

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T001 Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace struktury a pohonu otočného stolu WJ kabiny, návrh  
mechanismu sklápění řezacího stolu

Autor: **Bc. Karel VÍTOVEC**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Martin HYNEK, Ph.D**

Akademický rok 2013/2014

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Tímto chci poděkovat vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Martinu Hynkovi, Ph.D. a Ing. Petrovi Votápkovi, Ph.D. za pomoc, rady a připomínky při zpracování.

Další díky patří konzultantovi panu Ing. Janu Žídkovi, Ph.D. z Firmy NARETEC s.r.o. za poskytnuté informace, rady a čas při konzultacích práce.

Poděkování patří i dalším pracovníkům firmy NARETEC: Ing. Miloši Kalivodovi, Ing. Jiřímu Novotnému, Ing. Jiřímu Ryskovi, Martinu Šiplovi, kteří nebyli lhostejní a byli ochotni podělit se o potřebné informace jak k softwaru, tak k tématu práce, čímž mi umožnili její řádné dokončení v požadované kvalitě.

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Vítovec	Jméno Karel		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301T001 „Dopravní a manipulační technika“			
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hynek, Ph.D	Jméno Martin		
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtněte	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Optimalizace struktury a pohonu otočného stolu WJ kabiny, návrh mechanismu sklápění řezacího stolu			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	95	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	73	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	22
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Diplomová práce obsahuje uvedení do tématu Waterjet obrábění, optimalizaci pohonu otočného křídla waterjet kabiny, návrh odlehčení otočného křídla, návrh variant systému sklápění střední konzoly otočného stolu waterjet kabiny. Návrhy jsou podloženy MKP výpočty provedeními v programu SIEMENS NX 9.0, 3D modelovou a výkresovou dokumentací zpracovanou v programu SOLIDWORKS 2013, srovnáním s konkurencí a ekonomickým hodnocením.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>Obrábění vodním paprskem, CNC obráběcí stůl, waterjet obráběcí kabina, sklápění, optimalizace, návrh, pohon, srovnání s konkurencí, ekonomické hodnocení, CAD, FEM.</p>



## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Vítovec	Name Karel	
<b>FIELD OF STUDY</b>	23-35-8 “Transport and handling machinery“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hynek, Ph.D	Name Martin	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Deletewhen not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Optimization of the structure and drive turntable WJ cabin, propose mechanism tipping cutting table		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	95	<b>TEXT PART</b>	74	<b>GRAPHICAL PART</b>	22
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	Diploma thesis contains an introduction to the theme of Waterjet machining, optimization drive of waterjet cabin rotary wing, reduction weight of rotary wing proposal, design variants of tipping rotary desk of waterjet cabin. The proposals are based on FEM computations performed with usage of SIEMENS NX 9.0, 3D design and drawings performed in SolidWorks 2013. Additional content is comparison with the competitors and technical economic evaluation.
<b>KEY WORDS</b>	Water jet cutting, CNC machining table, waterjet machining cabin, tilting, optimization, proposal, drive, compared to the competition, economic evaluation, CAD, FEM.

## Obsah

1. Studie waterjet obrábění a zhodnocení Koncepčních variant.....	1
1.1 Princip obrábění vodním paprskem.....	1
1.2 Díl pro obrábění vodním paprskem.....	2
1.3 Koncepce strojů pro obrábění vodním paprskem.....	2
1.3.1 CNC waterjet stůl (dále jen CWS <sup>2</sup> ).....	2
1.3.2 Waterjet obráběcí kabina (dále jen WOK <sup>3</sup> ).....	3
1.4 Nástroje pro obrábění vodním paprskem tzv. Šály.....	5
1.4.1 Laminátový otisk.....	6
1.4.2 Rám.....	9
2. Vypracování konstrukčního návrhu s analytickými výpočty.....	10
2.1 Optimalizace struktury a pohonu otočného stolu WJ kabiny.....	10
2.1.1 Popis optimalizované struktury.....	11
2.1.2 Optimalizace struktury otočného křídla.....	13
2.1.3 MKP analýza tuhosti jednotlivých řešení.....	15
2.1.4 Konstrukční řešení zvolených variant odlehčení otočného křídla.....	24
2.2 Konstrukční návrh sklápění s analytickými výpočty.....	27
2.2.1 Rozměrová Analýza.....	27
2.2.2 Konstrukční návrh systému sklápění.....	31
2.2.2.1 Jednotlivé návrhy variant sklápění.....	31
2.2.2.2 Vybrané návrhy varianty řešení.....	37
2.2.2.2.1 Vybraná varianta sklápění 1.....	37
2.2.2.2.2 Vybraná varianta sklápění 2.....	41
2.2.3 Vliv optimalizace na výkon pohonu.....	48
3. Pevnostní výpočty MKP vybraných uzlů.....	49
4. Výkresová dokumentace sestav a vybraných konstrukčních uzlů.....	54
5. Bezpečnost obsluhy.....	54
6. Komplexní zhodnocení práce.....	57
6.1 Hodnocení konkurenceschopnosti.....	57
6.2 Ekonomické hodnocení.....	59
7. Závěr.....	61
PŘÍLOHA č.1 DIPLOMOVÉ PRÁCE - Technické požadavky na konstrukci.....	62
PŘÍLOHA č.2 DIPLOMOVÉ PRÁCE -Hodnocení konkurenceschopnosti variant.....	63
PŘÍLOHA č.3 DIPLOMOVÉ PRÁCE –Použité dokumenty, Specifikace, Nabídky.....	64
Seznam odkazů:.....	65
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	65
Seznam obrázků.....	65
Seznam Tabulek.....	67

## 1. Studie waterjet obrábění a zhodnocení Koncepčních variant

Tato technologie byla vyvinuta firmou FLOW INTERNATIONAL (USA) v letech 1970 až 1980. V dnešní době se tato technologie rozšiřuje do různých oblastí průmyslu.[1]

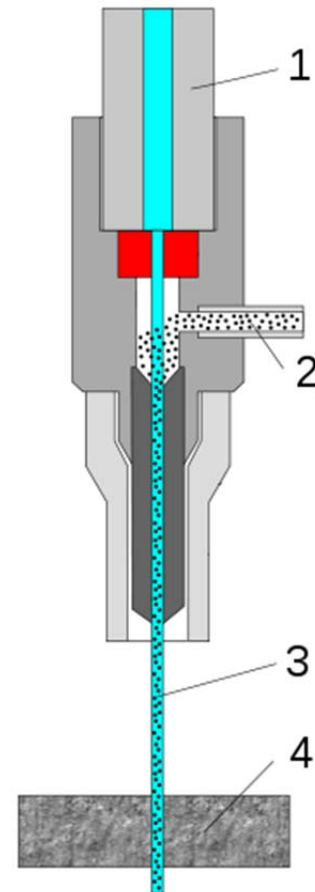
### 1.1 Princip obrábění vodním paprskem

Dělení materiálu je prováděno tlakem vodního paprsku (3), který obrušuje dělený materiál (4). V podstatě se jedná o bodově soustředěnou a značně urychlenou vodní erozi. Obrábění touto metodou nejčastěji využívá CNC<sup>1</sup> řízené stoly a CNC<sup>1</sup> roboty s řezací hlavou, přičemž roboti mohou pracovat v uzavřené nebo otevřené kabině. Zdrojem tlaku jsou vysokotlaká čerpadla, s příkonem 11-150 kW, generující pracovní tlaky například v rozmezí 80-380 MPa (800-3800 Bar) s objemovým výkonem 1,2 až 7,6 l/min.

Čerpadlo tlačí vodu k řezací hlavě (1), jejíž součástí je řezací tryska vytvářející vodní paprsek. Šířka paprsku se odvíjí od děleného materiálu v rozmezí 0,1-2 mm.

Touto metodou je možno dělit ocel, barevné kovy, sklo, plasty, přírodní materiály, textil, pryž, potraviny. V závislosti na materiálu dělíme paprsek na dva druhy. Pro měkké materiály je využito čistého vodního paprsku, pro ostatní materiály abrazivního vodního paprsku (2). Použitý druh abraziva záleží na tvrdosti děleného materiálu. Příkladem využívaných abraziv je přírodní olivín.

Vysokou přesnost (standardně $\pm$ 0,1 mm) a tvarovou složitost řezu zaručí řezný pohyb řízený počítačem na základě obráběcího programu vytvořeného technologickým programátorem.



Obr. 1. Princip obrábění vodním abrazivním paprskem. [1]

#### **Výhody:**

Univerzální použití pro širokou škálu materiálů.

Ekologičnost metody – žádné zplodiny, nízká spotřeba vody.

Netoxická a recyklovatelná abraziva.

Minimální silové působení paprsku na řezaný materiál – žádné mikrotrhliny.

Malý prořez materiálu – malá šířka řezu.

Studený řez – žádné chemické, fyzikální ani mechanické ovlivnění řezaného materiálu.

CNC řízení – vysoká přesnosti a tvarová složitost.

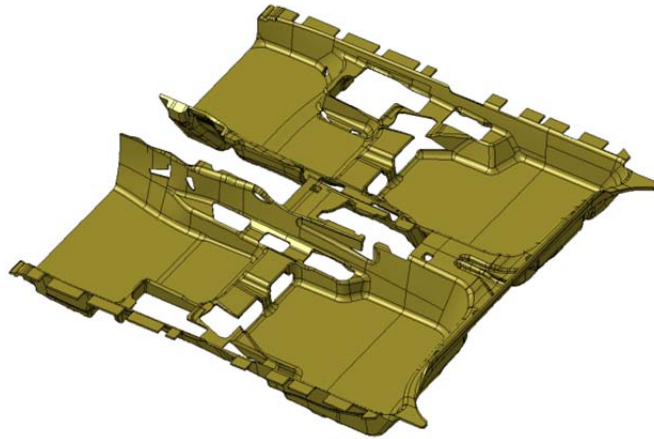
#### **Nevýhody:**

Kontakt s vodou a abrazivem – nutnost ochrany proti korozi, vysoušení, změna barvy apod..

Omezená tloušťka řezaného materiálu – u větší tloušťky řezaného materiálu se paprsek odklání vlivem ztráty síly, což způsobuje nerovný ořez s koncovým náběhem.

## 1.2 Díl pro obrábění vodním paprskem

Waterjet kabina firmy NARETEC je určena pro řezání kobercových a pěnových dílů určených pro automobilový průmysl. Jako příklad byl vybrán podlahový koberec automobilu. Koberec je nejprve vylisován v lisovacím nástroji bez děr a s přídavky. Další operací je ořez čistým vodním paprskem, který dodá koberci požadované rozměry.

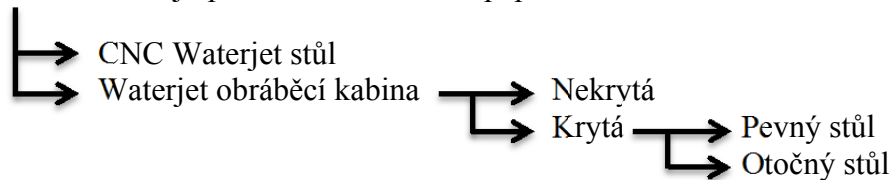


Obr. 2. Podlahový koberec automobilu. [N]

## 1.3 Koncepte strojů pro obrábění vodním paprskem

Jednotlivé koncepte strojů pro řezání vodním paprskem vycházejí hlavně z druhu polotovaru a jeho rozměrů.

Rozdělení strojů pro obrábění vodním paprskem:



### 1.3.1 CNC waterjet stůl (dále jen CWS<sup>2</sup>)

Stroj je složen z pevného stolu a pohyblivého tříosého portálu s řeznou hlavou. Pracovní plocha stolu je tvořena roštem, který umožňuje upevnění polotovaru a zároveň odchod vody s abrazivem. Stůl je schopen recyklace abraziva a vody díky odpadní nádrži s kalovým čerpadlem.

Portál je veden v nerezových vedeních a poháněn stejnosměrnými servomotory. Dále nese portál řeznou hlavu produkující řezný paprsek. Samotný paprsek je generován tlakem vodních čerpadel. Pohyb portálu je plně ovládán CNC<sup>1</sup> systémem zaručujícím vysokou kvalitu a přesnost řezu.

Součástí CWS<sup>2</sup> jsou možná doplňková vybavení jako např. dálková tlaková doprava abraziva. Tento systém vytlačuje stlačeným vzduchem abrazivo ze zásobníku do rozvodového potrubí přímo k zásobníku dávkovače abraziva umístěného na suportu stroje nedaleko řezné hlavy. Výhodou tohoto systému je plynulost dávkování abraziva do směšovací trysky, což značně zvyšuje kvalitu řezu.

#### **Využití:**

Nejčastěji pro 2D řezání.

Řezání kovů abrazivním paprskem.



Obr. 3. CNCwaterjet stůl značky MULTICam. [2]

### 1.3.2 Waterjet obráběcí kabina (dále jen WOK<sup>3</sup>)

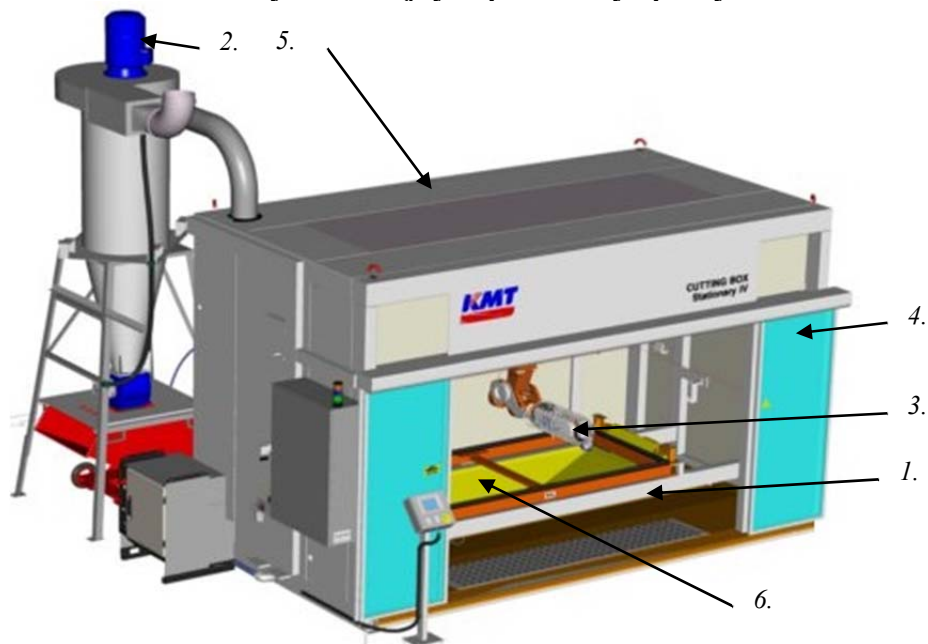
Toto řezací centrum je sestaveno z robotů s vodní řezací hlavou a obráběcího prostoru pro založení nástroje. Tento prostor může být plně zakrytován kabinou (kryté stroje) nebo pouze obehnán plotem (nekryté stroje). Pracovní stůl lze mít otočný nebo neotočný s využitím, či nevyužitím vakua pro přidržení polotovaru.

#### **Využití:**

Pro 2D a častěji pro 3D řezání.

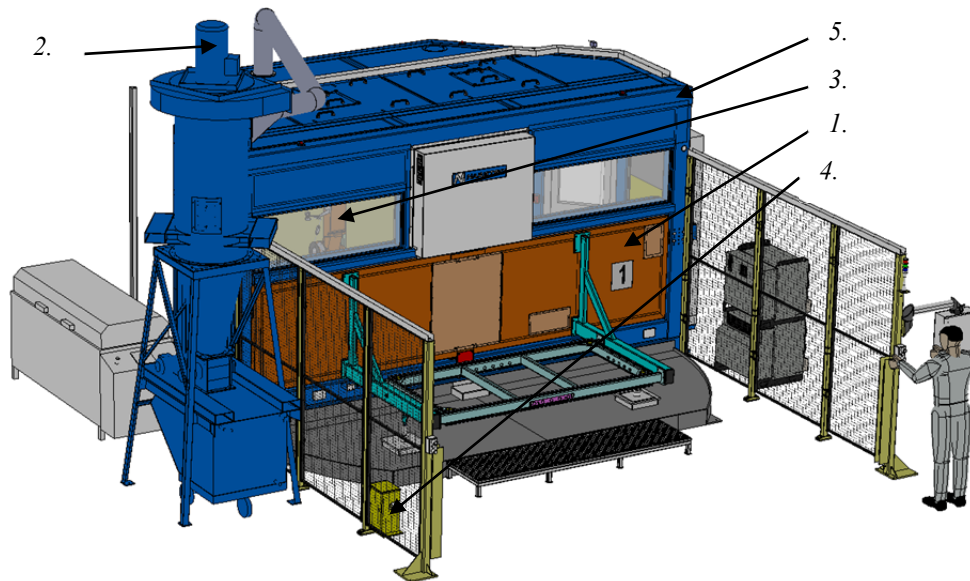
Řezání materiálu kobercového typu, řezání kovů.

*Stroj je složen z několika dílčích systémů stejných pro otočný i pevný stůl:*



1-Pevný stůl, 2-Systém tvorby vakua, 3-Robot s řeznou hlavou, 4-Vrata kabiny, 5-Kabina,  
6-Vana systému vakua.

Obr. 4. Dílčí systémy waterjet obráběcí kabiny s pevným stolem. [3]



1-Otočný stůl, 2-Systém tvorby vakua, 3-Robot s řeznou hlavou, 4- Bezpečnostní systém, 5-Kabina.

Obr. 5. Dílčí systémy waterjet obráběcí kabiny s otočným „dvoj-hnízdy“ stolem. [N]

## 1. Systém podávání waterjetového nástroje (tzv. Šály):

### *Pevný stůl (Obr.4)*

Nástroj (šála) je usazena na pevný stůl(1), například pomocí vysoko zdvižného vozíku. Poté je obsluhou vložen díl. Z Harting konektoru je obsluhou načten příslušný program pro obrábění (platí pouze pro první díl). Kabina (5) je uzavřena vraty (4) a začíná proces obrábění robotem s řeznou hlavou (3). Stůl je pohyblivý ve vertikálním směru pro případné přiblížení k robotům.

### *Otočný stůl (Obr.5)*

Šála je usazena například pomocí vysoko zdvižného vozíku do otočného stolu (1). Na nástroj je obsluhou založen díl (např. koberec). Z Harting konektoru je obsluhou načten příslušný program pro obrábění (platí pouze pro první díl), poté obsluha odstoupí od otočného stolu za bezpečnostní systém(4). Otočný stůl (1) s polotovarem je otočen do pracovního prostoru vně kabiny (5), kde je polotovaz přisán k nástroji pomocí vakuového systému, což zaručí přidržení dílu během procesu řezání. Započne řezání robotem s řeznou hlavou (3).

## 2. Systém vytváření vakua a sběru odpadu:

Vakuem (tedy podtlak) je vytvářeno silným ventilátorem (tzv.cyklónem), který vysává vzduch z prostoru pod šálou.Podtlak vniká pod díl rastrem děr v nástroji, což způsobí přidržení dílu v nástroji. Podtlak v oblasti pod nástrojem také odsává odpad vzniklý při řezání vodním paprskem.

### *Pevný stůl (Obr.4)*

Po založení šály do obráběcího prostoru, vyjede do prostoru pod šálou sací vana (6), která se přisaje přes pryžové těsnění k rámu šály. Vana přisává díl a zároveň odsává vodu použitou při řezání a vzniklý odpad, případně i abrazivo.

### *Otočný stůl (Obr.5)*

Proces je stejný jako u pevného stolu jen s rozdílem že započne po otočení stolu s nástrojem (šálou) do pracovního prostoru.



### 3. Obráběcí robot s řeznou hlavou:

Robot (3) je umístěn v obráběcím prostoru a po přisátí dílu najede na sadu křížů vytvořených na nástroji (tzv. Koordináty), což zajistí zkalibrování robota vůči nástroji, poté započne proces řezání - robot ořízne vodním paprskem koberec na požadovaný tvar včetně výřezů a prořezů. Počet robotů je závislý na požadavcích zákazníka a zároveň s ním úměrně vzrůstá produktivita stroje. Konstrukce pracovního prostoru a stolu nesmí výrazně omezovat pohyblivost robotů.



Obr. 6. Robot značky ABB s řezací vodní hlavou.[4]

### 4. Zabezpečovací systém:

Systémů zabezpečení pracovníků obsluhy je velké množství, vybereme jen ty, jimiž obsluha bezprostředně ovlivní chod stroje.

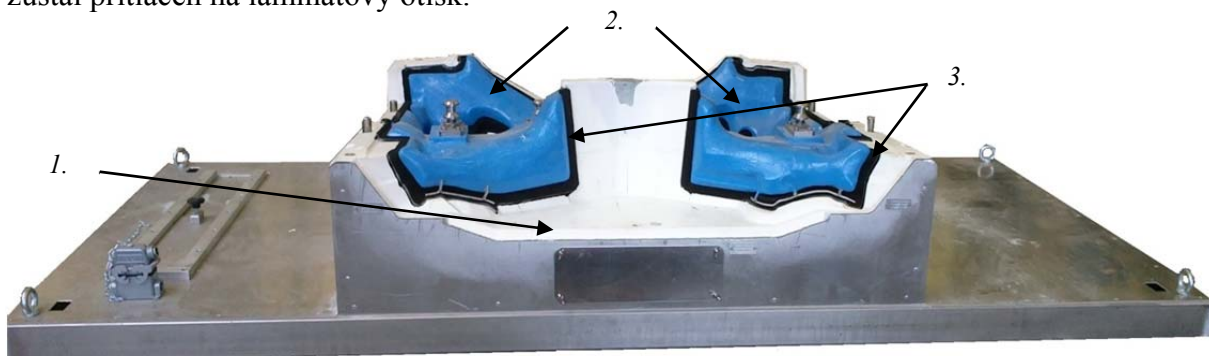
V případě pevného stolu (Obr.4), je stroj zabezpečen posuvnými dveřmi, které uzavřou pracovní prostor před započítím obráběcího prostoru a tím znemožní obsluze jakkoliv narušit obráběcí proces stroje.

Bezpečnost stroje s otočným stolem (Obr.5), je blíže rozepsána v kapitole 8.

### 1.4 Nástroje pro obrábění vodním paprskem tzv. Šály

Konkrétně pro WOK<sup>3</sup> jsou nástrojem takzvané waterjetové šály (dále jen šály). Tato šála slouží jako podpora pro zakládání dílu (koberec). Druh šály je spojen s použitím vakua u WOK<sup>3</sup>, dělí se tedy na vakuové šály a bezvakuové šály. Některé šály pro větší díly se složitějších tvarů vyžadují přidržování dílu, tuto funkci zastávají takzvané přidržovače dílů.

Přidržovače mají horní plochu dílu a s určitým odstupem kopírují ořez a výřezy na dílu tak, aby mohla řezná hlava oříznout tvar s dostatečným prostorem pro pohyb bez kolize a díl zůstal přitlačen na laminátový otisk.



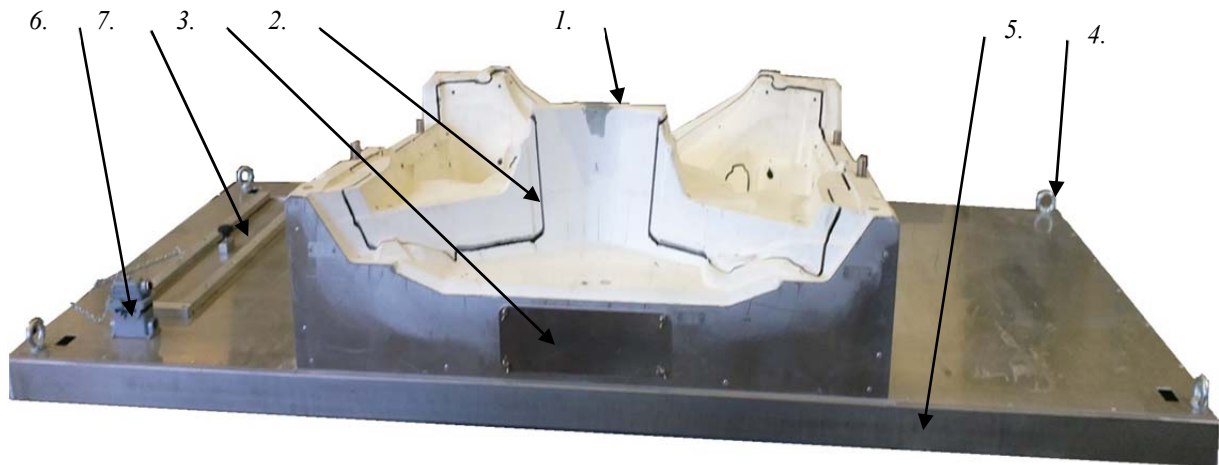
1-Laminátový otisk kopírující tvar dílu, 2-Přidržovače dílů, 3-Díl oříznutý ořezovou konturou.

Obr. 7. Dvounízdý nástroj s přidržovači dílů.

**Rozdíl vakuová a bezvakuová šála:**

Na vakuovém nástroji je rastr děr v prostoru s tvarem dílu, který přivede vakuum (podtlak) k dílu a ovládací vakuová klapka (Obr.8). Při otevření klapky vakuum uniká z prostoru pod nástrojem a lze sejmout díl. Bezvakuový nástroj tuto klapku ani rastr děr nemá.

**Nástroj je složen z několika pod-celků:**



1-Laminátový otisk, 2-Ořezová kontura, 3-Čistící otvor, 4-Transportní oka, 5- Rám KMT original, 6-Harting konektor, 7-Vakuová klapka.

**Obr. 8. Vakuový dvouhřízdý nástroj pro obrábění vodním paprskem tzv. Šála.[N]**

**1.4.1 Laminátový otisk**

Jedná se o laminátový otisk, kopírující tvar dílu. Je otisknut z necuronového nebo překližkového kopyta. Necuron je prodejní označení materiálu, jenž je směsí dřevěných pilin a pryskyřice, a je vyráběn v různých tvrdostech.

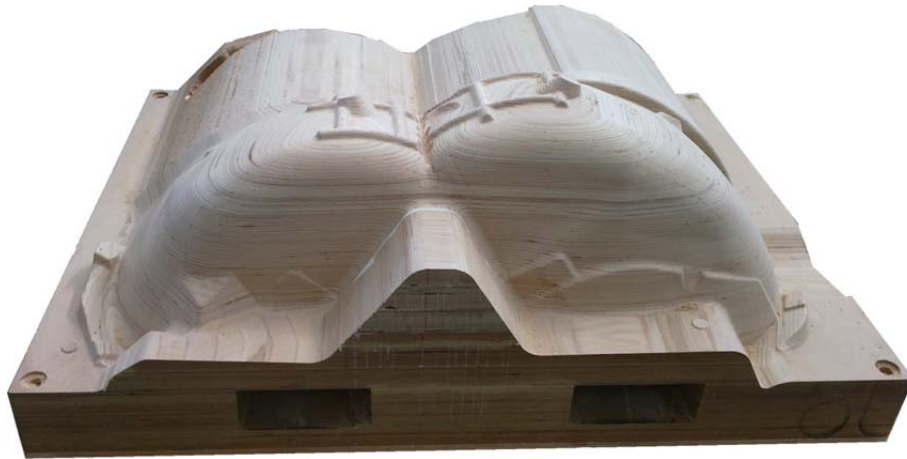
**Kopyto**

Kopyto je slepenec z dřevotřískových desek, jenž je obroben na 3D plochu dílu. Slouží pro výrobu laminátového otisku i pro výrobu přídržovačů.



**Obr. 9. Slepeneček kopyta před obráběním.**



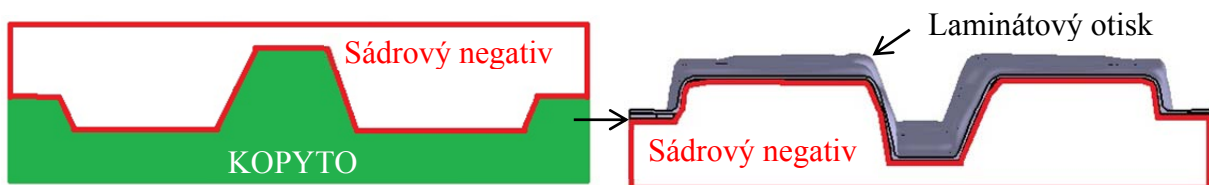


Obr. 10. Slepenec kopyta obrobený 3D tvarem.

**Koncepce otisku z kopyta:**

a) *Otisk přes sádrový negativ*

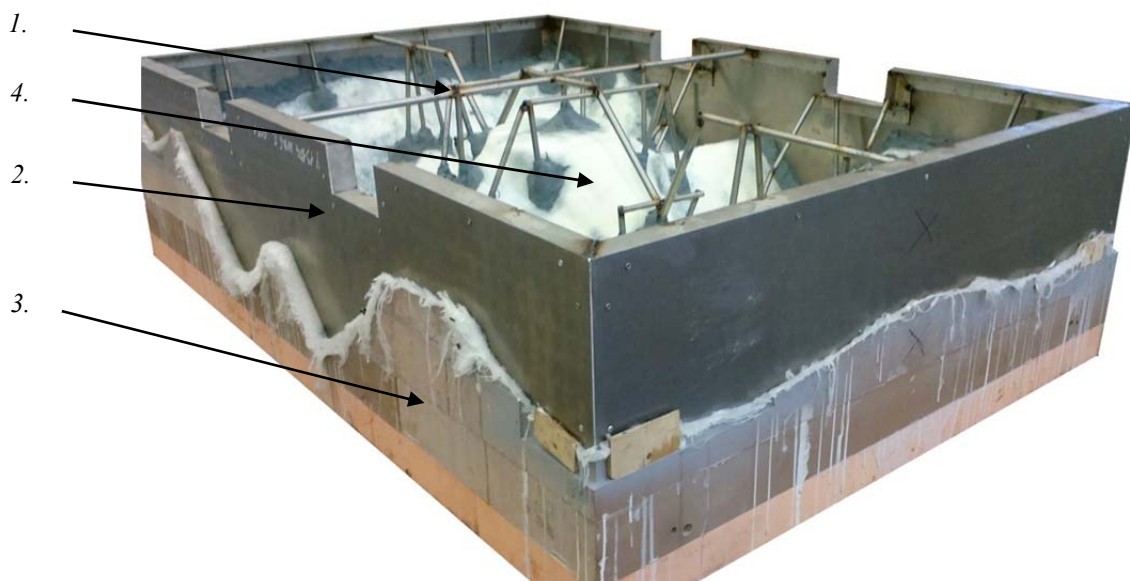
Kopyto má stejný tvar jako laminátový otisk. Z kopyta je otisknut sádrový negativ, nanesením sádrové směsi na kopyto. Z otisknutého negativu se otiskne požadovaný tvar laminátového otisku.



Obr. 11 Postup otisku ze sádrového negativu.

b) *Otisk přímo z kopyta*

Kopyto má zrcadlový tvar laminátového otisku. Na kopyto je nanesena vrstva laminátu, po vytvrnutí jsou k ní připevněny krycí plechy, zpevňující rám, stínící plechy. Poté je laminátový otisk odtržen.



1-Zpevňující rám, 2-Boční hliníkové plechy, 3-Kopyto, 4-Laminátový otisk.

Obr. 12. Příklad otisku z kopyta.

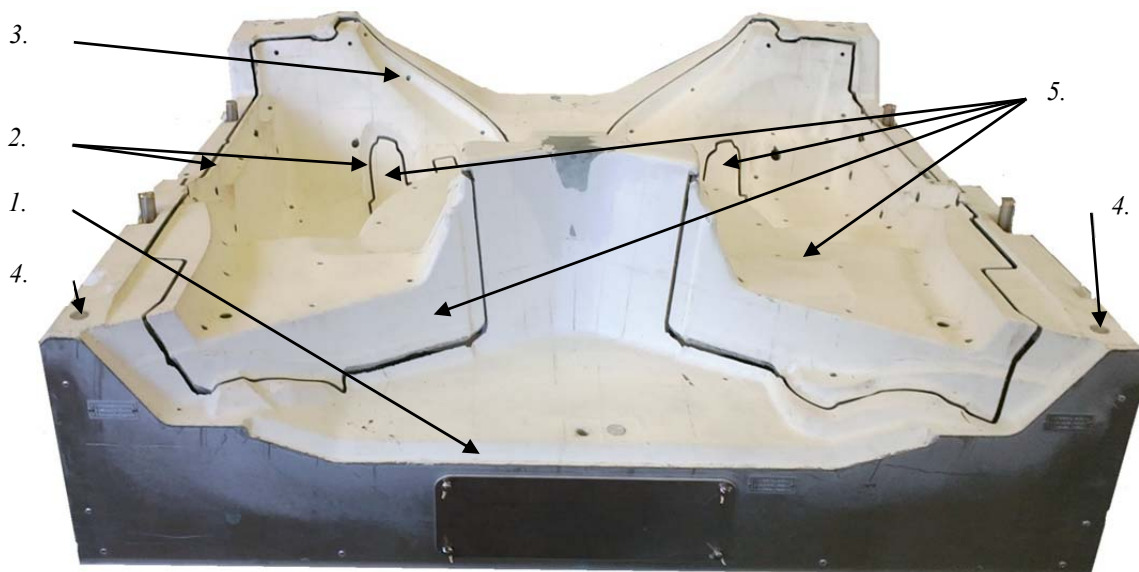
**Další části otisku:**

*Tyto části jsou k otisku připojovány během tuhnutí.*

- **Zpevňující rám** (Obr.12)  
K laminátovému otisku je přilaminován zpevňující rám, který má za úkol podpírat místa, která po rozdělení otisku ořezovou konturou zůstanou ve vzduchu (bez podepření dojde k jejich odpadnutí).
- **Vložené stínící plechy**  
V nástroji jsou přilaminované (nebo navařené) odrazové nerezové plechy, které odráží řezací paprsek v místech, kde by paprsek zasahoval do bočních stěn nebo jiné části tvaru, což by mohlo z dlouhodobého hlediska způsobit poškození nástroje – například proříznutí boční stěny nástroje vodním paprskem.
- **Boční hliníkové plechy** (Obr.12)  
Celý zpevňující rám s otiskem je zakrytován bočními hliníkovými plechy.
- **Čistící otvory** (Obr.13)  
Boční hliníkové plechy mají vypálenou díru, takzvaný čistící otvor, který umožňuje výběr rezného odpadu zachytávajícího se v prostoru pod nástrojem. Tyto otvory jsou uzavřené odnímatelnými kryty.
- **Kontura ořezu, díry, prořezy** (Obr.13)  
Laminátový otisk je rozdělen ve waterjetové kabině tak aby vznikla na laminátovém otisku kontura budoucího ořezu, děr a prořezu.

*Po proříznutí kontury do laminátu je nástroj doplněn o:*

- **Rastr děr** (Obr.13)  
Pro vakuové nástroje je v otisku rastr děr v oblasti dílu, umožňující přisátí dílu vakuem k nástroji. Pro hluboké díly jsou v nejhlubších místech vyvrtány díry pro odvod vody a to ve vakuových i nevakuových šálách.
- **Koordináty** (Obr.13)  
Jedná se o tři najížděcí body (tři na jeden díl), podle kterých se orientuje robot v WOK<sup>3</sup>. Na nástroji jsou představovány obarvenými bodovými ploškami, které jsou umístěné v 3D tvaru.



1-Čistící otvor, 2-Kontura ořezu, 3-Rastr děr vakua, 4-Koordináty, 5- části které je nutné podpírat zpevňujícím rámem.

**Obr. 13. Další části laminátového otisku.**

### 1.4.2 Rám

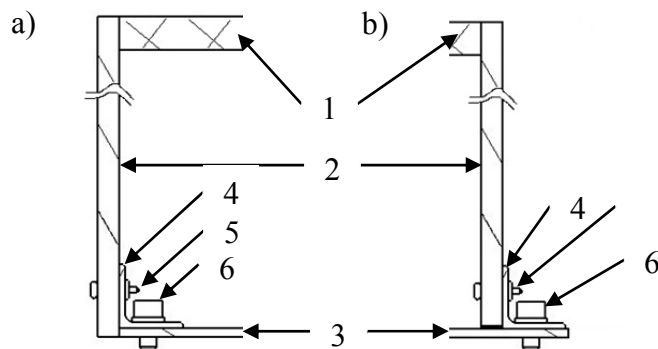
Pro obrábění vodním paprskem ve firmě NARETEC s.r.o, se využívá několika normalizovaných druhů rámu. Použití určitého druhu rámu záleží na požadavcích zákazníka. Optimalizace se týká kabiny využívající rám KMT TYP 1, jenž je složen z následujících prvků.

- **Zakrytování rámu**

Provedeno přivařením hliníkového plechu tak aby vznikl v oblasti otisku odpadní prostor.

- **Přípevnění otisku k hliníkovému plechu**

Upevnění nástroje je provedeno pronýtování L-profilu do bočních plechů otisku a prošroubováním do krycích plechů rámu. Využití L-profilů je dvojí konstrukce a to s vnitřním (Obr.14a) L-profilem a vnějším L-profilem (Obr.14b). Rozdíl mezi těmito možnostmi je hlavně ve velikosti hliníkového plechu. Druh konstrukce záleží na velikosti nástroje a konstruktérovi. Celý obvod nástroje se posléze utěsí silikonem.



1-Laminátový otisk, 2-Boční hliníkový plech, 3Krycí plech KMT rámu, 4-L-profil, 5-Nýt, 6-Šroub.

Obr. 14. Možnosti upevnění krycích plechů L- profilem.

### Rám TYP 1 ( Obr.15.)

- **Rám je svařenec z ocelových profilů a plechů.**

- **Vodící elementy**

Na rámu jsou přišroubovány tři vodící elementy pomocí, kterých je rám ustaven na stůl veWOK<sup>3</sup>.

15a - První vodící elementem je přesná díra pro kolík, na kterou je rám přesně ustaven.

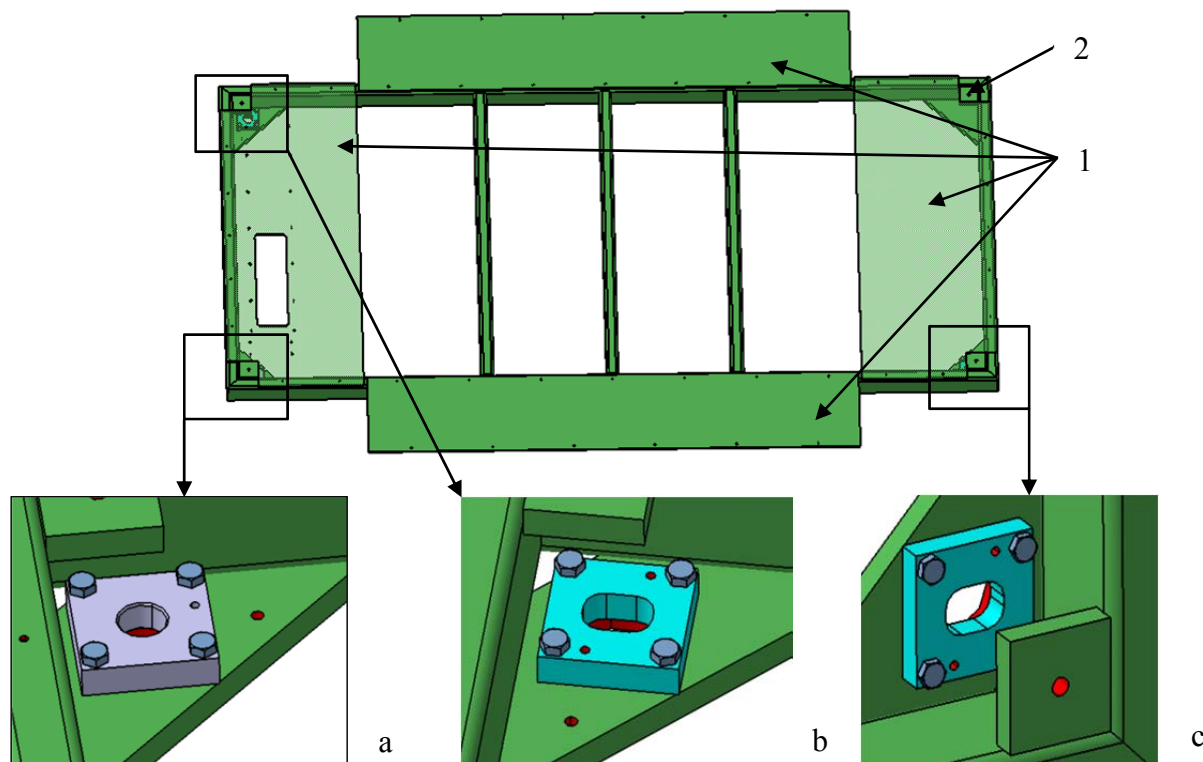
15b,c – Další dva elementy jsou drážky, jedna v podélném směru druhá v příčném směru což umožní obsluze přesné ustavení.

- **Krycí plechy(1)**

Jsou přinýtované hliníkové plechy na rám, které tvoří vodící plochy pro laminátový otisk, případně vzduchovou klapku (vakuový nástroj).

- **Transportní díry(2)**

V rozích rámu jsou transportní závity pro transportní oka.



1-Krycí plech, 2-Transportní závity pro transportní oka.

Obr. 15. Rám KMT Originál IV. [N]

## 2. Vypracování konstrukčního návrhu s analytickými výpočty

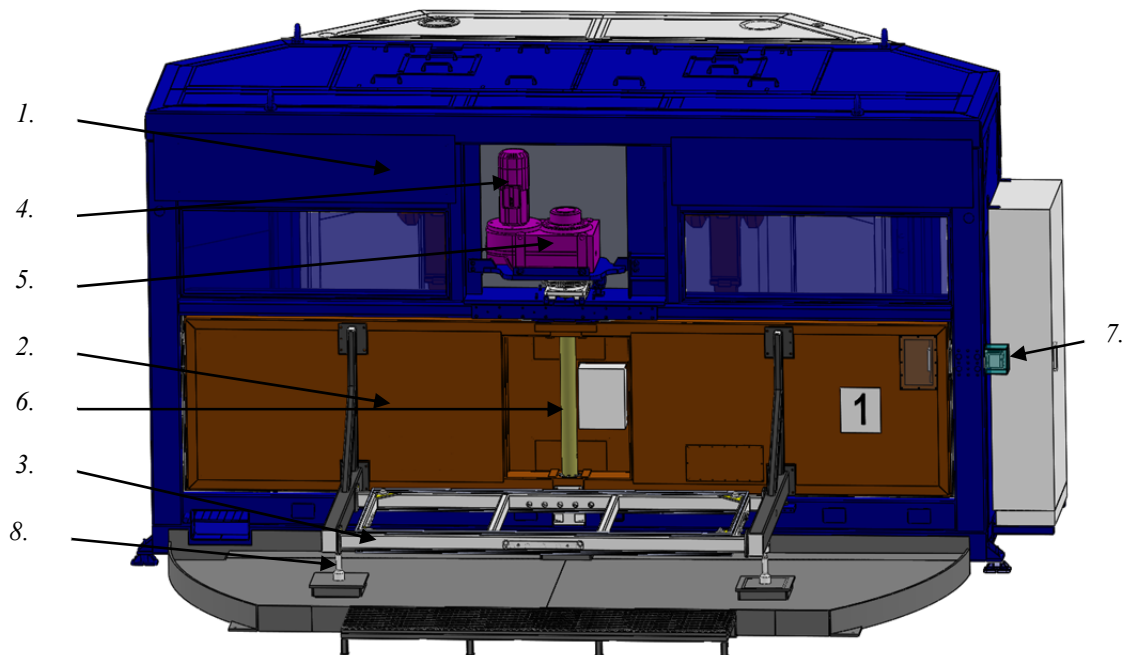
### 2.1 Optimalizace struktury a pohonu otočného stolu WJ kabiny

Jako hlavní cíl optimalizace si určuji snížení potřebného výkonu (a tím i ceny)pohonu pro otáčení otočného křídla waterjet kabiny. K snížení výkonu je třeba snížit hmotnost a moment setrvačnosti samotného otočného křídla při zachování potřebné tuhosti. Dalším vstupujícím faktorem ovlivňujícím výkon pohonu je hmotnost a moment setrvačnosti střední konzoly, jenž budou navýšeny navrženým systémem sklápění. Cílem je optimalizovat konstrukci tak, aby cena pohonu klesla alespoň o 15%. Celá konstrukce podléhá požadavkům zákazníka na konstrukci (Viz. Příloha č.1).

<i>Technické požadavky na konstrukci</i>	
• Možnost založení rámu KMT	KMT TYP IV.
• Otočné křídlo - zachování konceptu	Střední otočný hřídel
• Typ výroby	kusová
• Otočné křídlo - zachování konceptu	Střední otočný hřídel
• Pořizovací náklady	Nízké
• Náklady na změny v konstrukci Kabiny	Nízké

Tab. 1. Vybrané požadavky zadavatele diplomové práce.

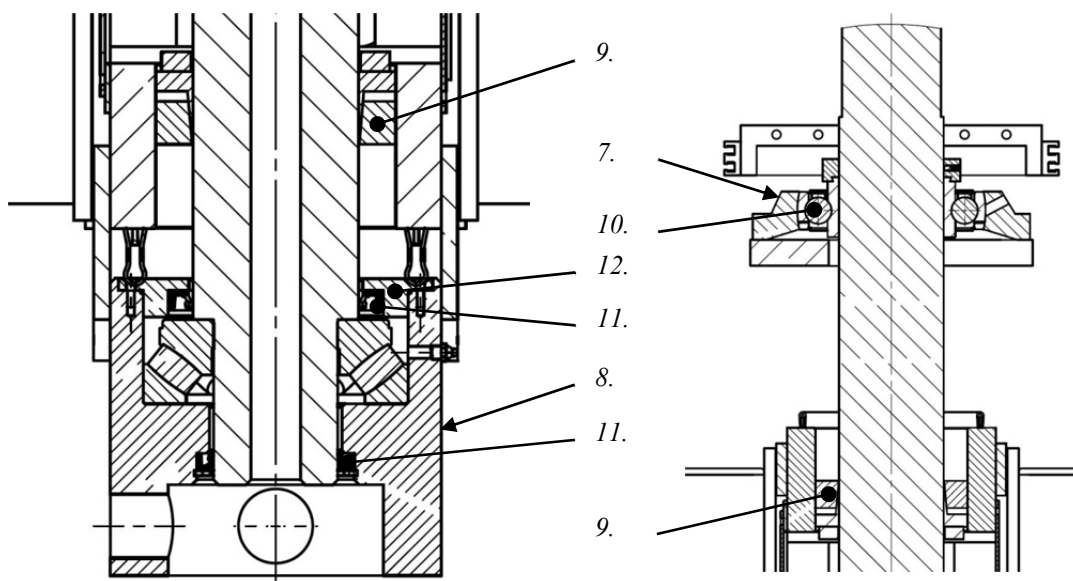
### 2.1.1 Popis optimalizované struktury



1-Kabina, 2-Otočné křídlo, 3-Boční konzoly se střední konzolou, 4-Elektromotor, 5-Převodová skříň,  
6-Centrální hřídel, 7-Aretační systém, 8-Podpora boční konzoly.

