

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh stavebnicového zásobníku a chapače pro robotickou výměnu

Autor: **Bc. Jakub Šlajs**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Zdeněk HUDEC, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

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 bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu a zároveň konzultantovi mé diplomové práce, panu doc. Ing. Zdeňku Hudcovi, CSc., za poskytnutí odborných rad, přátelský přístup a pečlivé vedení mé diplomové práce. Chtěl bych mu dále poděkovat za ochotu při řešení problémů a trpělivost při vysvětlování nejasností.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Šlajs	Jméno Jakub		
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hudec, CSc.	Jméno Zdeněk		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Návrh stavebnicového zásobníku a chapače pro robotickou výměnu			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	67	TEXTOVÁ ČÁST	57	GRAFICKÁ ČÁST	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním řešením stavebnicového zásobníku nástrojů s upínacím kuželem DIN 69871 SK50 a chapače pro robotickou výměnu nástrojů. Součástí práce je návrh varianty zásobníku, výpočet deformace zásobníku při plném zatížení, potřebná technická dokumentace a hodnocení řešení. Chapač je navržen pro průmyslový robot značky KUKA a je schopen upnout dva nástroje. Stavebnicový zásobník nástrojů s průmyslovým robotem je použit jako příslušenství obráběcího stroje.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Automatická výměna, obráběcí stroj, zásobník, robot, CAD, MKP, chapač, lůžko, čelist</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Šlajs	Name Jakub	
FIELD OF STUDY	N2301 “Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hudec,CSc.	Name Zdeněk	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of modular stack and holder for robotic exchange		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	67	TEXT PART	57	GRAPHICAL PART	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis includes the engineering design and calculation of the modular stack for tool holder DIN 69871 SK50 and holder for robotic tool change. The thesis include drawings and technical documents. The holder is designed for KUKA robot. The modular stack is used like equipment for milling machine.
KEY WORDS	Automatic tool change, milling machine, stack, robot, CAD, FEM, holder, berth, jaw

Obsah

1 Úvod.....	3
2 Zadávající organizace – ŠKODA MACHINE TOOL a.s. [1].....	3
3 Rozbor zadání.....	3
3.1 Představení stroje HCW 2000	4
3.2 Popis robotu.....	5
Rameno.....	5
3.3 Popis chapače	6
4 Horizontální frézovací a vyvrtávací stroje [1].....	7
5 Automatická výměna nástrojů.....	8
5.1 Koncept AVN.....	9
5.2 Princip AVN – řetězový zásobník.....	9
5.3 Princip AVN – robotická výměna.....	9
5.3 Typy AVN a zásobníků.....	10
5.4 Rozdělení AVN.....	10
5.5 Parametry nástrojů ovlivňující AVN.....	11
6 Návrh zásobníku.....	12
6.1 Specifikace požadavků.....	13
6.1.1 Zadané parametry.....	13
6.1.2 Další požadavky na zásobník pro AVN.....	13
6.1.3 Obecné požadavky	13
6.2 Návrh variant.....	15
6.2.1 Varianta A	15
6.2.2 Varianta B	15
6.2.3 Varianta C	16
6.3 Hodnocení a výběr varianty	17
6.4 Konstrukce zásobníku	17
6.4.1 Kužel DIN 69871, SK50	17
6.4.2 Lůžko nástroje	18
6.4.3 Upřesnění zadání	18
6.4.4 Návrh police	19
6.4.6 Celková výška zásobníku	23
6.4.7 Sestavení zásobníku	23
6.4.8 Ukotvení zásobníku.....	24

6.5 Vybraný robot	25
6.5.1 Technická data vybraného robotu	26
6.5.2 Pracovní prostor robotu	27
6.5.3 Užitečné zatížení robotu	28
6.5.4 Montážní příruba	29
6.6 Umístění zásobníku do pracovního prostoru robotu	30
6.7 Dimenzování zásobníku	32
6.7.1 Příprava pro MKP analýzu	32
7 Návrh chapače	39
7.1 Varianty	39
7.1.1 Varianta A	39
7.1.2 Varianta B	40
7.1.3 Výběr varianty	40
7.2 Konstrukce chapače	40
7.2.1 Kinematika	40
7.2.2 Rozbor zatížení	41
7.2.3 Konstrukce čelisti	42
7.2.4 Návrh ovládacího klínu	46
7.2.5 Návrh talířové pružiny	46
7.2.5.1 Popis talířové pružiny	47
7.2.5.2 Výpočet talířové pružiny	48
7.2.6 Návrh hydraulického válce	49
7.2.7 Technické parametry chapače	52
7.2.8 Uchopení nástroje	52
7.3 Model chapače	53
8 Ekonomické hodnocení	54
9 Závěr	54
10 Seznam použité literatury	55
11 Seznam obrázků	56
12 Seznam Tabulek	57

1 Úvod

Rozvoj technologie obrábění s vysokou účinností a automatizací se stalo trendem ve výrobě. U CNC obráběcích strojů s vysoce kvalitním a komplexním procesem došel vývoj k práci s co možná nejmenším zásahem obsluhy po celou dobu obrábění. Složitost výrobků společně s komplexními možnostmi obráběcích strojů vedou k potřebě velkého množství nástrojů. Tyto myšlenky vyžadují robotickou výměnu nástrojů, která je nejpokročilejším typem automatické výměny nástrojů. Robotická výměna nástrojů vyniká proti ostatním typům automatické výměny vysokou rychlostí výměny a zároveň vysokou kapacitou nástrojů. Díky těmto vlastnostem je celý proces obrábění efektivnější s nižšími náklady díky rychle se měnícím nástrojům.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zásobníku a chapače pro robotickou výměnu nástrojů. První práce představuje zadávající organizaci, dále je detailněji rozebráno zadání s popisem stroje a robotu. Hlavní část práce je rozdělena do dvou fází. V první fázi je řešen zásobník nástrojů a ve druhé chapač nástrojů, který je umístěn na vybraném robotu.

2 Zadávající organizace – ŠKODA MACHINE TOOL a.s. [1]

Společnost ŠKODA byla založena již v roce 1859 a začátkem 20. století zaujímala přední místo mezi evropskými strojírenskými závody. První obráběcí stroje pro vlastní potřebu se zde začaly vyrábět v roce 1911, po první světové válce se začaly vyrábět i pro tuzemské a zahraniční zákazníky. Za druhé světové války došlo k poklesu a k obnovení výroby a vývoje došlo až po skončení války. Toto období se vyznačovalo výrobou strojů, které díky svému originálnímu řešení patřily ke světové špičce. Porevoluční doba je spojena s privatizací podniku, který se transformoval na nové trhy, aby byl schopen konkurence. Byl vytvořen podnik ŠKODA MACHINE TOOL a.s. – DORRIES SCHARMANN GROUP, s.r.o. a byla zahájena výroba zcela nových produktů. Podnik měnil majitele ještě jednou, posledním majitelem je ruský koncern Stankomplex Group. Nyní se podnik zabývá hlavně konstrukcí, výrobou, montáží a servisem těžkých horizontálních frézovacích a vyvrtávacích strojů Škoda HCW, univerzálních hrotových soustruhů Škoda SR, dále otočných stolů TDV, frézovacích, vyvrtávacích hlav a ostatního příslušenství.

3 Rozbor zadání

Cílem této práce je navrhnout zásobník pro robotickou výměnu nástrojů pro horizontální vyvrtávačku HCW 2000. V zásobníku budou uloženy nástroje s kuželem DIN 69871 o velikosti 50. Maximální průměr nástroje je 400 mm a maximální délka je do 1000 mm. Zásobník musí být stavebnicového typu, aby bylo možné ho kombinovat a volit si tak kapacitu zásobníku. Zásobník by měl být regálového typu kruhového tvaru. Základem je zásobník o úhlu 90°, který je možno rozšířit dalšími částmi po 30°. Požadovaná kapacita je 200 nástrojů do 180°. Výměna nástrojů bude prováděna průmyslovým robotem značky KUKA. Zásobník společně s robotem bude umístěn v blízkosti stroje vedle stojanu. Při návrhu bude nutné stanovit velikost zásobníku pro požadované nástroje. Z toho následně vybrat průmyslový robot dle technických a rozměrových parametrů. Dalším úkolem je

navrhnout chapač, který je umístěn na robotu a pomocí něhož jsou nástroje uchopovány a měněny.

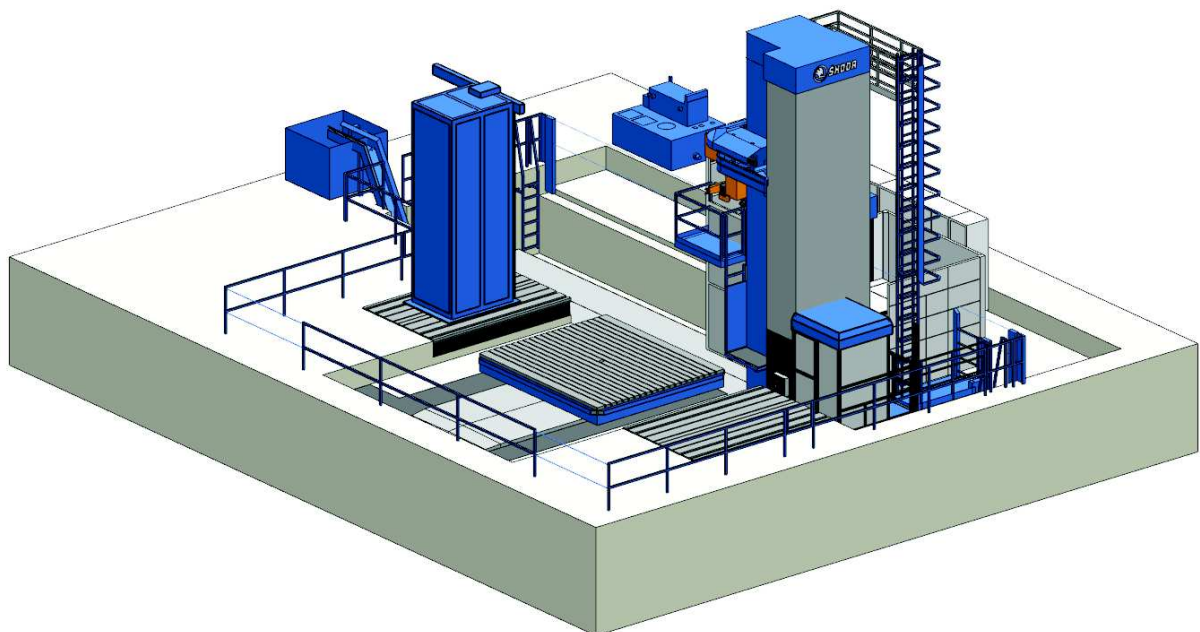
3.1 Představení stroje HCW 2000

Stroje řady ŠKODA HCW představují nejdokonalejší a technicky nejvyspělejší vyvrtávačky dosavadní produkce ŠKODA. Tyto stroje jsou k plné spokojenosti zákazníků nasazovány do provozů, kde využívají špičkovou technologii a vysokou produktivitu. Svým pracovním rozsahem, vysokým instalovaným výkonem a přesností jsou určeny pro výkonné a přesné obrábění těžkých a rozměrných obrobků frézováním, vrtáním a vyvrtáváním. Tyto stroje umožňují výstavbu speciálních pracovišť pro opravování rotorů turbogenerátorů, těžkých klikových hřídelů a dalších těžkých a tvarově náročných obrobků. [2]

Parametry stroje:

Průměr vrtacího vřetena	mm	150 / 160 / 180
Otáčky vrtacího vřetena	rpm	2–3 500
Výsuv W	mm	1 250
Výsuv Z	mm	1 750
W + Z	mm	3 000
Pojezd X	mm	od 2 500
Pojezd Y	mm	2 000–5 500
Výkon motoru hl. pohonu S1	kW	64

Tab 1 Parametry stroje HCW 2000

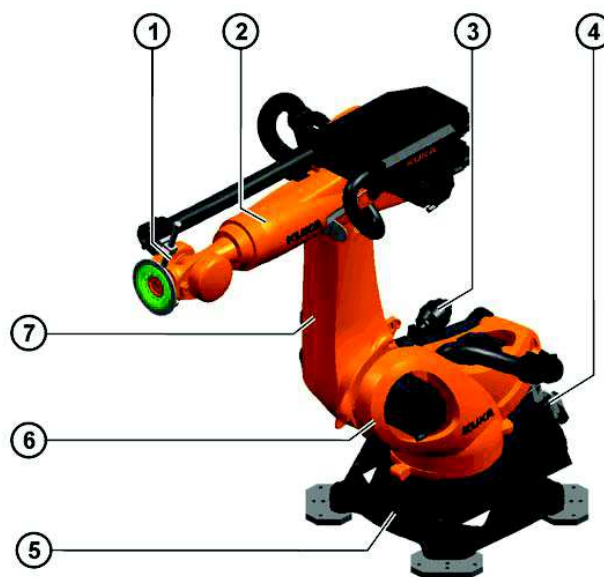


Obr. 1 Stroj HCW 2000

3.2 Popis robotu

Průmyslové roboty (= rameno robotu a elektrické instalace) jsou 6-osé kinematické systémy s kloubovými rameny. Jsou určeny pro manipulaci s nástroji a přípravky nebo pro zpracování a přenášení součástí nebo produktů. Skládají se z následujících hlavních částí:

- 1 Zápěstí
- 2 Rameno
- 3 Vyvažovací systém
- 4 Elektrické instalace
- 5 Základový rám
- 6 Otočný sloup
- 7 Spojovací rameno



Obr. 2 Popis hlavních částí robotu [3]

Zápěstí

Robot je vybaven tříosým zápěstím. Osy 4, 5 a 6 pohánějí zápěstí. Motor osy 6 je umístěn na zápěstí uvnitř ramena. To pohání zápěstí přímo, zatímco pro osy 4 a 5 je pohon přiveden přes spojovací hřídele. Pro připojení koncových nástrojů má zápěstí montážní přírubu.

Rameno

Rameno je ta část robotu, která je mezi spojovacím ramenem a zápěstím. V ramenu jsou umístěny motory pro pohon os 4 a 5. Rameno se otáčí kolem osy 3 a tento pohyb je mechanicky omezen v obou směrech.

Vyvažovací systém

Vyvažovací systém je instalován mezi rotujícím sloupem a spojovacím ramenem. Slouží k minimalizaci momentů způsobených rotací kolem osy 2. K vyvažování je použit hydropneumatický systém, který se skládá ze dvou akumulátorů, hydraulického válce, manometru a kotouče. Kotouč slouží jako bezpečnostní prvek pro ochranu proti přetížení.

Elektrická instalace

Elektrická instalace zahrnuje všechny napájecí a datové kabely pro pohony všech šesti os. Všechna připojení jsou realizována pomocí konektorů, které umožňují rychlou výměnu případných poškozených elektrických částí. Elektrická instalace zahrnuje také rozvaděč a řídicí jednotku.

Základový rám

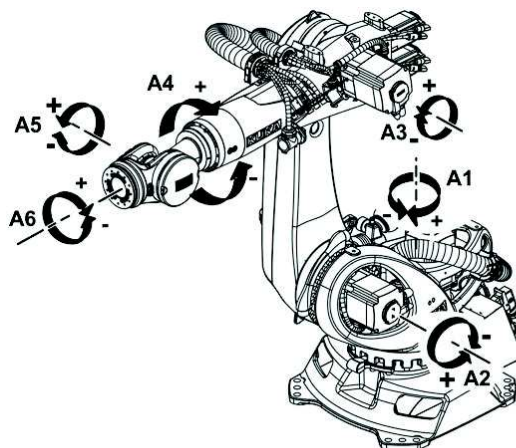
Základní rám je základem robotu. Tento rám je přišroubován k základně. Základový rám obsahuje ohebnou trubku pro elektrickou instalaci. Na základovém rámu se nachází také rozhraní pro napájecí a datové kabely.

Otočný sloup

V otočném sloupu jsou umístěny motory os 1 a 2. Otočný sloup je přišroubován k základnímu rámu. Tímto sloupem je prováděna rotace kolem osy 1. Na tento otočný sloup je přišroubováno spojovací rameno.

Spojovací rameno

Spojovací rameno je umístěno mezi otočným sloupem a ramenem. Skládá se z těla spojovacího ramene s nárazníky pro osu 2. V kombinaci s rameny různých délek tvoří specifikovaný rozsah.



Obr. 3 Popis os robotu [3]

3.3 Popis chapače

Chapač pro robotickou výměnu nástrojů je umístěn na robotu pomocí příruby. Slouží k uchopování nástrojů tak, aby mohli být vloženy ze zásobníku do stroje a naopak. Například u kuželu SK 50 se nástroj uchopuje za přírubu kuželu. Je výhodné, aby chapač měl dvě místa pro nástroje a tím je zajištěna rychlá výměna nástroje ve stroji. Od chapače je také vyžadováno, aby byla zajištěna poloha nástroje v chapači a bylo možné nástroj přesně vložit do stroje v místech kamenů. Chapače jsou konstruovány tak, aby upnutí nástroje v chapači bylo zajištěno pomocí pružiny a uvolnění pak bylo provedeno hydraulicky nebo pneumaticky. Tato konstrukce je z hlediska bezpečnosti, aby například při výpadku elektrického proudu nedošlo k uvolnění nástroje, který by mohl poškodit jak stroj, nástroj či robot nebo další příslušenství. Parametry chapače jsou nosnost a upínací síla, kterou chapač dokáže vyvinout. Na obr. 4 je znázorněn chapač pro kužel DIN 69871 od firmy Demmeler.



Obr. 4 Chapač Demmeler [4]



Obr. 5 Znáznění výměny nástroje [4]

4 Horizontální frézovací a vyvrtávací stroje [1]

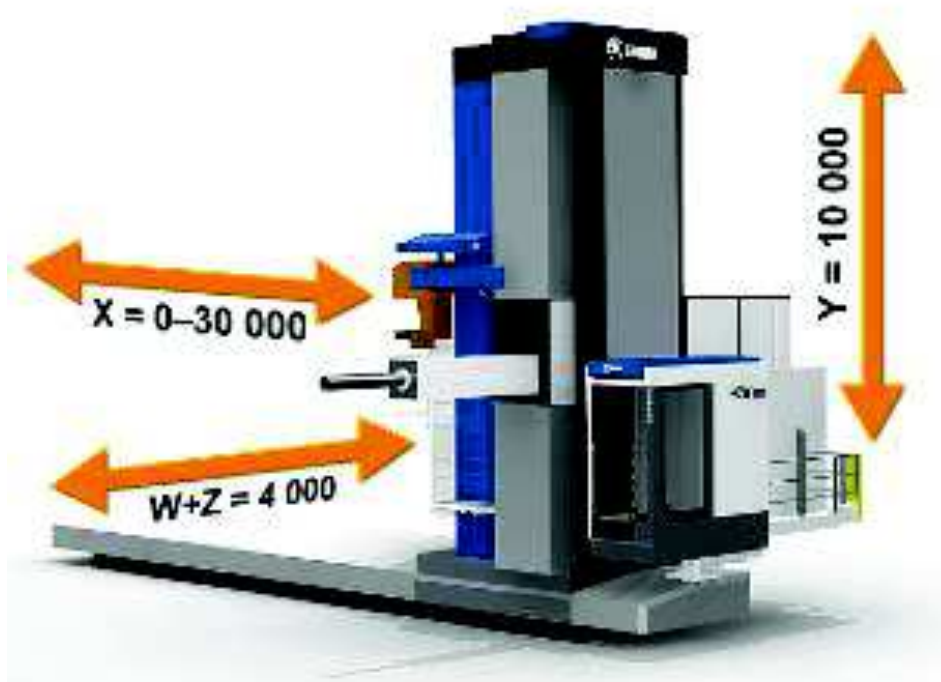
Jsou tvořeny těmito funkčními celky:

- Lože
- Pracovní stůl
- Vřeteník
- Vřeteno
- Stojan

Jejich vzájemné pohyby jsou znázorněny na obr. 6. Tyto pohyby jsou umožněny kluzným či valivým vedením a příslušným pohonným mechanismem. Konstrukce stroje nám umožňuje frézovat, vrtat, či vyvrtávat. S ohledem na tvar a jakost povrchu pak můžeme vykonávat hrubování, vystružování, zahlubování a tvorbu závitů. Při volbě stroje pro konkrétní operaci se rozhodujeme dle hmotnosti obrobku a podle technických parametrů

stroje. Hmotnost obrobku nám určuje to, zda bude posuv, či přísuv vykonávat obrobek, nebo nástroj samotný. Z hlediska parametrů obráběcího stroje jsou pro nás nejdůležitější faktory: výkon motoru pohánějící vřeteno frézy, rozsah otáček finálního vřetene, maximální možný rozměr a hmotnost obrobku, maximální pojezdové vzdálenosti v jednotlivých osách (X,Y, Z) a rozměry stroje.

Horizontální frézovací a vyvrtávací stroje jsou zpravidla využívány pro kusovou a malosériovou výrobu a proto jsou ze strany zákazníka kladeny vyšší nároky na jejich univerzálnost. Ta je možná pouze do určitých mezí. Pokud nám nemůže vhodné podmínky pro obrábění splnit stroj samotný, je nutné je zabezpečit jinak. Buď zvyšováním parametrů obráběcího stroje (popřípadě jeho přestavbou na CNC řízení), nebo pomocí široké palety doplňků a příslušenství k obráběcímu stroji. Jmenovitě sem řadíme revolverové hlavy, hydrostatické lunety, deskové suporty, brousící zařízení pro broušení vnitřních a vnějších ploch, dopravníky třísek, zařízení pro vrtání hlubokých děr, frézovací a vyvrtávací hlavy a otočné stoly. Ty mají za úkol rozšířit univerzálnost obráběcích strojů a umožnit na daném stroji vykonávat co nejširší spektrum operací. Jejich doprava ke stroji a upnutí na něj musí být co nejjednodušší a časově nenáročná. Tím je možné dosáhnout vyšší produktivity práce a s ním spojeného vyššího zisku.



Obr. 6 Horizontální frézovací a vyvrtávací stroj [5]

5 Automatická výměna nástrojů

CNC řízení je proces výroby obráběných dílů pomocí počítačového řídicího systému, který řídí motory pohánějící každou osu stroje. Pro dosažení vysoce přesného obrábění bylo vynaloženo mnoho úsilí na vývoj přesnějších počítačových systémů číslicového řízení. CNC systémy se běžně používají v průmyslových a komerčních aplikacích díky svým kompaktním rozměrům, vysokému poměru výkonu k hmotnosti, spolehlivosti a nízké údržbě. CNC systém

zahrnuje počítač s řídicí jednotkou, pohony, automatickou výměnu nástrojů a obrobků, případně další automatizované příslušenství. Zásobník nástrojů je indexované úložiště aktuálně nepoužívaných nástrojů, které jsou k dispozici pro automatickou výměnu nástrojů.

Typy zásobníků jsou následující:

- 1) Rotační buben
- 2) Řetězový zásobník
- 3) Revolverová hlava
- 4) Robotická výměna



Obr. 7 Rotační buben + řetězový zásobník + revolverová hlava [6]

Společným cílem všech typů automatické výměny nástrojů je snížení mezioperačního času, který je potřebný k výměně nástrojů. Jednotlivé typy se liší časem výměny nástroje a počtem nástrojů v zásobníku.

5.1 Koncept AVN

AVN znamená automatická výměna nástrojů. Je to důležitá část CNC obráběcího stroje. Systém AVN vybere nástroj ze zásobníku, následně vyjme nástroj z vřetene a vymění za nástroj ze zásobníku. Dále uloží použitý nástroj do zásobníku. Čas výměny nástroje je 3 – 7 sekund. AVN hraje důležitou roli při snižování doby provozu. Existuje více typů a možností AVN. Všechny mají své výhody a nevýhody. Zásobníky nástrojů mohou být vybaveny dalším příslušenstvím. Například čištěním nástrojů, kdy před uložením použitého nástroje do zásobníku dojde k jeho očištění.

5.2 Princip AVN – řetězový zásobník

Požadovaný nástroj se posune do polohy k otočnému rameni. Ten jej uchopí a posune se k vřeteni s nástrojem, který byl používán. Nástroj je vyjmut z vřetene a nyní je na obou koncích ramene nástroj. Následně se rameno pootočí o 180° a vloží požadovaný nástroj do prázdného vřetene a posune se zpět k zásobníku a uloží použitý nástroj.

5.3 Princip AVN – robotická výměna

Pomocí robotu je ze zásobníku vybrán a uchopen pomocí chapače požadovaný nástroj. Následně stroj najede do polohy, ve které může dojít k výměně nástroje. V tuto chvíli robot pomocí chapače uchopí nástroj, který je ve vřeteni stroje a vloží nástroj, který byl vybrán ze

zásobníku. Po odjetí chapače z pracovního prostoru stroje, může obrábění pokračovat. Robot posléze uloží nástroj do zásobníku. V případě, že je v prostoru zásobníku zařízení pro čištění nástroje, je možné nástroj pomocí robotu a tohoto čistícího zařízení nástroj očistit.

Funkcí automatické výměny nástrojů je:

- 1) Doprava nástroje do zásobníku při skladování
- 2) Vyčistit použitý nástroj

Existují tři způsoby, jak je možné identifikovat nástroje v zásobníku. První možnost je kódování místa pro nástroj. Druhou možností je kódování nástroje. Třetí možnost, která je používána převážně u robotické výměny nástrojů je kódování místa pro nástroj a rovněž označení nástroje. Při tomto způsobu je k místu v zásobníku přiřazen nástroj a toto je zaznamenáno v NC programu.

U automatické výměny nástrojů pomocí řetězového zásobníku a otočného ramene NC program neustále kontroluje polohu zásobníku a pozici nástroje. Požadovaný nástroj je pak přesunut do polohy pro výměnu otočením zásobníku buď po směru hodinových ručiček nebo proti směru hodinových ručiček. Tím je zajištěno nejrychlejší přesunutí nástroje do potřebné polohy.

