	180	34
105	130	13	145	20	160	26	190	36
110	140	16	150	20	170	28	200	38
120	150	16	165	22	180	28	215	40
130	165	18	180	24	200	33	230	40
140	175	18	190	24	210	33	250	42
150	190	20	210	28	225	35	270	45
160	200	20	220	28	240	38	290	48
170	215	22	230	28	260	42	310	52
180	225	22	250	33	280	46	320	52
190	240	24	260	33	290	46	340	55
200	250	24	280	38	310	51	360	58
220	270	24	300	38	340	56	400	65
240	300	28	320	38	360	56	440	72
260	320	28	360	46	400	65	480	80
280	350	33	380	46	420	65	500	80









1:5

PŘIDAVNÉ ZAŘIZENI PRO CNC FRÉZKU AZK HWT C-442 Profi

Kreslil: Radek Sedlář	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Datum: 20.4.2011			
Přesnost: Tolerování podle	Název	4. osa	
Velikost: A2	Číslo výkresu	00-01-00	
Měřítko: 1:2	Polotovar		
Váha (kg): 17	Materiál		
	č. kusovníku: 00-01-00-K	č. sestavy:	

I H G F E D C B A

Pozice	Název	Číslo výkresu/Norma/Označení	Materiál	Počet
1	RÁM	00-01-01	42 4400	1
2	HŘÍDEL	00-01-02	11 600.1	1
3	PŘÍRUBA SKLÍČIDLA	00-01-03	11 500	1
4	OBJÍMKA	00-01-04	11 110	1
5	VÍČKO	00-01-05	42 4004	2
6	UPÍNACÍ STŮL	00-01-06	42 4400	1
7	KRYT SPOJKY	00-01-07	10 370	2
8	DISTANČNÍ KROUŽEK	00-01-08	11 100	1
9	REDUKCE HŘÍDELE MOTORU	00-01-09	11 600	1
10	STAVĚCÍ ŠROUB	00-01-10	11 110	3
11	PŘÍRUHA MOTORU	00-01-11	42 4004	1
12				
13	SPOJKA	Atlanta 80 84 036		1
14	PŘEVODOVKA	Atlanta 98 83 520		1
15	SPOJKA S DRÁŽKOVÁNÍM	Atlanta 65 51 011		1
16	MOTOR	FESTO EMMS-ST-57-S-SE		1
17				
18	MATICE KM 7	ČSN 02 3630		1
19	POJISTNÁ PODLOŽKA MB 7	ČSN 02 3640		1
20	LOŽISKO 7207BE	ČSN 02 4645		2
21	ŠROUB M8x30	ČSN 02 1143		1
22	ŠROUB M5x16	EN ISO 10642		12
23	ŠROUB M5x12	ISO 4017		4
24	ŠROUB M8x20	EN ISO 10642		1
25	ŠROUB M8x25	ISO 4016.3		3
26	ŠROUB M6x25	EN ISO 4014		4
27	ŠROUB M5x16	ISO 4762		4
28	MATICE M5	ISO 4034		8
29	PODLOŽKA B 8,5	ČSN 02 1702.15		1
30	PODLOŽKA B 6,4	ČSN 02 1702.16		4

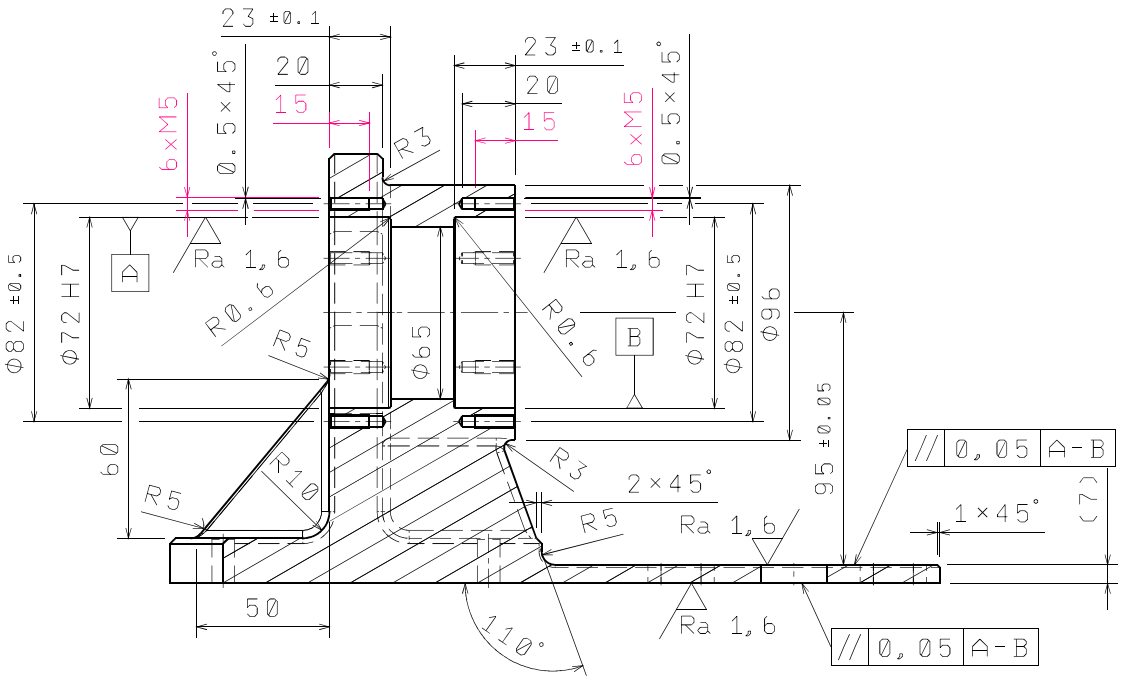
Kreslil: Radek Sedlář
Datum: 20. 4. 2011
Přesnost:
Tolerování podle:
Velikost: A4
Měřítko:
Váha(kg):

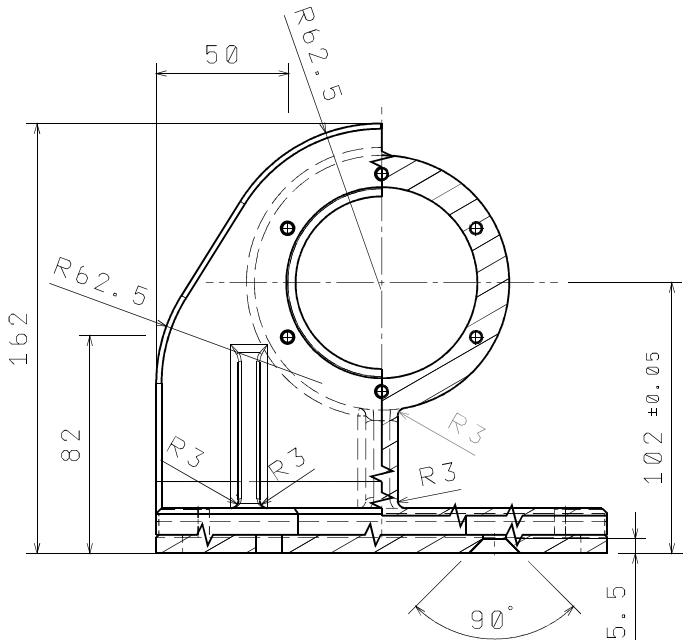
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