Obr. 16. Výřez přední části WJ kabiny s otočným stolem-pohled ze strany obsluhy.[N]

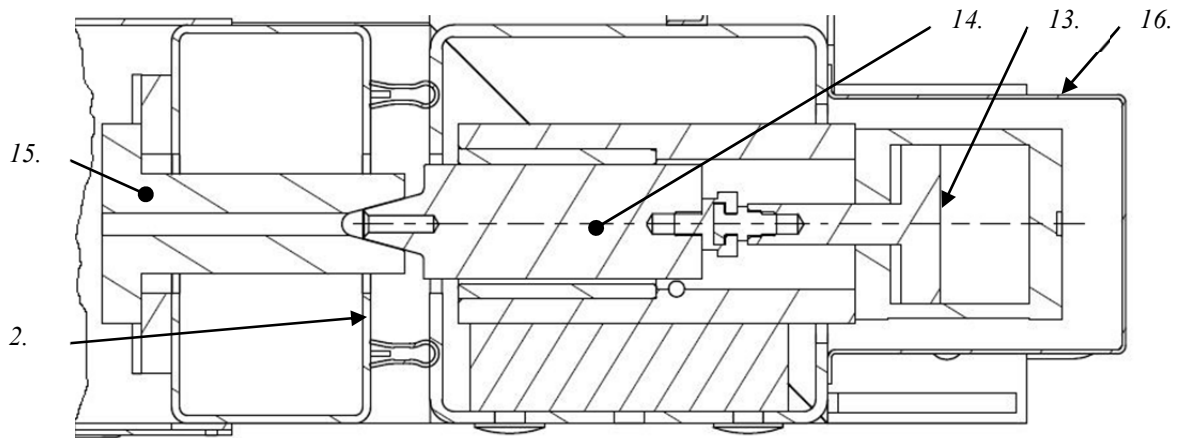
Výchozí optimalizované konstrukční řešení waterjet obráběcí kabiny firmy NARETEC s.r.o. je složeno z kabiny (1), otočného křídla (2) nesoucího na obou stranách boční konzoly propojené střední konzolou (3), na kterou je zakládán nástroj. V kabině je upevněn elektromotor (4) s převodovkou (5) nasazenou na centrální hřídel (6), jenž je uložena v horní části v ložisku (7) a ve spodní části v ložiskovém domku (8). Centrální hřídel je pevně spojen s otočným křídlem za pomoci svěrných pouzder (9). Ložiskový domek je složen z axiálního ložiska (10) utěsněného guferu (11) a horním víčkem (12).



7-Horní ložisko, 8- Ložiskový domek, 9-Svěrné pouzdro, 10-Axiální ložisko, 11-Gufero,  
12-Horní víčko.

Obr. 17. Řezy spodním (vlevo) a horním (vpravo) uložením centrálního hřídele.

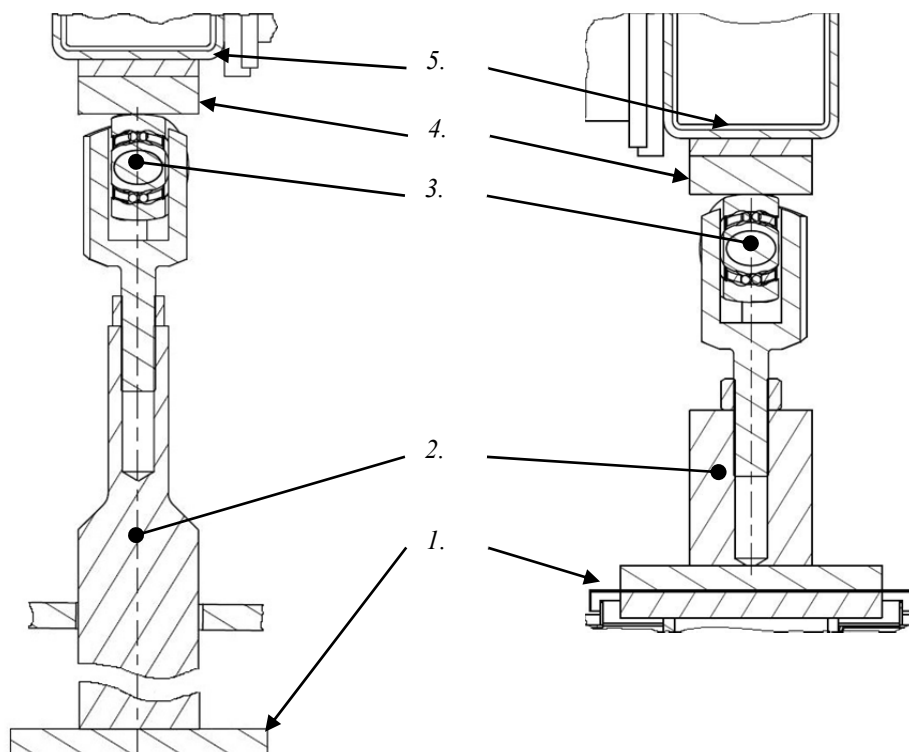
Otočné křídlo se otáčí pouze o 180°tam a zpět přičemž je zde požadavek na zajištění vždy stejné polohy stolu po otočení. K tomuto účelu je v rámu kabiny (1) zabudován aretační systém, jenž je složen z pneumatického válce (13) vysouvajícího klín (14) do prizmatu (15) upevněného v rámu otočného křídla (2).



1-Kabina, 2-Otočné křídlo, 13-Pneumatický válec, 14-Klín, 15-Prizma, 16-Kryt aretačního pístu.

**Obr. 18. Aretační systém otočného křídla.**

Dalším vybavením kabiny je systém podpory bočních konzol. Systém má za úkol vytvořit podporu středního rámu ve výchozí poloze uvnitř i před kabinou, to jest podepřením bočních konzol. Princip systému je jednoduchý, při otáčení křídla do výchozí polohy najíždí boční konzoly na podpěry (2) umístěné na podlaze uvnitř i vně stroje. Podpěra je vybavena rolnou (3) dosedající na kluznou desku (4) boční konzoly.



1-Podlaha, 2-Podpěra, 3- Kladka podpěry, 4-Kluzná deska boční konzoly, 5-Boční konzola.

**Obr. 19. Systém podpírání bočních konzol ve výchozích polohách.**



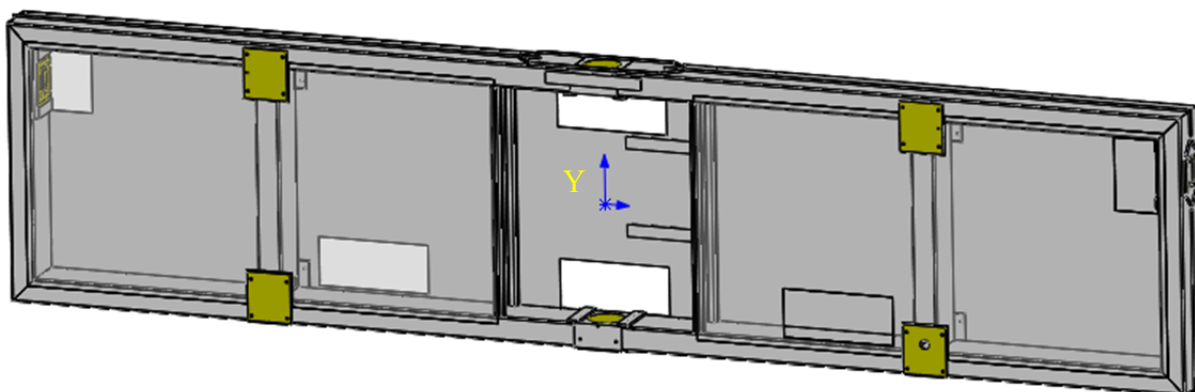
### 2.1.2 Optimalizace struktury otočného křídla

Návrhem systému sklápění střední konzoly upevněné na otočném křídle zvýšíme hmotnost a moment setrvačnosti celého celku, jímž otáčí pohon kabiny. Tento nárůst je třeba eliminovat snížením hmotnosti a momentu setrvačnosti samotného křídla bez ztráty tuhosti celé konstrukce. Tento zásah nám umožní optimalizovat pohon otočného křídla, čímž je myšleno snížení potřebného výkonu pohonu pro otočení křídlem.

Hmotnost a moment setrvačnosti lze snížit dvěma způsoby, a to změnou materiálu z oceli za hliník a změnou celkové konstrukce křídla.

#### ***Stávající řešení firmy NARETEC:***

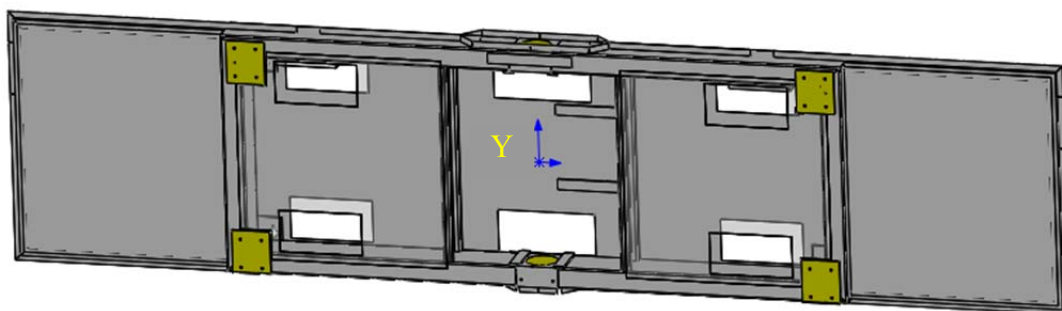
Svařovaná konstrukce z ocelových plechů. Systém zamykání na bočnicích stolu.



Obr. 20. Otočné křídlo NARETEC. [N]

#### ***Varianta 1 – snížení hmotnosti rozdělením na sektory, materiál ocel:***

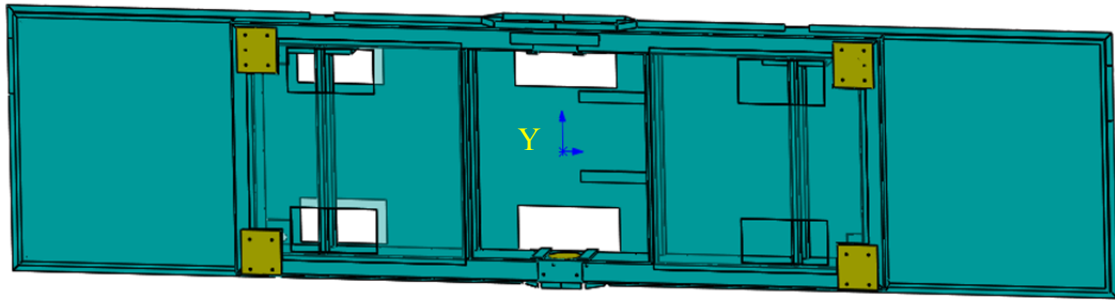
V případě přesunutí zamykacího mechanismu blíže ke středu otáčení, vznikne méně zatěžovaný prostor po stranách konstrukce, který plní pouze funkci zakrytování pracovního prostoru uvnitř kabiny. Při takové úvaze lze tedy konstrukci rozdělit na střední a krajové části. Krajové části mají pouze krycí funkci a mohou být konstruovány z menších ocelových profilů, přičemž nosná střední část zůstane zachována. Systém aretace je ale nutné přesunout na horní a spodní podélník. Pro tento účel je tedy nutná dvojitá aretace křídla, pro zajištění opakovatelnosti polohy po otočení křídla.



Obr. 21. Varianta křídla 1 – Odlehčené krajové sektory, materiál ocel.

#### ***Varianta 2 – využití sektorové AL stavby:***

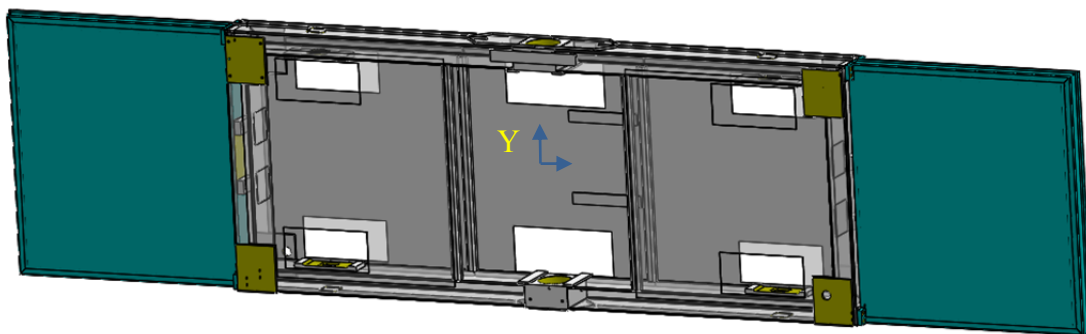
Využití sektorové stavby z varianty 1 s využitím hliníkových profilů. V dosedacích místech aretace je střední část doplněna vzpěrami pro zvýšení tuhosti. Zamykání na horním podélníku.



Obr. 22. Varianta křídla 2 - Celohliníková sektorová konstrukce.

**Varianta 3 – Hybridní stavba:**

Středový sektor z oceli s krajovými přišroubovanými Al sektory. Zamykání na horním podélníku.



Obr. 23. Varianta křídla 3 - Konstrukce kombinující sektory z Al a oceli.

Materiál	Přibližná cena materiálu Kč za 1Kg
Al 6060	230
Ocel 11 523	25

Tab. 2. Orientační cena 1kg materiálu pro rok 2014.

Ceny jsou dodány z nákupního oddělení firmy NARETEC s.r.o.

Jednotlivá řešení / Sledovaná veličina	Hmotnost / úspora		Moment setrvačnosti k ose Y / úspora		Přibližná cena materiálu na 1ks [Kč]
	[kg]	%	[kg/m <sup>2</sup> ]	%	
Stávající řešení (NARETEC)	533,5	0	1152	0	13 337,50
Varianta 1 (Ocel)	492,5	7,7	888	22,9	12 312,50
Varianta 2 (AL)	196,7	63,1	329	71,4	45 241,00
Varianta3 (AL+Ocel)	54,4+362,3 (416,7)	21,9	555,7	51,7	12 512 + 9057,50 (21 569,50)

Tab. 3. Srovnání úspor a ceny jednotlivých variant

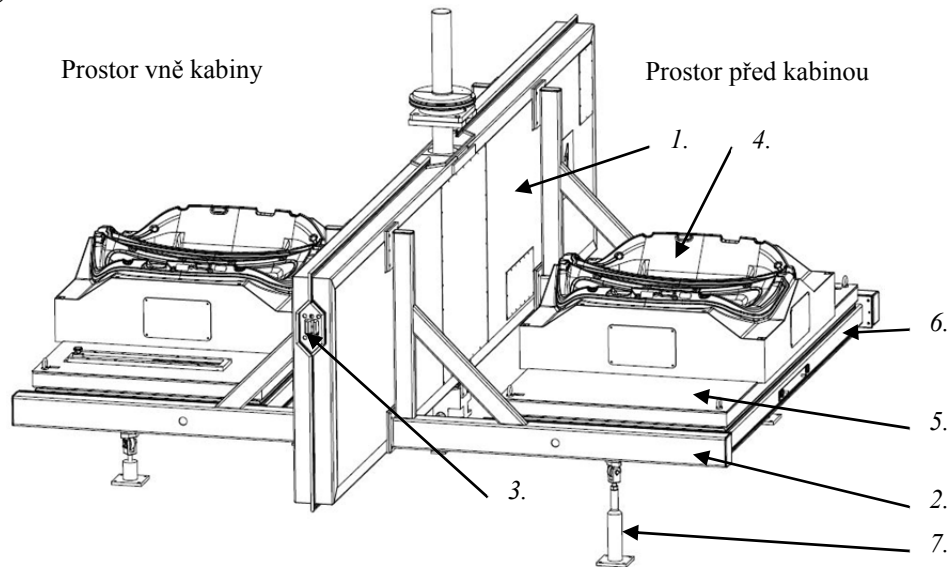
**Závěr:**

Největší úspory přináší varianta 2 s využitím Al-profilů, tato varianta je však nejdražší. U varianty 2 není dosaženo takové úspory hmoty, ale moment setrvačnosti se podařilo snížit o téměř 23%, což ukazuje na rezervy stávajícího řešení. Poslední varianta je kompromisem mezi variantami 1 a 2 s úsporou téměř 52% momentu setrvačnosti při navýšení ceny o 8 232 Kč, což není tak vysoká částka.



### 2.1.3 MKP analýza tuhosti jednotlivých řešení

Pro objektivní zhodnocení jednotlivých variant je třeba porovnat jednotlivé varianty s výchozím řešením i z hlediska tuhosti. MKP analýza tuhosti je provedena ve výpočtovém modulu programu SIEMENS NX 9.0.



1-Otočné křídlo, 2-Boční konzola, 3-Systém aretace, 4-Nástroj, 5-Rám nástroje, 6-Střední konzola, 7-Podpěra s kladkou.

Obr. 24. Simulovaný stav

#### **Definice simulovaného stavu:**

Analýza simuluje stav, kdy je otočný stůl ve výchozí poloze pro založení dílu do nástroje. V této pozici je stůl aretován ve dvou místech – zatlačeným pístem s klínem do protikusu upevněného na rámu otočného křídla. Boční konzoly jsou přišroubovány k otočnému křídlu a podpírány podpěrami s ocelovou kladkou. Na střední konzole je ustaven nástroj.

#### **Příprava výpočtového modelu:**

Díky volbě zátěžového stavu lze model zjednodušit využitím dvou rovin symetrie, přičemž jsou zanedbány drobné tvarové a rozměrové odlišnosti. Dále jsou odstraněny veškeré rádiusy a díry, které by mohly dělat potíže při síťování modelu. Model je rozdělen na 3D prvky a 2D prvky jenž jsou střednicí jednotlivých profilů.

#### **Definice materiálů:**

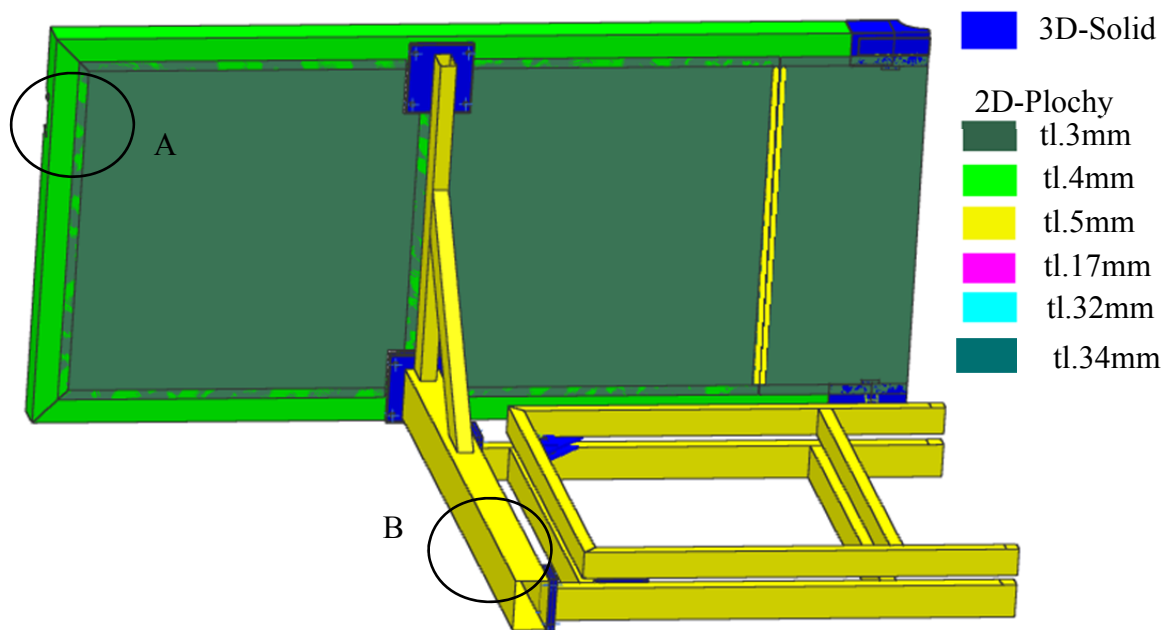
Pro výpočty jsem využil materiály z knihovny programu SIEMENS NX. Oba materiály jsou izotropní.

Materiál	Označení NX	Youngův modul pružnosti (E)	Poissonovo číslo ( $\mu$ )
Ocel	Steel	206940 [MPa]	0,288 [1]
Hliník	Aluminium 6061	68980[MPa]	0,33 [1]
Hodnoty v tabulce jsou pro 20°C			

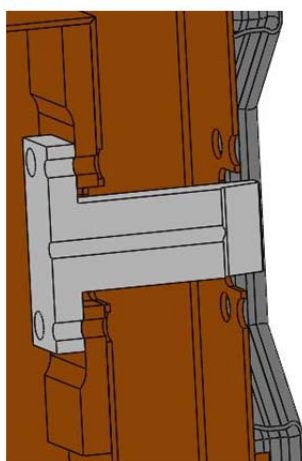
Tab. 4. Fem analýza - použité materiály

#### **Tvorba sítě:**

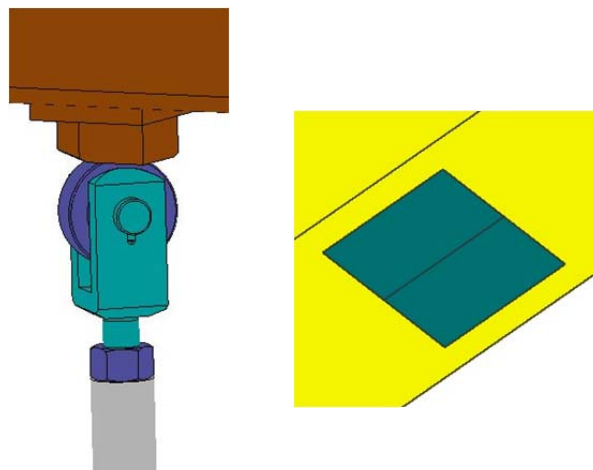
Výpočtový model je kombinací plošných (2D) a objemových (3D) prvků, přičemž každému 2D prvku byla přiřazena patřičná tloušťka. Objemové prvky jsou nasíťovány tetrahedry (10 uzlů), plošné prvky čtvercovými prvky (4 uzly) a dosedací plocha systému aretace čtvercovými prvky s mezi uzlem (8uzlů).



Obr. 25. Struktura výpočtového modelu, 2D a 3D prvky, přiřazené tloušťky.



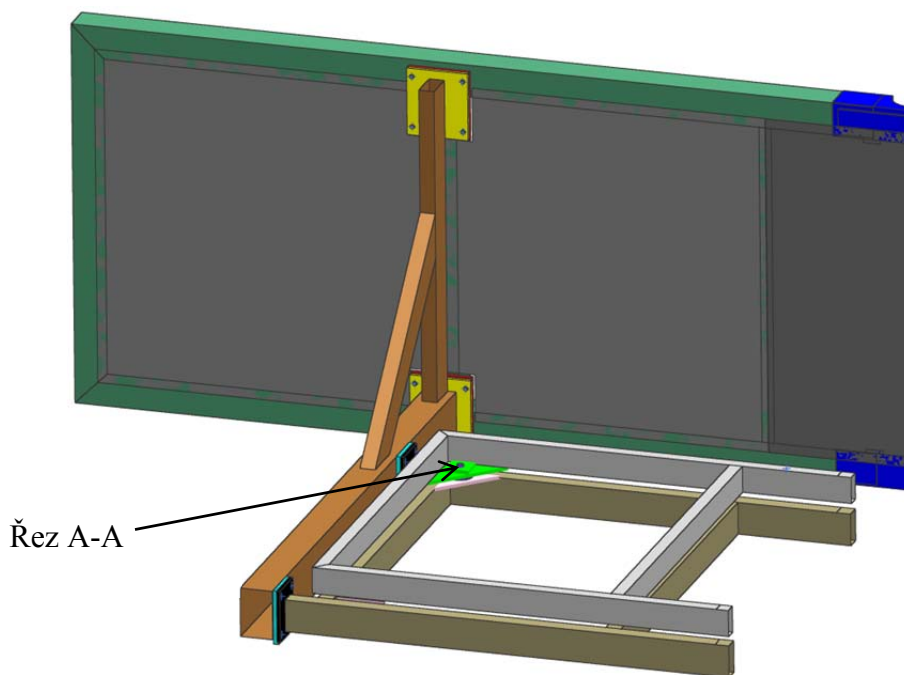
Obr. 26. Reálná a výpočtová oblast A dosedacích ploch systému aretace.



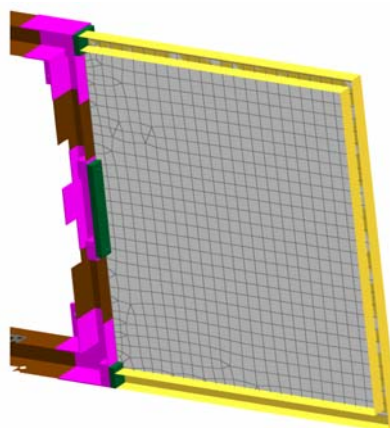
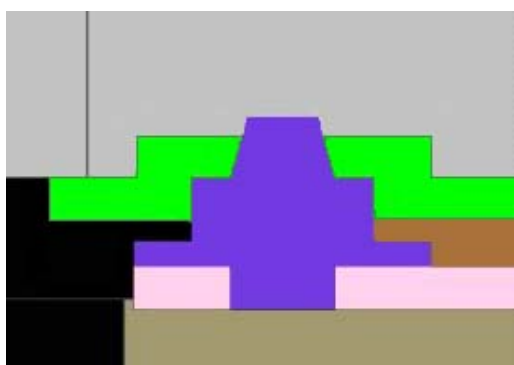
Obr. 27. Reálná a výpočtová oblast B dosedacích ploch podpěry.

### ***Definice kontaktů:***

Jednotlivé elementy modelu jsou propojeny funkcí kontakt plocha na plochu (KPP) a gluing plocha na plochu (GPP) nebo plocha na hranu (GHP). Funkce gluing je nastavená tak, že přiřadí spojovaným součástem rigidní vazbu. Funkce kontakt byla vložena tam, kde bylo simulováno šroubové spojení a funkce gluing tam, kde jsou svárové spoje. Jednotlivé vazby mezi elementy obr.28, obr. 29 a tab.5 viz. níže. Pro variantu 3 je několik odlišností viz. tab 6.



Obr. 28. Barevné označení elementů pro znázornění vazeb mezi nimi – viz. tab.5.



Obr. 29. Řez rámem A-A, Barevné označení elementů pro variantu 3 - viz. tab.6.

NARETEC, V1, V2, V3														
X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	X	GHP		GPP										
2	GHP	X	GPP	GPP	GPP									
3		GPP	X		GHP									
4	GPP	GPP		X										
5		GPP	GHP		X	KPP								
6					KPP	X	GPP GHP							
7						GPP GHP	X	GPP						
8							GPP	X	KPP					
9								KPP	X	GHP				
10									GHP	X	GPP			
11										GPP	X	GPP		
12											GPP	X	GPP	
13												GPP	X	
14													GPP	X

Legenda:  
KPP-kontakt plocha na plochu  
GPP-gluing plocha na plochu  
GHP-gluing plocha na hranu

Tab. 5. Tabulka kontaktů mezi očíslovanými a barevně rozlišenými elementy výpočtového modelu. Varianta NARETEC,1,2.

V.3					
X	15	16	17	18	19
15	X	GHP	KPP		
16	GHP	X			
17	KPP		X	GPP	GHP
18			GPP	X	
19			GHP		X

Legenda:  
KPP - kontakt plocha na plochu  
GPP - gluing plocha na plochu  
GHP - gluing plocha na hranu

Tab. 6. Tabulka kontaktů mezi očíslovanými a barevně rozlišenými elementy výpočtového modelu s odlišnostmi pro variantu 3.

### Definice šroubových spojů:

Šrouby jsou simulovány pomocí dvou bodů spojených rigidem s příslušnou plochou a propojených beamem, který má průměr jádra šroubu.

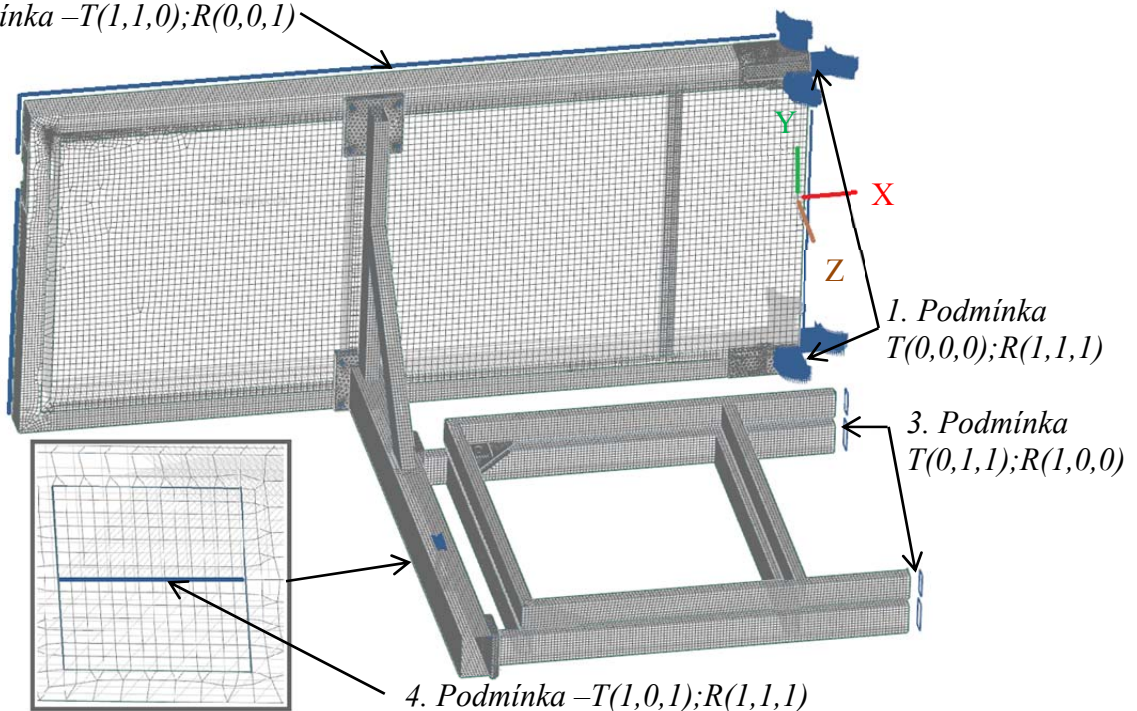
Použití šroubu	Šroub	Průměr jádra $\text{Ød}_3$
Spojení otočného křídla s boční konzolou	M10	8,7 [mm]
Spojení boční konzoly se střední konzolou		
U hybridní verze spojení otočného křídla s krajním sektorem	M12	10,7 [mm]

Tab. 7. Použité šrouby - průměr jádra.

### Okrajové podmínky: [T-posuv, R-rotace, 0-zakázáno, 1-povoleno, souřadnice (x,y,z)]

1. Podmínka - Zákaz posuvu v osách X,Y,Z pro dosedací plochy svěrných pouzder, jenž spojují otočné křídlo s hřídelí.
2. Podmínka - Zákaz posuvu v ose Z a rotace kolem os X,Y. Takto je definována první rovina symetrie XY.
3. Podmínka - Zákaz posuvu v ose X, zákaz rotace kolem os Y,Z. Takto je definována druhá rovina symetrie YZ.
4. Podmínka - Zákaz posuvu v ose Y. Takto je definováno podepření podpěrou s ocelovou kladkou. Tato okrajová podmínka je umístěna v místě, kde je boční konzola podpírána podpěrou na nastříhnutý region v délce šířky kladky cca 22,2 mm.

2. Podmínka  $-T(1,1,0);R(0,0,1)$



Obr. 30. Okrajové podmínky.

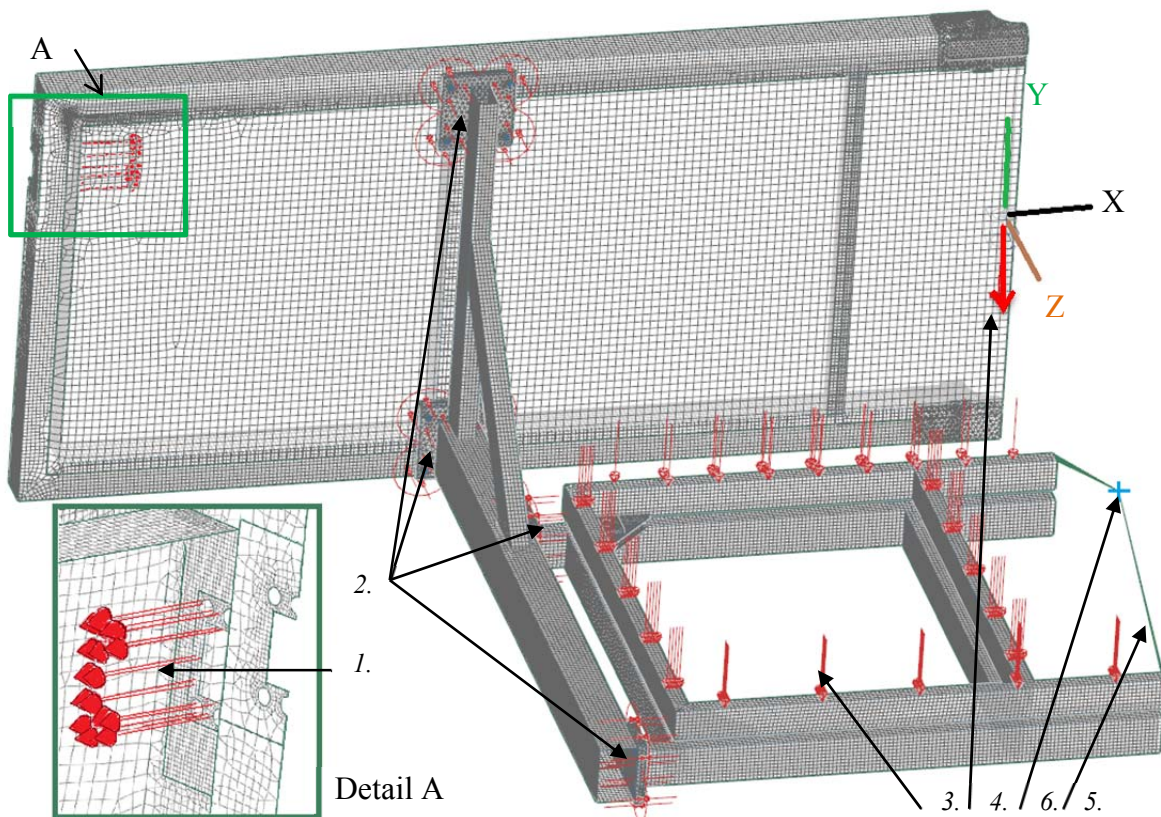


**Zatížení:**

Střední konzola je zatížena hmotností nástroje, jenž je reprezentován silou působící na rám nástroje. Hmotnost nástroje je stanovena na 300 kg. Další zatěžující silou je síla od aretačního systému, kterou tlačí píst do protikusu upevněného na otočném křídle (u variant 1,2,3 jsou tyto síly dvě – jelikož uvažují aretaci na čtyřech místech místo dvou jako tomu je u řešení NARETEC). Všechny šrouby jsou předepnuty předepínací silou, jenž byla odečtena z tabulky FABORY (příloha č.3) – doporučené hodnoty předepínacích sil pro šrouby. Poslední zatěžující silou je vlastní hmotnost celého modelu – tu reprezentuje přidání gravitačního zrychlení v kombinaci s nastavením materiálů pro všechny elementy výpočtového modelu.

Vstupní hodnoty:		
Max. hmotnost nástroje - $m_{max}$		300 [kg]
Hmotnost rámu nástroje - $m_{na}$		20 [kg]
Gravitační zrychlení (zaokrouhleno) - $g$		10 [m/s <sup>2</sup> ]
Průměr pístu válce - $\varnothing d$		80 [mm]
Tlak v soustavě - $p$		0,6 [MPa] / 6 [bar]
Zatěžující síly:		
Síla od hmotnosti nástroje:	$G = ((m_{max}-m_{na}) \cdot g = (300-20) \cdot 10) / 2 =$	1400 [N]
Aretační síla:	$F = p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} =$	3016 [N]
Předepínací síla šroubů:	M10	31000 [N]
	M12 – šrouby varianta 3	45200 [N]

Tab. 8. Vstupní hodnoty a zatěžující síly.



1-Oblast A. s aretační silou, 2-Předepínací síla šroubů, 3-Síla od hmotnosti nástroje,  
4-Gravitační zrychlení, 5-Rigidní vazba k rámu nástroje, 6-Zkoumaný bod A.

Obr. 31. Definice zatížení výpočtového modelu.

### Zkoumaný bod:

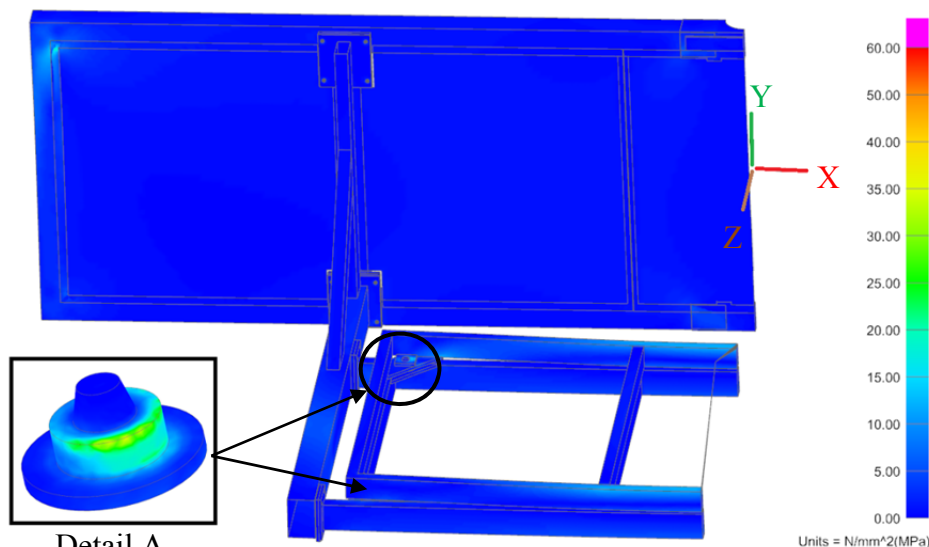
Stěžejním ukazatelem tuhosti stolu je posunutí nástroje v osách X,Y,Z, které může způsobit nepřesnosti při obrábění vodním paprskem. Tuhost je proto vyjádřena posunutím vybraného bodu na ořezové kontuře nástroje. Tento bod je propojen s rámem nástroje rigidní vazbou.

	Souřadnice v osách X,Y,Z [mm]		
Bod A	0	-106,9	1217,2

Tab. 9. Souřadnice zkoumaného bodu A

### Výsledky napětí:

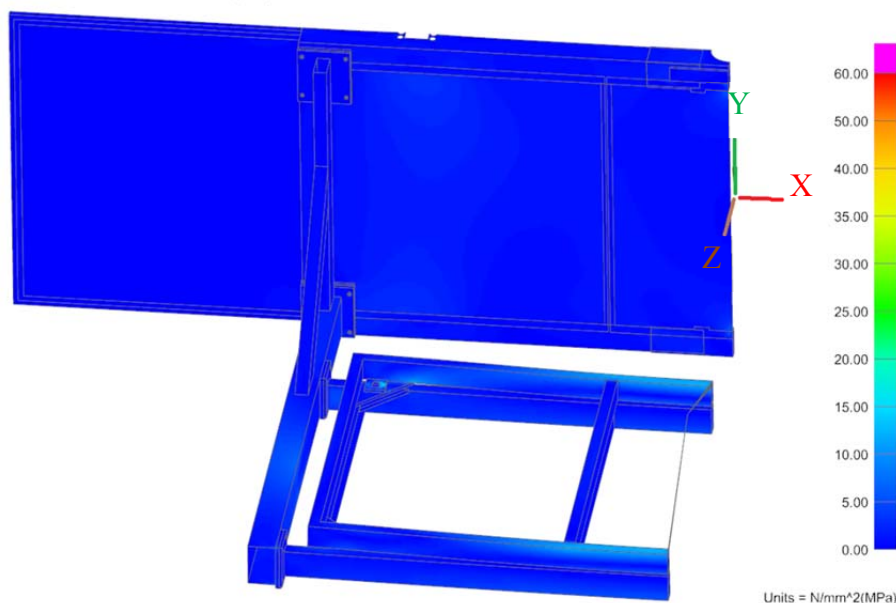
STAVAJICI REŠENI NARETEC: REDUKOVANE NAPETI HMH  
Stress - Elemental, Averaged, Von-Mises  
Min : 0.00, Max : 35.42, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)



Obr. 32. Velikost a rozložení redukovaného napětí HMH s maximem 35,42[MPa] – Stávající řešení NARETEC.

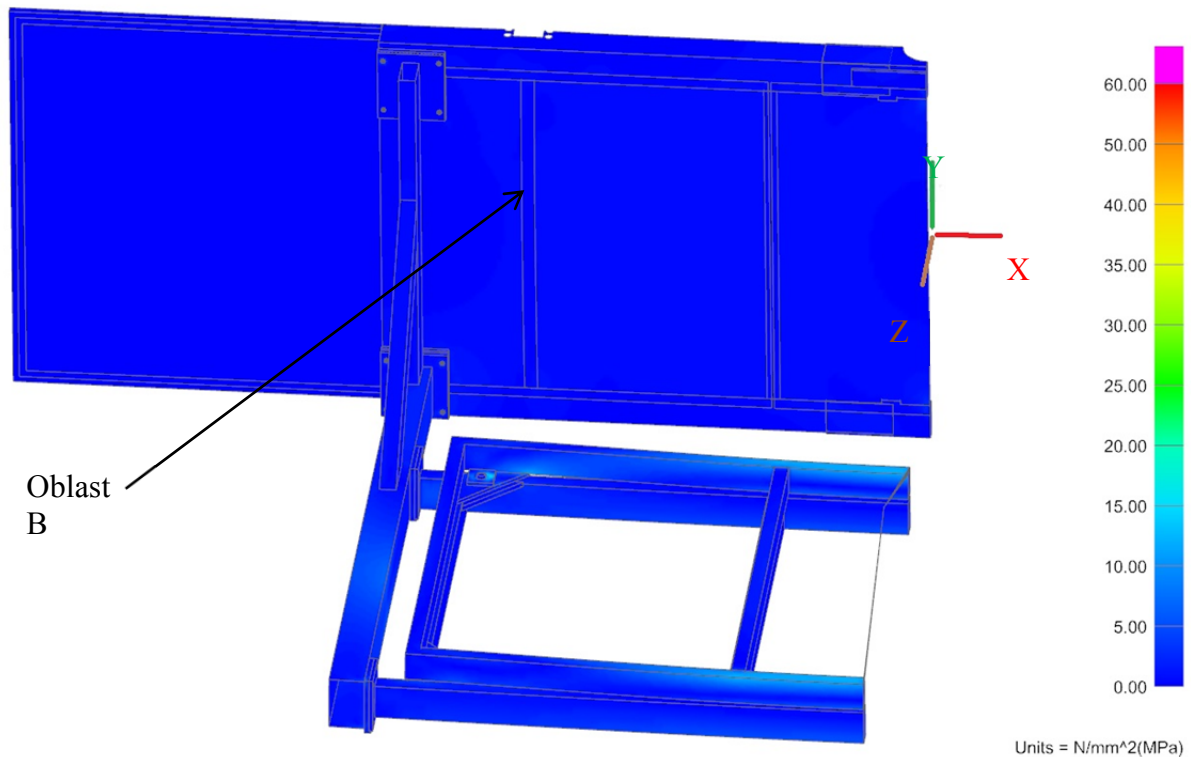
Špička napětí vzniká v místech detailu A, jenž znázorňuje průběh napětí po součásti pozicovacího čepu, kterým je pozicován rám nástroje na rám stroje. Tento čep přenáší celou váhu nástroje na rám stroje a proto je zde špička očekávatelná.

VARIANTA 1: REDUKOVANE NAPETI HMH  
Stress - Elemental, Averaged, Von-Mises  
Min : 0.00, Max : 31.55, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)



Obr. 33. Velikost a rozložení redukovaného napětí HMH s maximem 31,55 [MPa] – Varianta 1 (ocel).

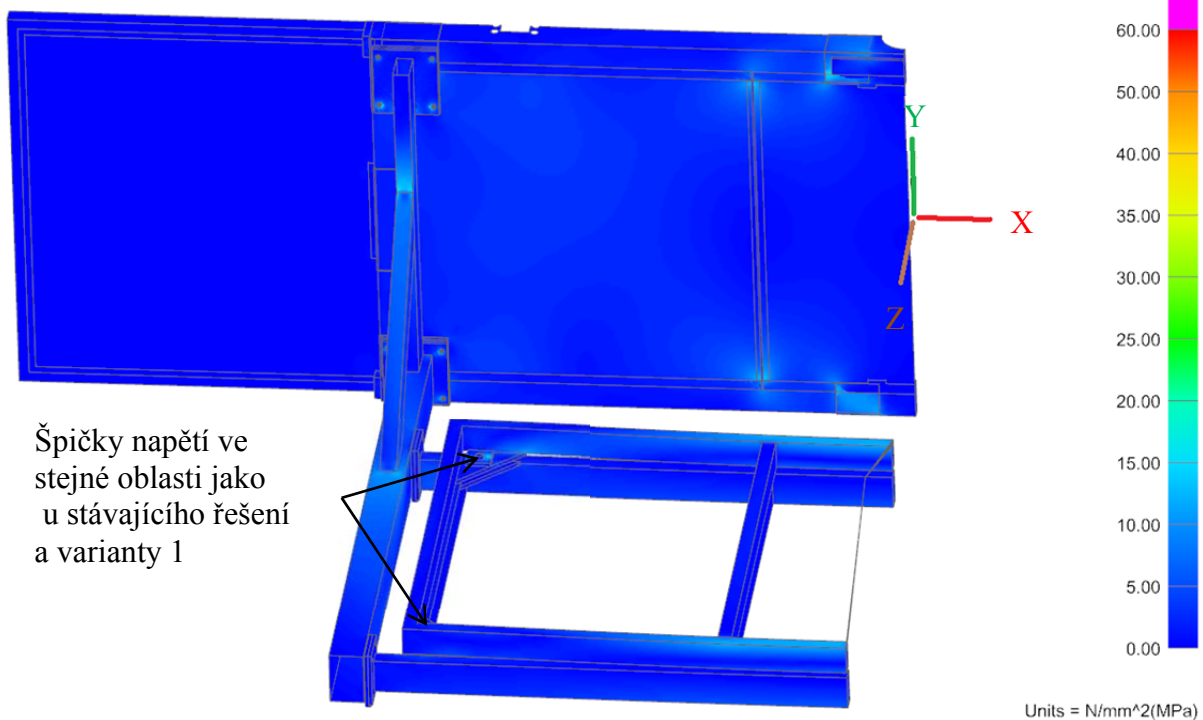
VARIANTA 2: REDUKOVANE NAPETI HMH  
Stress - Elemental, Averaged, Von-Mises  
Min : 0.00, Max : 31.53, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)



Obr. 34. Velikost a rozložení redukovaného napětí HMH s maximem 31,53[MPa] – Varianta 2(AI).

U varianty 2 se na celé druhé vnitřní vzpěře (Oblast B obr.34) objevilo zvýšené napětí hodnoty 15 MPa. Tato vzpěra se vyskytuje pouze u varianty 2 a má za úkol zpevnit oblast, do které tlačí z obou stran aretační systém.