5.3 Typy AVN a zásobníků

Pro kompletní obrábění potřebujeme, aby měl zásobník všechny nástroje, které budou potřebné. Automatická výměna nástrojů může být:

Revolverová hlava

- Používá se u vrtacích strojů
- Polo-AVN

Rotační buben

- Je používán pro malé množství nástrojů
- Nástroje jsou uloženy po obvodu bubnu
- Výměna nástrojů je relativně rychlá

Řetězový zásobník

- Je používán pro velké množství nástrojů
- Výměna nástrojů je relativně pomalá

Robotická výměna

- Nejpokročilejší typ výměny
- Je používán pro velké množství nástrojů
- Výměna nástrojů je relativně rychlá

5.4 Rozdělení AVN

Je několik způsobů podle kterých je možné automatickou výměnu nástrojů rozdělit. Může to být:

- 1) Podle typu nástroje
 - Automatická výměna jednoho nástroje
 - Automatická výměna frézovací hlavy (automatická výměna příslušenství)

- Automatická výměna speciálního nářadí
- 2) Podle systému výměny nástrojů
 - Výměna bez ramene – včetně najede do zásobníku a dojde k výměně
 - Výměna s ramenem
 - Výměna pomocí robotu
 - 3) Podle polohy nástroje
 - Horizontální poloha
 - Vertikální poloha
 - 4) Podle osy nástroje a včetně
 - Rovnoběžné osy
 - Protínající se osy

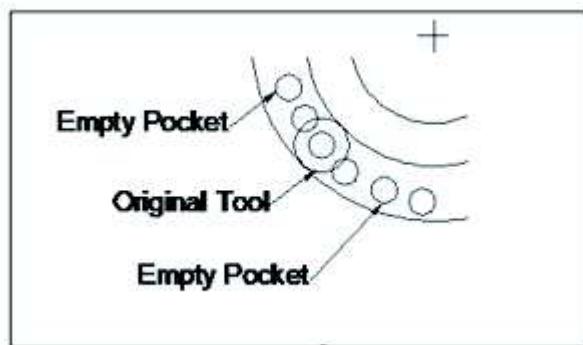
5.5 Parametry nástrojů ovlivňující AVN

Následující faktory ovlivňují automatickou výměnu nástrojů. Tyto faktory souvisejí převážně s technickými parametry nástrojů. Jsou to:

- Maximální průměr nástroje
- Maximální délka nástroje
- Maximální hmotnost nástroje

1) Maximální průměr nástroje

Pokud je nutné do zásobníku uložit nástroj s maximálním průměrem, je to možné bez úprav. Maximální průměr může ovlivnit sousední kapsu. Z tohoto důvodu je potřebné, aby byly sousední kapsy prázdné.



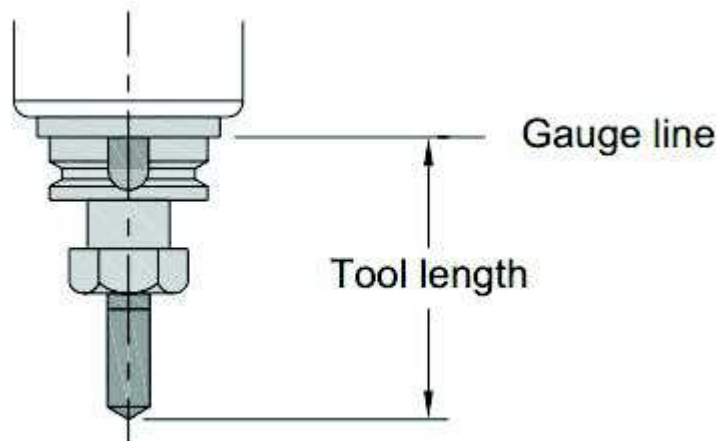
Obr. 8 Maximální průměr nástroje [6]

Předpokládejme, že při obsazení všech kapes je možné do zásobníku dát nástroj o průměru 100 mm. Pokud jsou sousední kapsy vyprázdněny, je možné uložit nástroj o průměru 150 mm. Tímto se ovšem snižuje celková kapacita zásobníku.

2) Maximální délka nástroje

Délku nástroje je nutné znát z důvodu nutné minimální vzdálenosti vřetene stroje od obrobku při výměně nástroje. V případě příliš velké délky nástroje je nutné vytvořit mezi vřetenem a obrobkem dostatečnou vzdálenost. To je možné řešit pohybem vřetene v ose Z nebo pohybem obrobku mimo osu vřetene. Jakákoliv kolize nástroje se strojem nebo obrobkem je nežádoucí a mohla by způsobit nevratné poškození nástroje či obrobku nebo poškození stroje. Dále by došlo k přerušení automatické výměny nástroje, případně vypadnutí nástroje z chapadla.

Dalším důvodem proč je nutné znát maximální délku nástroje je z hlediska regálového zásobníku při robotické výměně nástroje. Délka nástroje ovlivňuje vzdálenost mezi jednotlivými policemi v zásobníku. Když nástrojů s maximální délkou není mnoho, je možné umístit tyto nástroje do nejvyšší police, a tím není nutné mít police od sebe na maximální délku nástroje. Tím je ušetřen prostor.



Obr. 9 Maximální délka nástroje [7]

3) Maximální hmotnost nástroje

Maximální hmotnost nástroje je nutné brát v úvahu při konstrukci zásobníku. Je nutné, aby při uložení nástrojů nedošlo k znetelné deformaci police. V tom případě by chapač nesprávně uchopil nástroj a mohlo by dojít k jeho vypadnutí nebo by nebyl správně vložen do vřetena stroje. Při robotické výměně nástroje má robot předepsanou maximální hmotnost nástroje, s kterou dokáže manipulovat. Při překročení únosnosti robotu by mohlo dojít k jeho poškození nebo by mohl nástroj vypadnout z chapače a poškodit další zařízení, stroj, obrobek nebo ostatní nástroje.

6 Návrh zásobníku

Jedním z hlavních úkolů této práce je navrhnout zásobník pro robotickou výměnu nástrojů. Zásobník musí splňovat požadavky na nástroj, které jsou uvedeny v tab.2. Dále by měl splňovat obecné požadavky stanovené v tab.3. Je také vhodné, navrhnout zásobník modulární. To znamená, že je možné zásobník poskládat z hlavních částí tak, aby byla volitelná celková kapacita zásobníku.

6.1 Specifikace požadavků

6.1.1 Zadané parametry

Kužel	SK50
Maximální průměr nástroje	400 mm
Maximální délka nástroje	1000 mm
Maximální hmotnost	35 kg
Počet nástrojů v zásobníku	200
Deformace police v místě nástroje	0,3 mm

Tab 2 Zadané požadavky na zásobník

6.1.2 Další požadavky na zásobník pro AVN

Vlastnosti zásobníků pro automatickou výměnu nástrojů by měly být takové, aby splňovaly následující požadavky:

- Zásobník nástrojů musí mít dostatečný počet míst pro všechny nástroje potřebné k dokončení obrábění jednoho obrobku na obráběcím stroji
- Zásobník by měl být co nejkompaktnější
- Konstrukce musí být jednoduchá
- Výměna nástroje by neměla zasahovat do obrobku
- Veškeré přípravné práce na výměnu nástrojů by měly být prováděny během obrábění

6.1.3 Obecné požadavky

- Funkčnost
- Smontovatelnost
- Životnost
- Ekonomická a ekologická nenáročnost
- Spolehlivost
- Ergonomičnost a ovladatelnost

Požadavky	Požadovaná hodnota	Přání/Požadavek
Základní provozní požadavky na vlastnosti technického systému (TS)		
Funkce/účinky konstruovaného TS		
Zásobník nástrojů		
Typ kuželu	SK50	Požadavek
Maximální průměr nástroje	400 mm	Požadavek

Maximální délka nástroje	1000 mm	Požadavek
Maximální hmotnost nástroje	35 kg	Požadavek
Počet nástrojů	200	Požadavek
Deformace police v místě nástroje	0,3 mm	Požadavek
Vhodnost funkcí TS pro požadovaný TRANSF. PROCES		
Proces výměny nástroje		
Přesnost	Vysoká	Požadavek
Rychlost	Vysoká	Požadavek
Čištění nástrojů		Přání
Vhodnost TS pro provoz v požadovaném místě		
Charakter výroby	Kusová	
Charakter provozního prostředí	Nečisté	Požadavek
Druh základu	Podlaha	Požadavek
Vhodnost TS pro provoz v požadovaném časovém rozmezí		
Doba provozování	10000 hodin	Požadavek
Frekvence používání	Častá	Požadavek
Stupeň spolehlivosti	Vysoký	Požadavek
Vhodnost TS k mater. & energ. Okolí		
Korozivzdornost v obvyklém dílenském prostředí	Standardní	Požadavek
Zabránit znečišťování okolí pro procesu výměny		Požadavek
Odolnost pracovních ploch TS proti opotřebení	Vysoká	Požadavek
Ostatní požadavky na vlastnosti & chování TS		
Vhodnost TS pro člověka		
Zdravotní nezávadnost materiálů TS	Úplná	Požadavek
Zdravotní nezávadnost asistujících materiálů TS	Úplná	Požadavek
Bezpečnost	Vysoká	Požadavek
Ergonomičnost	Vysoká	Přání
Náročnost TS na likvidační prostředky		
Likvidační prostředky a technologie	Standardní	Požadavek
Náročnost TS na distribuční prostředky		
Manipulace a montáž	Jednoduchá	Přání
Vhodnost k balení, montáži a transportu	Vysoká	Přání
Vztah TS k patentovým a licenčním právům		
Souhrnná charakteristika	Bez porušení	Požadavek
Vztah TS k dalším předpisům a normám		
Souhrnná charakteristika	Bez porušení	Požadavek
Vhodnost TS pro nákladová manaž.-tech. Hled.		
Náklady na provoz	Nízké	Přání
Náklady na údržbu	Nízké	Přání
Náklady na montáž	Nízké	Přání

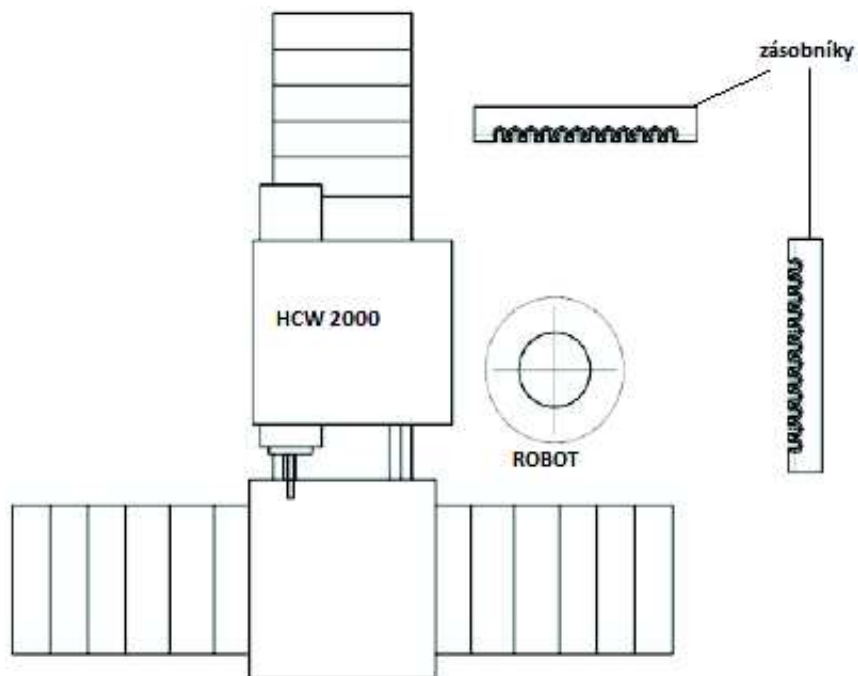
Náklady na servis a opravu	Nízké	Přání
Náklady na energie	Nízké	Přání

Tab 3 Specifikace požadavků na zásobník

6.2 Návrh variant

6.2.1 Varianta A

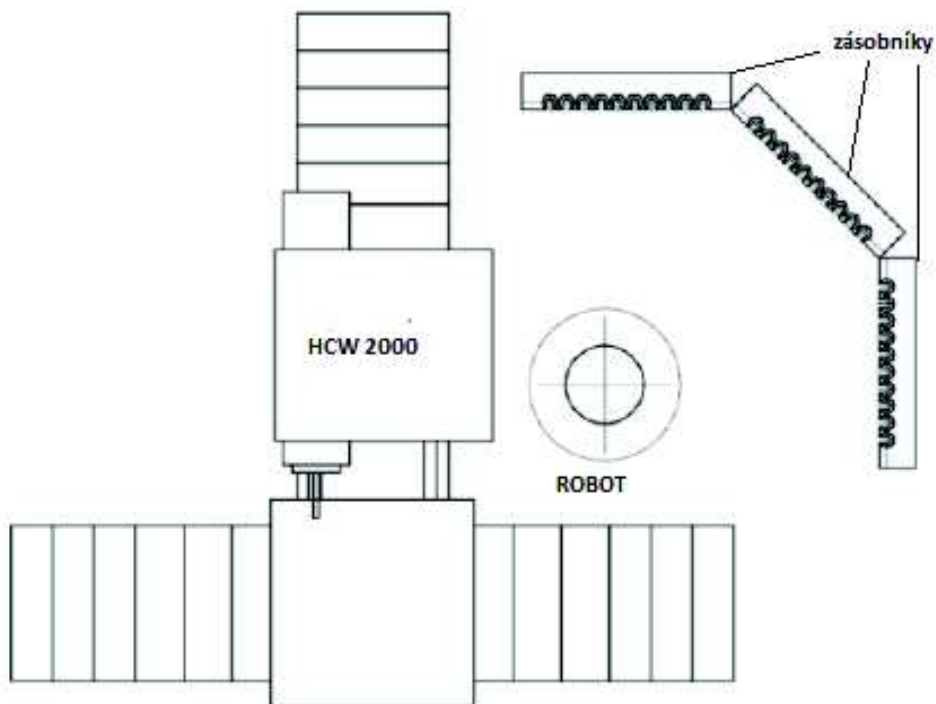
Tato varianta se skládá ze dvou přímých regálů, které jsou vůči sobě postaveny kolmo. Výhodou této varianty je jednoduchost konstrukce. Nevýhod je však více. Největší z nich je malé využití pracovního prostoru robotu. Druhou vážnou nevýhodou je obtížné spojení obou částí, které je nutné pro zajištění vzájemné polohy všech polic.



Obr. 10 Varianta zásobníku A

6.2.2 Varianta B

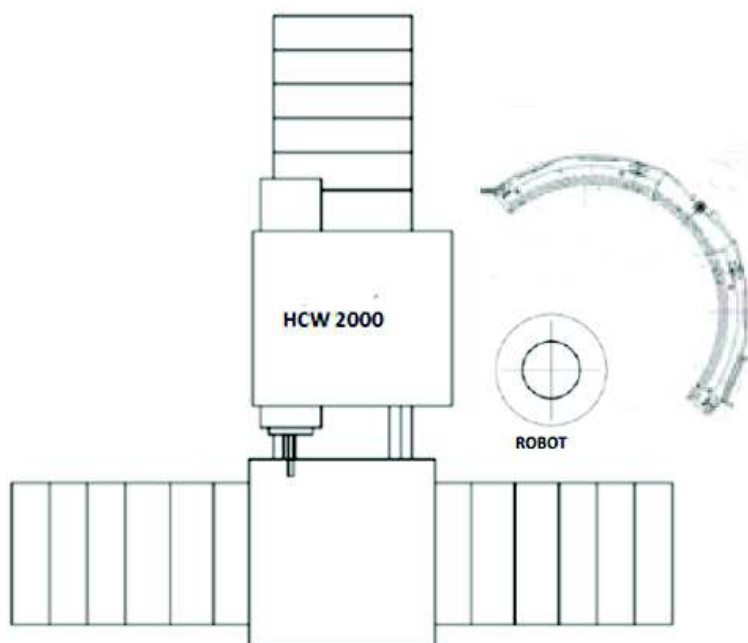
U této varianty jsou použity opět přímé regály. Zásobník je složen ze tří přímých regálů pootočených o 135°. Zde je více využit pracovní prostor robotu a je možno regály vzájemně spojit. Výhodou je zde natočení regálů i o jiný úhel než 135° v případě, že by to bylo vyžadováno dispozičním řešením obráběcího stroje a zásobníku.



Obr. 11 Varianta zásobníku B

6.2.3 Varianta C

Tato varianta je řešena kruhovými segmenty. Základním segmentem je zásobník o 90° , ve kterém je okno pro výměnu a zařazení nástrojů do zásobníků. Tento segment je možné rozšiřovat o další segmenty po 30° až do 180° . Výhodou tohoto kruhového uspořádání je maximální využití pracovního prostoru robotu. Další výhodou je uzavřený pracovní prostor robotu, a tím splněny požadavky bezpečnosti obsluhy. Nevýhodou je složitost konstrukce.



Obr. 12 Varianta zásobníku C

6.3 Hodnocení a výběr varianty

Pro hodnocení jsem vybral nejdůležitější požadavky a ty obodoval od 1 do 4, přičemž 4 je nejlepší a 1 nejhorší. Prostým součtem bodů jednotlivých požadavků zjistím, která varianta je nejlepší. Nejlepší bude varianta s největším počtem bodů.

	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Modularita	1	2	4
Prostorové využití	2	3	4
Jednoduchost	4	3	2
Bezpečnost vůči obsluze	2	2	3
Σ	9	10	13

Tab 4 Hodnocení variant zásobníků

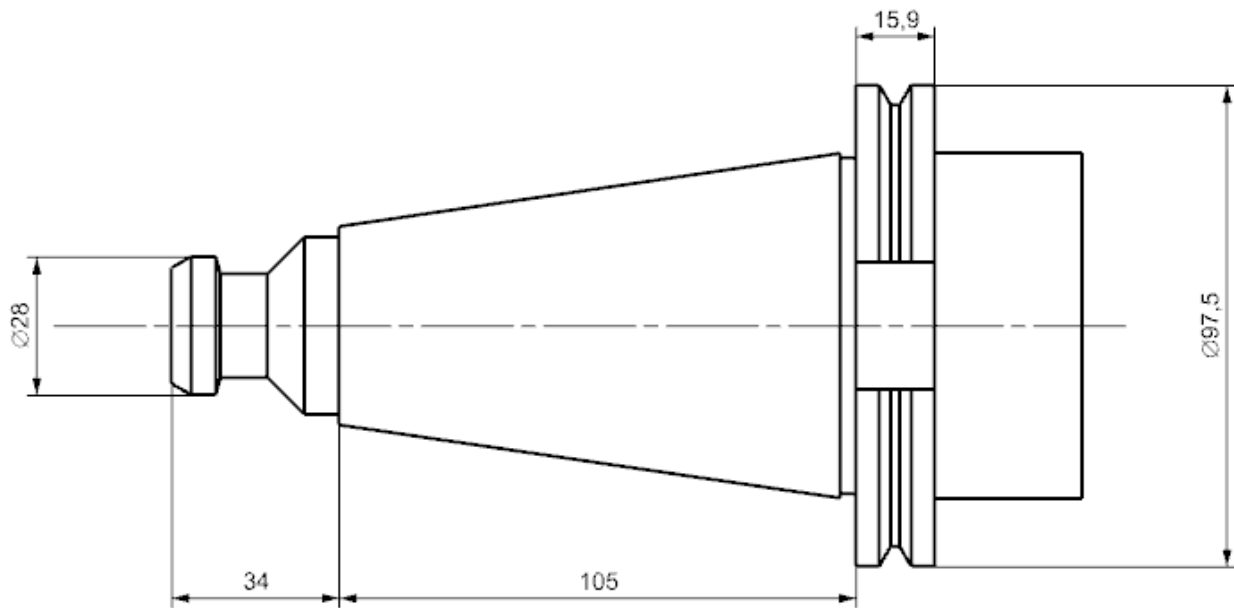
Dle hodnocení v tab. 4 je nejlepší varianta C. Tato varianta bude dále rozpracována.

6.4 Konstrukce zásobníku

Dle výběru v předchozí kapitole bude konstruován zásobník kruhový. Aby byl splněn požadavek stavebnicové konstrukce a dosaženo co nejvíce možností provedení, bude zásobník tvořen segmenty. Základní segment je 90°. Dalšími segmenty o 30° je možno tento základní segment rozšířit až do 180°. Při takovémto rozšíření (180°) musí být splněno zadání o počtu a rozměrech nástrojů, který musí zásobník pojmout.

6.4.1 Kužel DIN 69871, SK50

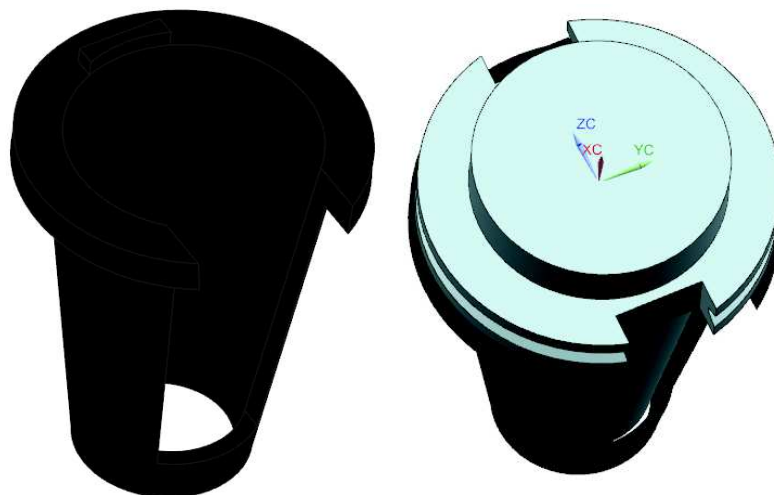
Dle zadání jsou nástroje upínány do stroje pomocí kuželu dle normy DIN 69871 – SK50. Na obr. 13 jsou klíčové rozměry kuželu pro návrh rozměrů zásobníku a jednotlivých polic.



Obr. 13 Kužel SK 50

6.4.2 Lůžko nástroje

Pro uložení nástroje v zásobníku je navrženo plastové lůžko. Toto lůžko se nachází v každé pozici zásobníku. Tvar lůžka vychází z tvaru kuželu SK50. Nástroj na lůžko dosedá přírubou a pozice nástroje je zajištěna kamenem na čele příruby. Aby nebylo nutné nástroj při ukládání a vyjímání zvedat o celou délku upínacího kuželu, je lůžko podélně vyříznuto.



Obr. 14 Lůžko pro nástroj + nástroj v lůžku

6.4.3 Upřesnění zadání

Zásobník je konstruován tak, že jednotlivá lůžka pro nástroje jsou od sebe vzdáleny tak, aby se vešli čelisti chapače mezi jednotlivé upínací kužele. V případě uložení nástroje o větším průměru než je největší průměr upínacího kuželu, budou sousední lůžka prázdná, aby nedošlo ke kolizi nástrojů.

Dále je nutné upřesnit maximální výšku nástrojů. Nástroje o délce 1000 mm budou umístěny v nejvyšší polici.

Není požadavek, aby v zásobníku bylo 200 nástrojů o délce 1000 mm a průměru 400 mm.

6.4.4 Návrh police

6.4.4.1 Výpočet rozměrů police

S ohledem na rozměr příruby kuželu (tj. $\varnothing 97,5$ mm) a nutnosti vytvořit prostor pro čelisti chapače v otevřeném stavu byla rozteč os mezi jednotlivými kapsami zvolena 140 mm.

Počet pater zásobníku

Po konzultaci se zadavatelem bylo rozhodnuto, že zásobník bude mít 5 pater.

$$N_p = 5$$

Počet nástrojů v jednom patře

$$N_{np} = \frac{N}{N_p} = \frac{200}{5} = 40$$

Jelikož je požadováno, aby byl zásobník modulární, bude navržen tak, aby ho bylo možno rozšířit segmenty po 30° . Z tohoto důvodu je nutné, aby počet nástrojů v jednom patře zásobníku byl dělitelný šesti a bylo tak možné celý zásobník sestavit ze segmentů po 30° ($6 \times 30 = 180$). Na základě této úvahy jsem zvolil počet nástrojů v jednom patře $N_{np} = 48$.

Police pro segment 30°

Počet nástrojů v jedné polici v segmentu 30° bude 8. Pro stanovení rozměrů police je nutné určit rádius osy, která prochází osami jednotlivých kapes. Tento rádius je vypočítán z potřebné délky oblouku při dodržení rozteče os mezi jednotlivými kapsami, tj. 140 mm.

Délka oblouku pro segment 30°

$$l_{30} = 140 * 8 = 1120 \text{ mm}$$

Rádius osy lůžek

$$R = \frac{l_{30}}{\alpha} = \frac{1120}{\frac{1}{6}\pi} = 2139 \text{ mm}$$

$$\alpha = 30^\circ = 1/6\pi$$

Na základě tohoto rádiusu byly navrženy rozměry police pro segment 30° . Šířka police byla zvolena tak, aby se do ní vešel nástroj o průměru 400 mm, jak je požadováno v zadání. Na obr. 15 jsou patrné všechny rozměry police.

Šířka police

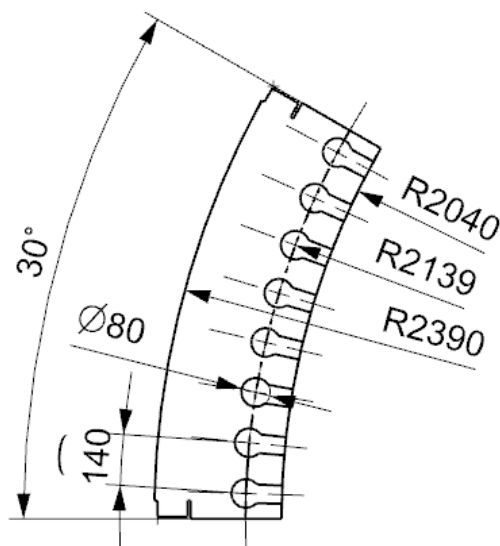
Šířka police byla stanovena s ohledem na maximální průměr nástroje, který je možno do zásobníku uložit. K tomuto průměru byla připočítána bezpečnostní vůle od zadní stěny zásobníku.

