



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

VELKOKAPACITNÍ ZÁSOBNÍK ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

HIGH CAPACITY TOOL MAGAZINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Kříž

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Dokoupil, CSc.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Tomáš Kříž
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Vladimír Dokoupil, CSc

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Velkokapacitní zásobník řezných nástrojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zásobník řezných nástrojů obsluhovaný robotem nebo manipulátorem

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu

Návrh variant konstrukce zadaných strojních skupin velkokapacitního zásobníku nástrojů a zdůvodnění výběru optimální varianty řešení.

Technické výpočty.

Výkresy sestav zadaných strojních skupin, kusovníky a minimálně 5 výkresů vyráběných dílů.

Komentář k přiložené výkresové dokumentaci.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, 2018. ISBN 978-8--906310-8-3.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. v Brně: VUTIUM, 2010. ISBN 978-8- -214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku
2021/22

V Brně, dne 13. 10. 2021

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou velkokapacitních zásobníků. První část práce je věnována popisem automatické výměny řezných nástrojů a dělení zásobníků řezných nástrojů. Druhá část práce porovnává konstrukční návrhy realizace velkokapacitního zásobníku a zvolení nevhodnější řešení. V další části je vypracováno konstrukční řešení zásobníku s popisem jednotlivých konstrukčních uzlů. Byly provedeny technické výpočty pro ověření zvoleného řešení.

ABSTRACT

This diploma thesis includes topic of large capacity storage magazines. First part is focused on description of automatic cutting tool change and division of magazines for cutting tools. Second part of the thesis compares proposal solution and selection of the most appropriate one. Next part is focused on designing the most appropriate solution to its details. Technical calculations were performed to verify the chosen solution.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zásobník řezných nástrojů, skladovací zásobník řezných nástrojů, zásobník obsluhovaný robotem, automatická výměna řezného nástroje, regálový zásobník, skladovací zásobník, řezné nástroje.

KEYWORDS

Cutting tool magazine, cutting tool storage magazine, robot-operated magazine, automatic cutting tool change, regal magazine, storage magazine, cutting tools.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KŘÍŽ, Tomáš. Velkokapacitní zásobník řezných nástrojů. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131712>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Vladimír Dokoupil.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce, panu Ing. Vladimírovi Dokoupilovi, CSc. za vstřícný přístup, cenné rady a důležité připomínky během psaní diplomové práce. Dále bych také chtěl poděkovat rodině, která mě během studia hodně podporovala. A nakonec kamarádům a spolužákům, kteří mi zpříjemnili studium.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Vladimíra Dokoupila, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 14. 5. 2022

.....

Kříž Tomáš

1	ÚVOD.....	19
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ZÁSObNÍKŮ.....	21
2.1	Automatická výměna nástrojů.....	21
2.2	Druhy zásobníků řezných nástrojů.....	22
2.2.1	Systémy s nosnými zásobníky:.....	22
2.2.2	Systémy se skladovacími zásobníky.....	22
2.2.3	Systémy kombinované.....	22
2.3	Systémy s nosnými zásobníky.....	23
2.3.1	Systém s výměnou jednotlivého nástroje.....	24
2.3.2	Systém s výměnou celého vřetene s nástrojem.....	26
2.4	Systémy se skladovacím zásobníkem.....	28
2.4.1	Rozdělení zásobníků podle kapacity.....	28
2.4.2	Rozdělení podle objektu skladování.....	34
2.5	Systém kombinovaný.....	35
2.6	Upínání a držáky nástrojů.....	36
2.6.1	Dlouhý kužel.....	36
2.6.2	Krátký kužel.....	37
2.7	Manipulační cyklus mezi strojem a zásobníkem.....	39
2.7.1	Systém přímý (pick-up).....	39
2.7.2	Systém zásobník – výměník – vřeteno.....	39
2.7.3	Systém zásobník – manipulátor – výměník – vřeteno.....	40
2.8	Kódování nástrojů v zásobníku.....	42
2.8.1	Kódování jednotlivých pozic v zásobníku.....	42
2.8.2	Kódování samotného nástroje.....	43
3	NÁVRH VARIANT ZÁSObNÍKU.....	45
3.1	Parametry zásobníku.....	45
3.2	Koncepty řešení.....	46
3.2.1	Koncept 1.....	46
3.2.2	Koncept 2.....	47
3.2.3	Koncept 3.....	48
3.2.4	Koncept 4.....	49
3.3	Výběr nejvhodnějšího řešení.....	50
4	NÁVRH KONSTRUKCE.....	51
4.1	Držák nástrojů.....	51
4.2	Lůžko nástroje.....	51
4.3	Návrh police.....	52
4.3.1	Rozměry police.....	52
4.3.2	Počet nástrojů v jednom segmentu.....	53
4.3.3	Vzdálenost mezi policemi.....	54
4.4	Celková výška zásobníku.....	54
4.5	Sestavení zásobníku.....	55
4.6	Robot.....	57
4.6.1	Technické parametry robotu.....	57
4.6.2	Pracovní prostor robotu.....	59
4.6.3	Zátěžový diagram.....	60
4.7	Robotický posuv.....	61
4.8	Uchopovač s čelistmi.....	63
4.8.1	Uchopovač.....	64
4.8.2	Čelisti.....	65

4.9	Čištění nástrojových stopek	66
4.10	Tok materiálu	67
4.11	Bezpečnostní prvky	67
4.12	Technické výpočty	68
4.12.1	Rychlost výměny nástroje	68
4.12.2	Kontrola nosnosti robotu	69
4.12.3	Průhyb nosné desky nástrojů	70
5	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	73
6	ZÁVĚR.....	75
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	77
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	79
8.1	Seznam symbolů	79
8.2	Seznam tabulek	79
8.3	Seznam obrázků	80
9	SEZNAM PŘÍLOH	83
Příloha 1:	Model zásobníku	83
Příloha 2:	Výkres zásobníku s kusovníkem	83
Příloha 3:	Výkres sestavy police	83
Příloha 4:	Výkres čelisti	83
Příloha 5:	Výkres police	83
Příloha 6:	Výkres mezikusu čelisti	83
Příloha 7:	Výkres nosného bloku	83
Příloha 8:	Výkres nosného sloupu	83
Příloha 9:	Výkres lůžka	83
Příloha 10:	Výkres plíšku	83

1 ÚVOD

V současnosti jsou na strojírenskou výrobu kladeny čím dál větší požadavky, hlavně na přesnost vyráběných dílů a zkrácení prostojů mezi jednotlivými operacemi. Během vývoje jsou více a více používané číslíkové řízené stroje neboli CNC (computer numeric control) stroje. Tyto obráběcí stroje se vyznačují velkou univerzálností čili vykonávat více technologických operací, od odměřování po samotné obrábění. CNC stroje je možné využívat jak v malosériové výrobě, tak i v sériové výrobě, kde je potřeba vyrobit velké množství stejných dílů. Obrábění jednoho dílu je zpravidla složeno z více operací, a proto je potřeba i různé řezné nástroje pro jednotlivé obráběcí operace. [1], [2]

Pro zefektivnění práce se v současnosti používá automatická výměna nástrojů, kde nástroj může být vyměněn přímo v rámci stroje, který je vybaven interním zásobníkem. Nicméně kapacita interního zásobníku je značně omezena. Pokud je nutnost, aby stroj vykonával širokou škálu operací je nutné, aby stroj disponoval i velkým množstvím nástrojů. Za tímto účelem se využívají externí zásobníky, které se nacházejí mimo obráběcí centrum. Externí zásobníky jsou obsluhované převážně roboty nebo manipulátory za účelem dopravy nástroje ze zásobníku do vřetena stroje a naopak.

Velké externí zásobníky nemusí být nutně určeny pro pouze jeden stroj, ale pro více strojů. Mezi velkou výhodou těchto zásobníků je jejich velká kapacita uložených nástrojů, nemusí se jednat o různé nástroje, ale i o stejné, které je možné využít v případě otupení nebo poškození jednoho z nich.

Pokud zásobník není přímo v rámci stroje úměrně tomu narůstá i čas výměny nástroje. Čas, během které probíhá výměna nástroje, je nutné co možná nejvíce minimalizovat, proto se například používá robot se dvěma uchopovači pro nástroje, aby bylo možné nástroj odebrat z vřetene a jednoduchým otočením příruby robotu vložit nový nástroj do vřetene.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ZÁSOBNÍKŮ

Kapitola pojednává o současném stavu v oblasti požadavků na automatickou výměnu nástrojů, rozdělení zásobníků řezných nástrojů, způsob obsluhy zásobníku a identifikace jednotlivých nástrojů.

2.1 Automatická výměna nástrojů

Automatická výměna nástrojů je úzce spojena se základním principem obrábění, hlavní řezný pohyb vykonává nástroj nebo obrobek. Podle hlavního řezného pohybu se odvíjí typ stroje. Velikost stroje se pak odvíjí podle velikosti kusů, které budou na stroji vyráběny a podle složitosti vyráběných dílů se odvíjí počet potřebných nástrojů pro vyrobení daného dílu. [1], [3]

Automatická výměna nástrojů je realizována pomocí robotů a manipulátorů. Nástroje jsou potřeba vyměnit ze dvou důvodů, nástroj je opotřeбенý a je potřeba ho vyměnit za nový nebo je potřeba jiný nástroj pro další operaci. [1], [3]

Požadavky na automatickou výměnu nástrojů

Aby bylo docíleno co možná nejefektivnější výroby jsou na automatickou výměnu nástroje kladené specifické požadavky [1]:

- krátký čas výměny nástroje (čas, kdy stroj není využíván, je nežádoucí),
- velikost zásobníku nástrojů (podle operací, na které je stroj využíván),
- optimalizovat zástavbu stroje (docílit, co nejmenší zástavbové plochy stroje),
- vysoká spolehlivost,
- optimální konstrukční řešení (nic nesmí být v kolizi),
- přesnost výměny (přesné dosedání na sebe funkčních ploch),
- variabilita nástrojů (nutnost manipulovat s velkými nástroji i s menšími nástroji),
- variabilita výměnného systému pro různé typy strojů.

2.2 Druhy zásobníků řezných nástrojů

Zásobníky řezných nástrojů mohou mít různou kapacitu míst pro uložení nástrojů. Existují tři druhy zásobníků, systém s nosným zásobníkem, systém se skladovacím zásobníkem nebo kombinovaný, které lze pak ještě dále dělit do podskupin. [4]

2.2.1 Systémy s nosnými zásobníky:

- a) systém s výměnou jednotlivého nástroje,
- b) systém s výměnou celého vřetene s nástrojem,
- c) systém s výměnou vícevřetenové operační hlavy včetně nástrojů (pouze pro informaci). [1], [4]

2.2.2 Systémy se skladovacími zásobníky

Skladovací zásobníky mohou být rozděleny jako u nosných zásobníků podle objektu skladování a rovněž také podle velikosti kapacity zásobníku.

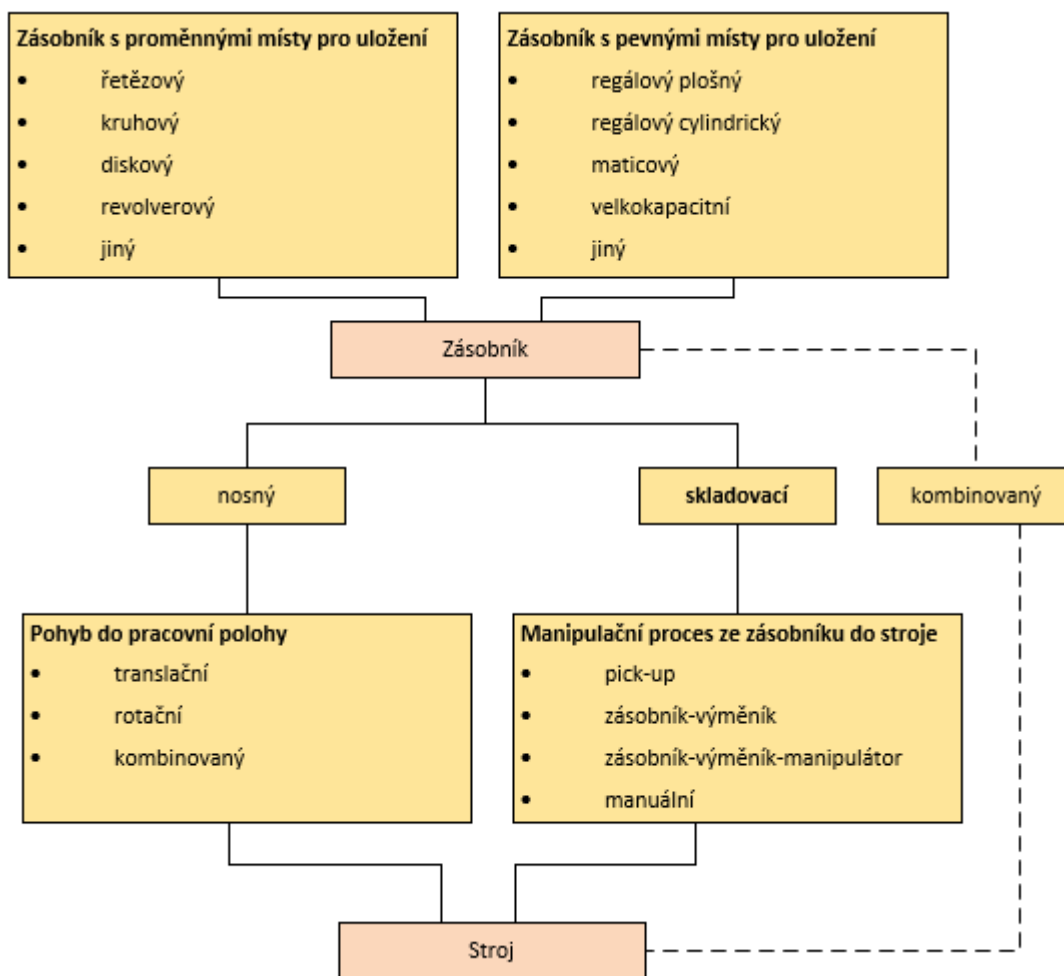
- Systémy se skladovacím se dělí podle objektu skladování v zásobníku [1], [4]:
 - a) systém s výměnou jednotlivých nástrojů,
 - b) systém s výměnou celých vřeten s nástroji,
 - c) systém s výměnou vícevřetenové operační hlavy včetně nástrojů.
- Systémy se skladovacím se dělí podle kapacity [1], [4]:
 - a) maloobjemové zásobníky,
 - b) velkoobjemové zásobníky.

Pro účely práce bude větší pozornost věnována skladovacím zásobníkům, neboť disponují větší kapacitou než zásobníky nosné.

2.2.3 Systémy kombinované

Jsou složeny kombinací nosných a skladovacích zásobníků. Pro tento systém už neexistuje jednoznačné dělení, jedná se totiž o speciální případ zásobníku. [1], [4]

Na obr. 1 je vyobrazen automatický cyklus mezi strojem a zásobníkem a uvedení jednotlivých druhů zásobníku včetně jednotlivých druhů manipulačních cyklů. [1]



Obr. 1 Schéma automatické výměny nástrojů a jejich druhy [1]

2.3 Systémy s nosnými zásobníky

Nástroje jsou uloženy v zásobníku, který je součástí rámu stroje a při odebrání materiálů z obrobku přenáší řezné síly. Zásobník se nachází uvnitř pracovního prostoru stroje, kde jsou omezené rozměry, čímž jsou limitovány nástrojová místa v zásobníku. Nástroje jsou uloženy v zásobníku, aby navazovaly z hlediska jednotlivých obráběcích procesů. Nejvýstižnější příklad nosného zásobníku je revolverová hlava, kde mohou mít nástroje vlastní pohon nebo nikoli. Jedná se o systém, kde není potřeba speciálního manipulátoru pro výměnu nástroje, s čímž také souvisí krátké časy výměny nástroje. Mezi výhody nosného zásobníku patří menší půdorysová zástavba stroje a rychlost výměny nástroje. [1], [5]

V současnosti se využívá i více hlav, které jsou schopny obrábět nezávisle na sobě a tím se zvyšuje produktivita stroje. [6]

2.3.1 Systém s výměnou jednotlivého nástroje

Do této kategorie systému patří nožové a revolverové hlavy soustružnických center.

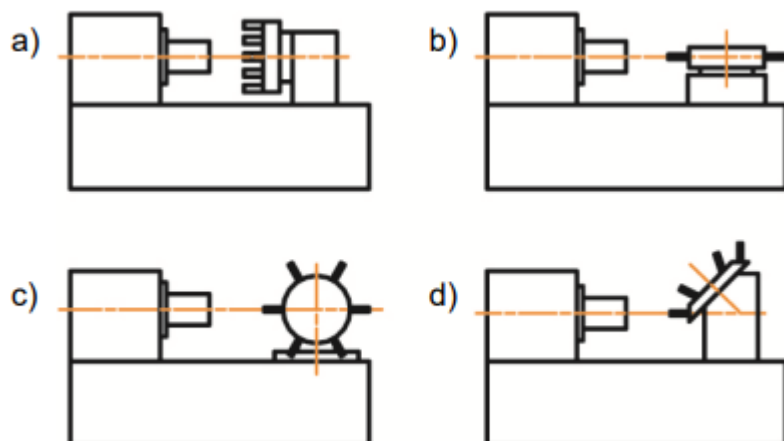
Revolverové a nožové hlavy by měly splňovat následující požadavky [2]:

- minimální čas na výměnu nástroje
- vysoká přesnost polohování při výměně nástroje,
- výměna nástrojového osazení hlavy musí být přesná, jednoduchá a rychlá,
- nástroje se nesmí vzájemně překážet při vnějším i vnitřním obrábění,
- minimální počet nástrojů je mezi 8 až 12.

Nožové hlavy jsou 4-12-boké. Nástroje jsou upínány pomocí univerzálních držáků do jednotlivých pozic, které jsou již seřizeny čili připravené k obrábění. Nožové hlavy jsou přednostně určeny pro upínání nožů pro obrábění vnějších i vnitřních povrchů rotačních i rovinných součástí [1].

Revolverové hlavy se liší od nožových hlav v jejich konstrukci, které je uzpůsobena pro upínání osových nástrojů do jednotlivých poloh v zásobníku. Pomocí speciálních držáků lze revolverové hlavy osazovat noži a nožové hlavy osovými nástroji [1].

Tyto systémy je možné využít u strojů, kde hlavní řezný pohyb koná obrobek. Systémy je možné rozdělit podle polohy osy nástroje a osy vřetene [1].



Obr. 2 Varianty revolverových hlav u soustružnických strojů [2]

a) vodorovný osa otáčením, b) svislá osa otáčení, c) příčná osa otáčení d) šikmá osa otáčení

Revolverová hlava typu TBMA je určena pro horizontální osu obrábění. Je vhodná pro instalaci do CNC soustružnických center a používána pro polohování nástrojů nebo obrábění. Je vhodná nejen pro soustružení ale pro frézování, vrtání a řezání závitů.