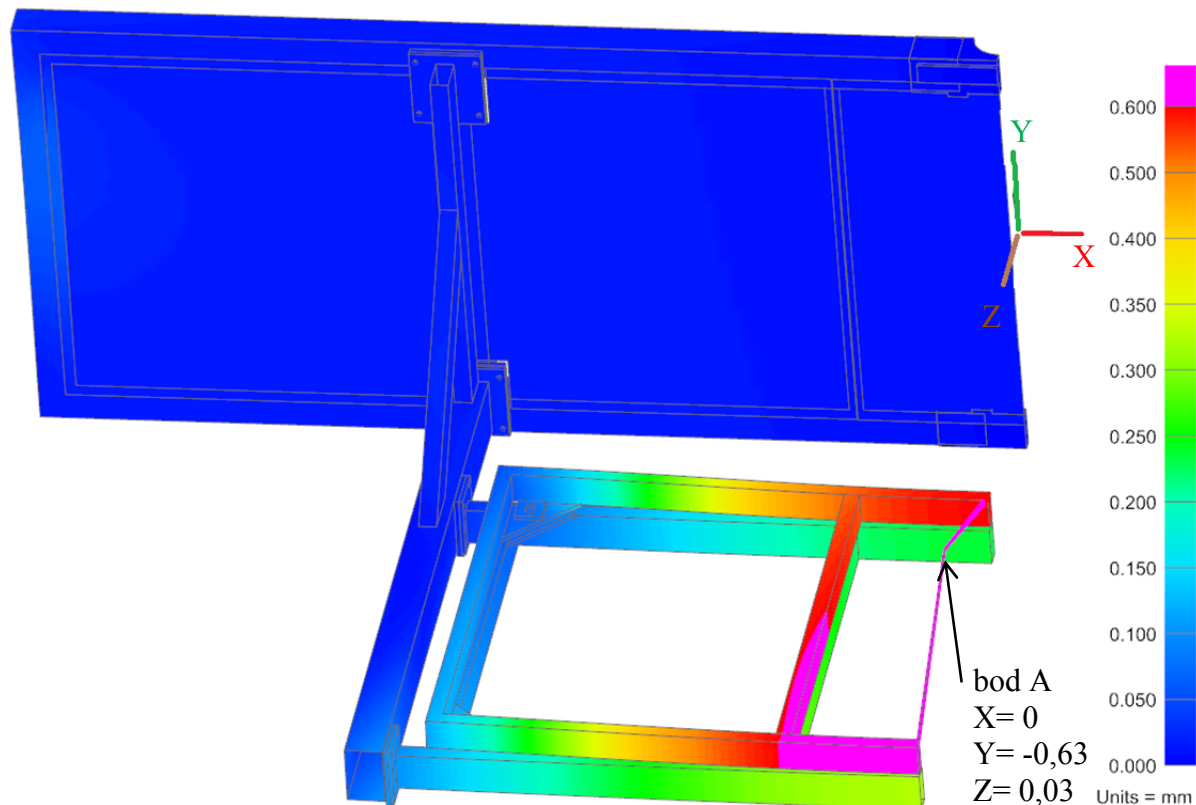
VARIANTA 3: REDUKOVANE NAPETI DLE HMH  
Stress - Elemental, Von-Mises  
Min : 0.00, Max : 56.60, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)



Obr. 35. Velikost a rozložení redukovaného napětí HMH s maximem 56,6 [MPa] – Varianta 3 (AI+Ocel).

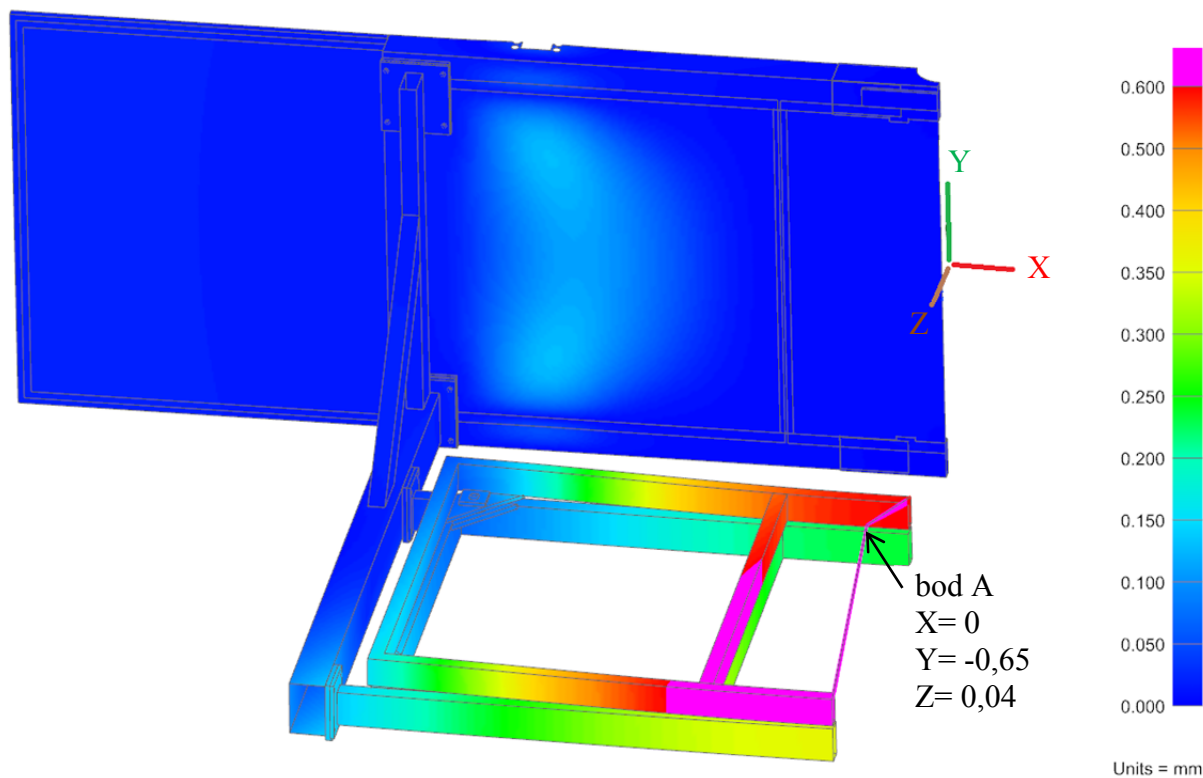
**Výsledky Deformace::**

STAVAJICI RESENI NARETEC: POSUNUTI - ZRPUMEROVANE  
Displacement - Nodal, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 0.668, Units = mm



**Obr. 36. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 0,67 [mm] - Stávající řešení NARETEC.**

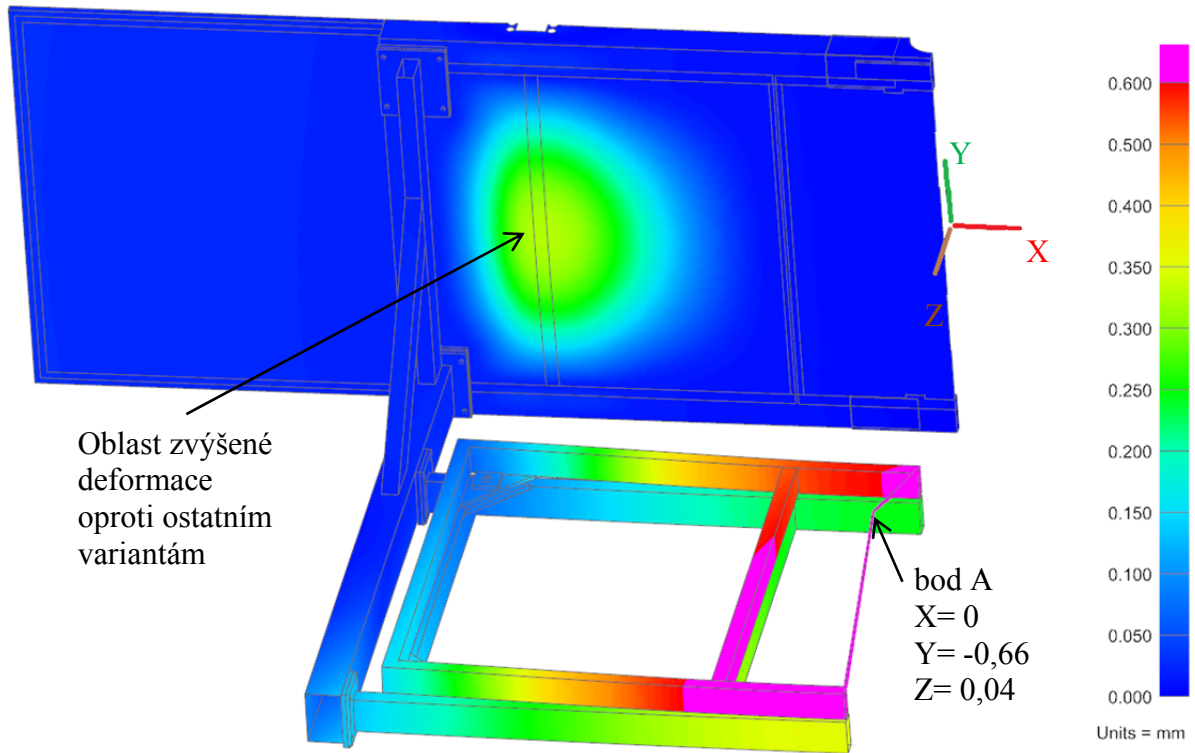
VARIANTA 1: POSUNUTI - ZPRUMEROVANA  
Displacement - Nodal, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 0.706, Units = mm



**Obr. 37. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 0,7 [mm] –Varianta 1 (Ocel).**

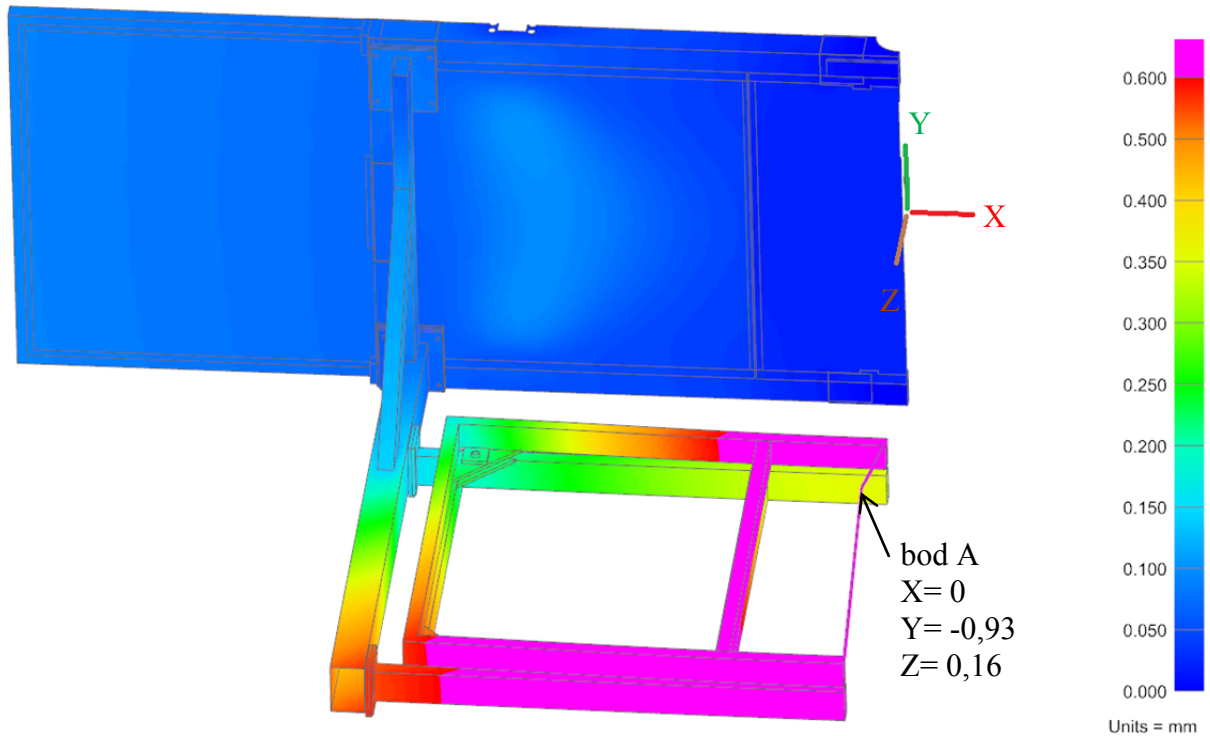


VARIANTA 3: POSUNUTI - ZPRUMEROVANE  
Displacement - Nodal, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 0.701, Units = mm



**Obr. 38. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 0,7 [mm] –Varianta 2 (Al).**

VARIANTA 3: POSUNUTI - ZPRUMEROVANE  
Displacement - Nodal, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 1.119, Units = mm



**Obr. 39. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 1,1 [mm] – Varianta 3 (Al+Ocel).**

Shrnutí výsledků:

Jednotlivá řešení / Sledovaná veličina	Deformace bodu A[mm]			Hmotnost / úspora		Moment setrvačnosti k ose Y / úspora		Přibližná cena materiálu [Kč]
	X	Y	Z	[kg]	%	[kg/m <sup>2</sup> ]	%	
Stávající řešení (NARETEC)	0	-0,63	0,03	533,5	0	1152	0	13 337,5
Varianta 1 (Ocel)	0	-0,65	0,04	492,5	7,7	888	22,9	12 312,5
Varianta 2 (AL)	0	-0,66	0,04	196,7	63,1	329	71,4	45 241
Varianta3 (AL+Ocel)	0	-0,93	0,16	416,7	21,9	555,7	51,7	21 569,5

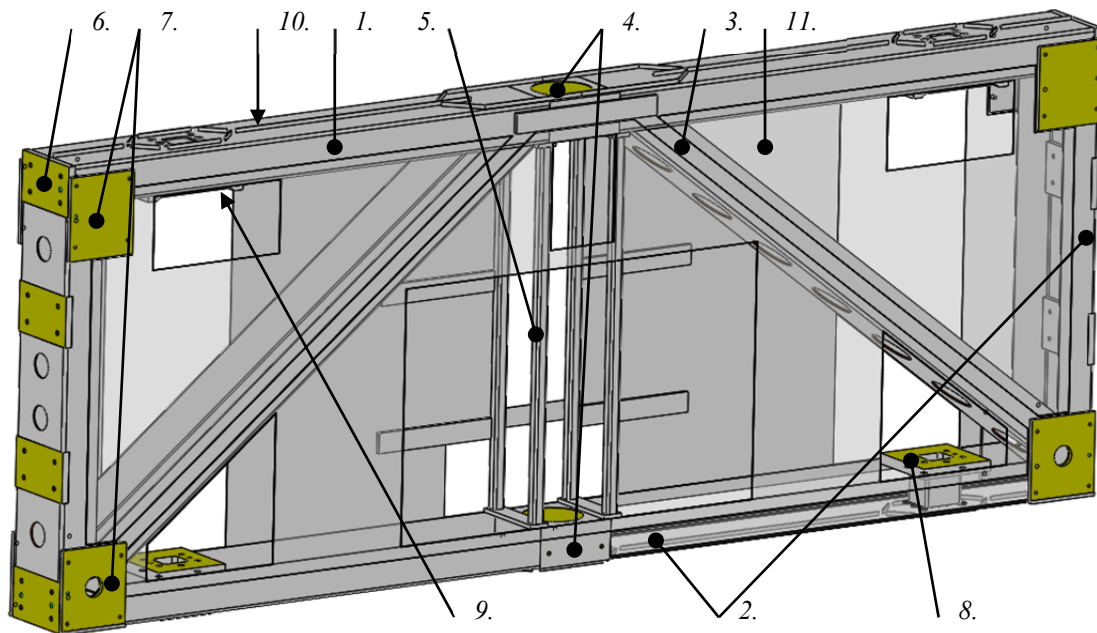
Tab. 10. Shrnutí výsledků analýzy

### Závěr

Z výsledků je patrné, že všechny varianty dosahují podobných výsledků posunutí bodu A. Výsledky stávajícího řešení s porovnáním s variantou 1 jasně dokazují, že stávající řešení je předimenzováno a jsou zde možnosti snížení hmotnosti. U varianty 2 se objevila zvýšená oblast deformace na vnitřní vzpěře v oblasti pod zamykacím systémem. Tato oblast se dá odstranit například zvolením silnějšího profilu vzpěry. Varianta 3 dosahuje srovnatelné výsledky jako stávající řešení a je jakýmsi kompromisem mezi variantou 1 a 2 (téměř 22% úspora hmotnosti a 52% úspora setrvačnosti) s cenou vyšší o 8232Kč než je cena stávajícího řešení. Nejlepších výsledků při snižování hmotnosti dosáhla varianta 2, avšak s ohledem na cenovou dostupnost řešení volím k dalšímu rozpracování variantu 3, která přináší dostatečné snížení parametrů hmotnosti a momentu setrvačnosti s uspokojivými výsledky tuhosti za rozumnou cenu.

### 2.1.4 Konstrukční řešení zvolených variant odlehčení otočného křídla

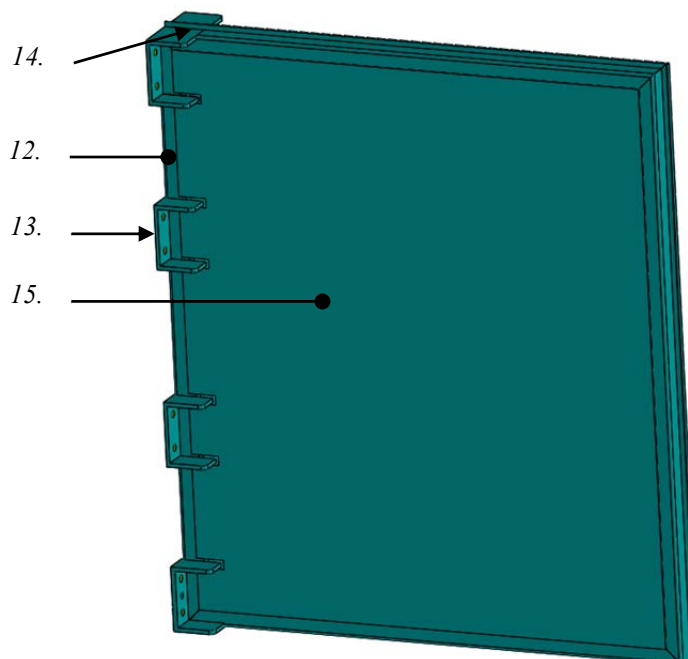
K dalšímu rozpracování byla zvolena varianta s kombinací ocelových a hliníkových profilů. Pro potřeby jednotlivých variant sklápění (viz. Kapitola níže 2.2.2.1) byla zkonstruována dvě řešení vycházející z podobné koncepce. Oproti stávající konstrukci NARETEC, ve které je hlavní rám složen z jeklů, byla zvolena koncepce střední hlavní části (Obr.40) z horního jeklu (1) a spodního a bočních U-profilů (2). Dále je rám zpevněn úhelníkovými U-profilů (3) tvořícími pomyslné otočené písmeno V, jenž spojují horní jekl a spodní U-profil. Horní jekl a spodní U-profil je složen ze dvou profilů svařených s blokem (4), do kterého se po obrobení vytvoří soustředná díra sloužící pro svěrné pouzdro, které spojí otočné křídlo s centrálním hřídelem. Střední část je zpevněna jekly (5) plnicími zpevňující funkci a zároveň funkci nosnou pro krycí plechy. V bočních U-profilech jsou vypálené otvory, do kterých jsou navařeny bločky (6) sloužící po obrobení jako dosedací a montážní plochy pro boční hliníkové části. Boční U-profilů jsou odlehčeny vypálenými dírami, které jsou posléze zakryty boční hliníkovou částí. Úhelníkové U-profilů jsou taktéž odlehčeny vypálenými dírami, sloužícími jako prostor pro protažení kabeláže. Na boční U-profilů jsou navařeny ploché tyče (7), jenž po obrobení slouží jako dosedací a montážní plochy pro boční konzoly nesoucí sklápěcí střední konzolu. V těchto spodních dosedacích plochách je vyvrtána díra sloužící pro protažení kabeláže do bočních konzol. Montážní plochy pro prizma aretačního systému jsou na horním jeklu představovány navařenou a obrobenou plochou tyčí (8), a na spodním U-profilu vyvařeným jeklem a obrobenou plochou tyčí (9). Na horním jeklu a spodním U-profilu je navařena tyč plochá (10) tvořící vedení pro těsnění. Celá konstrukce je zepředu i zezadu zakrytována plechy (11) s vypálenými dírami pro montážní účely. Montážní díry jsou po sestavení otočného křídla zakrytovány odnímatelnými kryty.



1-Horní Jekl, 2-Boční a spodní U-profil, 3-Úhelníkové U-profily, 4-Vyvařený blok pro svěrné pouzdro  
5-Zpevňující jekly, 6-Dosedací plochy boční části, 7-Dosedací plochy bočních konzol sklápěcího stolu,  
8-Horní dosedací plochy aretace, 9- Spodní dosedací plochy aretace, 10-Vedení těsnění,  
11-Krycí plechy.

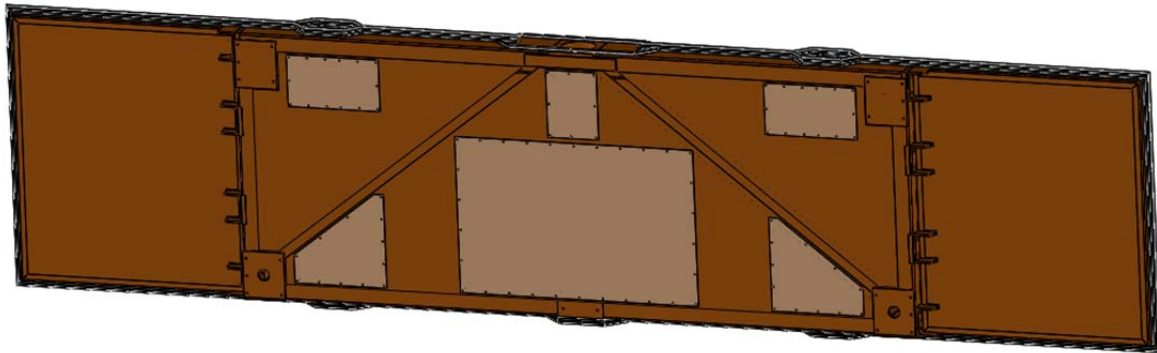
**Obr. 40. Zvolená konstrukce střední části otočného křídla.**

Boční část je svařena z hliníkových jeklů (12) tvořící obdélník. Do bočního jeklu jsou vyříznuty díry, do kterých jsou vyvařeny čtyři U-profily (13), jenž po obrobení slouží jako dosedací a montážní plocha pro šroubové spojení se střední částí. Vyvařené U-profily plní také funkci žebrování pro zpevnění konstrukce. Po obvodu je navařena tyč plochá (14) sloužící jako vedení těsnění. Celá konstrukce je zakrytována krycími plechy (15), a při montáži je se střední částí skolíkována šesti kolíky (na jedné straně po třech) a došroubována 32 šrouby M12.

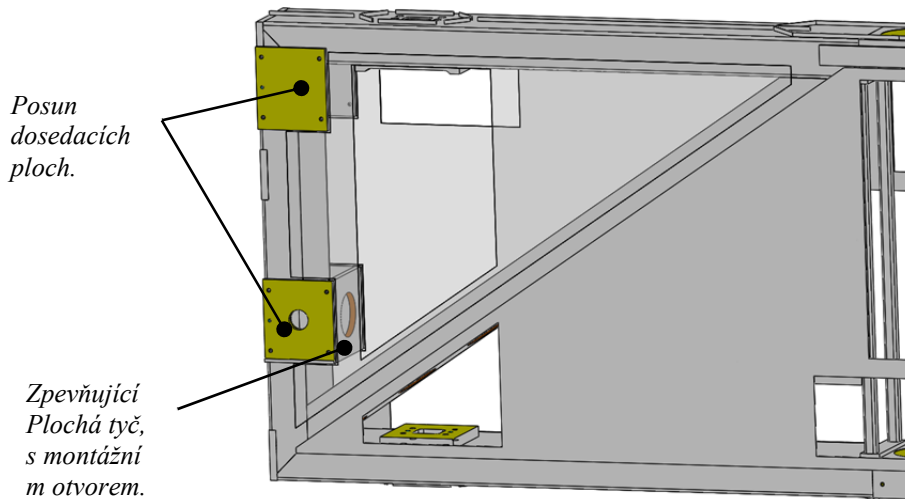


12-Rám z Al jeklů, 13-U-profil tvořící dosedací plochu, 14-Vedení těsnění, 15-Krycí plechy

**Obr. 41. Zvolená konstrukce boční části otočného křídla.**

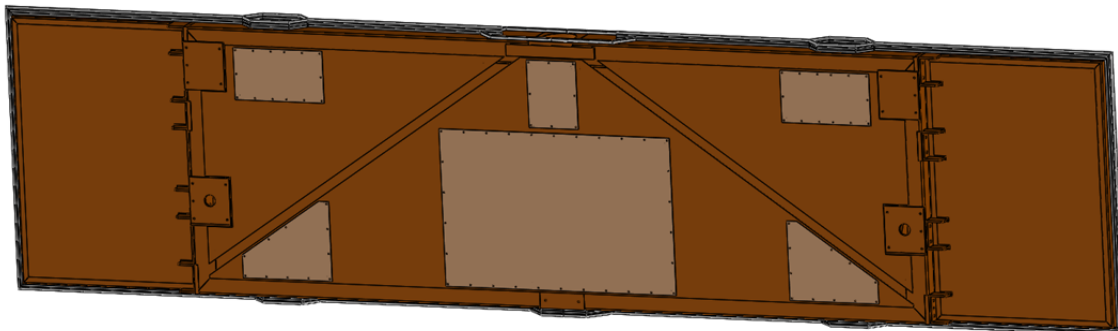


Obr. 42. Koncepte otočného křídla po sestavení a zakrytování - pro variantu sklápění servopohonem.



Obr. 43. Změny v konstrukci otočného křídla pro variantu sklápění pneumatickým pohonem.

Pro variantu sklápění pneumatickým válcem je křídlo upraveno tak, že jsou boční části kratší a dosedací místa bočních konzol jsou posunuta blíže k sobě, což vedlo k potřebě zpevnění spodních dosedacích ploch přidáním plochou tyčí (obr.43 ). V ploché tyči je vypálena díra pro protažení kabelů skrze dosedací plochy do bočních konzol.



Obr. 44. Koncepte otočného křídla po sestavení a zakrytování - pro variantu sklápění pneumatickým pohonem.

Jednotlivá řešení / Sledovaná veličina	Hmotnost / úspora		Moment setrvačnosti k ose Y / úspora		Přibližná cena materiálu [Kč]
	[kg]	%	[kg/m <sup>2</sup> ]	%	
Stávající řešení (NARETEC)	533,5	0	1152	0	13 337,5
Otočné křídlo pro variantu sklápění 1 (Al+ocel)	397 (55+342)	25,5	515,5	44,7	22 075
Otočné křídlo pro variantu sklápění 2 (Al+ocel)	426,5 (46+380,5)	20	629	45,4	21 542,5

Tab. 11. Srovnání vybraného konceptu otočného křídla se stávající koncepcí.

**Závěr:**

Zvolená konstrukce dosáhla úsporu hmotnosti u obou variant přes 20% a vysokou úsporu momentu setrvačnosti přes 40%. Pro finální shrnutí zvolené konstrukce je nutné provést další FEM analýzu s ohledem na připojení sklápění střední konzoly.

**2.2 Konstrukční návrh sklápění s analytickými výpočty**

Mechanismus podléhá mnohým požadavkům od zadavatele tématu. Požadavky byly shrnuty do tabulky požadavků na konstrukci a přiloženy k práci jako příloha č.1, jež byla schválena zástupcem zadavatele (firma NARETEC s.r.o).

**2.2.1 Rozměrová Analýza**

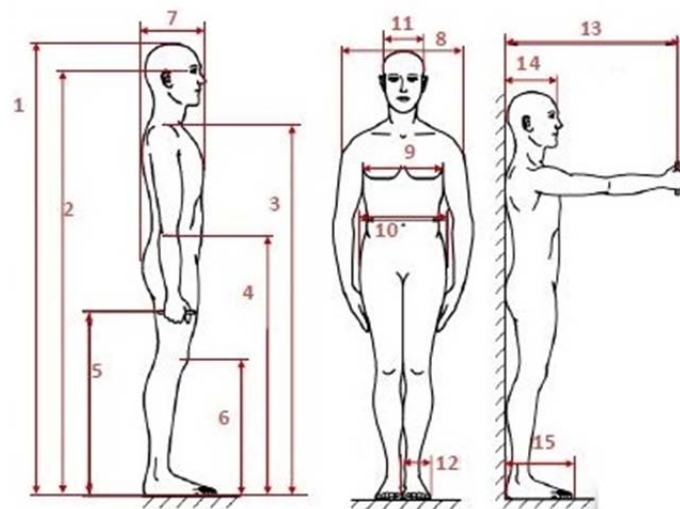
Před samotným konstruováním je třeba si ujasnit mezní rozměry a úskalí řešeného problému. V mém případě se jedná o rozměrové řešení procesu zakládání polotovaru na otočný stůl waterjetové obráběcí kabiny s co největším ohledem na ergonomii pracoviště. Zadavatel souhlasil s návrhem řešení pro tzv. 50% muže, a zároveň poskytl nástroj, pro který bych měl řešení navrhnout.

50% muž

Jedná se o rozměry průměrného evropského muže. Rozměry v tabulce vycházející z měření a statistického zpracování dat z antropologického měření americké armády z roku 1988 (ANSUR).

Muž 50% - rozměry [cm]					
1.	Tělesná výška	175	9.	Šířka hrudníku	40,5
2.	Výška očí	163	10.	Šířka v bocích	36
3.	Výška ramen	145	11.	Šířka hlavy	15,5
4.	Výška lokte	102,5	12.	Šířka chodidla	10,1
5.	Výška úchopu	76,5	13.	Dosah dopředu od stěny	74
6.	Výška kolen	46	14.	Délka hlavy	19,5
7.	Hloubka těla	28,5	15.	Délka chodidla	26,5
8.	Šířka ramen	48	Váha [kg]		79

Tab. 12. Rozměry 50% muže. [5]



Obr. 45. Rozměrové parametry 95% muže dle ISO 7250:1998. [5]

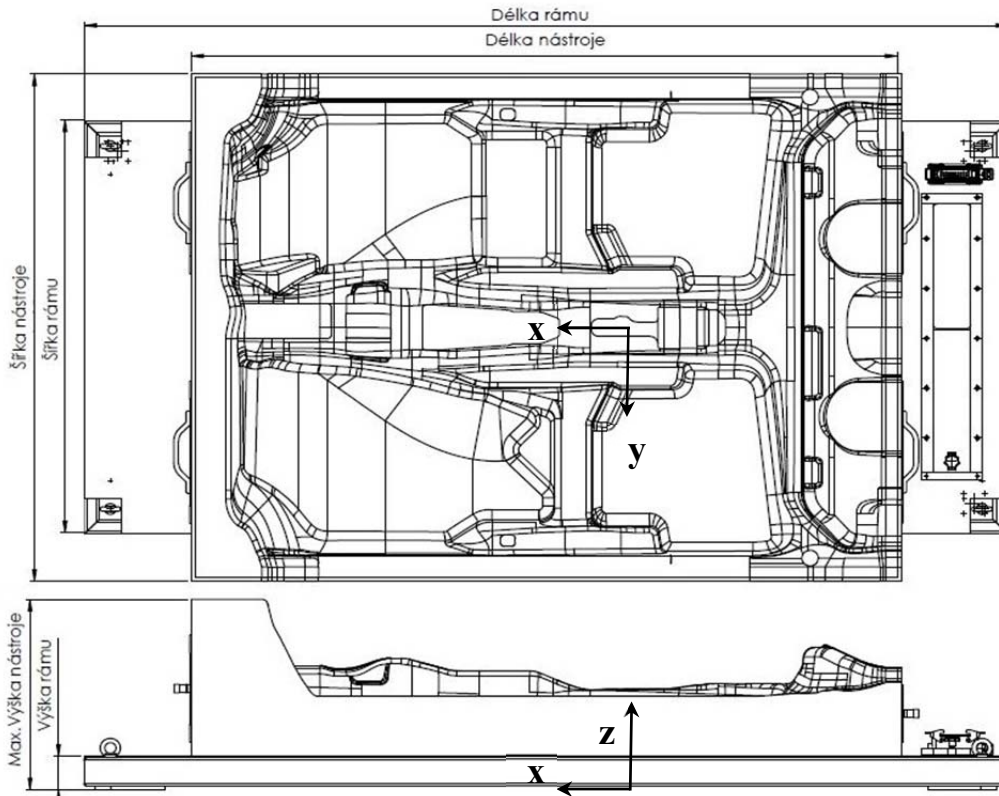


Parametry nástroje:

Vybraný nástroj je jeden z největších možných představitelů a slouží pro ořez koberce podlahy vozu.

Rozměrové parametry:							
Hmotnost nástroje:	[kg]	124,2					
Poloha těžiště nástroje v osách:	[mm]	x	54,6	y	0,02	z	269,9
Rozměry rámu:	[mm]	délka	2460	šířka	1425	výška	94
Rozměry nástroje:	[mm]		1880		1160		535

Tab. 13. Parametry nástroje



Obr. 46. Rozměry nástroje využitého pro prezentaci. [N]

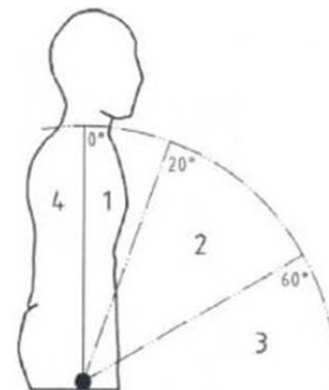
**Řešený proces:**

Obsluha bere vylisovaný polotovár a zakládá ho do nástroje (šály) umístěného na konzole otočného křídla, poté obsluha odstoupí od otočného stolu do bezpečné vzdálenosti vymezené bezpečnostním systémem. Poté dojde k otočení křídla do pracovního prostoru, přičemž se objeví druhá strana, ze které obsluha sejme oříznutý díl a položí ho na připravené odkládací místo.

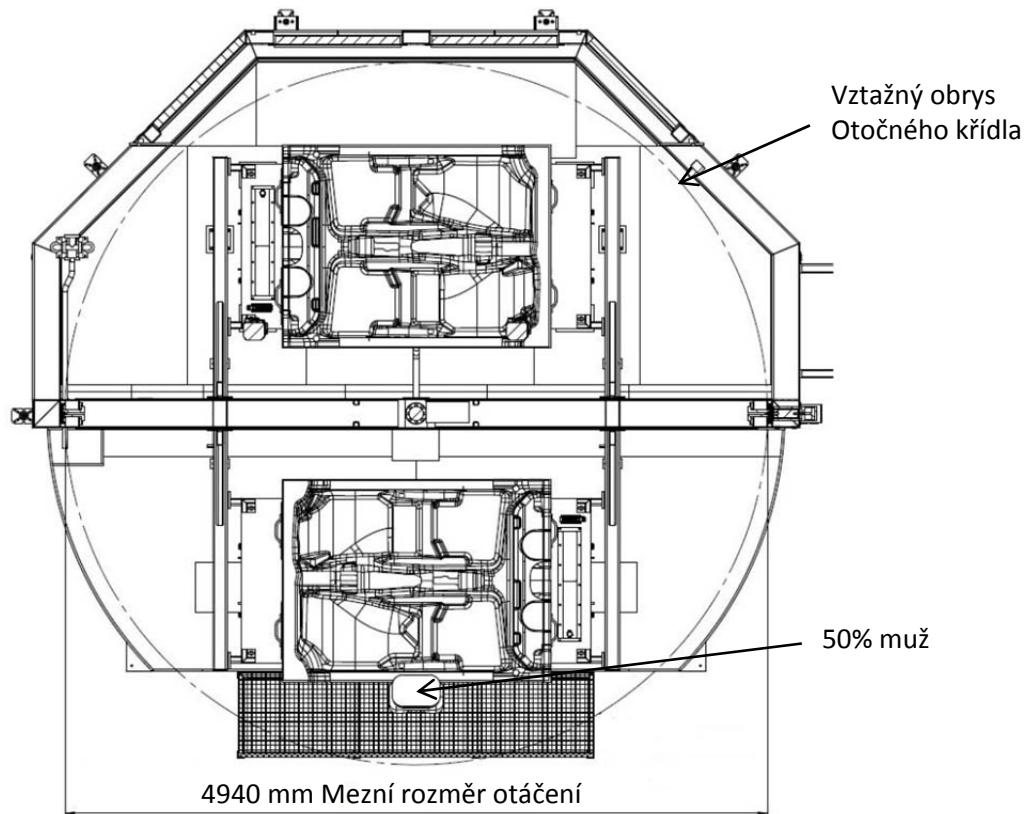
*Ergonomická omezení trupu pro předklon a záklon*

Přijatelné	Podmíněně přijatelné	Nepřijatelné
0° - 20°	20° - 60°	60° a více 0° a méně

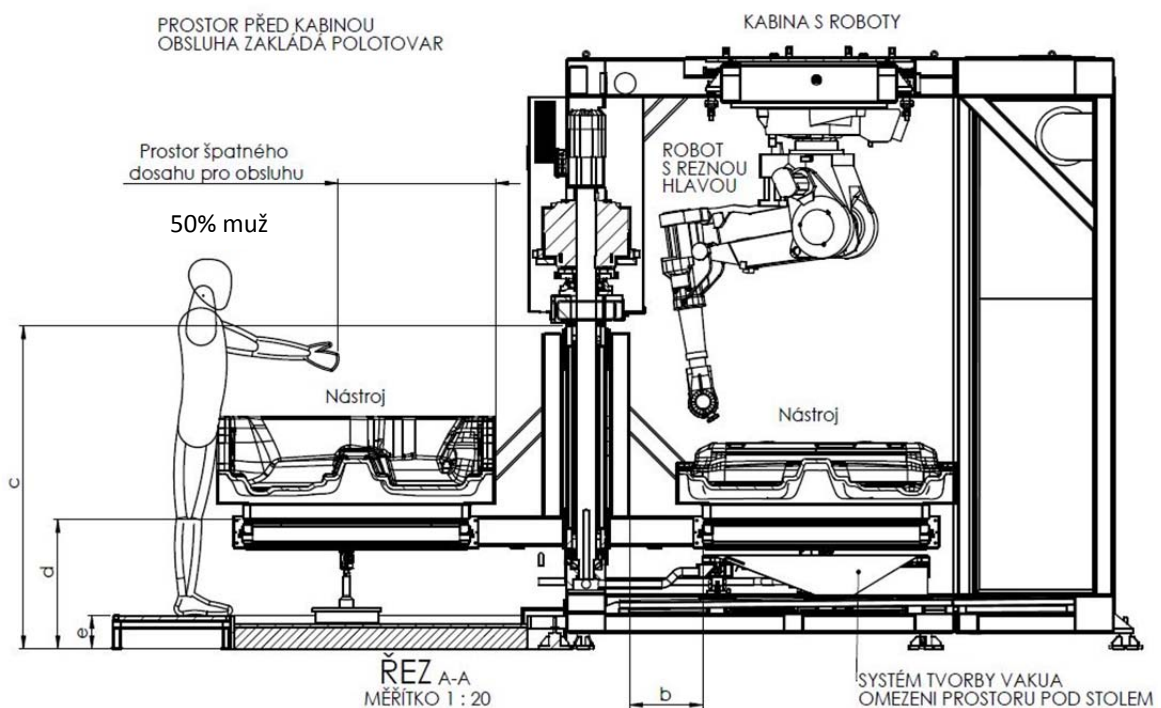
Tab. 14. Tabulka mezních úhlů předklonu trupu lidského těla. [5]



Obr. 47. Ilustrace úhlu předklonu trupu.[5]



Obr. 48. Horizontální řez waterjet kabinou.



Obr. 49. Vertikální řez waterjet kabinou s mezními rozměry procesu.

**Komentář mezních rozměrů:**

b - Prostor odsazení střední konzoly od otočného křídla.

Popis:

Tento prostor je omezen rozsahem pohybu robotů v kabině. V případě že robot musí řezat na okraji nástroje pod úhlem, musí být dostatečný prostor mezi nástrojem a

otočným křídlem pro pohyb robota. Dalším hlediskem je přesazení nástroje přes rám. Toto přesazení je odlišné pro každý nástroj, proto je nutné počítat s určitou rezervou v tomto prostoru.

*Řešení:*

Rozměr je zvolen v rozmezí 480-490 [mm] na základě předchozí konstrukce.

c - Mezní výška otočného křídla

*Popis:*

Tento rozměr je mezní pro proces otáčení stolu do prostoru vně kabiny. Během otáčení nesmí nástroj vyčnívat přes tento rozměr, jelikož by v opačném případě došlo ke kolizi nástroje s kabinou.

*Řešení:*

Rozměr je daný zadavatelem práce. Vycházíme z výrobního konceptu firmy NARETEC, přičemž je zde požadavek na kompatibilitu systému sklápění střední konzoly otočného stolu se stávající konstrukcí kabiny.

d - Patní výška rámu nástroje

*Popis:*

Patní výška rámu nástroje je výchozí pro správnou ergonomii zakládání polotovaru obsluhou do nástroje. Jelikož, je zařízení konstruováno pro mnoho typů nástrojů, je nutno při volbě velikosti tohoto rozměru přistupovat na různé kompromisy.

*Řešení:*

Ze zadání zákazníka plyne požadavek na zachování této výšky.

e - Výška nástupního schůdku pro obsluhu

*Popis:*

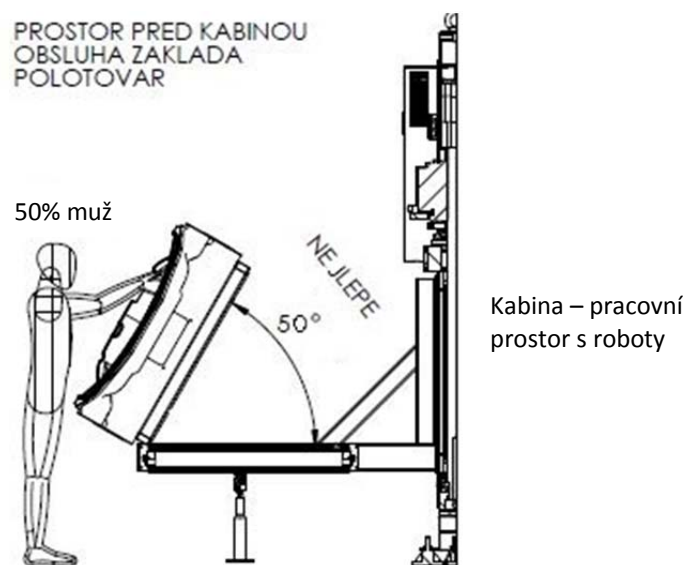
Vzhledem k potřebě zachování rozměru d zůstává schůdek neměnný.

Prostor pod střední konzolou otočného stolu

Do prostoru pod střední konzolou otočného stolu nesmí v případě otočení vně kabiny zasahovat žádný element. Kdyby tomu bylo jinak došlo by ke kolizi se systémem tvorby vakua, který se ze spodní části přisaje na střední konzolu.

Mezní rozměr otočného křídla

Mezním rozměrem otočného křídla se rozumí že, střední konzola musí být umístěna uvnitř vztažného obrysu, jinak by mohlo dojít ke kolizi vyčnívající části s kabinou při otáčení stolu.



Obr. 50. Řešení snížení špatného dosahu obsluhy nakloněním nástroje.



### Úhel naklopení stolu směrem k obsluze

Zvolen v rozmezí 45°-60°. Při úhlu 60°by bylo dosaženo největšího snížení problémového prostoru, přičemž by vznikla potřeba zabezpečení nástroje proti pádu ze střední konzoly, což by vneslo do konstrukce potřebu dalších aretačních zařízení. V rámci zachování jednoduchosti konstrukce volím úhel sklopení 50°, přičemž zde potřeba aretace nenastává a snížení problémového prostoru je dostačující.

### ***Výsledný proces optimalizovaný implementací sklopení střední konzoly:***

Za účelem zlepšení ergonomie pracoviště je třeba snížit prostor špatného dosahu obsluhy, tím že naklopíme střední konzolu o určitý úhel směrem k obsluze. Obsluha pak dosáhne dále než v případě bez naklopení a nebude se muset naklánět. K naklopení střední konzoly otočného stolu dojde pouze při procesu zakládání polotovaru obsluhou do nástroje. Po založení polotovaru se stůl sklopí zpět do vodorovné polohy a otočí se do pracovního prostoru WJ kabiny.

## **2.2.2 Konstrukční návrh systému sklápění**

### **2.2.2.1 Jednotlivé návrhy variant sklápění**

Požadavky zadavatele jsou shrnuty v tabulce v příloze č.1.

Vybrané požadavky zadavatele:

- Nepřivádět další pracovní médium – využití stávajících pneumatických a elektrických okruhů.
- Pokud možno nezvyšovat výšku středního rámu nad podlahou – pro maximální využití prostoru nad stolem pro nástroje.
- Ekonomické a konstrukčně jednoduché řešení.

Sklopení střední konzoly vůči bočnímu rámu lze provést několika způsoby, přičemž z hlediska silových poměrů hraje největší roli volba umístění středu otáčení.

Jednotlivé středy otáčení se silovými rozbory:

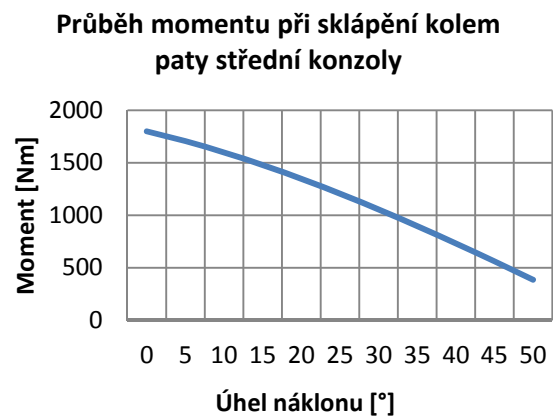
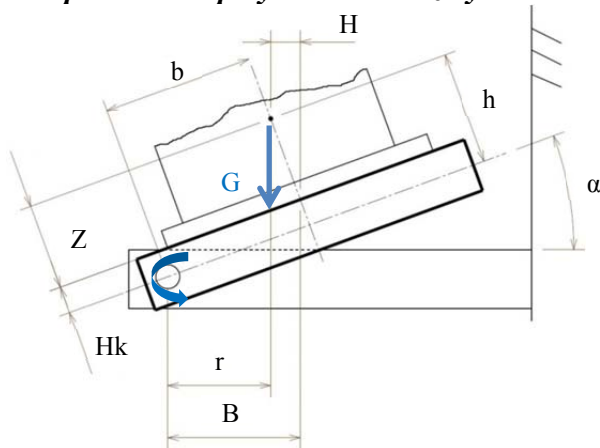
- Při určování silových poměrů budu uvažovat rozměry zadaného nástroje s navýšenou hmotností na 300 kg z důvodu zahrnutí bezpečnostní rezervy.

Vstupní hodnoty:

Parametr	označení	velikost
Uvažovaná hmotnost nástroje	m	300 [kg]
Vzdálenost těžiště nástroje od rámu	g	10 [m/s]
Vzdálenost od středu rámu od středu otáčení	b	0,600 [m]
Vzdálenost dosedací plochy od středu otáčení	H <sub>k</sub>	0,065 [m]
Vzdálenost těžiště nástroje od dosedací plochy	Z	0,2699
Úhel sklopení	α	50°

**Tab. 15. Tabulka vstupních hodnot pro výpočet zatěžujícího momentu**

### Sklápění kolem paty střední konzoly



Obr. 51. Schéma zatížení při sklápění kolem paty střední konzoly s grafem průběhu momentu v závislosti na úhlu sklopení.

Výpočet tíhy nástroje:

$$G = m \cdot g = 10 \cdot 300 = 3000 \text{ [N]}$$

Výpočet ramene momentu:

$$r = B - H = b \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha = 0,6 \cdot \cos 50^\circ - 0,335 \cdot \sin 50^\circ = 0,129 \text{ [m]}$$

Výpočet výšky těžiště od otočného bodu:

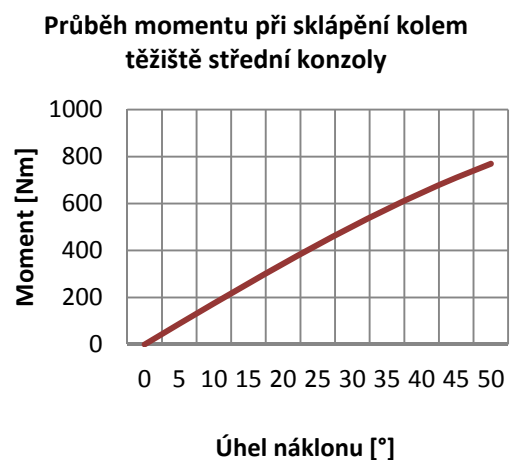
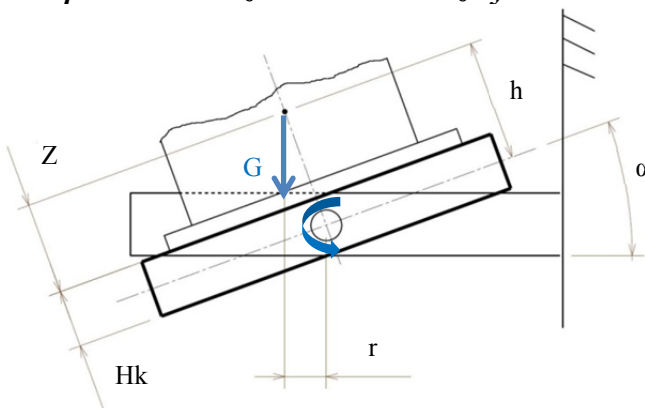
$$h = Z + H_k = 0,2699 + 0,065 = 0,335 \text{ [m]}$$

Výpočet momentu:

$$M = r \cdot G = 0,129 \cdot 3000 = 387 \text{ [Nm]}$$

Z grafu obr.45 je vidět, že nejvyšší moment vzniká v nulové poloze ( počátek sklápění).