Maximální poloměr nástroje: 400 mm

Bezpečnostní vůle od zadní stěny zásobníku: 51 mm

Vzdálenost osy lůžka od vnitřního rádiusu: 99 mm

Šířka police: 350 mm



Obr. 15 Návrh police

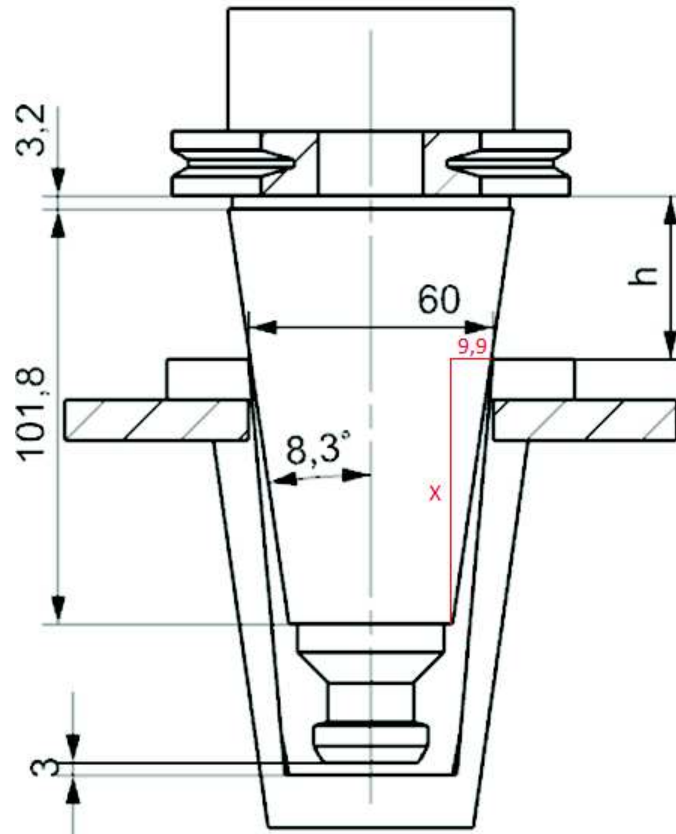
6.4.5 Vzdálenost mezi policemi

Zásobník bude řešen tak, že v nejvyšší polici budou umístěny nástroje o délce 1000 mm, aby byla ušetřena celková výška zásobníku. Dále budou v zásobníku umístěny nástroje do délky 400 mm a 200 mm. Pro nástroje do délky 200 mm bude vyhrazeno předposlední patro. Nástroje do délky 400 mm budou umístěny v ostatních patrech. Je samozřejmostí, že nástroje o délce do 200 mm je možné umístit do prostoru pro nástroje do délky 400 mm.

Pro vzdálenost mezi policemi je nutné vypočítat potřebnou výšku, o kterou je nutné zvednout nástroj při odebrání z lůžka. Tato vzdálenost je pro všechny nástroje stejná.

Zvednutí nástroje

Pro vysunutí nástroje z lůžka je potřeba nástroj zvednout o výšku h dle obr.16. Rozměr 60 mm představuje velikost otvoru v horní části lůžka. Nástroj je tedy nutné zvednout o tuto výšku tak, aby při zvednutí měl kužel v místě horní části lůžka průměr 60 mm. Ostatní rozměry na obr.16 jsou parametry upínacího kuželu.



Obr. 16 Zvednutí nástroje

Výpočet výšky h

Pro výpočet výšky h nejprve vypočítám vzdálenost x, která odpovídá místu, kde má kužel průměr 60 mm.

$$x = \frac{9,9}{\tan 8,3} = 67,9 \text{ mm}$$

Z rozměrů na obr.16 lze stanovit výšku h takto:

$$h = 101,8 + 3,2 - 67,9 = 37,1 \text{ mm}$$

Z důvodu bezpečnosti volím výšku h = 40 mm.

Výpočet vzdálenosti mezi policemi

Výpočet vzdálenosti mezi policemi vychází z obr. 17.

Popis rozměrů na obr.17:

Výška police: 10 mm

Vzdálenost lůžka pod policí: 95 mm

Bezpečnostní vůle: 10 mm

Zvednutí nástroje: 40 mm

Délka nástroje: 400 mm

Příruba kuželu: 16 mm

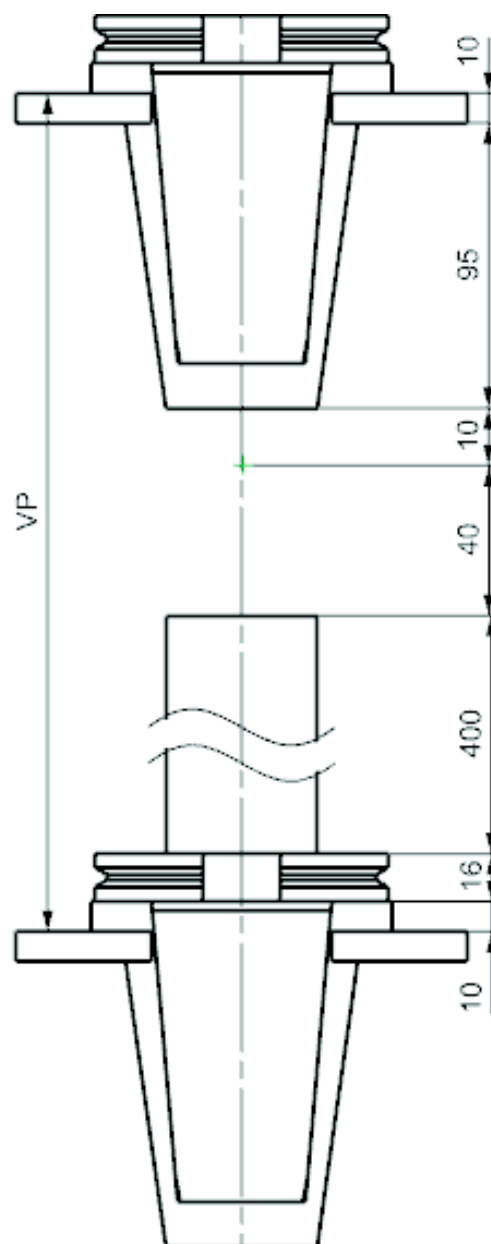
Vzdálenost lůžka nad policí: 10 mm

Vzdálenost mezi policemi: VP

$$VP = 10 + 95 + 10 + 40 + 400 + 16 + 10 = 581 \text{ mm}$$

Volím vzdálenost mezi policemi **VP = 600 mm** pro délku nástrojů 400 mm

Pro délku nástrojů 200 mm je postup výpočtu stejný. Změní se jen délka nástroje ze 400 mm na 200 mm. Vzdálenost mezi policemi pro délku nástroje 200 mm volím **VP = 400 mm**.



Obr. 17 Vzdálenost mezi policemi

Podstava zásobníku

Podstava zásobníku je ocelová deska stejného tvaru jako police. Neobsahuje otvory pro nástroje a tloušťka je 20 mm. Pomocí podstavy je celý zásobník ukotven k podlaze pomocí BW fixátorů. Podstava je vzdálena od první police 300 mm.

6.4.6 Celková výška zásobníku

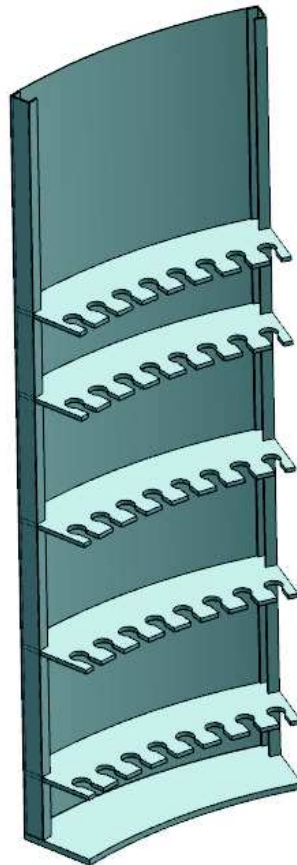
Celková výška zásobníku VZ je vypočítána od podstavy zásobníku po nejvyšší bod konstrukce. Je to součet vzdálenosti první police od podstavy, tří vzdáleností mezi policemi 600 mm, jedné vzdálenosti mezi policemi 400 mm a délky nástroje 1000 mm.

$$VZ = 300 + 3 * 600 + 400 + 1000 = 3500 \text{ mm}$$

6.4.7 Sestavení zásobníku

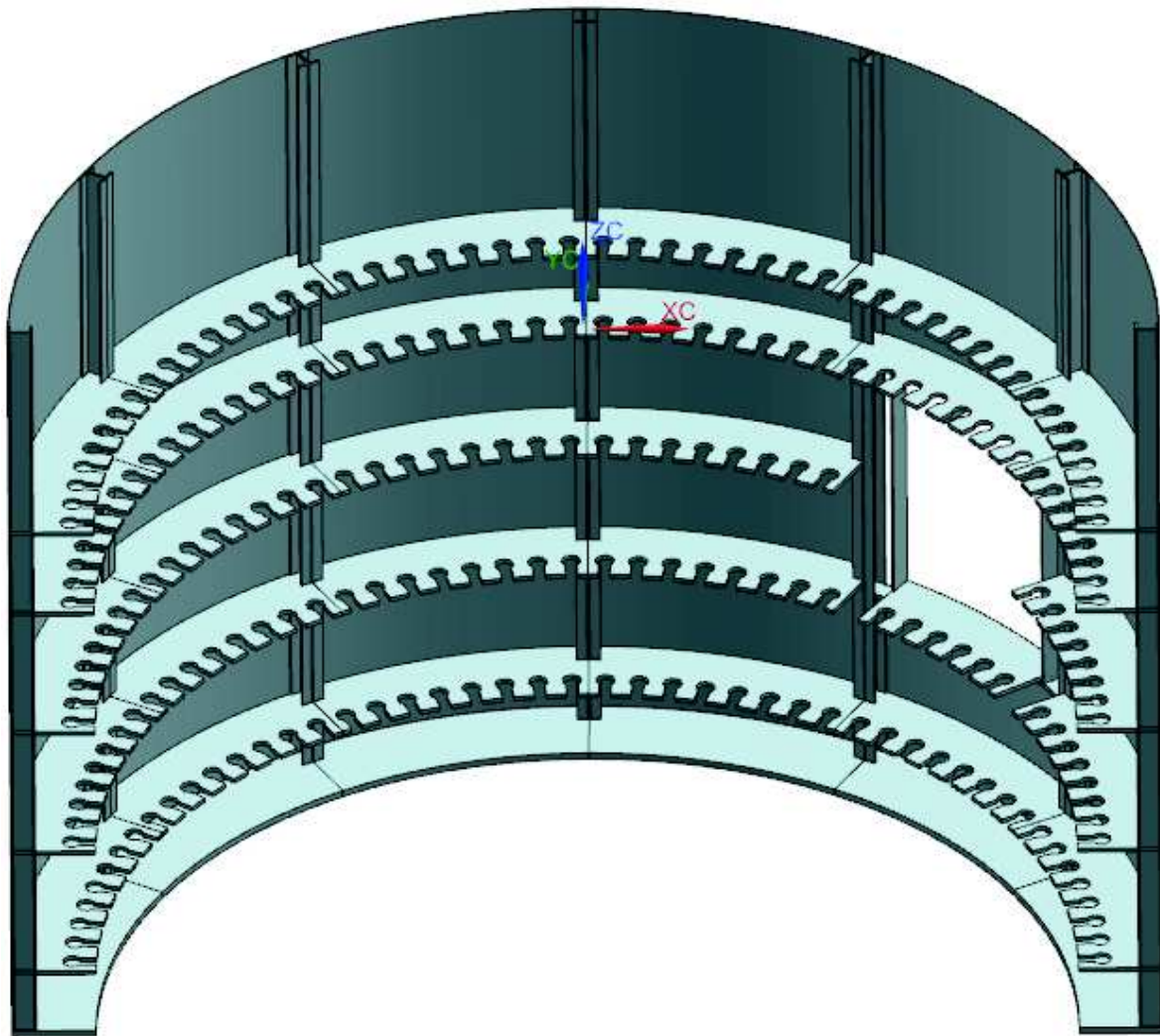
Konstrukce segmentu 30°

Třicetistupňový segment se skládá z podstavy, polic, dvou stojin a zadní stěny. Na obr.18 je tento segment zobrazen.



Obr. 18 Segment 30°

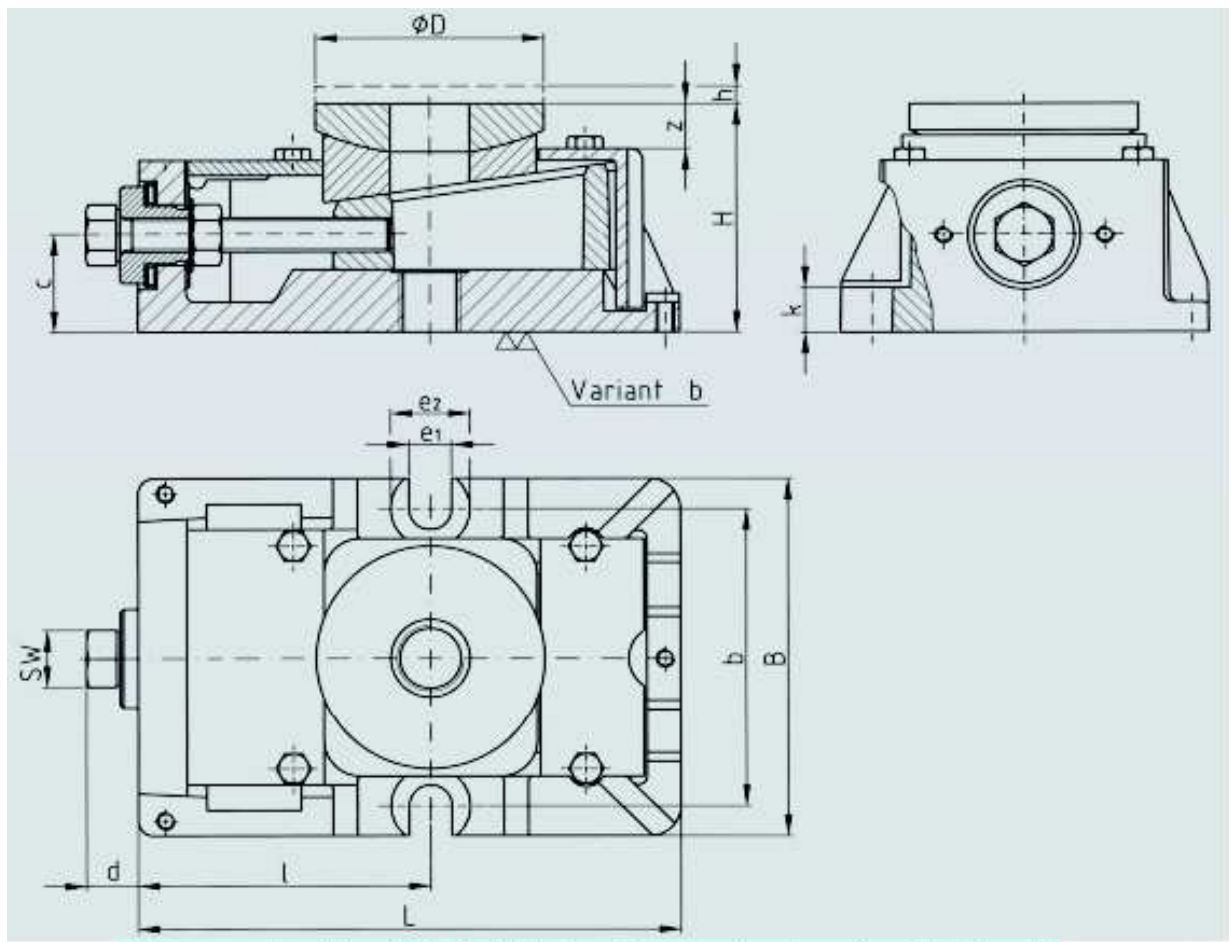
Těchto šest segmentů je poskládáno vedle sebe a tím vznikne celý zásobník 180°. Do jednoho segmentu 30° je nutné udělat okno pro zakládání nástrojů. Toto okno je umístěno přibližně v polovině výšky celého zásobníku. Druhá a třetí police u tohoto třicetistupňového segmentu jsou odstraněny, aby bylo možné do zásobníku založit nástroje o délce 1000 mm. Celý zásobník je vyobrazen na obr.19.



Obr. 19 Zásobník 180°

6.4.8 Ukotvení zásobníku

Zásobník je nutné po sestavení vyrovnat, tak aby na sebe jednotlivé police navazovali a byly ve stejné výšce. K tomu slouží BW fixátory firmy Fixatorenbau, které jsou přišroubovány k zemi a je možno seřizovat polohu každého segmentu. Zatížení, které musí fixátory přenést je od zatížení nástrojů. Toto zatížení činí přibližně 8 500 kg. Další zatížení je od vlastní hmotnosti zásobníku. To činí přibližně 2 500 kg. Celkové zatížení je tedy okolo 110 000 N. Celý zásobník je umístěn na 24 fixátorech. Síla na jeden fixátor tedy činí přibližně 4 500 N. Tomu s přehledem odpovídá fixátor typu RKI. BW fixátor s rozměry a přípustným zatížením je na obr. 20.



Size	L	B	H*	φD	SW	d	c	z	h	l	b	e1	e2	k
I	175	105	55	60	19	16	21	13	5	92	90	14	26	12

Size	Dim	RKI
Permissible maximum load ¹⁾	N	90 000
Recommended machine dead weight ²⁾	N	10 000
Spring constant in operation range ³⁾	N/μm	2 000
Torque at adjusting screw	Specific	$\frac{N \cdot m}{10^3 \text{ kg}}$
	Maximum	N-m
	Security	N-m
Vertical Adjustment per screw turn	mm	0,25
Weight of basic unit	kg	4

Obr. 20 BW fixator

6.5 Vybraný robot

Na základě rozměrů zásobníku byl vybrán robot od firmy KUKA typ KR 90 R2700 pro.

6.5.1 Technická data vybraného robotu

Základní údaje

	KR 90 R2700 pro
Počet os	6
Počet ovládaných os	6
Objem pracovního prostoru	55 m ³
Přesnost polohy	±0,06 mm
Hmotnost	přibližně 1058 kg
Jmenovité užitečné zatížení	90 kg
Maximální dosah	2696 mm
Ochrana	IP65
Úroveň hluku	<75 dB
Montážní pozice	podlaha
Zástavbový prostor	830 mm x 830 mm
Přípustný úhel sklonu	≤5°
Teplota okolí	
Během provozu	10 °C až 55 °C
Během skladování/transportu	-40 °C až 60 °C

Tab 5 Základní údaje vybraného robotu

Provozní údaje os

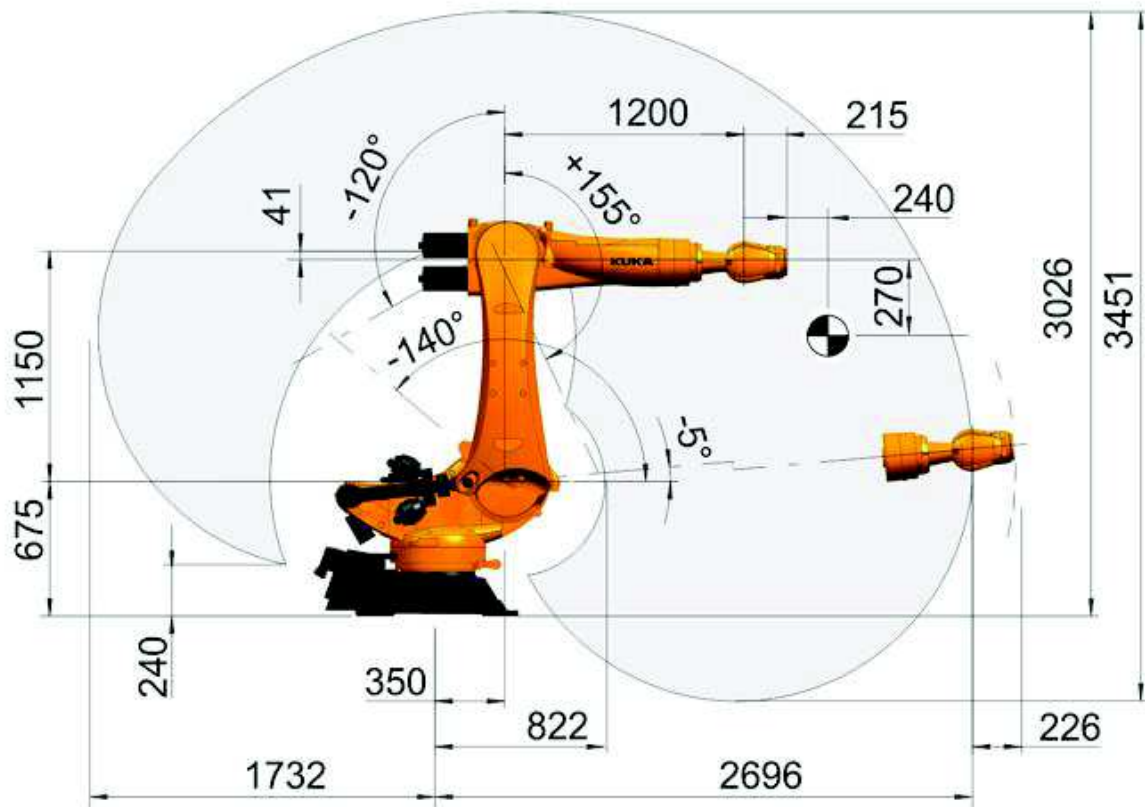
Rozsah pohybu	
A1	±185°
A2	-140°/-5°
A3	-120°/155°
A4	±350°
A5	±125°
A6	±350°
Rychlost při jmenovitém zatížení	
A1	136°/s
A2	130°/s
A3	120°/s
A4	292°/s
A5	258°/s

Tab 6 Rozsah a rychlosti jednotlivých os vybraného robotu

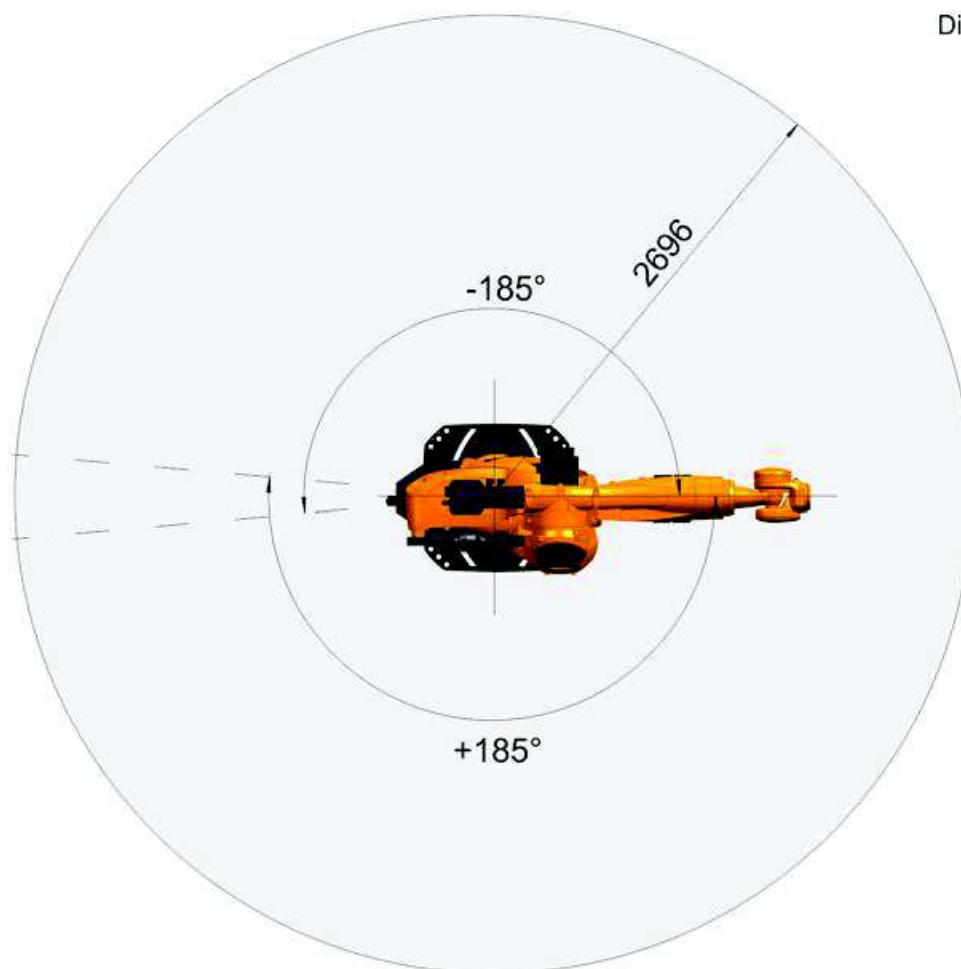
6.5.2 Pracovní prostor robotu

Následující obrázky ukazují těžiště při zatížení, tvar a velikost pracovního prostoru robotu. Referenční bod pracovního prostoru je průsečík osy 4 a osy 5.