Obr. 3 Revolverová hlava typu TBMA [7]

Revolverová hlava, která se nachází v soustružnickém centru s 20 nástroji disponuje technologií BMT (Built in Motor Turret), což limituje vznik přebytečného tepla a vibrací. [8]



Obr. 4 Revolverová hlava od společnosti Mori Seiki [8]

2.3.2 Systém s výměnou celého vřetene s nástrojem

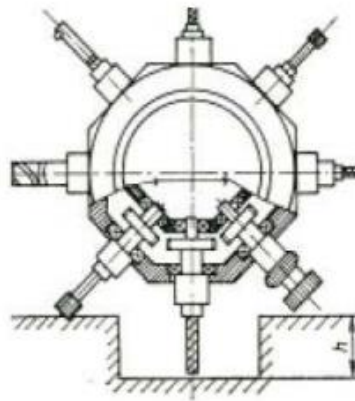
U systému probíhá výměna nástroje spolu s vřetenem, ve kterém je nástroj upnut.

Systém lze rozdělit do 3 podskupin [2]:

- a) vřetenové revolverové hlavy,
- b) vřetena rozmístěna v kruhu a lineárně.

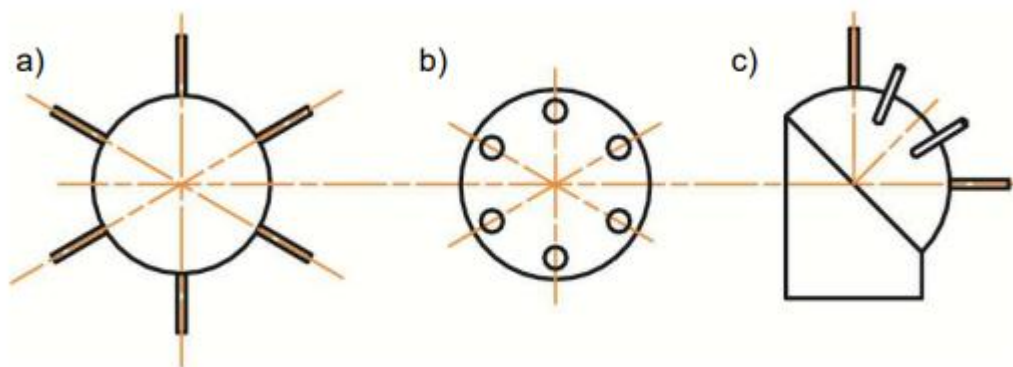
a) Vřetenové revolverové hlavy

Jedná se o relativně jednoduchý systém řešení zásobníku. Krouticí moment je na vřeteno s nástrojem přenášen natočením do pracovní polohy. Počet vřeten bývá omezen, a to zpravidla na 6 až 8. Kvůli nedostatku místa jsou ložiska umístěna blízko sebe ve vřetenové hlavě, což způsobuje vyšší tuhost soustavy, proto je tento koncept vhodný pro dokončovací operace. [2]

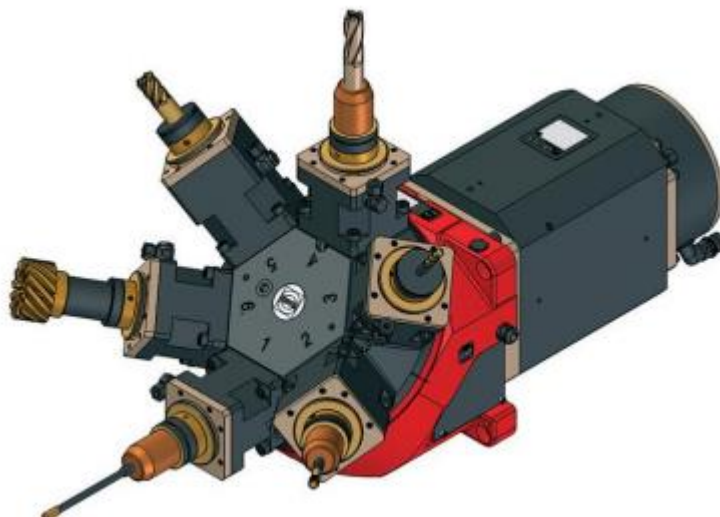


Obr. 5 Vřetenová revolverová hlava osmipolohová [2]

Vřetenové revolverové hlavy lze dělit podle osy otáčení viz obr. 6.



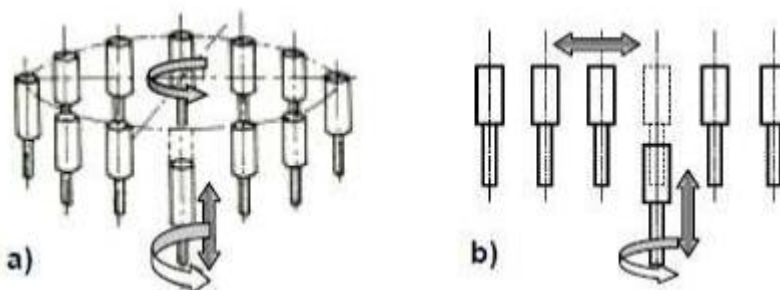
Obr. 6 Varianty uspořádání vřetenový revolverových hlav [2]



Obr. 7 Vřetenová revolverová hlava SAUTER [9]

b) Vřetena rozmístěna v kruhu a lineárně

Činnost vřetenového bubnu i lineárního zásobníku je založena na pootočení požadovaného vřetena do pracovní polohy neboli lineárním posunutím. Dále je vřeteno pomocí spojky, na kterou je přiveden točící moment, připraveno k obrábění. Obě koncepce disponují vyšší tuhostí vlivem větších ložiskových vzdáleností. Počet vřeten je vyšší než v případě revolverové hlavy tedy 10 až 20. [2]



Obr. 8 Vřetenové zásobníky nosné [2]

a) kruhový, b) lineární

2.4 Systémy se skladovacím zásobníkem

Základní rozdíl proti nosným zásobníkům je, že se nachází mimo pracovní prostor stroje, nepřenáší řezné síly při obrábění a plní pouze skladovací funkci. Protože je zásobník umístěn mimo stroj není omezena jeho kapacita nástrojů a jeho velikost. Systémy disponují velkou variabilitou nástrojů, což způsobuje, že tyto systémy jsou velice pružné. Mezi rovněž velkou výhodou patří, že nedochází ke kolizím neobrábějících nástrojů s obrobkem [1], [2].

Velkou nevýhodou skladovacích zásobníků je nutnost jednoho druhu držáků pro všechny nástroje. Při zvyšování kapacity zásobníku roste i vzdálenost mezi místem pro obrábění a místem v zásobníku. Pro přepravu nástrojů jsou převážně využívány manipulátory nebo roboti a během přepravy se mohou vyskytnout poruchy. Tyto systémy mohou být konstruovány ve velkém množství variant a převážně jsou využívány pro nerotační obrobky nebo také na soustružnických centrech [1], [2].

- Systémy se skladovacím se dělí podle kapacity [1], [4]:
 - a) maloobjemové zásobníky,
 - b) velkoobjemové zásobníky.

- Systémy se skladovacím se dělí podle objektu skladování v zásobníku [1], [4]:
 - a) systém s výměnou jednotlivých nástrojů,
 - b) systém s výměnou celých vřeten s nástroji,
 - c) systém s výměnou vícevřetenové operační hlavy včetně nástrojů (pouze pro informaci).

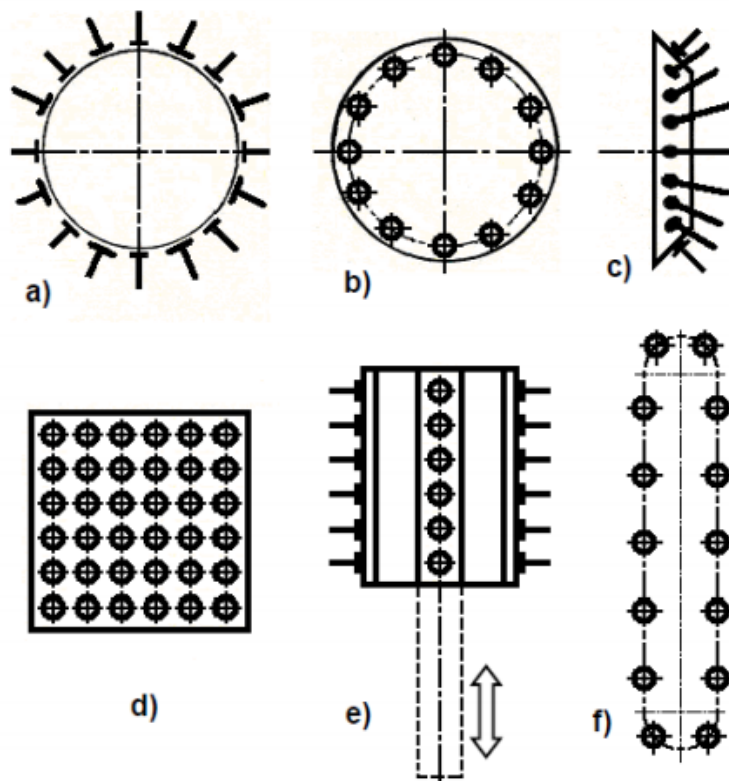
2.4.1 Rozdělení zásobníků podle kapacity

Systémy se skladovacími zásobníky lze rozdělit do dvou podskupin podle počtu úložných míst pro nástroje.

Maloobjemové zásobníky

Jedná se o zásobníky jednodušší a jejich kapacita je do 40 nástrojových míst. Nástroje v zásobníku jsou uloženy podobně jako v revolverových zásobnicích liší se pouze v jaké ose jsou umístěné vůči ose otáčení zásobníku.

Zásobníky nedisponují velkým množstvím nástrojových míst čili jsou umíst'ovány buď přímo na vřeteníku nebo na stole stroje. Velká výhoda maloobjemových zásobníků je, že se nezvětšuje zástavbová plocha stroje. [2], [10]



Obr. 9 Základní varianty maloobjemových zásobníků [2]

(a) a (c) hvězdicový,
 (b), kruhový (d) regálový, (e) segmentové a (f) řetězový



Obr. 10 Regálový zásobník [11]

- Hvězdicový/diskový zásobník

Hlavním znakem je úhel mezi osou otáčení zásobníku a osou nástroje, který je 180° . Osa nástroje může být rovněž šikmá k ose otáčení zásobníku. [12]

Značnou nevýhodou diskového zásobníku jsou jeho velké rozměry, které rychle narůstají v případě rozšiřování zásobníku. Pro upnutí nástroje do vřetena je potřeba značný prostor, proto zásobník není vhodný pro dlouhé nástroje. [12]



Obr. 11 Diskový zásobník [13]

- Kruhový/bubnový zásobník

System je koncipován přibližně do 20 nástrojů. Kapacita jde u bubnového zásobníku navýšit, buď zvětšením samotného bubnu, nebo zvýšením počtu bubnů. [1], [12]

Nástrojové lůžka jsou výklopné o 90° pro jednodušší vyjmutí nástroje a umístění do vřetena. Maximální počet nástrojů uložený v jednom bubnu je v rozmezí od 30 do 40 nástrojů. [12]

Nevýhodou je velký manipulační prostor pro samotnou výměnu, když zásobník není vybaven výklopným mechanismem. V případě, že zásobník nemůže nástroje vyklápat je potřeba realizovat místo v zásobníku na kterém probíhá výměna nástroje. [12]

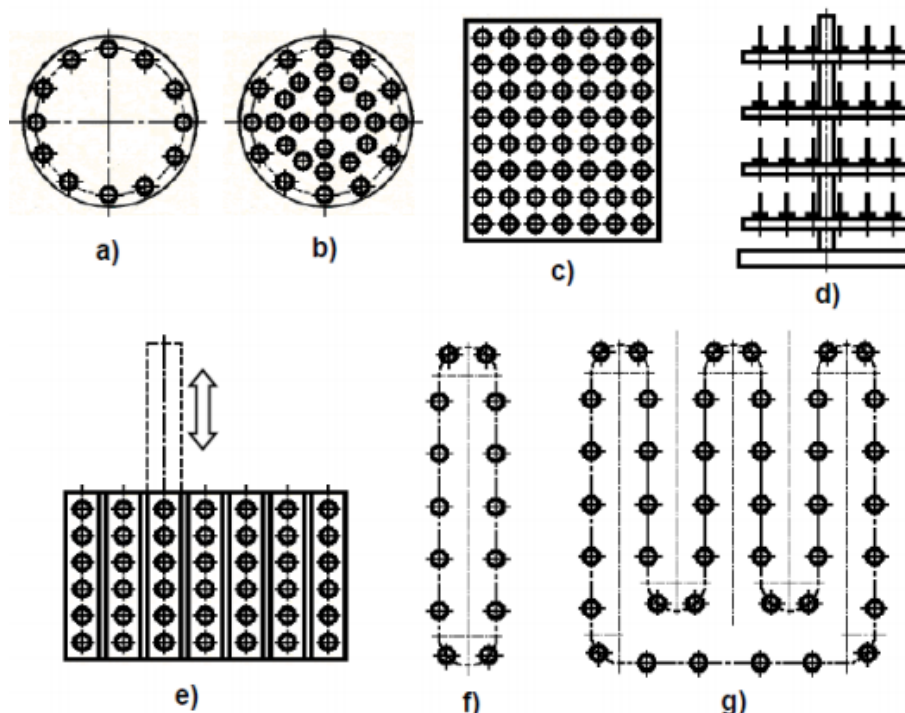


Obr. 12 Bubnový zásobník [14]

Velkoobjemové zásobníky

Pro definici velkokapacitního zásobníku je brána hranice 60 nástrojů. Některé typy zásobníků mohou být v některých ohledech brány jako maloobjemové a někdy jako velkoobjemové.

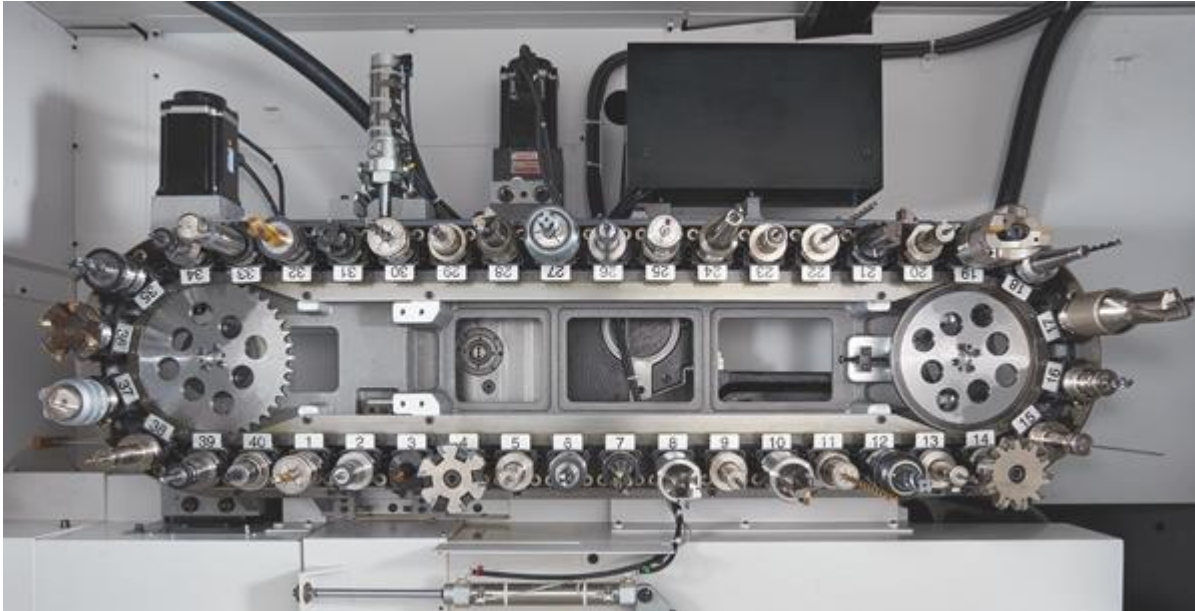
Velkoobjemové zásobníky disponují kapacitou od 60 do 500 nástrojových míst. Existuje několik druhů a to bubnové (a), kotoučové (b), regálové (c), segmentové (d, e), řetězové (f, g). [1, [2]



Obr. 13 Základní varianty velkoobjemových zásobníků [1]

- Řetězový zásobník

Jedná se o nejpoužívanější druh zásobníku. Nástrojové lůžka jsou spojena do smyčky, čím lze dosáhnout různých tvarů řetězového zásobníku. Nástrojové lůžka zásobníku mohou být výklopné nebo pevné podle realizace výměny nástroje. Kapacita řetězového zásobníku se může značně lišit mezi 40 – 100 nástroji. [1]



Obr. 14 Řetězový zásobník od společnosti Brother [15]

- Regálový zásobník

V regálové zásobníku jsou nástroje uloženy na ploše nebo svislé stěně, lineárně nebo v kruhu. Disponují velkou kapacitou, nicméně je potřeba pro jejich obsluhu použít manipulátory. Může se jednat o jednoduchá manipulátory nebo třeba roboty. [1]

Od společnosti Breton regálový zásobník, který je obsluhovaný manipulátorem, je vyobrazen na obrázku 15.



Obr. 15 Regálový zásobník Breton [8]

Regálový plošný zásobník od společnosti CELLRO, který je obsluhovaný robotem. Tento zásobník je určený pro menší nástroje.



Obr. 16 Zásobník R-C2 od firmy CELLRO [16]

Velkokapacitní zásobníky existují v mnoho provedeních a volba záleží čistě na co bude dané pracoviště používáné. Nejuniverzálnější obsluha je realizované pomocí robotu, nicméně je možné využít i manipulátorů.



Obr. 17 Vertikální regálový zásobník [1]

2.4.2 Rozdělení podle objektu skladování

a) Systém s výměnou jednotlivých nástrojů

Jedná se o nejpoužívanější systém při použití skladovacího zásobníku. Nástroje s držákem jsou vkládány do vřetena stroje, kde je nástroj upevněn a připraven k obrábění [1].

V rámci práce byl zkonstruován zásobník, kde probíhá výměna jednotlivých nástrojů s jejich držáky.