### Sklápění kolem těžiště střední konzoly



Obr. 52. Schéma zatížení při sklápění kolem těžiště střední konzoly s grafem průběhu momentu v závislosti na úhlu sklopení.

Tíha nástroje:

$$G = 3000 \text{ [N]}$$

Výpočet ramene momentu:

$$r = H \cdot \sin \alpha = 0,335 \cdot \sin 50^\circ = 0,256 \text{ [m]}$$

Výška těžiště od otočného bodu:

$$H = 0,335 \text{ [m]}$$

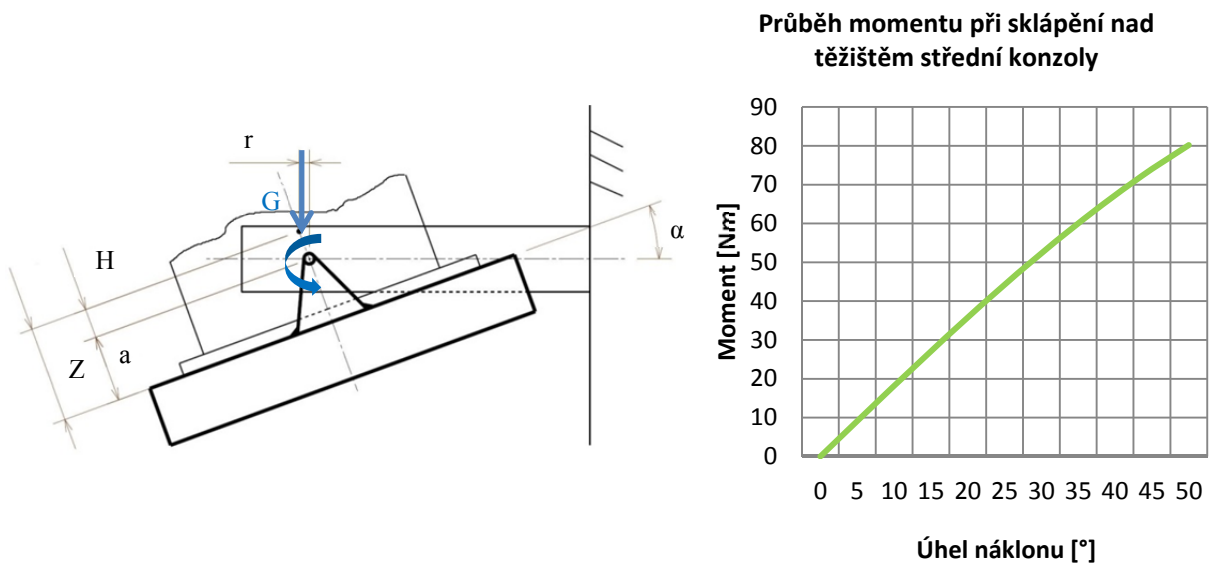
Výpočet momentu:

$$M = r \cdot G = 0,256 \cdot 3000 = 769,9 \text{ [Nm]}$$

Nejvyššího momentu je dosaženo při

sklopení.

**Sklápění nad těžištěm střední konzoly**



**Obr. 53.** Schéma zatížení při sklápění nad těžiště střední konzoly s grafem průběhu momentu v závislosti na úhlu sklopení.

Vzdálenost středu otáčení nástroje od rámu:

$$a = 0,235 \text{ [m]}$$

Tíha nástroje:

$$G = 3000 \text{ [N]}$$

Výška těžiště od otočného bodu:

$$H = Z - a = 0,2699 - 0,235 = 0,0349 \text{ [m]}$$

Výpočet výpočtového úhlu:

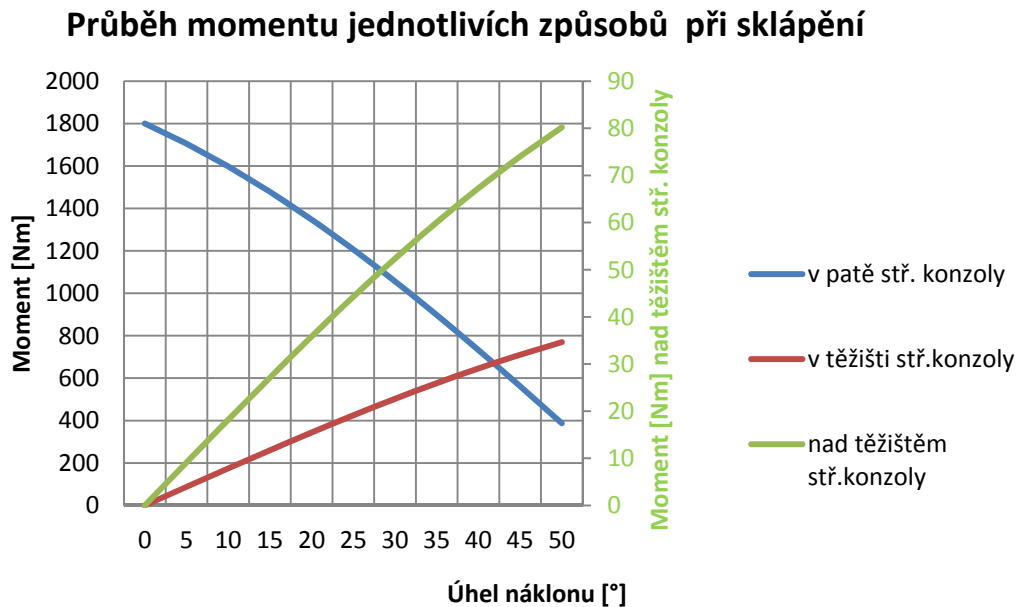
$$\alpha = 90^\circ - 50^\circ = 40^\circ$$

Výpočet ramene momentu:

$$r = H \cdot \cos \alpha = 0,035 \cdot \cos 40^\circ = 0,0267 \text{ [m]}$$

Výpočet momentu:

$$M = r \cdot G = 0,0152 \cdot 3000 = 80 \text{ [Nm]}$$



**Obr. 54.** Průběh momentu při sklápění k jednotlivým bodům.

### **Zhodnocení sklápění kolem jednotlivých bodů:**

Je nutno říci že výchozím parametrem pro předchozí výpočty je umístění těžiště zakládaného nástroje. Ve výpočtech vycházím z těžiště zadaného nástroje, které se nachází ve dvou řešených případech nad bodem otáčení. V případě založení nástroje s jinou polohou těžiště budou výsledné síly vycházet jinak. Parametr těžiště je těžko ovlivnitelný jelikož zakládané nástroje mají těžiště proměnné, proto je počítáno s vyšší zatěžující hmotností a při konstrukci jsou naddimenzovány hnací členy.

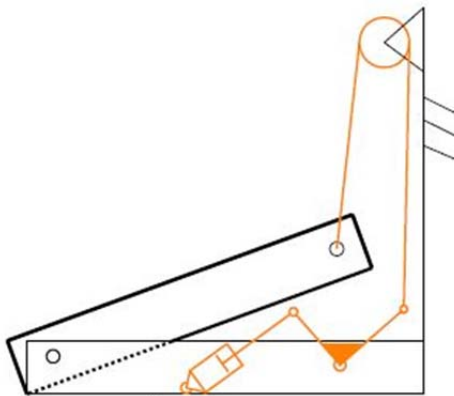
Z grafu obr.54 vyplývá, že nejnižší momenty vznikají při sklápění nad těžištěm střední konzoly, naopak nejvyšší momenty vznikají při sklápění kolem paty střední konzoly a je zde nutné využití silných hnacích členů.

### **Jednotlivé mechanismy sklápění:**

Všechna tato řešení mohou využívat jednotlivé mechanismy pohybu, které jsou naznačeny jednoduchou skicou, ve které je zvýrazněn **hnací člen oranžovou barvou**.

### **Využití lana**

#### **A) Lano + pneumatický válec + páka + kladka**



Obr. 55. Řešení sklopení stolu A.

Střední konzola je na jedné straně otočně uložena v bočních konzolách a zároveň zavěšena přes kladku na ovládací páce. Touto pákou pohybuje pneumatický válec. Pohyb válce vyvolá natočení páky a zároveň zkrácení lana, díky čemuž dojde k natočení střední konzoly.

*Výhody:*

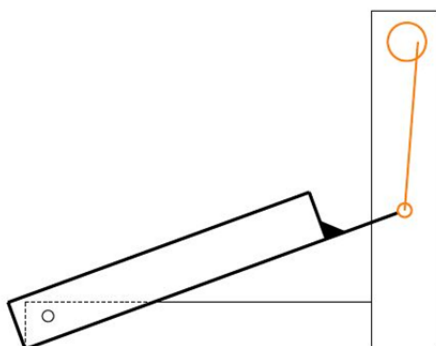
Potřeba menšího zdvihu válce.

*Nevýhody:*

Složité řešení.

Nespolehlivá bezpečnost lanového přenosu sil.

#### **B) Lano + pneumatický/é naviják/ zdvihadlo:**



Obr. 56. Řešení sklopení stolu B.

Naklopení střední konzoly, uložené na jedné straně otočně v boční konzole, vyvolá zkracování lana, na kterém je konzola zavěšena. Lano je možné zkrátit navijáním na pneumatický naviják nebo přímo využít pneumatického zdvihadla umístěného vně otočného křídla.

*Výhody:*

Jednoduché konstrukční řešení.

*Nevýhody:*

Potřeba čtyř pneumatických zdvihadel/navijáků.

Vysoká cena zdvihadla/navijáku.

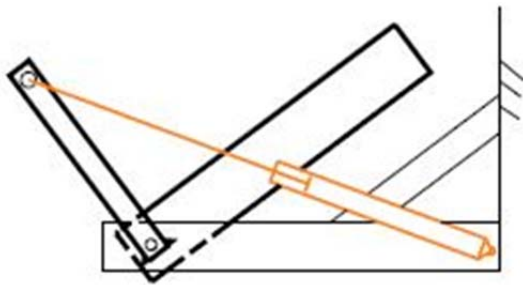
Nespolehlivá bezpečnost lanového přenosu sil.,



Obr. 57. Pneumatický naviják a pneumatické zdvihadlo. [7],[6]

### Využití páky

#### C<sub>1</sub>) Páka spojená se střední konzolou + pneumatický válec



Obr. 58. Řešení sklopení stolu C1.

Střední konzola je pevně svařena s pákou a na jedné straně otočně uložena v bočních konzolách. Pákou pohybuje otočně uložený pneumatický válec. Válec vyvolá natočení páky se střední konzolou.

#### *Výhody:*

Jednoduché řešení.

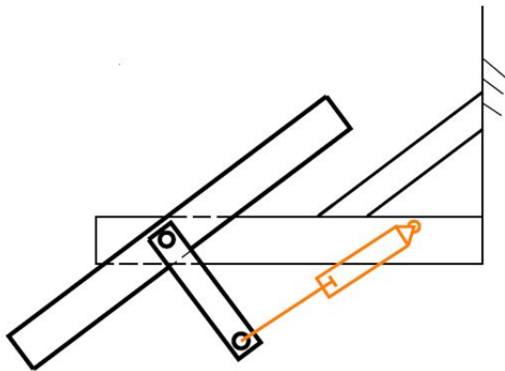
#### *Nevýhody:*

Potřeba velkého zdvihu válce.

Nepříznivé silové poměry na páce.

Existující řešení firmy KMT Waterjet Systems Inc.

#### C<sub>2</sub>) Modifikace- Páka spojená se střední konzolou + pneumatický válec



Obr. 59. Řešení sklopení stolu C2.

Natočení stolu je vyvoláno vysunutím pístu, který pohybuje s pákou pevně spojenou se stolem.

#### *Výhody:*

Při správných geometrických poměrech dosáhneme výhodných silových poměrů na páce.

Válec je možné skrýt do profilu boční konzoly.

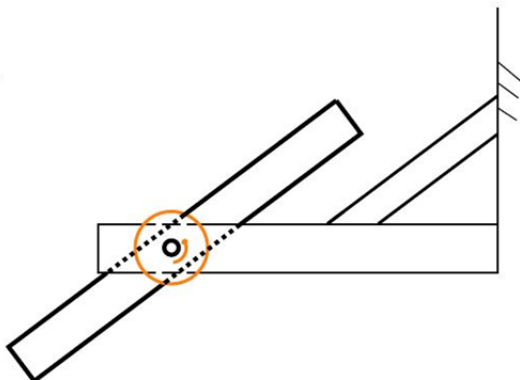
Jednoduché řešení.

#### *Nevýhody:*

Při sklápění válec využívá menší konstrukční sílu.

### Využití rotačního pohybu

#### D) Kyvný pohon



Obr. 60. Řešení sklopení stolu D.

Motor je naklápěn kyvným pneumatickým motorem.

#### *Výhody:*

Nejednoduší způsob.

Pouze rotační pohyb.

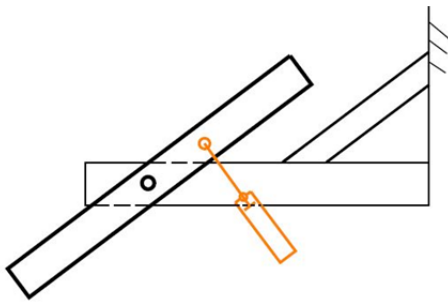
#### *Nevýhody:*

S výkonem motoru rostou i jeho rozměry a pořizovací cena.



### ***Využití přímého zdvihu válce***

#### ***E<sub>1</sub>) Píst sklápí přímo střední konzolu***



**Obr. 61. Řešení sklopení stolu E1.**

Píst je otočně zavěšen na boční konzole a ovládá natočení stolu.

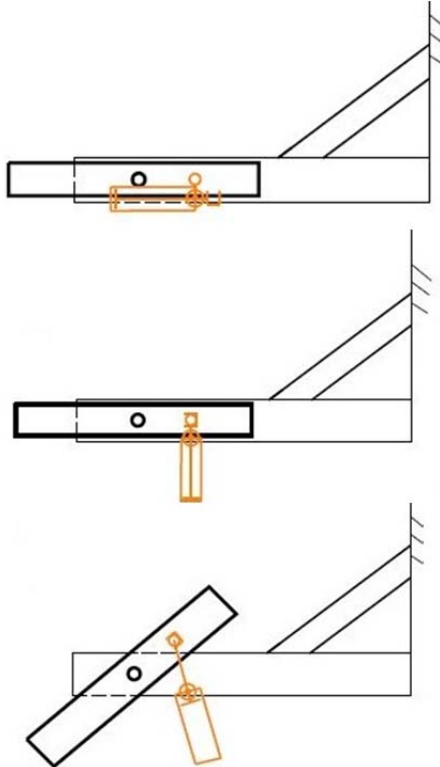
#### ***Výhody:***

Jednoduché řešení bez nutnosti páky.

#### ***Nevýhody:***

Píst vyčnívá do prostoru pod stolem.

#### ***E<sub>2</sub>) Modifikace – Píst sklápěný kyvným motorem***



Proces probíhá v několika fázích. V první fázi je píst zavěšen ve vodorovné poloze na boční konzole. Píst je zároveň spojen s pneumatickým kyvným motorem, který ho v druhé fázi natočí do pracovní polohy, při níž konec pístnice zapadne do protikusu na stole. Třetí fázi je samotné natáčení stolu vyvolané výsuvem pístu. Po zasunutí pístu zpět je vrácen píst kyvným motorem do výchozí polohy.

#### ***Výhody:***

Elegantní řešení odstraňující předchozí nevýhody.

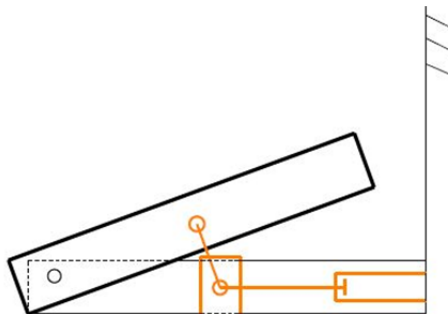
#### ***Nevýhody:***

Použití více pneumatických prvků znamená prodražení konstrukce.

**Obr. 62. Řešení sklopení stolu E2.**

### ***Využití posuvného pohybu***

#### ***F) Pneumatický válec pohybující objímkou s táhlem***



**Obr. 63. Řešení sklopení stolu F.**

Střední konzola je na jedné straně otočně uložena v bočních konzolách a zároveň je otočně spojena s táhlem, které je na druhé straně otočně spojené s objímkou. Tato objímka je tlačena vertikálně uloženým válcem, což způsobí posun objímky a vzpříčování táhla s následným natočením střední konzoly.

#### ***Výhody:***

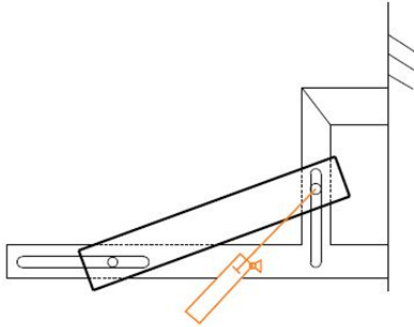
Válec nemusí být rotačně uložen.

Válec tlačí pouze v horizontálním směru.

#### ***Nevýhody:***

Vešší zástavbový prostor, posun vnáší tření.

### G) Pneumatický válec vyvolávající posun ve vedení



Obr. 64. Řešení sklopení stolu G.



Obr. 65. Obloukové vedení firmy  
ROLLON.

Střední konzola je na obou stranách posuvně uložena v bočních konzolách. Vysunutí válce způsobí posun a zároveň naklopení střední konzoly.

*Výhody:*  
Není nutná páka.

*Nevýhody:*  
Potřeba velkého zdvihu válce.  
Posuvné vazby vnášejí tření.  
Při naklopení stolu se stůl odtáhne od obsluhy.  
Vznik nebezpečného prostoru před konzolou – nutnost dalšího zabezpečení.  
Vysoká cena modulárních vodících elementů.  
Vysoká možnost vzpříčení stolu při nerovnoměrném chodu válců.

#### 2.2.2.2 Vybrané návrhy varianty řešení

Jednotlivé návrhy byly zpracovány v softwaru SOLIDWORKS 2013, dle požadavků zákazníka.

##### 2.2.2.2.1 Vybraná varianta sklápění 1.

Tato varianta využívá sklápění kolem středu otáčení v těžišti střední konzoly. Pro návrh motorů je nutné přidat k hmotnosti nástroje hmotnost střední konzoly. Po vymodelování střední konzoly byla určena hmotnost programem SOLIDWORKS 2013 na 101 kg.

**Dimenzování servopohonů: (obrázek a postup výpočtu viz. Kap. 2.2.2.1 obr.52)**

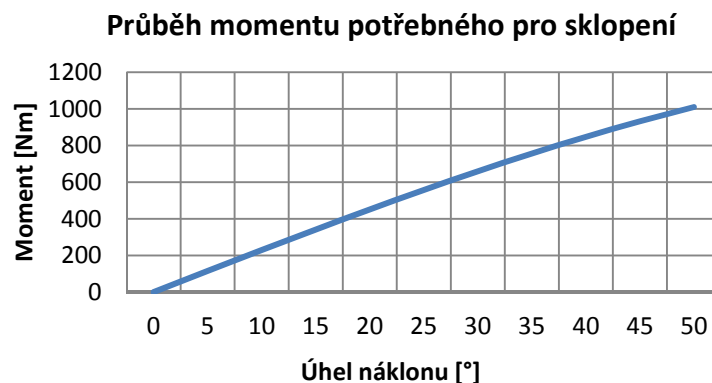
Zatěžující síla:

$$G = (\text{hmotnost nástroje} + \text{hmotnost střední konzoly}) \cdot g = (300 + 101) \cdot 9,82 = 3938 \text{ [N]}$$

Rameno momentu:  $r = 0,252 \text{ [m]}$

Výpočet max. momentu:  $M = r \cdot G = 0,252 \cdot 3954 = 992 \text{ [Nm]}$

Volím:  $2x \text{ servopohon N8 s točivým momentem } 2 \times 500 \text{ [Nm]}$



Obr. 66. Průběh momentu sklápění pro návrh servopohonů.

Z grafu je evidentní, že je zapotřebí velikého točivého momentu, jenž je třeba vyvinout rotačním pohonem. Pro rotační pohyb by bylo možné využít servo-pneumatických pohonů nebo elektro-servo-pohonů. U pneumatického pohonu narážíme na problém najít vhodný servopohon s dostatečným točivým momentem a příznivou hmotností, proto byl zvolen elektro-servopohon. Elektro servopohon s dostatečným výkonem a krytím pro práci v mokřem prostředí IP 67 (DIN EN 60529) byl nalezen u firmy ARIS.

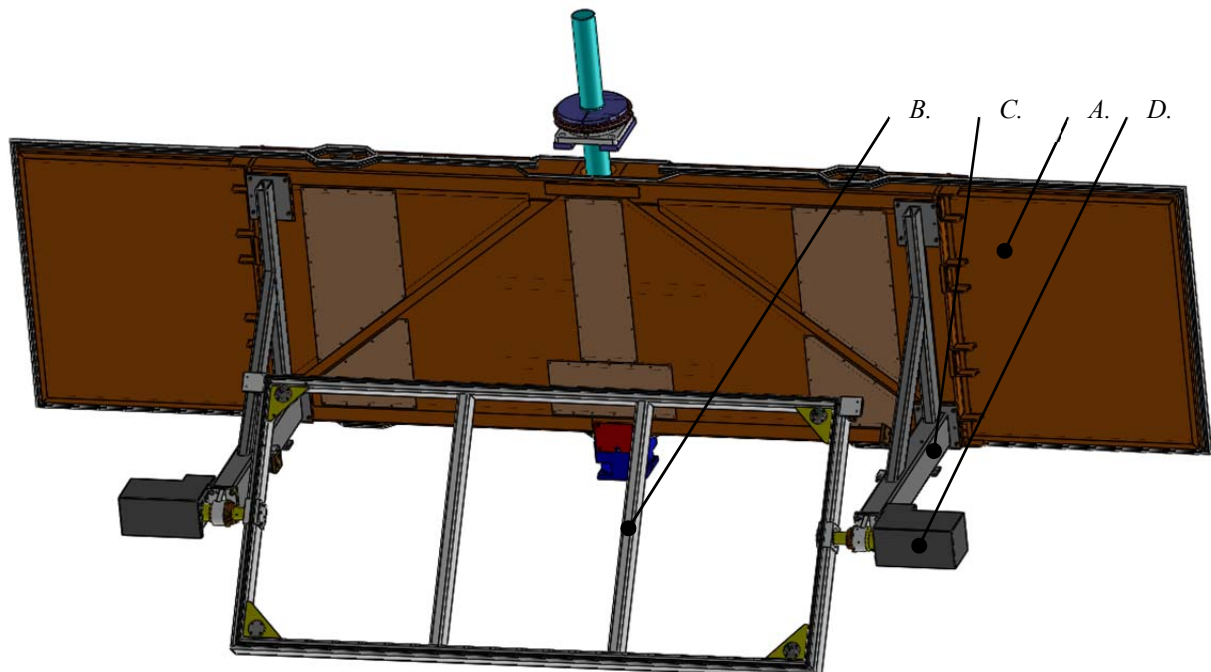
Pro pokrytí momentového rozsahu pro sklopení střední konzoly s nástrojem, je nutné využít dva tyto servopohony s označením N8 s charakteristikou viz. tabulka níže. Tyto pohony generují dostatečný točivý moment, přičemž je lze naprogramovat pro sklopení do jakéhokoliv úhlu v rozmezí 0-85°. Další výhodnou vlastností je možnost práce pod vodou a relativně nízká hmotnost (11kg). Tyto pohony se také vyznačují příznivými bezpečnostními opatřeními. V případě výpadku proudu zůstane pohon automaticky zabrzděn v pozici, ve které se nacházel při výpadku proudu. Součástí pohonu je i přesná brzda, jenž umožňuje přesné a opakovatelné zastavení stolu, proto není potřeba dalšího systému aretace střední konzoly.

Specifikace pohonu:					
Označení	Točivý moment [N/m]	Regulovaný úhel[°]	Váha [kg]	Rychlost přestavění s/90°, ( )=60 Hz	Poptávková cena jednoho servopohonu
N8-50	500	10-95	11	80 (67)	60 854 Kč

Tab. 16. Specifikace servopohonu.

Cena pohonu je opsána z poptávkového listu viz. Příloha.

#### Popis konstrukce systému sklápění:

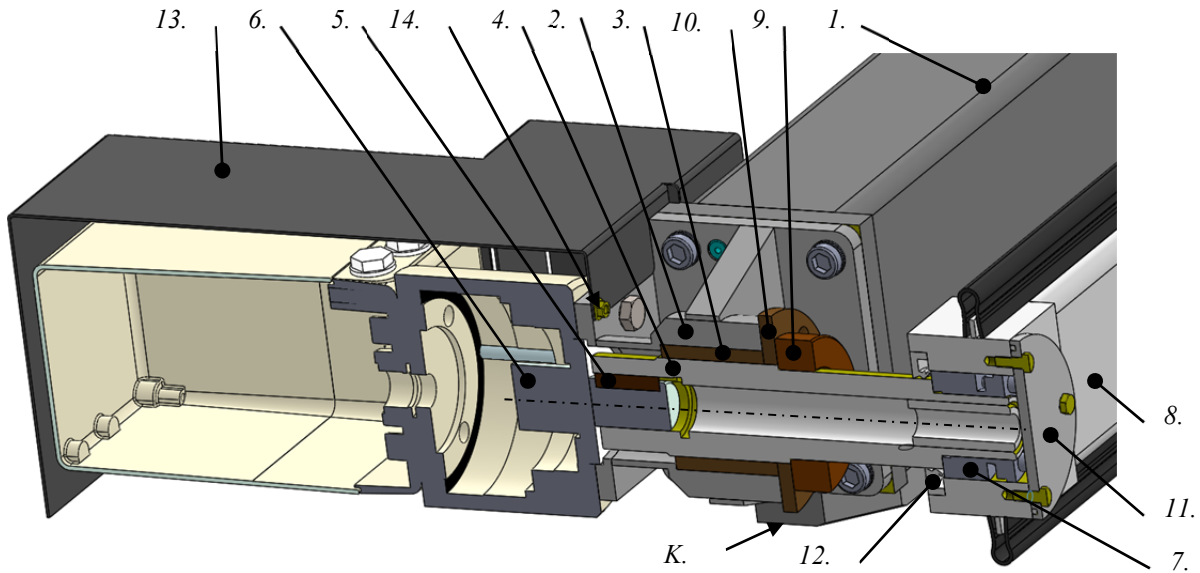


A-Odlehčené hybridní otočné křídlo, B-Střední konzola ve sklopeném stavu, C-Boční konzola, D-zakrytovaný servopohon.

Obr. 67. Varianta sklápění otočného stolu 1 – sklopení servopohonem.

Boční konzola (1) je zakončena přišroubovaným ložiskovým domkem (2) s kluzným ložiskem (3). Ložiskový domek slouží zároveň jako nosná konzola servopohonu (6). Ložisko vede dutý otočný čep (4) na jedné straně spojený perem (5) se servopohonem a na straně druhé svěrným pouzdem (7) se střední konzolou (8). Čep je zajištěn proti osovému pohybu

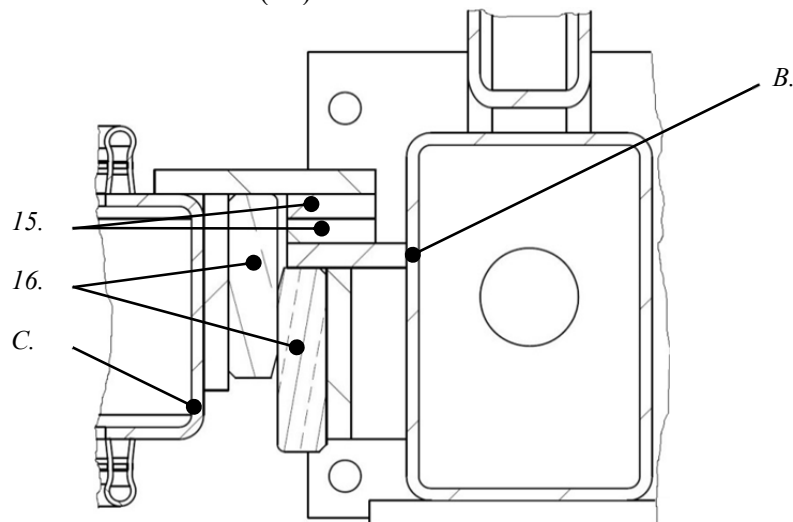
hřídelovým děleným kroužkem (9) dosedajícím na kluzné dělené víčko ložiskového domku (10). Dutina čepu je utěsněna kombinací víčka s těsnícím o-kroužkem (11) a gufera (12) v domku pro svěrné pouzdro střední konzoly (13). Servopohon je zakrytý plechovým krytem (13), jenž je připevněn pomocí invarových svorníků (14) k boční konzole a ložiskovému domku.



1-Boční konzola, 2-Ložiskový domek, 3-Kluzné ložisko, 4-Dutý otočný čep, 5-Pero servopohonu, 6-Servopohon, 7-Svěrné pouzdro, 8-Střední konzola, 9-Hřídelový dělený kroužek, 10-Kluzné dělené víčko, 11-Víčko, 12-Gufero, 13-Kryt motoru, 14-Invarový svorník, K- Kluzný kámen systému podpírání boční konzoly.

**Obr. 68. Řez pohonem s napojením na střední konzolu.**

Opakovatelnost ustavení stolu do výchozí polohy po sklopení je zaručena horizontálními dorazy na střední konzole s protějším dorazem na boční konzole (15). Dorazy jsou dotlačovány servopohonem s přesnou brzdou. Vystředění střední konzoly obstarává dvojice kluzných kamenů s náběžnou hranou (16).



B-Boční konzola, C-Střední konzola, 15-Dorazy, 16-Kluzné kameny.

**Obr. 69. Dorazy a středění střední konzoly.**

Střední konzole jsou zachovány rozměry pevného stolu, přičemž koncepce se servopohony umožňuje velký prostor pro pohyb robotů vně kabiny. Konstrukce je navržena tak aby bylo možné protáhnout kabely otočným křídlem a boční konzolou přímo k zakrytému

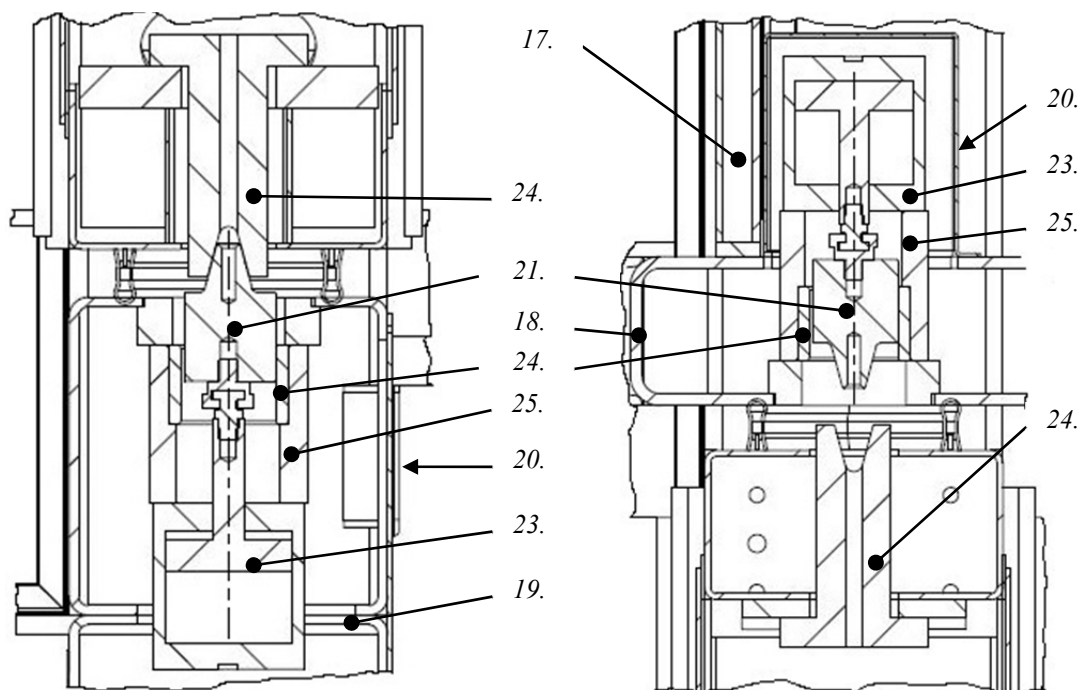
servopohonu. Střední konzola je také plně kompatibilní s požadavky na založení KMT rámu nástroje.

Systém podpírání bočních konzol ve výchozí poloze pro založení dílu a obrábění je zachován, bylo pouze nutné upevnit kluzný kámen (Obr.68 - K) na konec boční konzoly a posunout vnitřní i vnější podpěry do patřičných míst, s tím že nebylo nutné změnit jejich rozměry ani koncept jejich funkce.

Otočné křídlo je koncepce již blíže specifikovaná v předcházející kapitole (2.1.3), přičemž je systém udržení opakovatelnosti otočení stolu vyřešen dvěma zámky umístěnými ve vertikální ose otočného křídla. V křídle jsou tedy umístěny dva prizmatické elementy (22), proti nimž tlačí pneumatický válec s klínem (viz. Obr níže).

### **Popis potřebných úprav kabiny stroje:**

Celá koncepce je navržena tak aby zásahy do kabiny stroje byly co nejmenší. Přesto způsob zamykání ve vertikální ose si vyžádal úpravy spodního (19) a horního (18) nosníku kabiny. V kabině bylo nutné posunout dvojsklo (17) o několik desítek centimetrů dozadu aby mohl být spodní i horní nosník otevřen vypálenými dírami, do kterých byla vyvařena plochá tyč (26) sloužící po obrobení jako dosedací a upevňovací plocha aretačního systému. Oba tyto elementy jsou po přišroubování ke kabině zakrytovány (20). Aretační systém je složen z pneumatického válce (23), jenž má na pístnici čep s tvarem klínu (21). Klín je veden v kluzném pouzdře (24) uloženém v držáku válce (25).



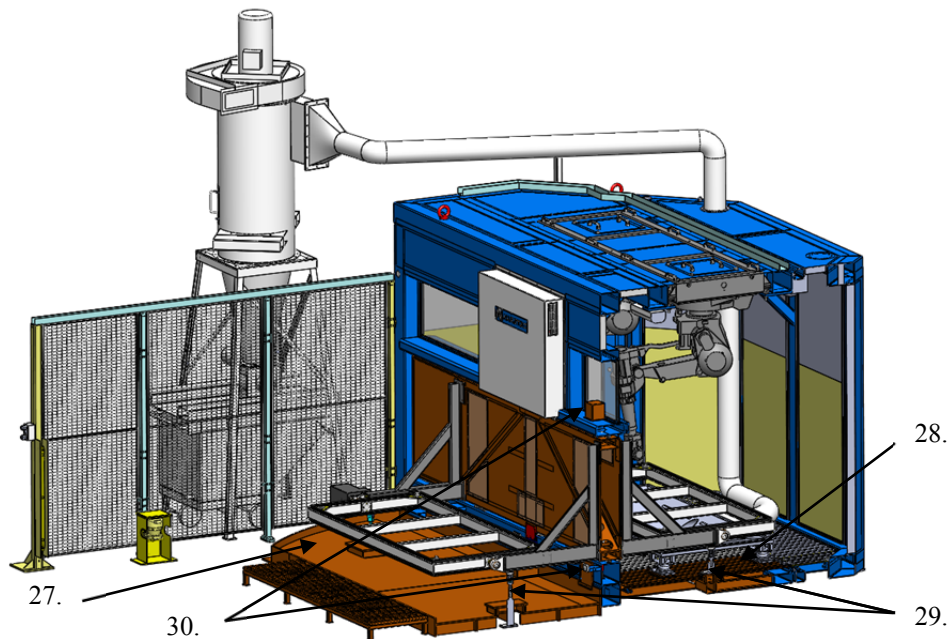
17-Dvojsklo, 18-Horní nosník,19-Spodní nosník, 20-Kryt Systému aretace, 21-Klín (Kabina),  
22-Prizma (otočný stůl), 23-Pneumatický válec, 24-Kluzné pouzdro,25-Držák válce,  
26-Vyvařená plochá tyč.

**Obr. 70. Systém aretace uložený ve spodním nosníku kabiny (zamčeno).**

**Obr. 71. Systém aretace uložený v horním nosníku kabiny (odemčeno).**

Další změna nastala posunutím podpěr bočních konzol (29), což způsobilo posun po spodních nosnících nesoucích podlahu kabiny (28) a posun děr v podlaze a jejich zakrytování. Tato změna musela být aplikována i na přední plastovou vanu (27) umístěnou před kabinou (změny naznačeny oranžovou barvou Obr.72 ).





27-Plastová vana, 28-Změny podlahové části, 29-Podpěry, 30- Posunutý systém aretace.

Obr. 72. Průřez kabinou stroje odhalující změny kabiny.

***Nevýhody konceptu:***

Vysoká pořizovací cena servopohonů.  
Vysoké nároky na izolaci kabeláže.

***Výhody konceptu***

Celkové snížení hmotnosti oproti původnímu pevnému stolu i přesto, že byl implementován systém sklápění.

Uvolnění prostoru nad bočními konzolami, což zvýší pohyblivost robotů v kabině.

Pouze jedno pohonné médium přivedené do otočného křídla.

Pohon převádí rotační pohyb na rotační.

Možnost sklopení v plném rozsahu servopohonu 0-89°.

Plynulý chod.

**2.2.2.2 Vybraná varianta sklápění 2.**

Tato varianta využívá systém sklápění nad osou těžiště střední konzoly (obr.53) s řešením sklápění stolu dle varianty C<sub>2</sub>(obr.59). Základním problémem tohoto řešení je nalezení správného poměru délky páky, zdvihu pístu a síly pístu. Moment vyvolaný pákovým převodem musí být takový, aby dokázal překonat moment vyvolaný hmotností střední konzoly s nástrojem. Stejně tak musí mít páka vyhovující délku, aby se celý mechanismus ve výchozím stavu dokázal schovat do pracovního prostoru otočného stolu a nezpůsobil tak nějakou kolizi. Výhodným způsobem, je tedy využití sklápění kolem bodu umístěného nad těžištěm střední konzoly. Vznikne tak jakási houpačka. Nevýhodou této houpačky je, že při sklopení se nástroj dostává směrem od obsluhy a při uvedení sklápění do provozu pneumatický pohon využívá menší plochu k výtlaku, což ovšem nevadí, jelikož moment je zde minimální, přičemž většina nástrojů je konstruována tak aby laminátový otisk byl umístěn na KMT rámu směrem k obsluze, to znamená, že i těžiště je blíže k obsluze, což napomáhá při skolení vlastní vahou střední konzoly s nástrojem. Při vracení do výchozí polohy je moment největší a proto je vhodné zvolit geometrické poměry zdvihu, páky a umístění válce tak aby v této poloze působil pneumatický pohon na páku ideálně pod 90°.

Pro návrh motorů je nutné přidat k hmotnosti nástroje hmotnost střední konzoly. Po vymodelování střední konzoly byla určena její hmotnost s příslušenstvím na 163kg programem SOLIDWORKS 2013.

**Dimenzování pneumatických pohonů: (obrázek a postup výpočtu viz. Kap. 2.2.2.1 obr.53)**

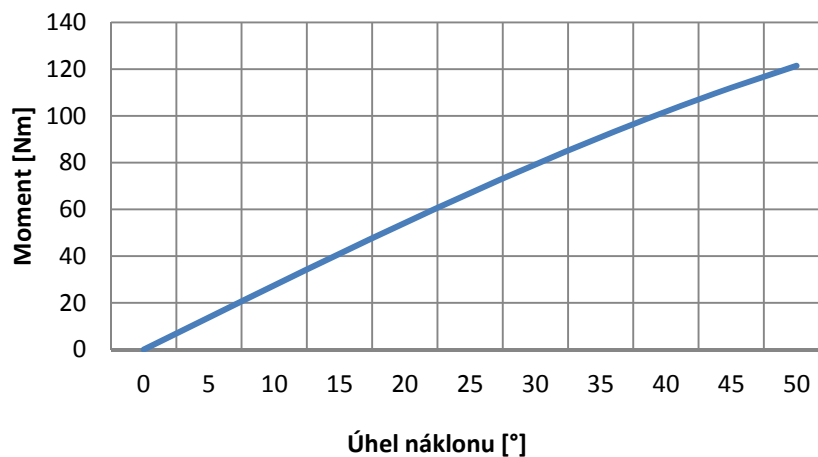
$$G = (\text{hmotnost nástroje} + \text{hmotnost střední konzoly}) \cdot g = (300 + 163) \cdot 9,82 = 4542 \text{ [N]}$$

Rameno momentu:  $r = 0,0267 \text{ [m]}$

Výpočet max. momentu:  $M = r \cdot G = 0,0267 \cdot 4542 \cong 121 \text{ [Nm]}$

Volím: 2x pneumatické válce (FESTO)

**Průběh momentu při sklápění nad těžištěm střední konzoly**



**Obr. 73. Průběh momentu sklápění pro návrh pneumatických válců.**

$$M = F \cdot r \Rightarrow F = M/r \Rightarrow \text{síla na oba válce} \Rightarrow \text{síla na jeden válec } F_1 = F/2$$

Zvoleno	Vypočteno		Zvoleno	
Rameno páky r	Síla na válec F	Síla na válec F1	Průměr pístu	síla válce při p=6 bar
0,3 [m]	403,3 [N]	201,6 [N]	Ø35[mm]	Tah / Tlak 414/434

**Tab. 17. Určení síly pneumatického pohonu**

Volba závislosti zdvih a délka páky byla provedena metodou pokus omyl.

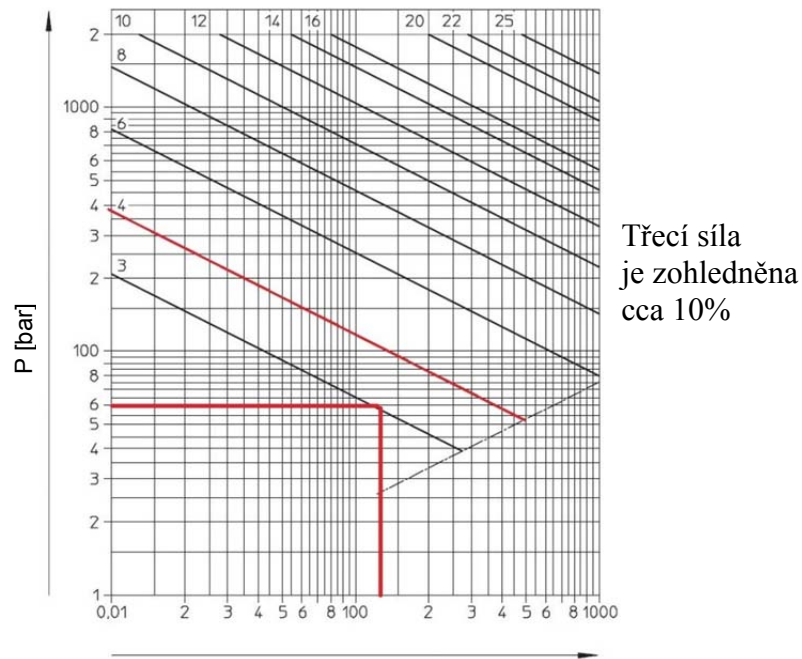
Zvolený válec značky FESTO – dle norem DNC (metrický)				
Průměr pístu [mm]	Zdvih [mm]	Tlumení	Snímání poloh	Brzda
Ø35	250	Nastavitelné pneumatické tlumení na obou stranách	Pro čidlo	vestavěna
Označení DNC 32	- 250	- PPV	- A	- KP

**Tab. 18. Specifikace zvoleného pneumatického pohonu.**

**Kontrola pístnice na vzpěru:**

Pro kontrolu jsem využil dokument, Podmínky a normy v pneumatické technice, který je volně dostupný na stránkách výrobce pneumatických komponentů značky FESTO. Tento dokument je přiložen v příloze č.3 k nahlédnutí. V tomto dokumentu je tabulka zachycující závislost tlaku a zatěžující síly a k nim přiřazené vhodné průměry pístnice. Z tabulky byl určen nejbližší vyšší průměr pístnice 14 mm pro tlak 6 barů a zatěžující sílu 121 Newtonů.

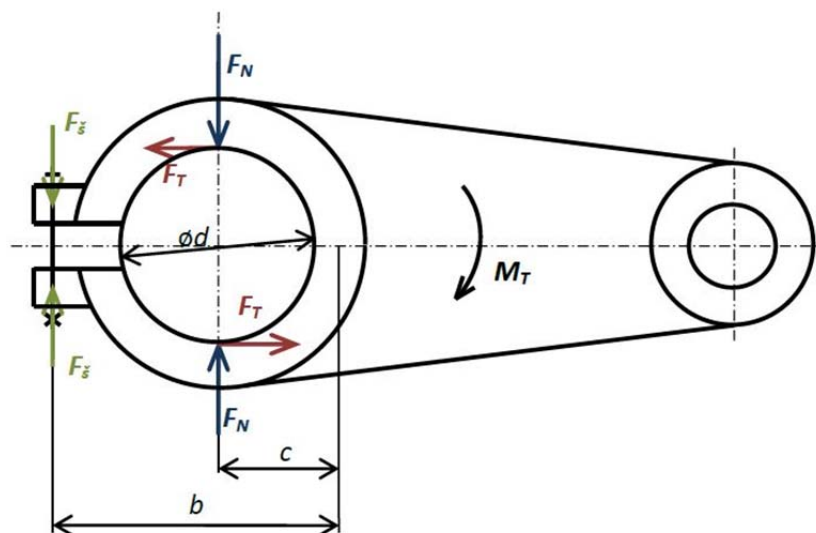
Zvolený válec má průměr pístitnice větší ( $6 < 12$  mm) než odečtený z tabulky, lze tedy říci, že pístitnice na vzpěru vydrží.



Obr. 74. Provozní tlak  $p$  v závislosti na  $\Phi$ řístu a síle  $F$ . [9]

Páka je koncepčně pojata jako svařenec z výpalků o tloušťce 25 a 10 mm. S otočným čepem je spojena pomocí svěrného spojení.

**Návrh a kontrola svěrného spoje:**



Obr. 75. Schéma pro dimenzování svěrného spoje páky [10].

Návrh proběhl dle výpočtů uvedených v přednáškách předmětu KKS/CMS 1, ze kterých byly čerpány i koeficienty a dovolená napětí, potřebné pro výpočet.

Kroutící moment (Mk) [Nm]	Průměr čepu $\Phi$ d [m]	c [m]	b [m]	Součinitel tření (f)	Deformační síla ( $F_{def}$ )	Dovolené napětí v tahu ( $\sigma_{tš}$ )	Uložení Náboj / Hřídel
121	0,053	0,029	0,069	0,1	30% Fš	150 [Mpa]	H7 / n6

Tab. 19. Vstupní hodnoty návrhu svěrného spoje.