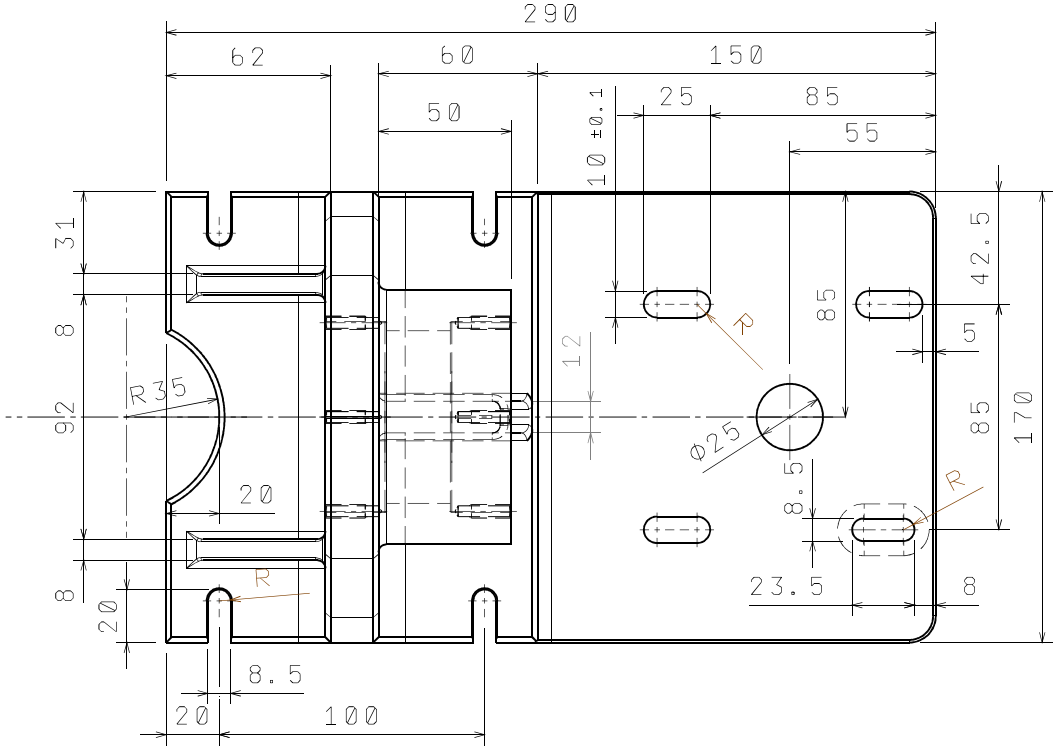
Název	4. osa
Číslo výkresu	00-01-00-K
Polotovar	
Materiál	
Č. kusovníku	Č. sestavy: _

I _
H _
G _
F _
E _
D _
C _
B _
A _

www.globalgraphics.com/globc
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



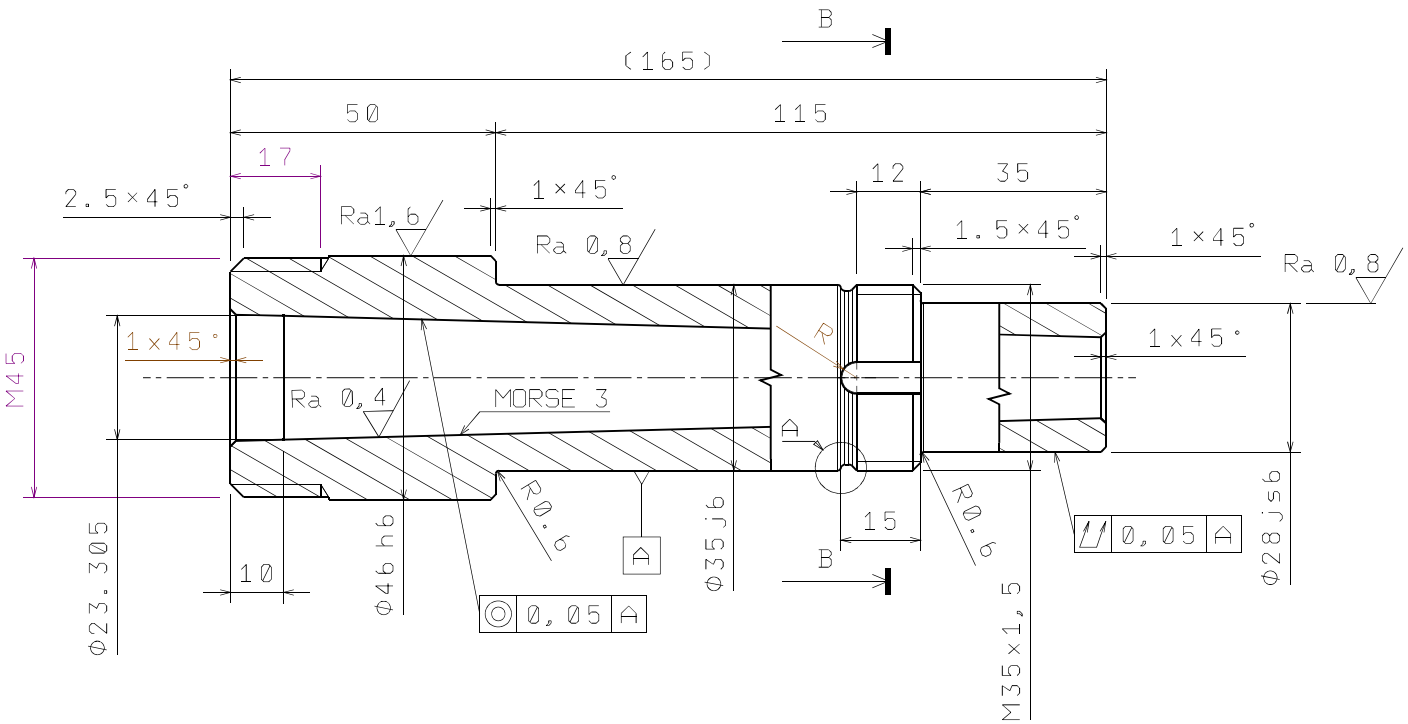


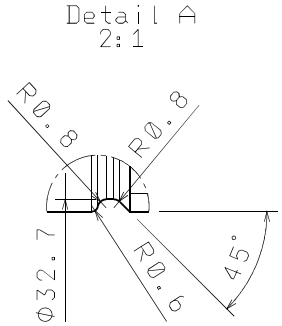


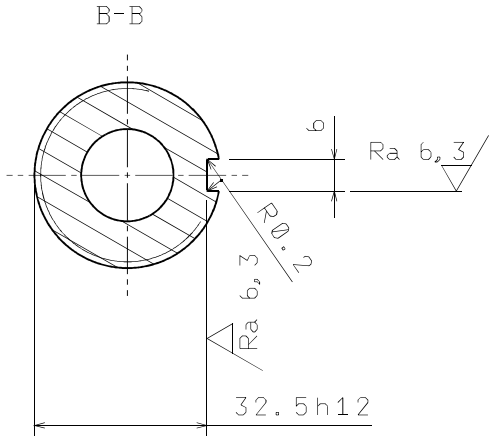
Ra 3,2

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAŽENY 1x45°

Kreslil: Radek Sedlář	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Datum: 20.4.2011	Název	Rám	
Přesnost: ISO 2768-fH Tolerování podle: ISO 8015	Číslo výkresu	00-01-01	
Velikost: A3	Polotovar	P 170 - 180x300	
Měřítko: 1:2	Materiál	42 4400	
Váha (kg): 2,97	Č. kusovníku: 00-01-00-K	Č. sestavy: 00-01-00	



