



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

KONSTRUKČNÍ NÁVRH UZLU OBRÁBĚCÍHO STROJE FIRMY TRIMILL

DESIGN OF SUBASSEMBLIES TRIMILL MACHINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Šrámek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Ondřej Šrámek
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Jan Pavlík, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

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:

Konstrukční návrh uzlu obráběcího stroje firmy Trimill

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte a konstrukčně zpracujete uzel stroje firmy Trimill. Vybraný uzel bude blíže specifikován po konzultaci s firmou. Součástí řešení bude důkladné stanovení okrajových podmínek pro vybraný uzel, a z toho vyplývající dimenzování včetně pevnostních MKP výpočtů vybraných prvků.

Cíle diplomové práce:

1. Analýza problematiky
2. Návrh variant řešení
3. Konstrukční návrh daného uzlu
4. Dimenzování hlavních částí
5. Výkresy vybraných dílů a uzlů

Seznam literatury:

MAREK, J., NOVOTNÝ, L., SMOLÍK, J., BLECHA, P., BŘEZINA, T., MRKVICA, I., SULITKA, M., UČEŇ, O. (2010): Konstrukce CNC obráběcích strojů. MM publishing s.r. o, Praha, ISBN: 978-80-2-4-7980-3.

Shigley J.E.,Mischke Ch.R.,Budynas R.G. (2010): Konstruování strojních součástí. ISBN 978-80-2-4-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

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

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

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je návrh automatického systému pro výměnu frézovacích hlav. Diplomová práce byla zadána ve spolupráci se společností TRIMILL, a.s. První část se věnuje stručné analýze problematiky automatizace a obsahuje průzkum současného trhu se systémy automatické výměny frézovacích hlav konkurenčních výrobců. Druhá část se zabývá volbou možných variant samotné výměny frézovacích hlav, volbou pohonu, vedení atd. Poté je proveden konstrukční návrh zvoleného systému, návrh pohonu a vedení, bezpečnostní prvky jako detekce hlav, sensorika pohyblivých částí systému a krytování celého systému, nakonec je provedena kontrola nosné části systému a její krytování.

Klíčová slova

Automatická výměna frézovacích hlav, horizontální frézovací centrum, manipulátor,

Abstract

The aim of this thesis is design of automatic system for the exchange of milling heads. The diploma thesis was awarded in cooperation with company TRIMILL, a.s. The first part is devoted to a brief analysis of the problems of automation and includes a survey of the current market system of automatic exchange of milling head competing manufacturers. The second part deals with the choice of possible options exchange itself milling heads, the choice of propulsion, guidance etc. Afterwards there is an engineering design of chosen system, the engineering of leading and driving systems, safety features such as detection heads, sensors moving parts of the system and covers the entire system , then analysis of carrier system and covers are made .

Keywords

Automatic exchange of milling heads, horizontal milling centre, manipulator,

Bibliografická citace

ŠRÁMEK, O. Konstrukční návrh uzlu obráběcího stroje firmy Trimill. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 88 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma konstrukčního návrhu uzlu obráběcího stroje firmy Trimill vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a internetových stránek, uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 27. 5. 2016



.....
Ondřej ŠRÁMEK

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Pavlíkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci.

Obsah	
Úvod.....	11
1 Představení zadavatelské firmy	12
2 Analýza řešené problematiky	14
2.1 CNC stroje	14
2.2 Automatizace výrobních strojů	14
2.2.1 Přínosy automatizace	14
2.2.2 Trendy v automatizaci	15
2.3 Hlavní automatické systémy u výrobních strojů	15
2.3.1 Automatická výměna nástrojů	15
2.3.2 Automatická výměna frézovacích hlav	17
2.3.3 Automatická výměna obrobků	19
2.3.4 Další automatické systémy	19
2.4 Přehled současných systémů avh.....	20
2.4.1 Firma TOS Kuřim:.....	20
2.4.2 Firma SORALUNCE:	22
2.4.3 Firma Giddings & Lewis :.....	23
2.4.4 Firma Fermat:.....	24
2.5 Souhrnné porovnání systémů avh v současnosti	25
2.5.1 Volba druhu systému	26
3 Návrh systému avh	28
3.1 Posuvová soustava	33
3.1.1 Způsob náhonu.....	33
3.1.2 Vyhodnocení jednotlivých variant a volba pohonu	37
3.1.3 Návrh pohonu	38
3.1.4 Hydraulický generátor + hydraulický obvod	41
3.1.5 Kontrola uložení hydromotoru - výpočtem	44
3.1.6 Kontrola uložení hydromotoru - pomocí mkp	47
3.2 Vedení.....	50
3.2.1 Vyhodnocení jednotlivých variant a volba vedení	51
3.2.2 Návrh lineárního vedení	51
3.2.3 Rozbor zatěžujících sil.....	52
3.3 Krytování a ochrana funkčních ploch, přívod médií.....	56
3.3.1 Prvky pro kontrolu a bezpečnost	57
4 Konstrukční návrh systému	58
4.1 Konstrukce manipulátoru	59
4.2 Ustavení manipulátoru	63

4.3	Vedení manipulátoru	64
4.4	Pohon manipulátoru	65
4.5	Krytování manipulátoru	66
4.6	Prvky řízení a bezpečnosti	67
4.7	Návrh ustavení výměnných hlav	70
5	Pevnostní analýza sestavy	72
6	Vizualizace navrženého systému pro avh.....	75
7	Závěr.....	78
8	Seznam použité literatury	80
9	Seznam obrázků	83
10	Seznam použitých zkratk a symbolů	85
11	Seznam tabulek	87
12	Seznam příloh	88



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ÚVOD

Hlavním cílem všech výrobců obráběcích nebo tvářecích strojů je snaha o dosažení vysoké efektivity práce, která je přímo spojená s konkurenceschopností na trhu. Vysoká produktivita, spolehlivost, přesnost a jakost výrobků jsou v dnešní době faktory, které patří mezi hlavní parametry pro úspěch daného stroje či systému. S produktivitou stroje je spojena jeho multifunkčnost a dále systémy, které mu pomáhají ke zkracování hlavních a vedlejších výrobních časů. Tyto časy se zkracují pomocí mechanizace a automatizace. Automatizaci výrobních procesů je nutno chápat jako celek, ke kterému patří doprava a manipulace s obrobky, výměna a kontrola nástrojů, měření obrobků, nástrojů a stroje. Dále také řízení celých strojů a technologických pracovišť za úkolem ulehčení fyzické práce člověka a také převzetí části jeho řídicí činnosti.

Zadáním diplomové práce je navrhnout systém pro výměnu frézovacích hlav pro horizontální stroj firmy Trimill. Díky tomuto systému by mělo být dosaženo zvýšení efektivity práce a multifunkčnosti celého obráběcího centra.

Úvod diplomové práce se zabývá konstrukcí automatických systémů pro výměnu hlav u konkurence a jejich shrnutí. V další části výběrem několika vhodných variant pohonů, vedení, konstrukcí, které by šly využít pro systém výměny. Po zhodnocení průzkumu se autor zabývá vlastní konstrukcí daného systému a jeho včlenění do stroje. Výsledek práce by měl být kompletní systém automatické výměny, včetně požadované technické dokumentace, shrnutí problematiky a ohodnocení voleného druhu systému.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

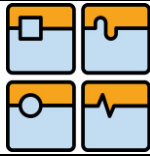
1 PŘEDSTAVENÍ ZADAVATELSKÉ FIRMY

Základní naplní firmy Trimill, a.s je vlastní vývoj, konstrukce, montáž, uvádění do provozu, prodej a servis CNC obráběcích strojů využívaných zejména pro obrábění lisovacích nástrojů a forem, ale také pro produkci a letecký průmysl. Firma Trimill, a.s byla založena v roce 2000. Tato firma se nachází ve zlínském regionu, který patří k největším evropským centrům pro výrobu obráběcích strojů. Tradice v tomto kraji sahá až do roku 1903, z tohoto důvodu je zde možno využít základny vysoce kvalifikovaných odborníků. Díky kvalitním parametrům jako je cena, výkon, funkčnost, servisu strojů a další péče o ně, dosáhla firma Trimill vynikající pověsti a její stroje se dokázaly s úspěchem prosadit na zahraničních trzích, zejména na trhu německém. V dnešní době má firma Trimill více jak 130 motivovaných zaměstnanců ve dnu výrobních závodech ve Vsetíně a ve Zlíně.

Firma vyrábí horizontální a vertikální frézovací centra ve tří, pěti a víceosém provedení. Od nejmenších strojů jako je VC 1110 ($x= 1100$, $y= 1000$, $z = 750$) mm, až po velká obráběcí centra jako je například VM 6535 ($x= 6500$, $y= 3500$, $z = 1250$) mm. Další vlastnosti stroje, jako je pevný nebo otočný stůl, automatická výměna frézovacích hlav, automatická výměna nástrojů, odsávání pracovního prostoru, vodní a třískové hospodářství, je možné u každého stroje navolit podle přání zákazníka. Velkou výhodou firmy je její zaměření na přání zákazníka, rychlé vyřízení individuální nabídky a následnou výrobu podle požadavků zákazníka.



Obr. 1 Vertikální obráběcí centrum VC 1810. [5]





Unikátní konstrukce strojů "BOX IN BOX" (uzavřená konstrukce) příčniku umožňuje velmi tuhé vedení, vysokou produktivitu práce dosaženou hrubováním a finišováním na jedno upnutí. Dalším důvodem vysoké jakosti obráběného povrchu u obrobků je termosymetrické vedení stroje. Konstrukce horizontálních strojů trimill a zejména vhodné nabroušení smýkadla, tzv. "banánový efekt", snižuje padání smýkadla při jeho výsunu. Stroje firmy Trimill jsou velmi kompaktní v porovnání se stroji s posuvnými pracovními stoly. To je dosaženo díky nejlepšímu poměru maximální velikosti obrobku a zastavěné plochy. [6]



Obr. 2 Tuhý stroj s výměnou frézovacích hlav [5]



Obr. 3 Tuhý 5-osý stroj, Provedení stroje jako stojící gantry [5]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2 ANALÝZA ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 CNC STROJE

Číslicově řízené stroje, neboli CNC (Computer Numerical Control), jsou tedy obráběcí stroje, které jsou číslicově řízeny a konstrukčně uzpůsobeny tak, aby byly schopny pracovat v automatickém cyklu. Tento stroj může být vybaven mnoha systémy jako je automatická výměna nástrojů, hlav, obrobků, popřípadě měření nástroje atd. Předchůdci CNC strojů, takzvané NC stroje (Numerical Control), jsou stroje starší generace, které jsou také řízeny číslicovým kódem. Software a výkonné obvody jsou zde tvořeny pevným zapojením a nositelem dat je např. děrná páska nebo disketa. CNC stroje se v dnešní době uplatňují ve většině oblastech strojírenské výroby. Nejrozšířenějšími CNC stroji jsou stále soustruhy nebo frézky. CNC stroje jsou vybaveny vlastním počítačem, který umožňuje snadnou úpravu programu, nebo vlastní generování nového kódu. [1]

2.2 AUTOMATIZACE VÝROBNÍCH STROJŮ

Automatizace strojů a linek je v dnešní době jednou z možností, jak se udržet na světových trzích. V současné době je na trhu mnoho firem a tudíž velká konkurence a lze obstát pouze, jsme-li schopni vyrábět co nejlevněji, rychleji a kvalitněji než konkurence. Vývoj automatizace lze rozdělit do několika skupin. První etapa je minimalizace lidského faktoru při ovládní stroje, snažíme se vytvářet stroje a systémy v co nejvyšší míře bezobslužné. Bohužel konvenční stroje tento předpoklad nesplňují a proto jsou do automatizovaných výrobních soustav nasazovány v co nejvyšší míře CNC stroje. Jako další krok následuje seskupení CNC strojů do tzv. automatizovaných výrobních soustav. Poslední fází je v současné době kompletní automatizace v celém závodě, od zavážení polotovarů do stroje, po odebrání hotového výrobku. [1]

2.2.1 PŘÍNOSY AUTOMATIZACE

Mezi hlavní klady automatizace patří zkrácení času nutného pro výrobu a možnost rychle reagovat na požadavky zákazníka. Další výhodou je zvýšení výsledné jakosti díky vyloučení lidského faktoru ve výrobním procesu, který je přímo spojen se spolehlivostí a přesností. Snížení výrobních nákladů díky: [2]

- Lepší organizaci výrobních procesů;
- snížení nákladů kvůli nekvalitní výrobě;
- odstranění drahé lidské práce
- využití levných sazeb elektrické energie - noční proud;
- úspory výrobních a skladovacích ploch;
- úspory materiálu;
- snížení dodatečných mzdových nákladů - přesčasy, svátky, atd.;
- vyšší spolehlivost systému oproti lidskému faktoru.

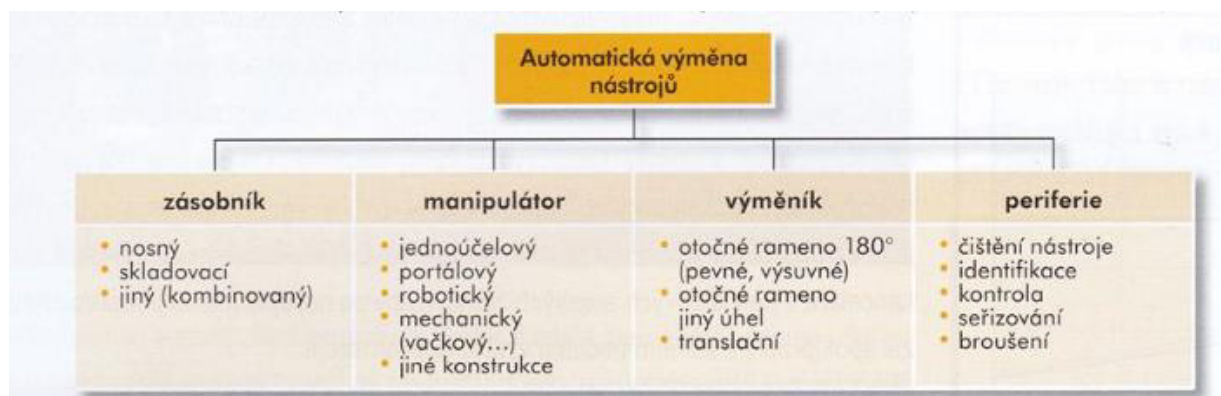
2.2.2 TRENDY V AUTOMATIZACI

Automatizace je v současnosti jedním z nejdynamičtěji se rozvíjejících oborů. Je to mezioborová disciplína, která používá nejmodernější komponenty z mikroelektroniky a jiných oborů, ze kterých přebírá nejnovější výsledky jako např. postupy, informace, výzkum. Tento obor se velmi rychle vyvíjí a proto není jednoduché přesně stanovit směr jeho vývoje. Přesto je třeba tento trend respektovat a výrobci se snaží, aby jejich automatizační systémy nebyly zastaralé. Pro výrobní firmy automatizace představuje, a v budoucnu bude pravděpodobně ještě ve větší míře představovat, nástroj pro zvyšování konkurenceschopnosti na trhu. Z tohoto důvodu všechny rozvíjející se firmy plánují výrazné zvýšení automatizace ve svých podnicích. [2]

2.3 HLAVNÍ AUTOMATICKÉ SYSTÉMY U VÝROBNÍCH STROJŮ

2.3.1 AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ.

Automatická výměna nástrojů, dále jen AVN, je zařízení, které slouží pro výměnu již nepotřebného nebo opotřebovaného nástroje za nový. AVN lze chápat jako skupinu uzlů pro odkládání, manipulaci, upnutí/odepnutí a polohování jednotek u obráběcího stroje bez nutnosti použití lidské činnosti. Druhy AVN jdou vidět na obr.4.