Postup výpočtu:

$$M = F_T \cdot d \Rightarrow F_T = \frac{M}{d} = \frac{121}{0,053} = 2283 [N],$$

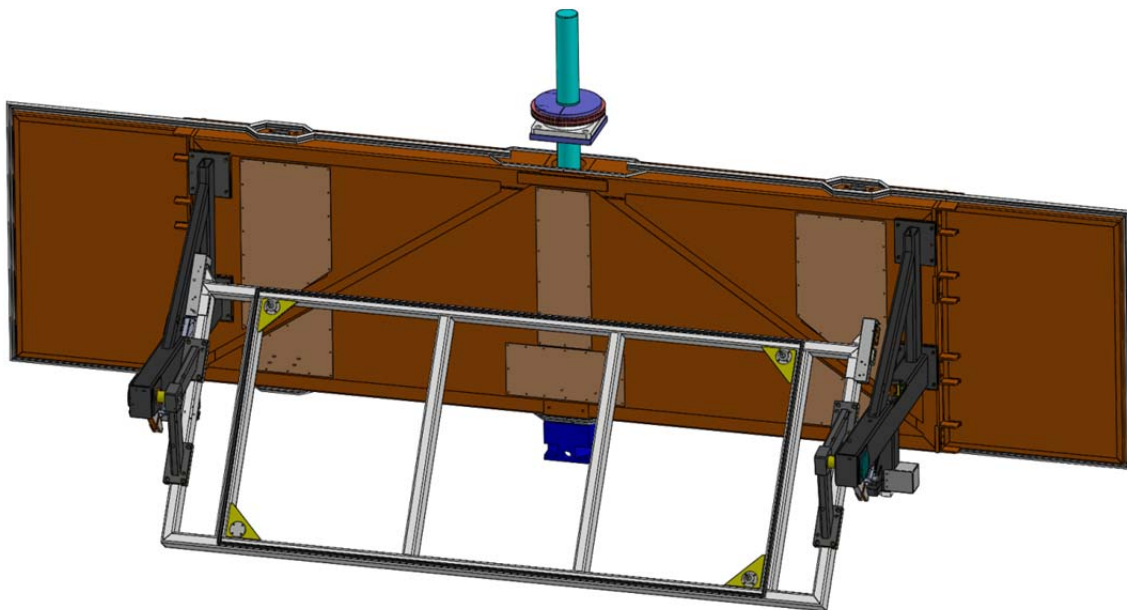
$$F_T = F_N \cdot f \Rightarrow F_N = \frac{F_T}{f} = \frac{2283}{0,1} = 22830 [N]$$

$$F_T = \frac{b}{c} \cdot F_{\xi} - F_{def} \Rightarrow F_{\xi} = \frac{c}{b} \cdot F_N + F_{def} = \frac{0,029}{0,069} \cdot 22830 + 0,3 \cdot F_{\xi}$$

$$= \frac{0,42}{0,7} \cdot 22830 = 13707,5 [N]$$

$$\sigma_{t\check{s}} = \frac{F_{\xi}}{S} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\xi}}{\pi \cdot \sigma_{t\check{s}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13707,5}{\pi \cdot 150 \cdot 10^6}} \cong 0,011 [m] = 11 [mm]$$

Zvolen šroub M14.



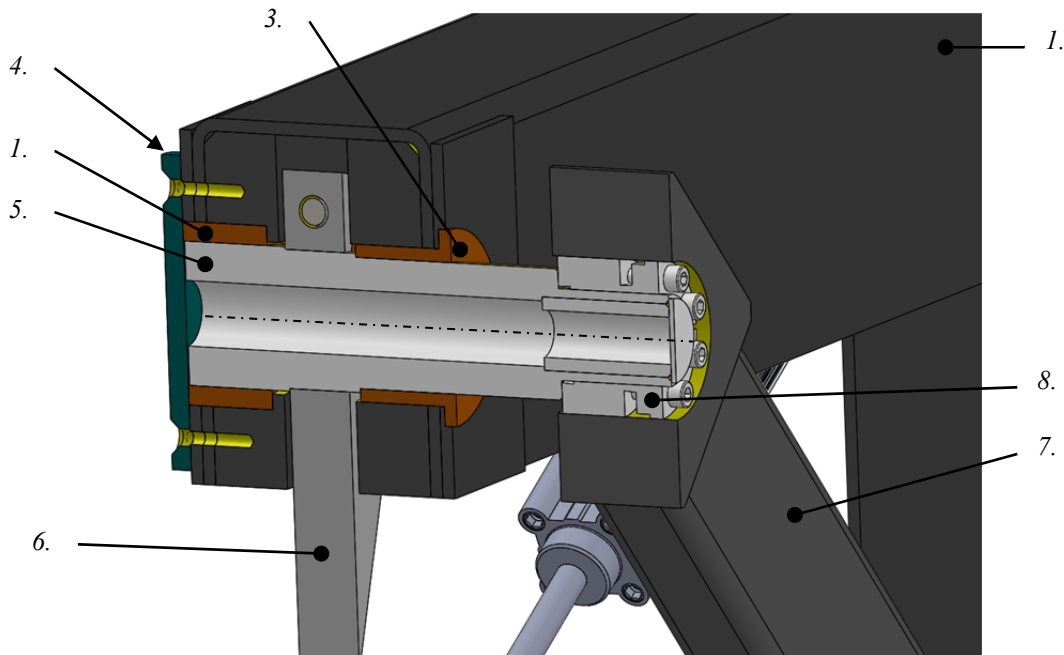
A-Odlehčené hybridní otočné křídlo, B-Střední konzola ve sklopeném stavu, C-Boční konzola,  
D-Systém aretace střední konzoly, P-Přidaný prostor pro pohyb robotů.

**Obr. 76. Varianta sklápění otočného stolu 1 – sklopení pneumatickým pohonem.**

### **Popis konstrukce:**

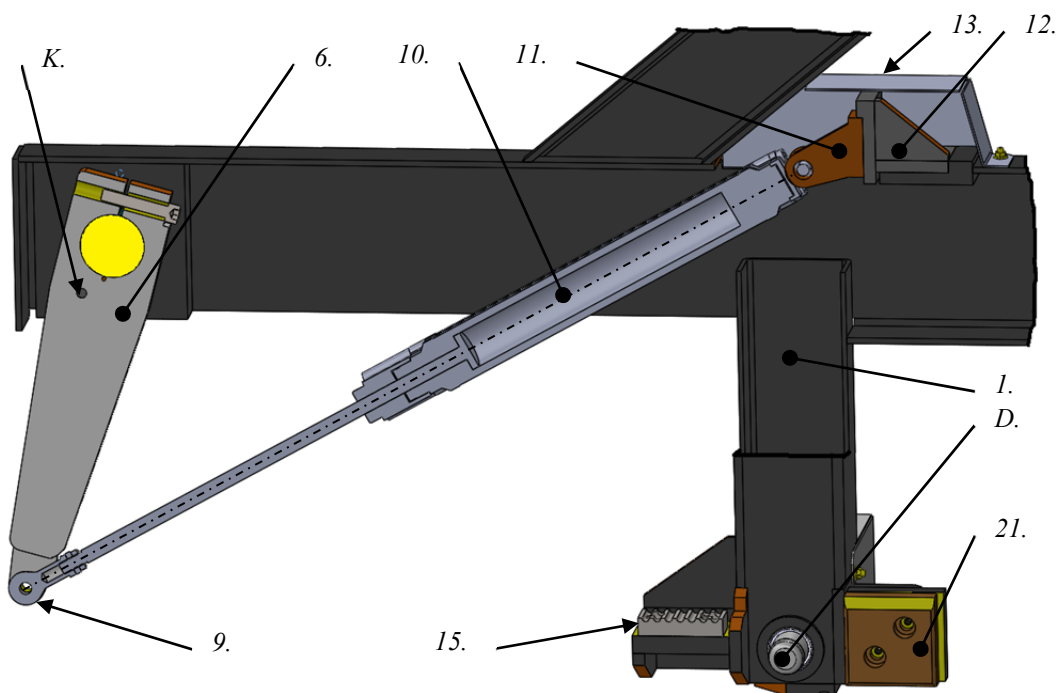
Konec boční konzoly (1) je vyvařen plochými tyčemi, což vytvoří dostatečný prostor pro nalisování kluzného pouzdra na vnější straně (2) a na straně vnitřní, kluzného pouzdra s přírubou (3). Na vnější straně je pouzdro zajištěno víčkem (4). Kluzná pouzdra vedou otočný čep (5), na který je svěrným spojením připevněna ovládací páka (6), která je ukryta vně boční konzoly. Druhá strana čepu je spojena s portálem (7) střední konzoly pomocí svěrného pouzdra (8).

Konec ovládací páky je spojen s kulovou koncovkou (9) pneumatického pohonu pomocí čepu se závlačkami. Samotný pneumatický válec (10) je veden vnitřním prostorem boční konzoly a upevněn otočně v ložiskové tělese (11), připevněném na konzole ložiskového tělesa (12), která je spojena s boční konzolou šroubovými spoji. Konzola je zakryta krytem válce (13). Na obrázku je zachycen montáží kolík (K), kterým bude při montáži zajištěna poloha páky vůči otočnému čepu, po utažení svěrného spoje bude kolík odstraněn.



1-Boční konzola, 2-Kluzné pouzdro, 3-Kluzné pouzdro s přírubou, 4-Víčko, 5-Otočný čep,  
6-Ovládací páka, 7-Portál střední konzoly, 8-Svěrné pouzdro.

**Obr. 77. Řez koncem boční konzoly – sklápění pneumatickým pohonem.**

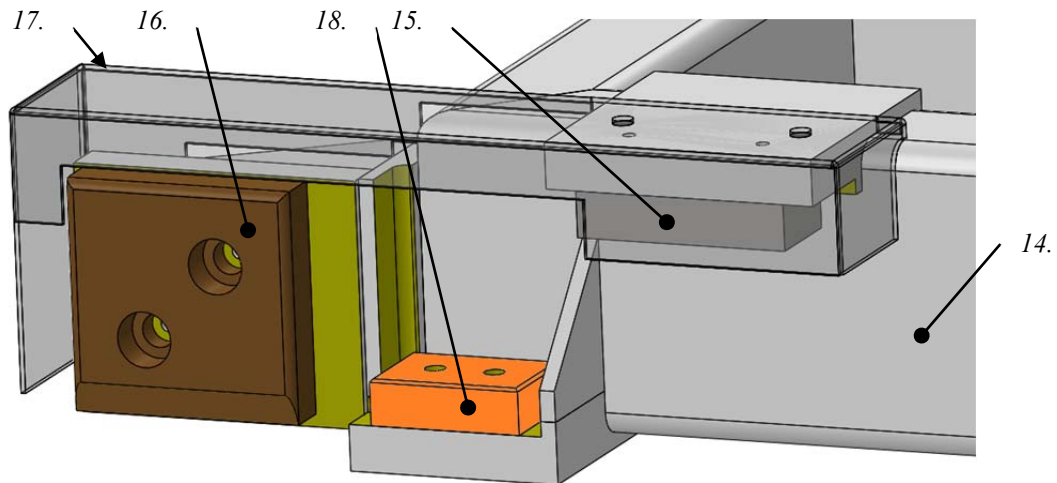


D-Systém aretace střední konzoly, K-Montážní kolík, 1-Boční konzola, 6-Ovládací páka,  
9-Kulová koncovka, 10-Pneumatický pohon, 11-Ložiskové těleso, 12-Konzola lož. tělesa,  
13-Kryt pneu.pohonu, 15-Doraz boční konzoly, 16-Kluzný kamen boční konzoly.

**Obr. 78. Řez uložením pneumatického pohonu.**

Přidáním systému sklápění na boční konzolu byl omezen přístup robotů po kratších stranách střední konzoly (14), proto byla konzola rozšířena a vznikl tak dostatečný prostor pro pohyb robotů. Na těchto krátkých stranách je střední konzola spojena šrouby s portálem boční konzoly.

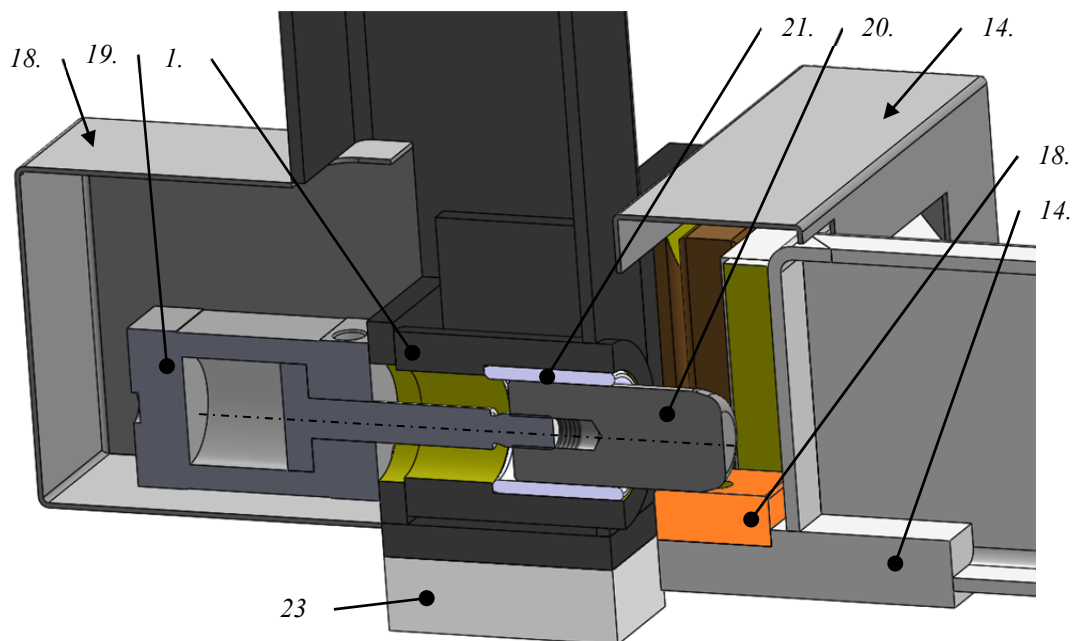




14-Střední konzola, 15-Doraz, 16-Kluzný kámen střední konzoly, 17-Kryt střední konzoly,  
18-Kámen aretace.

**Obr. 79. Detail uložení prvků opakovatelnosti na střední konzole.**

Opakovatelnost ustavení je zde řešena opět dorazy (15) na střední a boční konzole, které jsou po dosednutí zamčeny systémem aretace. Dalším prvkem určujícím opakovatelnost ustavení jsou kluzné kameny (16) s náběžnou hranou upevněné na střední i boční konzole. Dorazy s kamenem aretace a kluznými kameny jsou zakrytovány krytem (17) na střední konzole.



1-Boční konzola, 14-Střední konzola, 18-Kámen aretace, 19-Pneumatický válec aretace,  
20-Čep aretace, 21-Kluzné pouzdro, 22-Kryt aretace boční konzoly,  
23-Kluzný kámen systému podpírání boční konzoly.

**Obr. 80. Řez systémem aretace boční konzoly.**

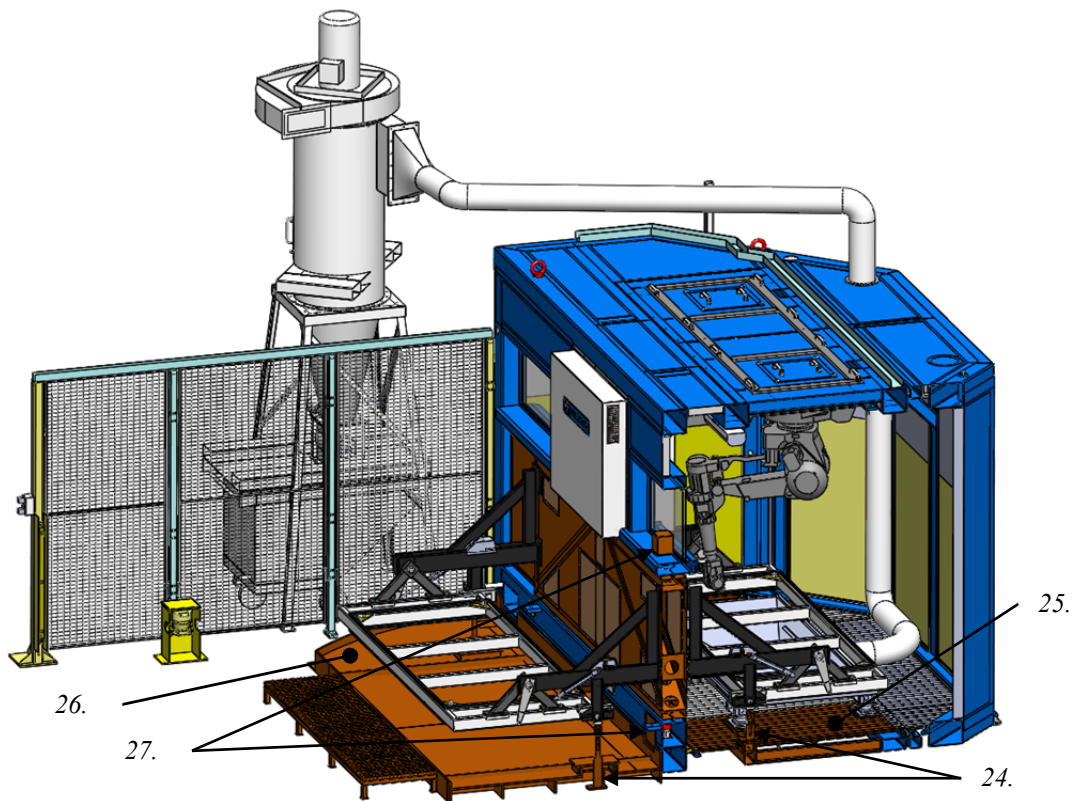
Systém aretace je složen z kamene (18) umístěného na střední konzole a pneumatického válce (19) s výsuvným čepem (20) připevněným na boční konzole. Výsuvný čep je veden v kluzném pouzdře (21) nalisovaném v boční konzole. Pneumatické přívody mohou být výhodně taženy konstrukcí boční konzoly přímo k válci, jenž je zakrytován krytem (22).

Systém podpírání byl zachován. Kluzný kamen (23) byl umístěn na spodní část konstrukce boční konzoly nesoucí aretační systém. Toto konstrukční řešení boční konzoly, kdy je umístěna mnohem výše než u předchozí varianty, způsobilo potřebu prodloužit podpěry (24) o 30 mm.

Otočné křídlo je konstrukce blíže popsané v kapitole (2.1.3), se stejným systémem aretace jako u předchozí varianty. Jedinou změnou oproti předchozímu je přizpůsobení konstrukce nové koncepci bočních konzol.

#### **Popis potřebných úprav kabiny stroje:**

Proběhly stejné úpravy kabiny jako u předchozí varianty, s rozdílnou pozicí aretačního systému, jenž byl přesunut blíže ke krajní části kabiny. Důvodem posunutí aretačního systému otočného křídla bylo prodloužení jeho střední části, což umožnilo posun systému na větší vzdálenost od středu otáčení otočného křídla, s příznivým vlivem na přesnost aretace. Rozdílná pozice podpěr bočních konzol vede k větším změnám podlahy uvnitř kabiny a plastové vany před kabinou. Změněné elementy jsou vyznačeny na obrázku oranžovou barvou.



24- Podpěry, 25- Změny podlahové části, 26- Změny plastové vany, 27- Posunutý systém aretace.

Obr. 81. Průřez kabinou odkrývající její změny.

#### **Popis funkčního principu:**

Střední konzola je ve výchozí horizontální poloze s umístěným nástrojem na pozicovacích čepech střední konzoly, doraz střední konzoly sedí na dorazu boční konzoly, systém aretace střední konzoly uzamčen (čep pístu aretace umístěný na boční konzole, je přetlačen přes kamen střední konzoly) a boční konzoly jsou podpírány podpěrami. Systém aretace je uvolněn, pneumatické pohony se zasunují a táhnou za páku (vlastní tíha nástroje pomáhá sklopení), tím dojde k naklonění střední konzoly směrem k obsluze. Po naklonění do koncové polohy (50°) bezpečnostní systém umožní obsluze přístup do prostoru pro zakládání polotovaru. Obsluha založí polotovar (případně odejme již obrobek) a odchází mimo zabezpečený prostor (k ovládacímu panelu) a spíná proces obrábění. Pneumatické

pohony se vysunují a vracejí páku do původní polohy, přičemž před koncovou polohou dojde k vystředění nástroje pomocí kluzných kamenů s náběžnou hranou. Snímač pneumatických pohonů hlásí koncovou polohu (dorazy sedí na sobě) čímž dá povel aretačnímu pohonu pro vysunutí čepu přes kámen aretace. Nyní dojde k otočení střední konzoly do obráběcího prostoru s roboty, přičemž druhá střední konzola s nástrojem s oříznutým polotovarem se otáčí do prostoru zakládání polotovaru. Boční konzola najíždí kluzným kamenem na kladku podpěry a proces se opakuje.

#### ***Nevýhody konceptu:***

Větší rozměry středí konzoly.

Při sklopení se střední konzola dostává dále od obsluhy.

Nutnost dvojího vedení energií do boční konstrukce (Pneumatika, elektro).

Přídavný aretační systém zajišťující bezpečnost a opakovatelnost.

Náročnější montáž (více montážních celků).

Není možné využít plného rozsahu sklopení (pouze 0 nebo 50°).

#### ***Výhody konceptu***

Relativně nízká pořizovací cena pneumatických pohonů.

V případě poškození pneumatického válce, nižší náklady na opravu.

### **2.2.3 Vliv optimalizace na výkon pohonu**

Optimalizací otočného křídla a přidáním systému sklápění střední konzoly došlo k změnám hmotnosti a momentu setrvačnosti, což má přímý vliv na výkonové požadavky pohonu otočného křídla. Cílem všeho snažení je ušetření nákladů na nákup tohoto pohonu. Rychlostní a časová charakteristika pohonu má být zachována zachována.

Tabulka srovnání celkových hmotností a momentů setrvačnosti jednotlivých variant:

Jednotlivá řešení / Sledovaná veličina	Hmotnost		Moment setrvačnosti k ose Y / úspora		Nabídková cena pohonu s příslušenstvím / úspora	
	[kg]	%	[kg/m <sup>2</sup> ]	%	[Kč]	%
Stávající řešení (NARETEC)	1316,4	0	2458,2	0	162 694	0
Varianta 1.	1239	- 5,8	1359,3	44,7	128 653	21
Varianta 2.	1355	+ 2,9	1909,7	22,3	150 502,5	7,5

Tab. 20. Srovnání úspor variant, s cenovou nabídkou pohonu otočného křídla.

V příloze č.3 –jsou cenové nabídky jednotlivých pohonů.

#### ***Zhodnocení:***

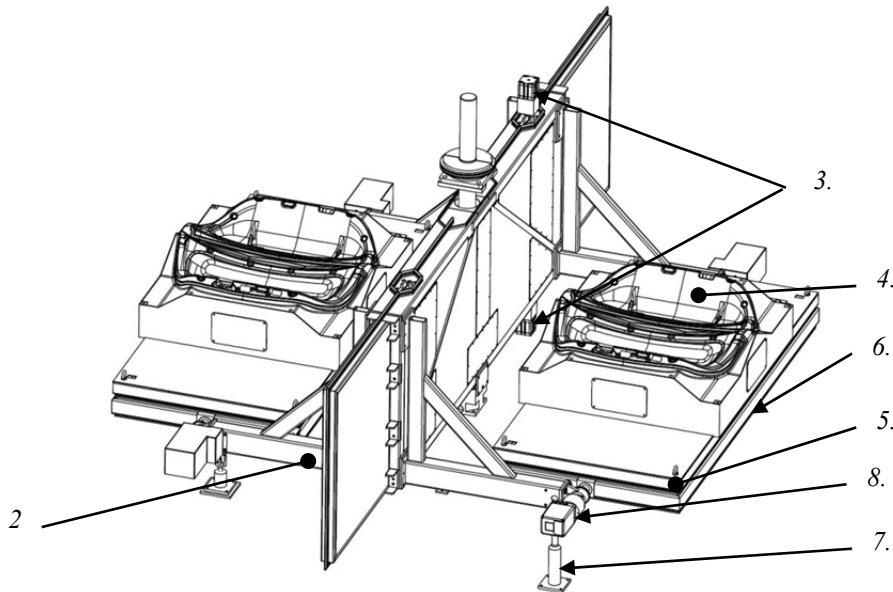
Hodnoty v tabulce ukazují, že se podařilo u obou variant snížit moment setrvačnosti a u varianty 1 - sklápění servopohonu i hmotnost, což je úspěch když bereme v potaz přidání systému sklápění. To platí i pro variantu 2, kde sice hmotnost narostla, ale oproti stávajícímu řešení jen nepatrně. Pro obě varianty byl poptán pohon se shodnými rychlostními a časovými parametry jako u stávajícího pohonu. Podmínka daná zadavatelem (ušetření nákladů na pohon otočného křídla minimálně o 15%) byla splněna pouze u první varianty. Druhá varianta tohoto kritéria bohužel nedosáhla, jelikož pro její hodnoty hmotnosti a momentu setrvačnosti, vyšel požadavek na pohon, jenž je téměř stejný jako u stávajícího řešení.

### 3. Pevnostní výpočty MKP vybraných uzlů

Pro MKP výpočet byla zvolena analýza tuhosti celkové konstrukce otočného křídla se systémem sklápění. Tato analýza bude porovnána s předchozí analýzou tuhosti stávajícího řešení NARETEC. Postup analýzy je v mnoha ohledech stejný, jako v kapitole 2.1.2, proto zde budou vypsány pouze rozdílné kroky oproti předchozí analýze.

#### **Definice simulovaného stavu:**

Simulujeme stejný stav jako v předchozí simulaci (kapitola 2.1.3). Rozdíl je pouze v dvojité aretaci otočného křídla a přítomnosti systému sklápění.



1-Otočné křídlo, 2-Boční konzola, 3-Systém aretace, 4-Nástroj, 5-Rám nástroje, 6-Střední konzola, 7-Podpěra s kladkou, 8-Servopohon odkrytovaný.

**Obr. 82. Simulovaný stav MPK analýzy.**












Příprava výpočtového modelu proběhla stejně jako v předchozí analýze. Materiály pro simulaci ocel a hliník byli využity stejně jako u předchozí simulace, přibyl jen nový materiál z knihovny programu SIEMENS NX pro kluzné pouzdro.

Materiál	Označení NX	Youngův modul pružnosti (E)	Poissonovo číslo ( $\mu$ )
Bronz	Bronze	206940 [MPa]	0,34 [1]

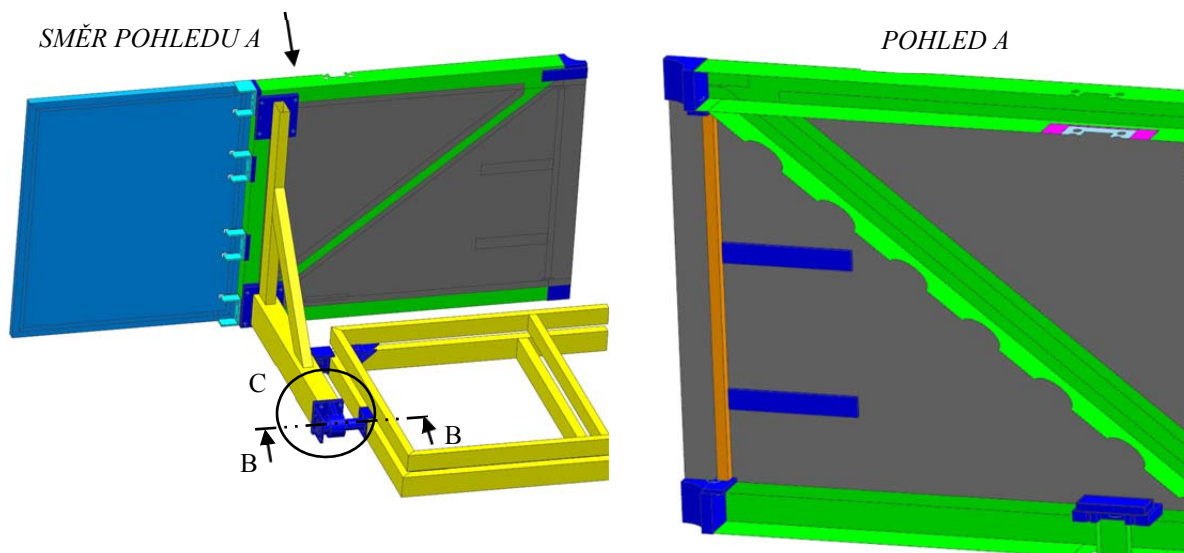
**Tab. 21. Rozdílný materiál použitý pro FEM analýzu.**

#### **Tvorba sítě:**

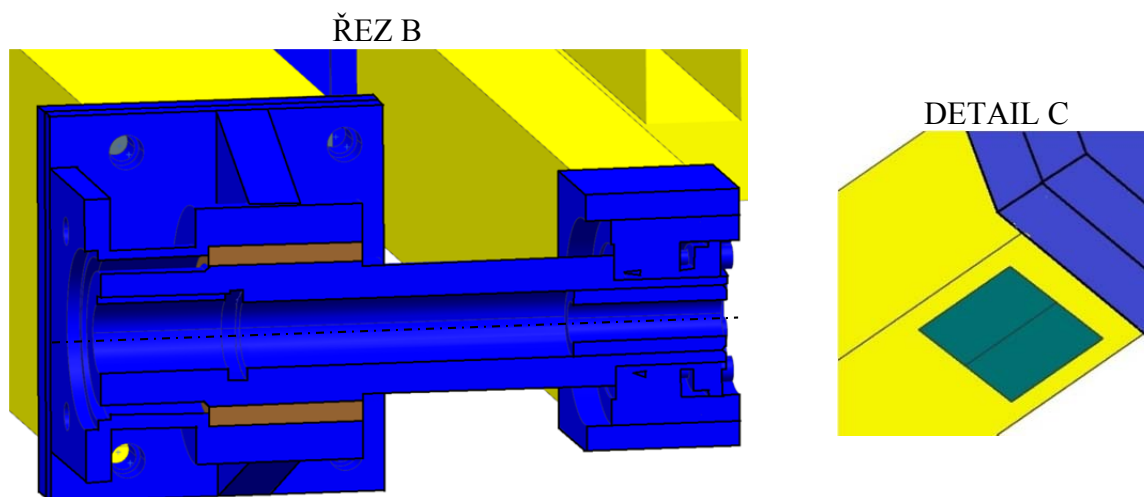
Výpočtový model je opět kombinací plošných (2D) prvků s příslušnou tloušťkou a objemových (3D) prvků. Rozdíl je v simulaci servopohonu. Servopohon je představován bodem (těžištěm), jenž je spojen s ložiskovým domkem rigidními vazbami zakončenými v dírách pro šrouby, přes které je servopohon připevněn k ložiskovému domku. Další rigidní vazba propojuje bod s kruhovou dírou s drážkou pro pero, takto je simulováno spojení otočného čepu se servopohonem (obr.87 poz.8 níže).

3D - solidy		2D - plochy					
Barevné označení / materiál		Barevné označení / Tloušťka v mm / materiál					
	Ocel		2	Ocel		16	Ocel
	Hliník		5	Ocel		36	Ocel
	Bronz		4	Ocel		37	Ocel
			3	Ocel		3	Hliník

Tab. 22. Barevné označení druhů prvků, tloušťky, materiály.



Obr. 83. Struktura výpočtového modelu, 2D a 3D prvky, přiřazené tloušťky - sklopení servopohonem.

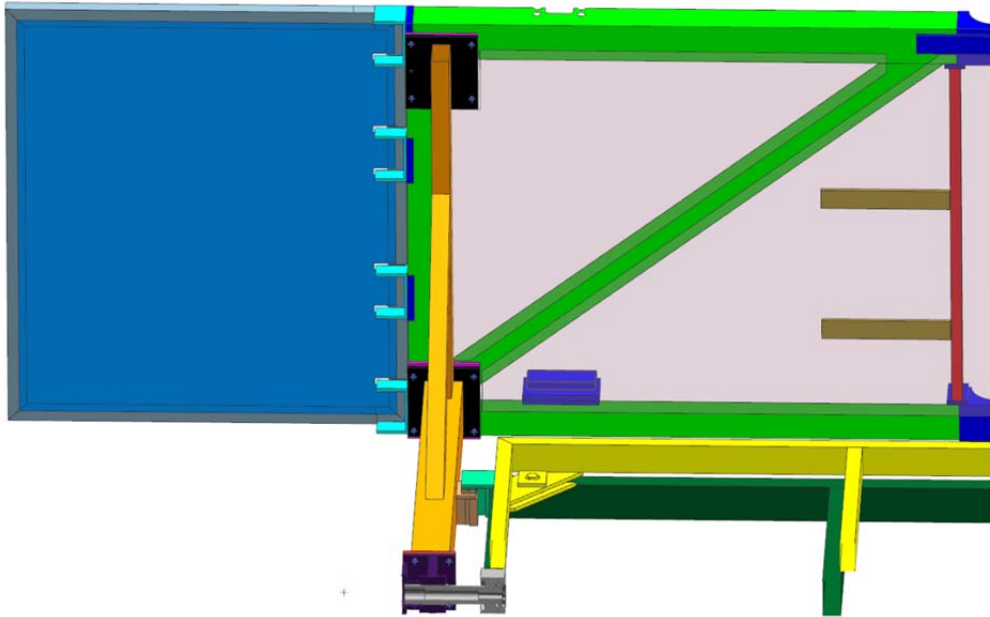


Obr. 84. Detaily struktury výpočtového modelu, 2D a 3D prvky, přiřazené tloušťky - sklopení servopohonem.

### Definice kontaktů:

Oproti předchozímu přibýly v analýze kontakty mezi boční konzolou a ložiskovým domkem, mezi kluzným ložiskem a otočným čepem. Soupis rozdílů kontaktů oproti předchozí simulaci viz. tabulka níže.





Obr. 85. Barevné označení dílů pro znázornění vazeb mezi nimi.

Tabulka vazeb mezi jednotlivými díly – část 1													
X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	X	GHP GPP		GHP	GPP					KPP			
2	GHP GPP	X	GPP		GPP	GPP							
3		GPP	X	GPP		GPP							
4	GHP		GPP	X		GPP							
5	GPP	GPP			X	GHP	KPP						
6		GPP	GPP	GPP	GHP	X							
7					KPP		X				GHP GPP		
8		Legenda: KPP-kontakt plocha na plochu GPP-gluing plocha na plochu GHP-gluing plocha na hranu						X	GPP	GHP			
9								GPP	X	GHP			
10	KPP							GHP	GHP	X			
11								GHP					X

Tab. 23. Tabulka kontaktů část 1.

Tabulka vazeb mezi jednotlivými díly – část 2							
X	11	12	13	14	15	16	17
11	X	GHP					GPP
12	GHP	X	KPP				
13		KPP	X	KPP			
14			KPP	X	GHP		
15				GHP	X	GPP	
16					GPP	X	KPP
17	GPP					KPP	X
18	Tyto elementy mají mezi sebou stejné vazby jako v přechozím případě (viz. tab.5 str.17).						

Tab. 24. Tabulka kontaktů část 2.

### Definice šroubových spojů:

Šrouby jsou simulovány pomocí dvou bodů spojených rigidem s příslušnou plochou a propojených beamem, který má průměr jádra šroubu. Pro spojení bočních částí se střední částí otočného křídla jsou využity šrouby M12, stejně tak i pro spojení ložiskového domku s boční konzolou. Šrouby M10 spojují boční konzolu s otočným křídlem. Průměry šroubů viz tab.7, strana 18.

**Okrajové podmínky:** (viz. obr.30, strana 18)

Opět jsou využity stejné okrajové podmínky jako v předchozí simulaci.

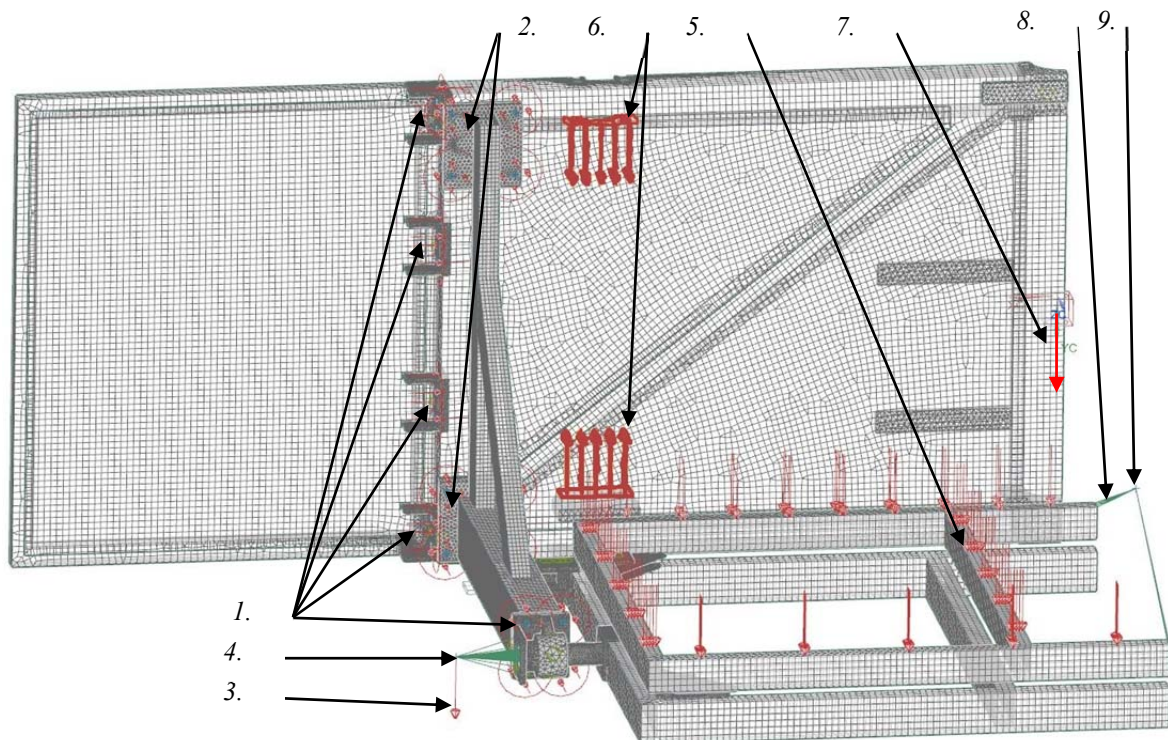
1. Podmínka - Zákaz posuvu v osách X,Y,Z pro dosedací plochy svěrných pouzder, jež spojují otočné křídlo s hřídelí.
2. Podmínka - Zákaz posuvu v ose Z a rotace kolem os X,Y. Takto je definována první rovina symetrie XY.
3. Podmínka - Zákaz posuvu v ose X, zákaz rotace kolem os Y,Z. Takto je definována druhá rovina symetrie YZ.
4. Podmínka - Zákaz posuvu v ose Y. Takto je definováno podepření podpěrou s ocelovou kladkou. Tato okrajová podmínka je umístěna v místě, kde je boční konzola podpírána podpěrou na nastříhnutý region v délce šířky kladky cca 22,2 mm.

**Zatížení:**

K zatěžujícím silám přibyla síla vznikající od hmotnosti servopohonu (11 kg), jež působí v těžišti pohonu. Ostatní zatížení zůstává neměnné.

Zatěžující síly:		
Síla od hmotnosti nástroje:		1400 [N]
Aretační síla:		3016 [N]
Síla od hmotnosti servopohonu:		110 [N]
$F = m \cdot g = 11 \cdot 10 =$		
Předeplinací síla šroubů:	M10	31000 [N]
	M12	45200 [N]

Tab. 25. Zatěžující síly.



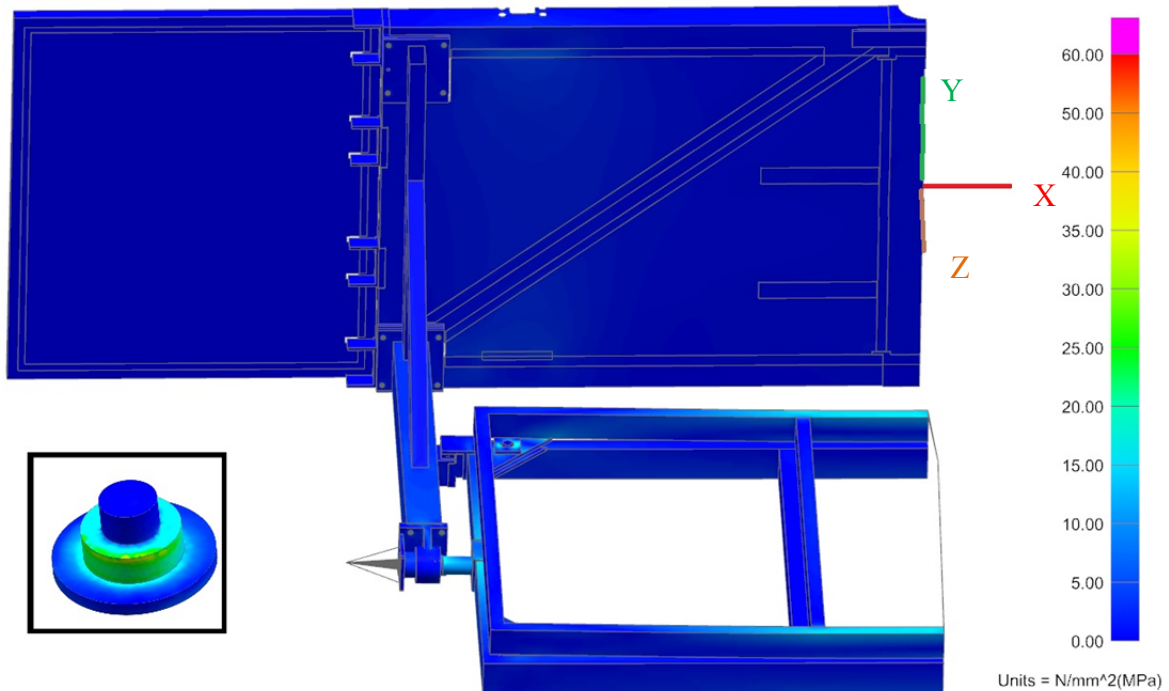
1-Předeplinací síla M12, 1-Předeplinací síla M10, 3-Síla od hmotnosti servopohonu,  
4-Rigidní vazby nahrazující servopohon, 5-Síla od hmotnosti nástroje, 6-Aretační síla,  
7-Gravitační zrychlení, 8-Rigidní vazba k rámu nástroje, 9-Zkoumaný bod A.

Obr. 86. Schéma zatížený simulovaného stavu.

Zkoumaný bod a způsob jeho uchycení je zachován (souřadnice viz.tab.9, strana 20).

### Výsledky napětí:

SKLAPENÍ SERVOPOHONY: REDUKOVANE NAPETI HMH  
Stress - Elemental, Averaged, Von-Mises  
Min : 0.00, Max : 39.48, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)

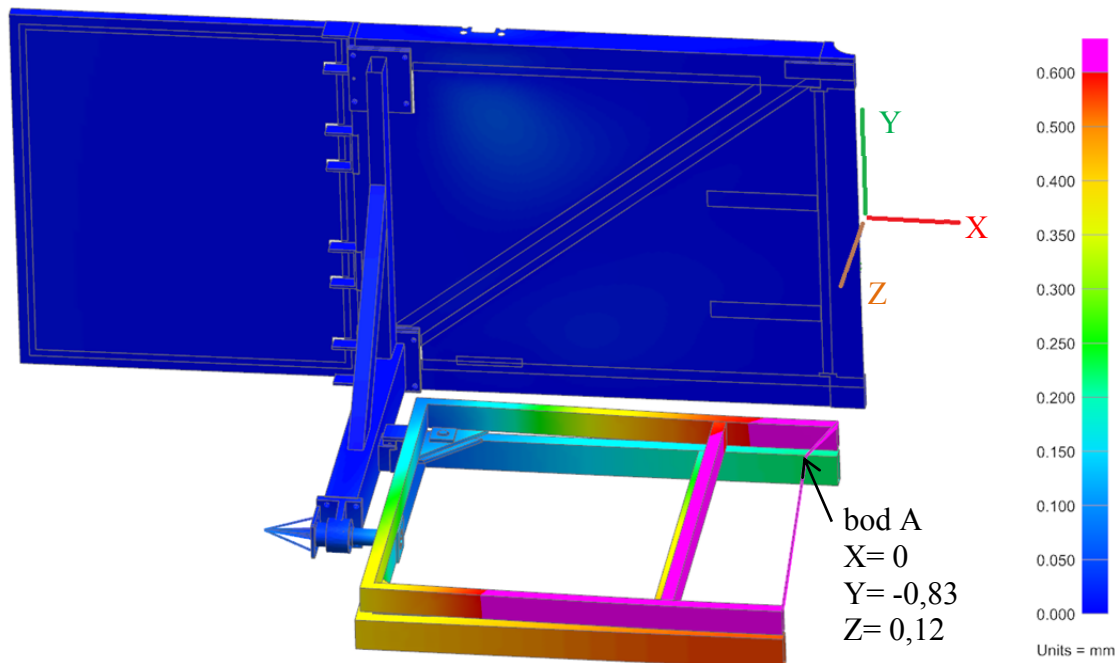


Obr. 87. Velikost a rozložení redukovaného napětí HMH s maximem 39,5 [MPa] – sklápění servopohonem.

Při této simulaci, vzniká špička napětí na pozicovacím čepu jako v předchozích simulacích. Jak už bylo dříve zmíněno, tento čep přenáší celou váhu nástroje na rám stroje a proto je zde špička očekávatelná.

### Výsledky deformace:

SKLAPENÍ SERVOPOHONY: POSUNUTI - ZPRUMEROVANE  
Displacement - Nodal, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 0.991, Units = mm



Obr. 88. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 0,99 [mm] – sklápění servopohonem.

Shrnutí výsledků:

Jednotlivá řešení / Sledovaná veličina	Deformace bodu A [mm]			Hmotnost / úspora		Moment setrvačnosti k ose Y / úspora		Přibližná cena materiálu [Kč]
	X	Y	Z	[kg]	%	[kg/m <sup>2</sup> ]	%	
Stávající řešení (NARETEC)	0	-0,63	0,03	533,5	0	1152	0	13 337,5
Hybridní otočné křídlo + systémem sklápění servopohonem	0	-0,83	0,12	397	25,5	515,5	55,3	22 075

Tab. 26. Shrnutí výsledků analýzy

### Závěr

Výsledky ukázaly, že nová koncepce otočného křídla se střední konzolou, sklápěnou servopohonem, vykazuje podobné hodnoty posunutí bodu ořezové kontury nástroje. Proto je možné říci, že přesnost řezání zůstane zachována a tuhost konstrukce je pro definovaný stav simulace dostatečná (otočné křídlo ve výchozí pozici pro založení polotovaru, a obrábění polotovaru).

## 4. Výkresová dokumentace sestav a vybraných konstrukčních uzlů

Výkresová dokumentace byla zpracována v programu SOLIDWORKS 2013. Byly vybrány součásti varianty řešení sklápění 1: Sestava sklopné střední konzoly, Výrobní a svařovací výkres boční konzoly, Výrobní a svařovací výkres ložiskového domku, Výrobní a svařovací výkres otočného čepu. Jednotlivé výkresy jsou přiloženy v deskách práce.

## 5. Bezpečnost obsluhy

Bezpečnost obsluhy je zajišťována ve dvou zónách, ve kterých platí přísná bezpečnostní opatření:



1-Umístění vstupních dveří kabiny, 2-Mechanické zábrany (Plot), 3-Otočné křídlo, 4-Skener, 5-Pracovní prostor, sledovaný skenerem, 6-Světelný závoj, 7-Ovládací panel stroje, 8-Prostor uzavřený světelným závojem, 9-Ovládání procesu otáčení stroje, 10-Světelná signalizace, 11-Prostor vně kabiny.

Obr. 89. Bezpečnostní zařízení a zóny kabiny. [N]



**Prostor zakládání polotovaru před kabinou:** (Obr.90, pozice 5)

V tomto prostoru dohází ke styku obsluhy se strojem, při zakládání nástroje do stroje a poté polotovaru do nástroje. Přičemž je zde kladen důraz na bezpečnost obsluhy při uvedení stroje do provozu v podobě sklopení střední konzoly stroje či otočení točného křídla do prostoru s roboty. Tento prostor je zajištěn mechanickými a optoelektronickými zábranami.

Mechanické zábrany (2) jsou bezpečnostními ploty, které vymezují pracovní prostor, kdežto optoelektronické zábrany zabezpečují vstup do pracovního prostoru.