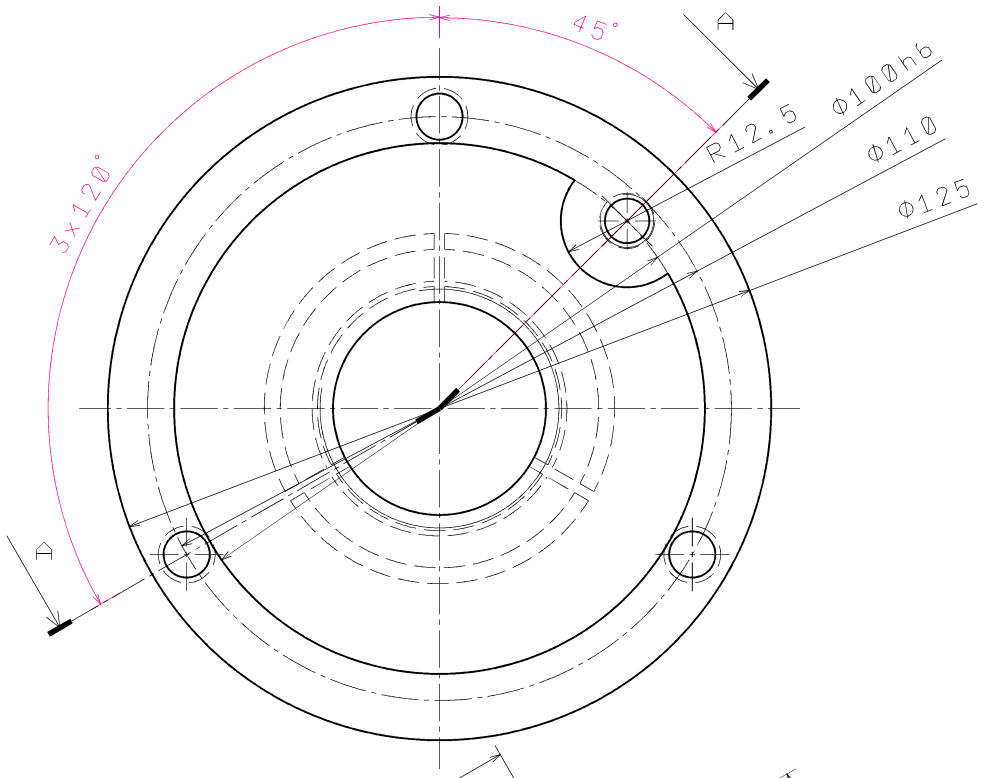


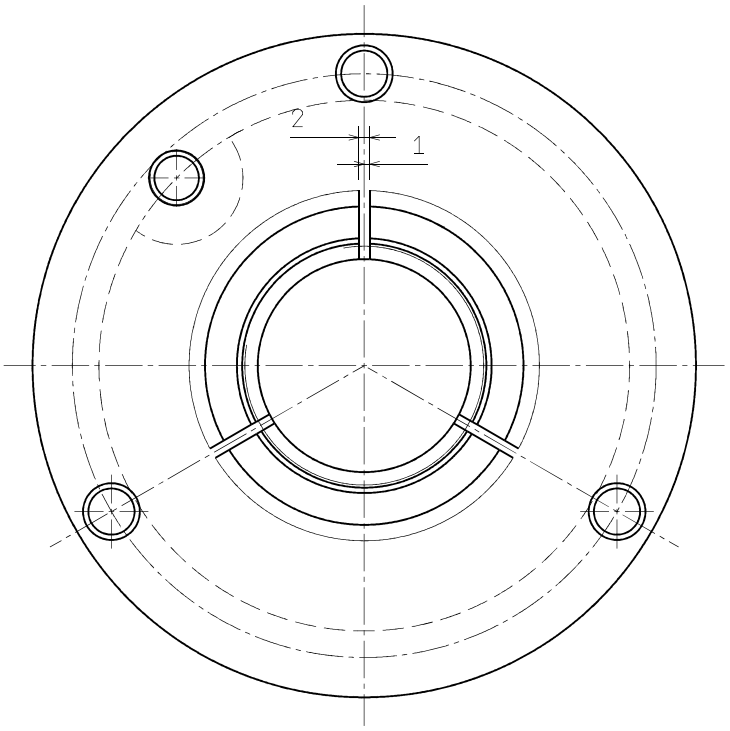


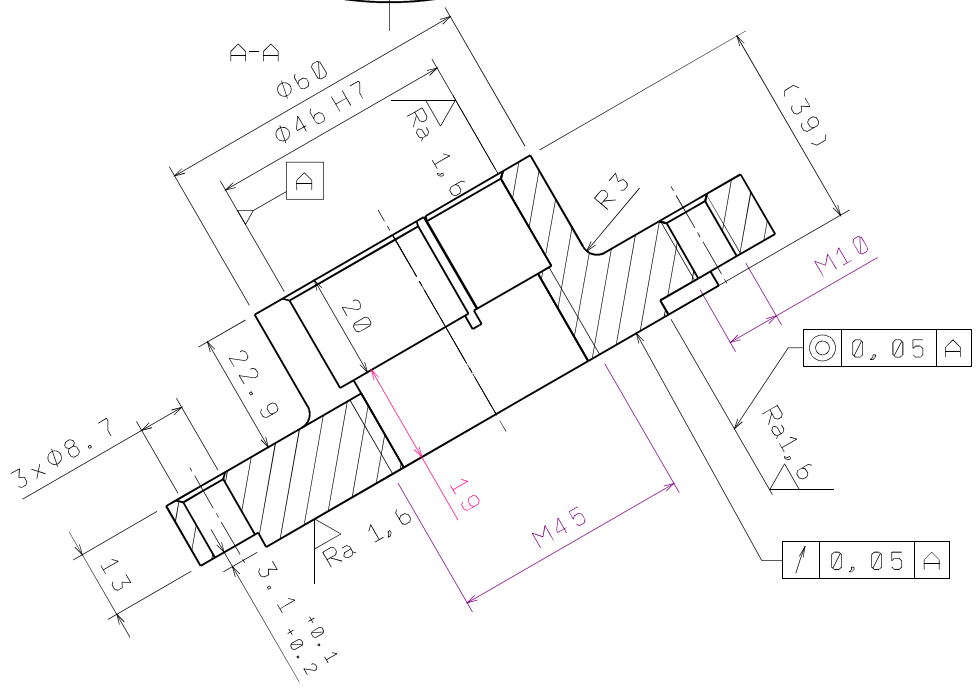
Ra 3,2 (√)

Kreslil: Radek Sedlář	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Datum: 20.4.2011	Název	Hřídel	
Přesnost: ISO 2768-mK Tolerování podle: ISO 8015	Číslo výkresu	00-01-02	
Velikost: A3	Polotovar	Φ 50-170 ČSN 42 5510	
Měřítko: 1:1	Váha (kg): 0,5	Materiál	11 600.1
	Č. kusovníku: 00-01-00-K	Č. sestavy: 00-01-00	

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_



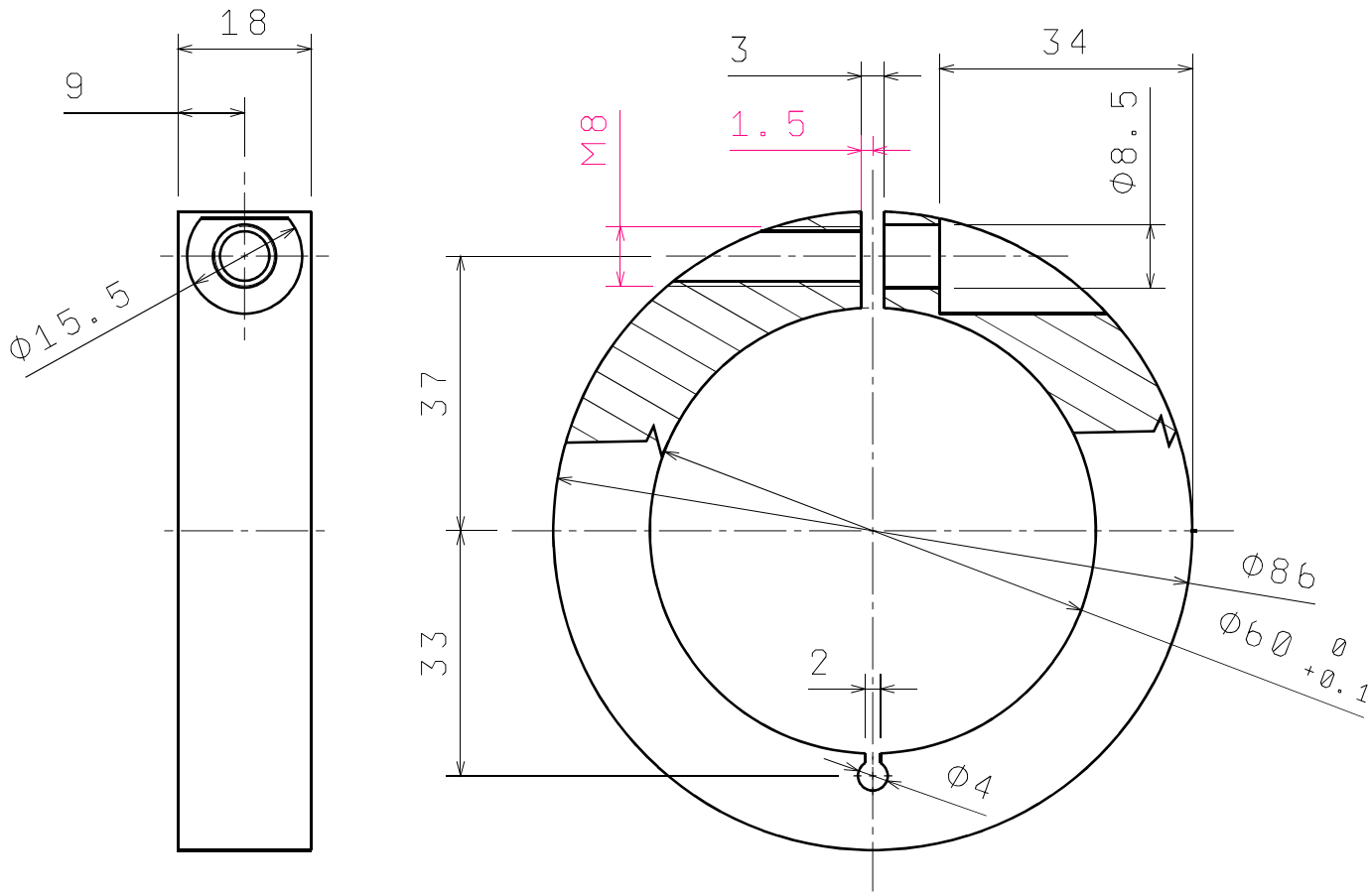




Ra 3,2 (Ra 1,6)