Dimensions: mm



Obr. 21 Pracovní prostor vybraného robotu – nárys [3]



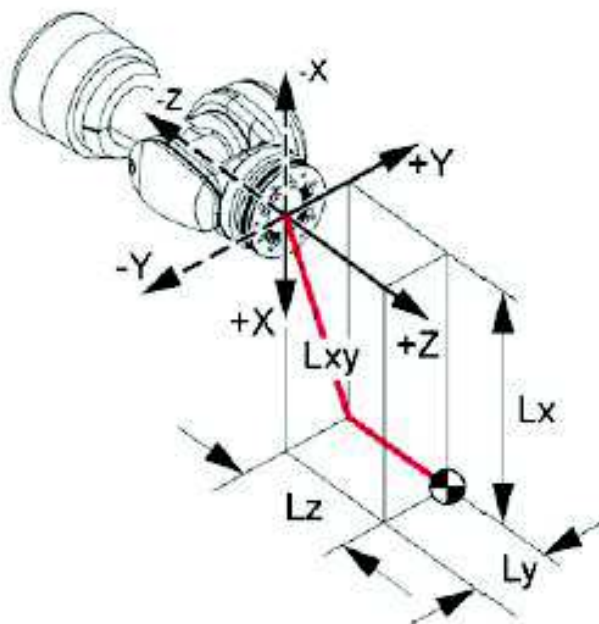
Obr. 22 Pracovní prostor vybraného robotu – půdorys [3]

6.5.3 Užitečné zatížení robotu

Jmenovité užitečné zatížení	90 kg
Jmenovitý moment setrvačnosti	45 kgm ²
Maximální přídavné zatížení na otočný sloup	300 kg
Maximální přídavné zatížení na spojovací rameno	130 kg
Jmenovité přídavné zatížení na rameno	50 kg
Maximální přídavné zatížení na rameno	150 kg
Jmenovitá vzdálenost k těžišti břemene	
L _{xy}	270 mm
L _z	240 mm

Tab 7 Užitečné zatížení vybraného robotu

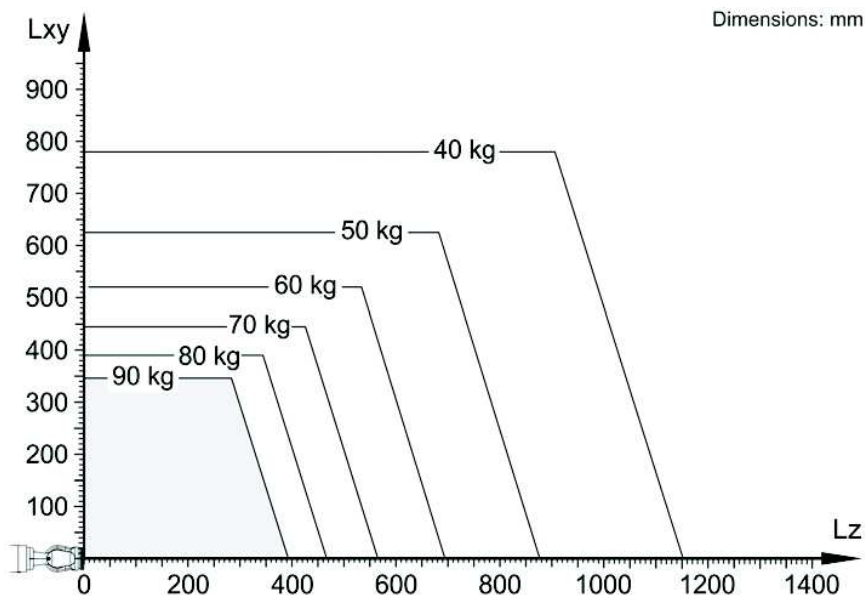
Pro všechna užitečná zatížení se těžiště zatížení vztahuje na vzdálenost od plochy montážní příruby na ose 6. Viz. obr.23



Obr. 23 Prodloužení ramene [3]

Zatěžovací diagram

Křivka na obr. 24 odpovídá maximálnímu přípustnému zatížení. Obě hodnoty (zatížení a moment setrvačnosti) musejí být ve všech případech zkontrolovány. Překročení přípustného zatížení snižuje životnost robota a způsobí přetížení motorů a převodových stupňů.

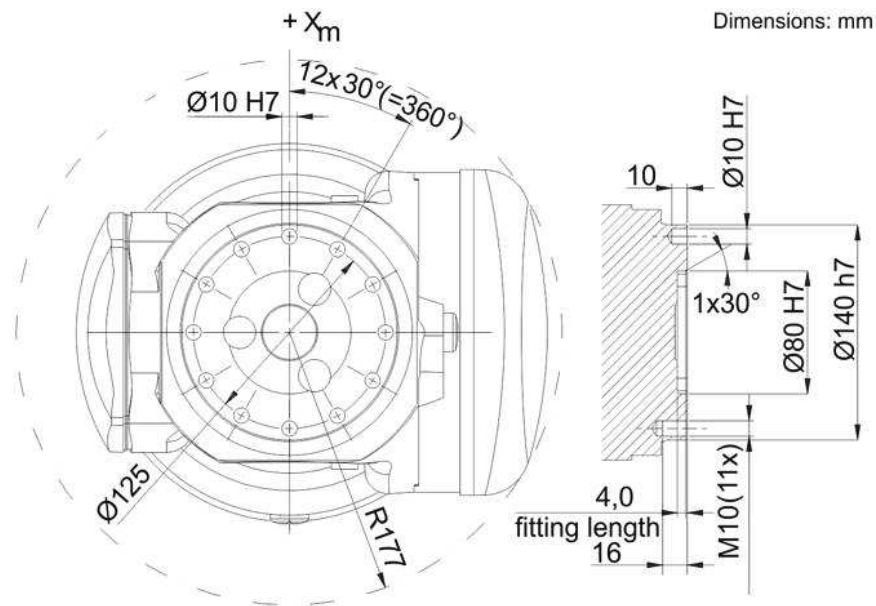


Obr. 24 Zatížení při prodloužení ramene [3]

6.5.4 Montážní příruba

Montážní příruba je znázorněna na obr.25 a je umístěna na zápěstí robota (ose 6). Označení X_m označuje pozici prvku pro polohu v nulové poloze.

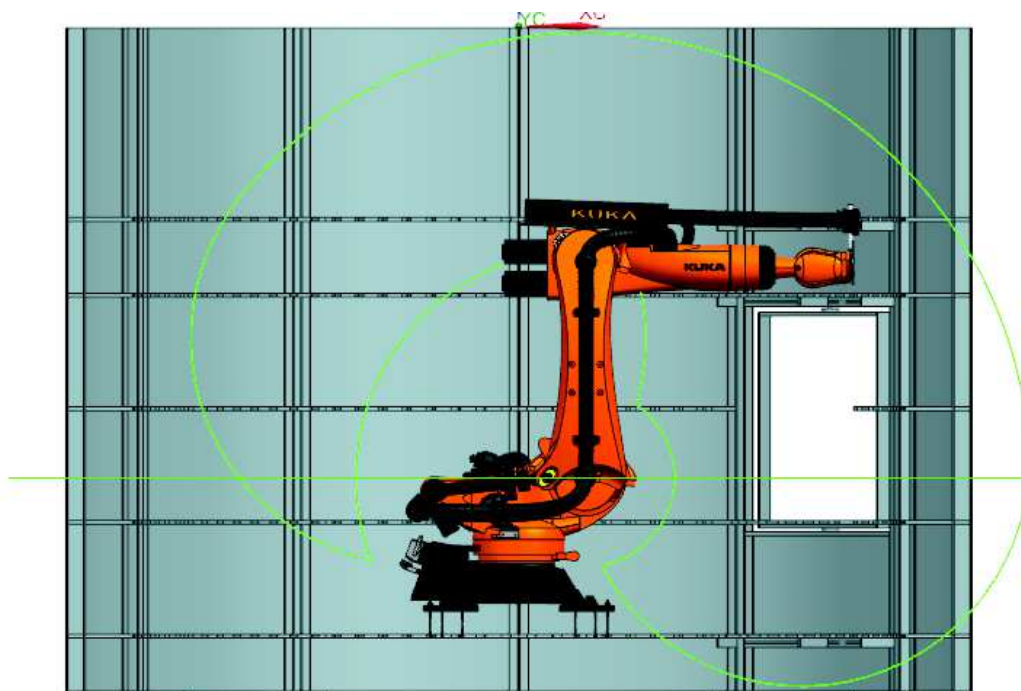
Pro upevnění příslušenství na přírubu je použito 11 šroubů M10.



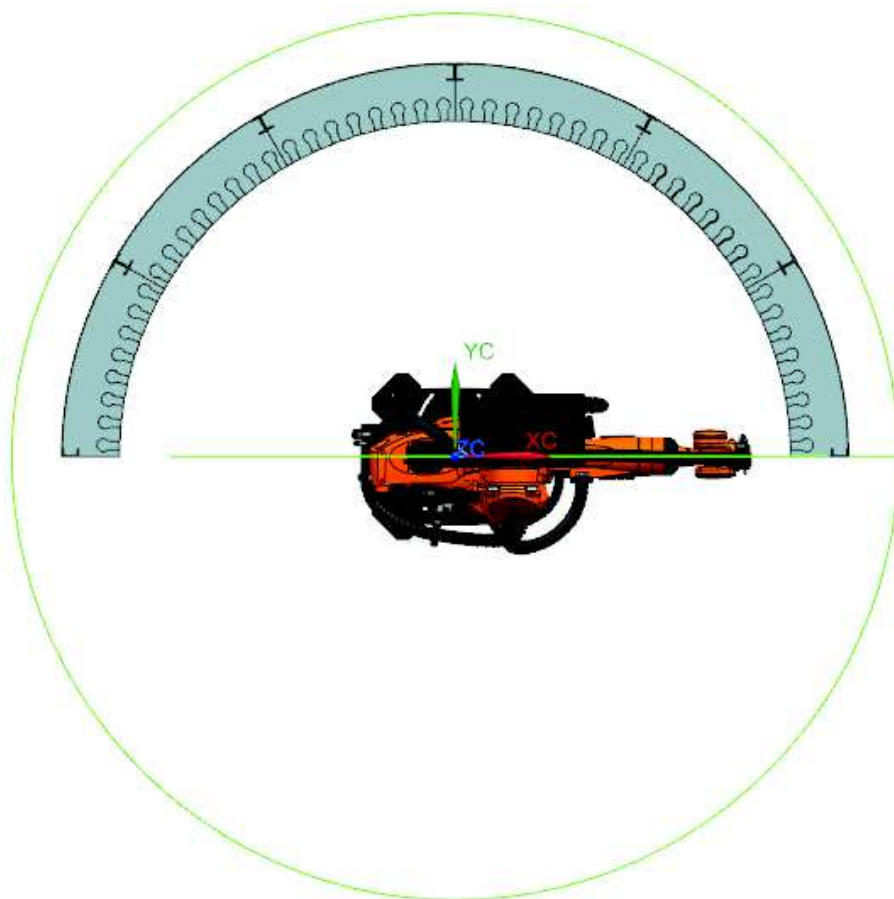
Obr. 25 Příruba robotu [3]

6.6 Umístění zásobníku do pracovního prostoru robotu

Zásobník musí být umístěn do pracovního prostoru robotu tak, aby mohl robot dosáhnout do všech polic. Zároveň není nutné, aby byla celá výška zásobníku v tomto pracovním prostoru, protože robot nemusí dosáhnout až na vrchol nejdelšího nástroje umístěného v nejvyšší polici. Stačí, když dosáhne pouze na upínací kužel a je schopen tento nástroj zvednout o potřebnou výšku.



Obr. 26 Umístění zásobníku v pracovním prostoru robotu - nárys



Obr. 27 Umístění zásobníku v pracovním prostoru robotu – půdorys

Jak je patrné z obr. 28, je efektivní umístit robot nad podlahu. Dojde tím k lepšímu využití pracovního prostoru robotu a tím i postačuje zvolit menší robot. Výška, o kterou je nutné robot zvednout byla odměřena z CAD modelu. Hodnota této výšky je 450 mm.



Obr. 28 Umístění zásobníku u stroje [5]

6.7 Dimenzování zásobníku

V této kapitole bude provedeno dimenzování zásobníku. Zásobník je potřeba dimenzovat pro zadaný počet nástrojů. Tyto nástroje budou zásobník zatěžovat statický vlastní hmotností. Předpokladem je, že nejdůležitějším parametrem dimenzování bude deformace celého zásobníku v místech, kde jsou nástroje uloženy. Dále budou vyhodnocena místa s maximálním napětím.

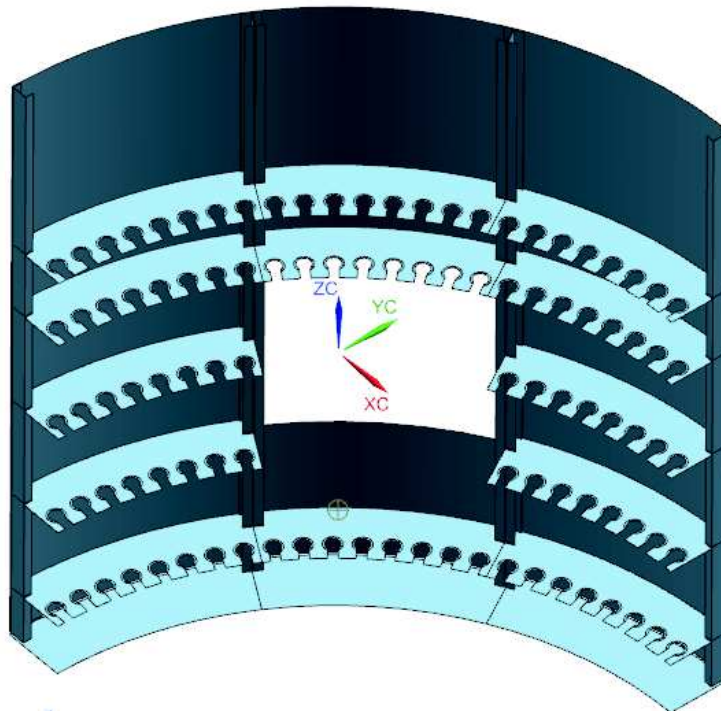
Deformace zásobníku je důležitým parametrem, protože na ní závisí funkčnost celé robotické výměny. Když bude deformace zásobníku příliš velká, robot nebude schopen najet chapačem do přesné polohy nástroje v zásobníku a může dojít k poškození robotu, nástroje i zásobníku.

Jak již bylo uvedeno výše, zásobník se sestává z třicetistupňových segmentů. Každý tento segment je navržen jako svařenec. Pro sestavení celého zásobníku budou tyto svařence sešroubovány k sobě.

6.7.1 Příprava pro MKP analýzu

6.7.1.1 Zjednodušení

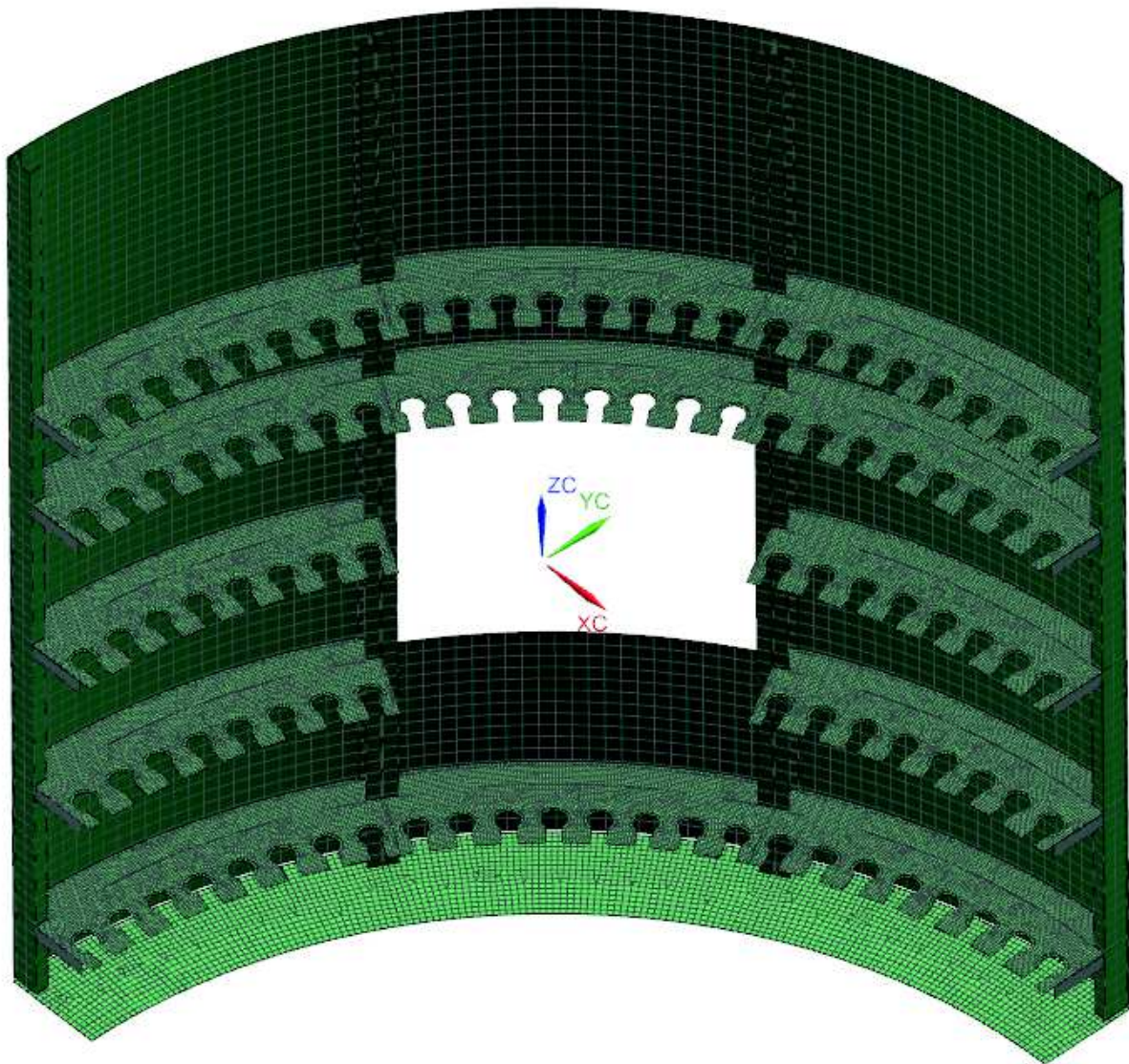
Model zásobníku byl vytvořen v programu NX 10. Pro zjednodušení analýzy byl použit zásobník pouze se třemi segmenty (90°). Prostřední segment obsahuje otvor pro zakládání nástrojů. Okno pro zakládání nástrojů bude, z důvodu malého vlivu na deformaci, zanedbáno. Protože se zásobník skládá převážně z deskových dílů, je zde také výhodné úlohu počítat jako 2D. Dojde tím ke značnému zjednodušení výpočtu při zachování věrohodnosti výsledků. Protože bude zásobník dimenzován deformačně, dalším zjednodušením je zanedbání svarů. Každý třicetistupňový segment je tedy brán jako jeden kus. Na obr. 29 je vyobrazen zjednodušený model pro síťování.



Obr. 29 Zjednodušený model zásobníku

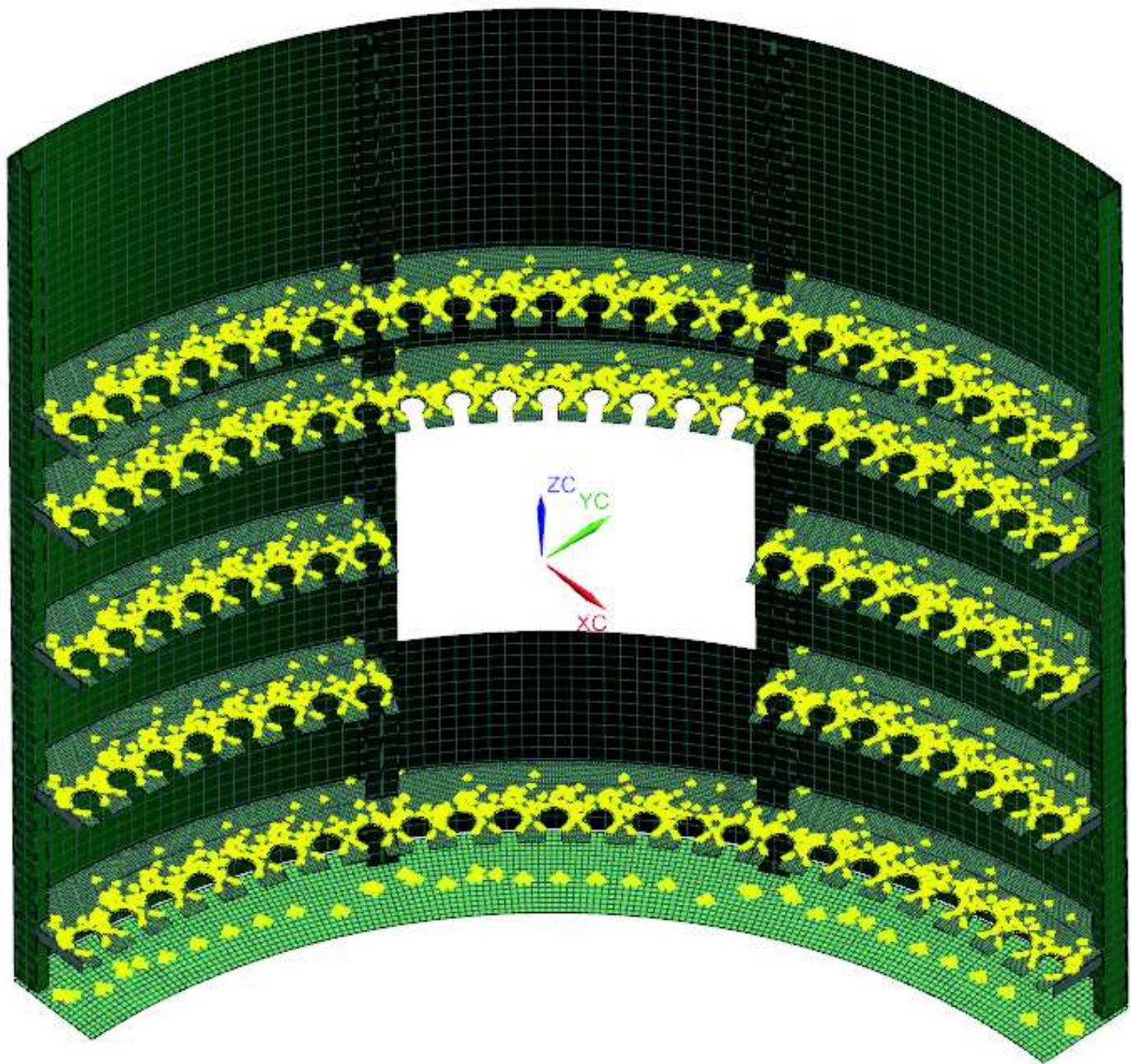
6.7.1.2 Sítování

Celý výpočet bude proveden pomocí programu NX 10 Nastran. Pro vytvoření sítě celé sestavy, která je na obr. 30 byla použita funkce 2D Mesh.



Obr. 30 Nasítovaný zásobník

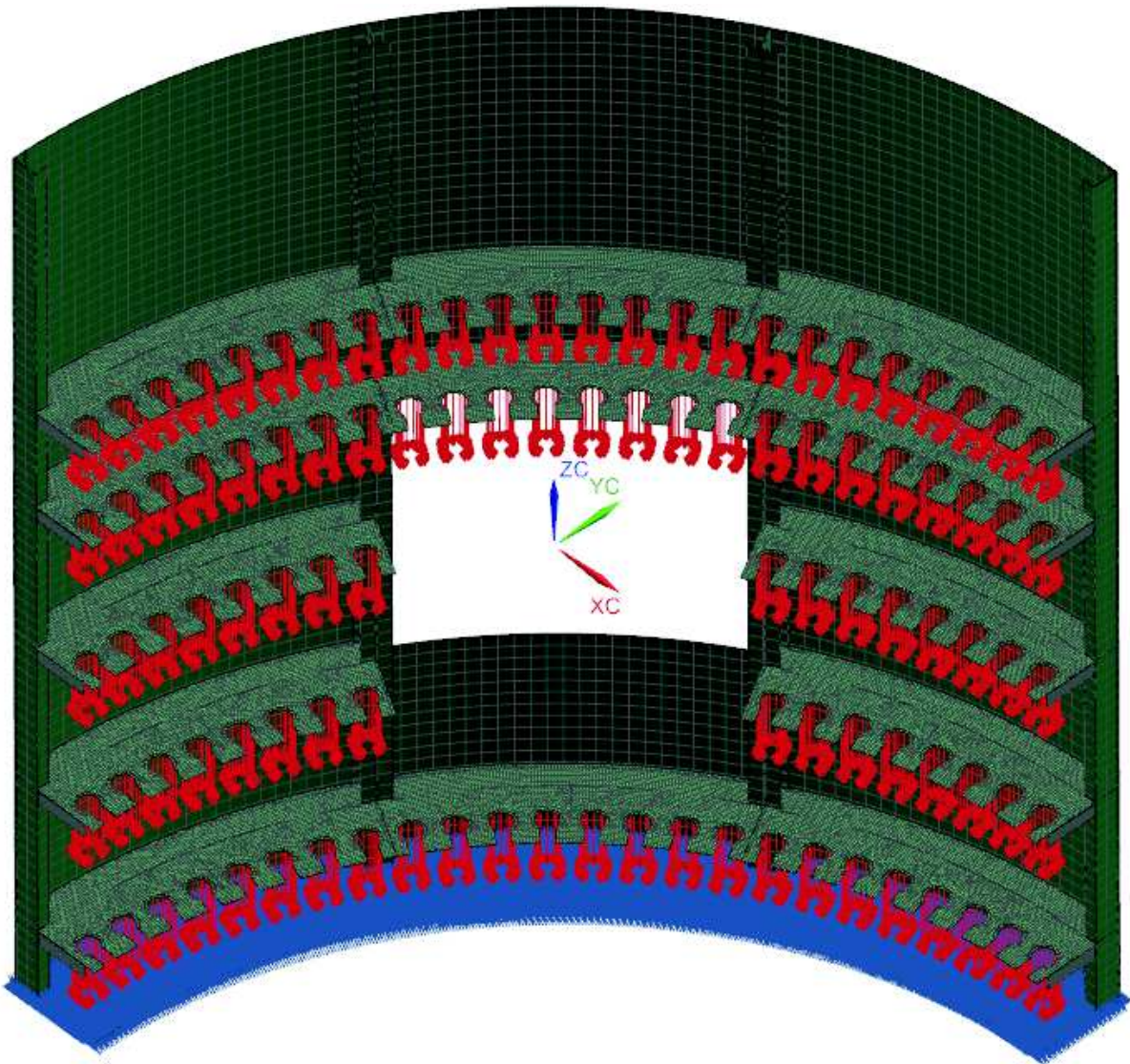
Po sítování bylo zjištěno, že některé prvky jsou deformovány. Proto bylo nutné síť zkontrolovat. K tomu slouží v programu NX 10 funkce Element Quality. Pomocí této funkce bylo zjištěno, že některé elementy nevyhovují. Síť byla z tohoto důvodu zjemněna. Na obr.25 je vidět již zjemněná síť. Na následujícím obrázku (obr.31) jsou vyznačeny žlutě prvky, které jsou deformovány. Taková velikost deformace ovšem nebrání korektnímu výpočtu, a tak je síť v pořádku a je možno přistoupit k definování okrajových podmínek.