Obr. 4 Morfologie AVN [1]

ZÁKLADNÍ DRUHY SYSTÉMŮ AVN

V závislosti na potřebách a požadavcích různých výrobních strojů nebo zařízení, bylo vyvinuto velké množství systémů AVN. Tyto systémy se od sebe odlišují jak konstrukčním řešením, tak i principem přenosu rezných sil. Jako velice obecné členění, by se dalo použít rozdělení do 3 kategorií: [1]

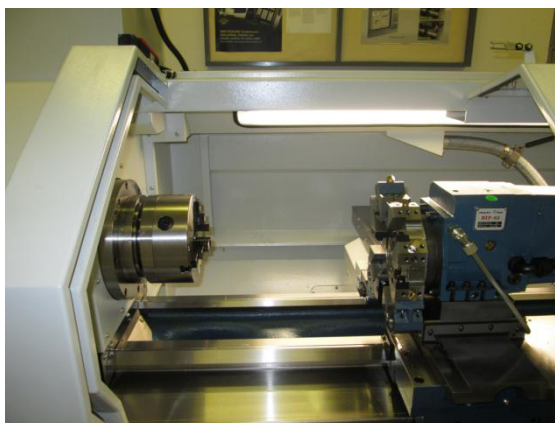
- Systém s nosným zásobníkem;
- systémy se skladovacím zásobníkem;
- kombinované systémy.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Ne všechny systémy se dají užít u všech strojů. Systémy s nosným zásobníkem jsou takové druhy AVN, které se přímo podílí na přenosu řezných sil ve výrobním procesu. Typickým představitelem nosného zásobníku je revolverová hlava, která se nejčastěji vyskytuje u soustružnických center. Oproti tomu systémy se skladovacím zásobníkem jsou typickým zástupcem AVN u frézovacích center. [1]



Obr. 5 Velkokapacitní AVN s pojízdnou robotickou rukou [4]



Obr. 6 Pracovní prostor s nosným zásobníkem nástrojů [31]

POŽADAVKY NA AVN:

- Minimální čas pro výměnu nástroje - zkrácení vedlejších časů u obrábění;
- rychlé a spolehlivé;
- dostatečná kapacita pro dané technologické operace na stroji;
- jednoduchá konstrukce, která přispívá k malé pořizovací ceně;
- vhodná konstrukce (zásobník by neměl omezovat pracovní prostor);
- vysoká funkčnost a spolehlivost s ohledem na pořizovací cenu stroje;
- musí být odolný vůči vlivům v pracovním prostoru stroje a okolí;
- zásobník by měl zvyšovat bezpečnost pro obsluhu stroje, měl by obsahovat bezpečnostní prvky pro obsluhu. [3]



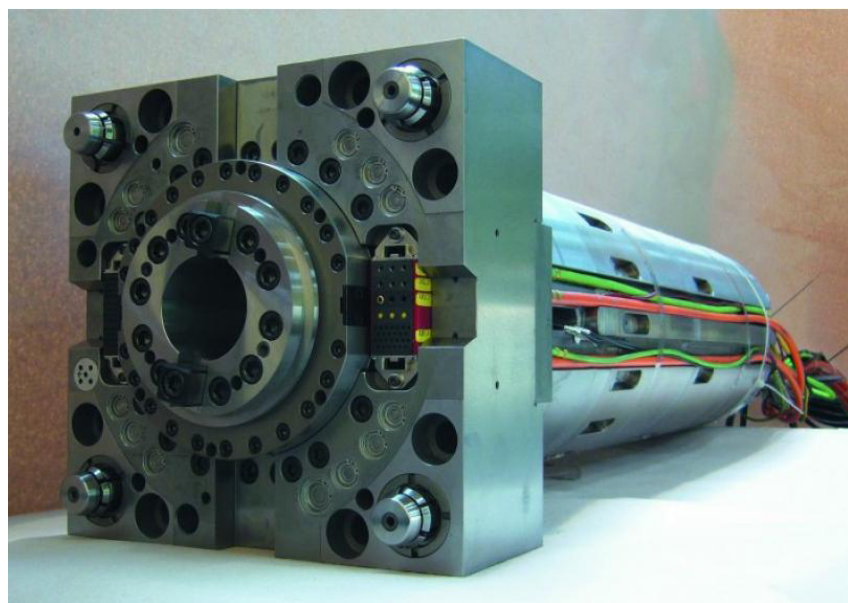
2.3.2 AUTOMATICKÁ VÝMĚNA FRÉZOVACÍCH HLAV

Automatická výměna vřetenových hlav představuje v dnešní době jednu z možných cest ke zkrácení vedlejší časů stroje a zvýšení jeho univerzálnosti. Tento typ automatizace se zaměřuje především na obráběcí centra frézovací. Pod pojmem systém automatické výměny hlav je nutno si představit takové konstrukční řešení, které umožňuje výměnu jedné frézovací hlavy za jinou bez potřeby lidského zásahu v procesu. Obvyklé druhy vřetenových hlav by se daly rozdělit následovně: [3]



- úhlové hlavy;
- přímé hlavy;
- dvouosé vidlicové hlavy;
- dvouosé vidlicové hlavy s vlastním elektrovřetenem;
- univerzální hlavy.



Obr. 7 Výměnné frézovací hlavy firmy Trimill. [6]



Obr. 8 Patice pro automatickou výměnu frézovacích hlav. [3]

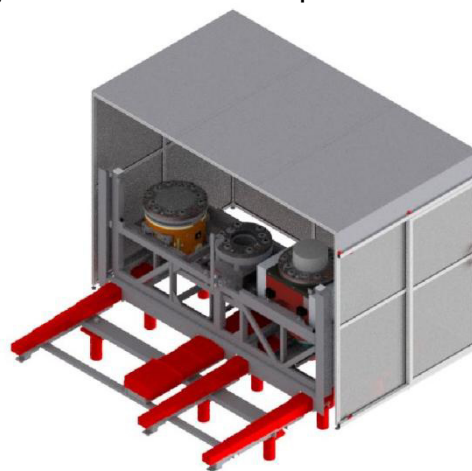
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Výměnné hlavy u frézovacích center nám umožňují provádět na jednom stroji nové technologické operace, ke kterým bychom jinak potřebovali speciální stroje nebo další přídatné zařízení. S rozvojem elektrovřeten, momentových motorů, atd. je u obráběcích center s výměnnými hlavami možné dosáhnout 5ti , někdy i 6ti osového kontinuálního obrábění. Integrací elektrovřeten je možno dosáhnout vysokých otáček a výkonů, které se v současné době používají při výrobě oběžných kol, turbín, forem, kompresorů, apod. Z hlediska samotné výměny hlav je nutno podotknout, že celkový systém automatické výměny je velice technologicky a konstrukčně náročný. Tyto systémy musí splňovat mnoho funkcí a požadavků. Při realizaci samotné výměny je potřeba dodržet požadovanou přesnost najíždění do polohy pro výměnu, dále je třeba systém vybavit zpevňovacími mechanismy pro uchycení samotné hlavy. Samotná patice hlavy na obr. 8 je pak vybavena prvky pro rychlé připojení elektrických, hydraulických, pneumatických a různých medií pro řezný proces, které jsou pro funkci dané hlavy nezbytné. [3]

Výměna hlavy je pak realizována více způsoby. Buď přímo strojem (PICK - UP metoda), univerzálním robotem, nebo pomocí jednoúčelového manipulátoru.



Obr. 9 Stojan pro uložení tří frézovacích hlav firmy Fermat [7]



Obr. 10 manipulátor firmy Trimill - "katamarán" [6]

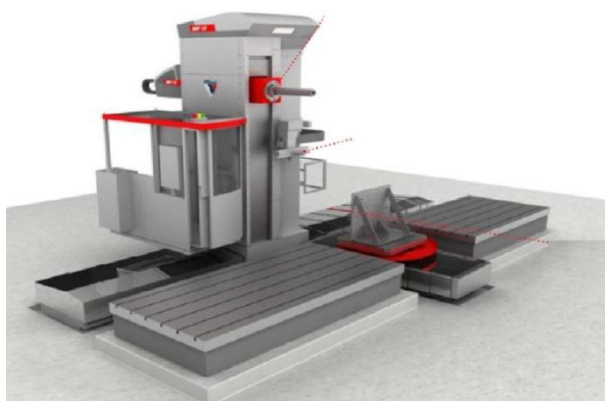
Na obr. 9 je vidět pick-up stanici firmy Fermat, která umožňuje automatickou výměnu frézovacích hlav. Toto zařízení je tvořeno svařovanou konstrukcí, je zde zajištěna automatická detekce hlav, automatické otevírání krytu a úplné zacytování odkládacích pozice zásobníku. Slouží pro uložení jedné až čtyř hlav. [7]

Na obr. 10 je vidět systém automatické výměny na vertikálním centru firmy Trimill. Skládá se ze závažecího manipulátoru, díky čemuž není nijak omezen pracovní prostor stroje. [6]



2.3.3 AUTOMATICKÁ VÝMĚNA OBROBKŮ

Automatická výměna obrobků, dále AVO, je skupina konstrukčních uzlů, které slouží pro manipulaci, polohování upnutí/odepnutí obrobku v pracovním prostoru i mimo něj. Jedná se o vlastní systém, který je tvořen různým strojním zařízením a liší se podle konstrukčních či technologických principů v závislosti na obrobku a jeho vlastnostech či kvantitě. Jedná se opět o systém, který je vyvíjen za účelem zkrácování nevýrobních časů vlivem zdlouhavého ustavování, neboť během upínání a seřizování polohy obrobku stroj nepracuje, a tím se snižuje jeho produktivita. Zkrácení nevýrobních časů se obvykle provádí dvěma základními způsoby. [1]



Obr. 11 AVO - Firma Fermat
stroj WF 13 [7]



Obr. 12 AVO - TOS VARNSDORF -
paletová výměna obrobku [8]

U rozměrných a těžkých obrobků se umísťují dva obrobky, nebo více obrobků vedle sebe díky více pracovním prostorům. Tyto pracovní prostory jsou tvořeny jednou velkou upínací deskou. Zatímco na jednom obrobku se může obrábět, paralelně se druhý obrobek ustavuje na vedlejším pracovním místě. Tento druh zvýšení efektivity sebou přináší jistá rizika z důvodu blízkosti k druhému obráběnému obrobku. Pro větší bezpečnost jsou tato místa oddělena mobilními nebo stacionárními zábranami, ale i tak je zvýšená pozornost na místě.

Druhý způsob je založen na pohybu obrobku z/do pracovního prostoru stroje. Existuje několik typů konstrukčních řešení obr. 12. Tyto typy se uplatňují v závislosti na druhu obrobku. Obrobek se ve výrobním procesu může pohybovat na nosné desce, strojní paletě, speciálních upínačích a přípravných nebo volně. [1]

2.3.4 DALŠÍ AUTOMATICKÉ SYSTÉMY

V dnešní době jsou výrobci obráběcích center nuceni co nejvíce zefektivňovat jejich nabízené stroje. Proto jsou CNC stroje vybaveny celou řadou systémů jako:

- systémy vodního hospodářství;
- systémy třískového hospodářství;
- systémy automatického měření nástrojů;
- systémy aktivní bezpečnosti pracovních prostorů;
- a jiné.

Všechny tyto systémy slouží pro větší multifunkčnost, pružnost, větší efektivitu, lepší ergonomii při ovládání stroje a mnoho dalšího. V této práci není proveden podrobnější rozbor těchto systémů neboť je to problematika velice rozsáhlá, ale pouze upozorňuje na jejich důležitost v dnešní době při návrhu obráběcích strojů.

2.4 PŘEHLED SOUČASNÝCH SYSTÉMŮ AVH

V dnešní době se stále více firem zabývá zvyšováním efektivity a univerzállosti svých obráběcích center. Tato kapitola se zabývá analýzou výměny frézovacích hlav u konkurenčních domácích i světových výrobců. Z důvodu konstrukce systému pro horizontální frézovací centrum se i tato analýza trhu zaměřuje pouze na systémy pro horizontální stroje, ať už vyvrtávací centra nebo frézovací centra.

2.4.1 FIRMA TOS KUŘIM:

Varianta se zavážecím manipulátorem od firmy TOS KUŘIM.



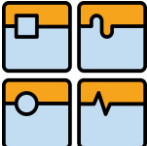
Obr. 13 AVH - Firma TOS Kuřim-1 [9]



Obr. 14 AVH - Firma TOS Kuřim-2 [9]

Tabulka 1 - základní parametry AVH firmy TOS KUŘIM:

Druh výměny	Automatická výměna
Princip výměny	Zavážející manipulátor
Uložení hlav	Pomocí prizmatického uložení, na kužel
Počet lůžek	3 pozice

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Firma TOS Kuřim byla založena v roce 1942, od roku 1990 se věnuje výrobě středně velkých až velkých obráběcích center. Od roku 2007 se orientuje na velká portálová obráběcí centra. Na obr. 13 a 14 lze vidět prodávané univerzální horizontální centrum od této firmy. Firma se zabývá již mnoho let výměnou frézovacích hlav na horizontálních centrech. Má tři základní koncepce. Jako první je zásobník, který je umístěn přímo na pracovním stole nebo vedle něj, ale v pojezdu osy stroje. Nevýhodou tohoto provedení je nutnost zvýšení pojezdu os/snížení pracovního prostoru stroje vlivem prostoru nutného pro zásobník na hlavy. Konstrukce prodloužení osy stroje je prováděna většinou svařovaným prodloužením základny. Je to levná varianta z důvodu koncepce horizontálních strojů od firmy TOS Kuřim. Tyto stroje mají vedení příčnicku pouze na spodní straně. Prodloužení je realizováno svařeným podstavcem, který je přišroubován na část základny, ale není tak tuhý jako litinová základna. Pro výměnu hlav na straně však není potřeba dosahovat vysokých tuhostí.