První optoelektronickou zábranou je skener (4), který skenuje pracovní oblast (5). Tento skener je naprogramován programem, přesně vytvořeným pro daný stroj. Po založení dílu do nástroje musí obsluha opustit pracovní prostor a ovládacím tlačítkem (9) procesu otáčení střední konzoly (a zároveň sklopení) (obr.93) uvést stroj do pohybu (9). Otočné křídlo (3) se otočí (v případě, že je sůl vybaven sklápěcím systémem, je v tomto kroku zahrnuto sklopení střední konzoly do výchozí horizontální polohy před otočením otočného křídla), po otočení se v pracovním prostoru ocitne druhá strana otočného křídla se střední konzolou (v případě sklápěcího stolu dojde po otočení, ke sklopení střední konzoly směrem k obsluze), teprve nyní je umožněn vstup obsluze do pracovního prostoru. V případě narušení kontrolovaného pole nelze stroj uvést do provozu, a v případě narušení pole v průběhu otáčení je stroj automaticky vypnut.

Druhou optoelektronickou zábranou je světelný závěs / závora (6) s přijímačem, umístěný na konce mechanických zábran, čímž zajistíme uzavření pracovního prostoru. I zde platí, že při uvedení stroje do provozu nesmí do závoje nic zasahovat.



Obr. 90. Optoelektronický skener značky SICK.  
[N]



Obr. 91. Světelný závoj značky SICK. [N]

Dalším bezpečnostním opatřením je světelná signalizace umístěná na mechanické zábraně (10). Zelená barva slouží k označení stavu, kdy je možno spustit pracovní proces a červená pro stav narušení pracovního prostoru, servisový stav a stav poruchy. Stroj je také vybaven bezpečnostními tlačítky umístěnými na různých místech stroje.

V případě že je stroj vybaven sklápěním střední konzoly je nutné zabezpečit zejména ochranu obsluhy proti rozdrčení nohy sklopenou střední konzolou v případě poruchy stroje. To je splněno způsobem konstrukce střední konzoly tak aby dodržela doporučenou vzdálenost hrany střední konzoly od podlahy, udávanou normou ČSN EN ISO 13857 – Bezpečnost strojních zařízení.

**Zóna uvnitř kabiny stroje: (Obr.90, pozice 11)**

Zde je nutno zabránit přístupu do kabiny pro jakékoliv osoby v průběhu používání stroje. Přístup je umožněn pouze v servisním režimu stroje. Přístupu zabráňují jediné přístupové dveře kabiny (obr.92), jenž jsou zajištěny zámkem (obr.91, pozice 1). Za chodu stroje je zámek uzamčen a dveře není možné otevřít, díky čemuž je zabráněno nepovolenému vstupu do prostoru s roboty. Přístup je umožněn pouze v případě potřeby servisu kabiny či robotů. Obsluha přepne ovládací panelem stroj do servisního režimu. Zámek dveří je napojen na systémy kabiny a při odemčení automaticky vypne přívody energie a pracovních médií do strojů, stroj je tak úplně deaktivován a v provozu zůstane pouze osvětlení vně kabiny. Za dveřmi je vypouštěcí jednotka (obr.94), která v případě otevření dveří vypustí natlakovanou vodu z řezacího okruhu do odpadu, čímž je zajištěno, že při servisu robotů tlaková voda nezpůsobí servisnímu technikovi žádnou újmu. Po provedení servisu jsou dveře zavřeny a na ovládacím panelu je potvrzeno, že servisní režim je u konce a dveře jsou opět uzamčeny. Potvrzením dojde uvedení stroje do provozu.



1-Zámek dveří, 2-Prostor s roboty.

**Obr. 92. Vstupní dveře kabiny. [N]**



**Obr. 93. Ovládání pracovního procesu stroje (otáčení / sklápění). [N]**



**Obr. 94. Bezpečnostní ventil umístěný za dveřmi v prostoru s roboty.**



## 6. Komplexní zhodnocení práce

### 6.1 Hodnocení konkurenceschopnosti

Abychom dokázali říci, zda mohou být vybrané varianty úspěšné na trhu je potřeba nalézt konkurenční řešení a porovnat ho s vybranými variantami. Jako konkurenční výrobce byl vybrán jeden z největších výrobců waterjetových zařízení firma KMT RoboticSolutions AB.

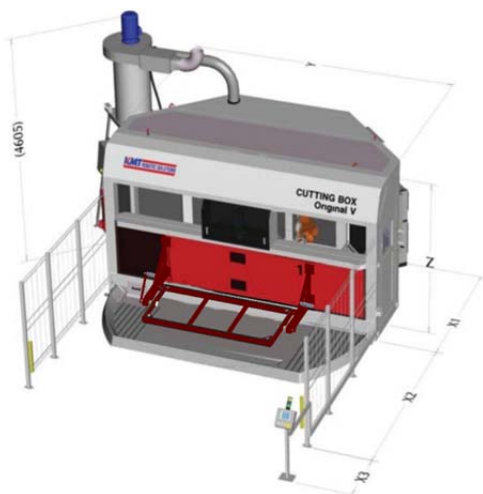
Zhodnocení je založené na systému požadavků na konstrukci s přiřazenou váhou důležitosti (od 0-4, kde 4 je nejdůležitější). U jednotlivých variant ohodnotíme kritéria opět bodováním od 0 do 4. Tyto kritéria pro násobíme váhou a následně sečteme. Tyto hodnoty jsou dále rozděleny dle životního cyklu technického systému, pro nás je to životní cyklus navrženého zařízení. Výsledné hodnoty porovnáme s ideálním řešením, které má všechny kritéria ohodnocena čtyřkou. Na výstupních grafech vidíme jak se jednotlivé varianty ne/přiblížily ideálnímu řešení a můžeme je tak mezi sebou porovnat.

**Kritéria jsou rozdělena do skupin vlastností technického systému:**

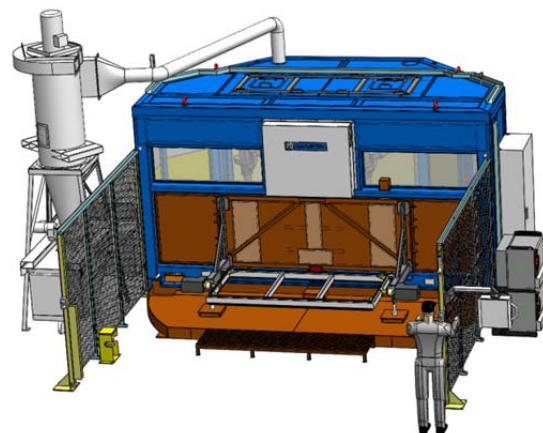
- *Reaktivní vlastnosti* – v této skupině jsou kritéria vyjadřující reakce a odezvy na vstupní veličiny.
- *Reflektivní vlastnosti* – vyjadřují vnější požadavky ostatních technických systémů.
- *Deskriptivní vlastnosti* – vyjadřují charakteristiky technického systému.

**Srovnávané varianty:**

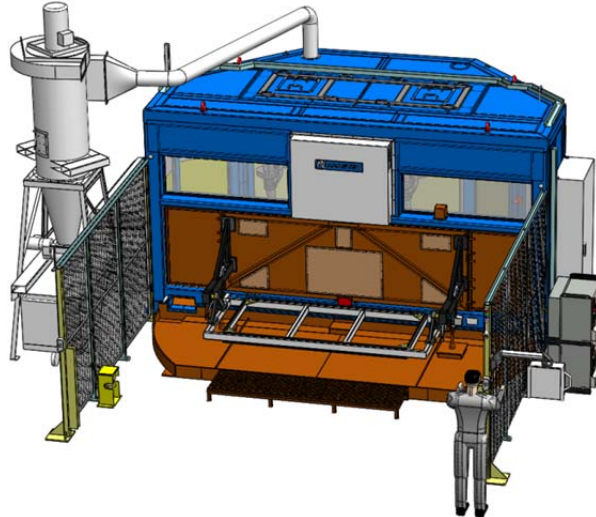
1. *KMT Cutting box Original V s přidáním systémem sklápění pneumatickým pohonem*  
Produkt firmy KMT s otočným stolem a systémem sklápění střední konzoly pomocí páky ovládané pneumatickým pohonem. Princip viz. obr.58, strana 35.
2. *Nareteccutting box se systémem sklápění pomocí servopohonů*  
Optimalizovaná struktura waterjet kabiny firmy NARETEC doplněná o systém sklápění střední konzoly pomocí servopohonů. Princip viz. obr.60, strana 35.
3. *Nareteccutting box se systémem sklápění pomocí pneumatického pohonu*  
Optimalizovaná struktura waterjet kabiny firmy NARETEC doplněná o systém sklápění střední konzoly pomocí páky ovládané pneumatickým pohonem ukrytým vně boční konzoly. Princip viz. obr.59, strana 35.



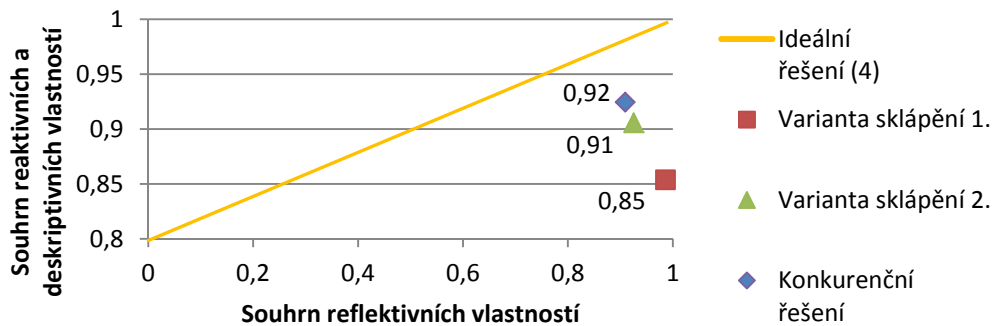
Obr. 95. Produkt značky KMT RoboticSolutions AB – Cutting box original V.[11]



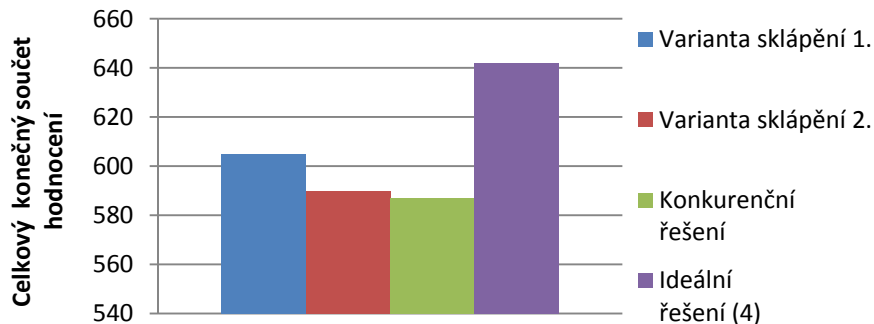
Obr. 96. Kabina NARETEC s implementovaným systémem sklápění varianta 1.



Obr. 97. Kabina NARETEC s implementovaným systémem sklápění varianta 2.



Obr. 98. Graf výsledků srovnání reaktivních, deskriptivních a reflektivních vlastností.



Obr. 99. Graf výsledků srovnání konkurenceschopnosti.

### Zhodnocení:

Z grafů srovnání vlastností a konkurenceschopnosti je vidět, že obě varianty jsou schopny konkurovat konkurenčnímu řešení. V grafu srovnání konkurenceschopnosti si vedly navrhované varianty lépe, než konkurenční varianta. Toto zhodnocení je pouze orientační a slouží pro zjištění plnění daných kritérií zákazníkem.

V reflektivních kritériích, vyjadřující plnění vnějších požadavků si vedla nejlépe varianta 1, která dosáhla hodnocení téměř ideálního řešení (koeficient = 1). Reaktivní kritéria, vyjadřující reakce na vstupní veličiny a konstrukční požadavky, plnili obě zvolené varianty stejně, konkurenční varianta mírně zaostávala. Poslední kritériální hodnocení deskriptivních vlastností, vyjadřujících charakteristiky variant a požadavky na cenové vlastnosti, ukázalo že, nejlépe hodnocenou je varianta konkurenční a navrhovaná varianta 1. Tento výsledek ovlivnili nejvíce pořizovací náklady, které jsou u poslední varianty 1 nejvyšší. Souhrn jednotlivých kritérií naznačuje graf (Obr.99).

## 6.2 Ekonomické hodnocení

Pro vyvození závěrů z hlediska ekonomičnosti vybraných řešení, je třeba provést předběžnou kalkulaci nákladů na kalkulačním jedinci, jenž ukáže vlastní náklady na výrobu zařízení firmy NARETEC s.r.o. Kalkulační jednicí je výroba jedné optimalizované struktury kabiny s implementací systému sklápění střední konzoly. Pod tím je nutno si představit náklady na výrobu otočného křídla se sklopnou střední konzolou, náklady na úpravy kabiny, náklady na koupi optimalizovaného pohonu otočného křídla, náklady CAD a CAM konstrukce. Ceny jednotlivých operací a materiálu byly dodány oddělením nákupu firmy NARETEC. Důležité komponenty jednotlivých variant byly poptány u výrobců. Poptávky s cenami jsou přiloženy v příloze č.3.

### *Vlastní náklady na výrobu jednoho kusu systému sklápění*

<b>Varianta 1 - Sklápění servopohonem</b>				
Materiálové náklady	Materiál	[kg]	[Kč/kg]	Náklady [Kč]
Svařenec - otočné křídlo	ocel	342	25	8550
	Al	55	230	12650
Příslušenství otočné křídlo	ocel	108	25	2700
Boční konzoly	ocel	80	25	2000
Ložiskový domek	ocel	14,4	25	360
Otočný čep	ocel	7,6	25	190
Střední konzola	ocel	111	25	2775
		[ks]	[Kč/ks]	Náklady [Kč]
Nakupované komponenty				5000
Spojovací materiál				2000
Servopohon		4	60854	243416
Aretace				2000
Pohon otočného křídla		1		128653
<i>Součet materiálových nákladů</i>				410 294 Kč
Náklady CAD/CAM		čas [h]	[Kč/h]	Náklady [Kč]
3D konstrukce		50	1050	52500
NC programování		12	1000	12000
3D frézování		10	1450	14500
2D frézování		24	910	21840
Montáž, zámečnické práce		60	500	30000
3D měření, kontrola		4	1000	4000
Lakovna		24	750	18000
Dokumentace		24	600	14400
<i>Součet konstrukčních a výrobních nákladů</i>				167 240 Kč
<b>Celkové náklady</b>				<b>577 534 Kč</b>

Tab. 27. Náklady na optimalizaci struktury a implementaci systému sklápění - varianta 1.

<b>Varianta 2 - Sklápění pneumatickým válcem</b>				
Materiálové náklady	Materiál	[kg]	[Kč/kg]	Náklady [Kč]
Svařenec - otočné křídlo	ocel	342	25	8550
	Al	55	230	12650
Příslušenství otočné křídlo	ocel	108	25	2700
Boční konzoly	ocel	80	25	2000
Otočný čep	ocel	7,6	25	190
Střední konzola	ocel	111	25	2775
		[ks]	[Kč/ks]	Náklady [Kč]
Nakupované komponenty				5000
Spojovací materiál				2200
Pneumatický válec sklápění		4	13233	52931
Pneumatický válec aretace		4	1692	6767
Kloubová hlavice		4	664	2656
Ložiskový domek		4	1188,5	4754
Pohon otočného křídla		1		150502,5
<i>Součet materiálových nákladů</i>				253 676 Kč
Náklady CAD/CAM		čas [h]	[Kč/h]	Náklady [Kč]
3D konstrukce		55	1050	57750
NC programování		18	1000	18000
3D frézování		15	1450	21750
2D frézování		35	910	31850
Montáž, zámečnické práce		82	500	41000
3D měření, kontrola		6	1000	6000
Lakovna		26	750	19500
Dokumentace		26	600	15600
<i>Součet konstrukčních a výrobních nákladů</i>				211 450 Kč
<b>Celkové náklady</b>				<b>465 126 Kč</b>

Tab. 28. Náklady na optimalizaci struktury a implementaci systému sklápění – varianta 2.

**Vyhodnocení:**

Vyčíslení nákladů na optimalizaci kabiny a implementaci systému sklápění, ukázalo rozdíl 112 000 Kč mezi jednotlivými variantami (cca 20% nákladů), přičemž pouze varianta 1 splnila požadavek zákazníka na ušetření nákladů na pohon otočného křídla minimálně o 15%. Varianta 2 sice vykazuje nižší materiálové náklady z důvodu nižší nákupní ceny pohonu sklápění, ale u této varianty jsou vyšší náklady na obrábění, a složitější montáž.

## 7. Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo optimalizovat pohon otočného křídla a navrhnout systém sklápění střední konzoly. Tento cíl ještě podléhal doplňkovým podmínkám a požadavkům zadaných zákazníkem.

Optimalizace pohonu byla pojata jako vylehčení celkové konstrukce otočného křídla. Úkolem bylo co největší snížení hmotnosti a momentu setrvačnosti, které by alespoň vyrovnalo přidanou hmotnost a moment setrvačnosti systému sklápění střední konzoly. Dále bylo potřeba zachovat dostatečnou tuhost konstrukce, aby nedocházelo k přílišnému prohnutí střední konzoly, protože to má přímý vliv na přesnost řezání stroje.

Odlehčení bylo zpracováno ve třech variantách, přičemž pro každou variantu, včetně stávajícího řešení, byla zpracována FEM analýza tuhosti konstrukce. Tato analýza byla vztažena na posunutí vybraného bodu ořezové kontury nástroje, což přímo ukazuje nepřesnosti vlivem nedostatečné tuhosti konstrukce. Výsledky FEM analýzy byly porovnány s ohledem na přibližnou cenu materiálu. Toto porovnání přineslo důkazy o hmotnostních a setrvačnostních rezervách stávajícího řešení a pomohlo vybrat variantu pro další rozpracování. Vybraná varianta hybridní zónové konstrukce z ocelových a hliníkových profilů přinesla vysoké úspory hmotnosti i momentu setrvačnosti a byla zpracována pro obě vybrané varianty systému sklápění.

Dalším výše zmíněným cílem práce, bylo navržení systému sklápění střední konzoly. Bylo předloženo mnoho koncepčních návrhů a možností sklápění, z nichž byly vybrány dva finální koncepty pro další rozpracování. První z variant sklápí střední konzolu v její ose těžiště, pomocí dvou elektro-servopohonů. Druhá varianta sklápí střední konzolu nad její osou těžiště, pomocí páky ovládané pneumatickým pohonem. Druhá varianta má výrazně nižší pořizovací náklady pohonu sklápění než varianta první, ale je zase konstrukčně a montážně značně náročnější. Obě varianty mají svoje klady i zápory, ale je nutné podotknout, že u obou variant se podařilo téměř nenavýšit hmotnost a dokonce uspořit moment setrvačnosti oproti stávajícímu řešení kde systém sklápění nebyl. Obě varianty přinesly drobné změny v konstrukci kabiny a pro obě varianty byl poptán pohon otočného křídla. Vyhodnocení poptávky ukázalo, že obě varianty sklápění s vybranou variantou odlehčení otočného křídla, přinášejí úsporu nákladů na pohon otočného křídla proti stávajícímu řešení. Avšak pouze varianta sklápění se servopohony dokázala splnit hlavní cíl stanovený zákazníkem, a to úsporu nákladů na pohon otočného křídla minimálně o 15%. Tato varianta dokonce tento cíl ještě o 6% překonala.

S ohledem na výsledky optimalizace pohonu, byla zpracována MKP analýza tuhosti pouze jedné vybrané varianty, a to varianty sklápění servopohonem. Analýza ukázala srovnatelné výsledky posunutí zvoleného bodu ořezové kontury nástroje se stávajícím řešením, což ukazuje na dostatečnou tuhost konstrukce vybrané varianty. Pro tuto variantu byla zpracovaná požadovaná výkresová dokumentace.

Práce obsahuje rovněž hodnocení konkurenceschopnosti vybraných variant řešení s výsledky prokazujícími dostatečnou konkurenceschopnost obou variant.

Další částí práce je kalkulace nákladů spojených s implementací obou variant do stávající kabiny NARETEC. Tyto vstupní náklady jednotlivých variant optimalizace jsou rozdílné o 112 tisíc korun (cca 20%), přičemž varianta sklápění splňující podmínku zákazníka na úsporu nákladů na pohon otočného křídla, je tou dražší variantou. Přesto musím doporučit zadavateli práce právě tuto variantu, protože jsem přesvědčen, že i přes vysokou cenu servopohonů, přináší dostatečně nekonvenční řešení s velkým množstvím výhod plynoucích z této koncepce a také jako jediná splnila stanovený cíl zákazníka - úsporu nákladů na pohon otočného křídla minimálně o 15%.



**PŘÍLOHA č. 1**

**PŘÍLOHA č.1 DIPLOMOVÉ PRÁCE - Technické požadavky na  
konstrukci**

Požadované reflektivní vlastnosti TS a jejich měřitelné indikátory k provozní etapě životního cyklu (LC)	Požad. hodnota a příp. tolerance	Váha 0-4
<b>1. Pož. k transformačním funkcím/účinkům TS v LC:</b>		
<b>1.1 Operátor TS - Systém sklápění stolu WJ kabiny</b>		
• Provozní parametry		
- Hmotnost zařízení	co nejnižší	3
- Moment setrvačnosti	co nejnižší	4
- Výška zakládaného nástroje	max. 980mm	4
• Naklápění stolu	0-50°	3
• Možnost založení rámu KMT	KMT TYP IV.	4
• Otočné křídlo - zachování konceptu	Střední otočný hřídel	4
• Aretace stolu	ANO	4
• Snížení ceny pohonu otočného křídla	min. o 15%	4
<b>1.2 Operand - Nástroj pro obrábění vodním paprskem</b>		
• Zakládání nástroje do kabiny	jeřáb / ještěrka	2
• Max. hmotnost nástroje	300 kg	3
<b>1.3 Proces - Založení polotovaru do nástroje obsluhou,</b>		
• Naklopení nástroje k obsluze, návrat do výchozí polohy	automatické, plynulé	3
• Zajištění bezpečnosti obsluhy	ANO	4
• Otočení křídla do pracovního prostoru	pouze o 180° na jednu stranu	4
<b>2. Požadavky k provozuschopnosti TS v LC:</b>		
<b>2.1 Prostředí</b>		
• Provozní	Mokrý	3
• Podkladová podlaha	Vodorovná betonová podlaha	4
<b>2.1 časový interval procesu</b>		
• Sklopení stolu	max 30 s	3
• Otočení křídla do pracovního prostoru	max 1,5 min	3
<b>2.2 Servis operátoru</b>		
• Údržba	minimální	3
• Provozní náklady	optimální	3
• Životnost	5 let	4
• Spolehlivost	maximální	4
<b>3. Pož. k člověku TS v LC:</b>		
<b>3.1 Bezpečnost (B), Ergonomie (E)</b>		
• E založení polotovaru do nástroje	vysoká	4
• B obsluhy	vysoká, (IP67)	4
• E ovládání	střední	2
• E pohybu robotů	Vysoká	4
<b>3.2 Estetičnost</b>		
• tvarový design	funkční	2

Požadované reflektivní vlastnosti TS a jejich měřitelné indikátory k provozní etapě životního cyklu (LC)	Požadovaná hodnota a příp. tolerance	Váha 0-4
<b>4. Požadavky k ostatním TS/prostředkům v LC:</b>		
• Náročnost výroby, distribuce a likvidace	středně náročná	3
• Typ výroby	kusová	3
<b>5. Požadavky k materiálovému a energetickému okolí v LC:</b>		
• Ekologické materiály	výhradně	3
• Ekologická likvidace	výhradně	3
<b>6. Požadavky k informačním systémům v LC:</b>		
• Náročnost výrobní dokumentace	Vysoká	3
• Náročnost montážní dokumentace	Vysoká	3
• Náročnost manuálů	standartní	3
<b>Požadované reaktivní vlastnosti TS a jejich měřitelné indikátory</b>		
<b>7. Pož. Na obecné konstrukční vlastnosti:</b>		
• Odolnost funkčních částí proti opotřebení	vysoká	4
• Odolnost funkčních částí proti vlhkosti	nátěr proti korozi, (IP67)	4
• Mechanismus sklápění	Jednoduchý	4
• Nekonvenční řešení sklápění	ANO	4
• Kompatibilita konstrukce se stávající kabinou WOK NARETEC	vysoká	4
• Tlak v pneu. Systému	6 bar	4
• Napájecí soustava	400 V	4
<b>Požadované deskriptivní vlastnosti TS a jejich měřitelné indikátory</b>		
<b>8. Pož. na elementární konstrukční vlastnosti:</b>		
• Ovládací prvky	standartizované	2
• Spojovací prvky	standartizované	2
• Řídicí systém	kompatibilní s řídicím systémem WOC	3
<b>9. Pož. na konstrukční vlastnosti:</b>		
<b>9.1 Funkční princip</b>		
• Ovládání sklápění stolu	Automatické	3
• Pohon sklápění	Mechanický, elektronický	3
<b>10. Pož. na cenové vlastnosti TS:</b>		
• Materiálové náklady	Nízké	4
• Výrobní náklady	Nízké	4
• Náklady na změny v konstrukci Kabiny	Nízké	4

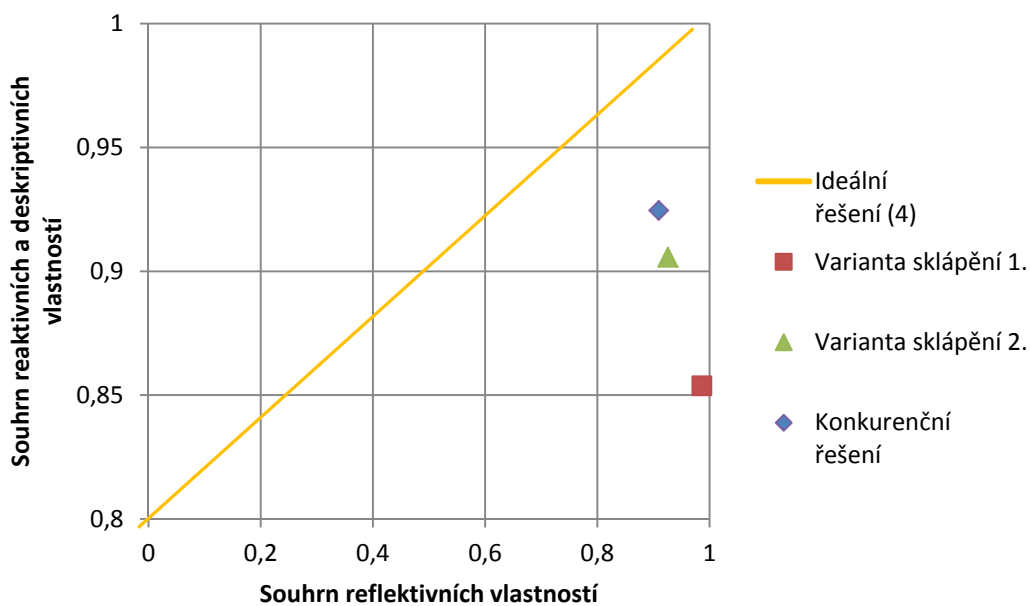
**PŘÍLOHA č. 2**

**PŘÍLOHA č.2 DIPLOMOVÉ PRÁCE -Hodnocení  
konkurenceschopnosti variant**

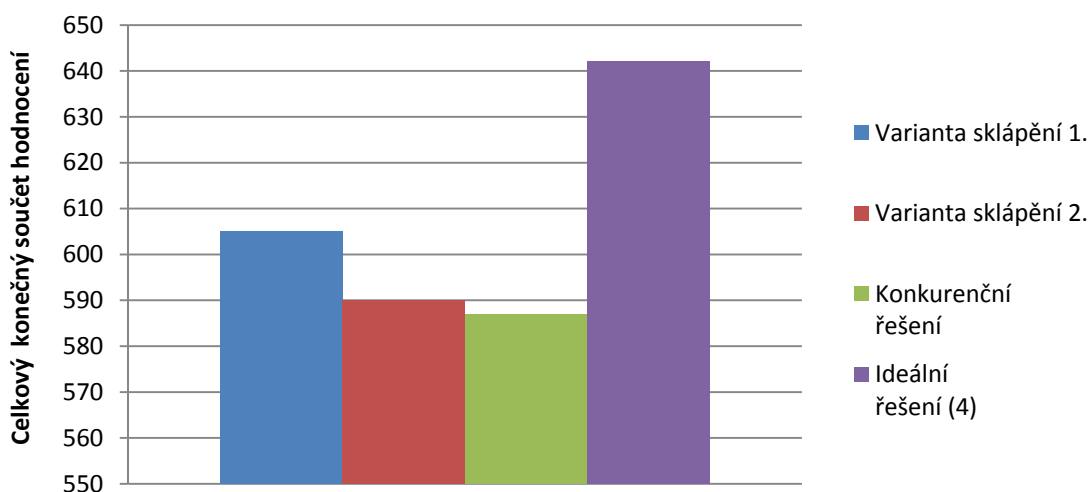
Požadované reflektivní vlastnosti TS a jejich měřitelné indikátory k provozní etapě životního cyklu (LC)	Požad. hodnota a příp. tolerance	Váha 0-4	Varianta sklápění 1.		Varianta sklápění 2.		Konkurenční řešení		Ideální řešení (4)	
			hodn.	celk.	hodn.	celk.	hodn.	celk.	hodn.	celk.
<b>1. Pož. k transf. funkcím/účinkům TS v LC:</b>			hodn.	celk.	hodn.	celk.	hodn.	celk.	hodn.	celk.
<b>1.1 Operátor TS - Systém sklápění stolu WJ kabiny</b>										
Provozní parametry										
- Hmotnost zařízení	co nejnižší	3	4	12	2	6	1	3	4	12
- Moment setrvačnosti	co nejnižší	4	4	16	3	12	1	4	4	16
- Výška zakládaného nástroje	max. 980mm	4	4	16	4	16	3	12	4	16
• Naklápění stolu	0-50°	3	4	12	4	12	3	9	4	12
• Možnost založení rámu KMT	KMT Original IV.	4	4	16	4	16	4	16	4	16
• Otočné křídlo zachování konceptu	Střední otočný hřídel	4	4	16	4	16	4	16	4	16
• Aretace stolu	ANO	4	4	16	3	12	3	12	4	16
• Snížení ceny pohonu otoč. křídla	min. o 15%	3	4	12	2	6	3	9	2	6
<b>1.2 Operand - Nástroj pro obrábění vodním paprskem</b>										
• Zakládání nástroje do kabiny	jeřáb / ještěrka	2	4	8	4	8	4	8	4	8
• max. hmotnost nástroje	300 kg	3	4	12	4	12	4	12	4	12
<b>1.3 Proces - Založení polotovaru do nástroje obsluhou, sklopení stolu s nástrojem</b>										
• Naklopení nástroje k obsluze, návrat do výchozí polohy	automatické, plynulé	3	4	12	4	12	4	12	4	12
• Zajištění bezpečnosti obsluhy	ANO	4	4	16	4	16	4	16	4	16
• Otočení křídla do pracovního prostoru	pouze o 180° na jednu stranu	4	4	16	4	16	4	16	4	16
<b>2. Požadavky k provozuschopnosti TS v LC:</b>										
<b>2.1 Prostředí</b>										
• Provozní	Mokrý	3	4	12	4	12	4	12	4	12
• Podkladová podlaha	Vodorovná betonová podlaha	4	4	16	4	16	4	16	4	16
<b>2.1 časový interval procesu</b>										
• Sklopení stolu	max 30 s	3	4	12	3	9	4	12	4	12
• Otočení křídla do prac. prostoru	max 5 min	3	4	12	4	12	4	12	4	12
<b>2.2 Servis operátoru</b>										
• Údržba	minimální	3	4	12	3	9	4	12	4	12
• Provozní náklady	optimální	3	4	12	3	9	4	12	4	12
• Životnost	5 let	4	4	16	4	16	4	16	4	16
• Spolehlivost	maximální	4	3	12	4	16	4	16	4	16
<b>3. Pož. k člověku TS v LC:</b>										
<b>3.1 Bezpečnost (B), Ergonomie (E)</b>										
• E založení pol. do nástroje	vysoká	4	4	16	4	16	4	16	4	16
• B obsluhy	vysoká, (IP67)	4	4	16	4	16	4	16	4	16
• E ovládání	střední	2	4	8	4	8	4	8	4	8
• E pohybu robotů	vysoká	4	4	16	4	16	3	12	4	16
<b>3.2 Estetičnost</b>										
• Tvarový design	funkční	3	4	12	3	9	3	9	4	12
<b>Celkové normové hodnocení / celkový součet hodnocení</b>			<b>1,01</b>	<b>352</b>	<b>0,93</b>	<b>324</b>	<b>0,90</b>	<b>314</b>		<b>350</b>



Požadované reflektivní vlastnosti TS a jejich měřitelné indikátory k provozní etapě životního cyklu (LC)	Požadovaná hodnota a příp. tolerance	Váha 0-4	Varianta sklápění 1.		Varianta sklápění 2.		Konkurenční řešení		Ideální řešení (4)	
			hodn.	celk.	hodn.	celk.	hodn.	celk.	hodn.	celk.
<b>4. Požadavky k ostatním TS/prostředkům v LC:</b>			hodn.	celk.	hodn.	celk.	hodn.	celk.	hodn.	celk.
• Náročnost výroby, distribuce a likvidace	středně náročná	2	3	6	4	8	4	8	4	8
• Typ výroby	kusová	3	4	12	4	12	4	12	4	12
<b>5. Požadavky k materiálovému a energetickému okolí v LC:</b>										
• Ekologické materiály	výhradně	3	3	9	4	12	4	12	4	12
• Ekologická likvidace	výhradně	3	3	9	4	12	4	12	4	12
<b>6. Požadavky k informačním systémům v LC:</b>										
• Náročnost výrobní dokumentace	vysoká	3	4	12	4	12	4	12	4	12
• Náročnost montáž. dokumentace	vysoká	3	4	12	3	9	4	12	4	12
• Náročnost manuálů	standartní	3	4	12	3	9	3	9	4	12
Celkové normové hodnocení / celkový součet hodocení			0,90	72	0,93	74	27	77		80
Souhrn reflektivních vlastností			0,99	424	0,93	398	0,91	391		430
<b>Požadované reaktivní vlastnosti TS a jejich měřitelné indikátory</b>										
<b>7. Pož. Na obecné konstrukční vlastnosti:</b>										
• Odolnost funkčních částí proti opotřebení	vysoká	4	3	12	4	16	4	16	4	16
• Odolnost funkčních částí proti vlhkosti	nátěr proti korozi, (IP67)	4	3	12	4	16	4	16	4	16
• Mechanismus sklápění	Jednoduchý	4	4	16	3	12	4	16	4	16
• Nekonvenční řešení sklápění	ANO	4	4	16	3	12	2	8	4	16
• Kompatibilita konstrukce s kabinou NARETEC	vysoká	4	4	16	4	16	3	12	4	16
• Tlak v pneu. Systému	6 bar	4	4	16	4	16	4	16	4	16
• Napájecí soustava	400VAC/50H	4	4	16	4	16	4	16	4	16
Celkové normové hodnocení / celkový součet hodocení			0,93	104	0,93	104	0,89	100		112
<b>Požadované deskriptivní vlastnosti TS a jejich měřitelné indikátory</b>										
<b>8. Pož. na elementární konstrukční vlastnosti:</b>										
• Ovládací prvky	standartizované	2	2	4	4	8	4	8	4	8
• Spojovací prvky	standartizované	2	4	8	4	8	4	8	4	8
• Řídicí systém kompatibilní	s řídicím systémem WOC	3	3	9	4	12	4	12	4	12
<b>9. Pož. na konstrukční vlastnosti:</b>										
• Ovládání sklápění stolu	Automatické	3	4	12	4	12	4	12	4	12
• Pohon sklápění	Mechanický, elektronický	3	4	12	4	12	4	12	4	12
<b>10. Pož. na cenové vlastnosti TS:</b>										
• Materiálové náklady	Nízké	4	1	4	3	12	4	16	4	16
• Výrobní náklady	Nízké	4	3	12	2	8	4	16	4	16
• Náklady na změny v konstrukci kabiny	Nízké	4	4	16	4	16	3	12	4	16
Celkové normové hodnocení / celkový součet hodocení			0,77	77	0,88	88	0,96	96		100
Souhrn reaktivních a deskriptivních vlastností			0,85	181	0,91	192	0,92	196		212
pořadí / Celkový konečný součet hodocení			1	605	2	590	3	587		642



Graf výsledků srovnání reaktivních, deskriptivních a reflektivních vlastností



Graf výsledků srovnání konkurenceschopnosti.

**PŘÍLOHA č. 3**

**PŘÍLOHA č.3 DIPLOMOVÉ PRÁCE –Použité dokumenty,  
Specifikace, Nabídky**

## 7 Pokyny pro navrhování a montáž upevňovacích prvků

Aby bylo zajištěno, že závitové upevňovací prvky budou plnit svou funkci a nedojde k jejich uvolnění nebo selhání, je třeba upevňovací prvky i metodu montáže pro každou individuální aplikaci pečlivě vybrat.

Níže uvedené informace jsou založeny na směrnici VDI 2230:2003 „Systematický výpočet pro vysoce namáhané šroubové spoje“. V závislosti na konkrétní montážní situaci může být nutné prošetřovat další konstrukční a montážní pokyny.

### 7.1 Tabulky utahovacích momentů pro ocelové šroubové spoje

#### 7.1.1 Montážní předpětí / utahovací momenty - hrubé stoupání závitu

Níže uvedená tabulka platí pro šrouby s dráčkem s metrickým závitem dle ISO 262, rozměry hlav šestihřanných šroubů podle normy ISO 4014 – 4018, šroubů s vnitřním šestihřanem (šesticípým vybráním) dle normy ISO 4762, a díry se „střední“ vůlí podle normy EN 20273.

Doporučení pro utahovací momenty jiných výrobků lišících se od výše uvedených norem a podmínek nelze čerpat z této tabulky, jsou však k dispozici na požádání.

Jmenovitý průměr	Třída pevnosti	Montážní předpětí v N pro $\mu_G =$								Utahovací momenty $M_A$ v Nm pro $\mu_K = \mu_G =$							
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24		
M 4	8.8	4 600	4 500	4 400	4 300	4 200	3 900	3 700	2,3	2,6	3,0	3,3	3,6	4,1	4,5		
	10.9	6 800	6 700	6 500	6 300	6 100	5 700	5 400	3,3	3,9	4,6	4,8	5,3	6,0	6,6		
	12.9	8 000	7 800	7 600	7 400	7 100	6 700	6 300	3,9	4,5	5,1	5,6	6,2	7,0	7,8		
M 5	8.8	7 600	7 400	7 200	7 000	6 800	6 400	6 000	4,4	5,2	5,9	6,5	7,1	8,1	9,0		
	10.9	11 100	10 800	10 600	10 300	10 000	9 400	8 800	6,5	7,6	8,6	9,5	10,4	11,9	13,2		
	12.9	13 000	12 700	12 400	12 000	11 700	11 000	10 300	7,6	8,9	10,0	11,2	12,2	14,0	15,5		
M 6	8.8	10 700	10 400	10 200	9 900	9 600	9 000	8 400	7,7	9,0	10,1	11,3	12,3	14,1	15,6		
	10.9	15 700	15 300	14 900	14 500	14 100	13 200	12 400	11,3	13,2	14,9	16,5	18,0	20,7	22,9		
	12.9	18 400	17 900	17 500	17 000	16 500	15 500	14 500	13,2	15,4	17,4	19,3	21,3	24,2	26,8		
M 7	8.8	15 500	15 100	14 800	14 400	14 000	13 100	12 300	12,6	14,8	16,8	18,7	20,5	23,6	26,2		
	10.9	22 700	22 500	21 700	21 100	20 500	19 300	18 100	18,5	21,7	24,7	27,5	30,1	34,7	38,5		
	12.9	26 600	26 000	25 400	24 700	24 000	22 600	21 200	21,6	25,4	28,9	32,2	35,2	40,6	45,1		
M 8	8.8	19 500	19 100	18 600	18 100	17 600	16 500	15 500	18,5	21,6	24,6	27,3	29,8	34,3	38,0		
	10.9	28 700	28 000	27 300	26 600	25 800	24 300	22 700	27,2	31,8	36,1	40,1	43,8	50,3	55,8		
	12.9	33 600	32 800	32 000	31 100	30 200	28 400	26 600	31,8	37,2	42,2	46,9	51,2	58,9	65,3		
M 10	8.8	31 000	30 300	29 600	28 800	27 900	26 300	24 700	36	43	48	54	59	68	75		
	10.9	45 600	44 500	43 400	42 200	41 000	38 600	36 200	53	63	71	79	87	100	110		
	12.9	53 300	52 100	50 800	49 400	48 000	45 200	42 400	62	73	83	93	101	116	129		
M 12	8.8	45 200	44 100	43 000	41 900	40 700	38 300	35 900	63	73	84	93	102	117	130		
	10.9	66 300	64 800	63 200	61 500	59 800	56 300	52 800	92	108	123	137	149	172	191		
	12.9	77 600	75 900	74 000	72 000	70 000	65 800	61 800	108	126	144	160	175	201	223		
M 14	8.8	62 000	60 600	59 100	57 500	55 900	52 600	49 300	100	117	133	148	162	187	207		
	10.9	91 000	88 900	86 700	84 400	82 100	77 200	72 500	146	172	195	218	238	274	304		
	12.9	106 500	104 100	101 500	98 800	96 000	90 400	84 800	171	201	229	255	279	321	356		
M 16	8.8	84 700	82 900	80 900	78 800	76 600	72 200	67 800	153	180	206	230	252	291	325		
	10.9	124 400	121 700	118 800	115 700	112 600	106 100	99 600	224	264	302	338	370	428	477		
	12.9	145 500	142 400	139 000	135 400	131 700	124 100	116 600	262	309	354	395	433	501	558		
M 18	8.8	107 000	104 000	102 000	99 000	96 000	91 000	85 000	220	259	295	329	360	415	462		
	10.9	152 000	149 000	145 000	141 000	137 000	129 000	121 000	314	369	421	469	513	592	657		
	12.9	178 000	174 000	170 000	165 000	160 000	151 000	142 000	367	432	492	549	601	692	769		
M 20	8.8	136 000	134 000	130 000	127 000	123 000	116 000	109 000	308	363	415	464	509	588	655		
	10.9	194 000	190 000	186 000	181 000	176 000	166 000	156 000	438	517	592	661	725	838	933		
	12.9	227 000	223 000	217 000	212 000	206 000	194 000	182 000	513	605	692	773	848	980	1092		
M 22	8.8	170 000	166 000	162 000	158 000	154 000	145 000	137 000	417	495	567	634	697	808	901		
	10.9	242 000	237 000	231 000	225 000	219 000	207 000	194 000	595	704	807	904	993	1 151	1 284		
	12.9	283 000	277 000	271 000	264 000	257 000	242 000	228 000	696	824	945	1 057	1 162	1 347	1 502		
M 24	8.8	196 000	192 000	188 000	183 000	178 000	168 000	157 000	529	625	714	798	875	1 011	1 126		
	10.9	280 000	274 000	267 000	260 000	253 000	239 000	224 000	754	890	1 017	1 136	1 246	1 440	1 604		
	12.9	327 000	320 000	313 000	305 000	296 000	279 000	262 000	882	1 041	1 190	1 329	1 458	1 685	1 877		
M 27	8.8	257 000	252 000	246 000	240 000	234 000	220 000	207 000	772	915	1 050	1 176	1 292	1 498	1 672		
	10.9	367 000	359 000	351 000	342 000	333 000	314 000	295 000	1 100	1 304	1 496	1 674	1 840	2 134	2 381		
	12.9	429 000	420 000	410 000	400 000	389 000	367 000	345 000	1 287	1 526	1 750	1 959	2 153	2 497	2 787		
M 30	8.8	313 000	307 000	300 000	292 000	284 000	268 000	252 000	1 053	1 246	1 428	1 597	1 754	2 931	2 265		
	10.9	446 000	437 000	427 000	416 000	405 000	382 000	359 000	1 500	1 775	2 033	2 274	2 498	2 893	3 226		
	12.9	522 000	511 000	499 000	487 000	474 000	447 000	420 000	1 755	2 077	2 380	2 662	2 923	3 386	3 775		
	8.8	389 000	381 000	373 000	363 000	354 000	334 000	314 000	1 415	1 679	1 928	2 161	2 377	2 759	3 081		

Staženo z:

[http://fasteners.fabory.com/Images/Czech%20Republic/PDF%C2%B4s/technical\\_section\\_cz\\_final.pdf](http://fasteners.fabory.com/Images/Czech%20Republic/PDF%C2%B4s/technical_section_cz_final.pdf)

## Tabulka tlaků a sil

FESTO

Síla pístu [N]								
Ø	provozní tlak [bar]							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2,5	0,4	0,9	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	3,5
3,5	0,9	1,7	3,8	3,5	4,3	5,2	6,1	6,9
5,35	2	4	6,1	8,1	10,1	12,1	14,2	16,2
6	2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,3	17,8	20,4
8	4,5	9	13,6	18,1	22,6	27,1	31,7	36,2
10	7,1	14,1	21,2	28,3	35,3	42,4	49,5	56,5
12	10,2	20,4	30,5	40,7	50,9	61,0	71,3	81,4
16	18,1	36,5	54,3	72,4	90,5	109	127	145
20	28,3	56,5	84,8	113	141	170	198	226
25	44,2	88,4	133	177	221	265	309	353
32	72,4	145	217	290	362	434	507	579
40	113	226	339	452	565	679	792	905
50	177	353	530	707	884	1 060	1 240	1 410
63	281	561	842	1 120	1 400	1 680	1 960	2 240
80	452	905	1 360	1 810	2 260	2 710	3 170	3 620
100	707	1 410	2 120	2 830	3 530	4 240	4 950	5 650
125	1 100	2 210	3 310	4 420	5 520	6 630	7 730	8 840
160	1 810	3 620	5 430	7 240	9 050	10 900	12 700	14 500
200	2 830	5 650	8 480	11 300	14 100	17 000	19 800	22 600
250	4 420	8 840	13 300	17 700	22 100	26 500	30 900	35 300
320	7 240	14 500	21 700	29 000	36 200	43 400	50 700	57 900

Síla pístu [N]							
Ø	provozní tlak [bar]						
	9	10	11	12	13	14	15
2,5	4	4,4	4,9	5,3	5,7	6,2	6,6
3,5	7,8	8,7	9,5	10,4	11,3	12,1	13
5,35	18,2	20,2	22,2	24,3	26,3	28,3	30,3
6	22,9	25,4	28	30,5	33,1	35,6	38,2
8	40,7	45,2	49,8	54,3	58,8	63,3	67,9
10	63,6	70,7	77,8	84,8	91,9	99	106
12	91,6	101	112	122	132	143	153
16	163	181	199	217	235	253	271
20	254	283	311	339	368	396	424
25	398	442	486	530	574	619	663
32	651	724	796	869	941	1 010	1 090
40	1 020	1 130	1 240	1 360	1 470	1 580	1 700
50	1 590	1 770	1 940	2 120	2 300	2 470	2 650
63	2 520	2 810	3 090	3 370	3 650	3 930	4 210
80	4 070	4 520	4 980	5 430	5 880	6 330	6 790
100	6 360	7 070	7 780	8 480	9 190	9 900	10 600
125	9 940	11 000	12 100	13 300	14 400	15 500	16 600
160	16 300	18 100	19 900	21 700	23 500	25 300	27 100
200	25 400	28 300	31 100	33 900	36 800	39 600	42 400
250	39 800	44 200	48 600	53 000	57 400	61 900	66 300
320	65 100	72 400	79 600	86 900	94 100	101 000	109 000

Sílu pístu F lze vypočítat dle následujícího vzorce z plochy pístu A, provozního tlaku p a tření R:

síla pístu (konečný tlak)

$$F = p \cdot A - R$$

$$F = p \cdot 10 \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} - R$$

p = provozní tlak [bar]

d = Ø pístu [cm]

R = tření ~ 10 % [N]

A = plocha pístu [cm<sup>2</sup>]

F = efektivní síla pístu [N]



Návrh pneumatického obvodu s aplikací Pro Pneu  
www.festo.cz/engineering

Staženo z:

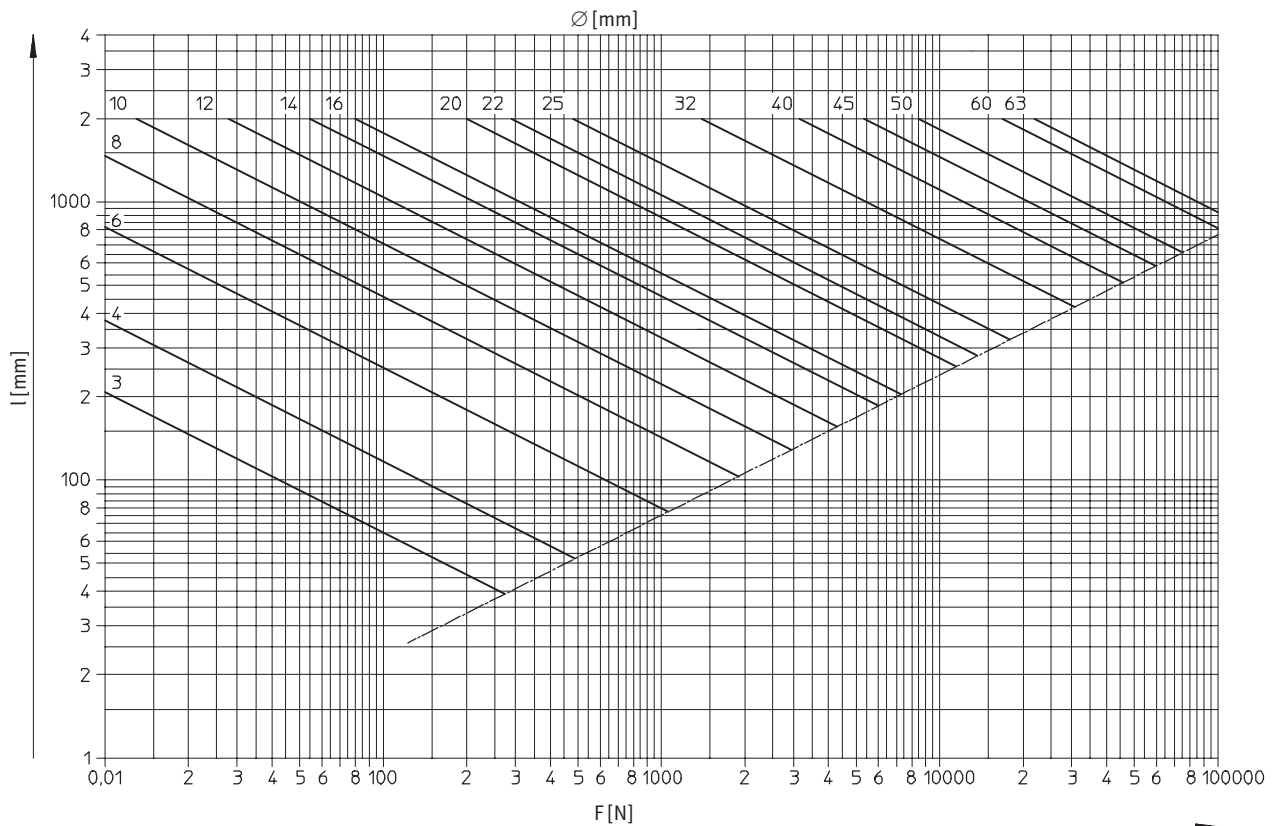
[http://www.festo.com/rep/cs\\_cz/assets/pdf/cz\\_podminkyvpneumatice.pdf](http://www.festo.com/rep/cs_cz/assets/pdf/cz_podminkyvpneumatice.pdf)



## Diagram vzpěrného zatížení

FESTO

Ø pístnice v závislosti na zdvihu l a síle F



Dané hodnoty:  
zatížení 800 N  
zdvih 500 mm  
Ø pístu 50 mm

Zjišťované hodnoty:  
Ø pístnice  
typ válce: válec dle norem

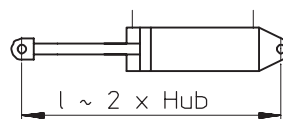
Postup:  
Od F = 800 N kolmo nahoru až do průsečíku s vodorovnou čarou 500 barů. Nejbližší vyšší Ø pístnice v diagramu: 16 mm.  
Pro tento zdvih je vhodný válec DNC-50-500 dle norem s Ø pístnice 20 mm.