Obr. 31 Kontrola sítě zásobníku

6.7.1.3 Okrajové podmínky

Podstava zásobníku je uchycena k podlaze, proto jsou všechny tři podstavy fixovány ve všech směrech posunutí i rotace. Zatížení zásobníku je od hmotnosti nástrojů. Zde je uvažováno, že v každém lůžku bude uložen nástroj o hmotnosti 35 kg, tj. po zaokrouhlení 350N v záporném směru osy Z. Dalším zatížením je vlastní hmotnost celého zásobníku. Okrajové podmínky jsou znázorněny na obr.32. Červené šipky znázorňují zatížení od nástrojů, modře je vyznačeno fixování.



Obr. 32 Okrajové podmínky zásobníku

6.7.1.4 Vytvoření kontaktů

Aby bylo možné vypočítat napětí a deformaci celého zásobníku jako sestavy, je potřeba jednotlivé díly třicetistupňového segmentu (svařence) spojit. K tomu slouží v programu NX 10 funkce Gluing. Tato funkce je dále rozdělena do tří dalších podfunkcí a to:

Surface-to-surface gluing – spojí dvě plochy

Edge-to-surface gluing – spojí hranu a plochu

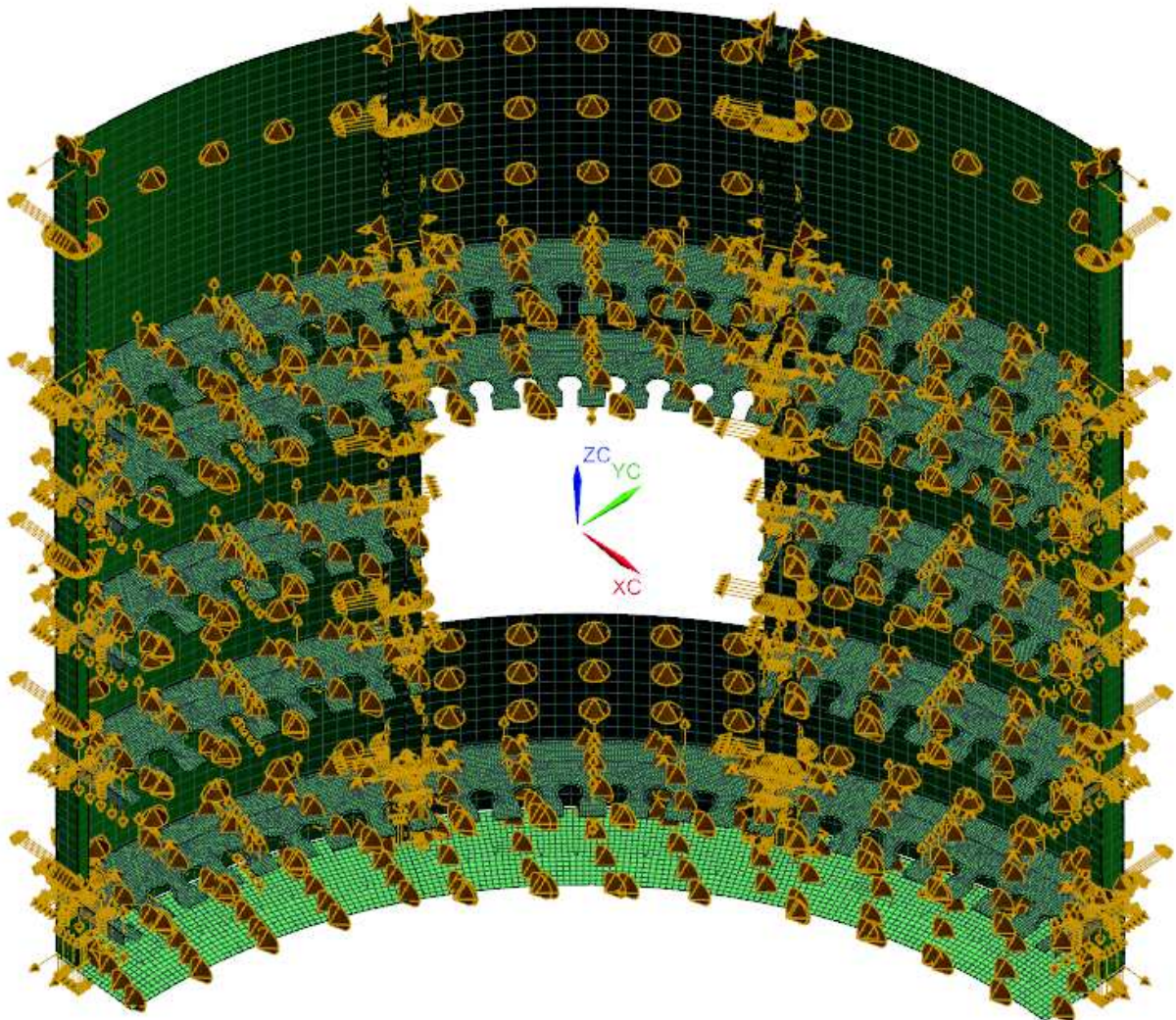
Edge-to-edge gluing – spojí dvě hrany

Použití surface-to-surface gluing:

- mezi U profily (stojnami) a zadní stěnou
- mezi čely U profilů

Použití edge-to-surface gluing:

- mezi policemi a zadní stěnou
- mezi policemi a U profily
- mezi U profily a podstavami

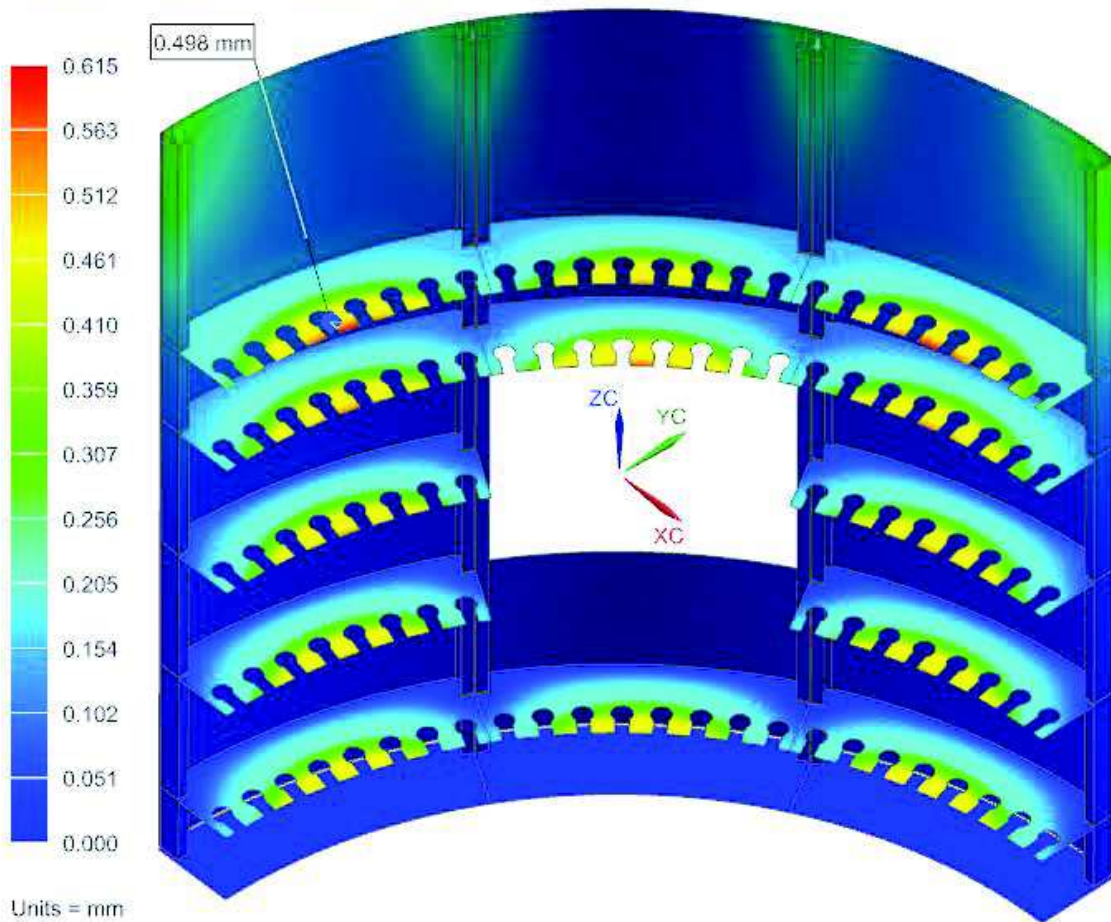


Obr. 33 Vytvoření kontaktů v zásobníku

6.7.1.5 Výsledky

Dle výsledků MKP analýzy byla zjištěna největší deformace na vnitřní straně nejvyšší police. Podstatná je ovšem největší deformace v místě uloženého nástroje. Zde je deformace 0,498 mm. Tato deformace je příliš vysoká a je tedy nutné ji zmenšit.

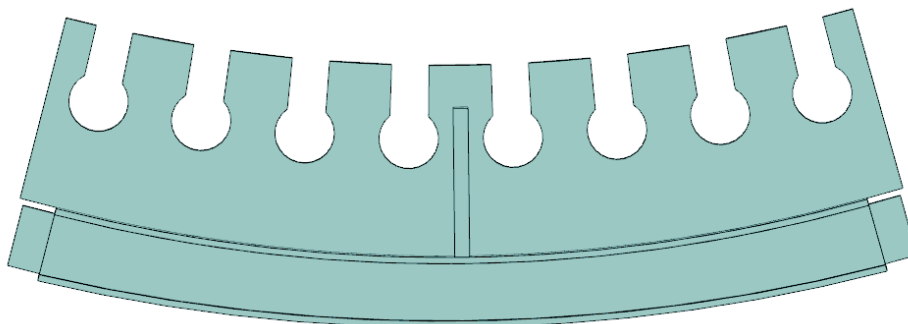
zasobnik_90st_fem1_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.615, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obr. 34 Výsledek MKP analýzy zásobníku

6.7.1.6 Vyztužení police

Pro zmenšení deformace bylo navrženo žebrování, které bude umístěno na spodní straně police mezi U profily (stojinami). Žebrování je tvaru I profilu, které kopíruje zadní stěnu zásobníku. Další žebro vede od tohoto I profilu směrem k vnitřní hraně police a je umístěno uprostřed police. Návrh žebrování je na obr.35.



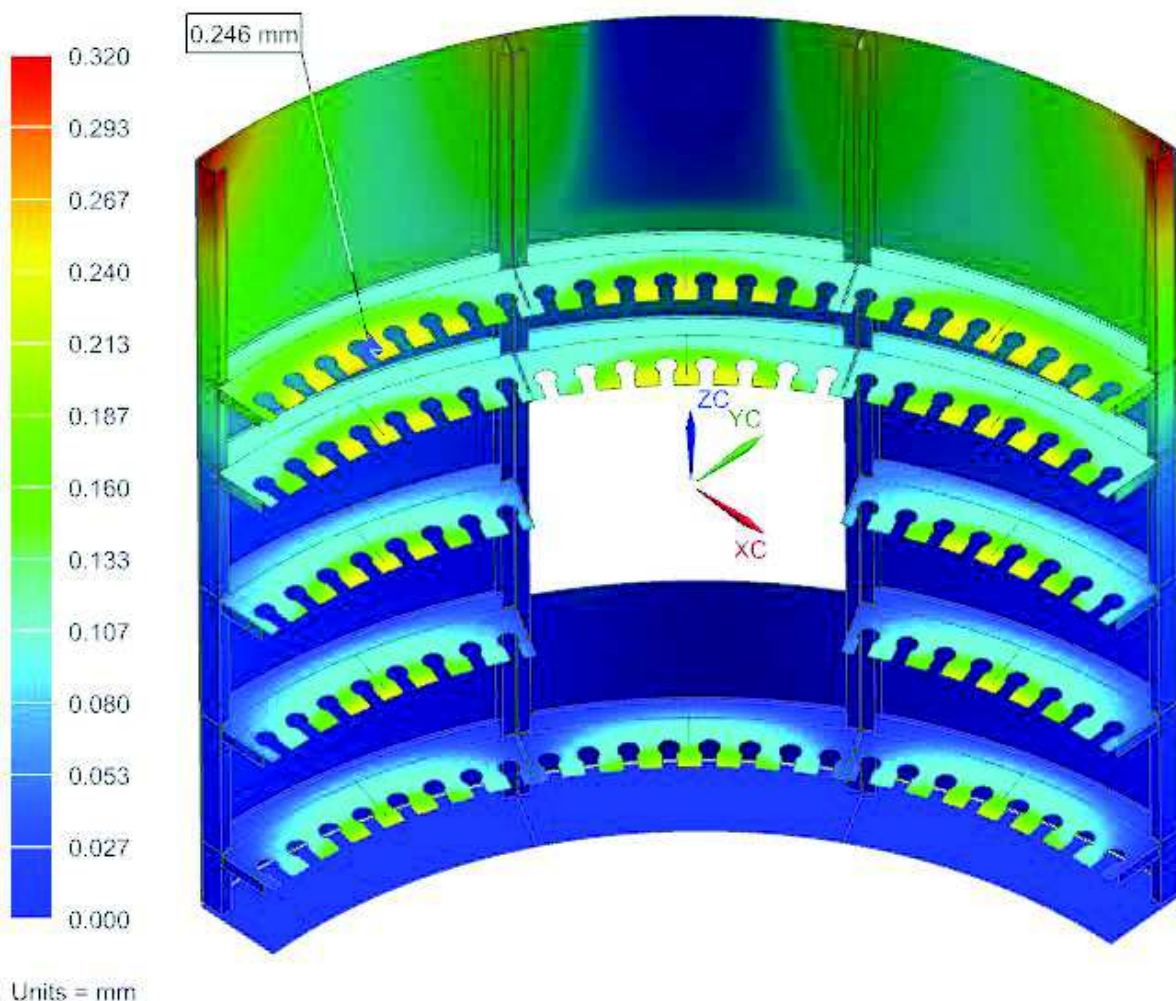
Obr. 35 Vyztužení police

6.7.1.7 Výsledky po vyztužení

Na každou polici bylo přivařeno žebrování. Při MKP výpočtu bylo nutné tento svar reprezentovat vhodnými kontakty, obdobně jako tomu bylo při prvotním výpočtu. Nyní byla opět provedena MKP analýza, ze které byla zjištěna maximální deformace zásobníku v oblasti U profilů (stojin). Tato deformace není příliš podstatná. Důležitá je deformace v místě nástroje, která je nyní výrazně menší, konkrétně 0,246 mm. Tato hodnota splňuje požadavek maximální deformace v místě nástroje 0,3 mm. Na obr. 36 je vyobrazen průběh deformace a vyznačena největší deformace v místě nástroje.

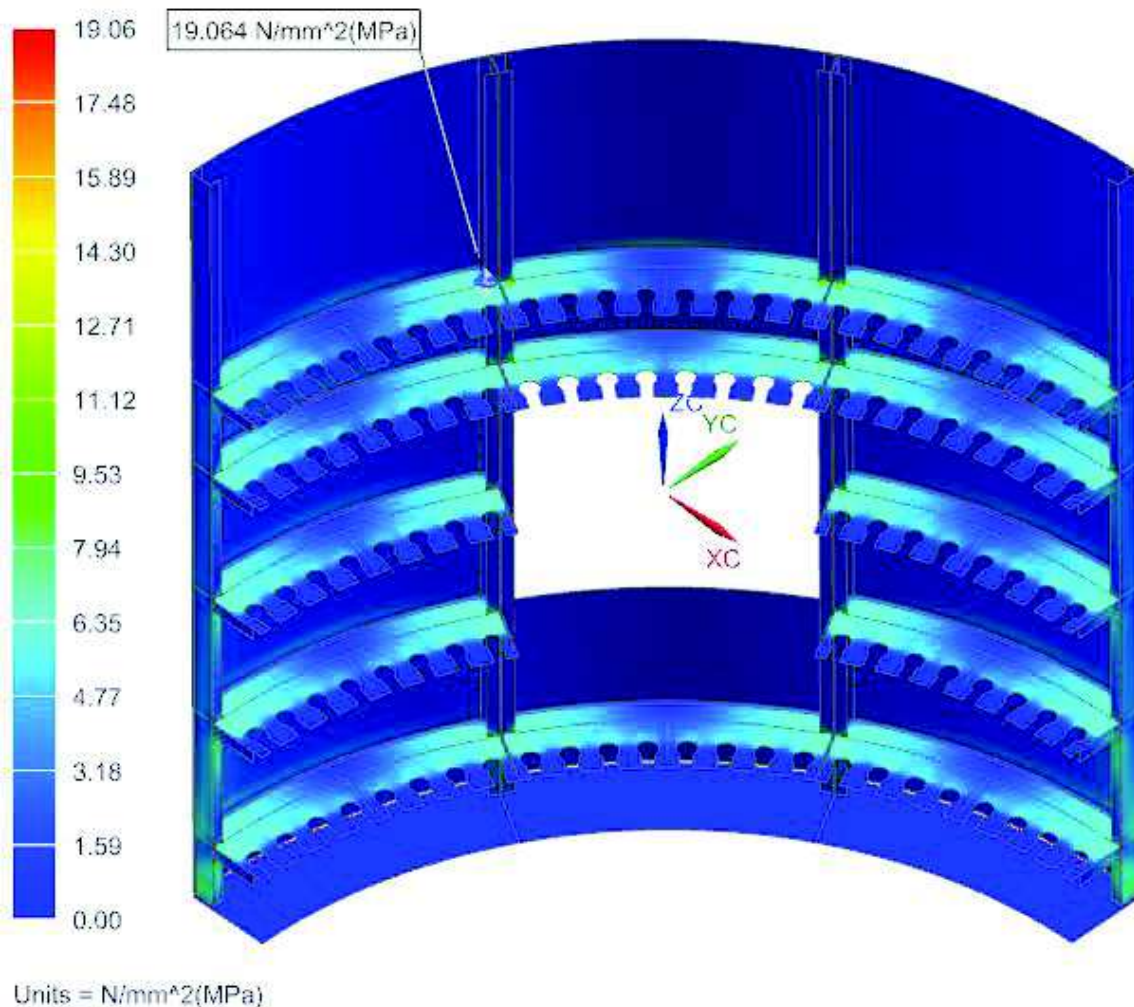
Dalším výsledkem MKP analýzy bylo maximální napětí. Toto napětí se vyskytuje ve svarovém spoji mezi horní polici a U profilem (stojinou). Hodnota tohoto napětí činí přibližně 20 MPa a jedná se o špičku napětí. Jelikož je zásobník vyroben z oceli s maximálním dovoleným napětím 100 MPa je bezpečnost vůči dovolenému napětí 5 a zásobník vyhovuje i pevnostně. Na obr. 33 je vyobrazen průběh napětí a označeno místo s největším napětím.

zasobnik_90st_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.320, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obr. 36 Průběh deformace po vyztužení

zasobnik_90st_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Shell Section : Top
Min : 0.00, Max : 19.06, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



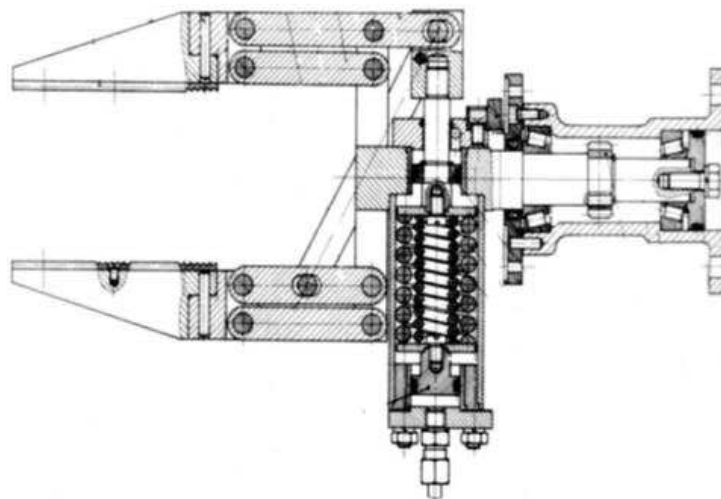
Obr. 37 Výsledky MKP analýzy zásobníku po vyztužení polic

7 Návrh chapače

7.1 Varianty

7.1.1 Varianta A

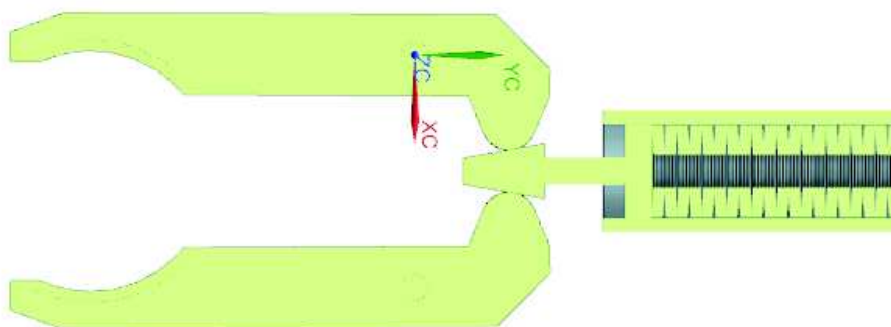
Na obr. 38 je znázorněn návrh chapače. Jedná se o čtyř kloubový pákový mechanismus ovládaný pružinou a hydraulickým válcem. Držení uchopeného předmětu zajišťuje pružina a uvolnění hydraulický válec. Výhodou této varianty je umístění hydraulického válce s pružinou kolmo na čelisti. Tím by mohlo být dosaženo menší vzdálenosti uchopeného předmětu od robotu.



Obr. 38 Varianta A chapače [8]

7.1.2 Varianta B

Na obr. 39 je vyobrazena druhá varianta chapače. Zde se jedná o jednoduchý pákový mechanismus, který je stejně jako v předchozí variantě ovládaný pružinou a hydraulickým válcem. Výhodou této varianty je klínový čep, který značně snižuje potřebnou sílu pružiny k vyvození upínací síly. Další výhodou je jednodušší konstrukce.



Obr. 39 Varianta B chapače

7.1.3 Výběr varianty

Na základě zmíněných výhod popsaných u jednotlivých variant a po konzultaci se zadavatelem byla vybrána k dalšímu rozpracování varianta B. Tento výběr je opodstatněn především použitím klínového čepu ke zvětšení upínací síly.

7.2 Konstrukce chapače

7.2.1 Kinematika

Cílem kinematiky je zjištění závislosti zdvihu čelisti v místě upínacího kuželu na zdvihu ovládacího klínu. Na obr.40 je schematicky znázorněn pohyb chapače, kde:

S_d je zdvih čelisti v místě upínacího kuželu nástroje

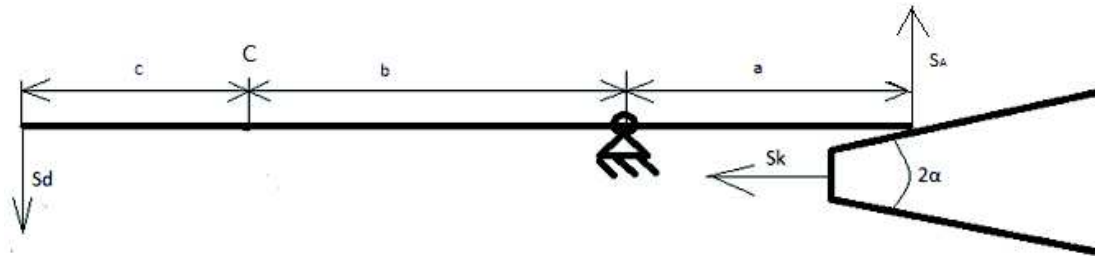
S_A je zdvih čelisti v místě ovládacího klínu

S_k je zdvih klínu

a, b, c jsou délkové rozměry čelisti

α je úhel ovládacího klínu

C odpovídá místu středu upínacího kuželu nástroje.