Druhým konceptem je zavážecí manipulátor, který lze vidět na obr. 14. Výhodou tohoto druhu je, že není nijak omezen pracovní prostor stroje v základní verzi, nevýhodou je nutná konstrukce vedení, pohonů, a jiných částí zavážecího manipulátoru. Charakteristika tohoto systému je uvedena v tabulce 1.

Posledním druhem výměny od této firmy je poloautomatická výměna. Spočívá v tom, že frézovací hlava se nejprve odepne na připravený přípravek, který je namontován na stole obráběcího centra. Z tohoto přípravku, však musí obsluha nejprve starou hlavu odvést a místo ní lze vložit novou. Tato výměna není čistě automatická a proto zde není popisována. [9]



2.4.2 Firma SORALUNCE:

Varianta se stacionárním zakladačem pro frézovací hlavy od firmy SORALUNCE.

Tabulka 2 - základní parametry AVH firmy SORALUNCE:

Druh výměny	Automatická výměna
Princip výměny	Statický zakladač
Uložení hlav	Není uvedena
Počet lůžek	7 pozic

Na obr. 15 můžeme vidět stroj FXR-16000, jedná se o horizontální obráběcí stroj od firmy SORALUNCE. Jedná se o stacionární zásobník, ze kterého si smýkadlo stroje systémem pick up metody může nabrat výměnou hlavu. Výhodou tohoto systému je jednodušší konstrukce zakladače. Není potřeba navrhovat posuvové mechanismy, ale je omezen pracovní prostor strojem vlivem zastavěné plochy zásobníku hlav.



Obr. 15 AVH - Firma SORALUNCE [10]



2.4.3 FIRMA GIDDINGS & LEWIS :

Varianta se stacionárním zakladačem pro frézovací hlavy od firmy Giddings & Lewis.

Tabulka 3 - základní znaky AVH firmy Giddings & Lewis:

Druh výměny	Automatická výměna
Princip výměny	Statický zakladač
Uložení hlav	Není uvedena
Počet lůžek	5 pozic



Obr. 16 AVH - Firma Giddings & Lewis [11]

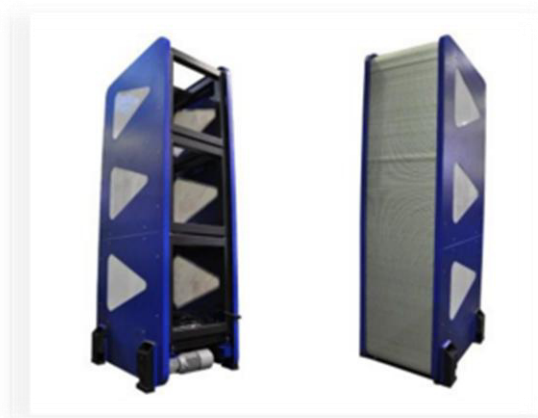
Na obr. 15 lze vidět stroj od firmy giddings & lewis ft/fttr. Jedná se o horizontální obráběcí centrum. Je zde vidět na levé straně stacionární zakladač na frézovací hlavy. Opět je nutná úprava pojezdu stroje, a to buď omezením pracovního prostoru pro obrábění nebo prodloužením pojezdu pomocí nadstavců.

2.4.4 FIRMA FERMAT:

Varianta se stacionárním zakladačem pro frézovací hlavy od firmy Fermat.

Tabulka 4 - základní znaky AVH firmy Fermat:

Druh výměny	Automatická výměna
Princip výměny	Statický zakladač
Uložení hlav	Pomocí prizmatického uložení, na kužel
Počet lůžek	1-4 pozice

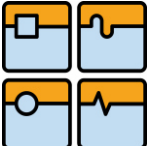


Obr. 17 AVH - Firma Fermat-1 [7]



Obr. 18 AVH - Firma Fermat-2 [7]



Pick up stanice umožňuje výměnu frézovacích hlav. Toto rozšíření zařízení je výhodné zejména pro automatický obráběcí cyklus, kde přináší výrazné zvýšení efektivity a zkrácení času obrábění bez nutnosti seřizování hlavy a její polohy. Pick up zásobník má svařovanou konstrukci, systém je vybaven automatickou detekcí hlavy a je používán na celé řadě strojů firmy Fermat. Výhodou tohoto systému je jednoduchá konstrukce, ale opět musí být rozšířen pojezd některé osy nebo omezen pracovní prostor stroje. [7]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.5 SOUHRNNÉ POROVNÁNÍ SYSTÉMŮ AVH V SOUČASNOSTI

V předchozí kapitole byl proveden průzkumu trhu obráběcích strojů a jejich systémů automatické výměny hlav. Některé uvedené příklady jsou systémy s výměnou hlav u vyvrtávacích center, protože principy výměny jsou si velice podobné. Celková problematika systémů AVH je řešena pouze dvěma základními typy. V této práci jsou uvedeny pouze 4 konkurenční systémy, protože odlišnosti systémů jsou pouze v detailech a není potřeba porovnávat více výrobců strojů. Základní parametry jsou uvedeny v tabulce u každého výrobce, cena a doba výměny však výrobcem není uvedena.

Systémy jsou dvojího druhu. První systém je na principu stacionárního zásobníku, kde jsou frézovací hlavy umístěny v zásobníku a obráběcí centrum je pomocí smýkadla přímo upíná systémem PICK - UP. Výhodou těchto systémů je poměrně jednoduchá konstrukce samotného zásobníku, jedná se většinou o regálový zakladač, který je osazen lůžkami pro hlavy. Velikost tohoto zakladače je většinou omezena velikostí zdvihu stroje ve vertikálním směru. Zakladače, kde jsou dva sloupce lůžek vedle sebe, nejsou většinou konstruovány, hlavním důvodem je omezení pracovního prostoru, což rovnou naznačuje že největší nevýhoda tohoto druhu zásobníků je toto omezení, nebo nutnost zvětšení dráhy posuvu některé osy na stroji. Zvětšení pracovního prostoru stroje lze provádět mnoha způsoby, firma TOS Kuřim využívá svařovaných nástavců na základy strojů, což je levná varianta. Při výměně frézovacích hlav na konci pojezdu osy, kde se takový nástavec namontuje není tuhost základu nijak klíčová, a proto je tato varianta velice vhodná. Další variantou je prodloužení celé základny stroje pomocí vytvoření nového odlitku či nové základny z kompozitu. Další možnost je prodloužení zdvihu stolu obráběcího centra, v případě že koncepce stroje umožňuje tuto volbu. Druhým principem je vytvoření manipulátoru, který bude frézovací hlavy zavážet z vnějšku pracovního prostoru do něj. Konstrukce celého manipulátoru je poměrně složitá. Z důvodu že manipulátor může pohybovat hmotami v řádu několika tun. Při konstrukci manipulátoru je nutno dostatečně dimenzovat pohony, posuvové části, vodící plochy a všechny jiné části, které se vyskytují u takových mechanismů. Výhoda těchto mechanismů spočívá v tom, že není nijak omezen pracovní prostor stroje, nevýhodou je pořizovací cena takových systémů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.5.1 VOLBA DRUHU SYSTÉMU

Po podrobnějším prozkoumání současných systémů AVH bylo rozhodnuto pro konstrukci manipulátoru, který bude zavážet frézovací hlavy do pracovního prostoru pro výměnu. Tato volba byla zapříčiněna mnoha faktory + / -:

- Nebude nijak omezen pracovní prostor;
- vlivem přemístění AVH se naskytl poměrně velký prostor pro realizaci manipulátoru;
- menší rozšíření zástavových rozměrů stroje;
- menší pořizovací cena tohoto druhu systému;
- nevhodnost stacionárního zásobníku pro typ horizontálního centra firmy Trimill;
- rychlost výměny hlavy - dostatečná.

OMEZENÍ PRACOVNÍHO PROSTORU:

Kdyby byl realizován stacionární zásobník na tento typ stroje, byl by radikálně omezen pracovní prostor stroje. Byla by nutnost rozšířit pojezd osy X na stroji, což by vedlo k velkému rozšíření zástavových rozměrů. Popsáno v odstavci zástavových rozměrů.

PŘEMÍSTĚNÍ SYSTÉMU AVN:


Z důvodu nutnosti přesunutí současného systému výměny nástrojů vlivem změny charakteru centra, je možnost využití velkého prostoru na levé straně stroje při pohledu na čelo smýkadla. Díky tomuto získanému prostoru je možná konstrukce manipulátoru zjednodušená. Další výhodou je následné ustavení jak stroje, tak samotného manipulátoru, kdy budou mít montéři stroje dostatečný prostor pro pohyb mezi těmito bloky stroje.

ZÁSTAVOVÉ ROZMĚRY STROJE:

Vlivem nutnosti rozšíření pojezdu osy X na stroji by radikálně vzrostl zástavový rozměr stroje. Stroj na který má být systém AVH aplikován má v současné době pojezd v ose X 2500 mm, aby nebyl nijak omezen pracovní prostor stroje bylo by nutné tento pojezd rozšířit přibližně o 1250 mm - 1500 mm, autor vychází z nutné délky pojezdu manipulátoru, která bude těsně pod 1500 mm. Toto rozšíření pojezdu by bylo téměř o 160 % původního, což by mělo negativní následek na zástavový rozměr stroje ve směru osy X.

MENŠÍ POŘIZOVACÍ CENA:

V porovnání pouze zásobníku stacionárního a pohyblivého vychází pořizovací cena manipulátoru vyšší. Pokud se ale počítá pořizovací cena celého systému, bude u tohoto druhu stroje zavážecí manipulátor řádově levnější.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

NEVHODNOST STACIONÁRNÍHO ZÁSOBNÍKU NA TYP STROJE:

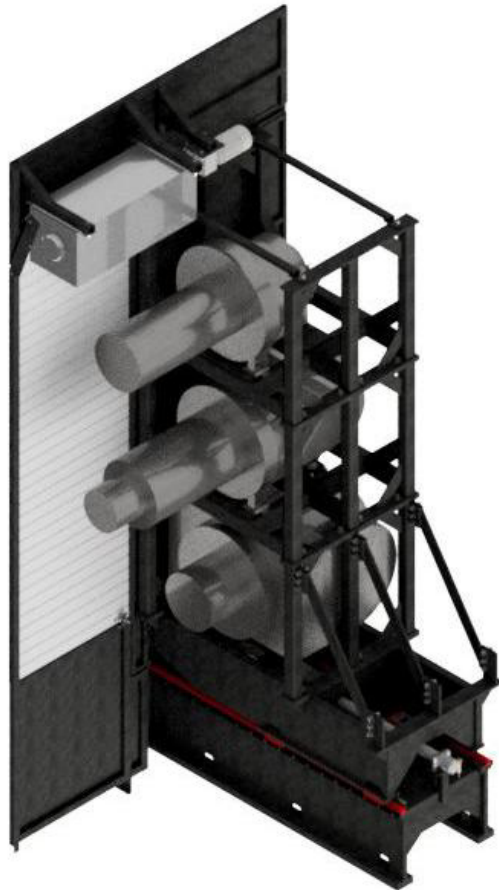
Jak již je popsáno v odstavci u zástavových rozměrů, vytváření stacionárního zásobníku a následného rozšíření osy X není vhodné u tohoto druhu stroje a to z mnoha důvodů. Prvním důvodem je celková koncepce horizontálních strojů firmy Trimill. Tato koncepce je založena na tom, že příčník stroje jezdí po základně, ale zároveň jeho tuhost podporuje vazník stroje, který je umístěn na sloupech. Prodloužení pojezdu stroje by bylo velice konstrukčně náročné, snížila by se tuhost a pořizovací cena by byla vysoká. Dalším důvodem je pojezd osy X, který je v základním provedení 2500 mm. Prodloužení osy o potřebný pojezd by bylo velice nevhodné, kdy pracovní pojezd stroje pro obrábění je pouze 2500 mm, a pojezd pro výměnu by byl přibližně 1500 mm. Prodloužení osy je vhodné spíše pro stroje firem Fermat, TOS Hulín a jiných, kde koncepce stroje funguje na jiném principu a používají pro prodloužení osy levných svařovaných nástavců. U stroje, který má v základním provedení například 6 metrů je prodloužení pojezdu levným nástavcem, který bude přimontován k základně konstrukčně i finančně nenáročný.

RYCHLOST VÝMĚNY HLAVY:

Po prozkoumání současné výměny hlav u konkurence, bylo zjištěno že dosáhnout výměny hlavy v požadovaném časovém limitu bude možno bez problémů.