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAŽENY 1x45°

Kreslil: Radek Sedlář Datum: 20. 4. 2011	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství			I _
				H _
Přesnost: ISO 2768-fH Tolerování podle: ISO 8015	Název	Příruba sklíčidla		G _
				F _
Velikost: A3	Číslo výkresu	00-01-03		E _
				D _
Měřítko: 1 : 1	Polotovar	Ø130-45 ČSN 42 5510		C _
Váha (kg): 1,5	Materiál	11 500.0		B _
	Č. kusovníku: 00-01-00-K	Č. sestavy: 00-01-00		A _

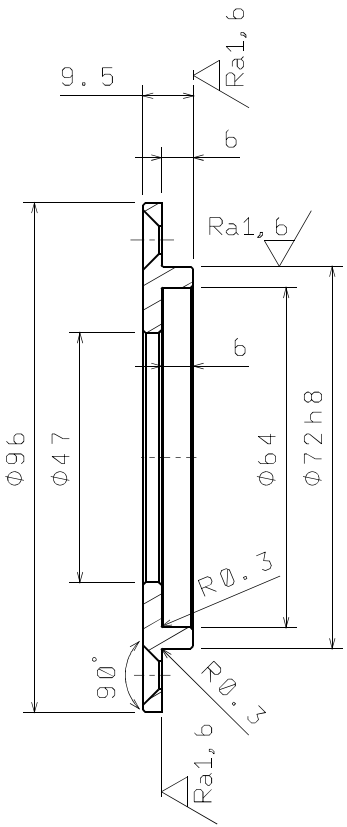


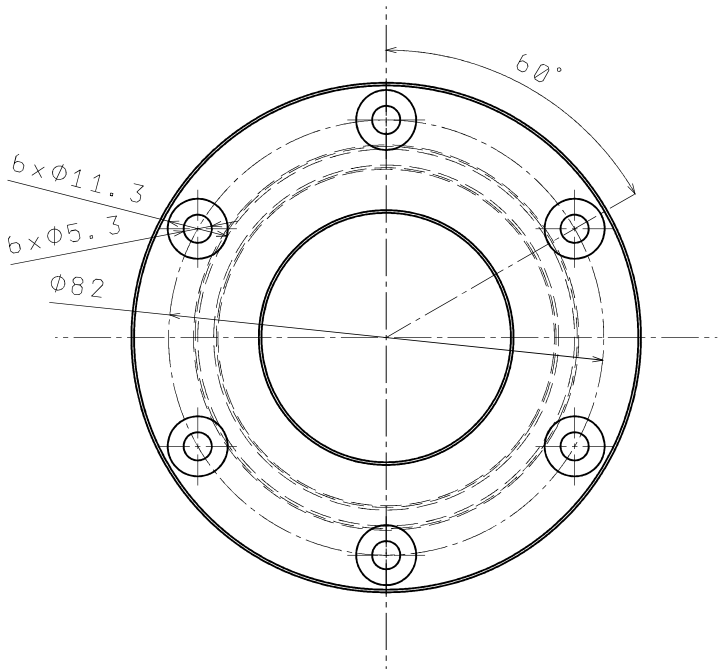
Ra 3,2

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAŽENY 1x45°

Kreslil: Radek Sedlář Datum: 20.4.2011	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Přesnost: ISO 2768-mK Tolerování podle: ISO 8015	Název	Objímka	
Velikost: A4	Číslo výkresu	00-01-04	
Měřítko: 1:1	Polotovar	Ø90-20 ČSN 42 5510	
Váha(kg): 0,39	Materiál	11 110.0	
	č. kusovníku: 00-01-00-K	č. sestavy: 00-01-00	