Obr. 40 Kinematika chapače

V CAD modelu byl odměřen zdvih S_d , který je potřebný pro bezpečné upnutí nástroje.

$$S_d = 8 \text{ mm}$$

Z obr.32 je zřejmé, že:

$$S_A = \frac{a}{b + c} * S_d$$

a zároveň:

$$S_k = \frac{S_A}{\tan \alpha}$$

7.2.2 Rozbor zatížení

Cílem rozboru zatížení je zjištění síly působící na ovládací klín, která je potřebná pro vyvinutí upínací síly v místě středu upínacího kuželu nástroje. Na obr. 41 je znázorněno schéma působících sil na čelist, kde:

F_{Kx} je síla ovládacího klínu

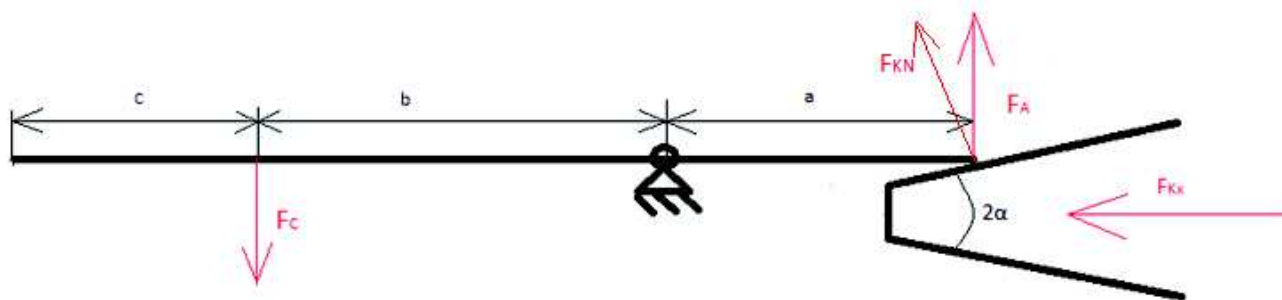
F_{KN} je normálová síla klínu

F_A je síla působící na čelist v místě ovládacího klínu

F_C je upínací síla

a, b, c jsou délkové rozměry čelisti

α je úhel ovládacího klínu



Obr. 41 Rozbor zatížení čepače

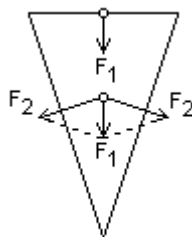
Z obr.41 je zřejmé, že pro rovnováhu sil na čelisti je:

$$F_A = \frac{b}{a} * F_C$$

Sílu F_A je nutné rozložit do směru normálového na ovládací klín pomocí goniometrické funkce, tj:

$$F_{KN} = \frac{F_A}{\cos \alpha}$$

Nyní je již možné přikročit na rozklad sil na klín. Tento rozklad je znázorněn na obr.34.



Obr. 42 Rozklad sil na klín

Analogicky pro náš případ platí:

$$F_{Kx} = 2 * F_{KN} * \sin \alpha$$

7.2.3 Konstrukce čelisti

Z kinematického rozboru a rozboru zatížení nyní vyplývají rozměrové proměnné a , b , c a úhel ovládacího klínu α . Tyto parametry je nutné stanovit tak, aby čelist vyhovovala jak kinematicky, tak i pevnostně. Z kinematického hlediska by bylo výhodné, aby rozměr a byl proti rozměru b co nejmenší a úhel α co největší.

Z hlediska silového zatížení je to naopak, tj: poměr b/a co nejmenší a úhel α co největší.

Na základě těchto poznatků jsem řešení rozdělil na dvě části. První část je zdvihová, kde není potřeba upínací síla a druhá část je silová, kde je potřeba vyvinout upínací sílu, ale není nutný tak velký zdvih. Toto rozdělení zajišťují dva úhly ovládacího klínu. Větší úhel

zajistí takový zdvih, aby se čelist přiblížila k upínacímu kuželu nástroje. Menší úhel zajistí, že není potřeba na klín vyvinout tak velkou sílu.

7.2.3.1 Dimenzování čelisti

Čelist je nutné dimenzovat z hlediska pevnosti. Dimenzování je provedeno pomocí MKP analýzy. Cílem dimenzování je stanovení rozměrů čelisti.

7.2.3.2 MKP analýza

Pro MKP analýzu je nutné vytvořit CAD model čelisti. Tento model byl vytvořen v programu NX 10 a výpočet byl řešen pomocí programu NX 10 Nastran. Pro výpočet zde není nutné žádné zjednodušení tvaru modelu, jako tomu bylo u výpočtu zásobníku.

Sít'ování

Pro vytvoření sítě, která je na obr.35 byla použita funkce 3D Tetrahedral s meziuzly a velikostí elementu 5 mm.

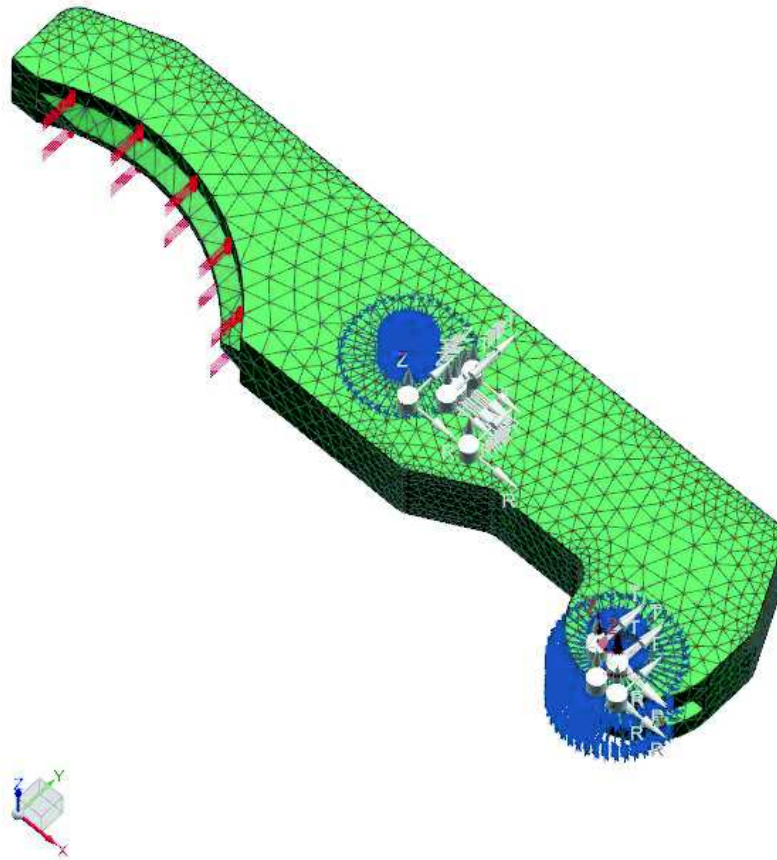


Obr. 43 Sít'ování čelisti

Okrajové podmínky

Čelist je uložena na otočném čepu. V místě ovládacího klínu je uložení pomocí rolny, aby nedocházelo k samosvornosti klínu. Toto uložení rovněž reprezentuje uložení na otočném čepu. Z tohoto důvodu je u obou čepů použita funkce Pinned Constrain. Tato funkce zamezí

posun a rotaci v osách Y a X a dovoluje otáčení kolem osy Z. Zatížení čelisti je pouze od upínací síly, tj. po zaokrouhlení $F = 8500 \text{ N}$. Na obr.44 je ukázáno uložení a zatížení čelisti.



Obr. 44 Okrajové podmínky čelisti

7.2.3.3 Výsledky

Dle výsledků MKP analýzy bylo zjištěno největší napětí v místě otočného čepu ovládacího klínu. Velikost tohoto napětí je přibližně 168 MPa. Toto napětí je tlakové a jedná se o špičku napětí. Dalším kritickým místem je radius s napětím přibližně 139 MPa. Na obr.45 je vyobrazen průběh napětí a označena kritická místa. Čelist je vyrobena z materiálu ČSN 14 220 s mezí kluzu 500 MPa. Pro výpočet bezpečnosti vůči mezi kluzu je použita hodnota napětí v místě radiusu 139 MPa,

$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{500}{139} = 3,6$$

zde je:

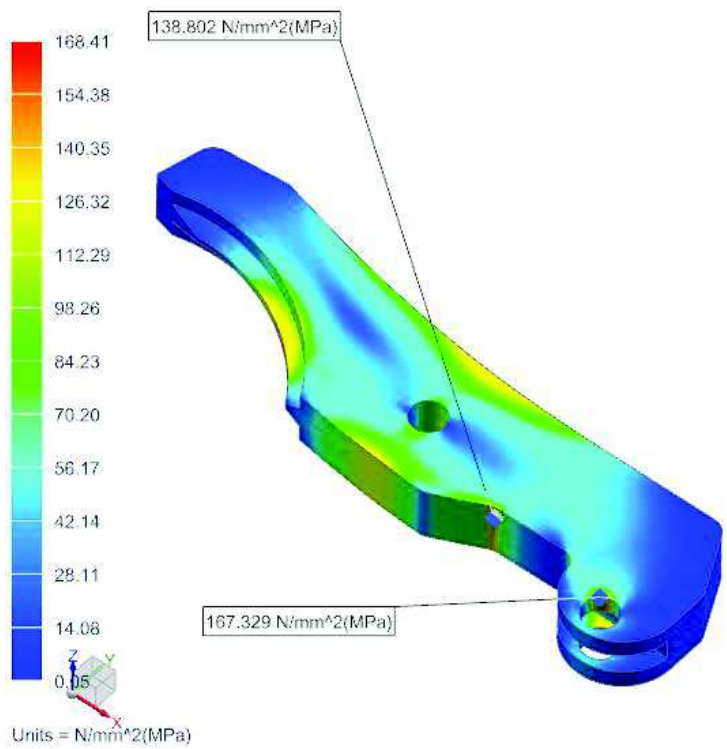
R_e ...mez kluzu 500 MPa

σ ...napětí z MKP analýzy 139 MPa

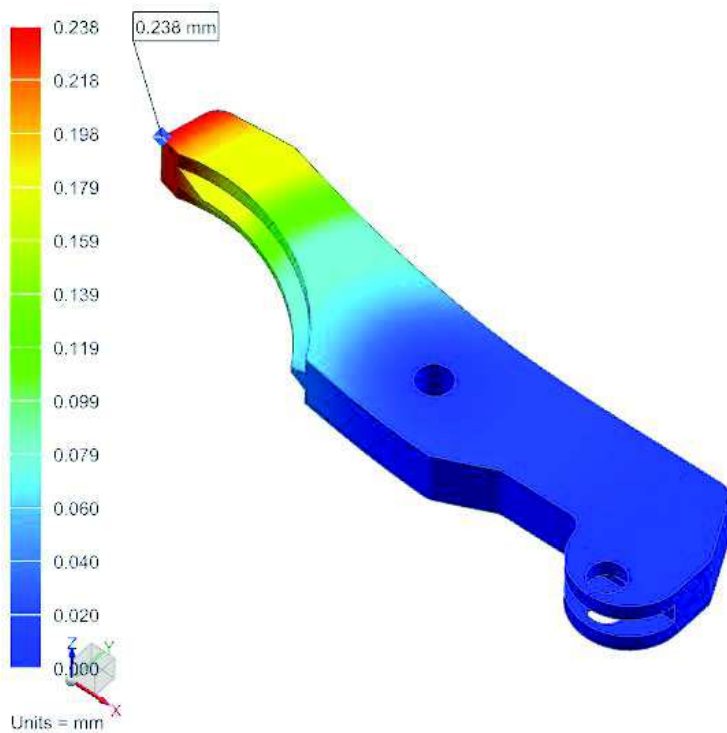
k ...bezpečnost vůči mezi kluzu 3,6

Dalším výsledkem MKP analýzy je celková deformace. Místo s největší deformací je na konci čelisti v místě upínacího kuželu nástroje. Hodnota této deformace je 0,238 mm. O tuto hodnotu je nutné zvětšit zdvih čelisti. Na obr.45 je vyobrazen průběh deformace a označeno místo s největší deformací.

celist_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Min : 0.05, Max : 168.41, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



celist_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.238, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obr. 45 Výsledky MKP analýzy čelisti

Tato MKP analýza byla prováděna několikrát. Cílem bylo zjistit rozměry a , b , c tak, aby byl zajištěn potřebný zdvih čelisti a zároveň čelist pevnostně vyhovovala. Po úspěšné MKP analýze byly zjištěny hodnoty rozměrů

$$a = 70 \text{ mm}$$

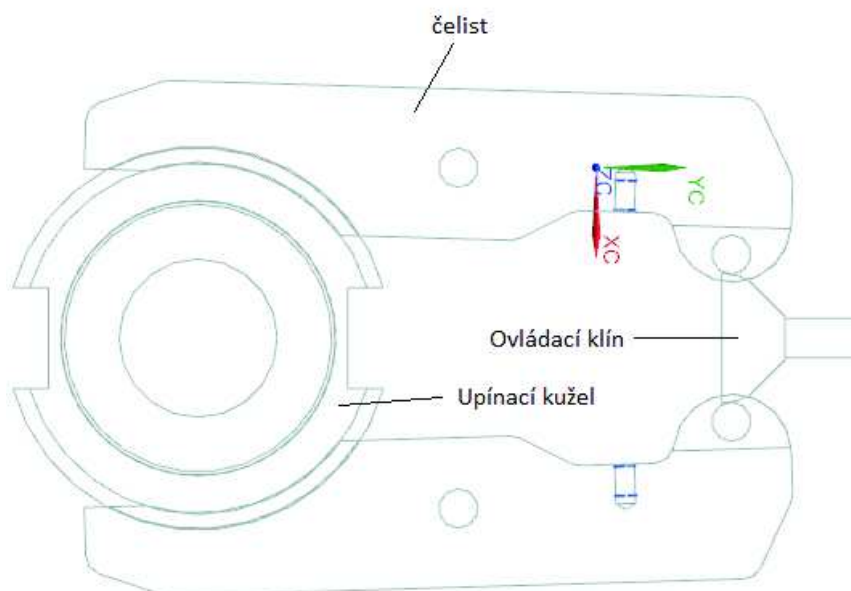
$$b = 65 \text{ mm}$$

$$c = 30 \text{ mm}$$

7.2.4 Návrh ovládacího klínu

Ovládací klín byl navržen tak, aby čelist měla požadovaný zdvih a zároveň vyvinula požadovanou upínací sílu. Aby bylo možné tyto požadavky splnit při co nejmenším zdvihu pružiny, ovládací klín byl rozdělen na dva úhly stoupání. První úhel je větší a zajistí požadovaný zdvih. Druhý úhel je menší a vyvine požadovanou sílu.

Pohyb čelistí chapače byl řešen pomocí programu NX 10 v nadstavbě pro řešení pohybu (Motion simulation). Byl zde stanoven potřebný zdvih ovládacího klínu, aby byl dodržen požadovaný zdvih čelistí.



Obr. 46 Ovládací klín

7.2.5 Návrh talířové pružiny

Pro ovládání čelisti jsem zvolil talířovou pružinu. Tato pružina zajišťuje potřebnou sílu, kterou je nutné vyvinout pro dosažení upínací síly. Dále je nutné, aby tato pružina měla požadovaný zdvih. Na základě kinematického řešení a MKP analýzy byl zjištěn potřebný zdvih pružiny. Tento zdvih má hodnotu 14 mm. Při tomto zdvihu je požadována upínací síla o velikosti 8340 N. Na základě vztahů uvedených v rozboru zatížení byly dopočítány síly:

$$F_A = \frac{b}{a} * F_C = \frac{65}{70} * 8340 = 7744 \text{ N}$$

$$F_{KN} = \frac{F_A}{\cos \alpha} = \frac{7740}{\cos 10} = 7859 \text{ N}$$

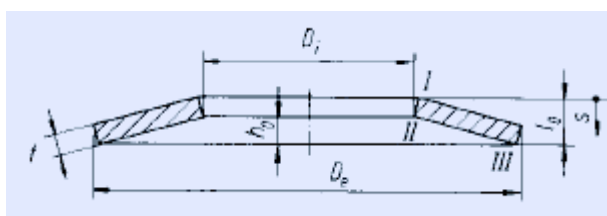
$$F_{Kx} = 2 * F_{KN} * \sin \alpha = 2 * 7859 * \sin 10 = 2729 \text{ N}$$

Zde F_{Kx} je potřebná síla, kterou musí pružina vyvinout, aby bylo dosaženo zadané upínací síly. Tuto sílu jsem zaokrouhlil na 2800N.

7.2.5.1 Popis talířové pružiny

Talířové pružiny jsou mělké kuželovité kroužky vystavované osovým zatížením. V závislosti na způsobu použití mohou být talířové pružiny vystaveny statickým nebo dynamickým zatížením a definuje je:

- vnější průměr D_e ,
- vnitřní průměr D_i ,
- tloušťka materiálu t a
- celková výška L_0

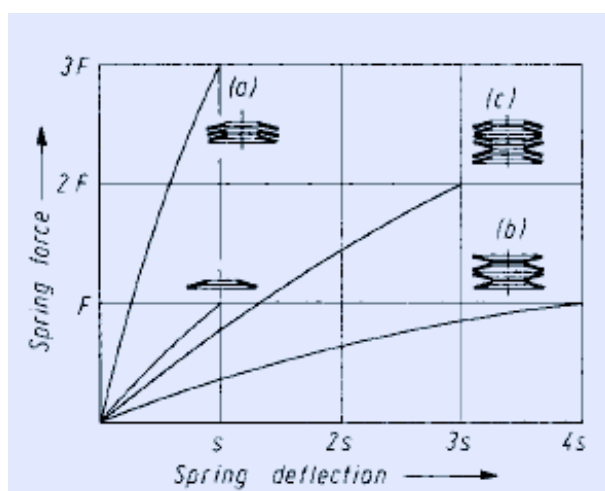


Obr. 47 Rozměry talířové pružiny [9]

Talířové pružiny se liší od jiných typů pružin následujícími charakteristikami:

- vysoká únosnost při malém průhybu pružiny
- lepší využití prostoru ve srovnání s jinými typy pružin
- lze projektovat různé kombinace pružin pro dosažení požadovaných zátěžových charakteristik

V sadách s přilehlým ukládáním (na sobě) je zatížení úměrné počtu jednotlivých pružin (a). V sadách s protilehlým ukládáním (proti sobě) je průhyb sady součtem průhybu jednotlivých pružin (b). Tyto metody ukládání lze kombinovat (c).



Obr. 48 Možnosti skládání pružin [9]

7.2.5.2 Výpočet talířové pružiny

Výpočet talířové pružiny byl proveden pomocí volně dostupného softwaru firmy Mubea. Tento software slouží zákazníkům firmy Mubea k návrhu požadované talířové pružiny. Je zde možné skládat pružiny tak, aby byl splněn požadavek síly i zdvihu. Program rovněž vykreslí graf velikosti síly v závislosti na zdvihu pružiny.

V tomto programu byla navržena sada pružin s přilehlým uložením po 5 pružinách a tento svazek byl 25 krát uložen protilehle.

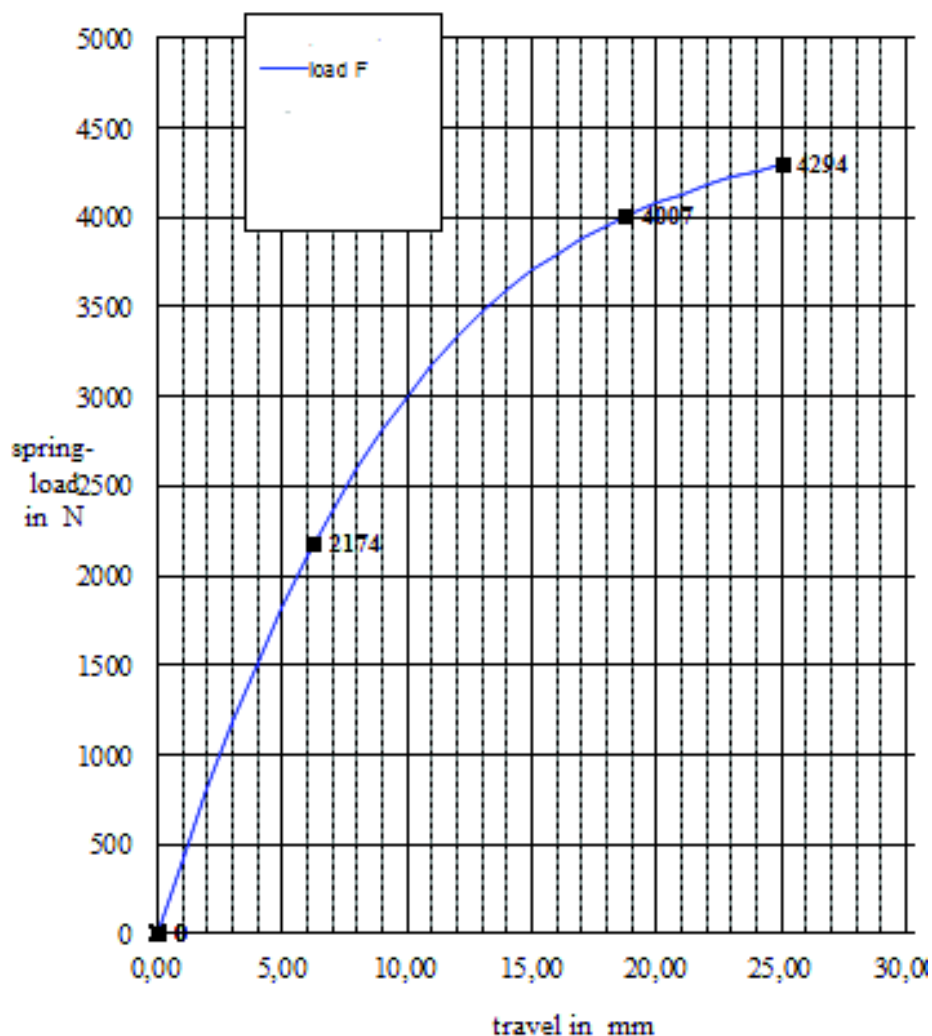
Jedna pružina má rozměry:

$$D_e = 28 \text{ mm}$$

$$D_i = 14,2 \text{ mm}$$

$$t = 0,8 \text{ mm}$$

$$L_o = 1,8 \text{ mm}$$



Obr. 49 Charakteristika svazku talířové pružiny

délka l	zdvih s	zatížení F	tuhost	délka l	zdvih s	zatížení F	tuhost
mm	mm	N	N/mm				
125,00	0,000	0	440	112,00	13,000	3472	130
124,00	1,000	424	409	111,00	14,000	3595	116
123,00	2,000	818	378	110,00	15,000	3704	102
122,00	3,000	1181	349	109,00	16,000	3800	90
121,00	4,000	1517	322	108,00	17,000	3884	79
120,00	5,000	1825	295	107,00	18,000	3958	69
119,00	6,000	2108	270	106,00	19,000	4023	61
118,00	7,000	2366	246	105,00	20,000	4080	54
117,00	8,000	2601	224	104,00	21,000	4130	48
116,00	9,000	2814	202	103,00	22,000	4176	43
115,00	10,000	3006	183	102,00	23,000	4217	40
114,00	11,000	3179	164	101,00	24,000	4257	38
113,00	12,000	3334	146	100,00	25,000	4294	38

Tab 8 Délka, zdvih, zatížení a tuhost svazku navržené talířové pružiny

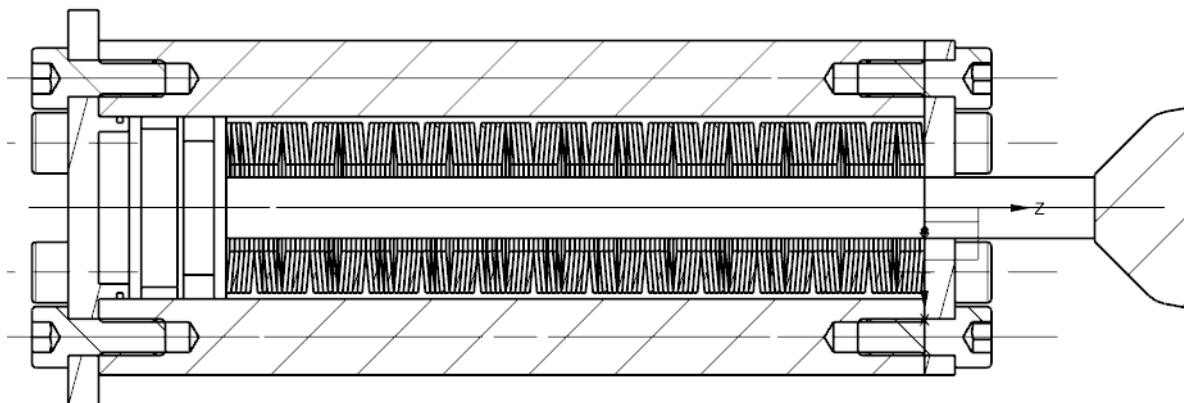
V tab. 8 je vidět:

Celková délka pružiny v nezatíženém stavu je 125 mm

Celková délka pružiny v plně zatíženém stavu je 100 mm a tomu odpovídá síla 4294 N

Pružina je navržena tak, že pracuje v rozmezí 100 – 114 mm. To odpovídá potřebnému zdvihů pružiny 14 mm. Při celkové délce 114 mm vyvine pružina sílu 3179 N. Potřebná síla byla vypočítána a zaokrouhlena na 2800 N. Pružina vyhovuje.

7.2.6 Návrh hydraulického válce



Obr. 50 Hydraulický válec

7.2.6.1 Návrh pístu

Píst je navržen s ohledem na vnější průměr talířové pružiny, který je 28 mm. Píst je navržen z podmínky maximálního tlaku, který dokáže zajistit agregát. Tento tlak je 10 MPa. Z toho plyne podmínka:

$$p = \frac{F}{S}$$

kde je:

p...hydraulický tlak 10 MPa

F...potřebná síla ke stlačení pružiny 4294 N (viz. tab. 8)

S₁...plocha pístu

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4}$$

Po úpravě těchto dvou vztahů je možné psát:

$$D = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * p}} = \sqrt{\frac{4 * 4294}{\pi * 10}} = 23,4 \text{ mm}$$

Z důvodu vnějšího průměru talířové pružiny volím průměr pístu 30 mm.