3 NÁVRH SYSTÉMU AVH



Obr. 19 Návrh systému AVH

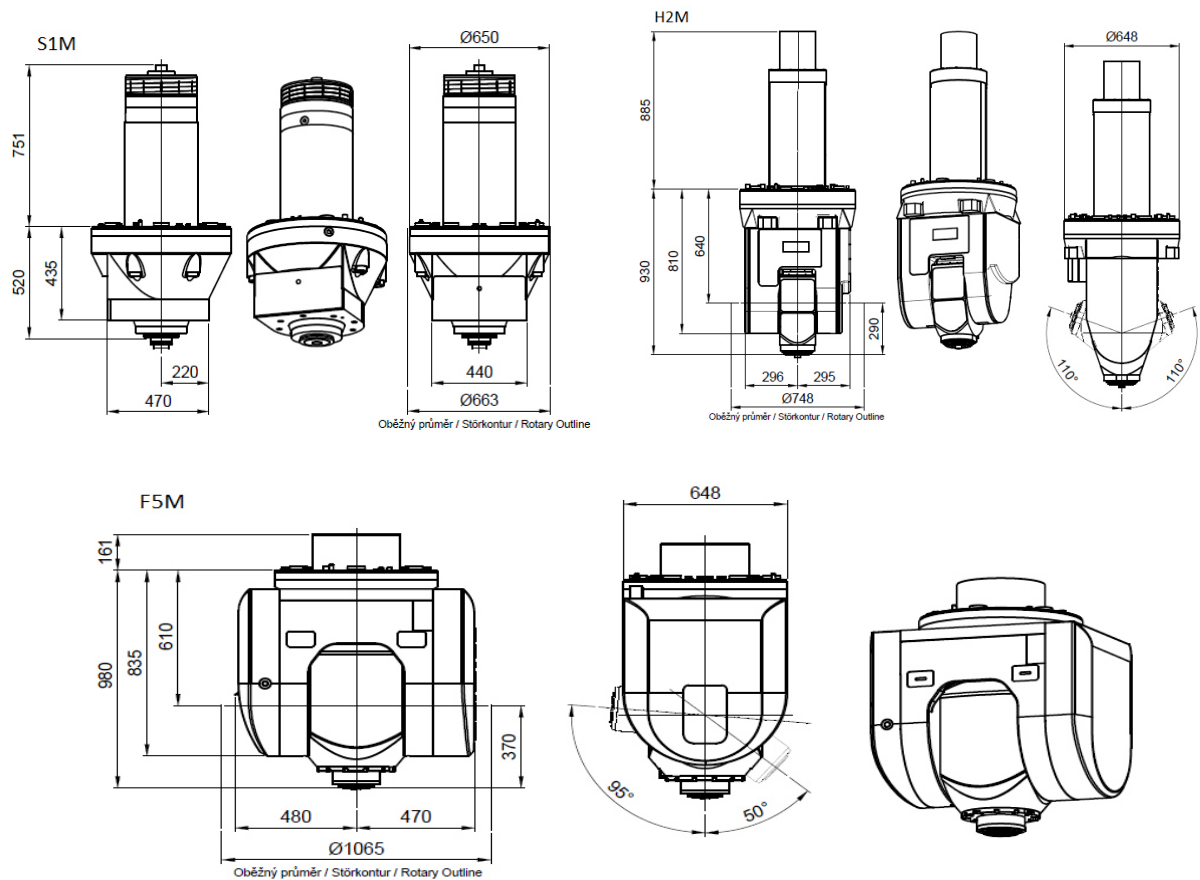
Zadáno:

- Druh frézovacích hlav: S1M, H2M, F5M
- čas výměny - maximálně 120 s;
- Rozměry manipulátoru:
 - Žádné omezení pracovního prostoru.
 - Snaha o zachování půdorysných rozměrů

V zadání od firmy byly požadovány pouze předcházející parametry, avšak je nutné aby vytvářený systém nijak nezhoršoval design stroje, zapadal do současného krytování a jeho montáž a seřízení byly možné bez zbytečných komplikací jako demontování částí stroje atd.



Frézovací hlavy firmy Trimill:



Obr. 20 Frézovací hlavy firmy Trimill

Tato kapitola se zabývá možností výměny frézovacích hlav na horizontálním centru. Umístění pevného stojanu pro frézovací hlavy do pracovního prostoru by radikálně snížilo velikost pracovního prostoru. Prodloužení pojezdu stroje v ose X a výměny frézovací hlavy do stacionárního zásobníku, by bylo řešením pro splnění zadání a všech jeho kritérií, ale autor se domnívá, že tento druh by byl značně drahý oproti realizaci systému se zavážecím manipulátorem. Proto bylo rozhodnuto pro konstrukci manipulátoru, který bude tyto hlavy zavážet do pozice výměny z prostoru mimo pracovní prostor. Tato část práce je věnována výběru komponent pro manipulátor, návrhu hlavních nosných částí, dimenzování pohonu, pevnému i posuvnému krytování. Daný manipulátor musí být konstruován tak, aby nijak neomezoval pracovní prostor a nedocházelo ke kolizi s jinými pohyblivými uzly stroje. Na obr. 18 je vidět umístění daného manipulátoru. To bylo zvoleno z několika důvodů jako jsou například neomezování prostoru pro obsluhu nebo nepůsobení negativně na design stroje.



Samotné frézovací hlavy pro výměnu byly zadány firmou Trimill, jedná se o tři frézovací hlavy. Základní rozměry jsou vidět na obrázku obr. 19. Následující tabulka doplňuje obecné informace o těchto hlavách, nejdůležitější položkou pro konstrukci manipulátoru jsou jejich hmotnosti. Je třeba věnovat pozornost největší frézovací hlavě, která se teoreticky plánuje pro tento systém. To bude hlava F5M s hmotností 1400kg. Tato hmotnost je značně větší, než jsou frézovací hlavy používané konkurencí na trhu. Proto je nutné věnovat velkou pozornost při návrhu manipulátoru.

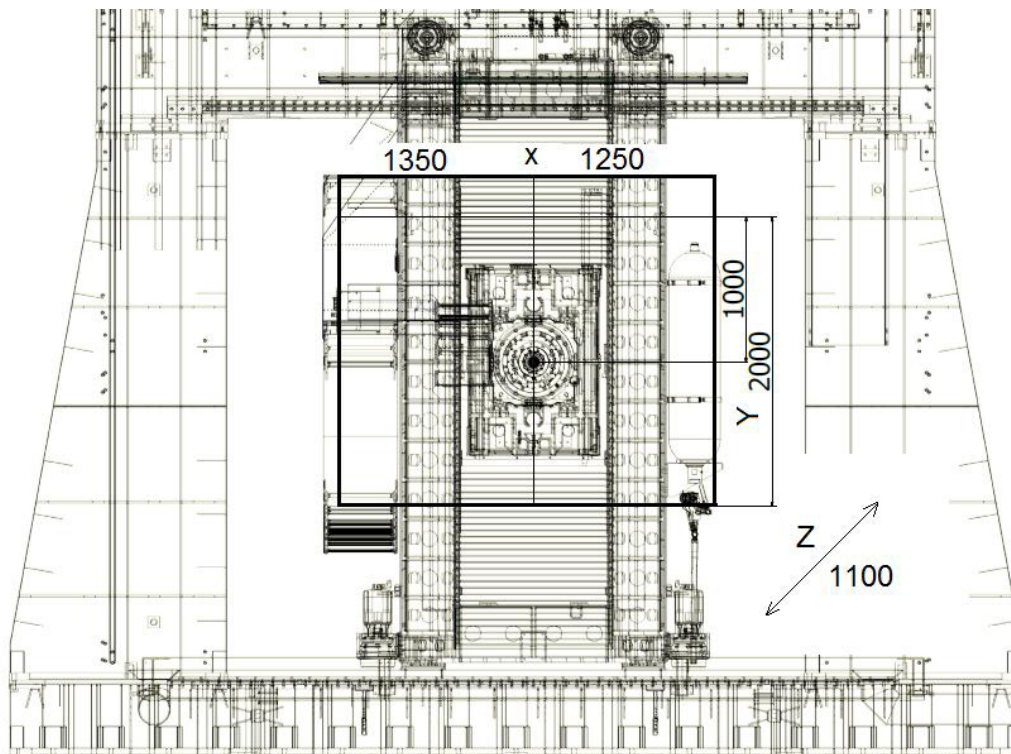
Tabulka 5 - základní parametry hlav Trimill: [6]

HLAVA F5M		HLAVA H2M		HLAVA S1M	
Výkon S1:	40 kW	Výkon S1:	41 kW	Výkon S1:	52 kW
Výkon S6:	52 kW	Moment S1:	1000 Nm	Výkon S6:	70 kW
Moment S1:	360 Nm			Moment S1:	1000 Nm
Moment S6:	468 Nm			Moment S6:	1337 Nm
Max. otáčky:	10000 min ⁻¹	Max. otáčky:	5000 min ⁻¹	Max. otáčky:	2500 min ⁻¹
Upínací kužel:	HSK - A100	Upínací kužel:	HSK - A100	Upínací kužel:	HSK - A100
Hmotnost:	1400 Kg	Hmotnost:	1350 Kg	Hmotnost:	1050 Kg

Při konstrukci manipulátoru by bylo vhodné, aby byly dodrženy všechny požadavky od firmy Trimill, neomezení pracovního prostoru však musí být dodrženo bezpodmínečně. Samotný návrh se zabývá konstrukcí pevné a pohyblivé části manipulátoru, návrhu uložení frézovacích hlav, konstrukcí krytování a bezpečnostními prvky.

**PROSTOR PRO VÝMĚNU:**

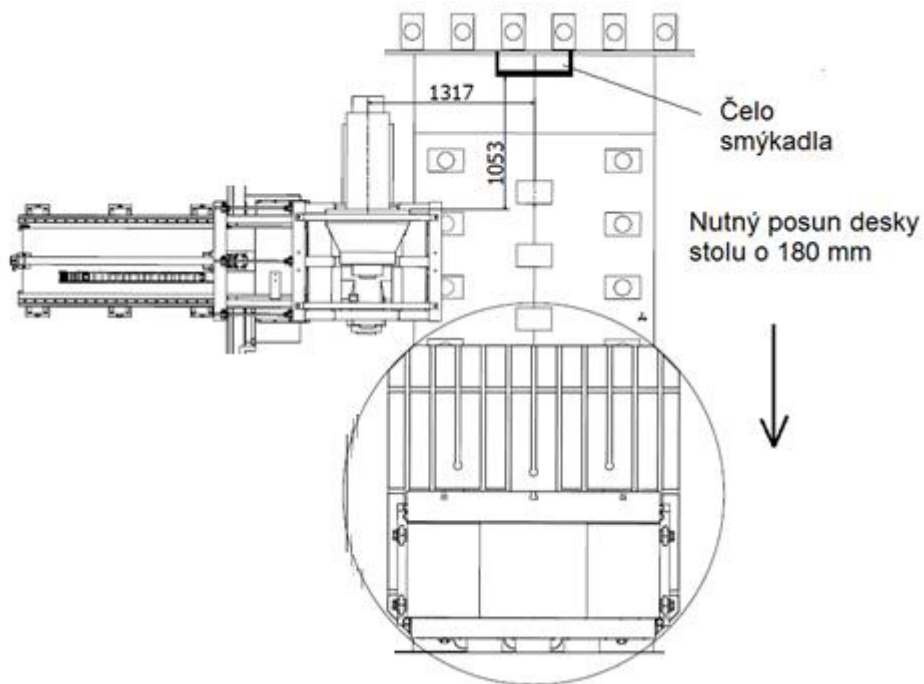
Autor práce se rozhodl pro systém, kde bude výměna provedena pomocí zavážecího manipulátoru. Pro výměnu frézovacích hlav je třeba zajistit, aby manipulátor byl schopen dopravit tyto hlavy do pracovního prostoru os stroje. Na obr. 21,22 lze vidět pracovní pojezdy stroje v ose X = -1350 až + 1250, Y = -1000 až +1000 a Z = 0 až +1100.



Obr. 21 Pracovní pojezdy stroje HM2520

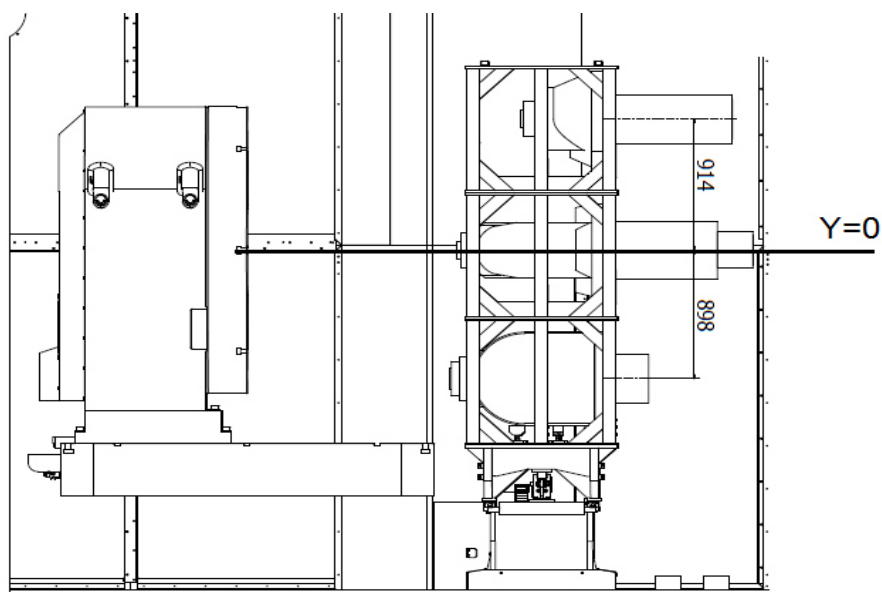
Podmínkou výměny hlav je najetí do os stroje. Tyto podmínky jsou dodrženy dodržel i s dostatečnou rezervou, například z důvodu nepřesného zabetonování základny stroje a základny manipulátoru, které může být i několik centimetrů.

Jak bylo napsáno v předchozích odstavcích, bude přemístěn systém AVN. Je však předpokládáno, že se deska stolu obráběcího stroje posune přibližně o 180 mm od základny stroje, aby nedocházelo ke konfliktu s deskou posuvně otočného stolu a částí manipulátoru. Z důvodu změny podstaty obráběcího centra, je navrženo posunutí stolu. Tuto změnu lze uskutečnit dvěma způsoby. První možností je prodloužení pojezdu stolu o patřičnou mez. Jako druhá možnost se nabízí posunutí celého stolu se stávajícím pojezdem v ose. Z důvodu změny na centrum s výměnnými hlavami, bude změněn i absolutní bod špičky nástroje. Vlivem prodloužení smýkadla, kvůli přidání příruby pro automatické upínání hlav a kvůli upnutí vlastní frézovací hlavy, která tento bod výrazně posune od základny stroje.



Obr. 22 Poloha pro výměnu frézovacích hlav-1

Na obr. 22 je vidět nutné posunutí stolu z důvodu teoretického upnutí maximálního obrobku na desku stolu. Na tomto schématu jsou již patrné dva základní parametry pro výměnu frézovacích hlav v obou osách. Výměna frézovacích hlav v ose X a Z je proveditelná, a to s dostatečnou rezervou více jak 30 mm. Na následujícím obr. 23 je vidět pohled z boku obráběcího prostoru. Při výměně bude mít i poslední osa Y dostatečnou rezervu k tomu, aby byla schopna upnout jakoukoliv frézovací hlavu.



Obr. 23 Poloha pro výměnu frézovacích hlav-2

3.1 POSUVOVÁ SOUSTAVA

Tato kapitola se zabývá různými možnostmi realizace pohybu manipulátoru pro závoz hlav z vně pracovního prostoru do něj. Různými druhy pohonů i zdrojem energie pro něj.