Obr. 18 Fréza v držáku [17]

b) Systém s výměnou celých vřeten s nástroji

Protože během typických operací třískového obrábění (frézování, vrtání apod.) s rozdílnými reznými odpory, vznikly systémy nástrojů včetně vřeteníků. Existují různé možnosti řešení: výměna celých vřeteníků, výměna vřetenových kazet s nástroji pomocí manipulátoru. Z centrálního pohonu je poté na vřeteno vřeteníku v pracovní pozici, přenášen točivý moment pomocí spojky. [1]

Mezi výhody patří, že každý nástroj je uložen v optimálním vřeteni. Protože vřeteník pracuje jen omezenou dobu není nutnost chlazení. Upnutí vřeteníku nebo kazet je pomocí svislých vodících plochách, kde se často usazují nečistoty, což způsobuje přesně a tuhé upnutí. Mezi hlavní nevýhody patří vysoký pořizovací cena, která je způsobena velkým zásobníkem a nutnosti multifunkčního manipulátoru. [1]



Obr. 19 Zrychlovací hlava Lyndex-Nikken [8]

c) Systém s výměnou vícevřetenové operační hlavy včetně nástrojů.

Více vřetenové operační hlavy disponují několika nástroji se vlastními vřeteny. Výměna těchto nástrojů je časově náročná a rovněž je nutné počítat s větší nosností zásobníku a výměníku. Využití se nachází hlavně ve velkosériové výrobě jako náhrada automatických linek. [2]

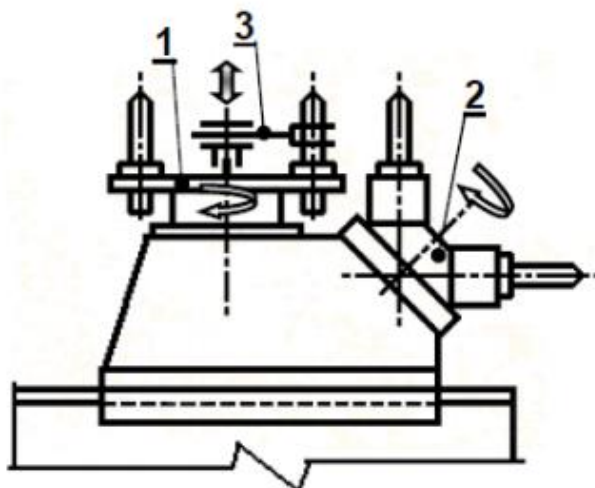


Obr. 20 Vícevřetenová hlava od společnosti MPA [8]

2.5 Systém kombinovaný

Kombinované systémy využívají skladovací zásobník i nosný zásobník. Pro příklad byl vybrán nejjednodušší příklad, a to konkrétně systém s dvoupolohovou revolverovou hlavou s integrací skladovacího zásobníku. Systém funguje, že během práce stroje z druhého místa revolverové hlavy výměně nástroj ze zásobníku, který bude vykonávat následující operaci [1].

Výhodou těchto systémů je výměna nástroje je realizováno v rámci stroje a rychlost výměny nástrojů, která se pohybuje od 1 do 4 sekund. Nevýhodou je dlouhá výměna během krátkých obráběcích operací, která může trvat až 20 sekund [1].



Obr. 21 Kombinovaný systém s dvoupolohovou revolverovou hlavou [1]

(1 – zásobník, 2 – dvoupolohová revolverová hlava, 3 – výměník)

Dlouhá výměna při krátkých operacích lze minimalizovat revolverovou hlavou s více místy. Například je na následujícím obrázku vykreslena čtyř-polohová revolverová hlava. Do míst A a C jsou upínány nástroje ze skladovacího zásobníku. V polohách B a D jsou

permanentně upnuty nástroje, které jsou příliš rozměrné pro uložení do skladovacího zásobníku, čímž jsou minimalizovány vedlejší časy práce stroje [1].

2.6 Upínání a držáky nástrojů

U strojů, kde hlavní řezný pohyb vykonává nástroj se nejčastěji nástroje upínají do kuželových nebo válcových otvorů. Ve vřetenu jsou vždy jednotné plochy, nicméně nástroje do držáku jsou upevňovány různými způsoby. [1]

Požadavky kladené na upínání a držáky nástrojů:

- jeden typ pro všechny druhy nástrojů,
- opakovatelná přesnost při upnutí,
- minimální deformace při upínání,
- vysoká tuhost ve všech směrech působení řezných sil,
- možnost seřízení nástroje mimo stroj,
- nutnost přívodu chladicí kapaliny k nástroji,
- vytvoření odpovídajících ustalovacích ploch,
- možnost kódování nástrojů.

2.6.1 Dlouhý kužel

Konstrukčně starší držáky s dlouhým kuzelem se používali na strojích s vodorovnou osou vřetena a disponovali kuzelem ISO s kuželovitostí 7:24, který byl nesamosvorný. Kuželovitost zajišťuje poměrně velkou plochu, což vede k dosažení vystředění i za nepřítomnosti samosvornosti.

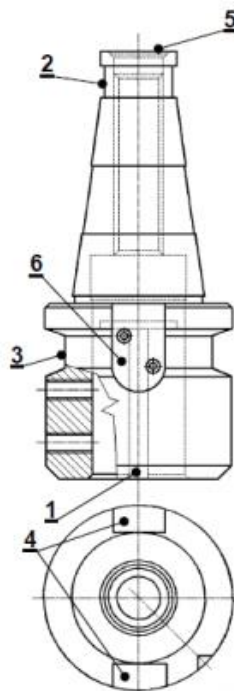
Dlouhý kuželový držák ISO je náročný na přesnost výroby a rovněž se v upínacích drážkách zachycují nečistoty. [2]

ISO držák není zcela vhodný pro automatickou výměnu, neboť časy vyjmutí a vkládání jsou delší kvůli jeho délce. Nicméně se jedná stále o jeden z nejrozšířenějších typů držáků nástrojů. Výhoda je lehké odebrání nástroje z dutiny vřetene. [2]



Obr. 22 Držák ISO 50 [18]

Na obrázku 23 je zobrazen standartní držák nástrojů s ISO kuželem. Nástroj je v držáku uložen do válcové plochy a zajištěn pomocí šroubů a točivý moment je realizován pomocí pera v drážce 1. Pro zachycení kleštinového zápinu nebo kuličkového upínání je určen zápinch 2 na konci kuželu. Pro uchopení držáku manipulátorem nebo robotem je určena válcová plocha 3. Točivý moment z pohonu stroje na držák nástroje je přenášen pomocí kamenů do drážek 4. V poslední řadě identifikace nebo také kódování nástroje je realizováno na plochách 5 a 6.



Obr. 23 Kuželový ISO držák nástrojů [1]

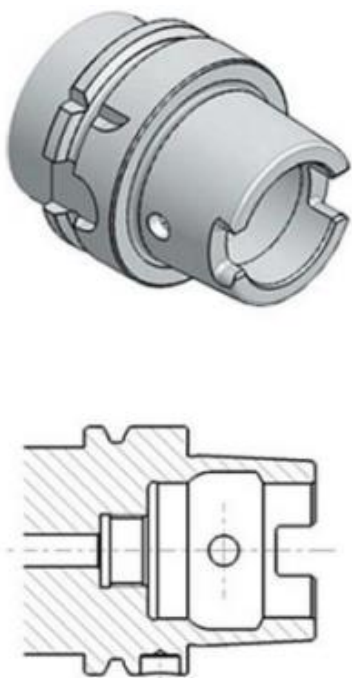
Upínání držáků je ve stroji pomocí rychloupínací jednotky, která je samosvorná, aby při náhlém výpadku elektrické energie nástroj nevypadl z vřetene stroje. Důležité také je, že upínací jednotka musí upínat všechny nástroje stejnou silou, aby byl nástroj upnut v přesně poloze.

Z důvodu nevhodnosti dlouhých kuželových držáků nástrojů u strojů, které pracují s vysokými otáčkami, jsou kladeny požadavky na rychlé vysunutí držáků nástroje z vřetena. Proto byly vyvinuty držáky typu HSK, které mají kratší kuželovou stopku a rychleji jsou vyměňovány z vřetene.

2.6.2 Krátký kužel

Držáky nástrojů HKS byly v prvopočátku bez čelní rovinné plochy, ale docházelo k nedostatečnému středění nástroje vůči ose vřetena. Čelní plocha zvýšila přesnost polohování a tolerance mezi kuželovou a rovinnou upínací plochou jsou menší než 0,002 mm. Přesnost nástroje je zaručena rovněž vysokými požadavky na geometrické tolerance. Držáky typu HKS jsou schopné přenášet velké krouticí momenty, protože moment nepřenáší pouze kameny ve vřetenu, ale zároveň třením mezi držákem a kuželovou dutinou vřetena. Při vysokých otáčkách vřetena narůstá odstředivá síla, což způsobuje ještě vyšší upínací sílu, proto jsou držáky HKS vhodné pro obrábění za vysokých otáček. U klasických držáků s ISO kuželem není možné vysokorychlostní obrábění, neboť je nutné, aby držák byl uložen co nejhlouběji ve vřetenu a

neustále držen v sevřeném stavu. Další velkou předností držáků HKS je možnost přívodu chladicí kapaliny, aniž by se kapalina dostala na upínací plochy držáku. [2]



Obr. 24 Držák na nástroj typu HKS-T [5]

Mezi hlavní nevýhody nástrojových držáků s krátkou kuželovou upínací plochou je velmi vysoká přesnost na výrobu. Jedná se o plochy vřetena i plocha nástrojového držáku, kde při nepřesné výrobě se dostávají nečistoty při každé výměně nástroje a způsobují poškození upínacích ploch a tím je ovlivněna celková práce stroje, jeho a přesnost hlučnost a další. Minimální házení je dáno podle norem práce od 0,03 do 0,006 mm. [2]

Držáky HSK jsou díky kratší kuželové plochou vhodnější pro automatickou výměnu nástrojů než držáky s dlouhou kuželovou plochou.



Obr. 25 Držák HSK 63 A [19]

2.7 Manipulační cyklus mezi strojem a zásobníkem

Manipulační cyklus výměny se řadí do vedlejších časů čili je nežádoucí, proto je důležité, co možná nejvíce dobu výměny zkrátit. Důvodem čím dál větších výrobních požadavků na stroje, roste také potřeba většího množství potřebných nástrojů a tím zvyšování kapacity zásobníků. [2]

Výměna probíhá buď pomocí otáčení zásobníku do požadované polohy, nebo se výměna realizuje pomocí manipulátorů či robotů. Pohon manipulátorů a robotů se realizuje elektricky, hydraulicky nebo pneumaticky. Nástroje jsou v zásobnících upnuty, pokud nejsou uloženy ve vertikální poloze. [2]

Manipulační cyklus lze rozdělit do 3 skupin [2]:

- a) systém přímý (pick-up),
- b) systém zásobník – výměník – vřeteno,
- c) systém zásobník – manipulátor – výměník – vřeteno.

2.7.1 Systém přímý (pick-up)

Nejjednodušší realizace výměny nástrojů, která je poměrně rychlá. Přímá výměna nepotřebuje speciální manipulační systémy, protože zásobník je přímo na vřeteníku. [2]

Samotná výměna probíhá otočením zásobníku, aby osa nového nástroje byla v ose vřetene a následně je nástroj upnut do vřetene odebráním nástroje ze zásobníku. Stroj je konstruován, aby zásobník umožňoval rotační pohyb a vřeteno translační pohyb k zásobníku a od něj. [2]

Systém přímý se realizuje pouze pokud nejsou kladeny požadavky na velikost zásobníku a na samotný čas výměny nástroje. [2]

2.7.2 Systém zásobník – výměník – vřeteno

Na rozdíl od systému přímého, kdy nebylo využívaného ničeho kromě pohybů zásobníku a vřetene, tento systém disponuje mezičlánkem výměníkem mezi zásobníkem a vřetenem. Jedná se o manipulátor, který provádí výměnu nástroje. Osa nástroje a osa vřetene musí být rovnoběžné, aby mohlo dojít k výměně, pokud osy v zásobníku jsou kolmé k ose vřetene je nutné, aby zásobník byl vybaven výklopným mechanismem. [2]

Výměník je převážně konstruován jako otočné rameno, které má na každém konci čelisti pro uchopení nástroje. Čelisti mají mezi sebou úhel 180°.

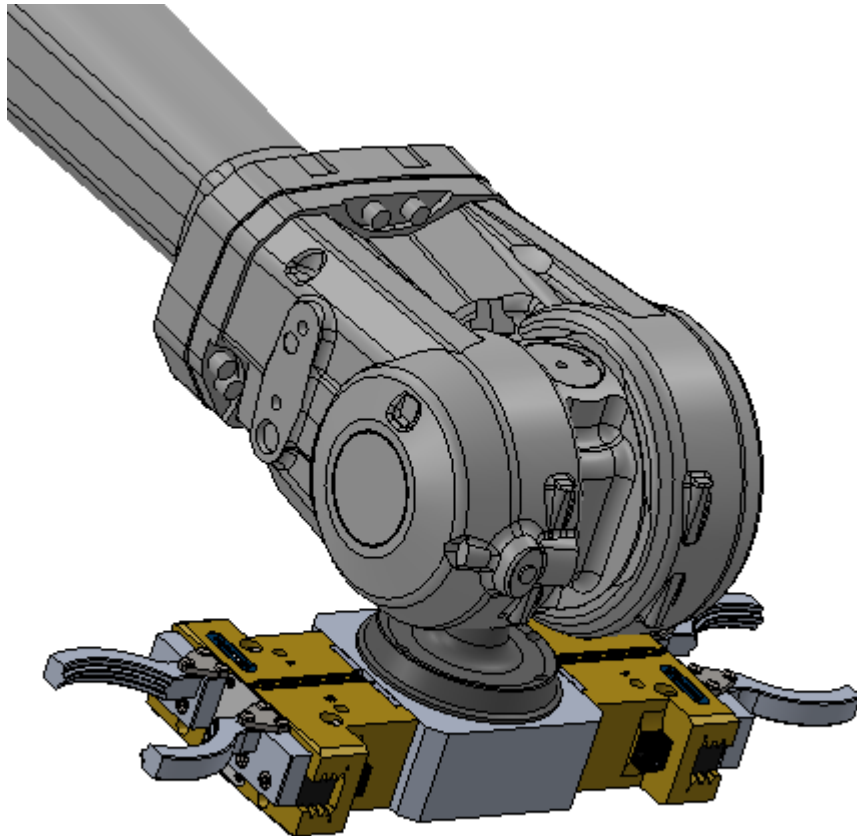


Obr. 26 Výměna pomocí manipulátoru [8]

2.7.3 Systém zásobník – manipulátor – výměník – vřeteno

Nejuniverzálnější ale zároveň nejsložitější systém výměny, u kterého není možné provést výměnu pomocí pouze výměníku. Systém je použit v případech, že je zásobník příliš vzdálen od vřetene stroje. Zásobníky disponují velkou kapacitou nástrojů, nicméně pro jejich obsluhu je potřebné požit manipulátorů či robotů vybavenými koncovými efekty. Robot může být stacionární čili pevně přichycen k podlaze nebo umístěný na robotickém pojezdu. [2]

Pro zkrácení doby výměny při použití robotu je potřeba aby robot byl schopen nést více nástrojů najednou. [2]



Obr. 27 Robot s koncovými efekty

Koncové efekторы pro robot

V současnosti existuje spousta možností, kterými jde robot vybavit, nicméně pro funkci zásobníku se nabízí 3 možnosti:

- Paralelní chapadlo

Paralelní chapadlo jsou určeny pro menších břemen po těžké. Jsou vhodné pro obrobky až do 80 kg. Princip fungování je, že každá ze dvou čelistí jsou uloženy v drážkách a jsou schopné se lineárně pohybovat. Každé chapadlo má předepsané maximální zdvih na jednu čelist. [21]

Při použití paralelního chapadla je nutné uchopovat nástroj zboku.



Obr. 28 Paralelní koncový efektor Schunk JGP-P [21]

- 3-prsté chapadlo

Tříprsté chapadlo jsou určeny pro uchopování menších i větších břemen. Uchopování probíhá za vnější průměr břemena. Hmotnost uchopovaných obrobků se pohybuje od několika gramů až po 100 kg. [22]

Pro požití v zásobníku by bylo nutné uchopovat nástroj shora, čímž by se značně snížil průměr uchopovaného nástroje nebo by musely být navrženy speciální čelisti.



Obr. 29 Tříprstý koncový efektor Schunk PZB-plus [22]

- Úhlové chapadlo

Úhlové chapadlo je vhodné pro menší až středně velká břemena do 23kg. Princip uchopování probíhá rozevřením čelistí a následným zavřením. [23]

Pro použití v zásobníku byl vytvořen koncept s úhlovým chapadlem, nicméně pro manipulaci s 15 kg břemenem bylo chapadlo až příliš veliké. Opět zde bylo realizováno uchopování nástroje z boku.



Obr. 30 Úhlový koncový efektor Schunk PWG-plus [23]

2.8 Kódování nástrojů v zásobníku

Nástroje je potřeba v zásobníku kódovat, aby bylo možné správně naprogramovat program obrábění. Pokud je kód umístěn na nástroji jedná se o tzv. kódování nástroje. Nicméně je možné kódovat i jednotlivé pozice v zásobníku, kde je nástroj uložen. Každá pozice v zásobníku je identifikovatelná pomocí kódu. Pro přivolání nástroje je v bloku programu slovo s adresou ,T‘.

Praktičtější způsob kódování je, kdy je nositel kódu držák nástroje, neboť je jednotlivým nástrojům přiřazován unikátní kód. Tento způsob umožňuje automatizovat výměnu nástrojů, a to jak v nosných, tak velkokapacitních skladovacích zásobnících. Kódované nástroje je možné v zásobníku uložit na různé pozice, aniž by došlo k chybnému vybrání nástroje. U kódování míst v zásobníku je třeba, aby se nástroje umísťovali vždy na stejná místa. Pokud dojde k nesprávnému uložení nástroje do zásobníku může dojít k poruše stroje nebo zničení daného nástroje nebo obrobku.[2]

Nástrojové kódování nebo kódování míst v zásobníku je prováděno několika způsoby, a to podle použitého kódovacího systému. Může se jednat o čtecí zařízení mechanické, elektrické, fotoelektrické či jiné.