I	–
H	–
G	–
F	–
E	–
D	–
C	–
B	–
A	–



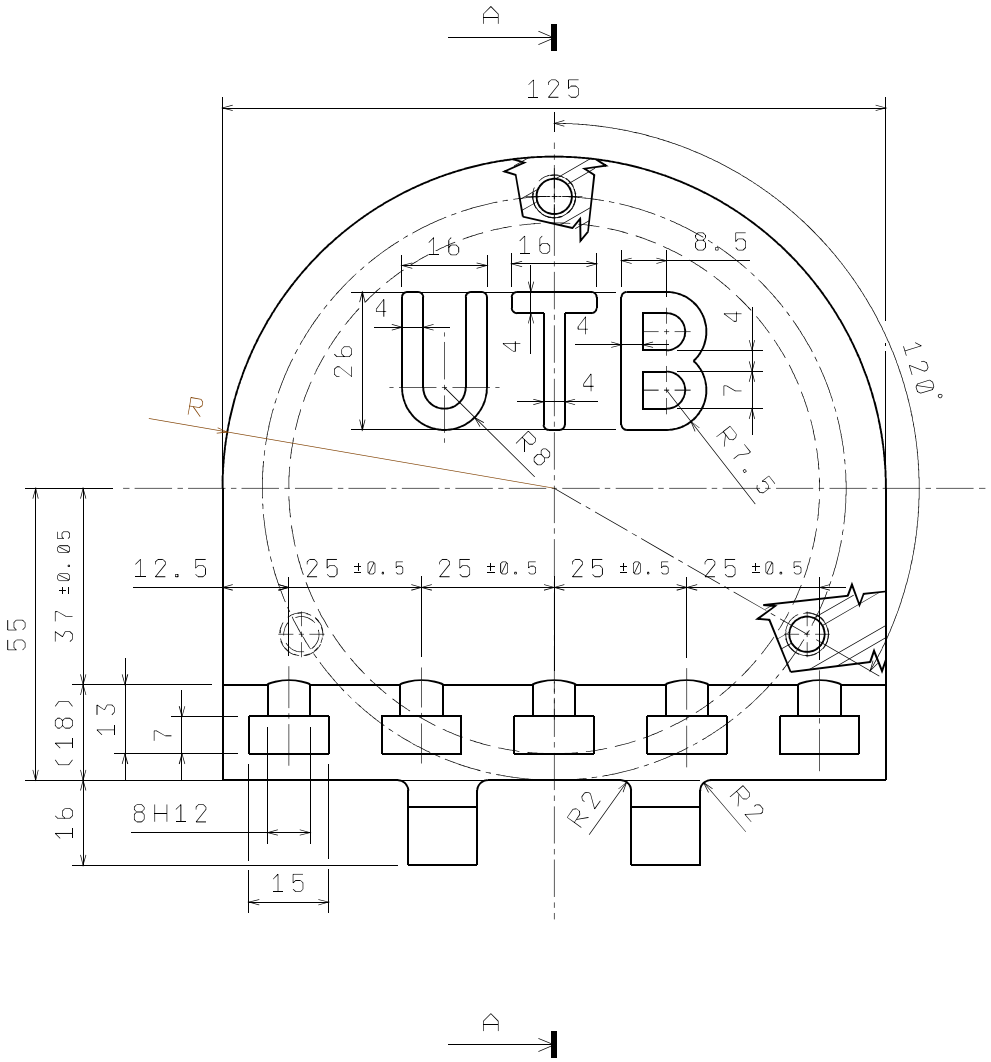


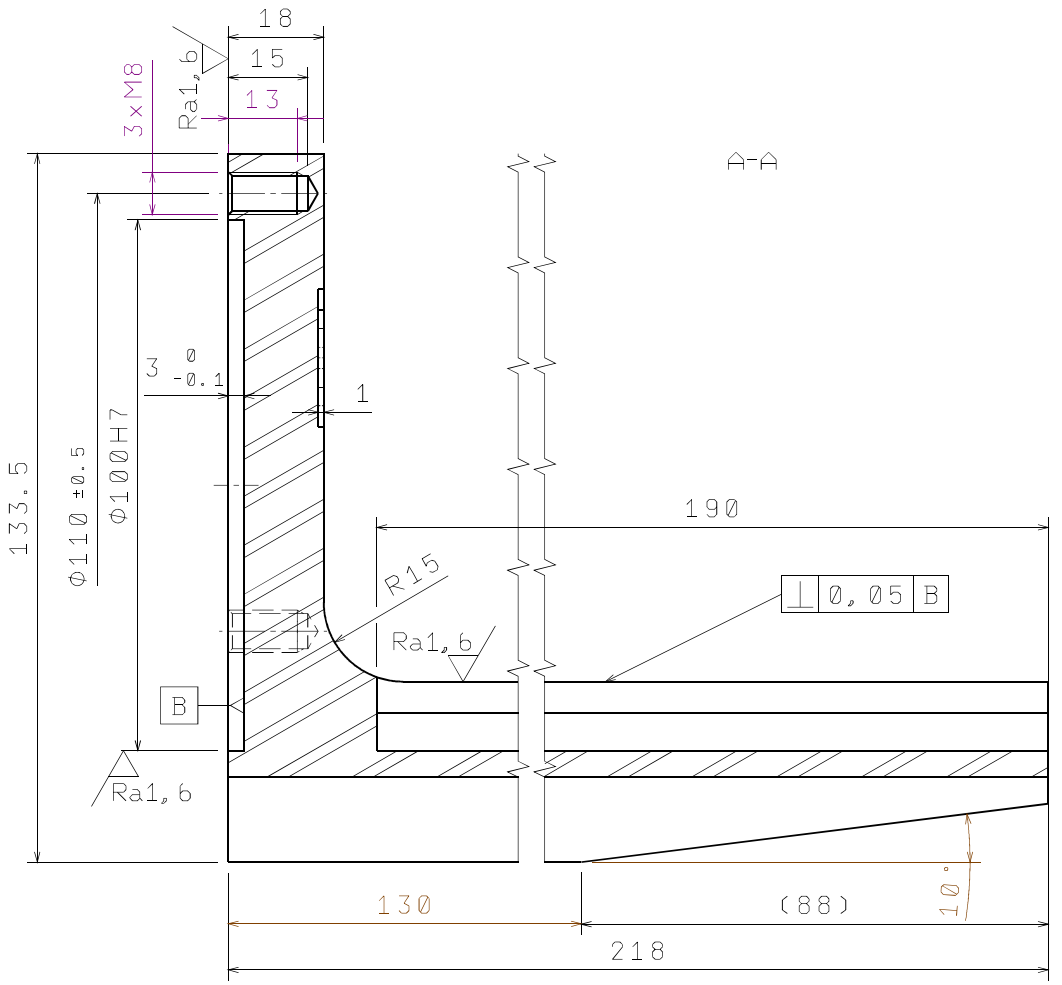
Ra 3,2 (Ra 1,6)

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAŽENY 0,5x45°

Kreslil: Radek Sedlář	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Datum: 20.4.2011	Název	Víčko	
Přesnost: ISO 2768-mK Tolerování podle: ISO 8015	Číslo výkresu	00-01-05	
Velikost: A3	Polotovar	Ø 100 - 12 ČSN 42 5510	
Měřítko: 1:1	Materiál	42 4004	
Váha (kg): 0,12	Č. kusovníku: 00-01-00-K	Č. sestavy: 00-01-00	

I _
H _
G _
F _
E _
D _
C _
B _
A _

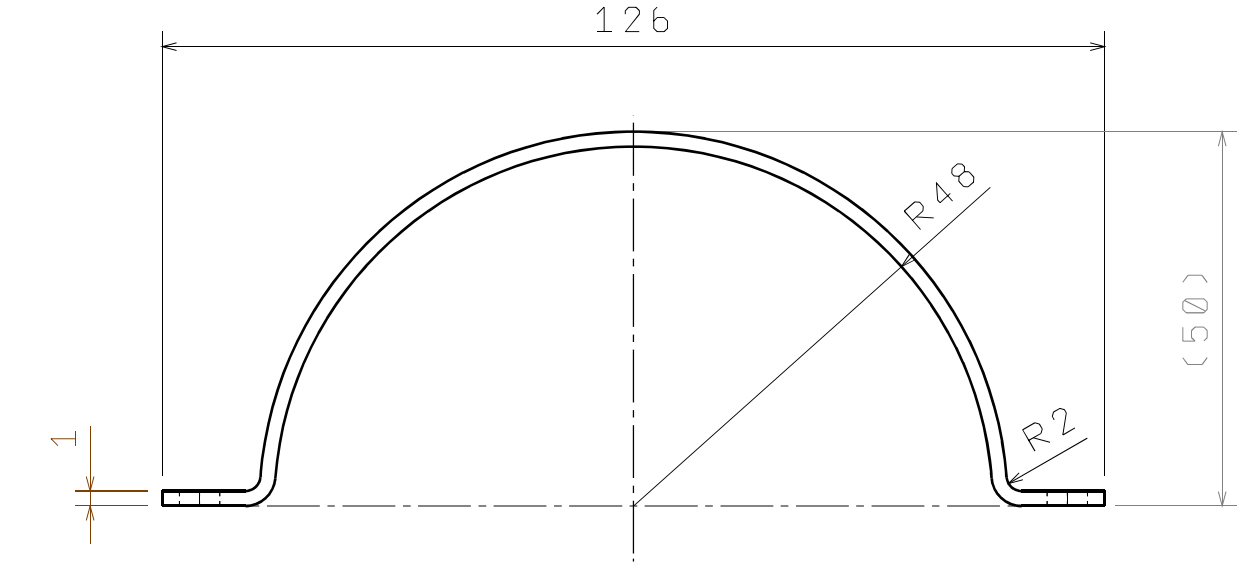


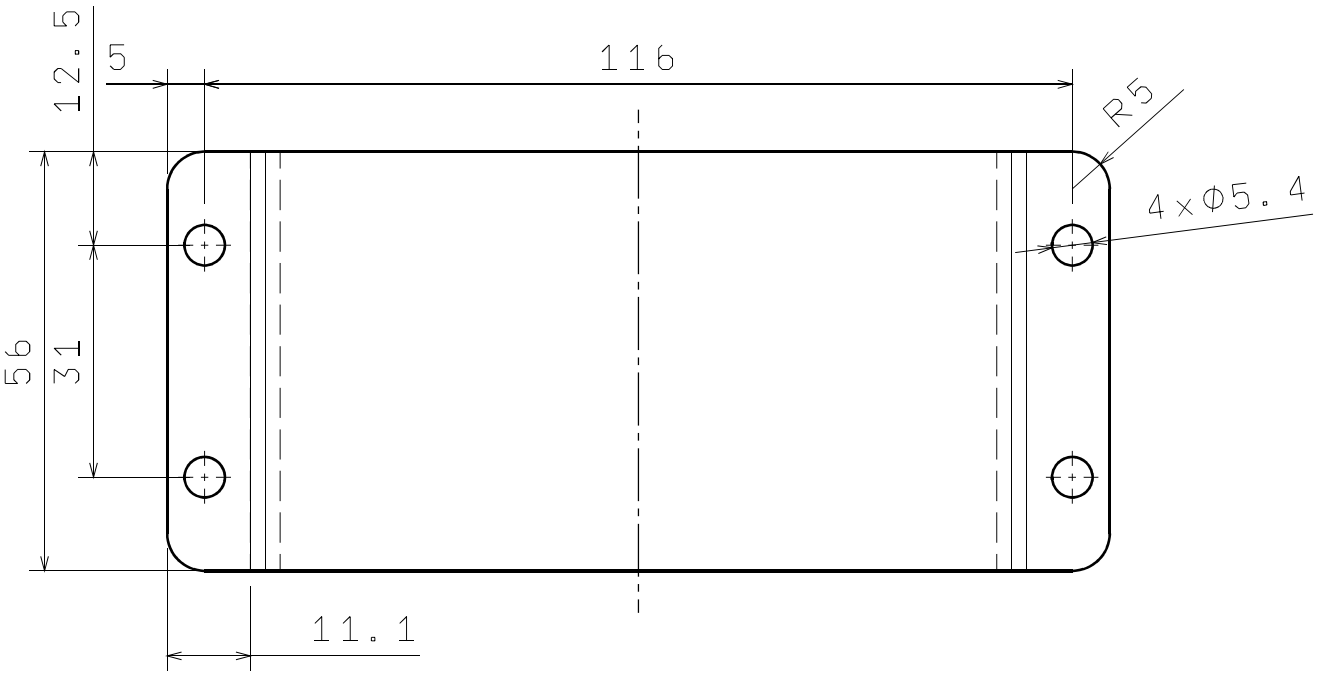


Ra 3,2

NEKOTOVNÉ HRANY SRAŽENY 0,5x45°

Kreslil: Radek Sedlář	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Datum: 20.4.2011	Název	Upínací stůl	
Přesnost: ISO 2768-fH Tolerování podle: ISO 8015	Číslo výkresu	00-01-06	
Velikost: A3	Polotovar	P 130 - 225x140 ČSN 42 5510	
Měřítko: 1:1	Váha (kg): 1,8	Materiál: 42 4400	
	Č. kusovníku: 00-01-00-K	Č. sestavy: 00-01-00	