3.1.1 ZPŮSOB NÁHONU

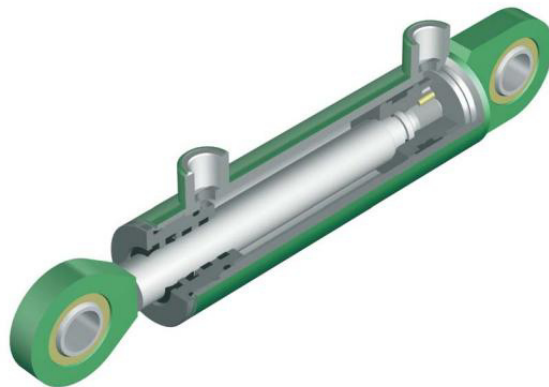
PŘÍMOČARÝ HYDROMOTOR

Přímočaré hydromotory patří mezi nejrozšířenější typy. Stejně jako hydrogenerátory jsou důležitou částí hydraulického obvodu, převádějí tlakovou energii na mechanickou. Přímočaré hydromotory, často také označovány jako pracovní válce, mají výhodu v jednoduché konstrukci. To vede k levné výrobě a vysoké spolehlivosti s dlouhou životností. Dalšími klady jsou malé rozměry a hmotnost samotného motoru v kombinaci se schopností vytvořit velkou sílu, až stovky tisíc Newtonů. Mají dobrou průtokovou i tlakovou účinnost. Hydromotor se skládá z několika základních prvků jako válec, píst, pístnice, víka válce a uložení samotného hydromotoru. Princip funkce přímočarého hydromotoru spočívá v tom, že na plochu válce působí medium o tlaku p a vyvolává na píst sílu, která se dá vypočítat ze vztahu (1). Výhodou využití hydraulického oleje je jeho nestlačitelnost v ideálním stavu, což zabraňuje pružení pístní tyče ve vysunutém stavu, kdy se za válcem nachází poměrně velké množství oleje. [12]



$$F = S \cdot p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \quad [N] \quad (1)$$

kde:

- F ... síla vyvozená pístem [N]
- S ... činná plocha pístu [mm²]
- P tlak kapaliny [Pa]
- D ... vnější průměr pístu [mm]



Obr. 24 Přímočarý hydromotor firmy hydraulics [13]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 34
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PNEUMATICKÝ VÁLEC

Základní rozdíl mezi hydromotorem a pneumatickým válcem spočívá v tom, že je zde rozdílný nositel energie, a to vzduch nebo jiný plyn. Hlavním rozdílem těchto medií je jejich stlačitelnost. Vzduch je velice dobře stlačitelný, což dává tomuto pohonu lepší vlastnosti vůči kmitání a značným změnám zatížení. Velice dobře se přizpůsobuje provozům, ve kterých dochází k častým reverzacím. Velkou nevýhodou je jeho malá účinnost. Medium musí být zbaveno nečistot, vlhkosti, je vhodné jej nasytit olejovou mlhou, která zajišťuje mazání pohyblivých částí u pneumotoru. Charakteristickými znaky u přímočarých pneumotorů je jednoduchá konstrukce, malá náročnost na přesnost výroby. Jako u hydromotorů je základní rozdělení pneumotorů rozděleno na jednočinné a dvojčinné. Přímočaré pneumatické motory jsou obvykle navrženy do tlaků 10 barů a výstupní rychlostí, až 20m/s. [12]

Další nevýhodou je špatná regulace rychlosti pístu, není vhodný pro příliš malé rychlosti pohybu pístního válce z důvodu vzniku trhavých pohybů. Stlačený vzduch je jedno z nejdražších medií pro pohonné jednotky.



Obr. 25 Pneumatický válec [14]

KULIČKOVÝ ŠROUB

Základní části pohonu s kuličkovým šroubem je samotný šroub, motor, matice kuličkového šroubu. Oproti trapézovým šroubům (kluzným) se vyznačují daleko vyšší účinností díky menšímu tření ve styčných plochách. Tato účinnost se pohybuje okolo 90% v přeměně točivého momentu na axiální posuvovou sílu. K takto vysoké účinnosti přispívá hřídel s válcovanou nebo broušenou drážkou pro kuličky, která má vysokou jakost povrchu a geometrickou přesnost. Taktéž i matice musí mít kvalitní povrch s odpovídající vnitřní drážkou. Drážky na hřídeli a matici mají funkci oběžné dráhy a vyvolávají lineární pohyb hřídele nebo matice v závislosti na požadavku aplikace. Takové řešení umožňuje dlouhou trvanlivost a spolehlivost šroubu díky minimálnímu vnitřnímu tření. Dalším z důležitých částí kuličkového šroubu je zařízení, které umožňuje cirkulaci kuliček z konce matice na její počátek. Zpravidla k tomuto účelu slouží vnější vratná trubka, ale ta má několik nevýhod. Při montáži samotného šroubu může dojít k jejímu poškození a zvyšuje celkový rozměr šroubu. Proto jsou v současné době konstruována řešení jako je systém bez vratné trubky s tzv. „vločkami“. Toto řešení spočívá ve využití vodících čepů, které rychle odebírají kuličky na konci matice a vracejí je na její začátek, čímž se okruh uzavírá.



Kuličkové šrouby jsou v dnešní době využívány v nejrůznějších aplikacích, jsou konstruovány v různých provedeních, z různých materiálů. Umožňují nám efektivně řešit různé aplikace, kde potřebujeme dosáhnout lineárního pohybu. Jsou nabízeny v nejrůznějších délkách a rozměrech. [15]





Obr. 26 Různé druhy kuličkových šroubů [16]

PASTOREK A HŘEBEN

Pro pohony u CNC pracovních strojů s dlouhými zdvihy je použití kuličkového šroubu nepraktické, proto zde nachází využití pohonu pastorek a hřeben. Nevýhodou této kinematické dvojice je stejně jako u kuličkového šroubu její nesamosvornost, což vyžaduje většinou řešení motoru s brzdou. Jak pro svislé osy, tak pro možnost výpadku elektrického proudu. Další nevýhodou je zubová vůle, která nám způsobuje nepřesný posuv, zejména v reverzačních oblastech. Proto se ji snažíme nějak eliminovat. Tato vůle se dá vymezit mechanickým způsobem nebo pomocí náhonu s dvěma motory a pastorky tzv. režim master- slave. [1]



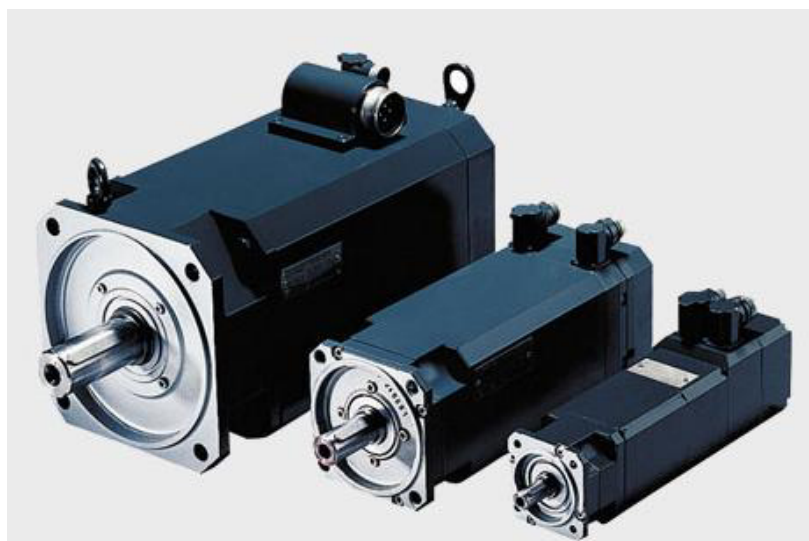
Obr. 27 Pastorek a hřeben [17]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SYNCHRONNÍ SERVOMOTOR

Synchronní servomotor je obecně pohon, který je řízen ve smyčce se zápornou zpětnou vazbou. U servomotorů lze, na rozdíl od běžných motorů, nastavit přesnou polohu natočení hřídele. Pohony se synchronními motory s permanentními magnety na rotoru jsou v současnosti nejpoužívanější motory pro polohové servomechanismy. Permanentní magnety jsou složeny ze speciálních prvků na bázi vzácných zemin. Tyto motory jsou u CNC obráběcích strojů nejčastěji využívány pro pohon os, umožňují nám řízení s vysokou dynamikou. Další jejich využití jsou jednoduché polohové aplikace jako u balících a textilních strojů, manipulátorů, strojů pro zpracování plastů, robotů a v dalších oblastech strojírenství.





Synchronní servomotory s permanentními magnety se vždy musí napájet z měničů frekvence. Pro zpětnovazební regulaci otáček, polohy a momentu je nutno snímat natočení hřídele (polohu magnetického toku). Snímače natočení hřídele jsou integrovány v zadní části motoru. Tyto motory nám dávají vysokou flexibilitu, univerzálnost, vynikající přetížitelnost, velký dynamický výkon. Mezi jejich další přednosti patří velký výkon na jednotku hmotnosti. Nevýhody u těchto motorů jsou pořizovací cena, špatné pro pracovní režimy s dynamickou změnou otáček a poskytují menší výkon oproti asynchronním motorům. [18]



Obr. 28 Servomotory [19]

KROKOVÝ MOTOR

Krokový motor má své jméno podle faktu, že vykonává "krok za krokem", i když tyto kroky vedou obvykle k točivému pohybu. Je složen stejně jako většina elektrických motorů z rotoru a statoru a dvou štítů s ložisky. Stator je obvykle vyroben z ocelových lamel, které mají drážky v nichž se nacházejí měděná vnutití. Levnější modely mají místo vnutití několik cívek. Rotor bývá tvořen buď železným jádrem, permanentními magnety nebo kombinací obou dvou tzv. hybrid. Typický systém motoru se skládá z motoru a pohonné jednotky. Tato jednotka obsahuje výkonný stupeň, ovládací díl a napájecí zdroj. Řídící jednotka ovládá každou fázi motoru, aby motor dostal správný proud ve správný čas a výkonový stupeň dodává proud ze

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

stejnoseměrného zdroje napětí. Hlavní výhody tohoto motoru jsou například, jednoduchost, jediný zcela digitální motor, levný, velmi jednoduše říditelný na všech digitálních systémech, velmi vysoký točivý moment, otáčí se oběma směry. Mezi nevýhody patří například to že ztrácí moment při rostoucích otáčkách, je poměrně hlučný, extrémně citlivý na přetížení, žádná zpětná vazba o skutečné poloze. [20]

3.1.2 VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT A VOLBA POHONU

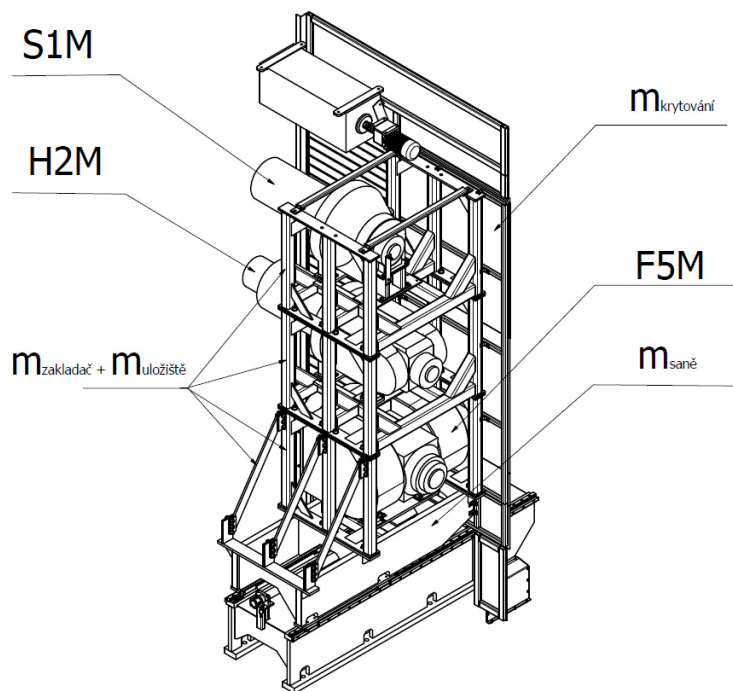
Při průzkumu současně nabízených a nejčastěji používaných pohonů os strojů nebo manipulátorů bylo zvoleno použití přímočarého hydromotoru. Tato volba se zdá být jednou z nejlépejších variant a na daný druh pohonu dostačující. Pořizovací cena hydromotoru je řádově menší, než jakýkoliv druh elektromotoru s dostačujícím výkonem. Při použití jakéhokoliv elektromotoru je potřeba vzít v potaz, že je nutno tento pohon kombinovat s nějakým mechanismem, který bude rotační pohyb motoru transformovat na lineární. Užitím kuličkového šroubu nebo hřebenu s pastorkem nám opět vznikají další náklady, ať už na pořízení samotných komponent, nebo na úpravu ploch pro ustavení těchto částí. Z důvodu, že daný manipulátor bude provádět pohyb z pevného bodu do pevného bodu a nevzniká potřeba regulovat průběh na dráze mezi těmito body, zdá se volba přímočarého motoru vhodná. Bylo zvažováno použití pneumatického válce, který by při dostatečném provozním tlaku také dokázal rozpohybovat potřebné hmoty. Nevýhodou plynného média je, že při delších zdvizech je potřeba eliminovat pružnost. Tato pružnost se dá eliminovat například použitím hydraulických tlumičů, což je další důvod k volbě přímočarého hydromotoru, který nepotřebuje tlumení. Na současném trhu je celá škála různých mechanismů které by se daly použít. V předchozí kapitole bylo uvedeno pouze několik hlavních. Další možnosti by bylo zakoupení takového mechanismu přímo od výrobce, například firma INA nabízí různé druhy pohonu pro přímočarý pohyb založené například na kombinaci pneumatického válce s řemenem, který násobí zdvih válce a není nutno použít tak dlouhý pneumatický válec. Firma INA i jiné firmy nabízí mnoho podobných mechanismů, avšak pořizovací cena těchto komponent, by byla opět vyšší než volený hydromotor. Jako další možnost by byla kombinace motoru s převodovou skříní a řetězkou, která bude pohánět řetěz, ale u této kombinace by bylo nutné řešit řízení dojíždění do koncových poloh. Proto se volba hydromotoru, který toto tlumení již obsahuje zdá výhodná a jeho řízení lze realizovat pomocí hydraulického rozvaděče, který je vidět ve schématu na obr. 30. Autor prozkoumal současný trh a rozhodl se využít přímočarý hydromotor od firmy Hydraulics. Tato firma se zabývá výrobou přímočarých hydromotorů a jiných komponent a mimo jiné již spolupracuje s firmou Trimill. Vyrábí mnoho řad hydromotorů, z hlediska nejlepšího průběhu rychlostí se autor rozhodl zvolit sérii ZH2RT. Jedná se o sérii, která má regulovatelné tlumení (snížení rychlosti pohybu pístní tyče) v koncových polohách. Tato vlastnost je velice výhodná z důvodu toho, že manipulátor bude zastavovat plynule a nebudou vznikat žádné rázy.