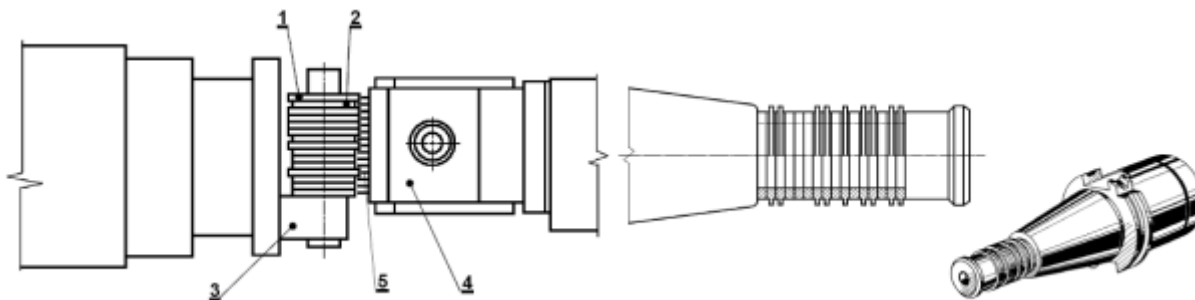
2.8.1 Kódování jednotlivých pozic v zásobníku

Jedná se o méně spolehlivé řešení, kde se kód nenachází na držáku nástroje nýbrž na nástrojové pozici. Je nutné, aby se nástroj vkládal do zásobníku na stejné pozice. Vložení nástroje do nesprávné pozice může lehce dojít k havárii. Každý nástroj disponuje svým přiřazeným místem v zásobníku, které je označeno číslem nebo kódem. Výběr nástroje ze zásobníku probíhá, že je vyvolán impulz, kterým se uvede do pohybu zásobník nebo

manipulační zařízení obsluhující zásobník, následně je přečten kód naprogramovaného nástroje. Proběhne výměna nástroje a po vykonání dané technické operace já nástroj opět vrácen do původní pozice v zásobníku. [1]

2.8.2 Kódování samotného nástroje

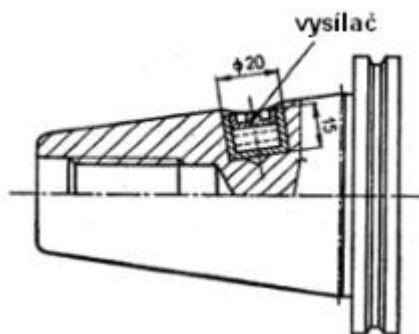
Kódovaná nástrojů je nositelem kódu samotný nástroj. Na držáku nástroje je umístěn kód určitého místa v zásobníku. Kód zůstává na nástroji i když nástroj není v zásobníku, proto nezáleží, kam je nástroj v zásobníku umístěn. Tento typ kódování umožňuje automatizovat nástroje při změně typu obrobku. [1]



Obr. 31 Kódování pomocí kroužků [2]

(1, 2 – kroužky různých průměrů, 3 – nástrojový držák, 4 – čtecí zařízení, 5 – kontakty čtecího zařízení)

Modernější řešení, jak rozpoznávat jednotlivé nástroje, je vybavit nástroje držáku čipem.



Obr. 32 Kódování pomocí držáku nástroje, který je vybavený čipem [2]

3 NÁVRH VARIANT ZÁSObNÍKU

3.1 Parametry zásobníku

Po dohodě s vedoucím práce byly stanoveny následující parametry velkokapacitního zásobníku rezných nástrojů.

Tab. 1 Zvolené parametry pro zásobník

Typ držáku nástroje	ISO 50
Počet nástrojů	80-120
Maximální průměr nástroje	110 mm
Maximální délka (držák + nástroj)	350 mm
Maximální hmotnost nástroje s držákem	15 kg

Na základě zvolených parametrů byly vytvořeny koncepty řešení. Hlavním požadavkem byla modularita zásobníku, aby bylo možné zásobník v budoucnosti rozšířit. Rovněž také by měl být zásobník určen pro různé typy strojů v rámci nástrojového rozhraní ISO 50. Velmi důležitý faktor je i rychlost, které musí být co nejkratší.

Z hlediska konstrukce byl kladen důraz na jednoduchost konstrukce.

Pro ilustraci byly v konceptech použity stroje od společnosti HAAS, konkrétně vertikální frézka VF-2.

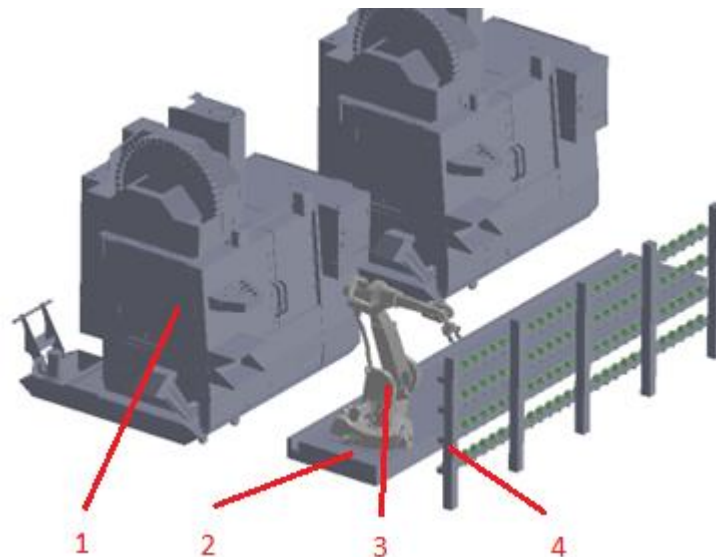
3.2 Koncepty řešení

3.2.1 Koncept 1

Koncept číslo 1 využívá regálového zásobníku, kde jsou nástroje uloženy v jednořadých poličkách, které jsou výškově nastavitelné, aby bylo možné do zásobníku uložit různé délky nástrojů. Zásobník je rozdělen do jednotlivých segmentů mezi dvěma nosnými sloupy. Do jednoho segmentu je možné umístit až 4 police s nástroji, čímž činí kapacita nástrojů jednoho článku zásobníku až 28 nástrojů.

Nástroje jsou uloženy v plastových lůžkách, aby nedocházelo k poškození nástrojového držáku během ukládání nástroje do zásobníku. Aby byly vždy nástroj orientován stejným směrem je do lůžka možné uložit nástroj pouze jedním způsobem.

Obsluha zásobníku je realizována šestiosým robotem, které uchopuje nástroje z boku a následně je umísťuje do vřetene stroje. Samotný robot je umístěny na pojezdu, což umožňuje obsluhu více strojů a zároveň rozšiřování zásobníku podél pojezdu. Nemusí se jednat pouze o rovný pojezd nicméně i různě zakřivený pro potřeby daného pracoviště.



Obr. 33 Koncept 1

(1 – ilustrační stroj, 2 – robotický pojezd, 3 – robot, 4 – zásobník)

Výhody:

- ✓ Modularita
- ✓ Možnost uskladnění i větších nástrojů, než je požadováno
- ✓ Obsluha více strojů

Nevýhody:

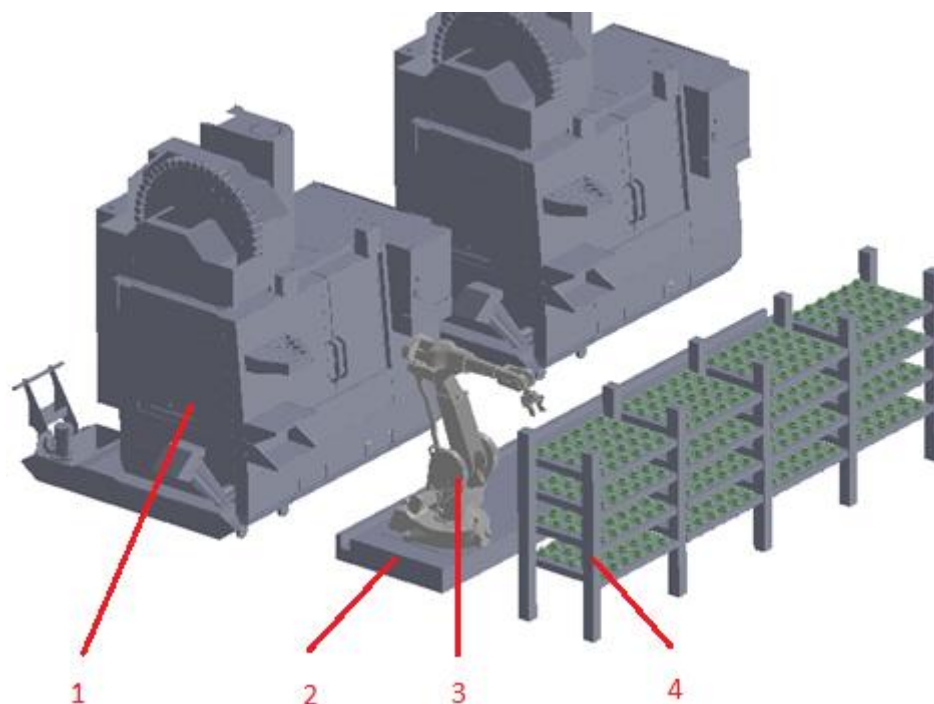
- Delší doba výměny nástroje
- Velká zástavbová plocha pracoviště

3.2.2 Koncept 2

Konstrukční návrh číslo 2 využívá opět regálového zásobníku, nicméně zde jsou nástroje uloženy v poličkách ve více řadách. Police je možné vysunout směrem k robotu a následně vyjmout nástroj ze zásobníku. Zásobník je opět rozdělen na jednotlivé sekce mezi 4 nosnými sloupy. Do jednoho segmentu je možné umístit 4 police s nástroji.

Nástroje jsou uloženy v plastových lůžkách, aby nedocházelo k poškození nástrojového držáku během ukládání nástroje do zásobníku. Aby byly vždy nástroj orientován stejným směrem je do lůžka možné uložit nástroj pouze jedním způsobem.

Obsluha je opět realizována robotem, které uchopuje nástroje shora a následně je přesune do vřetena stroje. Rovněž robot je umístěný na pojezdu, aby bylo možné obsluhovat více strojů a zároveň je možnost tento zásobník rozšířit podél pojezdu.



Obr. 34 Koncept 2

(1 – ilustrační stroj, 2 – robotický pojezd, 3 – robot, 4 – zásobník)

Výhody:

- ✓ Modularita
- ✓ Obsluha více strojů
- ✓ Obsluha různých strojů v rámci stejného nástrojového rozhraní
- ✓ Velká kapacita zásobníku

Nevýhody:

- Doba výměny nástroje
- Pouze pro menší nástroje
- Velká zástavbová plocha pracoviště
- Speciální uchopovač robotu

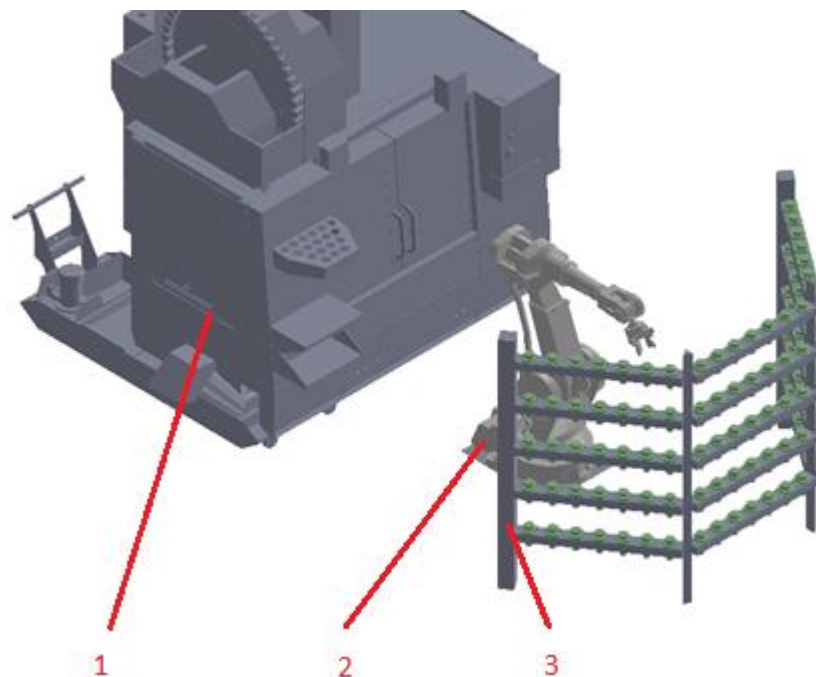
3.2.3 Koncept 3

Koncept 3 využívá regálového zásobníku, kde jsou nástroje uloženy kolem robota v jednotlivých políčkách. Zásobník může být kolem robota pouze v určité kruhové výseči, aby byl schopen robot uložit nástroj do stroje.

Kapacita zásobníku je značně omezena, nicméně výměna nástroje je urychlena vlivem nepřítomnosti robotického posuvu.

Nástroje jsou uloženy v plastových lůžkách, aby nedocházelo k poškození nástrojového držáku během ukládání nástroje do zásobníku. Pro dosažení správné orientace nástroje je možné nástroje vkládat do zásobníku pouze jedním způsobem.

Zásobník je schopen obsluhovat maximálně 2 stroje při vhodném uspořádání strojů.



Obr. 35 Koncept 3

(1 – ilustrační stroj, 2 – robot, 3 – zásobník)

Výhody:

- ✓ Doba výměny nástroje
- ✓ Možnost uskladnění i větších nástrojů, než je požadováno
- ✓ Zástavbová plocha

Nevýhody:

- Modularita
- Obsluha více strojů
- Malá kapacita zásobníku

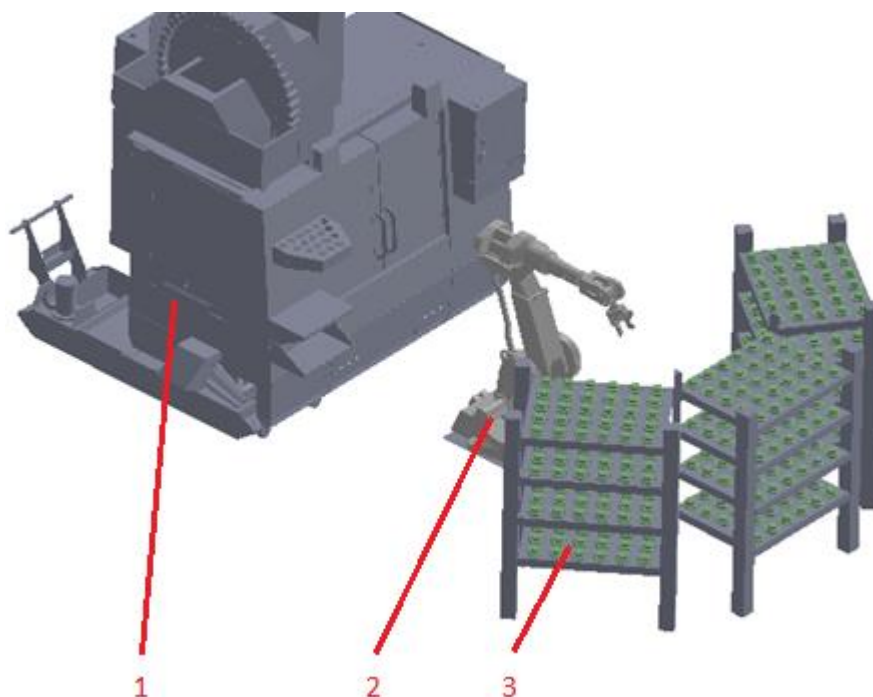
3.2.4 Koncept 4

Konceptní řešení číslo 4 využívá zásobníku umístěného kolem robotu, pro rychlejší výměnu nástroje. Zásobník je vybaven výsuvnými policemi. Zásobník je určen pouze pro menší nástroje, kvůli uchopování nástrojů shora.

Kapacita zásobníku je značně omezena, nicméně výměna nástroje je urychlena vlivem nepřítomnosti robotického posuvu.

Nástroje jsou uloženy v plastových lůžkách, aby nedocházelo k poškození nástrojového držáku během ukládání nástroje do zásobníku. Pro dosažení správné orientace nástroje je možné nástroje vkládat do zásobníku pouze jedním způsobem.

Zásobník při vhodném uspořádání pracoviště je schopen obsluhovat až 2 stroje.



Obr. 36 Koncept 4

(1 – ilustrační stroj, 2 – robot, 3 – zásobník)

Výhody:

- ✓ Doba výměny nástroje
- ✓ Pouze pro menší nástroje
- ✓ Zástavbová plocha

Nevýhody:

- Modularita
- Obsluha více strojů

3.3 Výběr nejvhodnějšího řešení

Pro výběr nejvhodnější varianty byla sestavena multikriteriální analýza s vlastnostmi, které jsou pro zásobník nezbytné.

Hodnocení jednotlivých kritérií: 1 - nejhorší, 5 – nejlepší.

Důležitost: 1 - nepodstatné, 5 – důležité.

Zhodnocení nejvýhodnější řešení proběhlo z vyhodnocení následujících kritérií, které byly ohodnoceny od 1 do 5. Následně byly vynásobeny důležitostmi a zapsány do tabulky pro daný parametr ve formě bodů. Body pro každý parametr daného koncepty byly na závěr sečteny a vyhodnoceny.

Tab. 2 Zhodnocení návrhových konceptů

	Důležitost	Koncept 1		Koncept 2		Koncept 3		Koncept 4	
Čas výměny nástroje	5	4	20	1	5	5	25	2	10
Kapacita zásobníku	5	3	15	5	25	1	5	4	20
Modularita	4	4	16	5	20	2	8	1	4
Složitost konstrukce	2	5	10	2	4	4	8	1	2
Velikost zástavbové plochy	3	3	9	2	6	5	15	4	12
Cena	2	4	8	1	2	4	8	3	6
Zhodnocení	-	-	78	-	62	-	69	-	54

Nejvíce bodů obdrželo řešení číslo 1, které disponuje slušnou rychlostí výměnou nástroje, velkou velikostí zásobníku a rovněž výbornou modularitou pro případné rozšíření kapacity zásobníku.

V následující kapitole bude koncept 1 detailněji rozpracován.

4 NÁVRH KONSTRUKCE

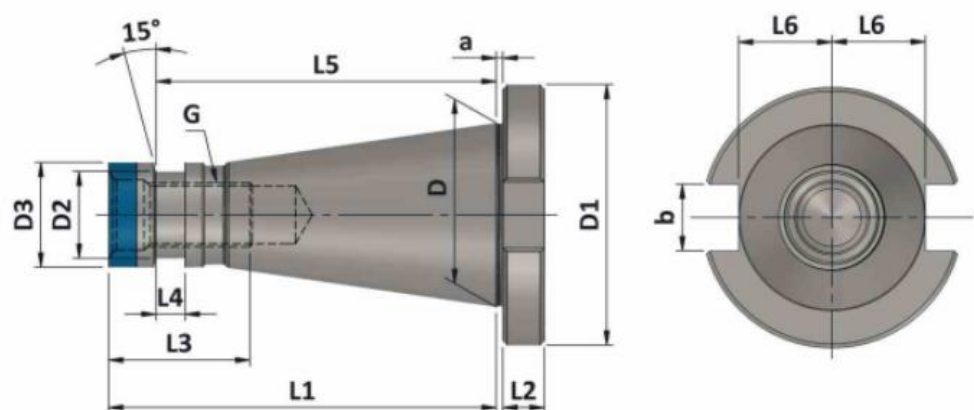
Z multikriteriální analýzy, která byla primárně zaměřená na modularitu, kapacitu zásobníku a na rychlost výměny nástroje, bylo zkonstruováno řešení podle konceptu číslo 1.