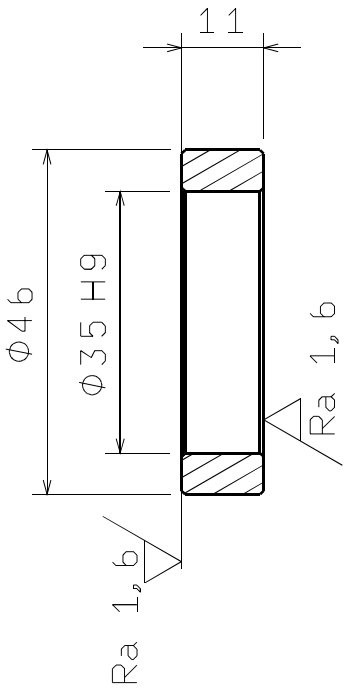




ROZVINUTÝ TVAR 1x56x175

Kreslil: Radek Sedlář Datum: 20.4.2011	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Přesnost: ISO 2768-mK Tolerování podle: ISO 8015	Název	Kryt spojky	
Velikost: A4	Číslo výkresu	00-01-07	
Měřítko: 1:1	Polotovar	P 1 - 60x180 ČSN 42 5301	
Váha(kg): 0,09	Materiál	10 370.0	
	č. kusovníku: 00-01-00-K	č. sestavy: 00-01-00	

I	–
H	–
G	–
F	–
E	–
D	–
C	–
B	–
A	–

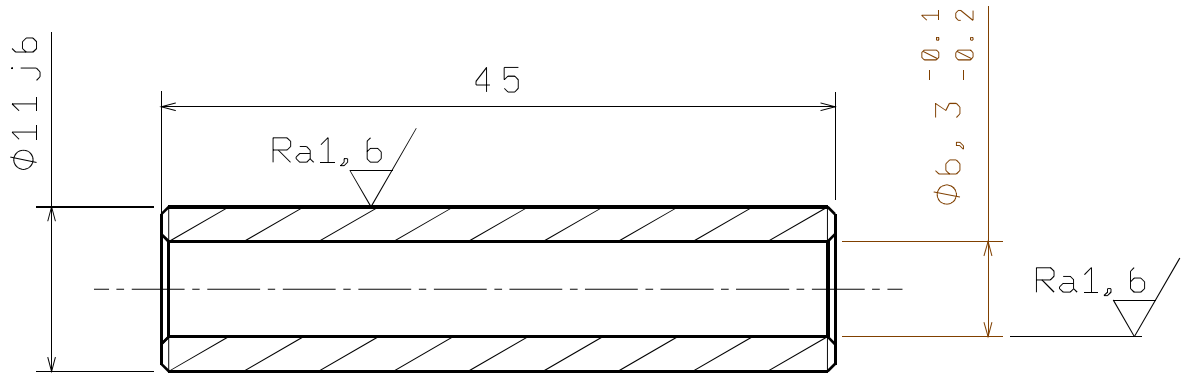


Ra 3,2 (Ra 1,6)

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAŽENY 0,5x45°

Kreslil: Radek Sedlář Datum: 20.4.2011	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Přesnost: ISO 2768-mK Tolerování podle: ISO 8015	Název	Distanční kroužek	
Velikost: A4	Číslo výkresu	00-01-08	
Měřítko: 1:1	Polotovar	Φ48 - 15 ČSN 45 5510	
Váha (kg): 0,01	Materiál	11 110.0	
	č. kusovníku: 00-01-00-K	č. sestavy: 00-01-00	

I	–
H	–
G	–
F	–
E	–
D	–
C	–
B	–
A	–

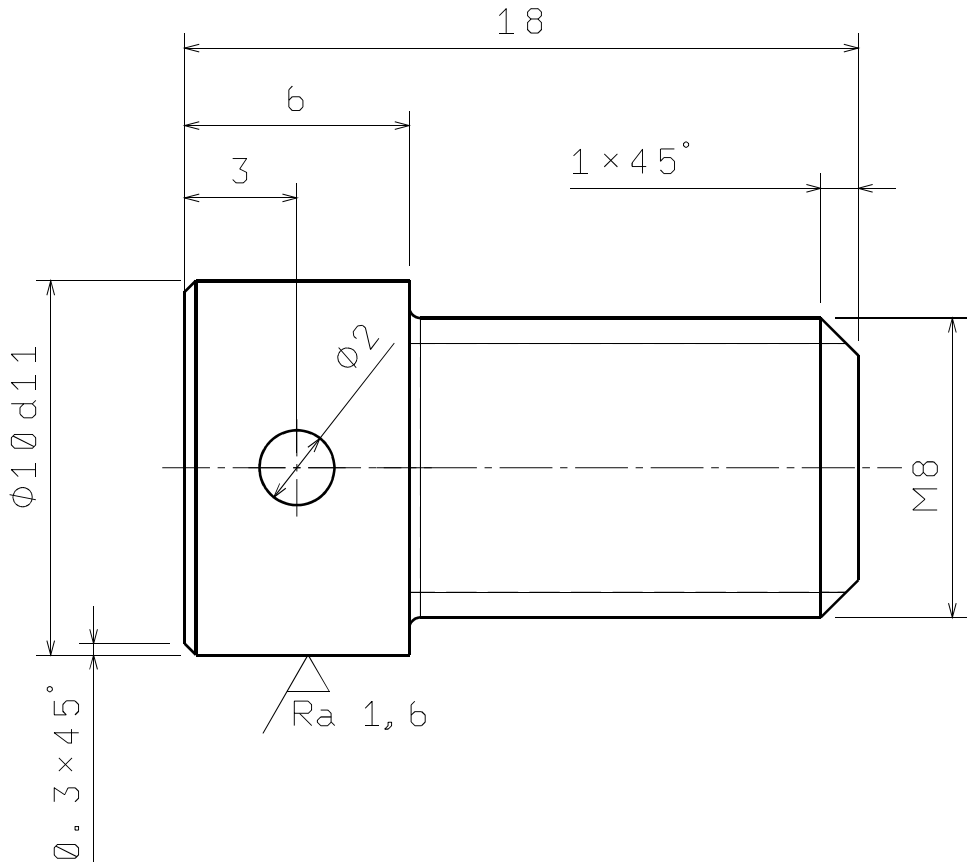


Ra 3,2 (Ra 1,6)

NEKOTOVNÉ HRANY SRAŽENY 0,5x45°

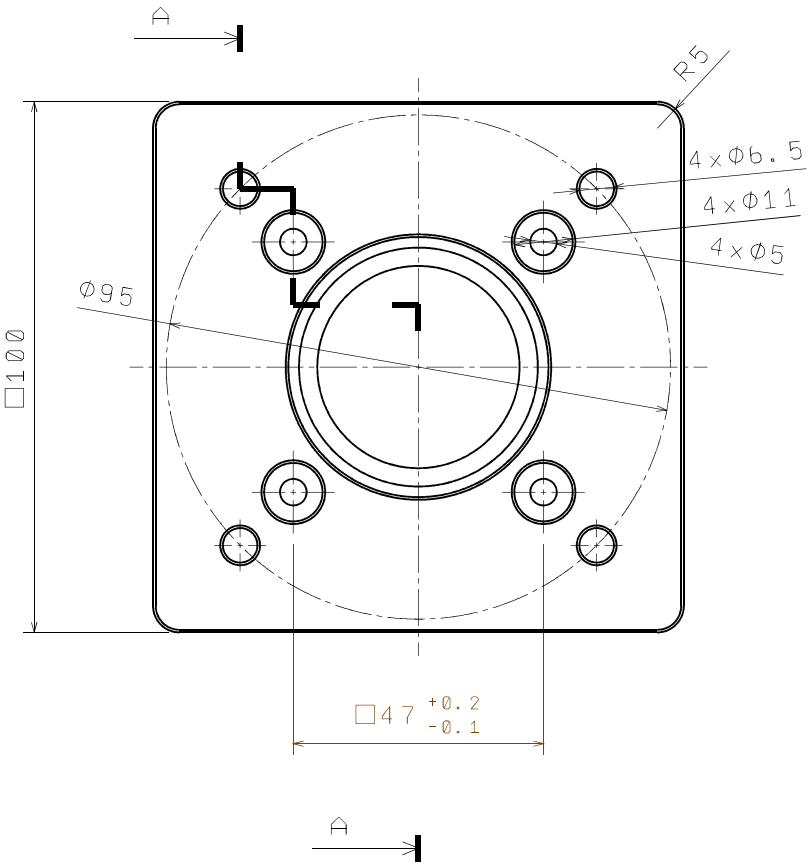
Kreslil: Radek Sedlář Datum: 20.4.2011	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Přesnost: ISO 2768-mK Tolerování podle: ISO 8015	Název	Redukce hřídele motoru	
Velikost: A4	Číslo výkresu	00-01-09	
Měřítko: 2:1	Váha (kg): 0,1	Polotovar	Φ13- 50 ČSN 42 5510
		Materiál	11 600.0
		č. kusovníku: 00-01-00-K	č. sestavy: 00-01-00