3.1.3 NÁVRH POHONU

Zvolený pohon manipulátoru je realizován pomocí přímočarého hydromotoru od firmy Hydraulic s.r.o. Jedná se o hydraulický válec řady ZH2RT, což je řada s nastavitelným tlumením v koncových polohách. Díky tomuto tlumení nebudou vznikat při dojezdu do krajních poloh rázy. Maximální doporučená rychlost pohybu pístu je udávána výrobcem 0,5 m/s. Tato rychlost je dostačující a ve skutečné aplikaci bude řádově nižší, což je další výhodou u tlumení v koncových polohách.[13]

Jako první pro návrh hydromotoru je třeba určit, jakou celkovou hmotnost budeme přesouvat. Pohybující se část manipulátoru, včetně posuvného krytování, úložných podstavců pod hlavy atd., byla vygenerována pomocí aplikace Autodesk Inventor. Hmotnosti hlav jsou zadány.



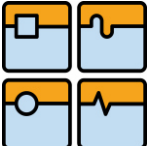
Obr. 29 Systém výměny hlav 1

Je zde počítáno s hmotnostmi hlavních komponent, jako jsou hmotnosti hlav a nosných částí. Hmotnosti nosných částí jsou zvýšeny přibližně o 5 % z důvodu, že nejsou zahrnuty všechny drobné komponenty, jako jsou hmotnosti normalizovaných dílců, konzolí pro snímače a jiných drobných komponent.

$$m_{hlav} = m_{F5M} + m_{H2M} + m_{S1M} = 1400 + 1350 + 1050 = 3800 \text{ Kg}$$

$$m_{manipulátoru} = m_{krytování} + m_{saně} + m_{zakladač} + m_{uložiště} = 200 + 700 + 800 + 100 = 1800 \text{ Kg} \quad (2)$$

$$m_{celku} = m_{manipulátoru} + m_{hlav} = 3800 + 1800 = 5600 \text{ Kg}$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

HYDROMOTOR:

Výpočet potřebné síly pro přesun manipulátoru je zde proveden jako výpočet síly potřebné k překonání všech pasivních odporů v systému. Jsou zde zahrnuty pouze pasivní odpory známé od lineárního vedení manipulátoru. Pasivní odpory neznámé jako jsou od posuvných krytů, odpor od nosiče energií a odporů od kartáčů, nejsou v tomto výpočtu zahrnuty a to z důvodu nepodstatnosti na celkovou potřebnou sílu.

Součinitel tření u valivých odporů se pohybuje u kuličkového typu mezi 0,002 - 0,003 a u válečkového provedení mezi 0,001 - 0,002. Tento údaj je myšlen bez uvažování odporu těsnění. [21]

Tato hodnota bylo volena vyšší z důvodu zanedbání pasivních odporů neznámých, a také pro jistotu předdimenzování pohonu. Pro valivý odpor je zvolena hodnota $f = 0,05$.

Pasivní odpory známé:

$$g = 9,807 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}, f = 0,05, m_{\text{celku}} = 5600 \text{ Kg}$$

$$F_N = m_{\text{celku}} \cdot g = 5600 \cdot 9,807 = 5,49 \cdot 10^4 \text{ [N]} \quad (3)$$

$$F_p = F_N \cdot f = 4,90 \cdot 10^4 \cdot 0,05 = 2,75 \cdot 10^3 \text{ [N]}$$

Pro pohon manipulátoru teoreticky stačí hydromotor s tažnou silou větší než 2450 N. Při samotném návrhu byl volen větší hydromotor z důvodu předdimenzování a také kvůli velkému výsuvu pístu a následné nutnosti kontroly na vzpěr.

Volený hydromotor:

Průměr válce : $D = 50 \text{ mm}$

Průměr pístní tyče : $d = 25 \text{ mm}$

Délka výsuvu = 1500 mm

Z důvodu větší délky než je nabízená výrobcem, je nutné pístní tyč hydromotoru kontrolovat i na vzpěrnou tuhost. Velikost provozního tlaku působícího v hydromotoru bude omezena redukčními ventily, podle schématu upraveného hydraulického obvodu. Tlak který bude působit na válec při vysouvání bude 8 MPa a tlak pro zasouvání bude zredukován na 11 MPa.



$p_{\text{provozní1}} = 8 \text{ MPa}$

$p_{\text{provozní2}} = 11 \text{ MPa}$

Funkční plocha pístu v tlaku a tahu:

$$S_{\text{ptah}} = \frac{(\pi \cdot D^2) - (\pi \cdot d^2)}{4} = \frac{(\pi \cdot 50 \cdot 10^{-3})^2 - (\pi \cdot 25 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]} \quad (4)$$

$$S_{\text{ptlak}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (50 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 40
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Maximální síla působící na píst tlak / tah:

$$F_{tlak} = p_{provozní} \cdot S_{píst} = 8 \cdot 10^6 \cdot 1,96 \cdot 10^{-3} = 1,57 \cdot 10^4 \text{ [N]} \quad (5)$$

$$F_{tah} = p_{provozní} \cdot S_{píst} = 11 \cdot 10^6 \cdot 4,91 \cdot 10^{-4} = 1,62 \cdot 10^4 \text{ [N]}$$

Předimenzování pohonu:

$$k = \frac{F_{tlak}}{F_p} = \frac{1,57 \cdot 10^4}{2,45 \cdot 10^3} = 6,4 \quad (6)$$

Pomocí výpočtů 3 - 6 bylo zjištěno, jakou maximální sílu musí hydromotor dodat, aby mohl být realizován pohyb manipulátoru z a do pracovního prostoru. Předimenzování pohonu je více jak šestinásobné, což je výhodou z hlediska dlouhodobého používání a možného opotřebování vodících ploch a zvýšení součinitele tření. Předimenzování bylo počítáno u pístu na tlak, kdy je síla menší z důvodu umístění redukčních ventilů do hydraulického obvodu. Z důvodu volby delšího zdvihu pístnice než u dané pístní tyče doporučuje výrobce je nutná kontrola pístní tyče na vzpěr.

Kontrola vzpěrné stability: [22]

Kontrolovaný průměr: $d = 25 \text{ mm}$
 Výsuv pístu: $l = 1,5 \text{ m}$
 Modul pružnosti oceli: $E = 2,1 \text{ GPa}$
 Redukovaná délka prutu: $l_{RED} = 1,5 \text{ m}$
 Síla působící na vzpěr: $F_{tlak} = 1,57 \cdot 10^4 \text{ N}$

Moment setrvačnosti prutu:

$$I_{min} = \frac{\pi \cdot d^4}{34} = \frac{\pi \cdot [25 \cdot 10^{-3}]^4}{34} = 3,84 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^4] \quad (7)$$

Síla kritická pro vzpěr:

$$F_{kritická} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{l_{RED}^2} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^9 \cdot 3,84 \cdot 10^{-8}}{1,6^2} = 7,07 \cdot 10^4 \text{ [N]} \quad (8)$$

Kontrola bezpečnosti:

$$k_{vzpěr} = \frac{F_{kritická}}{F_{tlak}} = \frac{7,07 \cdot 10^4}{1,57 \cdot 10^4} = 4,5 \quad (9)$$

Síla která je pro pístní tyč na vzpěr kritická, je přibližně 4,5 krát vyšší než jakou bude pístní tyč namáhána. Z tohoto důvodu není zahrnut fakt že pístí tyč je uložena v horizontální poloze a působí na ní gravitační síla. Návrh a kontrola hydromotoru je kompletní.



3.1.4 HYDRAULICKÝ GENERÁTOR + HYDRAULICKÝ OBVOD

V současné době je na stroji použit hydrogenerátor od firmy Argo-hytos, jeho parametry jsou uvedeny níže. Všechny parametry generátoru jsou vyhovující pro funkci navrženého hydromotoru. V této části se autor zabývá rychlostí, časem výsuvu manipulátoru a návrhem části hydraulického obvodu na stroji.

Parametry HG:

Maximální provozní tlak: $p_{Gmax} = 200$ bar
Geometrický objem generátoru: $V_{G1} = 9,2$ l/minutu

Parametry hydromotoru:

Plocha válce: $S_V = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Délka zdvihu hydromotoru: $l = 1,5$ m

Rychlost zdvihu válce:

$$v_1 = \frac{V_G}{S_V} = \frac{9,2 \cdot 10^{-3}}{1,96 \cdot 10^{-3}} = 4,69 \text{ m/min}$$

Čas výsuvu manipulátoru:

$$t_1 = \frac{l}{v_1} = \frac{1,5}{4,69} = 0,213 \text{ min} = 12,81 \text{ sec}$$

Při použití současného hydraulického generátoru by celkový výsuv trval přibližně 13 sekund. Časy doběhu pístnice v koncových polohách jsou zanedbány, tyto časy dobrzdění v celkovém času výměny frézovací hlavy nejsou podstatné. Tento čas není vhodný, a proto je navržena změna generátoru na stroji, volený generátor by měl mít geometrický objem minimálně $V_{G2} = 20$ l/minutu.

Rychlost zdvihu válce s novým HG:

$$v_2 = \frac{V_G}{S_V} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{1,96 \cdot 10^{-3}} = 10,19 \text{ m/min} \quad (10)$$

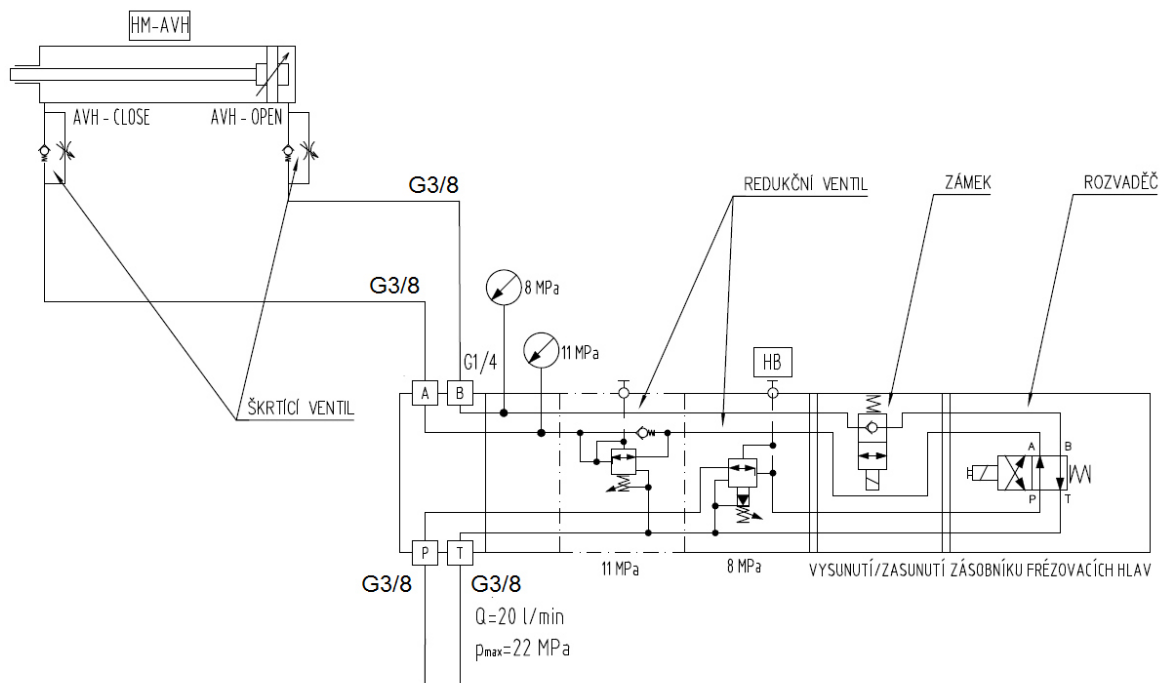
Čas výsuvu manipulátoru s novým HG:

$$t_1 = \frac{l}{v_1} = \frac{1,5}{12,73} = 0,1 \text{ min} = 6 \text{ sec} \quad (11)$$



Použitím nově zvoleného generátoru, by výsuv manipulátoru trval přibližně 6 sekund, což je dostačující, zároveň nebyly překročeny kritické rychlosti pro hydromotor doporučené výrobcem. Celkový čas výsuvu manipulátoru bude větší a to z důvodu zpomalení koncových polohách. Tyto časy jsou však z pohledu celkové výměny frézovací hlavy nepodstatné a proto jim není věnována pozornost.

**HYDRAULICKÝ OBVOD:**



Z důvodu přidání a změny stávajících hydraulických prvků u stroje je potřeba upravit současné hydraulické schéma. Je do obvodu přidána navrhovaná část, která lze vidět na obr. 30. Byla navržena změna komponent v současném hydraulickém obvodu, jako hlavní by byla výměna hydraulického agregátu z důvodu zvýšení rychlosti pohybu manipulátoru. Volený hydraulický agregát by měl dodávat geometrický objem 20 litrů za minutu při provozním tlaku 22 MPa, současný agregát při stejném tlaku má geometrický objem pouze 9,2 litrů za minutu. Pořízení nového agregátu pouze pro pohon manipulátoru by bylo možným řešením. Tento nový agregát by mohl být namontován se současným agregátem na jedné nádrži. Po prozkoumání cen agregátů a hydraulických rozvodných kostek se autor rozhodl pro ekonomičtější řešení a to změnu stávajícího agregátu a hydraulické kostky. Dá se předpokládat, že změna samotného agregátu bude nutná, a to nejen z důvodu přidání systému AVH s hydraulickým pohonem, ale také z důvodu změny z horizontálního centra na centrum s výměnnými hlavami. Kvůli možnosti různých frézovacích hlav je nutné zvýšit geometrický objem čerpadla pro zpevňování a aretaci frézovacích hlav. Podobný geometrický objem se používá na stroji kde se používá frézovací hlava F5M a díky tomu je také volen nový geometrický objem. Toto opatření by nenavýšovalo pořizovací cenu stroje z důvodu nutnosti stejného agregátu i na novém stroji s výměnou hlav.