Přípustné zatížení pístnice je při velkých zdvích díky vzpěrné pevnosti menší, než udává maximální přípustný provozní tlak a plocha pístu. Zatížení nesmí překročit určité mezní hodnoty. Tyto hodnoty závisí na zdvihu a Ø pístnice.

Diagram ukazuje tuto závislost dle vzorce:

$$F_K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2 \cdot S}$$

$F_K$  = přípustná vzpěrná síla [N]  
 $E$  = modul pružnosti [N/mm<sup>2</sup>]  
 $J$  = moment setrvačnosti [cm<sup>4</sup>]  
 $l$  = vzpěrná délka  
= 2x zdvih [cm]  
 $S$  = bezpečnost (zvoleno: 5)



 Upozornění  
Nejvhodnější způsob upevnění z tohoto hlediska je kyvné upevnění. U jiných typů upevnění je přípustné zatížení větší.

Staženo z:

[http://www.festo.com/rep/cs\\_cz/assets/pdf/cz\\_podminkyvpneumatice.pdf](http://www.festo.com/rep/cs_cz/assets/pdf/cz_podminkyvpneumatice.pdf)

<p><b>KRYT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Zinkový lité kryt s bezsilikonovým nátěrem</li> <li>3 vstupy pro kabel M20 x 1,5</li> <li>Třída ochrany IP54 dle DIN EN 60529</li> <li>Možnosti:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Třída ochrany IP65/IP66/IP67</li> <li>výhřevný odpor k zamezení kondenzace vody</li> </ul> </li> </ul> <p><b>MOTOR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Synchronní motor na střídavý proud s ochranou proti zkratu</li> <li>Jednopolový, reverzní</li> <li>230V ± 10%, 50/60 Hz ± 5%</li> <li>100% nepřetržitý chod</li> <li>Startovací a zastavovací doby v řádu milisekund</li> <li>Ovládací kroky jsou 100% dodržovány</li> <li>Izolační kategorie B dle VDE 0530</li> <li>Možnosti:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Tří-fázový motor</li> <li>Motor na stejnosměrný proud</li> <li>Speciální voltáž</li> <li>Speciální frekvence</li> <li>Teplotní senzor</li> </ul> </li> </ul> <p><b>MOTOR S OMEZENÍM TOČIVÉHO MOMENTU (volitelné)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Konstantní točivý moment prostřednictvím hysterézni magnetické spojky, jestliže dojde k blokadě</li> <li>prostřednictvím hysterézni magnetické spojky po dosažení maximálního točivého momentu</li> <li>Přívod energie nemusí být odpojen při dosažení maximálního točivého momentu</li> </ul> <p><b>OVLÁDÁNÍ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Signál pro otevření / uzavření</li> <li>Volitelné:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Mikroprocesor ARIS PMR (vestavěný v servopohonu) s nastavenou hodnotou 0/4-20mA, 0-10V, nebo potenciometr 1-10kΩ</li> <li>Profibus DP</li> <li>CAN-OPEN</li> </ul> </li> </ul> <p><b>PŘEVODOVKA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Odolný bezúdržbový ozubený ocelový převod</li> <li>Permanentní lubrikace</li> <li>Speciální samomazná bronzová ložiska</li> </ul>	<p><b>ELEKTRICKÉ PŘIPOJENÍ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Základní panel PCB jako přípojny panel s tištěnými spoji</li> <li>Dva rozšiřující sloty pro přídatné Spínače, potenciometry, atd.</li> <li>Snadné rozšíření prostřednictvím přídatných přípojnych panelů</li> </ul> <p><b>TEPLOTA PROSTŘEDÍ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-15°C až do +60°C</li> <li>Možnosti:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Až do +80°C, pracovní cyklus S3-50%</li> <li>Až do -40°C</li> </ul> </li> </ul> <p><b>VYPÍNÁNÍ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Všechny spínače jsou se stříbrnými kontakty</li> <li>Připojení spínačů na svorkovnici</li> <li>Vypínací výkon spínače: max. 12(6) A, 250V AC</li> <li>Možnosti:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Spínač se zlatými kontakty nebo silovými kontakty</li> </ul> </li> </ul> <p><b>POLOHOVÉ SPÍNÁNÍ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dva koncové spínače (nastavitelné)</li> <li>Všechny polohové (koncové) spínače jsou ovládány manuálně nastavitelnými řídicími vačkami.</li> <li>Přesné vymezení koncových a středních poloh</li> <li>Koncové spínače s přepínacími kontakty pro externí signály nebo automatické sekvenční ovládání</li> </ul> <p><b>ELEKTRICKÉ PŘIPOJENÍ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Viz schéma zapojení</li> <li>Ochranná opatření dle VDE a EVU musí být respektována</li> <li>Možnosti:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Přídavné vybavení pro paralelní provoz několika servopohonů</li> <li>Speciální voltáže / frekvence</li> <li>Relé pro různé funkce (vestavěné v servopohonu)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>POTENCIOMETRY (volitelné)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pro externí indikátory polohy</li> <li>Elektrický úhel rotace může být nastaven na regulační úhel požadovaný zákazníkem (standardně 90°)</li> <li>Možnost až tří potenciometrů</li> <li>Podle aplikace – drátové vinutí, elektricky vodivé plastové vinutí, potenciometr s vícenásobným vinutím</li> </ul>	<p><b>MOŽNOSTI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jiné voltáže / frekvence</li> <li>Jiné teploty prostředí</li> <li>Vyšší třída ochrany</li> <li>Ruční kolo / rozpojení převodu</li> <li>Další přídatné polohové spínače</li> <li>Speciální řídicí vačky</li> <li>Mikroprocesorový ovladač PMR</li> <li>Indikátor polohy</li> <li>Výhřevný odpor</li> <li>Relé</li> <li>Indikace polohy</li> <li>Potenciometry</li> <li>Komponenty dle standardu UL</li> </ul> <p><b>INSTALACE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jednoduchá montáž prostřednictvím úhlové konzoly / prostřednictvím:             <ul style="list-style-type: none"> <li>ruční páky se spojkou</li> <li>ramena páky, upínací páky, kulového kloubu, objímkové spojky, táhel, pružinových táhel</li> <li>flexibilní spojkou</li> <li>pevnou spojkou</li> <li>ozubenou spojkou</li> </ul> </li> </ul> <p><b>RUČNÍ OVLÁDÁNÍ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pro ruční provoz výstupní hřídele lze použít jak ruční kolo tak i rozpojení převodu</li> <li>Veškerá nastavení řídicích vaček a potenciometrů jsou během ručního provozu zachována</li> <li>Ruční kolo nerotuje během elektrického pohonu</li> </ul> <p><b>DATA PRO OBJEDNÁVKU</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Model</li> <li>Točivý moment</li> <li>Doba přestavení</li> <li>Voltáž a frekvence motoru</li> <li>Volitelné vybavení</li> <li>Voltáže pro elektronické příslušenství (v případě rozdílu s voltáží motoru)</li> <li>Pro objednávky s potenciometry se standardně nastavuje maximální rotační úhel na 90°</li> <li>Regulační úhel může být nastaven i na jiné úhly</li> <li>Na požádání mohou být spínače nastaveny na plánovaný regulační úhel</li> </ul>
--	---	--

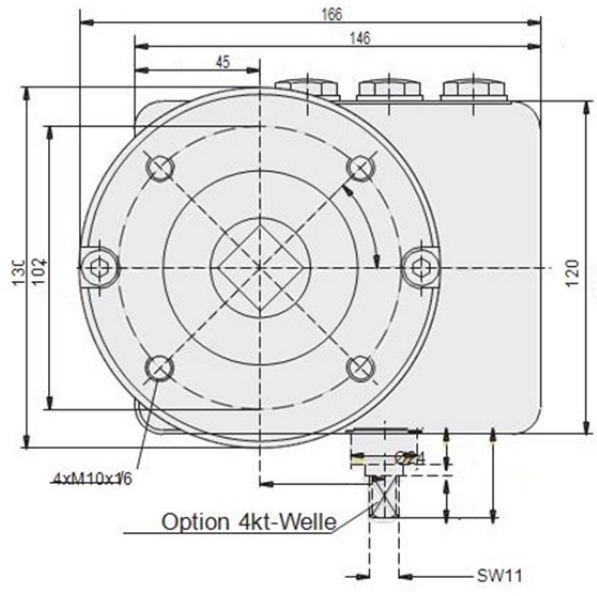
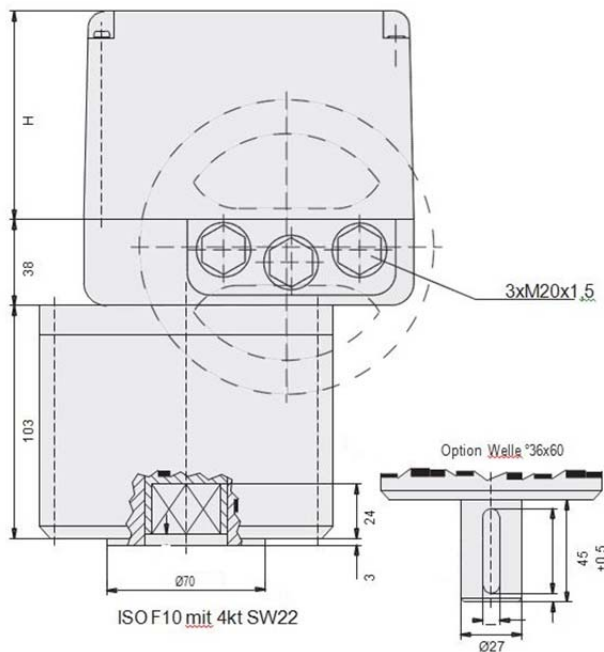
Staženo z:

[http://www.pohony-aris.cz/list\\_N8.pdf](http://www.pohony-aris.cz/list_N8.pdf)

Vybraná stránka z : Otáčkové servopohony  
Zdroj: www.pohony-aris.cz

Baureihe Series Typ	Stellzeit <i>Floating time</i> Rychlost přestavení <b>s/90°</b>	Drehmoment <i>Torque</i> Točivý moment <b>Nm</b>	Dreh- und Schwenkbereich <i>Rotary and swivelling range</i> Regulační úhel		Gewicht <i>Weight</i> Váha <b>kg</b>
			Standard min./max. <i>Standard min./max.</i> Standard min./max. <b>Grad</b>	Sonderausführung <i>Special version</i> Speciální verze <b>1 U= 360°</b>	
N 5-A	15 (13)	80	3 - 100°	100 U	7,0
	30 (25)	80	3 - 100°	100 U	6,0
	50 (42)	80	3 - 100°	100 U	5,9
	80 (67)	80	3 - 100°	100 U	5,9
	130 (108)	80	3 - 100°	100 U	5,9
N 5	15 (13)	110	3 - 100°	100 U	7,8
	30 (25)	110	3 - 100°	100 U	6,0
	50 (42)	110	3 - 100°	100 U	6,0
	75 (63)	110	3 - 100°	100 U	5,9
	130 (108)	110	3 - 100°	100 U	5,9
N 6	25 (21)	180	3 - 100°	100 U	7,9
	45 (38)	180	3 - 100°	100 U	6,0
	70 (58)	180	3 - 100°	100 U	6,0
	130 (108)	180	3 - 100°	100 U	6,0
N 7	30 (25)	250	10 - 95°	2,5 U	7,9
	50 (42)	250	10 - 95°	2,5 U	7,9
	75 (63)	250	10 - 95°	2,5 U	7,9
	150 (125)	250	10 - 95°	2,5 U	7,9
N 8	50 (42)	450	10 - 95°	2,5 U	11,0
	80 (67)	500	10 - 95°	2,5 U	11,0
	120 (100)	400	10 - 95°	2,5 U	9,0

( )=60Hz



N8	Stellzeit Time Temps	H
	120s / 90°	92
	50-80s / 90°	176



**PRODEJ MĚŘÍCÍ A REGULAČNÍ TECHNIKY  
A TOPENÁŘSKÉHO MATERIÁLU**



G.A.S.a.s, U Kyjovky č.3928 / 1,695 01 Hodonín

**Cenová nabídka č.: N 030**

**General Engineering services s.r.o.**

Karel Vítovec

Plzeň

Váš dopis značka / číslo    Naše značka / číslo:

**Poptávka e-mail**

Nabídka č.: **N 030 JA/2014**

Vyřizuje / tel.linka

**Antonín JUNEK / kl.-125**

\* mobil: **731 450 125**,

\*e-mail: [junek@gas-as.cz](mailto:junek@gas-as.cz)

Hodonín

18. února 2014

**VĚC : Nabídka servopohonu.**

Vážený pane Vítovec,

Dovoluji si Vám předložit níže uvedenou cenovou nabídku na požadovaný sortiment - elektrický servopohon řady N8 – dle Vašeho požadavku:

<b>Poz. počet</b>	<b>typ, název</b>	<b>Cena v Kč / ks.</b>
1) 1 ks	<b>elektrický servopohon typová řada N 8,</b> *doba přestavení O/Z : 50 (42) s/90° , točivý moment : 450 Nm okolní teplota : -15°C ... + 60°C krytí : IP 67 ( dle DIN EN 60529 ) nap.napětí : 230V 50(60) Hz Výstup dle DIN ISO F10 / SW22 + 2 přídavné polohové spínače ( instalované ) + vyhřevný článek , instalovaný 230V AC	..... <b>( cena po slevě : 71 592,- Kč 60 854,- Kč )</b>

**\*poznámka:** ..... doporučujeme instalovat úkryt na horní části pohonu v případě vnější instalace .

**Ceny jsou uvedeny v Kč bez dopravy a DPH, EXW Hodonín.**

Dodací lhůta: 6-7 týdnů od objednání a podpisu Kupní smlouvy.

Způsob platby: dohodou v případě objednávky.

Dopravní disp.: DPD.

Záruční doba : 24 měsíců

Platnost nabídky: 30 dnů od data vystavení.

IČO: 25512374  
DIČ: 309-25512374

tel: 518 700 111  
fax: 518 700 222

e-mail: [gas@gas-as.cz](mailto:gas@gas-as.cz)  
http: [www.gas-as.cz](http://www.gas-as.cz)

KB Hodonín: 49308-671/0100  
ČSOB  
Hodonín: 8010-0703101713/0300

Společnost je zapsána v OR vedeném Krajským obchodním soudem v Brně pod spisovou značkou oddíl B, vložka 2498

## Nabídka



### Váš(e) kontakt(y)

pan Havlíček

Obchodní referent

Tel. 724 880 802

zdenek.havlicek@sew-eurodrive.cz

**Nabídka c.: 4540 410155820**

Dat.: 24.02.2014

Číslo zákazníka: 45512339

Fax c.: 378 019 200

Tel.: 378 019 138

### Ing. Kubernát

Regionální obchodník

Tel. 724247981

viktor.kubernat@sew-eurodrive.cz

SEW-EURODRIVE CZ, s.r.o. Lužná 591, 160 00 Praha 6 - Vokovice

NARETEC s.r.o.

pan Petr Hübl

ul. 28. října 70

301 00 Plzeň

**Vaše značka:** Aktualizace 45442874

**Ze dne:** 24.02.2014

Dekuji Vám za Váš zájem o naše výrobky.  
Na základě Vaší poptávky Vám předkládám naši nabídku.

Záruční doba nabízených produktu činí dva roky od data vystavení faktury.

Pos.	Poč. ks.	Označení Obj. č. Vaše označení	cena/ks netto EUR	Cena celkem netto EUR
01	1 ks	Plochý převodový motor <b>FH107B/R DRL100L4BE5/TF/AS7W</b>	3.587,61	3.587,61
02	1 ks	Předmontovaný kabel <b>Cable 13622021 / 8.0</b>	78,75	78,75
03	1 ks	<b>Sítová tlumivka ND045-013</b> 8260133	50,24	50,24
04	1 ks	<b>Brzdový odpor kpl. BW147</b> 8207135	98,75	98,75
05	1 ks	<b>Rozhr.pro prům.sběr. DFE32B prog.</b> 18213456	159,5	159,5
03	1 ks	<b>Ovládací panel DBG60B-03</b> 18204066	65,45	65,45
07	1 ks	<b>Připojení čidla DEH11B</b> 8243107	32,34	32,34
08	1 ks	<b>Připojení čidla DEH11B</b> 8243107	82,5	82,5
09	1 ks	Měnič <b>MDX61B0110-5A3-4-0T</b>	1.722,6	1.722,6
		Suma celkem bez DPH		5.877,74
		Dopravné celkem		60,00
		Obnos celkem bez DPH		5.937,74

**Cena celkem bez DPH 5.937,74 €**

163 680,4 Kč

Děkujeme Vám za Vaši poptávku a nabízíme nezávazně dle našich, Vám již známých prodejních a dodacích podmínek. Jejich znění naleznete na [www.sew-eurodrive.cz](http://www.sew-eurodrive.cz). Podmínky a ceny uvedené v této nabídce jsou určeny pouze pro Vás. Nepředávejte prosím tuto nabídku třetím stranám.

**SEW-EURODRIVE CZ s.r.o.**  
Lužná 591  
160 00 Praha 6 - Vokovice  
IČO 25120581 DIČ CZ25120581  
[www.sew-eurodrive.cz](http://www.sew-eurodrive.cz)

Telefon: +420 255 709 601  
Fax Praha: +420 235 350 613  
Fax Brno: +420 543 256 845  
Fax Plzeň: +420 377 970 710  
[sew@sew-eurodrive.cz](mailto:sew@sew-eurodrive.cz)

**Bankovní spojení:** UniCredit Bank Czech Republic, a.s., č.účtu: 111 461 0004 / 2700 (CZK)  
Deutsche Bank Aktiengesellschaft Filiale Prag, organizační složka,  
č.účtu: 305 200 0209 / 7910 (EUR), BIC: DEUTCZPX  
IBAN: CZ76 7910 0000 0030 5200 0209  
Firma je zapsána v OR vedeném Městským soudem v Praze, oddíl C vložka 51403.

## Nabídka pohonu otočného křídla - Vybraná varianta sklápění 1.

**Důležité:**

údaje, které jste nám poskytli, slouží jako podklad pro naše hodnocení nebo výběr. Správnost a úplnost těchto údajů je předpokladem používání pohonu v souladu se zamýšleným účelem. Potvrďte, prosím, že jsou tyto údaje správné, včetně předpokladů, které jsme učinili. Firmu SEW kontaktujte zejména tehdy, jestliže jsou odlišné okolní podmínky.

Obsah tohoto dokumentu se může měnit; odpovídá našim prodejním a dodacím podmínkám, které jsou vám známy - viz naše internetové, webové stránky. Podmínky a ceny nabízené v tomto dokumentu jsou určeny výhradně pro vás. Postupování těchto informací třetí straně není dovoleno.

**Seznam produktů**

Pozice (Ref)	Množství	Označení / Katalogové číslo	Net	Unit price	Total price
1	1	Kabely k čidlům, Číslo dílu=13324535, 10m		79,17	79,17
1.1	1	Sil. kabel - motor + BY-brzda, Číslo dílu=13354299, 10m		144,33	144,33
2	1	Synchronní převodový servomotor s plochou převodovkou FHZ97R57CMPZ80M/BY/KY/AK1H/SB1, M=18,7Nm, nM=3000rpm i=208, nA=14		2928,54	2928,54
3	1	Frekvenční měnič MOVIDRIVE B MDX61B0055-5A3-4-0T, Číslo dílu=08279799		1085,76	1085,76
3.1	1	BW147, Číslo dílu=08207135		104,14	104,14
3.2	1	DFE32B, Číslo dílu=18213456		168,20	168,20
3.3	1	DEH11B, Číslo dílu=08243107		87,00	87,00
3.4	1	DBG60B-03, Číslo dílu=18204066		69,02	69,02
4	1	ND020-013, Číslo dílu=08260125		29,23	29,23
					Σ 4695,4 €
					128 653 Kč



## Nabídka pohonu otočného křídla - Vybraná varianta sklápění 2.

**Důležité:**

údaje, které jste nám poskytli, slouží jako podklad pro naše hodnocení nebo výběr. Správnost a úplnost těchto údajů je předpokladem používání pohonu v souladu se zamýšleným účelem. Potvrďte, prosím, že jsou tyto údaje správné, včetně předpokladů, které jsme učinili. Firmu SEW kontaktujte zejména tehdy, jestliže jsou odlišné okolní podmínky.









Obsah tohoto dokumentu se může měnit; odpovídá našim prodejním a dodacím podmínkám, které jsou vám známy - viz naše internetové, webové stránky. Podmínky a ceny nabízené v tomto dokumentu jsou určeny výhradně pro vás. Postupování těchto informací třetí straně není dovoleno.

**Seznam produktů**

Pozice (Ref)	Množství	Označení / Katalogové číslo	Net	Unit price	Total price
2	1	Synchronní převodový servomotor s plochou převodovkou FHZ107CMPZ80L/BY/KY/AK1H/SB1, M=27,5Nm, nM=3000rpm i=199,31, nA=15		on request 3400,0	on request 3400,0
3	1	Frekvenční měnič MOVIDRIVE B MDX61B0075-5A3-4-0T, Číslo dílu=08279802		1387,94	1387,94
3.1	1	BW147, Číslo dílu=08207135		104,14	104,14
3.2	1	DFE32B, Číslo dílu=18213456		168,20	168,20
3.3	1	DEH11B, Číslo dílu=08243107		87,00	87,00
3.4	1	DBG60B-03, Číslo dílu=18204066		69,02	69,02
4	1	ND045-013, Číslo dílu=08260133		52,98	52,98
9	1	Kabely k čidlům, Číslo dílu=13324535, 10m		79,17	79,17
9.1	1	Sil. kabel - motor + BY-brzda, Číslo dílu=13354299, 10m		144,33	144,33
					Σ 5492,79 €
					150 502,45 Kč

Nabídka pneumatických pohonů - Vybraná varianta sklápění 2.



Číslo zákazníka	Vaše reference	Nabídka číslo	Date	Strana	
51020259	email	<b>2510081037</b>	05.05.2014	2 z 3	
Označení		Číslo zboží	Jednotková cena CZK	Množství	Celková cena CZK
<b>válec dle norem *</b>   * obrázek je ilustrační	Pozice 10 <b>DNC-32-250-PPV-A-KP</b> podle ISO 15552 Standard cylinder, double-acting, based on ISO 15552 32 mm Stroke mm Pneumatic cushioning, adjustable on both sides For proximity sensor Clamping unit: attached <b>dodací lhůta: 2 (týdny)</b>	163302	13.232,86	4	52.931,44
<b>kloubová hlavice</b>  	Pozice 20 <b>SGS-M10X1,25</b> kloubová hlavice <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	9261	664,05	4	2.656,20
<b>kyvná příruba</b>  	Pozice 30 <b>SNCS-32</b> <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	174397	1.188,50	4	4.754,00
<b>kompaktní válec</b>  	Pozice 40 <b>ADN-32-30-A-P-A</b> dle ISO 21287, se snímáním krajních poloh, s vnějším závitem na pístnici. <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	536273	1.691,68	4	6.766,72
Celkem netto cena			CZK	67.108,36	

## Seznam odkazů:

- [N]. Zdroj firma NARETEC s.r.o
- [1]. Wikimedia Commons, uložště volně použitelných mediálních souborů. [upload.wikimedia.org](http://upload.wikimedia.org)[online]. [vid. 10-10-2013].  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Water\\_jet\\_cutter\\_head.svg?uselang=cs](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Water_jet_cutter_head.svg?uselang=cs)
- [2]. HaWesystemss.r.o, dodavatel CNC řezacích technologií. [hawe.cz](http://hawe.cz)[online]. [vid. 29-3-2014].  
<http://www.hawe.cz/sites/default/files/pictures/3000-r.jpg>
- [3]. KMT RoboticSolutions AB, robotické systémy na klíč. [kmtrobotic.eu](http://kmtrobotic.eu)[online]. [vid. 17-10-2013].  
<http://www.kmtrobotic.eu/publify.resource/media/3-products/cutting-box-stationary-h1.jpg>
- [4]. Projet System, dodavatel produktů a služeb. [projet.se](http://projet.se)[online]. [vid. 17-10-2013].  
<http://www.projet.se/media/36025/robots%20in%20cutting%20box.jpg>
- [5]. BUREŠ, Marek, Přednáška předmětu ŘOP Ergonomie člověk 2012. Plzeň 2012.
- [6]. HYDROMA, výroba hydraulických komponentů. [hydroma.cz](http://hydroma.cz)[online]. [vid. 4-1-2014].  
<http://www.hydroma.cz/index.php?ma=ajax&sid=pimage&pid=1602>
- [7]. Atlas Copco s.r.o, stavební technika. [atlascopco.cz](http://atlascopco.cz)[online]. [vid. 4-1-2014].  
<http://www.atlascopco.cz/Images/Pneumatik%C3%A9%20zdvihadlo%20LLA-500%20ac0036135%20456.jpg>
- [8]. ROLLON, lineární technika. [rollon.cz](http://rollon.cz)[online]. [vid. 4-1-2014].  
<http://www.rollon.cz/cesky/produkty/linearni-vedeni/curviline/>
- [9]. FESTO. Podmínky a normy v pneumatické technice. Praha: 7/2007, [vid. 1-4-2014]. Podpora. Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/9543.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/9543.htm)
- [10]. KRÁTKÝ, Jaroslav, KRÖNEROVÁ, Eva. Skripta Části a mechanismy strojů 1: Cvičení č.4 – Spojení nalisování, sevření a rozpěrnými kroužky, 2011, Západočeská univerzita v Plzni.
- [11]. KMT RoboticSolutinos AB, waterjet technika. [kmtrobotic.eu](http://kmtrobotic.eu)[online]. [vid. 7-5-2014].  
[http://www.kmtrobotic.eu/publify.resource/media/6-downloads/product-information-original-v\\_eng\\_2012\\_rev02.pdf](http://www.kmtrobotic.eu/publify.resource/media/6-downloads/product-information-original-v_eng_2012_rev02.pdf)

## Seznam použitých zkratk a symbolů

1. **WATERJET** – Obrábění vodním paprskem
2. **CNC** – Počítačové číslicové řízení (Computernumericcontrol)
3. **CWS** – CNC waterjet stůl
4. **WOK** – Waterjetobráběcí kabina
5. **NECURON** – Materiál. Směs polyuretanu a dřevěného prachu.

## Seznam obrázků

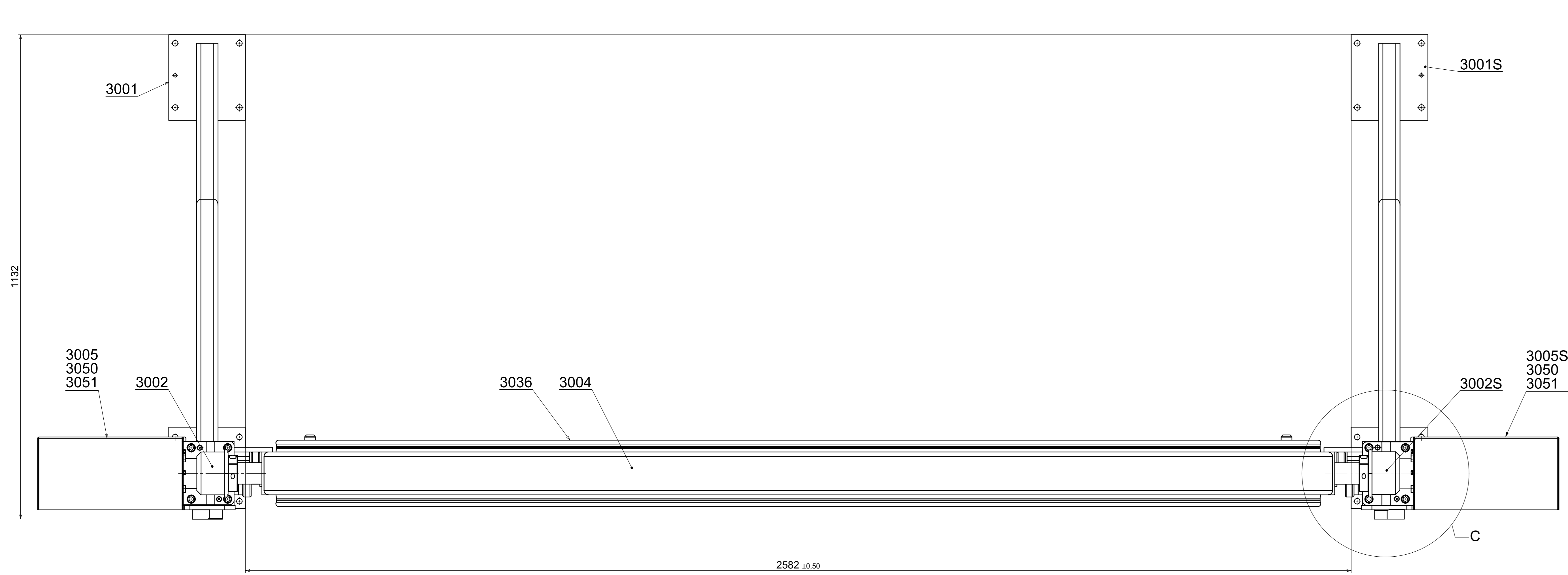
Obr. 1. Princip obrábění vodním abrazivním paprskem. [1]	1
Obr. 2. Podlahový koberec automobilu. [N]	2
Obr. 3. CNCwaterjet stůl značky MULTICam. [2]	3
Obr. 4. Dílčí systémy waterjet obráběcí kabiny s pevným stolem. [3]	3
Obr. 5. Dílčí systémy waterjet obráběcí kabiny s otočným „dvoj-hnízdým“ stolem. [N]	4
Obr. 6. Robot značky ABB s řezací vodní hlavou.[4]	5
Obr. 7. Dvounízdý nástroj s přidržovači dílů.	5
Obr. 8. Vakuový dvounízdý nástroj pro obrábění vodním paprskem tzv. Šála.[N]	6
Obr. 9. Slepeneč kopyta před obráběním.	6
Obr. 10. Slepeneč kopyta obroběný 3D tvarem.	7
Obr. 11. Postup otisku ze sádrového negativu.	7
Obr. 12. Příklad otisku z kopyta.	7
Obr. 13. Další části laminátového otisku.	8
Obr. 14. Možnosti upevnění krycích plechů L- profilem.	9
Obr. 15. Rám KMT Originál IV. [N]	10
Obr. 16. Výřez přední části WJ kabiny s otočným stolem-pohled ze strany obsluhy.[N]	11
Obr. 17. Řezy spodním (vlevo) a horním (vpravo) uložením centrálního hřídele.	11
Obr. 18. Aretační systém otočného křídla.	12
Obr. 19. Systém podpírání bočních konzol ve výchozích polohách.	12
Obr. 20. Otočné křídlo NARETEC. [N]	13

Obr. 21. Varianta křídla 1 – Odlehčené krajové sektory, materiál ocel.	13
Obr. 22. Varianta křídla 2 - Celohliníková sektorová konstrukce.	14
Obr. 23. Varianta křídla 3 - Konstrukce kombinující sektory z Al a oceli.	14
Obr. 24. Simulovaný stav	15
Obr. 25. Struktura výpočtového modelu, 2D a 3D prvky, přiřazené tloušťky.	16
Obr. 26. Reálná a výpočtová oblast A dosedacích ploch systému aretace.	16
Obr. 27. Reálná a výpočtová oblast B dosedacích ploch podpěry.	16
Obr. 28. Barevné označení elementů pro znázornění vazeb mezi nimi – viz. tab.5.	17
Obr. 29. Řez rámem A-A, Barevné označení elementů pro variantu 3 - viz. tab.6.	17
Obr. 30. Okrajové podmínky.	18
Obr. 31. Definice zatížení výpočtového modelu.	19
Obr. 32. Velikost a rozložení redukováného napětí HMH s maximem 35,42[MPa] – Stávající řešení NARETEC.	20
Obr. 33. Velikost a rozložení redukováného napětí HMH s maximem 31,55 [MPa] – Varianta 1 (ocel).	20
Obr. 34. Velikost a rozložení redukováného napětí HMH s maximem 31,53[MPa] – Varianta 2(Al).	21
Obr. 35. Velikost a rozložení redukováného napětí HMH s maximem 56,6 [MPa] – Varianta 3 (Al+Ocel).	21
Obr. 36. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 0,67 [mm] - Stávající řešení NARETEC.	22
Obr. 37. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 0,7 [mm] –Varianta 1 (Ocel).	22
Obr. 38. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 0,7 [mm] –Varianta 2 (Al).	23
Obr. 39. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 1,1 [mm] – Varianta 3 (Al+Ocel).	23
Obr. 40. Zvolená konstrukce střední části otočného křídla.	25
Obr. 41. Zvolená konstrukce boční části otočného křídla.	25
Obr. 42. Koncepce otočného křídla po sestavení a zakrytování - pro variantu sklápění servopohonem.	26
Obr. 43. Změny v konstrukci otočného křídla pro variantu sklápění pneumatickým pohonem.	26
Obr. 44. Koncepce otočného křídla po sestavení a zakrytování - pro variantu sklápění pneumatickým pohonem.	26
Obr. 45. Rozměrové parametry 95% muže dle ISO 7250:1998. [5]	27
Obr. 46. Rozměry nástroje využitého pro prezentaci. [N]	28
Obr. 47. Ilustrace úhlu předklonu trupu.[5]	28
Obr. 48. Horizontální řez waterjet kabinou.	29
Obr. 49. Vertikální řez waterjet kabinou s mezními rozměry procesu.	29
Obr. 50. Řešení snížení špatného dosahu obsluhy nakloněním nástroje.	30
Obr. 51. Schéma zatížení při sklápění kolem paty střední konzoly s grafem průběhu momentu v závislosti na úhlu sklopení.	32
Obr. 52. Schéma zatížení při sklápění kolem těžiště střední konzoly s grafem průběhu momentu v závislosti na úhlu sklopení.	32
Obr. 53. Schéma zatížení při sklápění nad těžiště střední konzoly s grafem průběhu momentu v závislosti na úhlu sklopení.	33
Obr. 54. Průběh momentu při sklápění k jednotlivým bodům.	33
Obr. 55. Řešení sklopení stolu A.	34
Obr. 56. Řešení sklopení stolu B.	34
Obr. 57. Pneumatický naviják a pneumatické zdvihadlo. [7],[6]	34
Obr. 58. Řešení sklopení stolu C1.	35
Obr. 59. Řešení sklopení stolu C2.	35
Obr. 60. Řešení sklopení stolu D.	35
Obr. 61. Řešení sklopení stolu E1.	36
Obr. 62. Řešení sklopení stolu E2.	36
Obr. 63. Řešení sklopení stolu F.	36
Obr. 64. Řešení sklopení stolu G.	37
Obr. 65. Obloukové vedení firmy ROLLON.	37
Obr. 66. Průběh momentu sklápění pro návrh servopohonů.	37
Obr. 67. Varianta sklápění otočného stolu 1 – sklopení servopohonem.	38
Obr. 68. Řez pohonem s napojením na střední konzolu.	39
Obr. 69. Dorazy a středění střední konzoly.	39
Obr. 70. Systém aretace uložený ve spodním nosníku kabiny (zamčeno).	40
Obr. 71. Systém aretace uložený v horním nosníku kabiny (odemčeno).	40
Obr. 72. Průřez kabinou stroje odhalující změny kabiny.	41
Obr. 73. Průběh momentu sklápění pro návrh pneumatických válců.	42
Obr. 74. Provozní tlak p v závislosti na $\varnothing$ pistu a síle F. [9]	43
Obr. 75. Schéma pro dimenzování svěrného spoje páky [10].	43

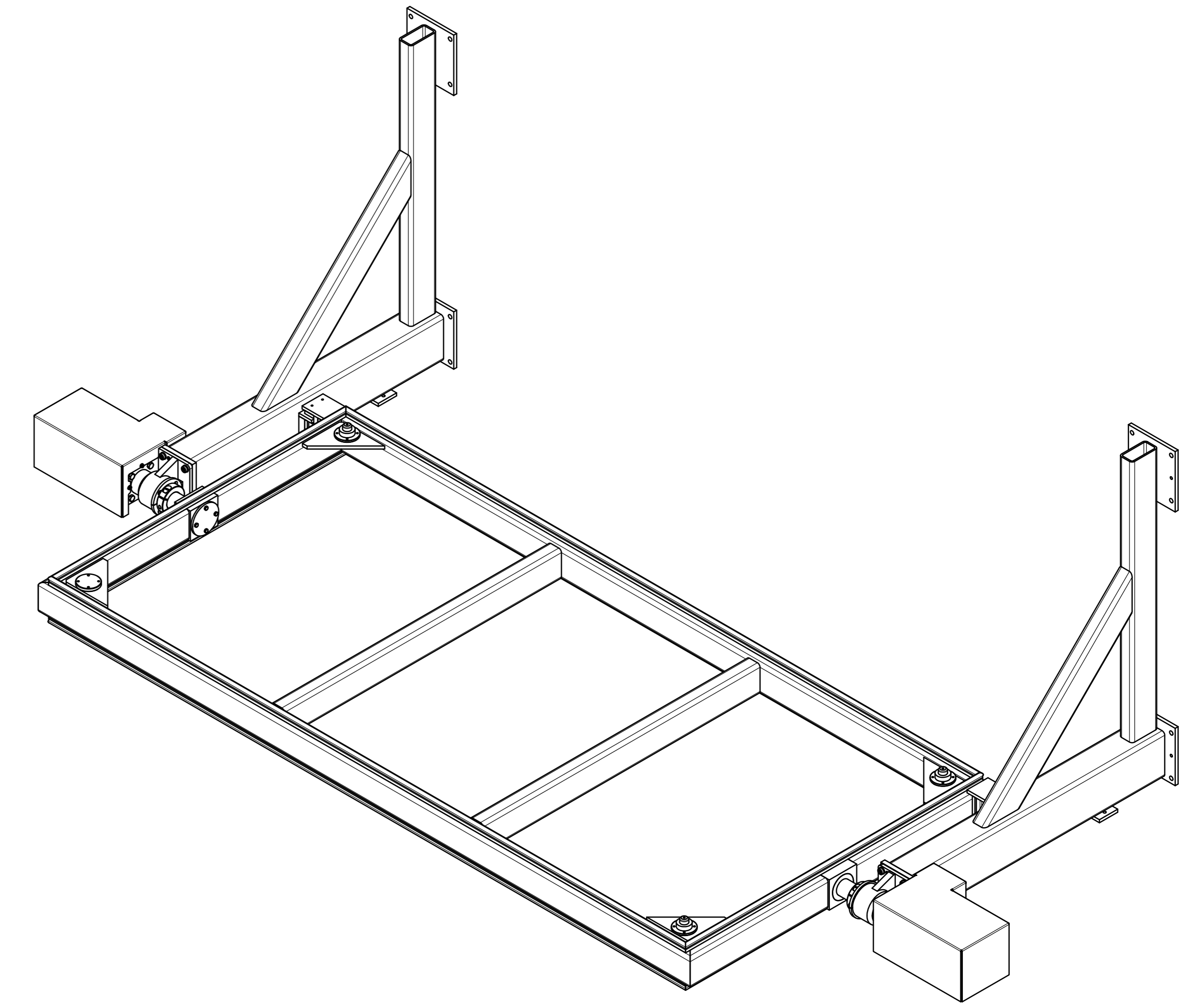
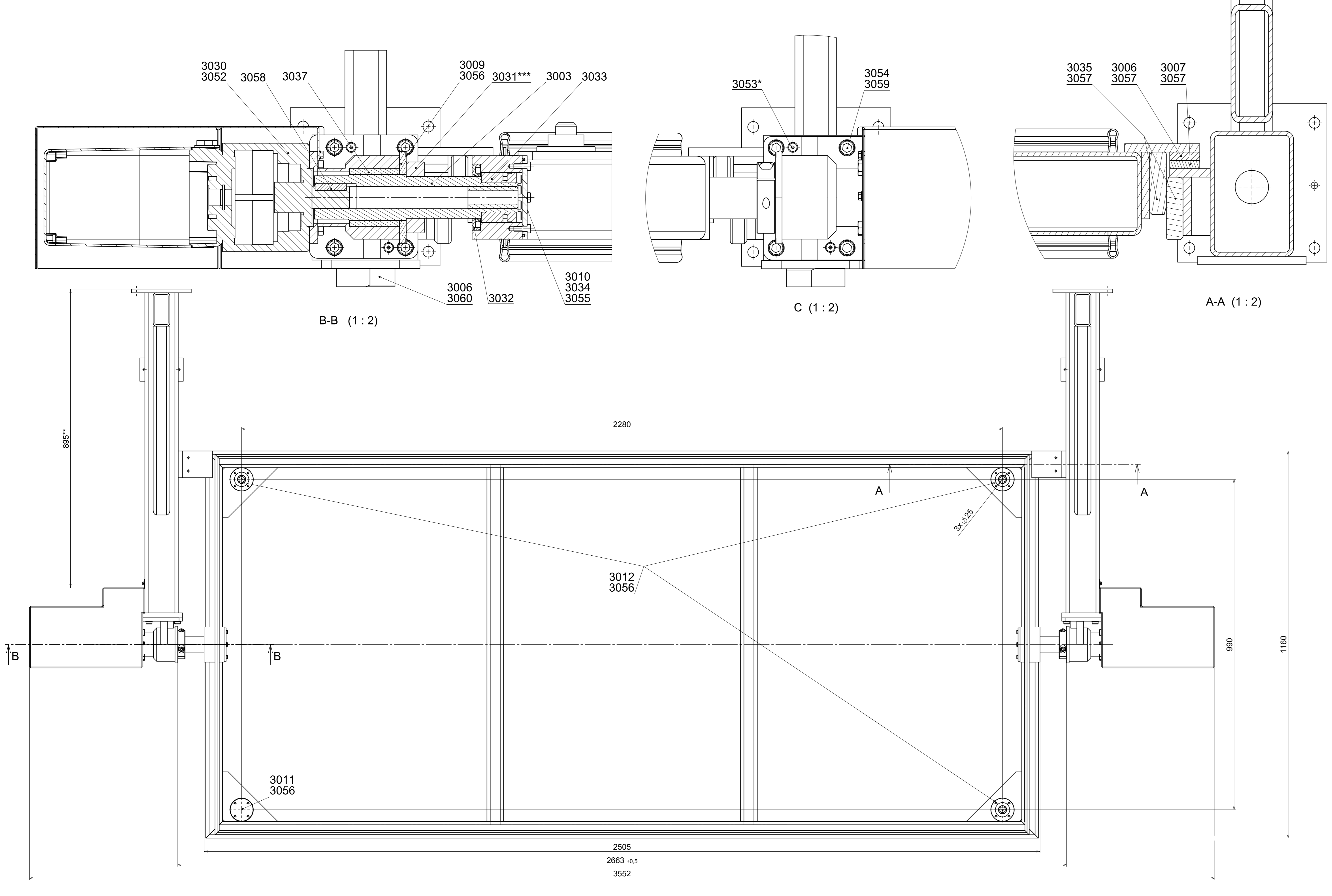
Obr. 76. Varianta sklápění otočného stolu 1 – sklopení pneumatickým pohonem.	44
Obr. 77. Řez koncem boční konzoly – sklápění pneumatickým pohonem.	45
Obr. 78. Řez uložením pneumatického pohonu.	45
Obr. 79. Detail uložení prvků opakovatelnosti na střední konzole.	46
Obr. 80. Řez systémem aretace boční konzoly.	46
Obr. 81. Průřez kabinou odkrývající její změny.	47
Obr. 82. Simulovaný stav MPK analýzy.	49
Obr. 83. Struktura výpočtového modelu, 2D a 3D prvky, přiřazené tloušťky - sklopení servopohonem.	50
Obr. 84. Detaily struktury výpočtového modelu, 2D a 3D prvky, přiřazené tloušťky - sklopení servopohonem.	50
Obr. 85. Barevné označení dílů pro znázornění vazeb mezi nimi.	51
Obr. 86. Schéma zatížený simulovaného stavu.	52
Obr. 87. Velikost a rozložení redukováného napětí HMH s maximem 39,5 [MPa] – sklápění servopohonem.	53
Obr. 88. Rozsah zprůměrované deformace s maximem 0,99 [mm] – sklápění servopohonem.	53
Obr. 89. Bezpečnostní zařízení a zóny kabiny. [N]	54
Obr. 90. Optoelektronický skener značky SICK. [N]	55
Obr. 91. Světelný závoj značky SICK. [N]	55
Obr. 92. Vstupní dveře kabiny. [N]	56
Obr. 93. Ovládání pracovního procesu stroje (otáčení / sklápění). [N]	56
Obr. 94. Bezpečnostní ventil umístěný za dveřmi v prostoru s roboty.	56
Obr. 95. Produkt značky KMT RoboticSolutions AB – Cutting box original V.[11]	57
Obr. 96. Kabina NARETEC s implementovaným systémem sklápění varianta 1.	57
Obr. 97. Kabina NARETEC s implementovaným systémem sklápění varianta 2.	58
Obr. 98. Graf výsledků srovnání reaktivních, deskriptivních a reflektivních vlastností.	58
Obr. 99. Graf výsledků srovnání konkurenceschopnosti.	58