7.2.6.2 Návrh pístnice

Pístnice je namáhaná na tah a je připojena k pístu. Je vyrobena z materiálu ČSN 14 220 s mezí kluzu 500 MPa. Pro návrh průměru pístnice je vycházeno z tahového namáhání, které je dáno vztahem:

$$\sigma_t = \frac{F}{S_2} \leq \frac{R_e}{k}$$

kde je:

σ_t...napětí v tahu

F...síla pružiny při maximálním zdvihu 3179 N (viz. tab. 8)

S₂...průřez pístnice

$$S_2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

R_e...mez kluzu 500 MPa

k...bezpečnost 3

Po dosazení do vztahu pro výpočet tahového namáhání a úpravě, je možné psát:

$$d \geq \sqrt{\frac{4 * F * k}{\pi * R_e}} \sqrt{\frac{4 * 3179 * 3}{\pi * 500}} = 4,92 \text{ mm}$$

Z konstrukčního a technologického důvodu volím průměr pístnice 8 mm.

7.2.6.2 Návrh a kontrola hydraulického válce

Vnitřní průměr hydraulického válce je dán průměrem pístu, tedy 30 mm. Vnější průměr je s ohledem na velikosti šroubu, které drží víka válce zvolen 55 mm. Následně je provedena kontrola napětí hydraulického válce. Válec je z materiálu ČSN 11 373.

$\sigma_D = 100 \text{ MPa}$... dovolené napětí

$r_1 = 15 \text{ mm}$... vnitřní poloměr

$r_2 = 27.5 \text{ mm}$... vnější poloměr

$p_1 = 10 \text{ MPa}$... vnitřní tlak

$p_2 = 0 \text{ MPa}$... vnější tlak

Pro výpočet napětí jsou použity následující obecné vztahy:

$$\sigma_t = D_1 + \frac{D_2}{x^2}$$

$$\sigma_r = D_1 - \frac{D_2}{x^2}$$

kde:

σ_t resp. σ_r je obvodové resp. radiální napětí,

D_1 a D_2 jsou integrační konstanty,

x je vzdálenost od osy válce.

Nyní je nutné stanovit integrační konstanty D_1 a D_2 . To je provedeno pomocí okrajových podmínek, které jsou dány následujícími rovnicemi:

$$\sigma_r(r_1) = -p_1$$

$$\sigma_r(r_2) = -p_2 = 0$$

První okrajová podmínka znamená, že radiální napětí na poloměru r_1 je rovno tlaku uvnitř válce. Znaménko mínus znamená, že se jedná o tlakové napětí. Druhá okrajová podmínka analogicky znamená, že radiální napětí na vnějším poloměru je rovno vnějšímu tlaku, tedy rovno 0.

Dosažením okrajových podmínek do obecného vztahu pro výpočet radiálního napětí je možné dopočítat integrační konstanty.

$$D_1 = \frac{p_1 * r_1^2 - p_2 * r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{10 * 15^2 - 0 * 27,5^2}{27,5^2 - 15^2} = 4,2 \text{ MPa}$$

$$D_2 = \frac{(p_1 - p_2)r_1^2 * r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{(10 - 0) * 15^2 * 27,5^2}{27,5^2 - 15^2} = 3,2 \text{ kN}$$

Použitím obecných rovnic pro výpočet obvodového a radiálního napětí, a se znalostí integračních konstant D_1 a D_2 je možno vypočítat tato napětí na vnitřním a vnějším poloměru.

$$\sigma_t(r_1) = D_1 + \frac{D_2}{r_1^2} = 4,2 + \frac{3,2}{15^2} = 18,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r(r_1) = D_1 - \frac{D_2}{r_1^2} = 4,2 - \frac{3,2}{15^2} = -10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t(r_2) = D_1 + \frac{D_2}{r_2^2} = 4,2 + \frac{3,2}{27,5^2} = 8,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r(r_2) = D_1 - \frac{D_2}{r_2^2} = 4,2 - \frac{3,2}{27,5^2} = 0 \text{ MPa}$$

Z těchto výsledků je evidentní, že kritický stav je na vnitřním poloměru. Z tohoto důvodu je na tomto místě provedena kontrola bezpečnosti dle hypotézy HMM.

$$\sigma_{red}(r_1) = \sqrt[2]{\sigma_r(r_1)^2 + \sigma_t(r_1)^2 - \sigma_r(r_1) * \sigma_t(r_1)} = \sqrt[2]{(-10)^2 + 18,5^2 - (-10) * 18,5} = 25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} < \sigma_D \Rightarrow \text{válec vyhovuje}$$

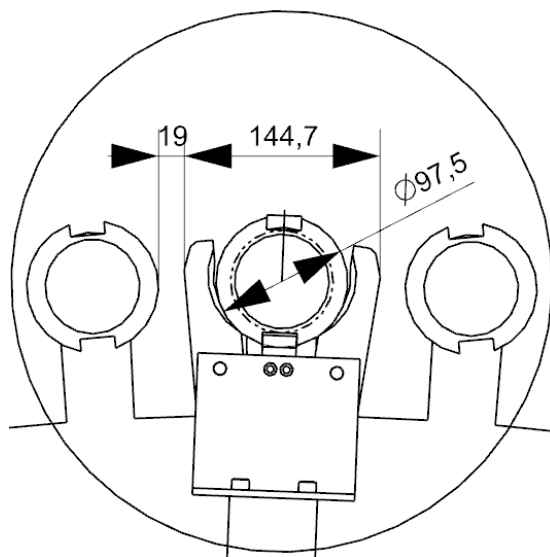
7.2.7 Technické parametry čapače

Počet nástrojů	2
Typ nástroje	DIN 69871 SK50
Zdvih čelistí	16 mm
Upínací síla	8340 N

Tab 9 Technické parametry čapače

7.2.8 Uchopení nástroje

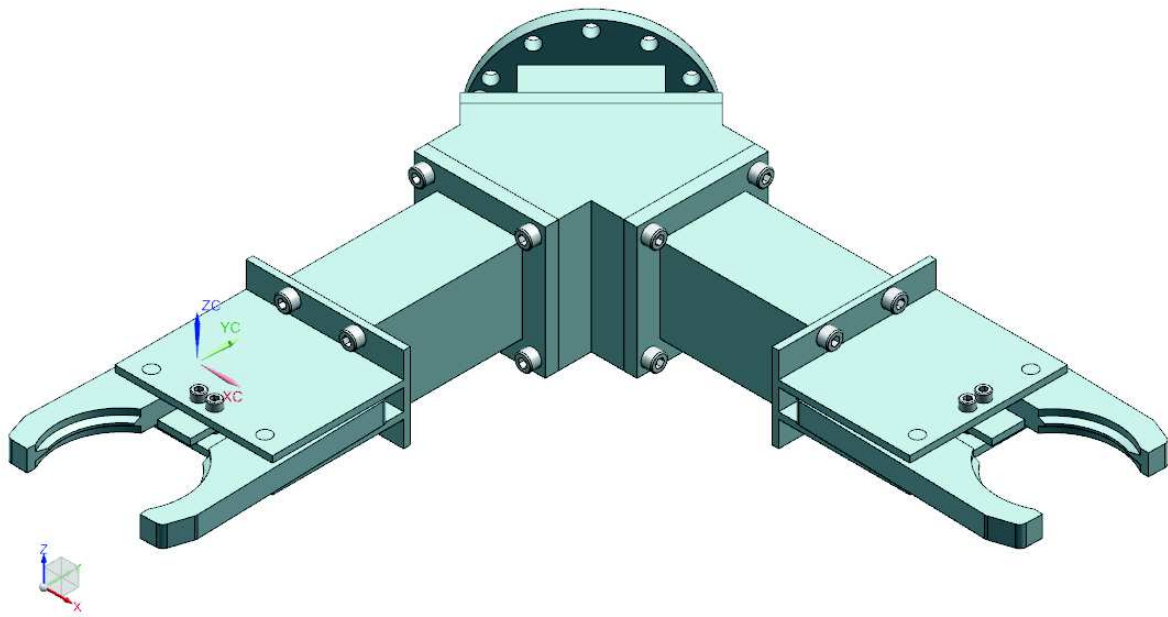
Na obr. 51 je znázorněno schéma uchopení nástroje. Rozpětí čelistí čapače při plném otevření je 144,7 mm. Vzdálenost mezi jednotlivými lůžky je 140 mm. Bezpečnostní vůle mezi nástrojem a čelistí čapače je 19 mm. Kružnice kolem celého schématu znázorňuje největší průměr nástroje. Z této kružnice je patrné, že při uložení takto velkého nástroje je za potřebí, aby sousední lůžka zůstala volná.



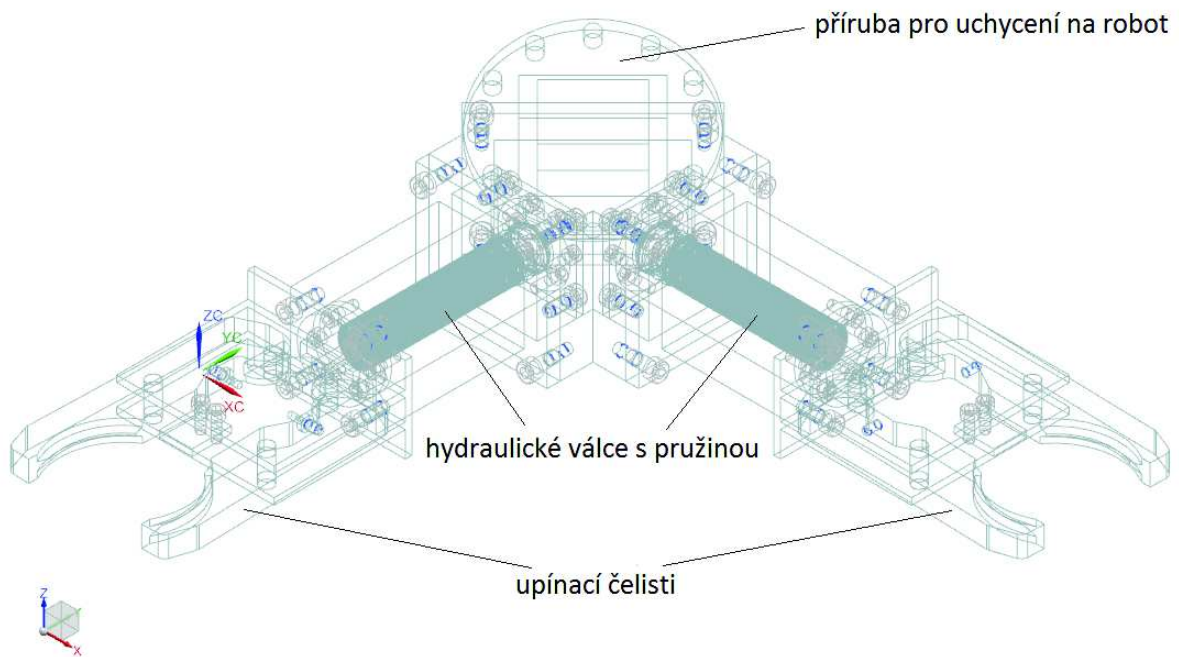
Obr. 51 Schema uchopení nástroje

7.3 Model chapače

Model chapače byl vytvořen v programu NX 10. Chapač je složen z těles a příruby pro uchycení na robot. Tyto součásti jsou k sobě přišroubovány. Na obr. 53 je vidět drátový model chapače, kde je vidět umístění hydraulického válce se svazkem talířové pružiny a uložení čelistí.



Obr. 52 Plný model chapače



Obr. 53 Drátový model chapače

8 Ekonomické hodnocení

Při zpracovávání této práce byla po celou dobu zohledňována ekonomická stránka. Zejména pak při návrhu zásobníku, který je navržen co možná nejjednodušeji z ocelových plechových výpalků a normalizovaných profilů. Segmenty zásobníku jsou svařované a následně sešroubované. U svařence je velice obtížné stanovit výrobní cenu při zohlednění pracnosti. Jelikož pro konstrukční návrh nebylo vycházeno z jakéhokoliv stávajícího řešení zadávající organizace, není možné cenu odhadnout ani na základě předchozí varianty. V tomto ekonomickém hodnocení tedy nejsou stanoveny konkrétní ceny pro zákazníka. Nutno ovšem zdůraznit, že ceny konkurence jsou zpravidla zvýšeny o cca 20%, než jsou výrobní náklady. Dále je možné ušetřit v nákladech spojených s návrhem konstrukce, protože velká část konstrukční činnosti již byla v této práci navržena.

9 Závěr

Prvním cílem práce bylo navrhnout zásobník pro robotickou výměnu nástrojů pro stroj HCW 2000 od firmy Škoda Machine Tool a.s. Zásobník má být schopen pojmout 200 nástrojů s upínacím kuželem DIN 69871 SK50. Maximální rozměry nástrojů jsou průměr 400 mm a délka 1000 mm a hmotnost 35 kg. Na základě těchto parametrů byly navrženy koncepční varianty a vybrána varianta kruhového typu, která se skládá ze segmentů 30° až do celkového úhlu 180°, tedy 6 segmentů. Na základě konzultací byl stanoven předpoklad, že není nutné, aby zásobník pojmul 200 nástrojů o průměru 400 mm a délky 1000 mm. Na základě těchto požadavků byly stanoveny rozměry zásobníku a vybrán průmyslový robot, který zajišťuje výměnu nástrojů, od firmy KUKA. Následně byla MKP analýzou vypočítána deformace zásobníku při zatížení 200 nástroji o hmotnosti 35 kg a bylo navrženo vyztužení, které deformaci snížilo na požadovanou.

Druhým cílem práce bylo navrhnout chapač, který je umístěn na robotu a je schopen upnout dva nástroje, aby byla zajištěna rychlá výměna. Zde byl požadavek vyvinout upínací sílu 8340N a omezení spočívalo v prostoru mezi jednotlivými nástroji, kam se musejí vejít čelisti chapače. Dále musejí mít čelisti požadovaný zdvih s ohledem na rozměry upínacího kuželu. Pro tyto požadavky byly navrženy dvě koncepční varianty a vybrána varianta s klínem, který dokázal zajistit vysokou upínací sílu. Nejobtížnějším konstrukčním uzlem bylo zajistit upínací sílu při nutném zdvihu čelistí. Na základě tohoto byl navržen ovládací klín se dvěma úhly stoupání, kdy první úhel zajistí zdvih a druhý požadovanou upínací sílu. Ovládání klínu je zajištěno svazkem talířových pružin a hydraulickým válcem. Tvar upínací čelisti byl navržen na základě pevnostních výpočtů pomocí MKP analýzy.

Závěrem je vhodné podotknout, že pro návrh nebylo vycházeno z žádné stávající varianty firmy Škoda Machine Tool a.s. a byl navržen zásobník i chapač, které splňují zadané požadavky.

10 Seznam použité literatury

- [1] BERNARDIN, P.: *Konstrukční návrh a výpočet frézovacího a vrtacího zařízení IFVW212CNC*. Plzeň, 2011. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta strojní
- [2] Webové stránky Veletrhy Brno. [online]. [cit. 2018-05-14] Dostupné na WWW: <https://www.bvv.cz/msv/aktuality/skoda-machine-tool-as/>
- [3] Katalog KUKA, *Pub Spez KR QUANTECH pro*. Augsburg, 2016
- [4] Katalog Demmeler Maschinenbau, *Tool change systems*, Heimertingen, 2010
- [5] Katalog ŠKODA Machine tool, *Produktové řady*, Plzeň, 2018
- [6] HARDIK, A., DHAVAL, B., NANDAN, S., SAGAR, T., SWAPNIL, CH. *Automatic tool changer (ATC)*, 2013
- [7] Webové stránky CNC CADCAMengineering. [online]. [cit. 2018-05-14] Dostupné na WWW: <http://www.cnc.cadcamengineering.net/14-1-tool-function/>
- [8] ALBRECHT, I.: *Robotika a robotizované pracoviště*, Pardubice, 2009. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera
- [9] Katalog Mubea, *Talířové pružiny MUBEA*
- [10] H Ambrosio and M Karamanoglu 2014 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 65 012023
- [11] NIU, Ji-mei, *Design and Control of Automatic Tool Changer for Machine Center*, Guangzhou, China, 2016
- [12] PAVLÍK, J., *Problematika rychlé automatické výměny nástrojů u obráběcích strojů: Disertační práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [13] Katalog Fixatorenbau Bertuch & Co., *BW – Fixatoren*, Leverkusen, 2018
- [14] Článek ze strojírenského měsíčníku MMSpektrum, [online]. [cit. 2018-05-14] Dostupné na WWW: https://www.mmspektrum.com/content/file/CNC_ukazky_Cz/3.5.pdf
- [15] LAŠOVÁ, V.: *Základy stavby obráběcích strojů*, Plzeň, 2012, ISBN 978-80-261-0126-0
- [16] HUDEC, Z.: *Přednášky a cvičení z předmětu Konstrukce obráběcích strojů*, 2017
- [18] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojního inženýra 1*. Brno: Computer Press, 1999
- [19] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojního inženýra 2*. Praha: Computer Press, 2000

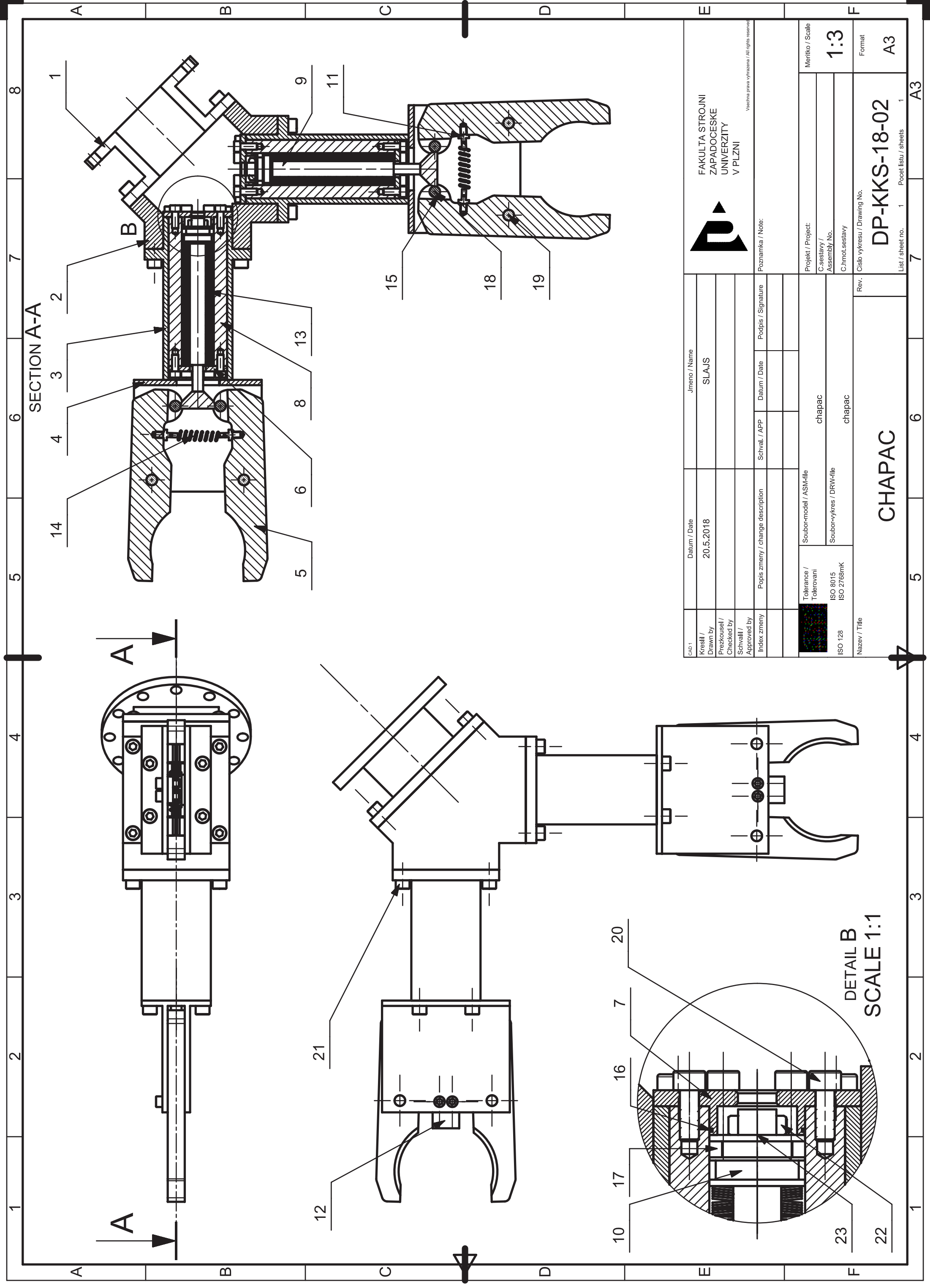
11 Seznam obrázků

Obr. 1 Stroj HCW 2000.....	4
Obr. 2 Popis hlavních částí robotu [3].....	5
Obr. 3 Popis os robotu [3].....	6
Obr. 4 Chapač Demmeler [4].....	7
Obr. 5 Znázornění výměny nástroje [4].....	7
Obr. 6 Horizontální frézovací a vyvrtávací stroj [5].....	8
Obr. 7 Rotační buben + řetězový zásobník + revolverová hlava [6].....	9
Obr. 8 Maximální průměr nástroje [6].....	11
Obr. 9 Maximální délka nástroje [7].....	12
Obr. 10 Varianta zásobníku A.....	15
Obr. 11 Varianta zásobníku B.....	16
Obr. 12 Varianta zásobníku C.....	16
Obr. 13 Kužel SK 50.....	18
Obr. 14 Lůžko pro nástroj + nástroj v lůžku.....	18
Obr. 15 Návrh police.....	20
Obr. 16 Zvednutí nástroje.....	21
Obr. 17 Vzdálenost mezi policemi.....	22
Obr. 18 Segment 30°.....	23
Obr. 19 Zásobník 180°.....	24
Obr. 20 BW fixator.....	25
Obr. 21 Pracovní prostor vybraného robotu – nárys [3].....	27
Obr. 22 Pracovní prostor vybraného robotu – půdorys [3].....	28
Obr. 23 Prodloužení ramene [3].....	29
Obr. 24 Zatížení při prodloužení ramene [3].....	29
Obr. 25 Příruba robotu [3].....	30
Obr. 26 Umístění zásobníku v pracovním prostoru robotu - nárys.....	30
Obr. 27 Umístění zásobníku v pracovním prostoru robotu – půdorys.....	31
Obr. 28 Umístění zásobníku u stroje [5].....	31
Obr. 29 Zjednodušený model zásobníku.....	32
Obr. 30 Nasíťovaný zásobník.....	33
Obr. 31 Kontrola sítě zásobníku.....	34
Obr. 32 Okrajové podmínky zásobníku.....	35
Obr. 33 Vytvoření kontaktů v zásobníku.....	36
Obr. 34 Výsledek MKP analýzy zásobníku.....	37


Obr. 35 Vyztužení police	37
Obr. 36 Průběh deformace po vyztužení	38
Obr. 37 Výsledky MKP analýzy zásobníku po vyztužení polic	39
Obr. 38 Varianta A chapače [8]	40
Obr. 39 Varianta B chapače	40
Obr. 40 Kinematika chapače	41
Obr. 41 Rozbor zatížení chapače	42
Obr. 42 Rozklad sil na klínu	42
Obr. 43 Síťování čelisti	43
Obr. 44 Okrajové podmínky čelisti	44
Obr. 45 Výsledky MKP analýzy čelisti	45
Obr. 46 Ovládací klín	46
Obr. 47 Rozměry talířové pružiny [9]	47
Obr. 48 Možnosti skládání pružin [9]	47
Obr. 49 Charakteristika svazku talířové pružiny	48
Obr. 50 Hydraulický válec	49
Obr. 51 Schema uchopení nástroje	52
Obr. 52 Plný model chapače	53
Obr. 53 Drátový model chapače	53

12 Seznam Tabulek

Tab 1 Parametry stroje HCW 2000	4
Tab 2 Zadané požadavky na zásobník	13
Tab 3 Specifikace požadavků na zásobník	15
Tab 4 Hodnocení variant zásobníků	17
Tab 5 Základní údaje vybraného robotu	26
Tab 6 Rozsah a rychlosti jednotlivých os vybraného robotu	27
Tab 7 Užitečné zatížení vybraného robotu	28
Tab 8 Délka, zdvih, zatížení a tuhost svazku navržené talířové pružiny	49
Tab 9 Technické parametry chapače	52



SECTION A-A

 <p>FAKULTA STROJINI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI</p> <p><small>Všetchna práva vyhrazena / All rights reserved</small></p>		<p>Projekt / Project: 1:3</p> <p>C. sestavy / Assembly No.</p> <p>C. hmot. sestavy</p>		<p>Císlo vykresu / Drawing No. DP-KKS-18-02</p> <p>Formát A3</p>	
<p>Datum / Date: 20.5.2018</p> <p>Jmeno / Name: SLAJS</p>		<p>Poznámka / Note:</p>		<p>Rev.</p>	
<p>Kreslil / Drawn by</p> <p>Prezkoušel / Checked by</p> <p>Schválil / Approved by</p>		<p>Podpis / Signature</p>		<p>chapac</p>	
<p>Index zmeny</p>		<p>Schvat. / APP</p>		<p>chopac</p>	
<p>Popis zmeny / change description</p>		<p>Datum / Date</p>		<p>chopac</p>	
<p>Tolerance / Tolerovani</p> <p>ISO 8015</p> <p>ISO 2768mK</p>		<p>Soubor-model / ASM-file</p> <p>Soubor-vykres / DRW-file</p>		<p>chopac</p>	
<p>ISO 128</p>		<p>chopac</p>		<p>chopac</p>	
<p>Nazev / Title: CHAPAC</p>		<p>1</p>		<p>1</p>	