Obr. 30 hydraulické schéma obvodu

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 43
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Nová část hydraulického obvodu se skládá z přívodu a odvodu hydraulické kapaliny. Kde přesně se zařadí tato větev a zda bude oddělena prvky pro bezpečnost, si určí přímo firma. Z důvodu možného selhání této části obvodu například prasknutí hadice, netěsnost ve spojích nebo v hydraulické kostce je vhodné, aby centrum bylo provozuschopné i bez systému pro výměnu frézovacích hlav a je doporučeno tuto část funkčně oddělit. Vyjetí a zajetí manipulátoru bude řešeno pomocí hydraulického bloku, který dodává pro firmu Trimill firma Argo-hytos. Tento blok obsahuje dva redukční ventily, hydraulický zámek a samotný rozvaděč. Protože není potřeba maximálního tlaku od čerpadla a také pro menší namáhání komponent systému AVH, které jsou spjaty s přímočarým hydromotorem, byly redukovány tlaky při tahu a tlaku pro překonání potřebných odporů, jak bylo zmíněno v kapitole pro návrh pohonu. Ve skutečnosti by stačil pouze jeden redukční ventil, ale protože stejné bloky jsou dodávány jako celek v poměrně velkém množství od firmy Argo-hytos, bylo rozhodnuto pro použití složitějšího řešení, které má více možností nastavení, i když nejsou nezbytně nutné. Je také možno vytvořit podobnou sestavu pouze s jedním redukčním ventilem, zámkem a rozvaděčem, což z ekonomického hlediska vychází obdobně, ale musí se vyčlenit čas na sestavení nové sestavy zaměstnanci firmy. Dále by se podobný hydraulický blok dal přímo koupit, ale při pořízení pouze několika kusů by jeho cena byla vyšší. Další prvek je hydraulický zámek, který zabraňuje samovolnému vysunutí manipulátoru pokud není aktivován rozvaděč. Samotný hydraulický rozvaděč slouží pro přepínání větví pro tah a tlak hydromotoru. Přívod do hydraulického bloku bude zajištěn hydraulickými hadicemi, samotné propojení hydraulické kostky a voleného hydromotoru s tlumením bude také realizováno pomocí hydraulických hadic. Z důvodu, že tyto hadice se nebudou pohybovat, budou chráněny krytváním, nebudou v prostoru častého pohybu lidí a techniky, proto není velká pravděpodobnost pro jejich protržení a není nutno tuto část obvodu realizovat jinak, například trubkami, nebo chráničkami hadic. Jako další fakt pro bezpečnou funkčnost je redukováný tlak, který bude v hadicích působit a který je řádově nižší než provozní tlak používaných hadic. Škrťací ventily jsou do obvodu přidány z důvodu, že se jedná o prototyp. Je možné že bude potřeba redukovat rychlosti výsuvu a zásuvu. Tyto komponenty dávají technikům poměrně velký prostor pro regulaci.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 44
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.1.5 KONTROLA ULOŽENÍ HYDROMOTORU - VÝPOČTEM

Tato část práce se zabývá kontrolou uložení přímočarého hydromotoru. Je zde navržen čep pro přenesení maximální síly od pístnice. Dále jsou kontrolovány šroubové spoje u uložení na konci pístní tyče i šrouby, které mají za úkol fixovat tělo hydromotoru.



Obr. 31 Uložení pístní tyče



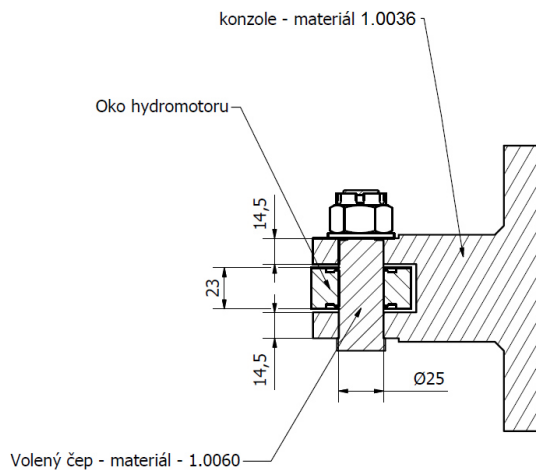
Obr. 32 Uložení těla hydromotoru

Hydromotr je připevněn k pevnému rámu manipulátoru pomocí svařované konzoly, která je připevněna přes šesti pevnostních šroubů M12 x 35 (DIN 912 - 12. 9). Tyto šrouby z důvodu předepsaného přepětí při dotahování nebudou namáhány pouze na stříh, ale síla bude přenášena pomocí tření v dosedacích plochách konzoly a základního rámu. Samotné tělo hydromotoru je přišroubováno ke svařované konzole pomocí čtyřech pevnostních šroubů M12 x 45 (DIN 912 - 12. 9). Tyto šrouby jsou přišroubovány ke svařenci a jako další pojištění jsou zakontrovány pomocí matic M12, aby se vymezila vůle v závitech a nedocházelo k vymačkání závitu.

Druhý konec pístnice, který je spojen s pohybuje se částí manipulátoru, je na pístnici připevněn pomocí čepu, tento čep je kontrolován v následujících výpočtech. Tento čep byl zvolen podle průměru oka pístnice, zvolený materiál čepu je ocel 11 600. Dále je celá svařovaná konzole připevněna k pohybuje se manipulátoru pomocí čtyřech pevnostních šroubů M10 x 35 (DIN 912 - 12.9). Tyto šrouby budou předepjaty a síla bude také přenášena třením v dosedací ploše této konzoly. Jelikož maximální síla od hydromotoru bude dosahovat hodnoty $F_{max} = 16200 \text{ N}$, což se rovná přibližně 1,65 tuny. Nejsou kontrolovány žádné šroubové spojení, z důvodu zřejmé únosnosti všech šroubových spojení.



Kontrola voleného čepu:

Volený průměr čepu - $D_{\text{čepu}} = 25 \text{ mm}$

Volený materiál čepu - 1.0060

Volený materiál konzole - 1.0036

Plocha na otláčení čepu - $l_{\text{čepu}} = 23 \text{ mm}$ Plocha na otláčení konzole - $l_k = 2 \times 14,5 \text{ mm}$

Obr. 33 Nákres kontrolovaného čepu

Podle oka hydromotoru, které má daný průměr, a to 25 mm, byl zvolen čep. Na tento čep byl použit materiál 1.0060 (11 600), což je obyčejná konstrukční ocel. Pro konzolu, která bude přenášet sílu na pohybující se část manipulátoru, byl volen materiál 1.0036 (11 373). Tento materiál byl použit i pro uložení pístnice na pevný stojan manipulátoru, tento stojan je vidět na obr 31.

Parametry pro výpočet: [22]

Maximální síla vyvolaná hydromotorem: $F_{\text{tlak}} = 1,62 \cdot 10^4 \text{ [N]}$

Čep:

Dovolené napětí pro stříh: $\tau_D = 50 - 70 \text{ MPa}$ - voleno - 50 MPaDovolené napětí pro tlak: $\sigma_D = 75 - 115 \text{ MPa}$ - voleno 80 MPa

Konzole:

Dovolené napětí pro tlak: $\sigma_D = 45 - 70 \text{ MPa}$ - voleno 50 MPa

Dovolená napětí pro namáhání součástí byly volena ze třídy střídavých.

VÝPOČET ČEPU NA STŘIH A KONTROLA NA OTLAČENÍ:

Plocha čepu na stříh:

$$S_{\tau \text{ čepu}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{čepu}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 4,91 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]} \quad (12)$$

Plocha čepu na otláčení:

$$S_{\sigma \text{ čepu}} = D_{\text{čepu}} \cdot l_{\text{čepu}} = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 23 \cdot 10^{-3} = 5,75 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]} \quad (13)$$



Plocha konzole na otláčení:

$$S_{\sigma \text{ KONSOL}} = D_{\text{ČEPU}} \cdot l_k = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 29 \cdot 10^{-3} = 7,25 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]} \quad (14)$$

Napětí působící na čep namáhaného střihem:

$$\tau_s = \frac{F_{\text{tah}}}{2 \cdot S_{\text{ČEPU}}} = \frac{1,62 \cdot 10^4}{2 \cdot 4,91 \times 10^{-4}} = 16,5 \text{ [MPa]} \quad (15)$$

Kontrola bezpečnosti:

$$k_{\text{STRIH}} = \frac{\tau_D}{\tau_s} = \frac{50}{16,5} = 3 \quad (16)$$

NAPĚTÍ ČEPU NAMÁHANÉHO TLAKEM:

Kontrola čepu je pouze v oku pístnice, z důvodu že je zde menší styčná plocha než je v uložení konzole.

$$\sigma_{s\text{ČEPU}} = \frac{F_{\text{tlak}}}{S_{\sigma \text{ ČEPU}}} = \frac{1,62 \cdot 10^4}{5,75 \times 10^{-4}} = 28,17 \text{ [MPa]} \quad (17)$$

Kontrola bezpečnosti:

$$k_{\text{OTALACENI-1}} = \frac{\sigma_D}{\sigma_s} = \frac{80}{28,17} = 2,84 \quad (18)$$

Konzole, která bude připevněna na pohybující se část manipulátoru, je kontrolována výpočtem pouze na otláčení. Celková kontrola na deformaci a výsledné napětí je provedena pomocí pevnostní analýzy.

NAPĚTÍ NA KONSOLE NAMÁHANOU TLAKEM:

$$\sigma_{s\text{KONSOL}} = \frac{F_{\text{tlak}}}{S_{\sigma \text{ KONSOL}}} = \frac{1,62 \cdot 10^4}{7,25 \times 10^{-4}} = 22,35 \text{ [MPa]} \quad (19)$$

Kontrola bezpečnosti:

$$k_{\text{OTALACENI-2}} = \frac{\sigma_D}{\sigma_s} = \frac{50}{22,35} = 2,3 \quad (20)$$

V této části byl proveden návrh a následná kontrola uložení pohonu manipulátoru. Je zde počítáno s maximální možnou silou, která bude v sestavě působit. Autor zde vycházel z předem daných hodnot od výrobce hydromotorů a následně navrhoval a kontroloval všechny části. Základní části jsou dle výpočtů navrženy a kontrolovány. Výsledné parametry bezpečnosti jsou vyhovující. Volené

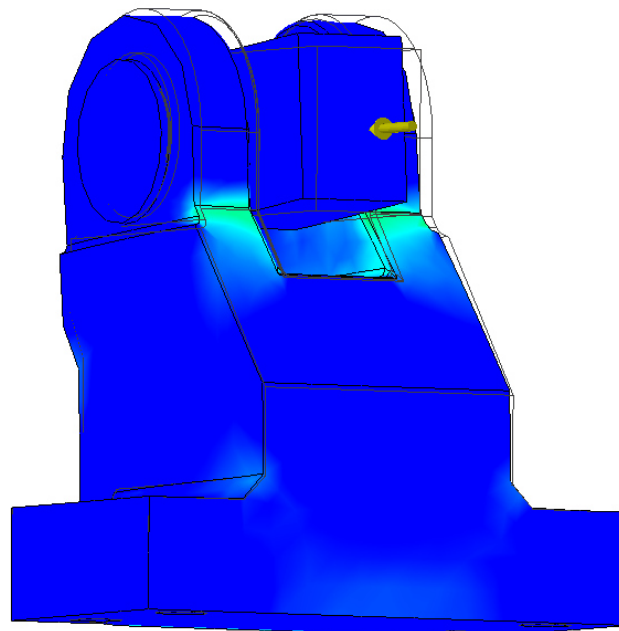
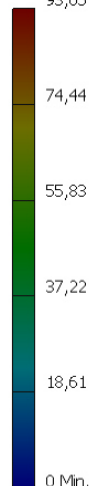


materiály splňují podmínky pro použití jako je dobrá svařitelnost, lehká obrobitelnost a navíc mají dobrou dostupnost a malou pořizovací cenu. Parametry bezpečnosti by byli vyšší, kdyby byly voleny vyšší hodnoty napětí z doporučených hodnot a ne hodnoty ze spodní hranice dovolených napětí. Návrh a kontrola uložení dle výpočtů je splněna. Další kontrola sestavy uložení hydromotoru je provedena pomocí pevnostní analýzy v programu Autodesk Inventor.

3.1.6 KONTROLA ULOŽENÍ HYDROMOTORU - POMOCÍ MKP

Po pevnostních výpočtech základních komponent, které jsou spojeny s návrhem pohonu, je provedena pevnostní analýza částí, které nebyly kontrolovány výpočtem. Jedná se o dva základní prvky, které jsou přímo spjaty s přímočarým hydromotorem. Jako první těleso byla konzole, která je spojena s posuvnou částí manipulátoru a je zatížena přímo maximální silou vyvolanou hydromotorem. Bylo provedeno zjednodušení sestavy. Bylo nahrazeno výklopné pouzdro v oku pístnice a svěrné pouzdro na konci pístní tyče z důvodu, že tyto komponenty jsou dodávány přímo prodejcem a jsou dostatečně dimenzovány. Je dán předpoklad že síla bude působit přesně v ose pístní tyče, jak je znázorněno na obr. 34. Je zde vidět, že největší napětí vzniká u přechodu obou uší do plného materiálu, jak se dalo předpokládat z důvodu síly, která vyvolává moment. Materiál konzole je standardně používaná ocel pro svařované konstrukce 1.0036 dříve 11 373. Bezpečnostní koeficient podle aplikace Autodesk Inventor dosahuje minima 2,2 právě v bodě přechodu uší a pevného materiálu.