## Seznam Tabulek

Tab. 1. Vybrané požadavky zadavatele diplomové práce.	10
Tab. 2. Orientační cena 1kg materiálu pro rok 2014.	14
Tab. 3. Srovnání úspor a ceny jednotlivých variant	14
Tab. 4. Fem analýza - použité materiály	15
Tab. 5. Tabulka kontaktů mezi očíslovanými a barevně rozlišenými elementy výpočtového modelu. Varianta NARETEC,1,2.	17
Tab. 6. Tabulka kontaktů mezi očíslovanými a barevně rozlišenými elementy výpočtového modelu s odlišnostmi pro variantu 3.	18
Tab. 7. Použité šrouby - průměr jádra.	18
Tab. 8. Vstupní hodnoty a zatěžující síly.	19
Tab. 9. Souřadnice zkoumaného bodu A	20
Tab. 10. Shrnutí výsledků analýzy	24
Tab. 11. Srovnání vybraného konceptu otočného křídla se stávající koncepcí.	26
Tab. 12. Rozměry 50% muže. [5]	27
Tab. 13. Parametry nástroje	28
Tab. 14. Tabulka mezních úhlů předklonu trupu lidského těla. [5]	28
Tab. 15. Tabulka vstupních hodnot pro výpočet zatěžujícího momentu	31
Tab. 16. Specifikace servopohonu	38
Tab. 17. Určení síly pneumatického pohonu.	42
Tab. 18. Specifikace zvoleného pneumatického pohonu.	42
Tab. 19. Vstupní hodnoty návrhu svěrného spoje.	43
Tab. 20. Srovnání úspor variant, s cenovou nabídkou pohonu otočného křídla.	48
Tab. 21. Rozdílný materiál použitý pro FEM analýzu.	49
Tab. 22. Barevné označení druhů prvků, tloušťky, materiály.	50
Tab. 23. Tabulka kontaktů část 1.	51
Tab. 24. Tabulka kontaktů část 2.	51
Tab. 25. Zatěžující síly.	52
Tab. 26. Shrnutí výsledků analýzy	54
Tab. 27. Náklady na optimalizaci struktury a implementaci systému sklápění - varianta 1.	59
Tab. 28. Náklady na optimalizaci struktury a implementaci systému sklápění – varianta 2.	60



Pozice	Název	Výkres číslo	Rozměr-Specifikace	Materiál	Množství
3001	Boční konzola	KV3001	SVAŘENEC	11 375	1
3001S	Boční konzola	KV3001S	SVAŘENEC	11 375	1
3002	Ložiskový domek	KV3002	SVAŘENEC	11 375	1
3002S	Ložiskový domek	KV3002S	SVAŘENEC	11 375	1
3003	Otočný čep	KV3003	SVAŘENEC	11 375	2
3004	Střední konzola	KV3004	SVAŘENEC	11 375	1
3005	Kryt motoru	KV3005	SVAŘENEC	11 375	1
3005S	Kryt motoru	KV3005S	SVAŘENEC	11 375	1
3006	Kamen podpory	KV3006	DLE DXF	1.2379	2
3009	Víčko lož. domku	KV3009	SOBW50	SANKYO	2
3010	Víčko střední konzoly	KV3010	DLE DXF	AlMg4,5Mn	2
3011	Uzávěra střední konzoly	KV3011	KR70 - 10	1.4301	1
3012	Čep střední konzoly	KV3012	KR70 - 50	1.4301	3
3030	Motor N7		N030	ARIS	2
3031	Kroužek hřídele		SCNPA50-22	MISUMI	2
3032	Gufero		GP50x80x10-NBR	RUBENA	2
3033	Samostř. pouzdro		TLK130-35x60	TEA-Technik	2
3034	O-kroužek		NBR90	RUBENA	2
3035	Kluzná deska		SES205A	SANKYO	4
3036	Těsnící gumy		5-153	DIRAK	14 m
3037	Kluzné pouzdro		SOBC 55x70x60	SANKYO	2
3050	Svorník M5		M5x8		8
3051	Matic s nákrúžkem - Svorník		D6926	FABORY	8
3052	Šroub - Motor		M10x25 ISO4018	FABORY	8
3053	Kolík - Lož. domek		DIN7979	FABORY	2
3054	Šroub - Lož. domek		M12x25 ISO 4762	FABORY	8
3055	Šroub - Víčko střední konzoly		M6x16 ISO4015	FABORY	8
3056	Šroub - Víčko Lož. domku - Uzávěra		M6x15 DIN7991	FABORY	8
3057	Šroub - Doraz - Kluzná deska		M6x20 ISO4762	FABORY	24
3058	Pero - Motor		PERO 7.5x8x32.5	ARIS	2
3059	Podložka bezpečnostní		PODLŮŽKA12	NORD-LOCK	8
3060	Šroub - Kamen podpory		M8x25 ISO 4762	FABORY	4

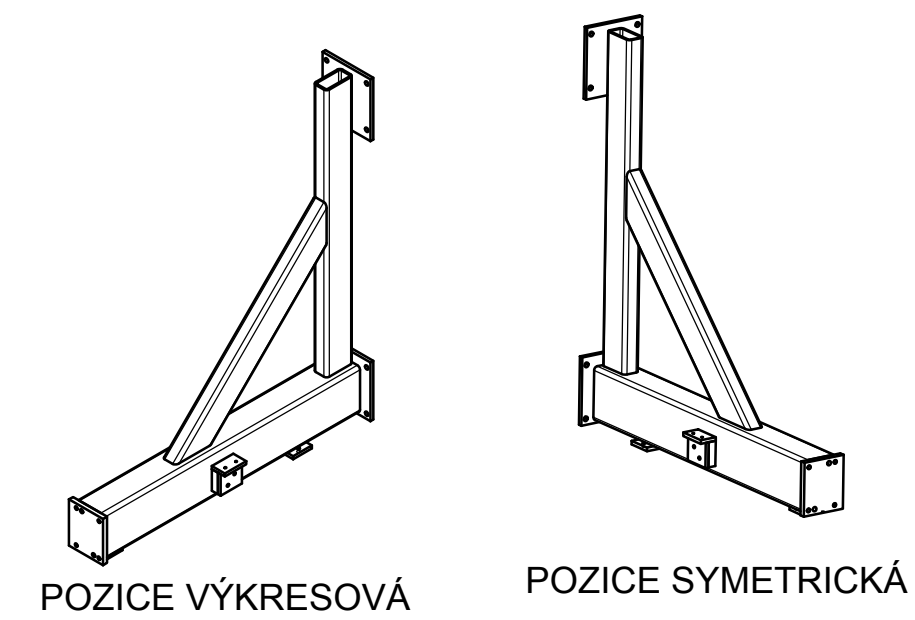
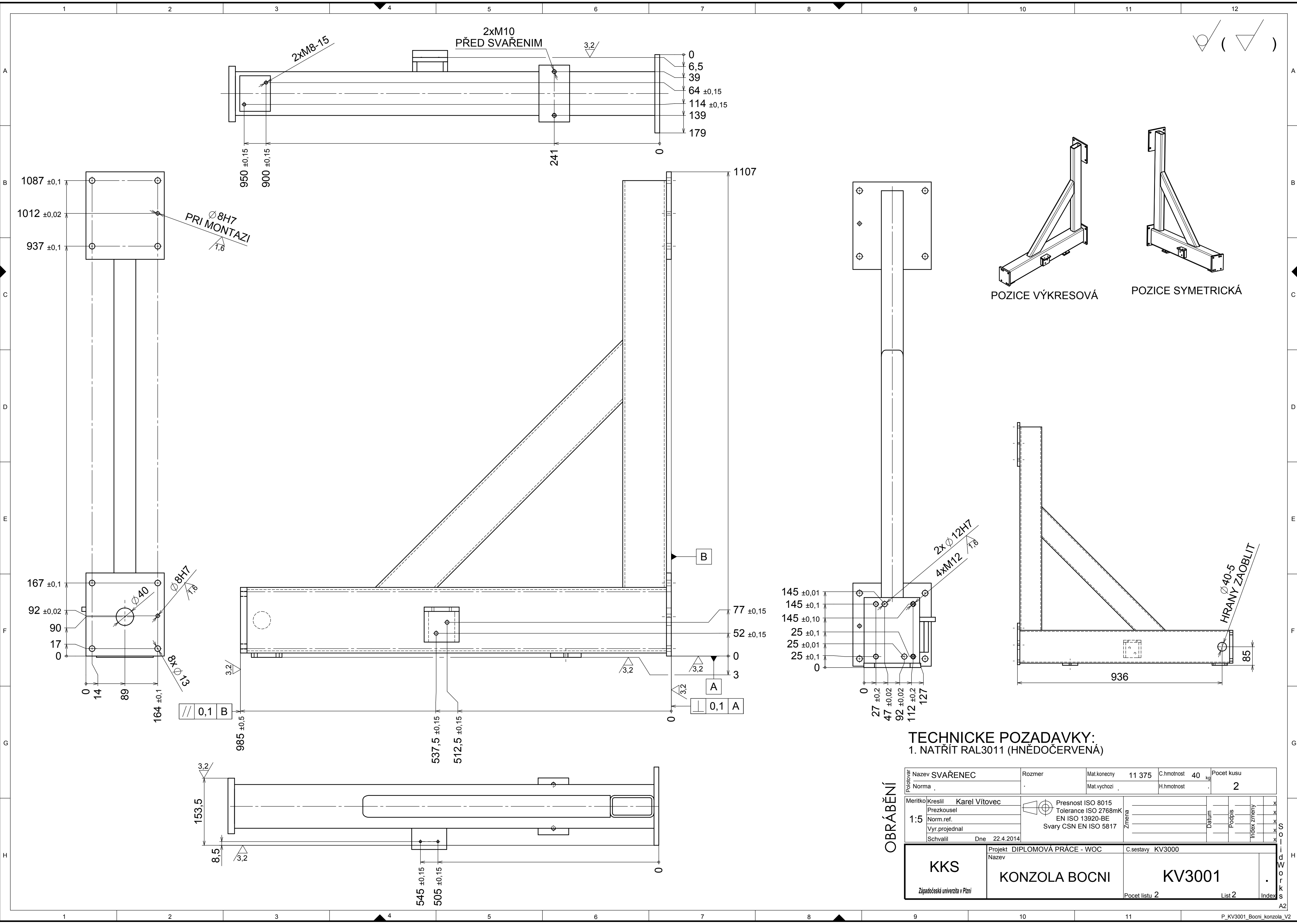


- TECHNICKÉ POZADAVKY:**
- LOŽ. DOMEK SKOLIKOVAT SE STŘEDNÍ KONZOLOU KOLIKY POZ. 3053
  - KRYT MOTORU POZ. 3005 PŘIPEVNIT INVAROVÝMI SVORNÍKY POZ. 3050 A MATICÍ POZ. 3051 V POZICI DLE KOT
  - PO USTAVENÍ STŘEDNÍ KONZOLY ZAJISTIT AXIÁLNÍ POSUV KROUŽKEM HRÍDELE POZ. 3031
  - KLUZNÉ DESKY POZ. 3035 UMÍSTIT NABEZNYMI HRANAMI PROTI SOBE

Název SESTAVA	Rozebráno	Mat. kónový	Číslo 242.4	Poznámka
Norma				1
Měřko/kreslil	Karel Vítovec	Presnost ISO 8015		
Prozradil		Tolerance ISO 2768mS		
1:5		EN ISO 15009:06		
Vyr. projektant		Sváry CSN EN ISO 5817		
Stř. návrh				
Dne	8.5.2014			
KKS		STŘEDNÍ KONZOLA		KV3000
Zapříkázal		Projektant		1

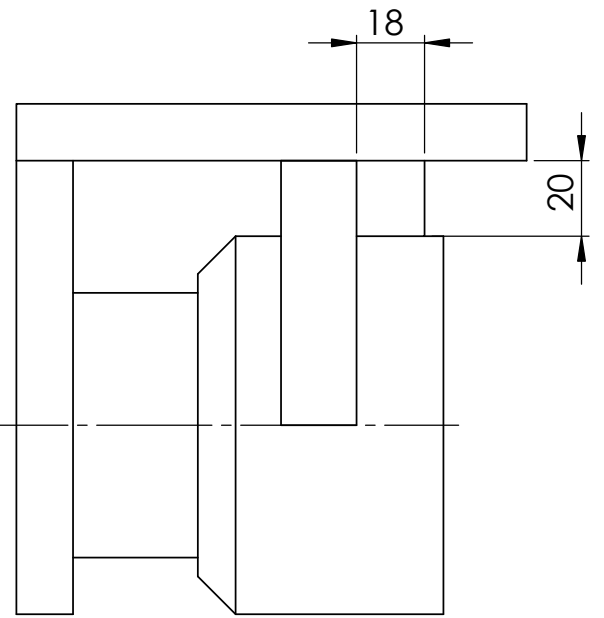
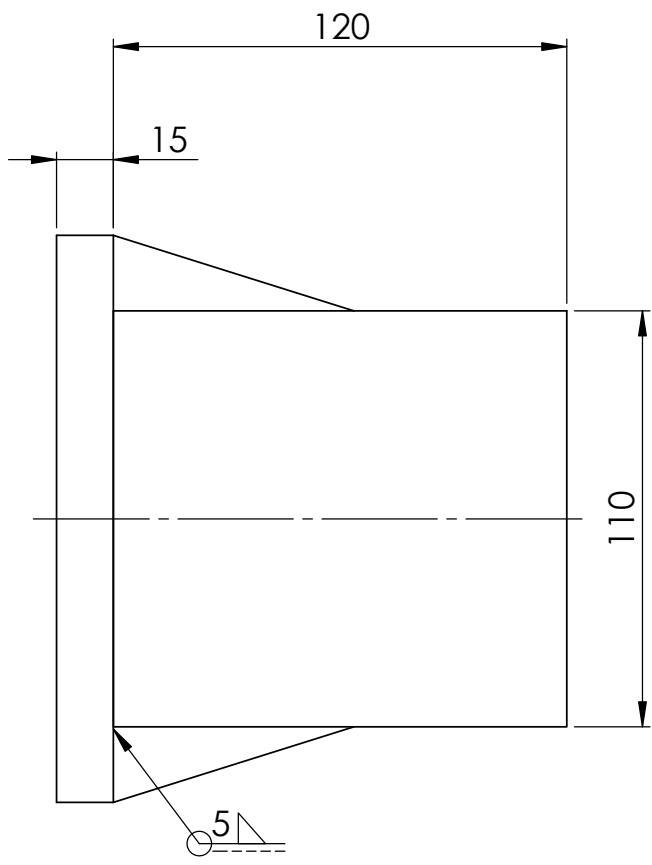
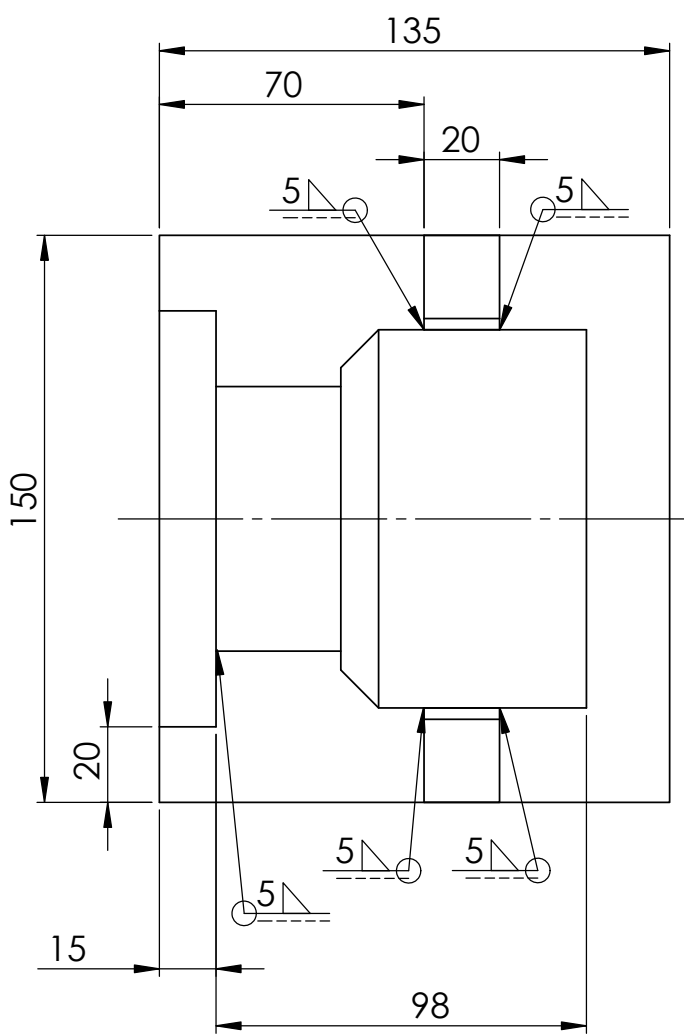
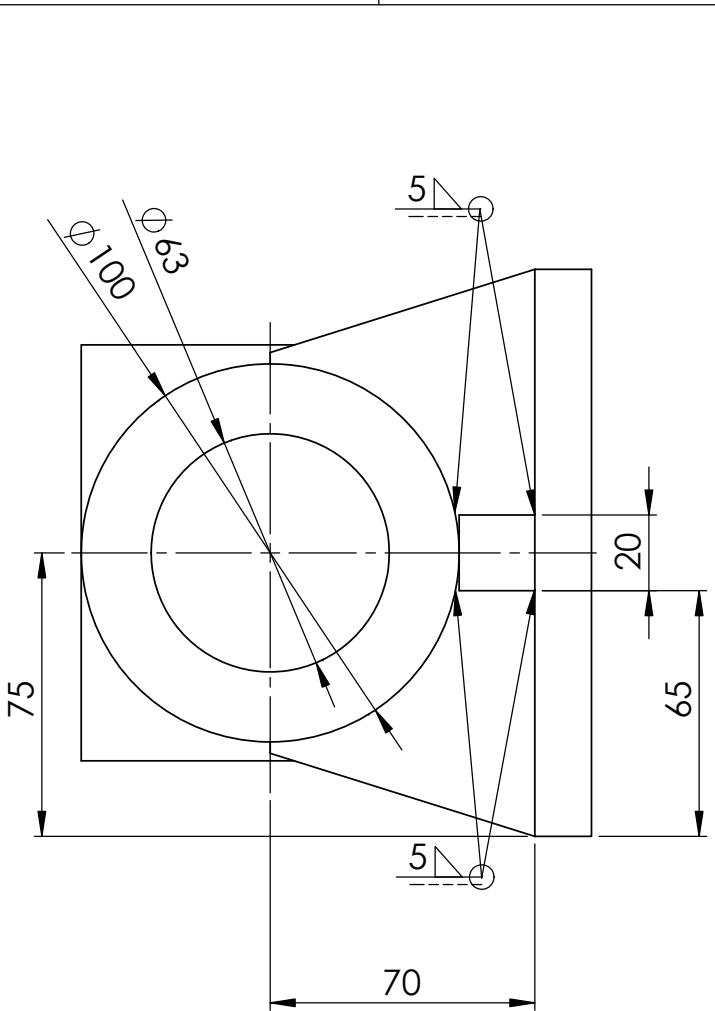




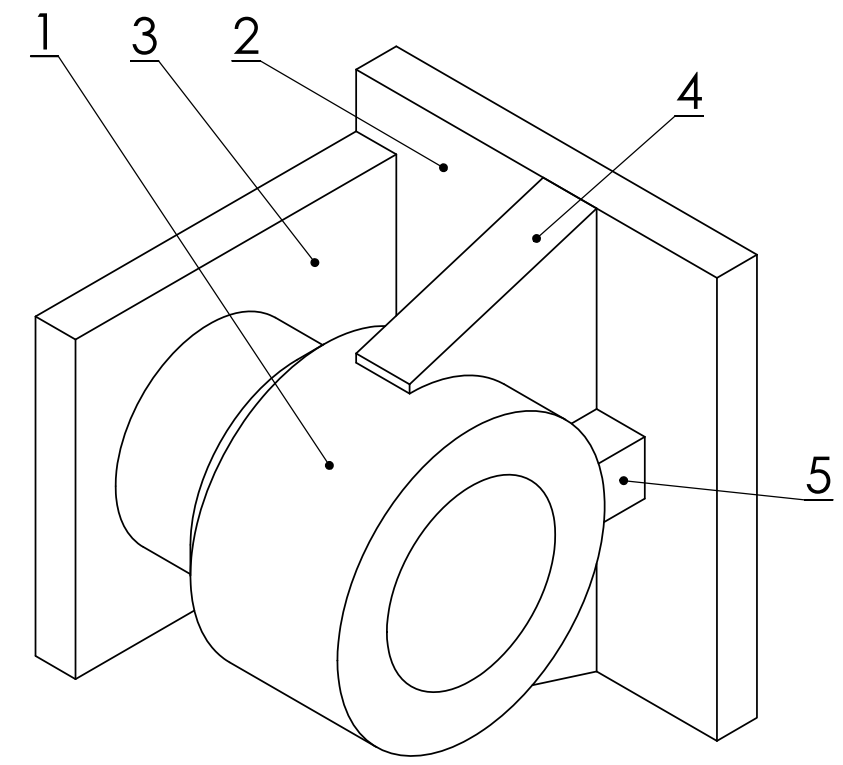


**TECHNICKE POZADAVKY:**  
1. NATŘÍT RAL3011 (HNĚDOČERVENÁ)

OBRÁBĚNÍ	Název SVÄRENEC	Rozmer	Mat.konecny 11 375	C.hmotnost 40	Pocet kusu
	Norma		Mat.vychozí	H.hmotnost	2
1:5	Meritko Kreslil Karel Vítovec	Presnost ISO 8015 Tolerance ISO 2768mK EN ISO 13920-BE Svary CSN EN ISO 5817	Zmena	Datum	Podpis
	Prezkousel				
	Vyr.projednal				
	Schválil Dne 22.4.2014				
KKS	Projekt DIPLOMOVÁ PRÁCE - WOC	C.sestavy KV3000			
Západočeská univerzita v Plzni	Název KONZOLA BOCNI	KV3001			
		Pocet listu 2	Index	2	2



Položka č.	Množství	Popis	Délka
1	1	KV3002_1	103
2	1	PLO 150x15	135
3	1	PLO 120x15	110
4	1	PLECH P10 - dle dxf	70x65
5	1	4HR 20	18



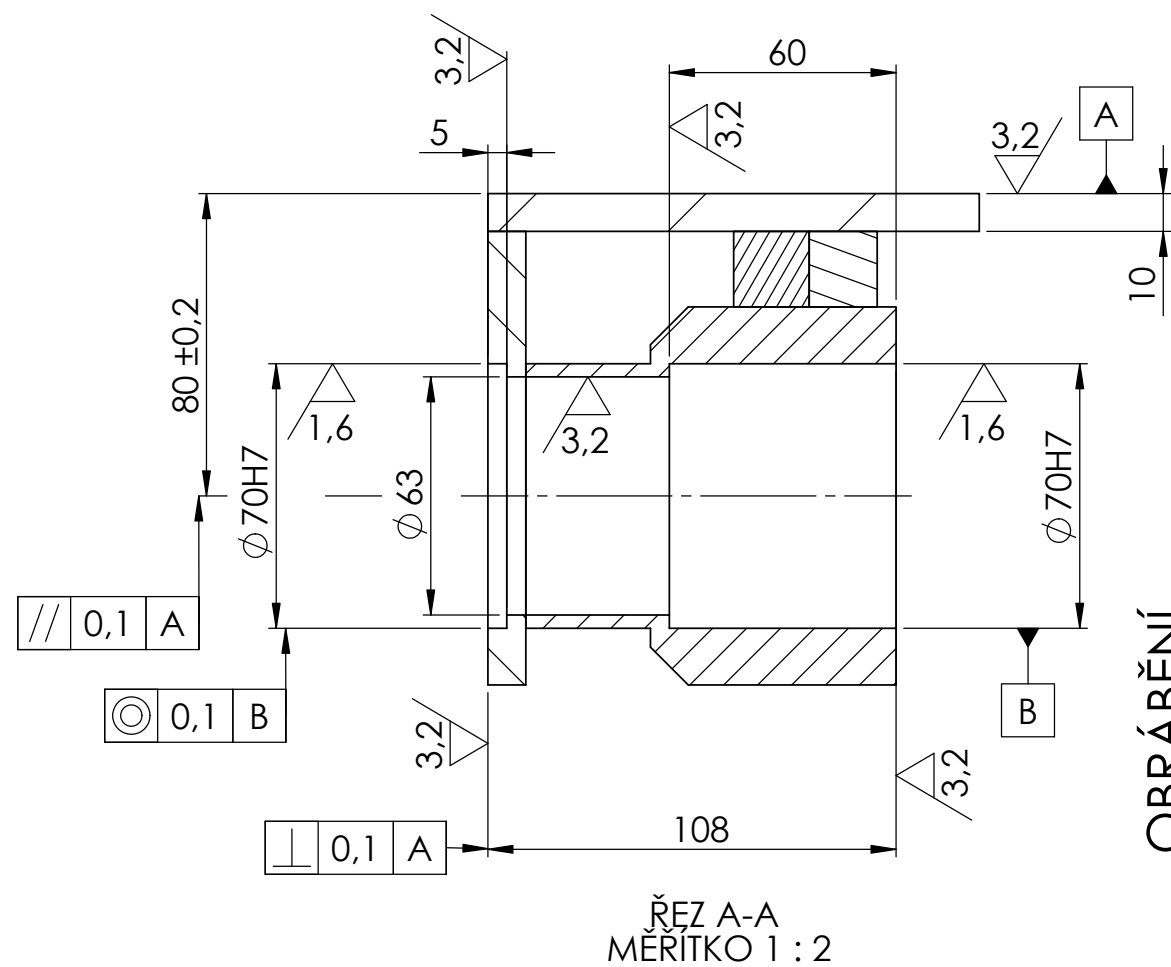
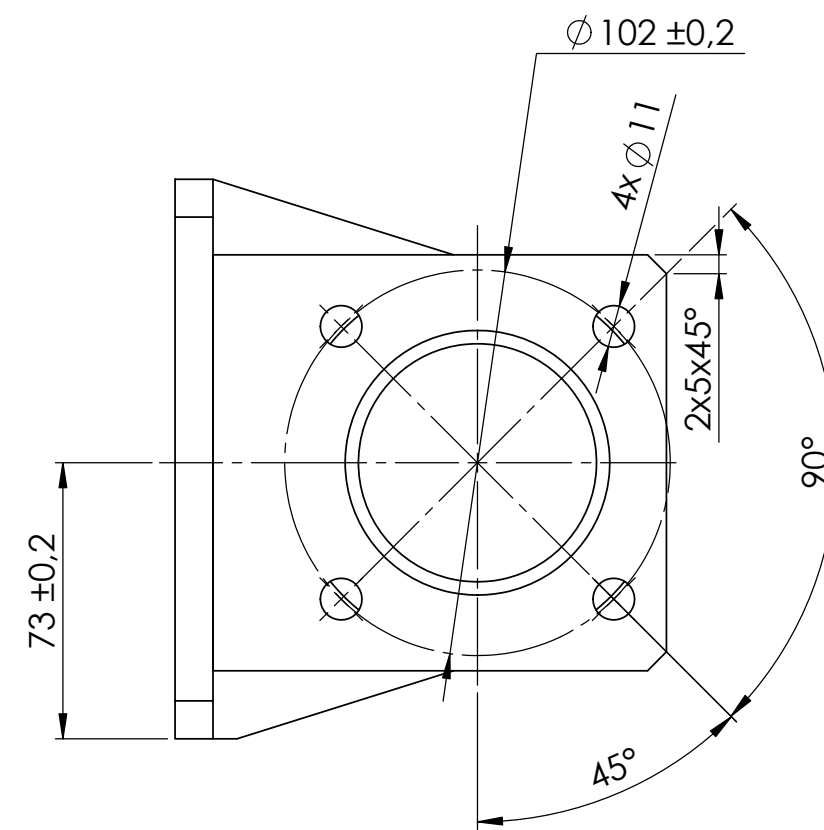
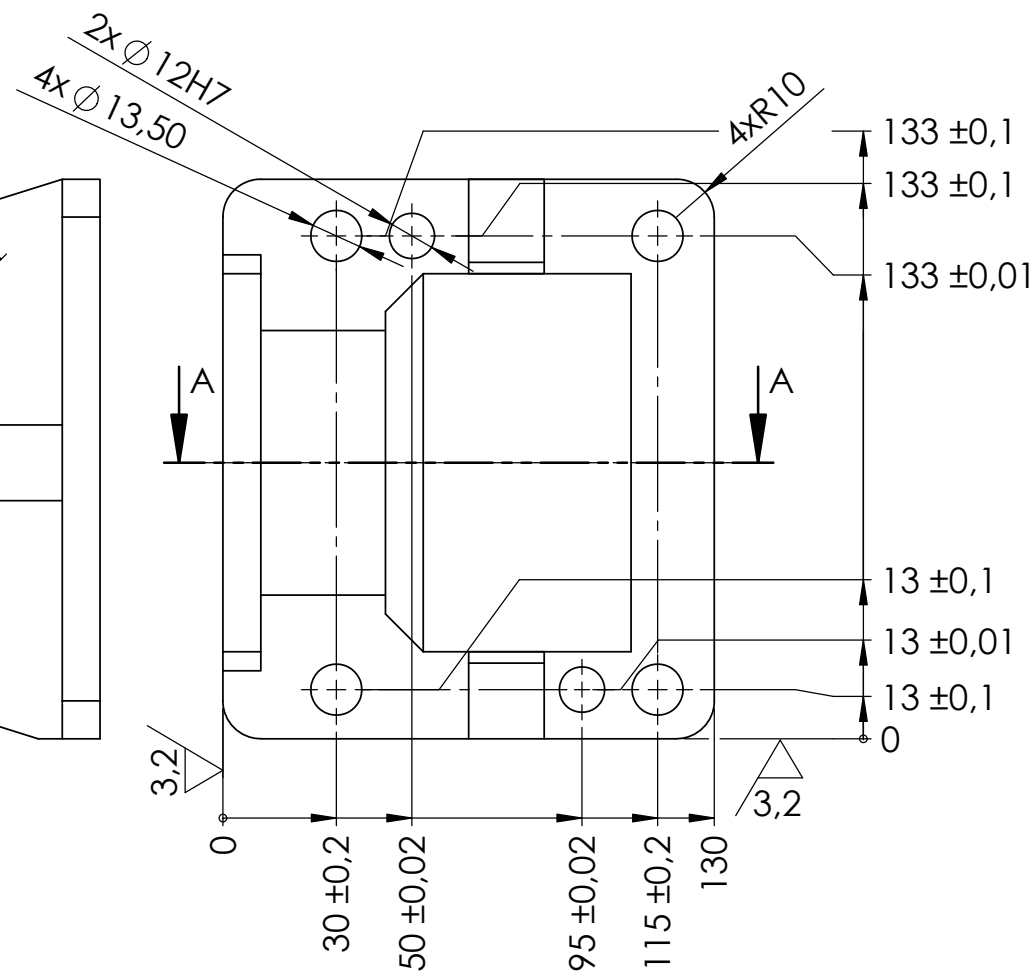
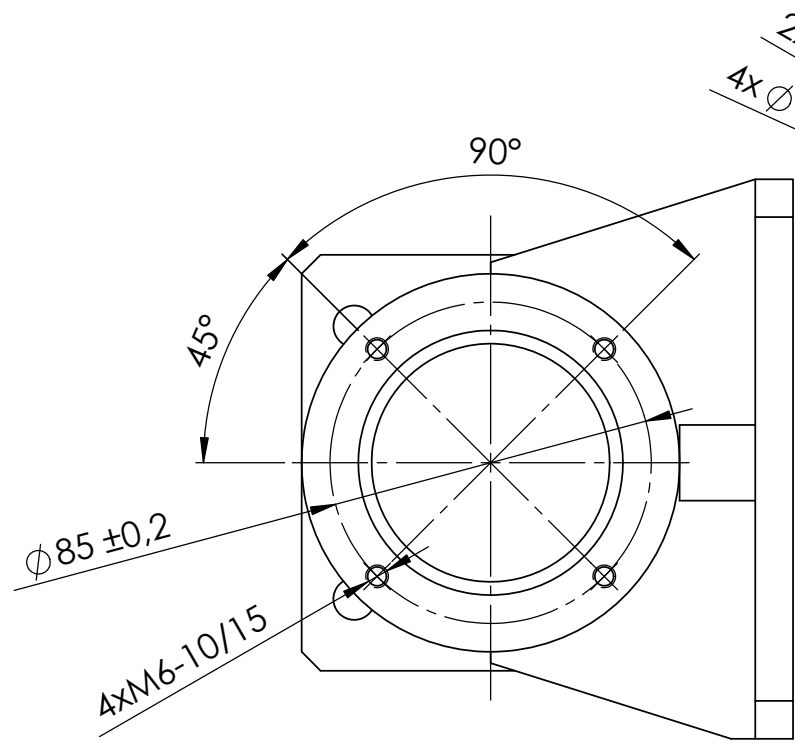
**TECHNICKE POZADAVKY:**

1. SVAŘÍT
2. ŽIHANÍ K ODSTRANĚNÍ PNUTÍ

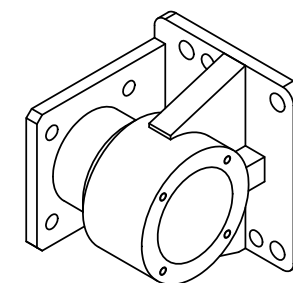
SVAŘOVÁNÍ

Název SVAŘENEC		Rozměr	Mat.konečný	C.hmotnost 7,3 kg	Počet kusů									
Norma			Mat.vychází	H.hmotnost	2									
Meritko	Kreslil Karel Vítovec	Presnost ISO 8015 Tolerance ISO 2768mK EN ISO 13920-BE Svary CSN EN ISO 5817	Změna	Datum	Podpis	Index změny								
1:2	Prezkoušel													
	Norm.ref.													
	Vyr.projednal													
	Schválil Dne													
Projekt DIPLOMOVÁ PRÁCE - WOC		C.sestavy KV3000												
Název		KKS												
Západočeská univerzita v Plzni		LOŽISKOVÝ DOMEK												
		KV3002												
Počet listů 2		List 1		Index										

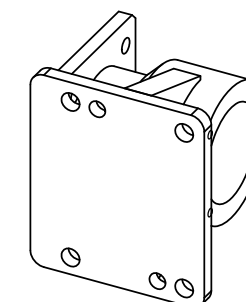
SolidWorks



ŘEZ A-A  
MĚRITKO 1 : 2



POZICE VÝKRESOVÁ



POZICE SYMETRICKÁ

**TECHNICKE POZADAVKY:**  
1. NATŘÍT RAL3011(HNĚDOČERVENÁ)

Název	SVARENEC	Rozměr	Mat.konecny	11 375	C.hmotnost	5 kg	Počet kusů	2
Norma			Mat.vychozi		H.hmotnost			

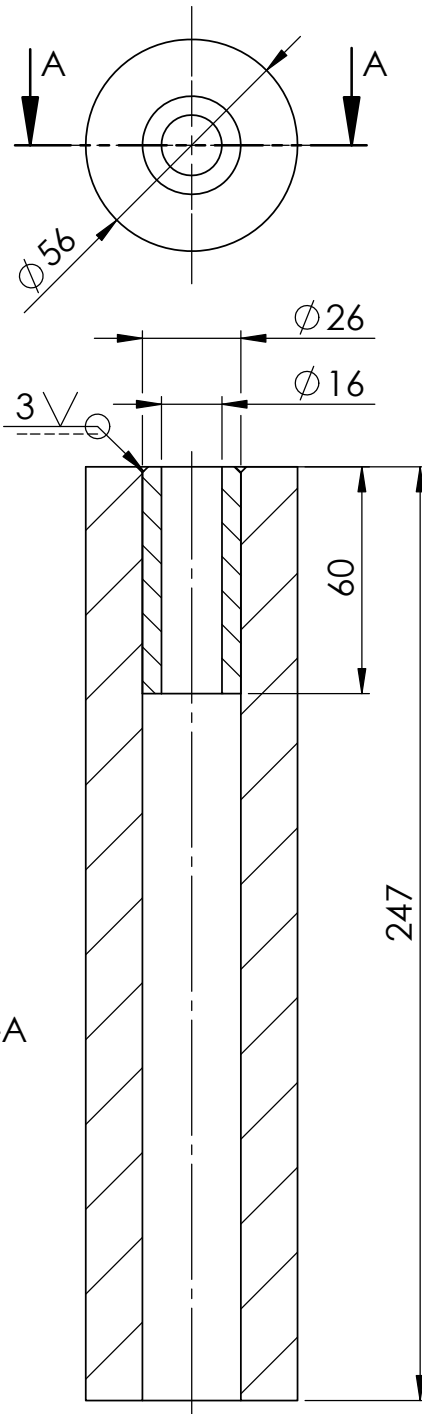
Meritko	1:2	Kreslil	Karel Vítovec	Presnost ISO 8015		Změna		Datum		Podpis		Index	změny	
		Prezkoušel		Tolerance ISO 2768mK										
		Norm.ref.		EN ISO 13920-BE										
		Vyr.projednal		Svary CSN EN ISO 5817										
		Schválil	Dne											

OBRÁBĚNÍ

KKS Západočeská univerzita v Plzni	Projekt	DIPLOMOVÁ PRÁCE - WOC	C.sestavy	KV3000
	Název	LOŽISKOVÝ DOMEK		
			Počet listů	2
			List	2
			Index	

SolidWorks

Položka č.	Množství	Popis	Délka
1	1	TR $\phi$ 56x15	247
2	1	TR $\phi$ 26x5	60



ŘEZ A-A

## TECHNICKE POZADAVKY: 1. SVAŘIT

Položka	Nazev	SVĀŘENEC	Rozmer	Mat.konecny	1.4301	C.hmotnost	3,8 kg	Počet kusů	2
	Norma			Mat.vychozi		H.hmotnost			

Meritko 1:2	Kreslil	Karel Vítovec	Presnost ISO 8015 Tolerance ISO 2768mK EN ISO 13920-BE Svary CSN EN ISO 5817	Zmena	Datum	Podpis	Index zmeny		x
	Prezkousel								x
	Norm.ref.								x
	Vyr.projednal								x
	Schválil	Dne							x

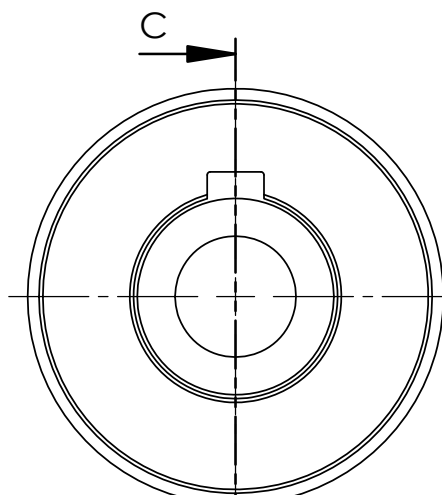
<b>KKS</b> Západočeská univerzita v Plzni	Projekt	DIPLOMOVÁ PRÁCE - WOC	C.sestavy	KV3000
	Nazev	<b>OTOČNÝ ČEP</b>		<b>KV3003</b>
			Pocet listu	2
			List	1
			Index	

SVAŘOVÁNÍ

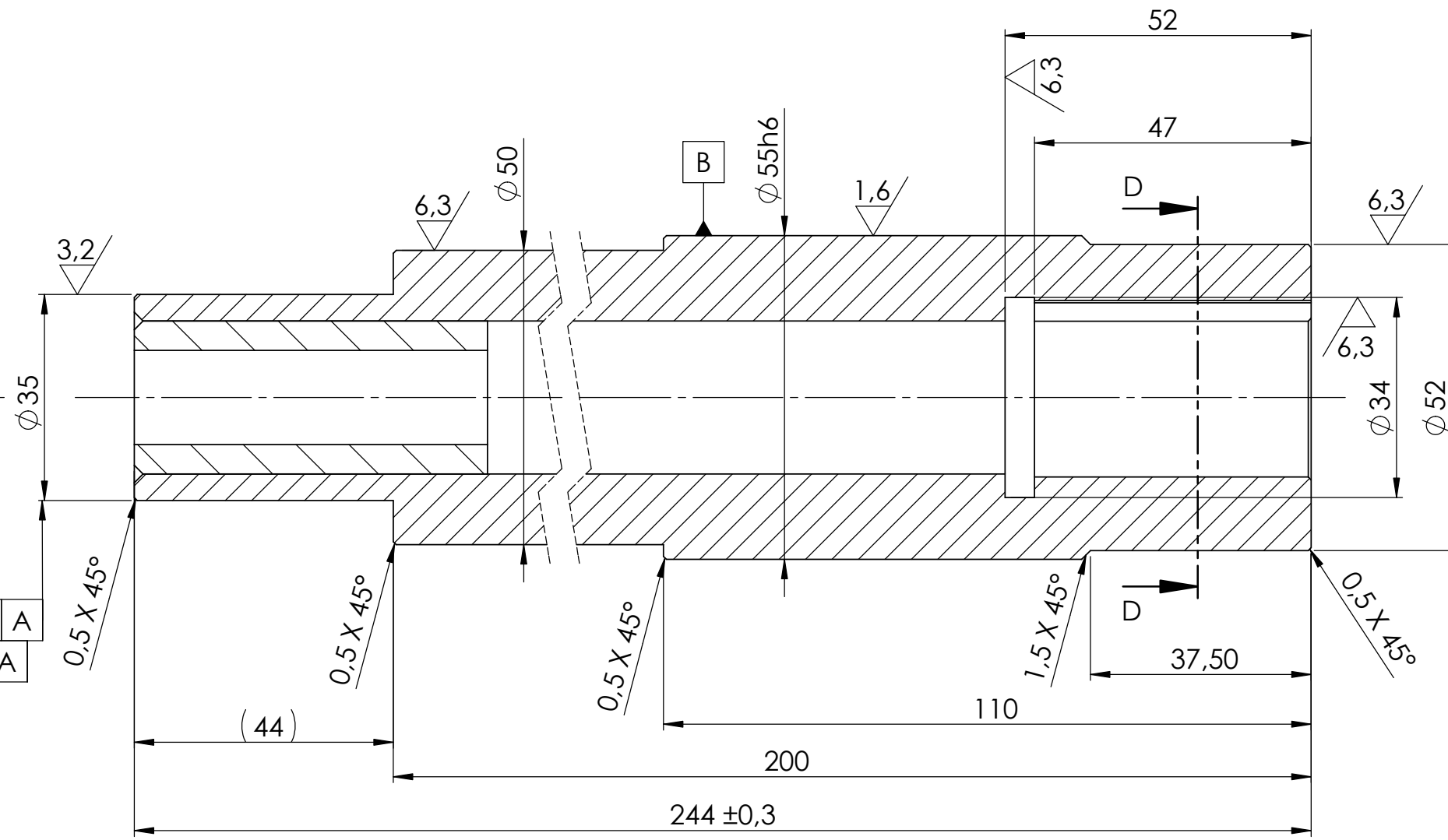
2

SolidWorks

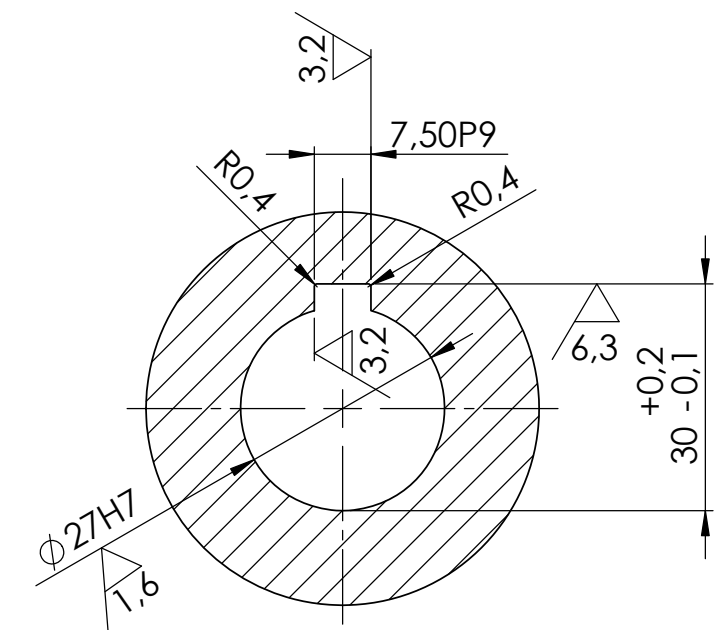
A4



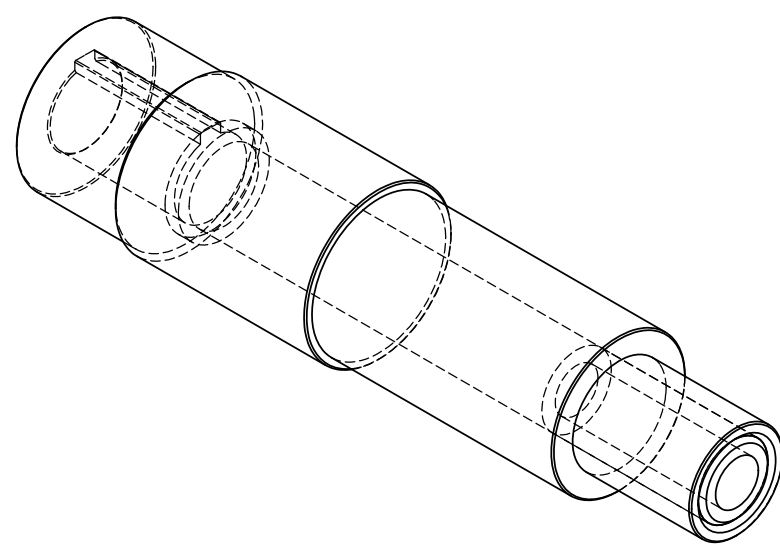
⊙	0,05	A
↑	0,1	A



ŘEZ C-C  
MĚRITKO 1 : 1



ŘEZ D-D  
MĚRITKO 1 : 1



OBRÁBĚNÍ

Polotovár	Nazev	SVAŘENEC	Rozmer	Mat.konecny	1.4301	C.hmotnost	2,7 kg	Pocet kusů	2						
	Norma			Mat.vychozi		H.hmotnost									
Meritko	Kreslil	Karel Vítovec	Presnost ISO 8015 Tolerance ISO 2768mK EN ISO 13920-BE Svary CSN EN ISO 5817	Zmena	Datum	Podpis	Index zmeny	x	x						
	1:1	Prezkousel													
		Norm.ref.													
		Vyr.projednal													
		Schvalil								Dne					
KKS	Projekt DIPLOMOVÁ PRÁCE - WOC		C.sestavy KV3000												
	Západočeská univerzita v Plzni <b>OTOČNÝ ČEP</b>		<b>KV3003</b>												
		Pocet listu 2		List 2		Index									