Velký požadavek byl na modularitu, přičemž zásobník jde rozšířit do stran. Vlivem možnosti rozšíření je možné kapacitu zásobníku značně navýšit.

4.1 Držák nástrojů

Bylo využito regálového zásobníku pro nástrojové rozhraní ISO 50 dle normy ČSN ISO 7388-1.

Na obrázku 37 jsou popsány základní rozměry nástrojového rozhraní



ISO	D	D1	D2	D3	a	b	G	L1	L2	L3	L4	L5	L6
50	69.85	97.5	-	39.2	3.2	25.7	M24	126.8	12	50.0	-	-	35

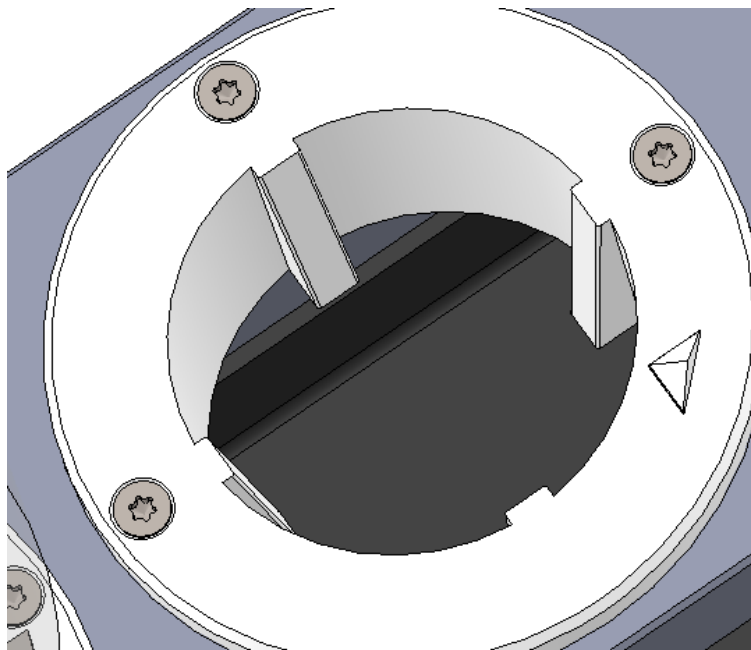
Obr. 37 Kužel ISO 50 [32]

4.2 Lůžko nástroje

Do jednotlivých lůžek je připevněný plastový držák, aby byly nástroje vždy uloženy ve stejné orientaci v zásobníku a zároveň nedocházelo k jejich poničení při kontaktu přímo s kovovou deskou police. Plastový držák je připevněn k polici, aby při vyjímání nástroje nedošlo k jeho vypadnutí nebo otočení, což by mělo za následek nesprávné orientace nástrojů v zásobníku a rovněž by nebylo možné vkládat nástroje do vřetene mezi unášecí kameny.

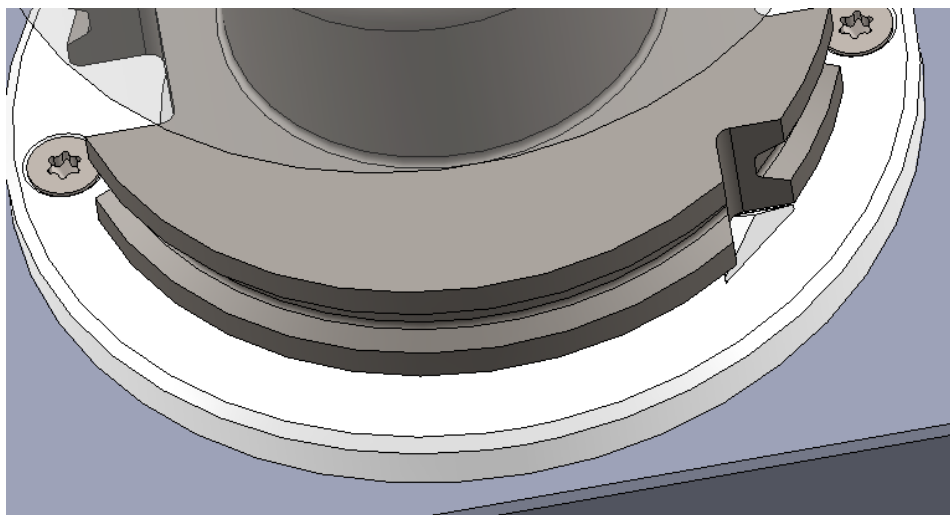
Pokud by bylo potřeba uskladnit větší nástroj s podporovaným nástrojovým rozhraním ISO 50, je možné nechat okolní lůžka prázdná.

V nejvyšší polici není výška nástroje omezena, nicméně ostatní police jsou dimenzovány na maximální délku nástroje i s držákem na 300 mm.



Obr. 38 Plastové lůžko nástroje

Pro nastavení orientace nástrojového držáku je lůžko vybaveno výstupkem pro polohování nástroje.



Obr. 39 Nastavení orientace nástroje v lůžku

4.3 Návrh police

4.3.1 Rozměry police

Police byly zvoleny podle maximálního průměru držáku, která činí 97,5 mm. Nicméně v držáku mohou být upnuty nástroje až 110 mm v průměru.

Jako polotovary pro výrobu polic byla zvolena ocelová deska o délce 1 000 mm, šířce 125 mm a výšce 25 mm.

Police je z vrchní strany obrobena pro dosažení požadované rovinnosti police na rozměr 23 mm.



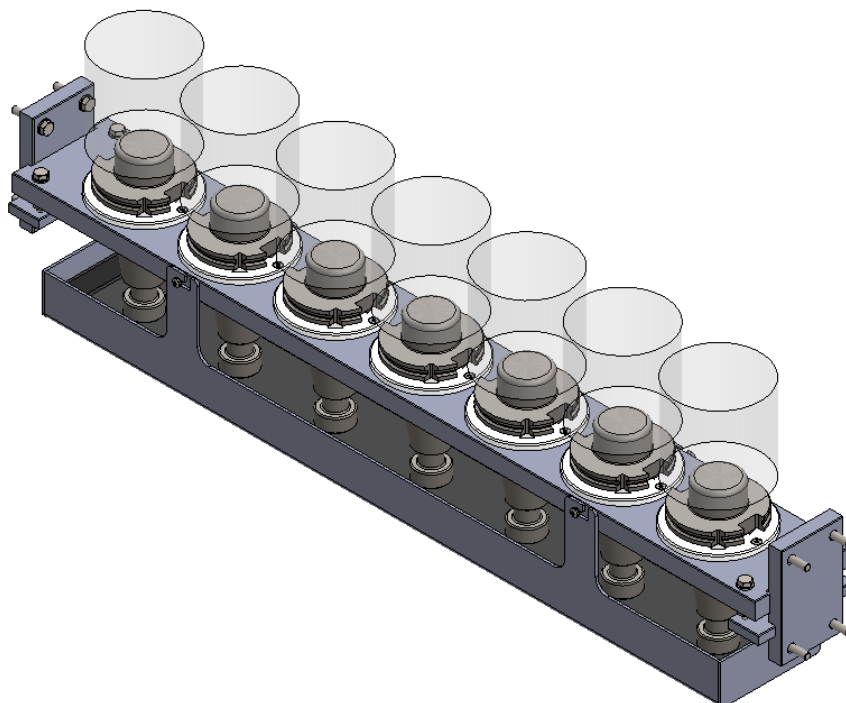
Obr. 40 Polotovar police z oceli 1.1730 [23]

4.3.2 Počet nástrojů v jednom segmentu

Pro dosažení dostatečného prostoru jsou v jednom segmentu 4 police ve výškovém odstupu 500 mm.

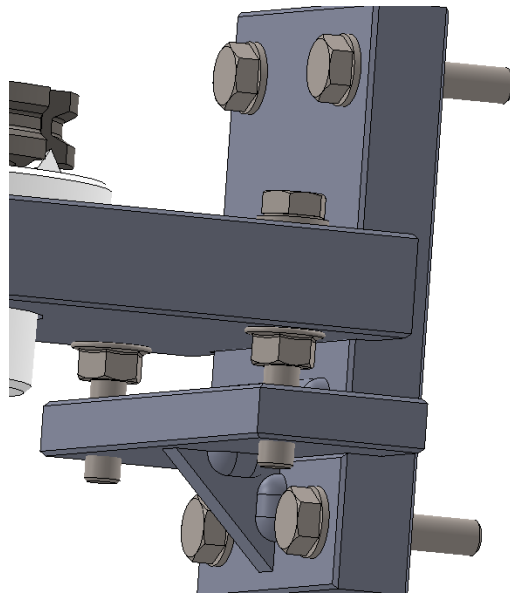
Pro dosažení dostatečné mezery mezi nástroji byla osová vzdálenost mezi dvěma nástroji zvolena 125 mm.

Kapacita jednoho segmentu zásobníku činí 28 nástrojů uložených ve 4 policích. Nicméně zásobník je modulární, proto je možné poskládat velké množství těchto segmentů vedle sebe.



Obr. 41 Police s nástroji

Police je možné výškově i uhlově nastavovat, aby bylo docíleno vodorovnosti jednotlivých polic.



Obr. 42 Výškové a úhlové nastavení police

4.3.3 Vzdálenost mezi policemi

Zásobník je koncipován na nástroje s držákem o délce 350 mm. Z této délky je potřeba minimální zdvih 135 mm pro vyjmutí zásobníku.

Proto byl zvolena vzdálenost mezi policemi 500 mm pro dosažení dostatečné vůle při vyjímání a vkládání.

Pro delší nástroje je možné využít vrchní police nebo police výškově nastavit pro uložení různých délek nástrojů.

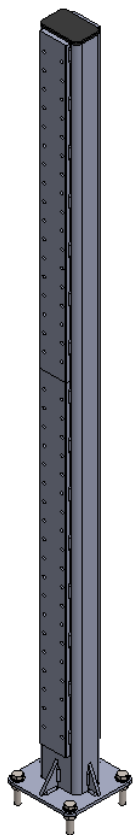
4.4 Celková výška zásobníku

Celková výška zásobníku je vypočtena od podlahy až po nejvyšší bod zásobníku. Je to součet vzdálenosti jednotlivých polic, vzdálenost první police od podlahy a přesah pro vrchní polici.

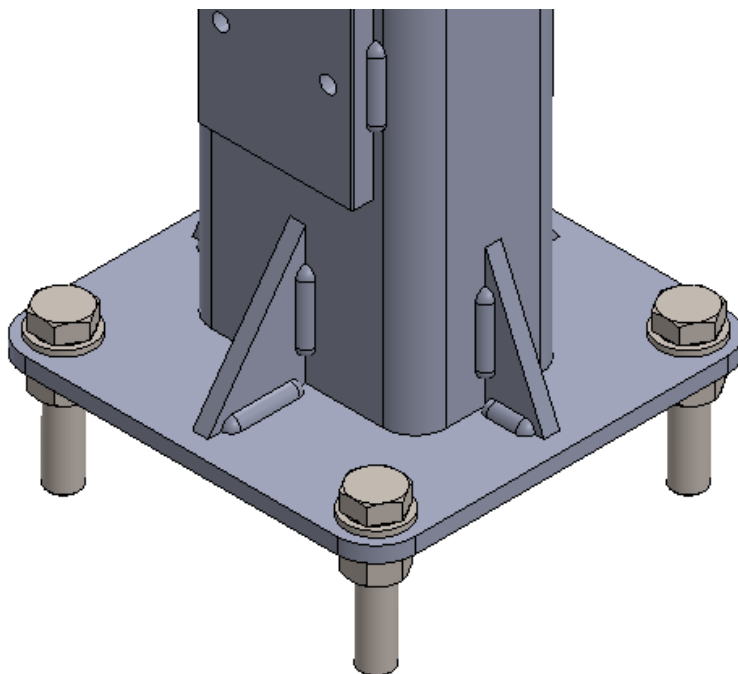
$$V_{\text{zásobník}} = 340 + 3 \cdot 500 + 205 = 2\,045 \text{ mm} \quad (5.1)$$

4.5 Sestavení zásobníku

Jednotlivé nosné sloupy jsou ukotvené v řadě po 1 100 mm. Sloupy musí být přesně ve vertikální poloze, pro jejich nastavení slouží šrouby s matkami.

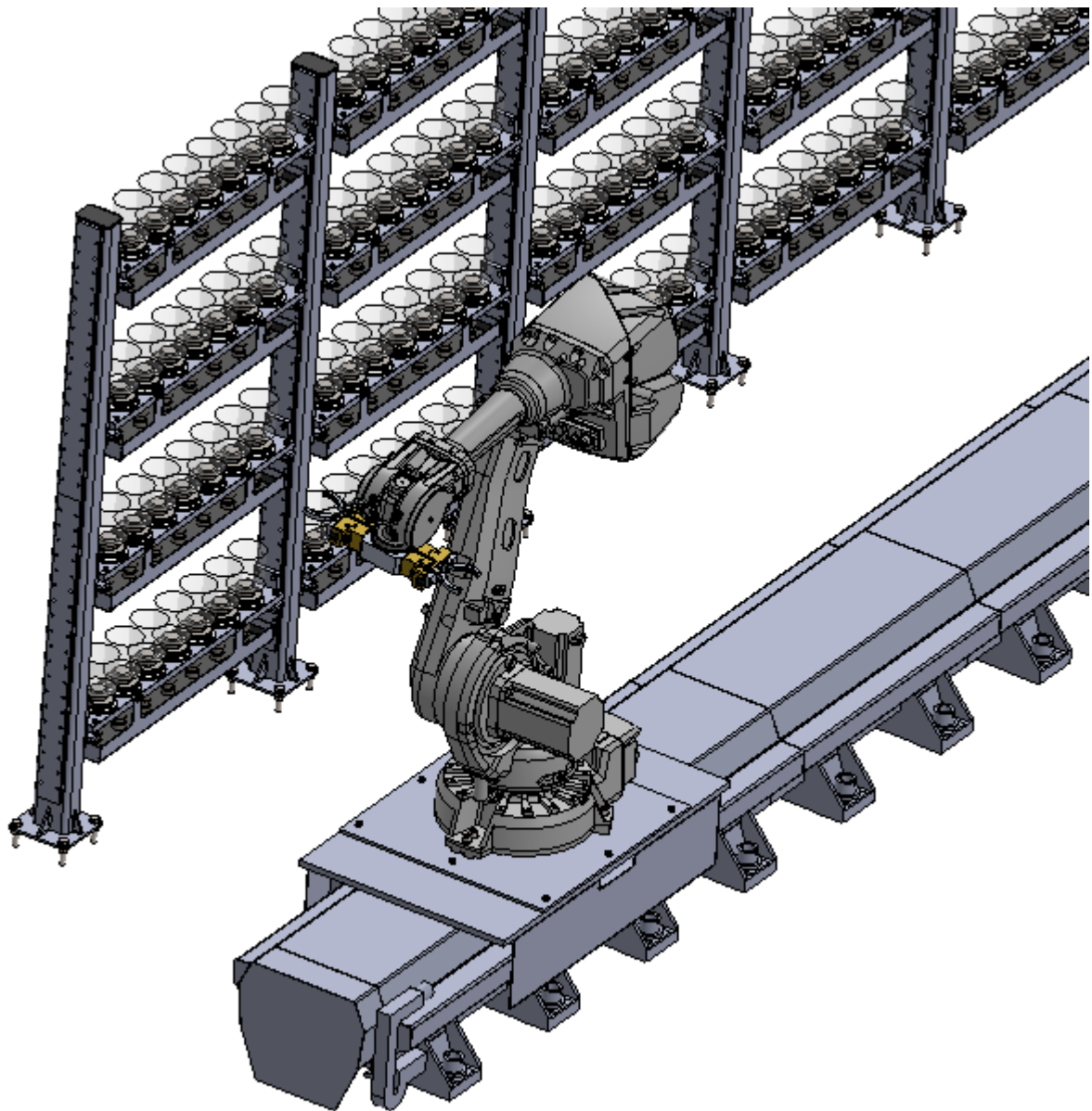


Obr. 44 Nosný sloup



Obr. 43 Nastavování nosného sloupu

Po ustavení nosných sloupů jsou do jednotlivých segmentů přidány police. Výsledný zásobník i s robotem na robotickém pojezdu je zobrazen na obr.45.



Obr. 45 Zásobník nástrojů

4.6 Robot

Zásobník, který je určený pro více strojů a zároveň pro různé druhy strojů, je výhodné využít robot. Robot disponuje širokou variabilitou. [28]

Pro obsluhu zásobníku byl zvolen robot od společnosti ABB model IRB 4600-60/2.05 s parametry, které jsou uvedené v tabulce 3.

4.6.1 Technické parametry robotu

Tab. 3 Parametry robotu [24]

Robot	
Výrobce	ABB
Model	IRB 4600-60/2.05
Nosnost	60 kg
Dosah	2.05 m
Přesnost (ISO 9283)	0.06 mm
Výška	1 727 mm
Hmotnost	445 kg

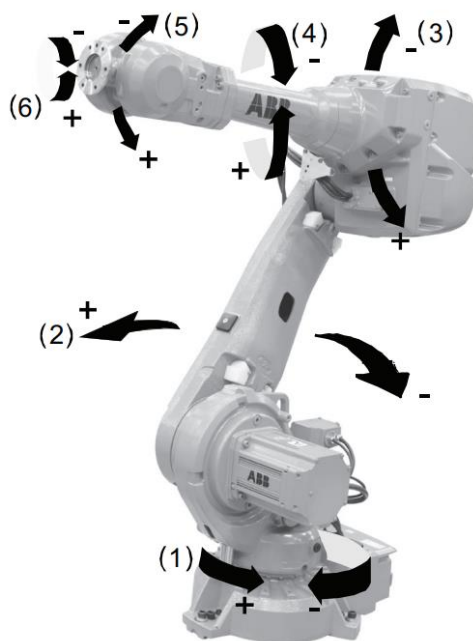


Obr. 46 Robot IRB 4600-60/2.05 [24]

Robot IRB 4600-60/2.05 byl zvolen kvůli jeho nosnosti 60 kg, což je nutné pro nosnost 2 nástrojů o hmotnosti 30 kg s příslušnými uchopovači a čelistmi. Nosnost robotu je počítána k přírubě robotu a čím dále v příčném nebo podélném směru se uchopovaný objekt nachází, nosnost robotu klesá.

Dosah robotu činí 2.05 m od jeho základny, což umožňuje obsluhu i větších strojů, kde vřetenem není jednoduše dosažitelné.