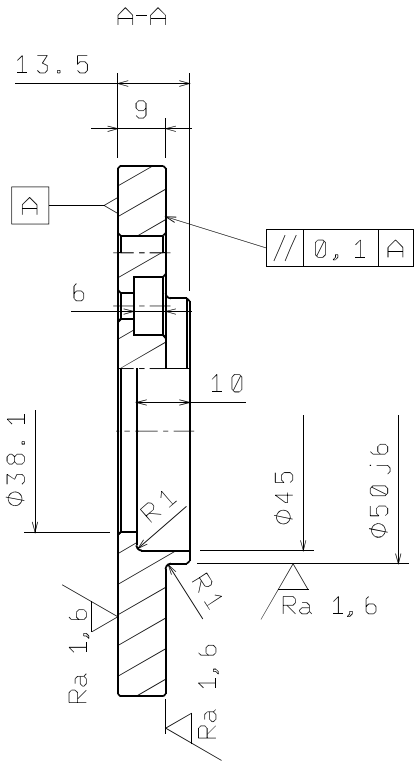
I	–
H	–
G	–
F	–
E	–
D	–
C	–
B	–
A	–



Ra 3,2 (Ra 1,6)

Kreslil: Radek Sedlář Datum: 20. 4. 2011	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství			I –
				H –
Přesnost: ISO 2768-mK Tolerování podle: ISO 8015	Název	Stavěcí šroub		G –
				F –
Velikost: A4	Číslo výkresu	00-01-10		E –
				D –
Měřítko: 5 : 1	Polotovar	Ø11 -20 ČSN 42 5510		C –
Váha (kg): 0,1	Materiál	11 110.0		B –
	č. kusovníku: 00-01-00-K	č. sestavy: 00-01-00		A –

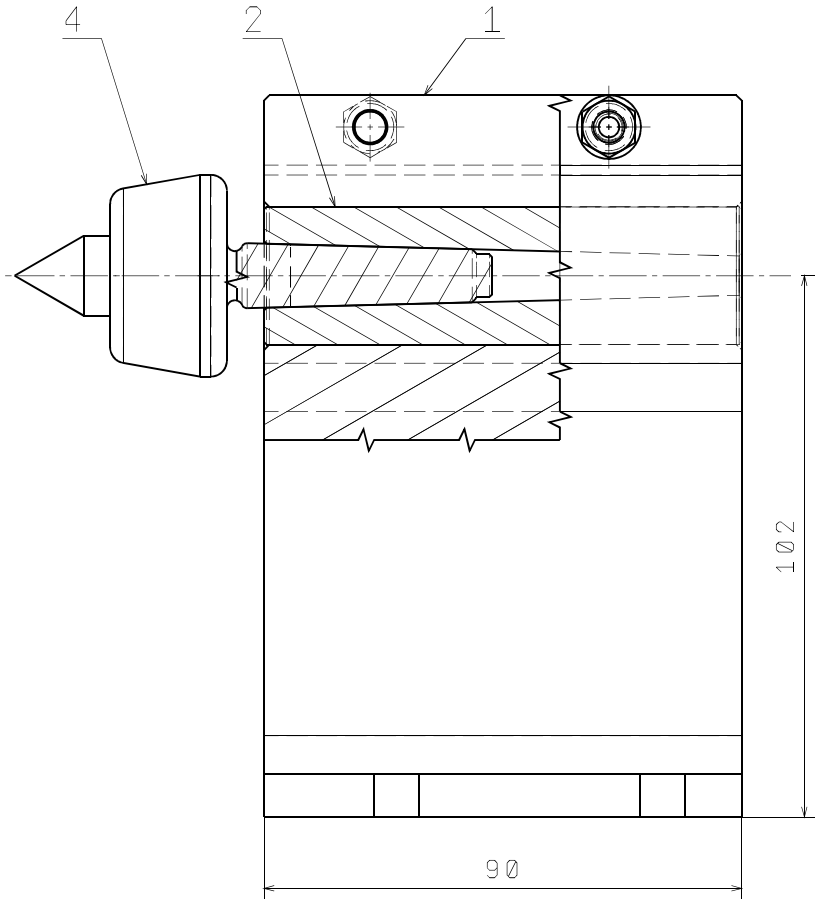


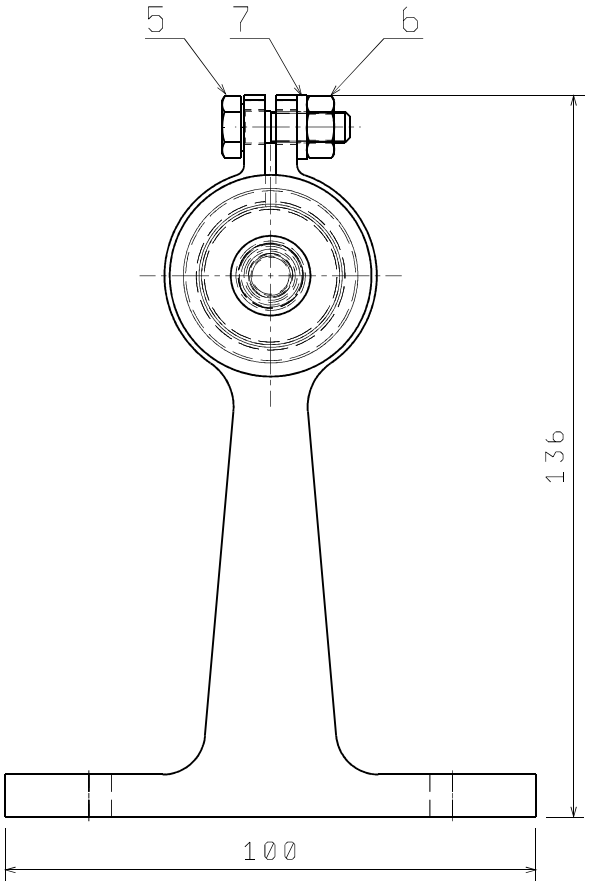


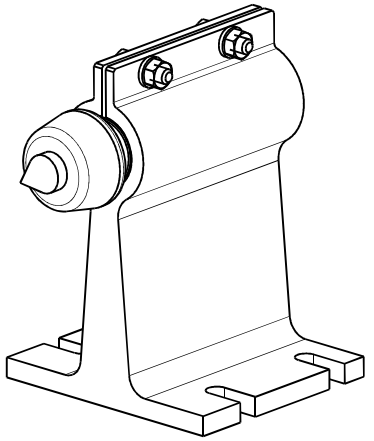
Ra 3,2 (Ra 1,6)

NEKOTOVNÉ HRANY SRAŽENY 0,5×45°

Kreslil: Radek Sedlář	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Datum: 20.4.2011	Název	Příruba motoru	
Přesnost: ISO 2768-mK Tolerování podle: ISO 8015	Číslo výkresu	00-01-11	
Velikost: A3	Polotovar	□ 105 -15 ČSN 42 5510	
Měřítko: 1:1	Materiál	42 4004	
Váha (kg): 0,2	Č. kusovníku: 00-01-00-K	Č. sestavy: 00-01-00	