DETAIL B
SCALE 1:1

4

3

2

1

D

D

1	PRIRUBA	DP-KKS-18-02-01	11 600	1,83	1
2	MEZIKUS	DP-KKS-18-02-02	11 600	3,8	1
3	TELESO HYDROMOTORU	DP-KKS-18-02-03	11 600	1,9	2
4	TELESO CELISTI	DP-KKS-18-02-04	11 600	1,2	2
5	CELIST	DP-KKS-18-02-05	14 220	0,55	4
6	VIKO PREDNI	DP-KKS-18-02-06	11 600	0,08	4
7	VIKO ZADNI	DP-KKS-18-02-07	11 600	0,12	4
8	VALEC HYDROMOTORU	DP-KKS-18-02-08	14 220	1,6	2
9	PISTNICE	DP-KKS-18-02-09	14 220	0,23	2
10	PIST	DP-KKS-18-02-10	14 220	0,05	2
11	CEP PRUZINY	DP-KKS-18-02-11	11 600	0,01	4
12	ARETACNI CEP	DP-KKS-18-02-12	11 600	0,03	2
13	TALIROVA PRUZINA				2
14	TAZNA PRUZINA				2
15	LOZISKO 8 x 12 x 8	HK 0808			4
16	KROUZEK 30 x 1	ČSN 02 9281			2
17	TESNENI 601 - 22 x 30 x 5	ČSN 02 9261			2
18	CEP 8 x 16 A ISO 2340	ČSN EN 22340			4
19	CEP 10 x 26 A ISO 2340	ČSN EN 22340			4
20	SROUB M6 x 16	ČSN 02 1143			28
21	SROUB M8 x 16	ČSN 02 1143			28
22	MATICE M12 x 1,5	ČSN EN 24035			2
23	PODLOZKA 12	ČSN 02 1702			2
POZ	NAZEV - ROZMER	VYKRES - NORMA	MAT	HMOT (kg)	KS

C


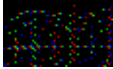
C

B

B

A

A

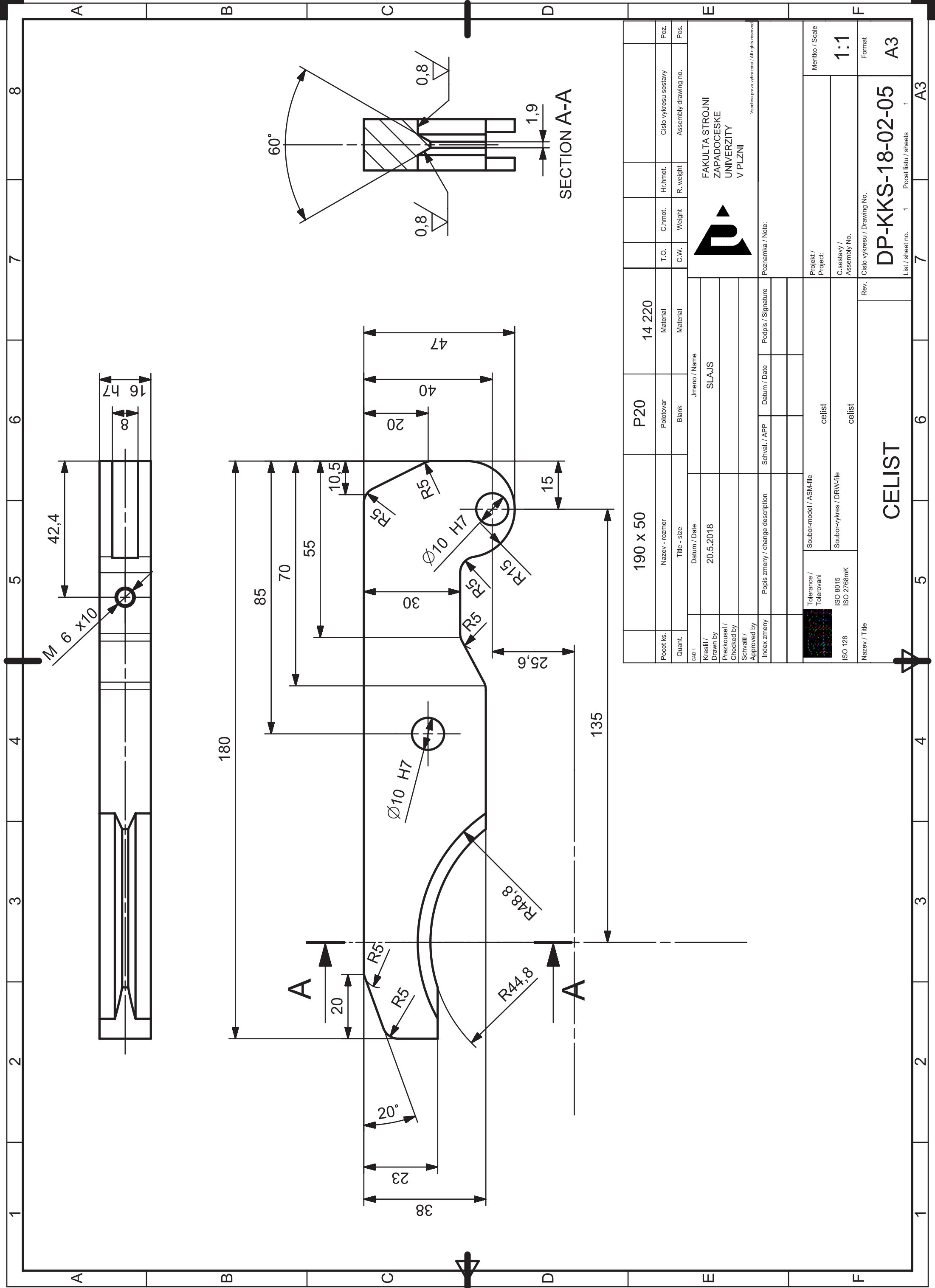
CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name			 FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by	20.5.2018		SLAJS			
Prezkoušel / Checked by						
Schválil / Approved by						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:	
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:			Meritko / Scale 1:3
	ZCU_A4_ASM_zdroj_lock		C.sestavy / Assembly No.			
	Soubor-vykres / DRW-file		C.hmot.sestavy 19,35 kg			
ZCU_A4_ASM_zdroj_lock		Cislo vykresu / Drawing No.			Format	
Nazev / Title CHAPAC				Rev. DP-KKS-18-02		A4
List / sheet no. 1		Pocet listu / sheets 1				

4

3

2

1

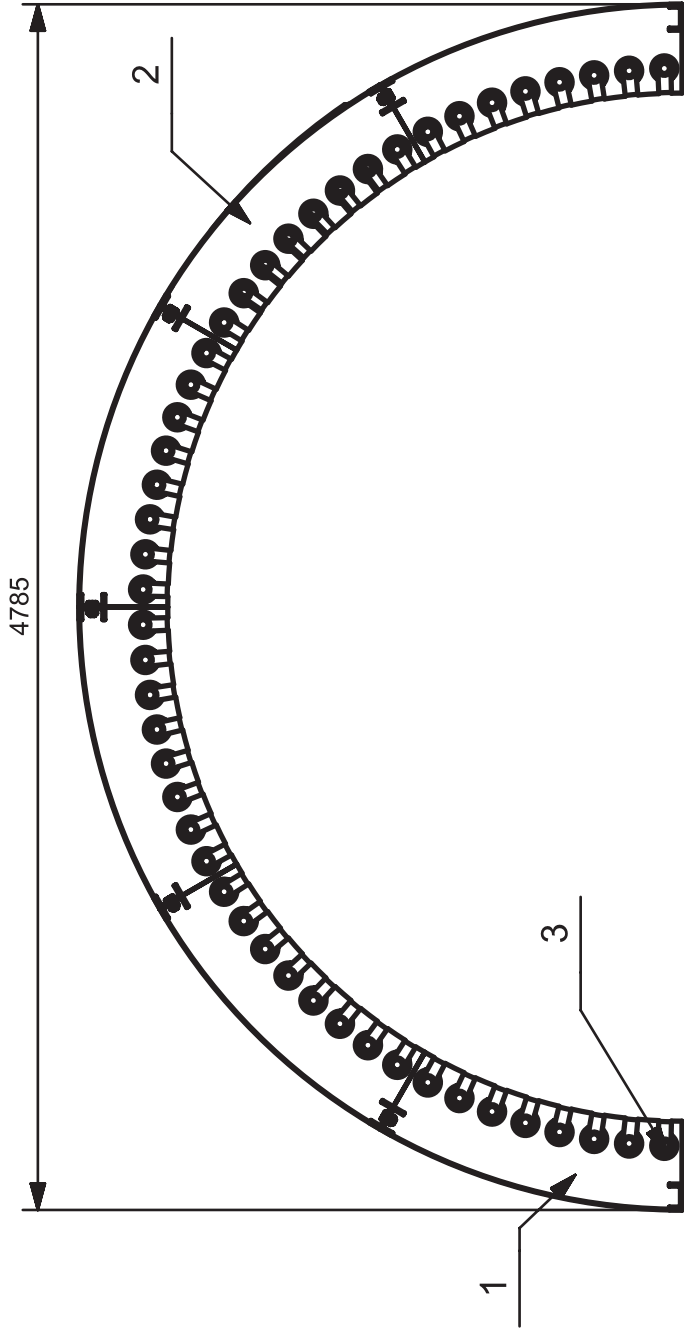


190 x 50		P20	14 220		
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Poklovar	Material	C.hmot.	Hr.hmot.
Quant.	Title - size	Blank	Material	Weight	R. weight
C.d. 1		Jmeno / Name		Pos.	
Kreslil / Drawn by	Datum / Date	SLAJŠ		C. vykresu sestavy	
Prezkoušel / Checked by	20.5.2018			Assembly drawing no.	
Schválil / Approved by					
Index zmeny / change description	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:
Tolerance / Tolerovani		Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:	
ISO 128	ISO 8015	celist		1:1	
	ISO 2768mk	celist		Format	
Nazev / Title		CELIST		DP-KKS-18-02-05	
				List / sheet no.	Pocet listu / sheets
				1	1

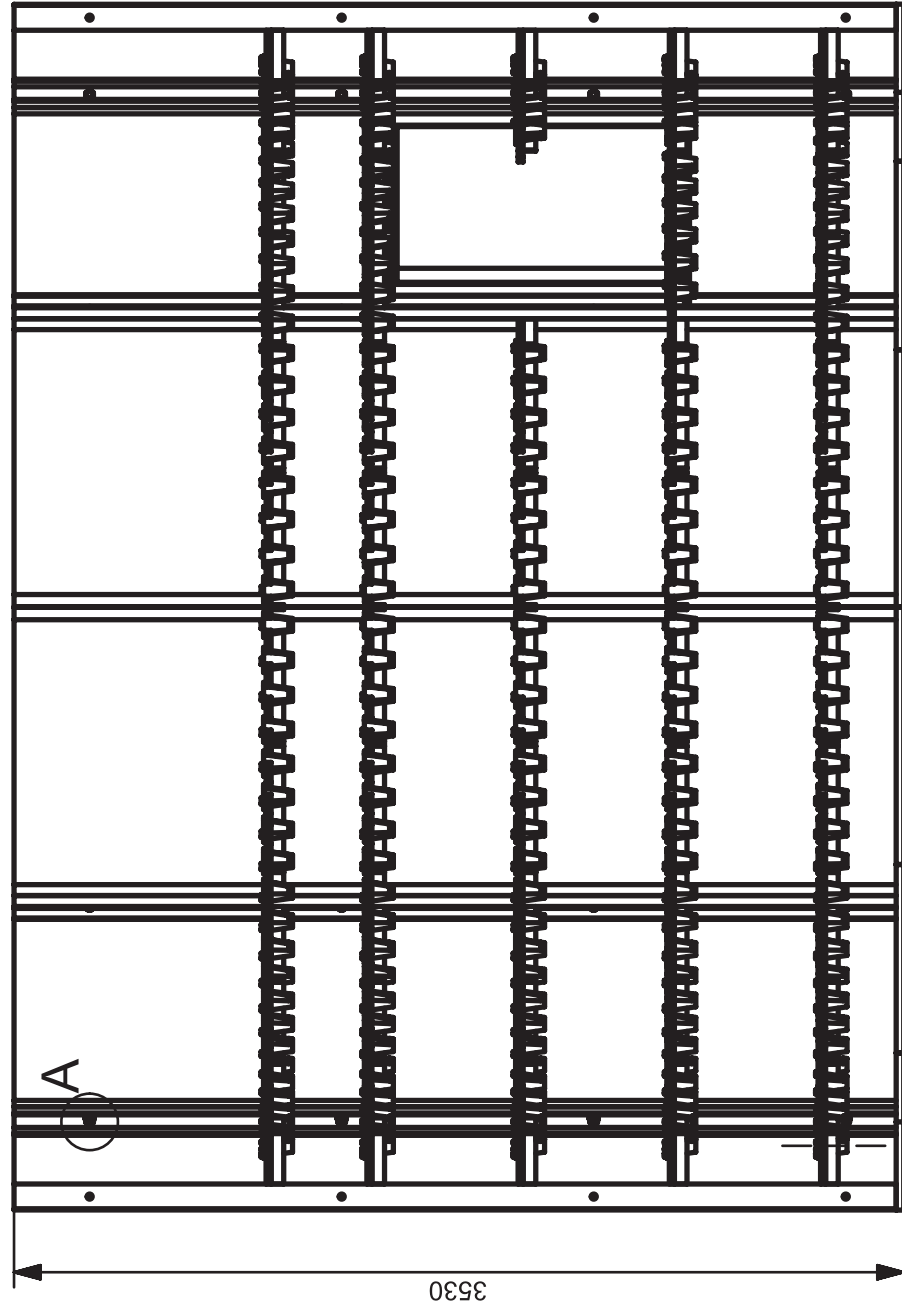
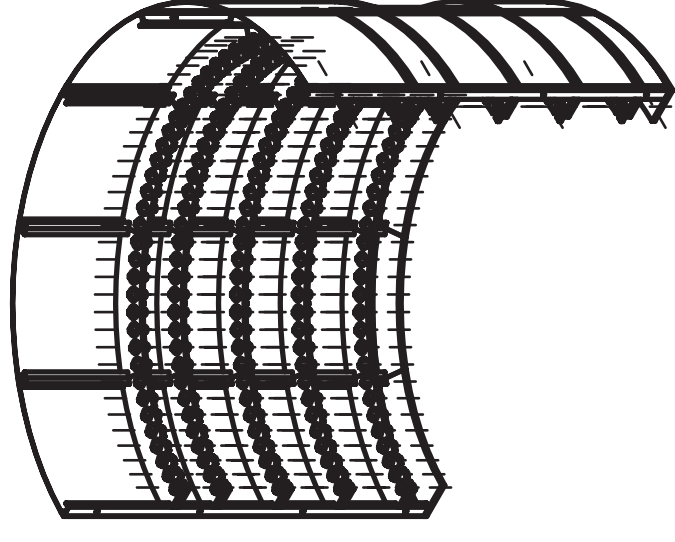
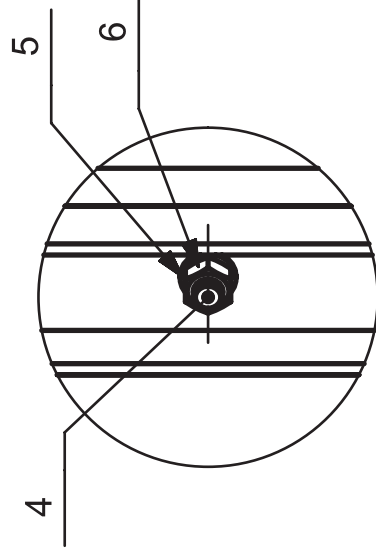


FAKULTA STROJNI
ZAPADOCESKE
UNIVERZITY
V PLZNI

Všetchna práva vyhrazena / All rights reserved



DETAIL A
SCALE 1:5



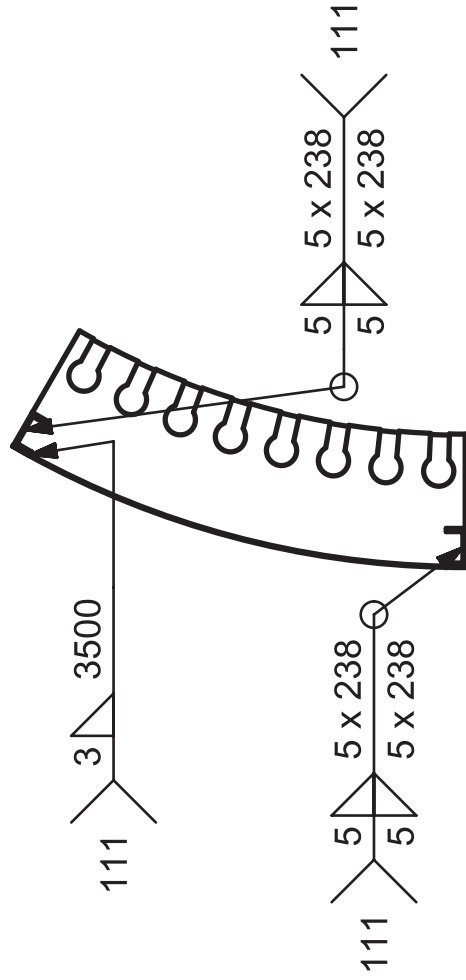
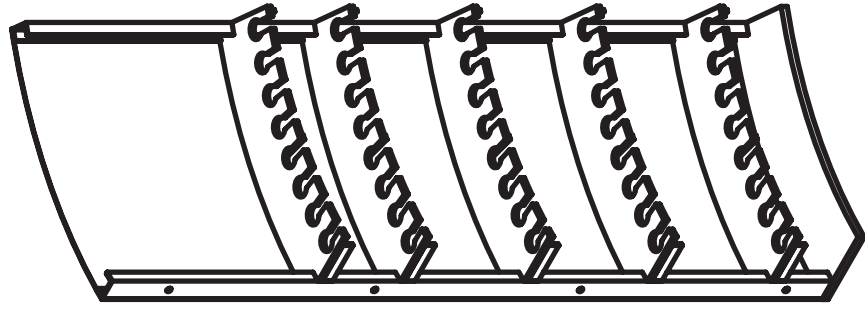
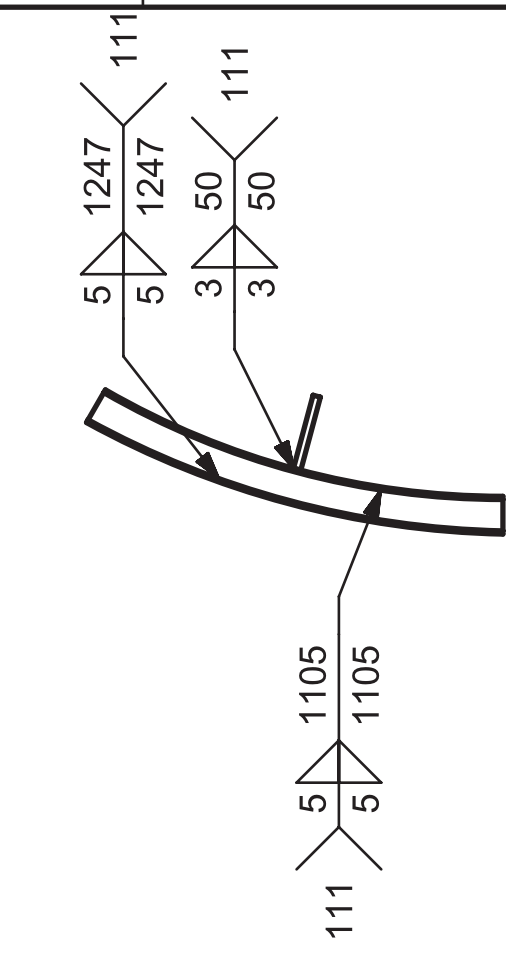
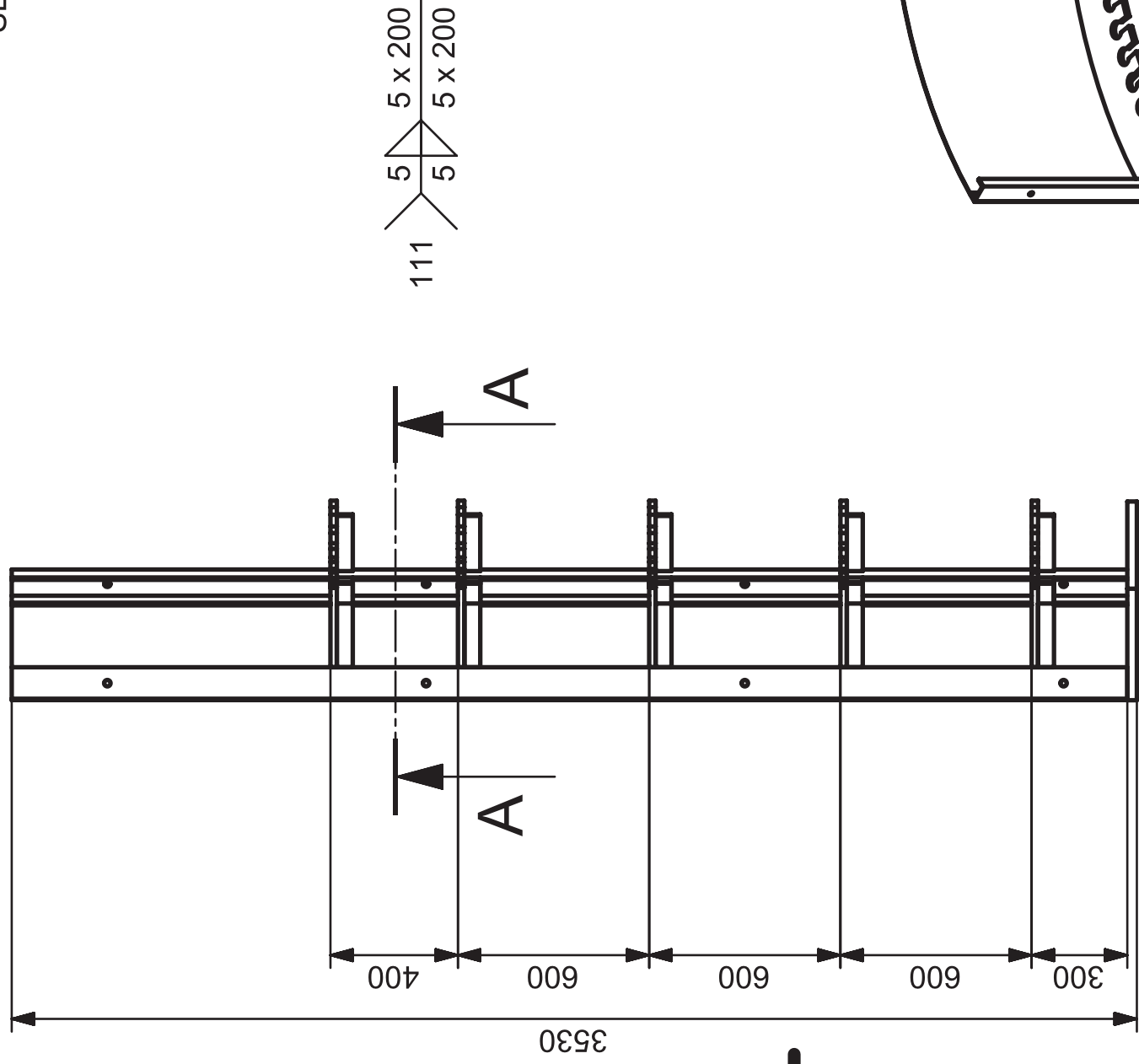
1	Zasobník 30°	DP-KKS-18-01-01	268,7	5
2	Zasobník - zasklad	DP-KKS-18-01-02	253,4	1
3	Luzko	DP-KKS-18-01-03	PA-66	224
4	SROUB M20 x 40	ČSN EN 24017		20
5	PODLOZKA 20	ČSN 02 1702		20
6	MATICE M20 x 1,5	ČSN EN 24032		20
POZ	NAZEV - ROZMER	VYKRES - NORMA	MAT	HMOT (kg) KS

Kreslil / Drawn by Prezkoušel / Checked by Schválil / Approved by Index změny	Datum / Date 20.5.2018 Popis změny / change description Schvál. / APP Datum / Date Podpis / Signature	Jmeno / Name SLAJS Poznámka / Note: FAKULTA STROJINI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Všechna práva vyhrazena / All rights reserved</small>
---	--	---

Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file zasobnik_180st Soubor-vykres / DRW-file zasobnik_180st	Projekt / Project: C.sestavy / Assembly No. C.hmot.sestavy	Meritko / Scale 1:30
ISO 128 Nazev / Title ZASOBNIK 180°	Rev.	Cislo vykresu / Drawing No. DP-KKS-18-01	Format A3
		List / sheet no. 1	Pocet listu / sheets 1

POZ 3 - PODSESTAVA ZEBROVANI

SECTION A-A



1	Police	DP-KKS-18-01-02	53	5
2	Podstava	DP-KKS-18-01-03	96	1
3	Zebrovani	DP-KKS-18-01-04	16,7	5
4	Zadni stena	DP-KKS-18-01-05	103	1
5	U profil			2
POZ		NAZEV-ROZMER	VYKRES-NORMA	HMOT(kg) KS

**FAKULTA STROJNI
ZAPADOESKE
UNIVERZITY
V PLZNI**

SLAJS

Datum / Date: 20.5.2018

Jmeno / Name: SLAJS

Podpis / Signature: [Signature]

Datum / Date: [Date]

Schval. / APP: [Signature]

Poznamka / Note:

ISO 128

ISO 8015

ISO 2768mK

Soubor-model / ASM-file: zasobnik_30st

Soubor-vykres / DRW-file: zasobnik_30st

Projek / Project: zasobnik_30st

C.sestavy / Assembly No.: 268,7 kg

C.hmot.sestavy

Meritko / Scale: 1

Rev. [Table]

Nazev / Title: ZASOBNIK 30°

DP-KKS-18-01-01

List / sheet no.: 1

Pocet listu / sheets: 1

Format: A3