Rozsah pohybů jednotlivých os robotu:



Obr. 47 Popis jednotlivých os robotu [24]

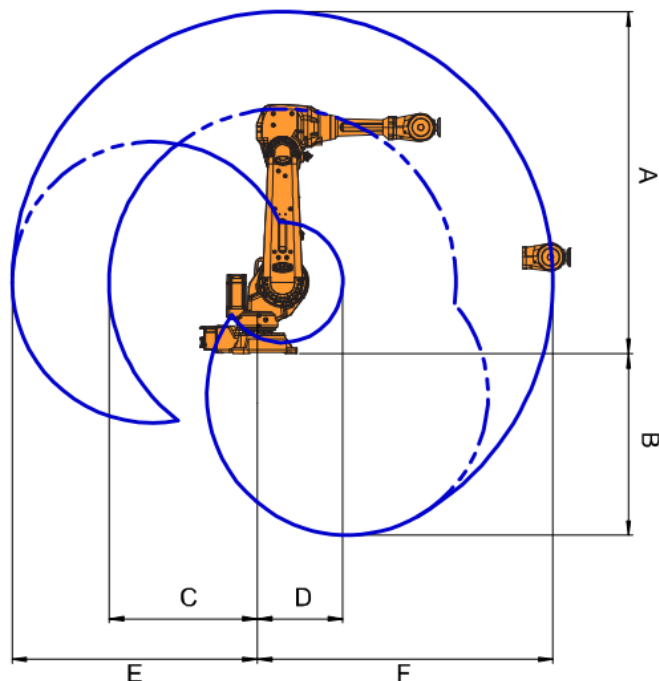
Tab. 4 Pracovní rozsah jednotlivých os a jejich rychlost pohybů [24]

Osa	Rozsah [°]	Rychlost [°/s]
1	+180 až -180	175
2	+150 až -90	175
3	+75 až -180	175
4	+400 až -400	250
5	+120 až -125	250
6	+400 až -400	360

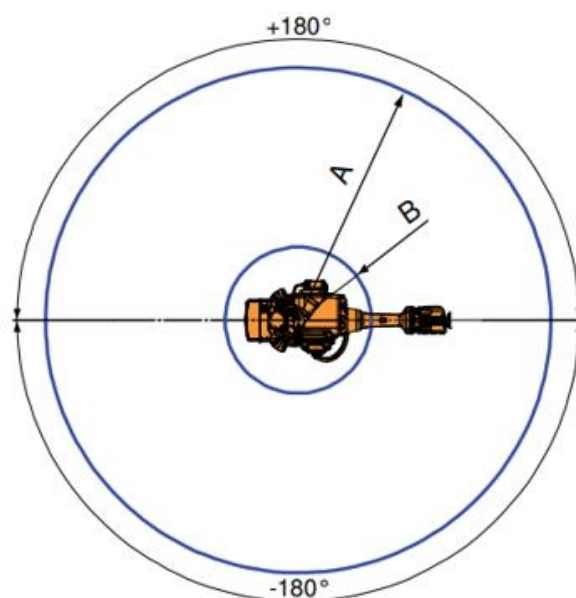
4.6.2 Pracovní prostor robotu

Pro ukázkou je na obr. 48 a 49 pracovní rozsah robotu IRB 4600-60/2.05. Pro každý robot se pracovní rozsah liší, proto je nutné zvážit v jaké vzdálenosti budou předměty, se kterými bude robot manipulovat.

Pracovní rozsah robotu je vyobrazen na obr. 48 a 49:



Obr. 49 Pracovní rozsah z boku [24]



Obr. 48 Pracovní rozsah shora [24]

Tab. 5 Pracovní rozsah z boku [24]

Model	Pos. A	Pos. B	Pos. C	Pos. D	Pos. E	Pos. F
IRB 4600 – 60/2.05	2371 mm	1260 mm	1028 mm	593 mm	1701 mm	2051 mm

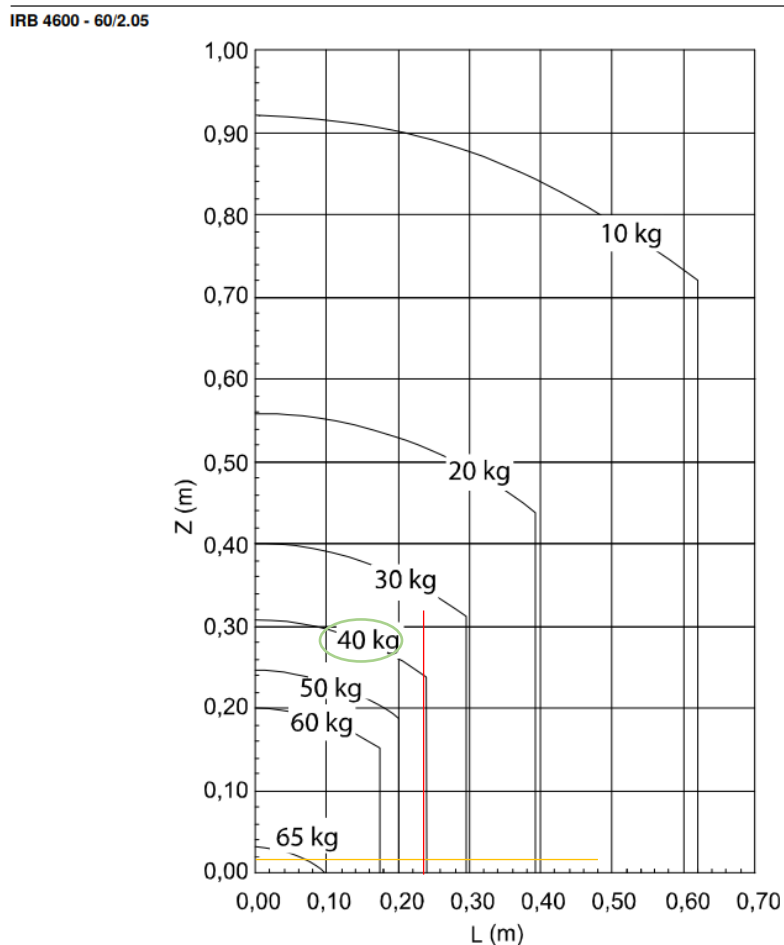
Tab. 6 Pracovní rozsah shora [26]

Model	Pos. A	Pos. B
IRB 4600 – 60/2.05	2051 mm	593 mm

Robot IRB 4600 je šestiosý, což umožňuje pohyb v šesti osách. Každá osa má jiný pracovní rozsah a rovněž taky rychlost, kterou je schopna se pohybovat. Všechny osy, rychlosti a rozsah os je popsán v následujících obrázcích a tabulkách.

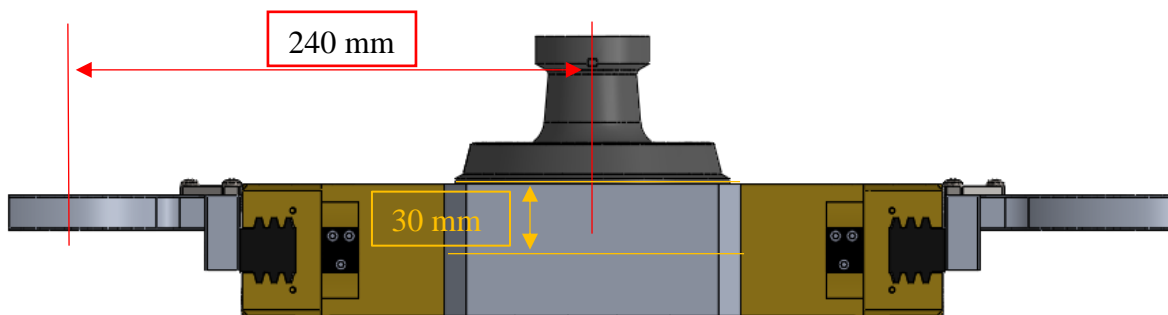
4.6.3 Zátěžový diagram

Přímo výrobce dodává diagram nosnosti pro daný typ robotu, Pro robot IRB 4600-60/2.05 je vyobrazen níže. Do grafu byla zaznamenána, kde se nachází uchopovaný nástroj, aby bylo možné zjistit přesnou nosnost robotu.



Obr. 50 Nosnost robotu v závislosti na příčné a podélné vzdálenosti od příruby robotu [24]

Obrázek s kóty koncového efektoru robotu.



Obr. 51 Koncový efektor na přírubě robotu

V grafu byly znázorněny rozměry vzdálenosti od příruby robotu. Bylo zjištěno, že robot při koncových efektorů na obrázku 51, bude disponovat nosností 40 kg.

4.7 Robotický posuv

Robot, aby byl schopen zásobník obsluhovat, který může být libovolně veliký, potřebuje pojezd.

Pro potřeby zásobníků je využit pojezd od společnosti ABB IRBT 2005, což umožňuje kompatibilitu mezi pojezdem a robotem od stejného výrobce. Pojezd se vyrábí od 0.8 m až po 19.8 m. Délku je možné si navolit, každý článek pojezdu je dlouhý 1 m. Na jednom pojezdu může pracovat hned několik robotů, nicméně pro obsluhu zásobníků byl využit jeden. Nicméně pro budoucí využití hned několika robotů. [25]

Tab. 7 Parametry pojezdu [25]

Pojezd robotu	
Výrobce	ABB
Model	IRBT 2005
Délka pojezdu	0.8 – 19.8 m
Nosnost	1 200 kg
Přesnost	±0.05 mm
Zrychlení	4 m/s ²
Maximální rychlost	2 m/s

Pojezd je vybaven platformou, kterou je umístěný robot. Přesnost polohování platformy se pohybuje okolo 0.05 mm. Pojezd je schopen dosahovat zrychlení o velikosti 4 m/s² a pohybovat se rychlostí 2 m/s. [25]



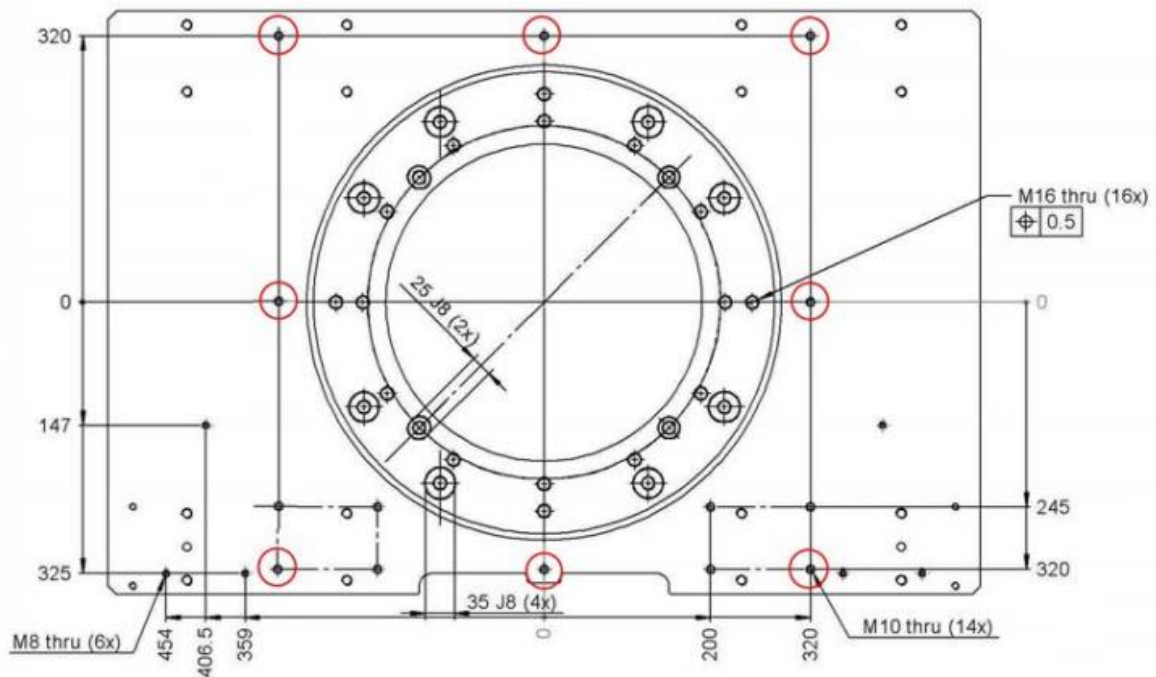
Obr. 52 Pojezd robotu IRBT 2005 [25]

Z manuálu pojezdu byly vypsány referenční pro jednotlivé dráhy, pro kalkulaci výměny nástroje. Časy jsou uvedeny pro náklad do 600 kg včetně robotu a pro maximální náklad 1 200 kg. [25]

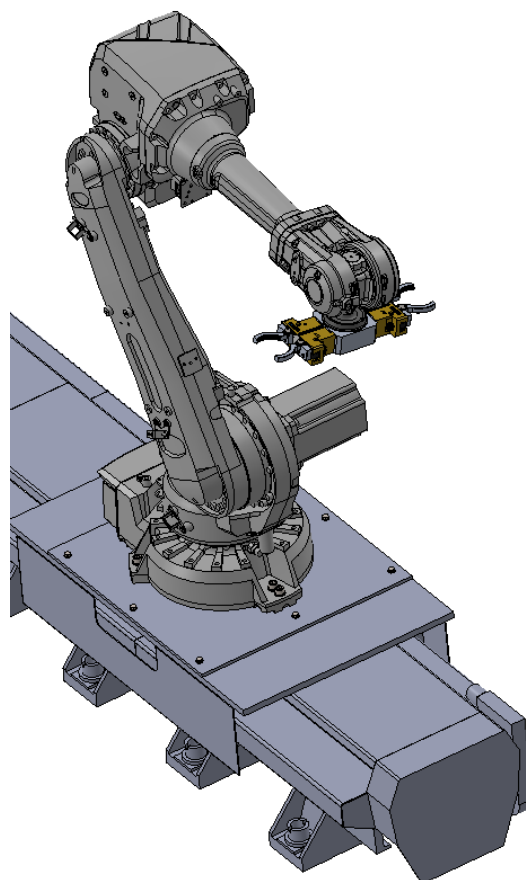
Tab. 8 Různé čas pro různé vzdálenosti pojezdu [25]

Náklad	Délka dráhy pojezdu									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Maximální náklad 1200 kg	1.42 s	1.95 s	2.48 s	2.96 s	3.46 s	3.96 s	4.47 s	4.95 s	5.47 s	5.94 s
Náklad do 600 kg	1.15 s	1.65 s	2.15 s	2.66 s	3.16 s	3.66 s	4.14 s	4.46 s	5.14 s	5.65 s

Robot je přimontovaný na pojezd pomocí šroubů. Montážní deska je symetrická, proto jde robot na robotický posuv čtyřmi různými směry po 90°.



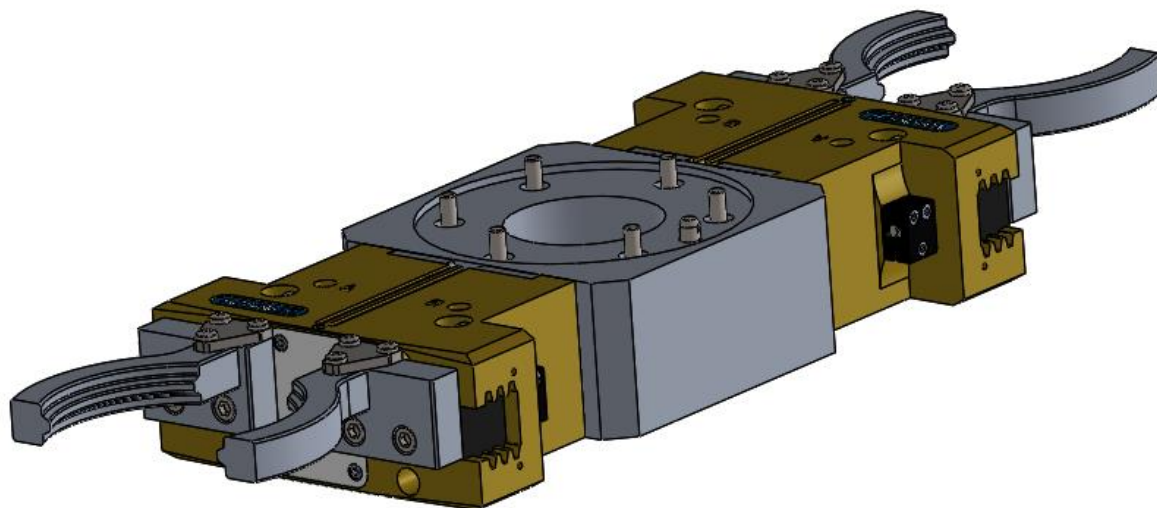
Obr. 53 Montážní deska pro robot [25]



Obr. 54 Umístění robotu na pojezdu

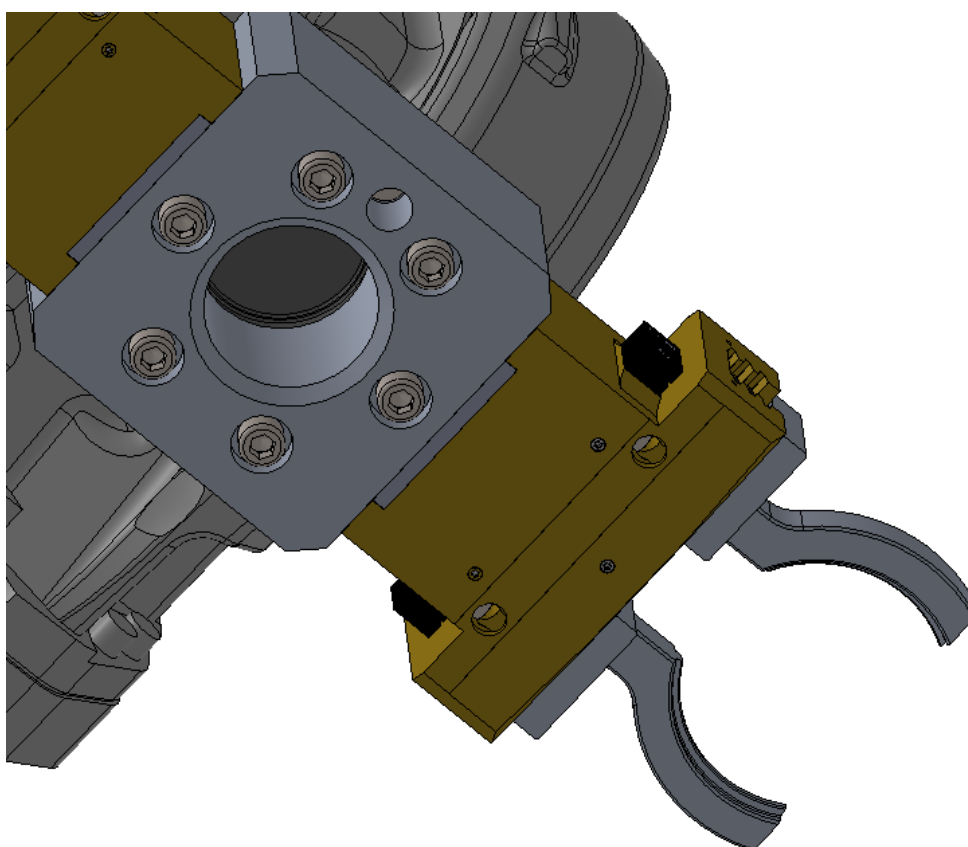
4.8 Uchopovač s čelistmi

Kompletní sestava uchopovačů se skládá ze dvou gripperů od společnosti Schunk, které jsou z boku namontované šrouby k nosnému bloku, který je přichycen k přírubě robotu šrouby. Na každém gripperu je namontovaný mezikus s T-drážkou, do které je vložena čelist. Čelist je proti vypadnutí uchycena z jedné strany plíškem.