1 : 2

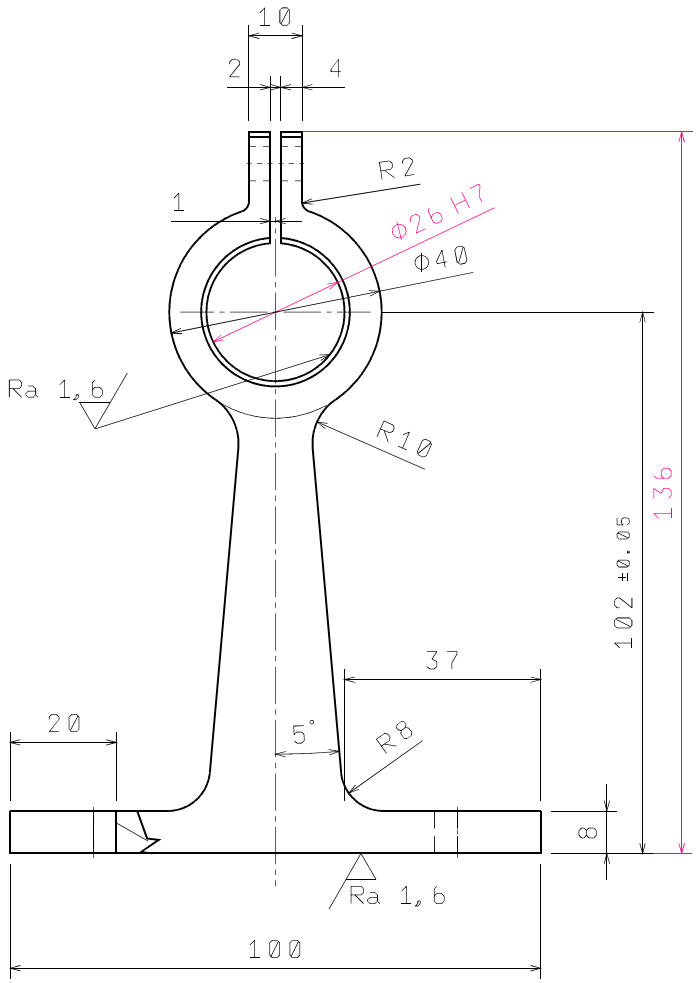
Poz.	Název	Č. výkresu/Norma/Označení	Materiál	Ks.
1	TĚLO KONÍKU	00-02-01	42 4400	1
2	NÁBOJ	00-02-02	11 500.0	1
3				
4	OTOČNÝ HROT MORSE 1			1
5	ŠROUB M6x25	EN ISO 4014		2
6	MATICE M6	EN ISO 4032		2
7	PODLOŽKA B 6,4	EN 28738		2
8				

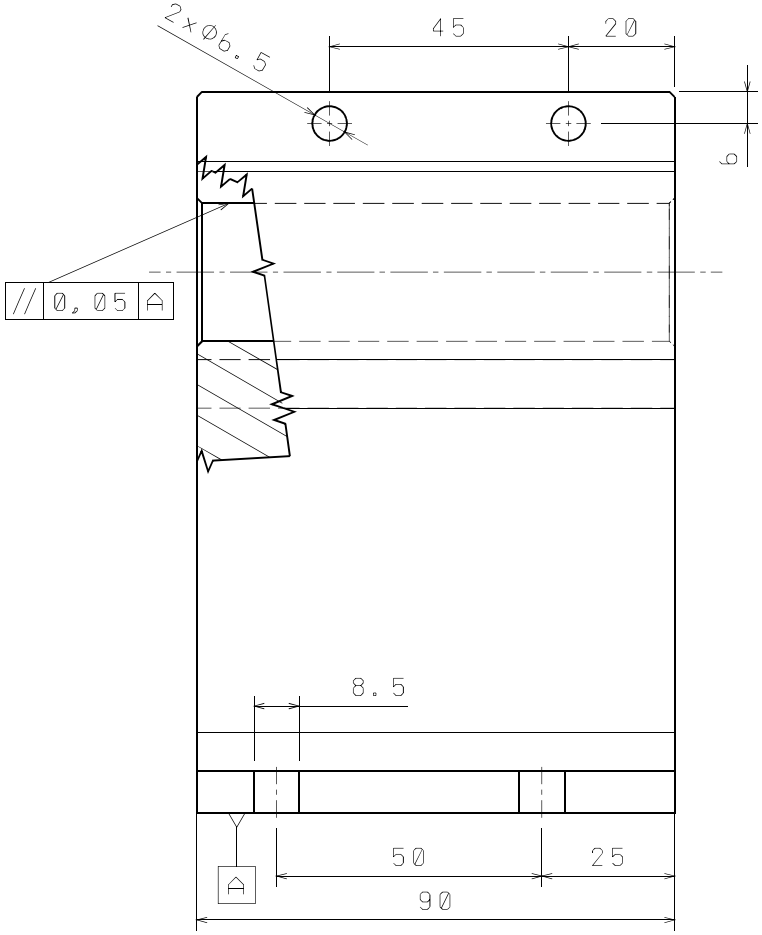
Kreslil: Radek Sedlář
Datum: 20. 4. 2011
Přesnost: Tolerování podle
Velikost: A3
Měřítko: 1 : 1
Váha (kg): 1,5

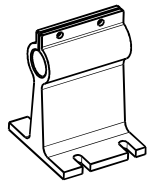
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Název	Koník
Číslo výkresu	00-02-00
Polotovar	
Materiál	
Č. kusovníku	Č. sestavy

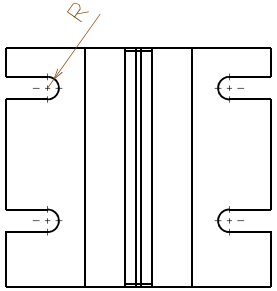
I _
H _
G _
F _
E _
D _
C _
B _
A _







1:5



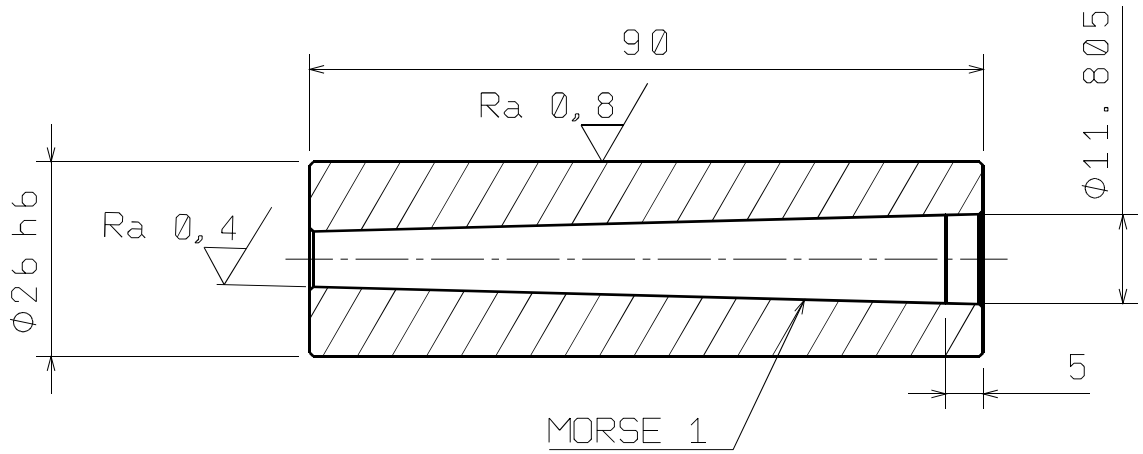
1:2

Ra 3,2 (Ra 1,6)

NEKOTOVNÉ HRANY SRAŽENY 1x45°

Kreslil: Radek Sedlář	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Datum: 20.4.2011	Název	Tělo koníku	
Přesnost: ISO 2768-mK Tolerování podle: ISO 8015	Číslo výkresu	00-02-01	
Velikost: A3	Polotovar	P 90 -105x140 ČSN 42 5510	
Měřítko: 1:1	Materiál	AlSi1MgMn	
Váha (kg): 0,3	Č. kusovníku: 00-02-00-K	Č. sestavy: 00-02-00	

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_



Ra 3,2 (√)

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAŽENY 0,5x45°
KALENO 50 HRC

Kreslil: Radek Sedlář Datum: 20.4.2011	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
Přesnost: ISO 2768-fH Tolerování podle: ISO 8015	Název	Náboj	
Velikost: A4	Číslo výkresu	00-02-02	
Měřítko: 1:1	Polotovar	Φ28 - 95 ČSN 42 5510	
Váha(kg): 0,32	Materiál	11 500.0	
	č. kusovníku: 00-02-00-K	č. sestavy: 00-02-00	

I	–
H	–
G	–
F	–
E	–
D	–
C	–
B	–
A	–