Obr. 55 Sestava uchopovačů

Pohled zespodu na sestavu chapače uchycenou přímo na robotu:



Obr. 56 Uchycení sestavy gripperů na robotu

4.8.1 Uchopovač

Robot pro uchycení nástrojů používá uchopovače neboli grippery. Na přírubu robotu je namontovaný příslušný uchopovač určený pro manipulaci s daným předmětem. Pro potřeby nástroje je použit uchopovač Schunk PGN-plus-P 125-2-AS s nosností 15 kg. [26]

Uchopovač disponuje zdvihem 6 mm na jednu čelist, což ve výsledku činí 12 mm na obě čelisti. Zavírací síla pro držení nástroje je 4 200 N, která je absolutně dostačující pro potřeby uchopení nástrojové držáku. Gripper je poháněn pneumaticky. [26]

Tab. 9 Parametry uchopovače [26]

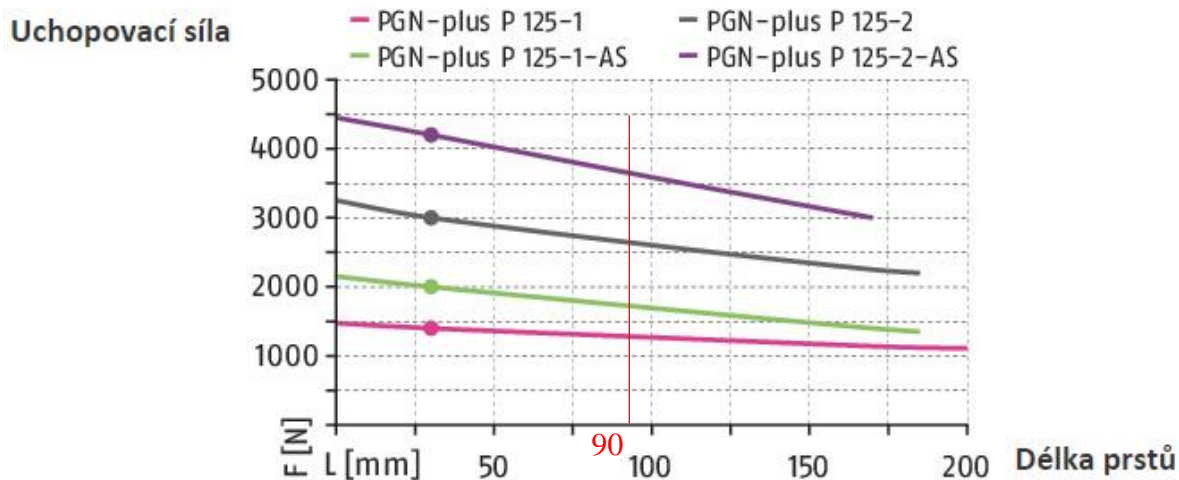
Uchopovač	
Výrobce	Schunk
Model	PGN-plus-P 125-2-AS
Pohon	pneumatický
Nosnost	15 kg
Zdvih na jednu čelist	6 mm
Doba otevření	0.08 s
Doba zavření	0.12 s
Zavírací síla	4 200 N
Hmotnost	1.9 kg
Maximální přípustná délka prstu	170 mm

Samotný držák bez čelistí:



Obr. 57 PGN-plus-P 125-2-AS [26]

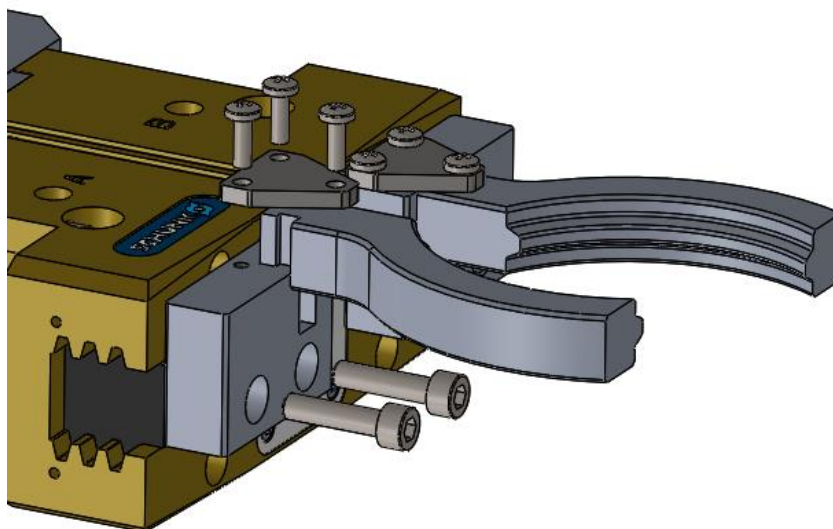
Uchopovací síla je závislá na délce prstu neboli délce čelisti. Délka čelisti činí 90 mm, čímž uchopovací z původních 4 200 N klesá na přibližně hodnotu 3 700 N pro uchopovač PGN-plus P 125-2-AS. [26]



Obr. 58 Uchopovací síla v závislosti na délce prstu [26]

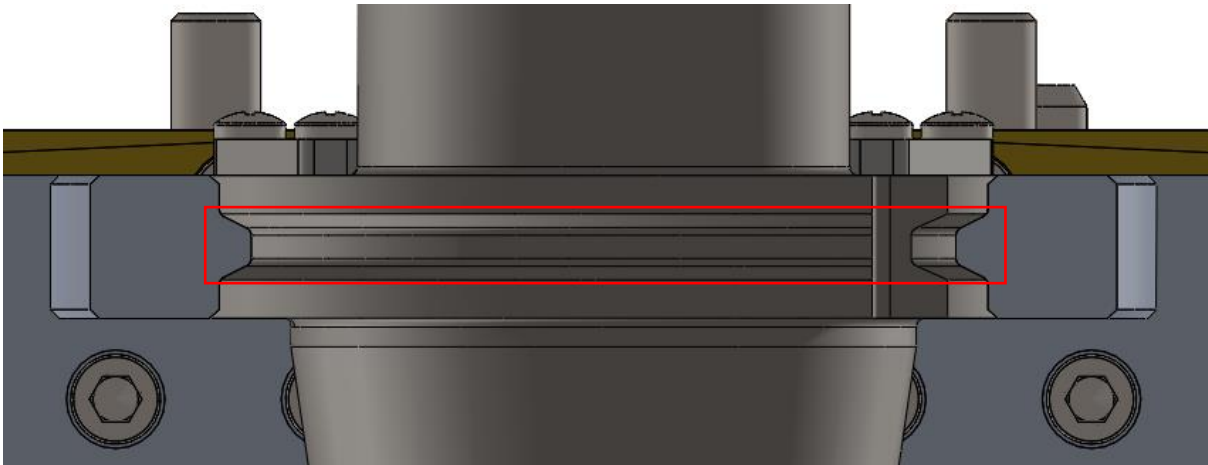
4.8.2 Čelisti

Čelisti byly koncipovány s T-drážkou pro uchycení k uchopovači. Proti vypadnutí jsou čelisti zajištěny plíškem.



Obr. 59 Uchopovač s čelistmi

Nástroj je uchopován čelistmi za drážku v držáku.



Obr. 60 Uchopování držáku nástrojů

4.9 Čištění nástrojových stopek

Přípravek na čištění nástrojových stopek nebyl v návrhu zahrnut, ale stojí aspoň za zmínku pro docílení delší životnosti držáku nástrojů a strojů samotných. Při každém vyjmutí nástroje ze stroje by měl projít čistícím procesem, předtím než bude uložen do zásobníku a byl připraven pro další použití.

Během obrábění dochází k mísení třísek a procesní kapaliny, které se mohou dostat do vřetene a může dojít k nepřesnému upnutí nástroje. Nesprávné upnutí nástroje má za následek vyšší zmetkovitost a vyšší opotřebování nástrojové držáku a upínacích ploch ve vřeteni.

Existují různé druhy čištění nástrojových stopek je pomocí kartáčů, kde se nástrojový držák roztočí vlivem rotace čistících kartáčů a proběhne čištění od třísek a jiných nečistot.



Obr. 61 Čistící stanice REGO-FIT [29]

4.10 Tok materiálu

Do strojů je nutné kromě nástrojů taky materiál, který se bude obrábět. Pro materiálový to je možné využít jeřábu, robotu nebo člověka.

Cílem práce bylo navrhnout zásobník nástrojů, tudíž tomuto aspektu nebyla věnována patřičná pozornost, nicméně je potřeba se jí věnovat při realizaci kompletního řešení.

4.11 Bezpečnostní prvky

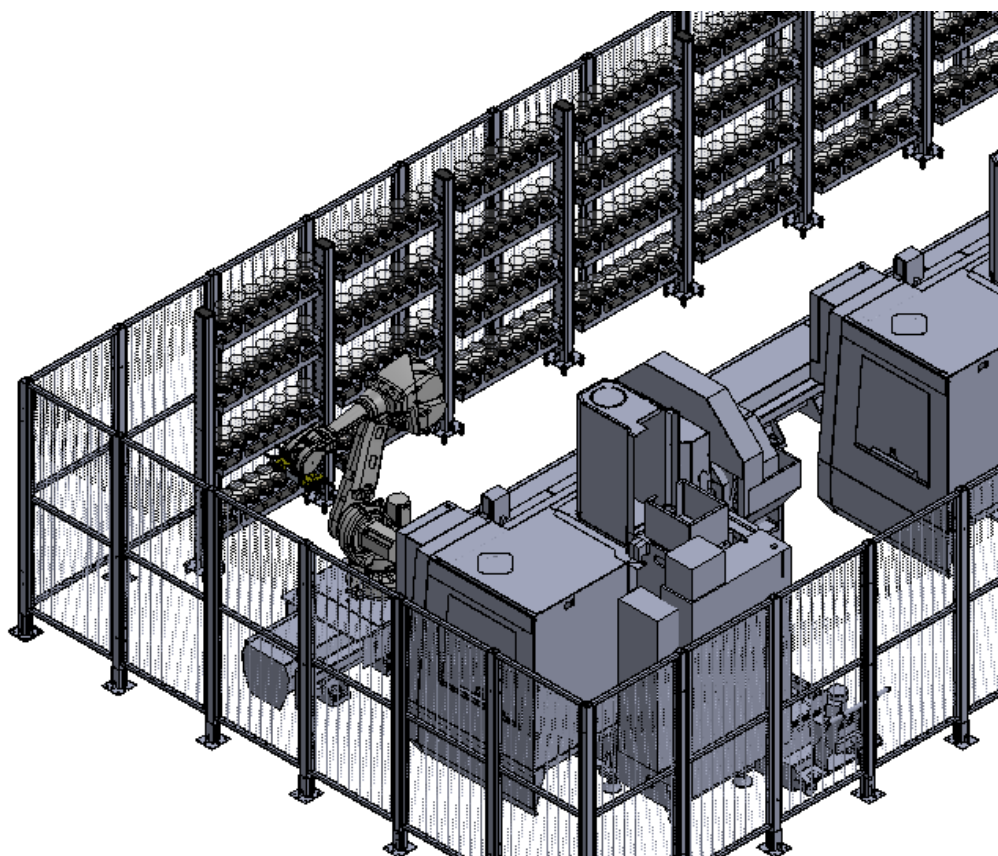
Z hlediska bezpečnosti je potřeba dodržovat bezpečnostní normy, aby nikdo nebyl během práce pracoviště zraněn.

Pro zajištění robotických pracovišť je potřeba dodržovat například normu ČSN EN ISO 10217 část 1: Roboty a robotická zařízení – Bezpečnostní požadavky pro průmyslové roboty a ČSN EN ISO 10217 část 2, která se podrobněji věnuje integraci robotických systémů.

Všichni zaměstnanci musí mít jasné instrukce, aby byla zaručena bezpečnost práce a zároveň musejí mít k dispozici vhodné osobní ochranné prostředky.

Nouzové zastavení v případě potřeby musí být každý robotický systém podle normy ČSN EN ISO 13850.

Pro použití v zásobníku je výhodné, aby vstup obsluhy byl minimální. Celé pracoviště je oplocené a přístupové dveře musí být opatřeny bezpečnostním zámekem, aby nebylo možné vstoupit při práci robotického pracoviště. V případě otevření dveří musí být robotické pracoviště zastaveno, aby nedošlo k poranění obsluhy.



Obr. 62 Oplocení robotického pracoviště

4.12 Technické výpočty

4.12.1 Rychlost výměny nástroje

Rychlost výměny nástroje je velmi důležitý parametr zásobníku, protože samotná výměna nástroje se řadí do vedlejších časů neboli stroj nevyrábí, čímž je zastavena produkce. Z ekonomického hlediska je potřeba provést rychlou výměnu, aby byl stroj opět uveden do provozu.

Výměna nástroje bude demonstrována ve dvou případech.

Čas výměny nástroje, když je robot nachystaný před strojem na okamžitou výměnu

Průběh všech operací, které musí být vykonány pro výměnu nástroje. Čas jednotlivých operací je pouze orientační a mohou se lišit.

Tab. 10 Časy operací během výměny nástroje

Pořadí	Operace	Čas [s]
1	Zastavení robotu a otočení nástroje pro výměnu	0.5
2	Otevření dveří	1.5
3	Pohyb robotu k vyjmutí nástroje	3
4	Vyjmutí nástroje	2
5	Pojezd od vřetena	1
6	Otočení gripperu	0.5
7	Pohyb k vřetenu	1
8	Vložení nástroje	2
9	Odjezd robotu	3
10	Zavření dveří	1.5
11	Start další operace	-

Odhadovaný celkový čas výměny nástroje činí 15 sekund, což je u skladovacích zásobníků využívající robot nadprůměr. Pro větší zásobníky je nutné kalkulovat s pomalejší výměnou nástroje, jako například u revolverových hlav, které ale disponují kapacitou jen v jednotkách nástrojů.

Čas výměny nástroje při zastavení stroje a robot není nachystaný před strojem s nástrojem

Kompletní cyklus při zastavení stroje, pokud robot není nechystaný s nástrojem. Jednotlivé operace s odhadovanými časy jsou vypsány v tabulce. Nejedná se o dobu, kdy stroj není v provozu, ale pouze o sumarizaci operací, které jsou potřeba provést od vyjmutí nástroje ze zásobníku po uskladnění. Časy některých operací jsou pouze orientační a mohou se lišit.

Tab. 11 Časy operací během manipulace s nástroji

Pořadí	Operace	Čas [s]
1	Zastavení stroje a otevření dveří	-
2	Pojezd k lůžku nástroje (vzdálenost 8 m)	5
3	Pohyb k uchopení nástroje	3
4	Uchopení nástroje a vyjmutí	2
5	Pojezd ke stroji (vzdálenost 8 m)	5
6	Pohyb robotu k vyjmutí nástroje	3
7	Vyjmutí nástroje	2
8	Pojezd od vřetena	1
9	Otočení gripperu	0.5
10	Pohyb k vřetenu	1
11	Vložení nástroje	2
12	Odjezd robotu	3
13	Zavření dveří	1.5
14	Start další operace	-
15	Pojezd k čistící stanici s vložením (vzdálenost 4 m)	5
16	Čištění nástroje	30
17	Vyjmutí a pojezd k lůžku (vzdálenost 4 m)	5
18	Uložení nástroje do zásobníku	5

Celková doba všech operací činí 73.5 sekundy. Jak již bylo zmíněno nejedná se o čas, kdy stroj není v provozu.

4.12.2 Kontrola nosnosti robotu

Jedno z hlavních hledisek pro výběr robotu je jeho nosnost, bez které by nemohl být schopen vykonávat danou činnost.

Pro výpočet je nutné vypočítat celkovou hmotnost jednotlivých komponentů, který během práce může nést v jeden moment v závislosti na příčné a podélné vzdálenosti od příruby robotu.

Tab. 12 Hmotnost jednotlivých komponentů

Komponent	Hmotnost [kg]	Počet [ks]	Celková hmotnost [kg]
Nástroj	15.00	2	30.00
Uchopovač Schunk	1.90	2	3.80
Čelisti	0.07	4	0.28
Mezikus s T-drážkou	0.07	4	0.28
Nosný blok	2.23	1	2.23
Plíšek	0.02	4	0.08
Spojovací materiál	0.02	35	0.70
Celková hmotnost	-	-	37.37

Celková hmotnost veškerých komponentů činí přes 37 kg a dále je nutné zjistit v digramu, jestli je nosnost robotu dostatečná v digramu.

Je potřeba zjistit, v jakých vzdálenostech se nachází uchopovaný nástroj, který je nejtěžší.

V kapitole 5.6.3 bylo vypočteno, že robot se zvolenými uchopovači a čelistmi bude schopen unést 40 kg a celková hmotnost všech komponentů činí 37.37 kg.

4.12.3 Průhyb nosné desky nástrojů

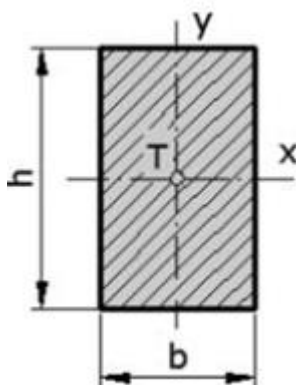
Kontrola průhybu nosné desky nástrojů na ohyb. Pro programování robotu je jednodušší, když všechny lůžka dané pozice jsou ve stejné výšce, aby se nemusela provádět korekce některých lůžek. Pro kontrolu bylo využito nástroje pro výpočet nosníků na stránkách stavba.tzb-info.cz. [29]

Parametry pro výpočet jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab. 13 Parametry pro výpočet průhybu nosné desky

Parametry	Hodnoty
Hmotnost nástrojů:	$m_n = 7 \times 15 = 105 \text{ kg}$
Rozpětí desky nástrojů:	$l = 1 \text{ m}$
Gravitační zrychlení:	$g_{\text{grav}} = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Koeficient zatížení:	$k = 2.5$
Modul pružnosti:	$E = 210\,000 \text{ MPa}$
Šířka desky:	$b = 120 \text{ mm}$
Výška desky:	$h = 23 \text{ mm}$

Výpočet momentu setrvačnosti podle rovnice 5.2 pro obdélníkový průřez nosné desky nástrojů.



Obr. 63 Schématický průřez desky nástrojů [29]

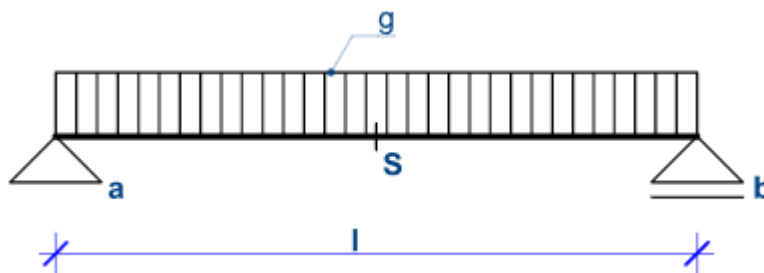
Momentu setrvačnosti:

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = 156\,250 \text{ mm}^4 \quad (5.2)$$

Zatížení nosníku bylo simulováno jako spojité po celé délce nosné desky nástrojů. Bylo uvažováno se 7 nástroji o hmotnosti 15 kg jednoho nástroje, což celkově činí 105 kg. Délka jedné police je 1 m. V rámci bezpečnosti byl uvažován koeficient zatížení 2.5.

Spojité zatížení:

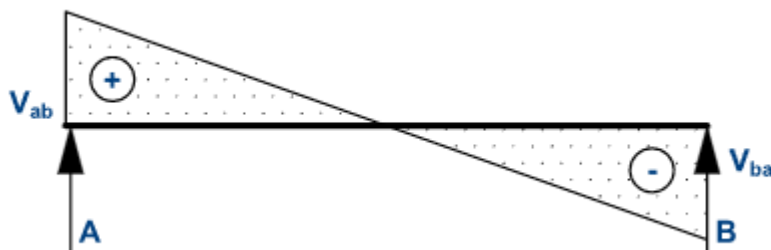
$$g = \frac{m_n \cdot g_{grav}}{l} \cdot k = \frac{105 \cdot 9.81}{1} \cdot 2.5 = 1030.05 \cdot 2.5 = 2\,575.125 \text{ N/m} \quad (5.3)$$



Obr. 64 Schéma spojitého zatížení nosníku [29]

Posouvající síly a reakčních sil ve vazbách A a B:

$$A = B = V_{ab} = -V_{ba} = \frac{g \cdot l}{2} = 1.288 \text{ kN} \quad (5.4)$$



Obr. 65 Schéma posouvající síly nosníku [29]

Pro výpočet maximálního průhybu nosníku byl stanoven maximální ohybový moment a následně byl vypočten maximální průhyb.

Maximální ohybový moment M_{max} :

$$M_{max} = \frac{g \cdot l^2}{8} = 0.322 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (5.5)$$

Výpočet průhybu uprostřed nosníku:

$$w_s = \frac{5 \cdot g \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 2\,575.125 \cdot 1^4}{384 \cdot 210\,000 \cdot 156\,250} = 1,3 \text{ mm} \quad (5.6)$$

Maximální průhyb nosníku činí 1,3 mm, což je zanedbatelné. V případě nepatrného prohnutí nemusí být řešeno dodatečné korekce robotu pro uchopování nástrojů.

5 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Cílem diplomové práce bylo navrhnout velkokapacitní zásobník řezných nástrojů. Vzhledem k tomu, že na trhu existuje velké množství těchto zásobníků, byl zvolen zásobník obsluhovaný robotem. Robot přináší univerzální použití pro přepravu různých nástrojů, tak také může vykonávat různé činnosti.

Při zkoumání velkokapacitních zásobníků záleží převážně na počtu lůžek pro nástroje čili kolik nástrojů jsme schopni do zásobníku uskladnit. Samozřejmě i samotná výměna by u velkých zásobníků neměla trvat příliš dlouho, proto byl robot osazen dvěma chapači pro rychlejší cyklus výměny.

V praxi je často potřeba rozšířit množství nástrojů pro stroj, proto bylo přihlíženo i na modularitu zásobníku, kdyby v budoucnu byla potřeba kapacitu zásobníku navýšit, aby to bylo možné. Rozšíření zásobníku je možné na obě strany, nicméně je potřeba i přizpůsobit robotický pojezd, který je možný rozšiřovat po metrových dílech.

Samotná konstrukce byla koncipovaná z jednoduchých dílů, aby bylo možné zásobník jednoduše seřizovat. Nosné sloupy disponují výškovým tak i úhlovým nastavením ve dvou směrech. Police jsou rovněž výškově i úhlově nastavitelné, aby bylo možné seřadit případné nepřesnosti.

Během procesu obrábění zůstává na nástrojích procesní kapalina s třískami, proto před uskladněním nástroje zpět do zásobníku by měl být nástroj očištěn, aby byl při odebrání ze zásobníku připraven ihned být zařazen do provozu. I přes očištění by se mohla dostávat kapalina na zem, kde je nežádoucí, proto každá police byla vybavena olejovou vaničkou, kde budou zachyceny případné zbytky řezné kapaliny.

Během zkoumání velkokapacitních zásobníků si myslím, že jednoduchost a modularita zásobníku byla dosažena, myslím ale, že při výrobě by došlo k řadě problémům a určitě by trvalo řadu iterací, než by zásobník byl prodejný na trh.

Kdybych mohl začít od začátku možná bych se spíše zaměřoval na zásobníky kruhové kolem robotu a bez pojezdu, aby výměna byla ještě svižnější.

Rovněž bych zvažoval, že by police nebyly vodorovné, ale vykosené, aby se do zásobníku dalo umístit více nástrojů. Nicméně pokud by nebyly nástroje ve vertikální poloze bylo by nutné je zajistit, aby nedošlo k jejich samovolnému vypadnutí ze zásobníku.

6 ZÁVĚR

V první části práce byla popsána automatická výměna nástrojů, které jde realizovat různými způsoby u různých druhů zásobníku. Byly rozebrány druhy zásobníků, od zásobníků nosných, které se nachází na stroji po skladovací zásobníky, které jsou mimo stroj. U nosných zásobníků je velká výhoda rychlosti výměny nástroje nicméně kapacita těchto zásobníků je omezena, která se odvíjí od velikosti a druhu stroje. Skladovací zásobník se nachází v převážné většině mimo pracovní prostor stroje, nejsou na něj klady požadavky na tuhost a jiné, protože tento typ zásobníku nepřenáší řezné síly, ale slouží pouze pro jejich uskladnění. Skladovací zásobníky disponují velkou kapacitou a je do nich možné uložit i přes 200 nástrojů.

Výměnný cyklus u velkokapacitních zásobníků se provádí pomocí manipulátorů nebo robotů. Robot je nejuniverzálnější řešení manipulačního cyklu, které je schopen vykonávat řadu dalších operací nejenom samotnou výměnu nástroje.

Robot pro výměnu nástroje byl vybaven dvěma koncovými paralelními efektory, které jsou schopné uchopovat nástrojový držák za jeho drážku. Uchopovače bylo využito od společnosti Schunk, který je schopen přepravovat břemena o hmotnosti až 15 kg.

Byly navrhované čtyři koncepty řešení, které byly zhodnoceny a bylo vybráno jedno řešení z hlediska modularity, kapacity a rychlosti výměny nástroje. Jako výsledné řešení byl vybrán zásobník regálový rovinný, který je obsluhová robotem umístěný na robotickém pojezdu.

Pro vybrané řešení byly provedeny výpočty a ověření průhybu nosné desky, nosnosti robotu a času výměny nástroje, a to konkrétní čas výměny a celkový pracovní cyklus výměny i s očištěním držákové stopky.

Závěrem je nutné podotknout, že pro návrh byl zkonstruován regálový zásobník, bez bližší předlohy, který splňuje požadavky modularity a kapacity.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, 2018. ISBN 978-8--906310-8-3.
- [2] DEMEČ, Peter. Systémy automatickej výmeny nástrojov na číslicovo riadených strojích. Študijný materiál vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu KEGA 3/3064/05. TU v Košiciach 2005
- [3] BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. Brno: VUT, 1991, 214 s. : il. tabulky, grafy. ISBN 80-214-0361-6.
- [4] HOUŠA, Jaromír. Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů. Praha: SNTL, 1985, 287 s. : il. příloha (11.).
- [5] Číslicově řízené stroje [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/3039410-Cislicove-rizene-stroje.html>
- [6] STOUPEC, Jan. Zásobníky nástrojů a vřetena CNC strojů s automatickou výměnou nástrojů. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
- [7] Obráběcí, tvářecí a dělicí stroje [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <http://www.difak.cz/cs/baruffaldi/revolverove-hlavy-typu-tbma>
- [8] BILKO, Tomáš. Trendy současného vývoje automatické výměny nástrojů u frézovacích center. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Pavlík.
- [9] PRODUKTINFORMATION PI 25. [online]. 2010 [cit. 2022-05-15]. Sauter-feinmechanik.com. Dostupné z: http://www.sauter-feinmechanik.com/pics/shared/downloads/PI25.3_d_view.pdf
- [10] MUCHA, Roman. Návrh řetězového zásobníku nástrojů. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Pavlík
- [11] ŠLAJS, Jakub. Návrh stavebnicového zásobníku a chapače pro robotickou výměnu. Plzeň, 2018. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Hudec, Ph.D.
- [12] BORSKÝ, Václav. Jednoučelové a víceúčelové obráběcí stroje. II. díl. Vyd. 2., přeprac. Brno: Ediční středisko VUT, 1990, 200 s. : il. ISBN 80-214-0175-3.
- [13] ALLES CNC [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <http://cz.allescncmachine.com/news/cnc-machine-tool-magazine-and-tool-changer-mal-24297642.html>
- [14] HUMÁR, Anton. Technologie I : Technologie obrábění - 1. část [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 138 s
- [15] Technický deník, Stroje, nástroje a automatizace [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/stroje-nastroje-a-automatizace-otevrene-moznosti_47407.html
- [16] CELLRO, Xcelerate [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://cellro.com/en/products/xcelerate/>
- [17] Big Kaiser, katalog [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.bigkaiser.eu/onlinecatalog/?catalog=bigkaiser_EN&lang=en_GB#page_36

- [18] Amastone, ISO 50 tool holder [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://amastone.com/shop/er-collet-chuck-holder-cone-iso-50-bidese-2t/?attribute_pa_model=mvdin532&attribute_pa_material=stainless-steel&gclid=Cj0KCQjwspKUBhCvARIsAB2IYutzRujHRefvEDIAz62MJPiEo_1QJIsFC5DT8SBzSQq6auUYn_Cw5AaAmlIEALw_wcB
- [19] Amastone, HSK 63 tool holder [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://amastone.com/shop/er-collet-chuck-holder-cone-hsk-63-din69893-denver/?attribute_pa_model=mvim131&attribute_pa_material=stainless-s&gclid=Cj0KCQjwspKUBhCvARIsAB2IYutG8WdFP2W-dhrVpZ1BVGjSnWljyl3Q0SM_FmUYvIjzCzn1ValtmkAaAhTkEALw_wcB
- [20] CELLRO, Toolchanger [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://cellro.com/en/products/toolchanger/>
- [21] SCHUNK, paralelní chapadla [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/uchopovace-schunk/paralerni-chapadlo/
- [22] SCHUNK, středící chapadla [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/uchopovace-schunk/stredici-chapadla/
- [23] Norelem, kovové desky polotovar [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/DataSheet/cz/01/01130_Datasheet_2142_Obd_In_kov_desky_z_p_esn_oceli--cs.pdf
- [24] ABB, Robot IRB 4600 [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-4600>
- [25] ABB, Robotický pojezd IRBT 2005 [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-4600>
<https://new.abb.com/products/robotics/cs/aplikacni-zarizeni-a-prislusenstvi/pojezdy/irbt-2005>
- [26] SCHUNK, Paralelní chapadlo PGN-plus-P 125-2-AS [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/47964-0318571-pgn-plus-p-125-2-as/
- [27] PREGO-FIT, Čistící stanice pro kuželové držáky nástrojů [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.productivity.com/wp-content/uploads/2020/04/Rego_Fix_Other_Products___Accessories-3-27-20-Interactive.pdf
- [28] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [29] Tzbinfo, Výpočet průhybu a ohybového momentu nosníku [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/172-vypocet-pruhybu-a-ohyboveho-momentu-n2osniku>
- [30] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin
- [31] HARTL a Miloš VLK. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. v Brně: VUTIUM, 2010. ISBN 978-8- -214-2629-0.
- [32] ToolsEngg, ISO 50 Tool holder (DIN 2080) [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.toolsengg.com/iso50>

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam symbolů

V	[mm]	Výška zásobníku
I_y	[mm ⁴]	Moment setrvačnosti
b	[mm]	Šířka příčného průřezu
h	[mm]	Výška příčného průřezu
g_{grav}	[ms ⁻²]	Gravitační zrychlení
m_n	[kg]	Hmotnost nástrojů
l	[mm]	Délka police zásobníku
k	[-]	Koeficient zatížení
g	[N/m]	Spojité zatížení
A	[N]	Posouvající síla ve vazbě A
B	[N]	Posouvající síla ve vazbě B
M_{max}	[N]	Maximální ohybový moment
w_s	[mm]	Maximální průhyb
E	[Pa]	Modul pružnosti

8.2 Seznam tabulek

Tab. 1 Zvolené parametry pro zásobník	45
Tab. 2 Zhodnocení návrhových konceptů.....	50
Tab. 3 Parametry robotu [24].....	57
Tab. 4 Pracovní rozsah jednotlivých os a jejich rychlost pohybů [24].....	58
Tab. 5 Pracovní rozsah z boku [24]	59
Tab. 6 Pracovní rozsah shora [26]	59
Tab. 7 Parametry pojezdu [25].....	61
Tab. 8 Různé časy pro různé vzdálenosti pojezdu [25]	61
Tab. 9 Parametry uchopovače [26]	64
Tab. 10 Časy operací během výměny nástroje	68
Tab. 11 Časy operací během manipulace s nástroji.....	69
Tab. 12 Hmotnost jednotlivých komponentů.....	70
Tab. 13 Parametry pro výpočet průhybu nosné desky.....	70

8.3 Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma automatické výměny nástrojů a jejich druhy [1]	23
Obr. 2 Varianty revolverových hlav u soustružnických strojů [2]	24
Obr. 3 Revolverová hlava typu TBMA [7].....	25
Obr. 4 Revolverová hlava od společnosti Mori Seiki [8]	25
Obr. 5 Vřetenová revolverová hlava osmipolohová [2]	26
Obr. 6 Varianty uspořádání vřetenový revolverových hlav [2].....	26
Obr. 7 Vřetenová revolverová hlava SAUTER [9]	27
Obr. 8 Vřetenové zásobníky nosné [2]	27
Obr. 9 Základní varianty maloobjemových zásobníků [2]	29
Obr. 10 Regálový zásobník [11].....	29
Obr. 11 Diskový zásobník [13].....	30
Obr. 12 Bubnový zásobník [14]	31
Obr. 13 Základní varianty velkoobjemových zásobníků [1]	31
Obr. 14 Řetězový zásobník od společnosti Brother [15].....	32
Obr. 15 Regálový zásobník Breton [8]	32
Obr. 16 Zásobník R-C2 od firmy CELLRO [16]	33
Obr. 17 Vertikální regálový zásobník [1]	33
Obr. 18 Fréza v držáku [17].....	34
Obr. 19 Zrychlovací hlava Lyndex-Nikken [8]	34
Obr. 20 Vícevřetenová hlava od společnosti MPA [8].....	35
Obr. 21 Kombinovaný systém s dvoupolohovou revolverovou hlavou [1]	35
Obr. 22 Držák ISO 50 [18]	36
Obr. 23 Kuželový ISO držák nástrojů [1].....	37
Obr. 24 Držák na nástroj typu HKS-T [5]	38
Obr. 25 Držák HSK 63 A [19].....	38
Obr. 26 Výměna pomocí manipulátoru [8]	39
Obr. 27 Robot s koncovými efekty	40
Obr. 28 Paralelní koncový efektor Schunk JGP-P [21].....	41
Obr. 29 Tříprstý koncový efektor Schunk PZB-plus [22]	41
Obr. 30 Úhlový koncový efektor Schunk PWG-plus [23]	42
Obr. 31 Kódování pomocí kroužků [2]	43
Obr. 32 Kódování pomocí držáku nástroje, který je vybavený čipem [2].....	43
Obr. 33 Koncept 1	46
Obr. 34 Koncept 2	47
Obr. 35 Koncept 3	48
Obr. 36 Koncept 4	49
Obr. 37 Kužel ISO 50 [32]	51
Obr. 38 Plastové lůžko nástroje	52
Obr. 39 Nastavení orientace nástroje v lůžku	52
Obr. 40 Polotovar police z oceli 1.1730 [23]	53
Obr. 41 Police s nástroji	53
Obr. 42 Výškové a úhlové nastavení police	54
Obr. 44 Nosný sloup	55
Obr. 43 Nastavování nosného sloupu	55
Obr. 45 Zásobník nástrojů	56

Obr. 46 Robot IRB 4600-60/2.05 [24].....	57
Obr. 47 Popis jednotlivých os robotu [24].....	58
Obr. 49 Pracovní rozsah zboku [24]	59
Obr. 48 Pracovní rozsah shora [24]	59
Obr. 50 Nosnost robotu v závislosti na příčné a podélné vzdálenosti od příruby robotu [24] 60	
Obr. 51 Koncový efektor na přírubě robotu.....	60
Obr. 52 Pojezd robotu IRBT 2005 [25]	61
Obr. 53 Montážní deska pro robot [25]	62
Obr. 54 Umístění robotu na pojezdu.....	62
Obr. 55 Sestava uchopovačů.....	63
Obr. 56 Uchycení sestavy gripperů na robotu	63
Obr. 57 PGN-plus-P 125-2-AS [26]	64
Obr. 58 Uchopovací síla v závislosti na délce prstu [26]	65
Obr. 59 Uchopovač s čelistmi.....	65
Obr. 60 Uchopování držáku nástrojů	66
Obr. 61 Čisticí stanice REGO-FIT [29].....	66
Obr. 62 Oplocení robotického pracoviště	67
Obr. 63 Schématický průřez desky nástrojů [29].....	71
Obr. 64 Schéma spojitého zatížení nosníku [29]	71
Obr. 65 Schéma posouvající síly nosníku [29]	72

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1:	Model zásobníku
Příloha 2:	Výkres zásobníku s kusovníkem
Příloha 3:	Výkres sestavy police
Příloha 4:	Výkres čelisti
Příloha 5:	Výkres police
Příloha 6:	Výkres mezikusu čelisti
Příloha 7:	Výkres nosného bloku
Příloha 8:	Výkres nosného sloupu
Příloha 9:	Výkres lůžka
Příloha 10:	Výkres plíšku