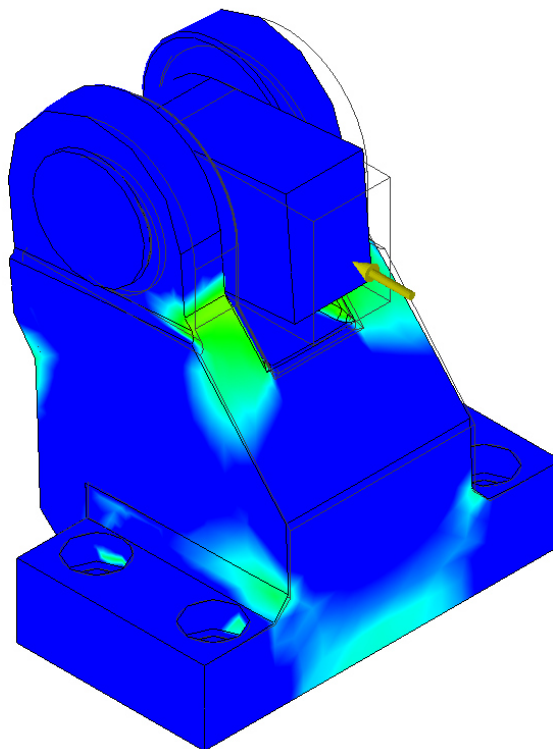
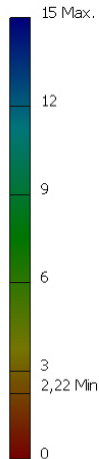
Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
12.5.2016, 11:37:02
93,05 Max.



Obr.34 Napětí působící v konzole pístní tyče



Typ: Součinitel bezpečnosti
Jednotka: ul
12.5.2016, 11:38:34

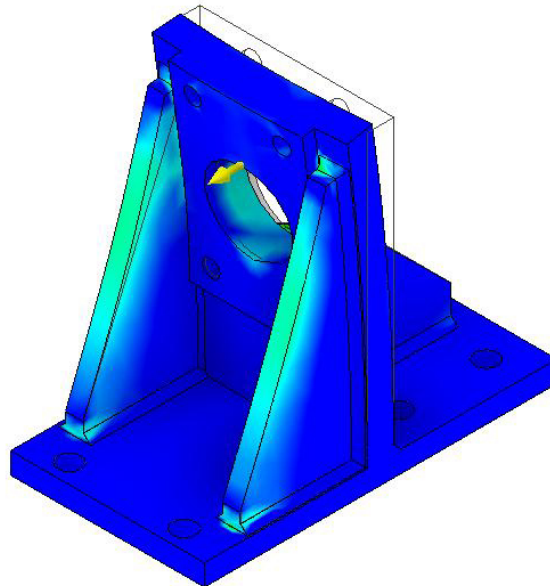
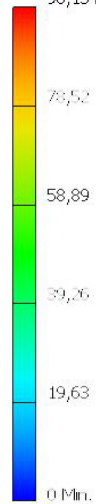


Obr.35 Součinitel bezpečnosti u konzole pístní tyče

Jako další komponenta soustavy pohonu je svařovaná konzole, která hydromotor upevňuje k pevné části manipulátoru. Tato konzole je spojena s přírubovou částí hydromotoru, je zde počítáno s působením síly v ose pístnice. Podle výsledku zkoušky vyplývá, že bude vznikat největší napětí ve svaru kolem prostředního žebra. Na obr. 37 je znázorněn součinitel bezpečnosti, který dosahuje minima 2,1. Takto navržená konzole je vyhovující pro případ namáhání maximální silou vyvolanou hydromotorem.

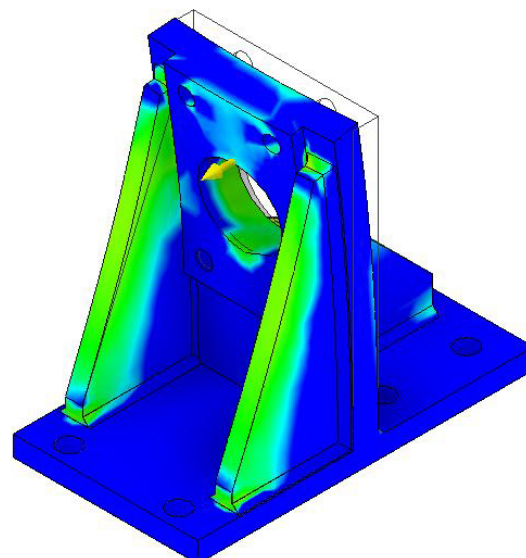
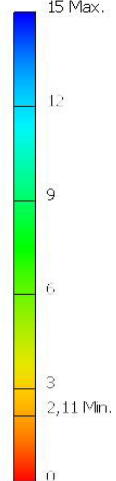


Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
12.5.2016, 11:42:37
98,15 Max.



*Obr.36 Napětí působící u konzole ,
která drží tělo hydromotoru*

Typ: Součinitel bezpečnosti
Jednotka: -
12.5.2016, 11:44:06
15 Max.



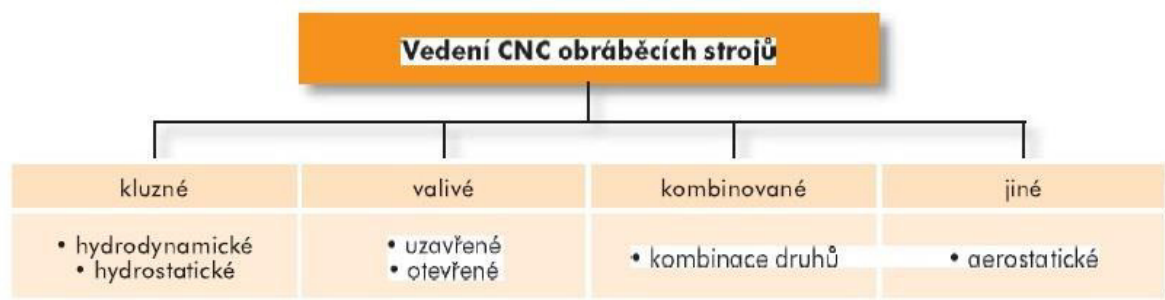
*Obr.37 Napětí působící u konzole ,
která drží tělo hydromotoru*

3.2 VEDENÍ

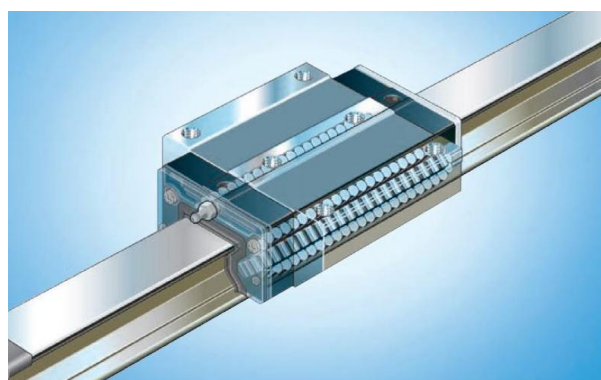
Vedení u obráběcích strojů slouží k definovanému pohybu pohybujících se částí po dané dráze. Při konstrukci obráběcích strojů a jednotlivých uzlů klademe na vodící plochy následující požadavky: [1]

- Vedení má vykazovat vysokou dynamickou a statickou tuhost;
- přesnost vedení dosažená při výrobě by měla být zachována co možná nejdéle = vedení odolné proti opotřebení;
- možnost vymezení vůle po opotřebení;
- vedení musí být vyrobeno s takovou přesností, aby odchylky dráhy byly v požadované toleranci;
- výborná jakost povrchu přispívá ke snížení tření;
- jednoduchý tvar se zřetelem na snadnou výrobu;
- ochrana proti vnikání nečistot.

Druhy vedení používané při stavbě CNC strojů lze vidět na obr. 37. [1]



Obr.38 Druhy vedení u CNC strojů [1]

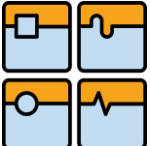


Obr.39 Profilové lineární vedení [23]



Obr.40 Lineární kuličkové ložisko s vodící tyčí [24]

Lineární kuličková ložiska se skládají z klece, oběžné dráhy, oblasti pro návrat kuliček a těsnění. Dlouhé oběžné dráhy a jejich vhodné uspořádání umožňuje přenášet i velmi vysoká zatížení (statická únosnost až 32 000 N). Lineární ložiska jsou vyrobeny v uzavřeném i otevřeném provedení, kde pro velká zatížení je vodící tyč zpevněna podpěrou. [24]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 51
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.2.1 VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT A VOLBA VEDENÍ

Z předchozí kapitoly, kde byly stručně shrnuty současné druhy a principy používané u vedení strojů a jejich uzlů. Bylo rozhodnuto pro použití valivého uzavřeného vedení. Bude to od firmy Hiwin. Jedná se o valivé vedení s válečkovými elementy. Tato volba byla zapříčiněna poměrně velkým zatížením vodících ploch a velkým klopným momentem, který bude vznikat při úplném vyložení manipulátoru. V poslední řadě hraje vliv i charakteristika zadávající firmy, která pracuje výhradně s prizmatickým valivým vedením. Jako další možnost byla uvažována volba valivého vedení na broušených vodících tyčích s podporou. Tento typ valivého vedení by byl také možným řešením, ale z důvodu dobrých zkušeností s prací s prizmatickým vedením se rozhodl pro tuto volbu. Z hlediska konstrukce základny, kde nebude problém opracovat plochu pod lineární vedení dle geometrických požadavků od firmy Hiwin. Náklady na přípravu ploch nebudou nijak závratné a není potřeba upravovat svařovaný podstavec stroje.

3.2.2 NÁVRH LINEÁRNÍHO VEDENÍ

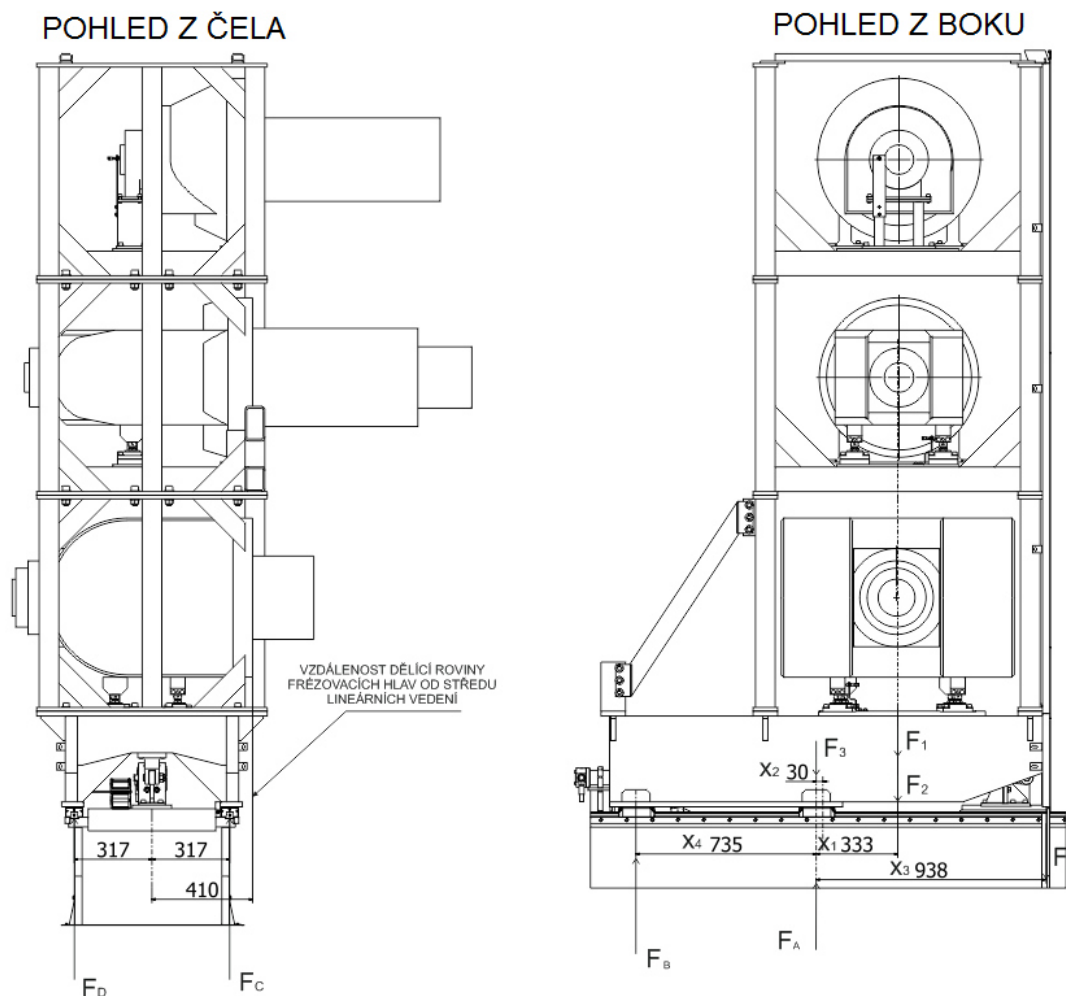
Při návrhu lineárního vedení se postupovalo podle zaběhlého postupu: [25]

- Stanovení zatěžujících cyklů a působících sil na vedení;
- výpočet ekvivalentního statického zatížení na jeden vozík valivého vedení;
- stanovení nejmenší hodnoty statického zatížení, výběr vhodného lineárního vedení;
- stanovení dynamického působení sil na jeden vozík;
- stanovení různých faktorů, jenž zohledňují provozní podmínky (provozní teplota, způsob zatížení, faktor tvrdosti vedení)
- stanovení ekvivalentního zatížení v případě proměnlivého zatěžování;
- výpočet životnosti vedení, hodinové životnosti a kontrola s požadovanou hodnotou.



3.2.3 ROZBOR ZATĚŽUJÍCÍCH SIL

Aby bylo možné vhodně navrhnout lineární vedení, je nutné stanovit působící síly na vedení. Rozložení sil působících na jednotlivé vozíky je vypočítáno silovým rozbohem. Hmotnosti jednotlivých sestav a jejich těžiště jsou počítány pomocí aplikace Autodesk Inventor. Hmotnosti výměnných hlav jsou zadány firmou Trimill.



Obr.41 Rozložení sil působících na lin vedení

Parametry pro výpočet:

Hmotnosti:

m_{F5M}	=	1400	kg
m_{H2M}	=	1350	kg
m_{S1M}	=	1050	kg
$m_{saně}$	=	700	kg
$m_{zakladač}$	=	800	kg
$m_{krytování}$	=	200	kg
$m_{uložiště}$	=	100	kg

Působíště:

- x_1 - Působíště sil od hmotností frézovacích hlav, úložiště a svařovaných zakladačů pro tyto hlavy: 333 mm
- x_2 - Působíště síly vyvolané hmotností saní od prvního vozíku: 30 mm
- x_3 - Působíště síly vyvolané krytváním čela manipulátoru: 938 mm
- x_4 - Rozteč mezi lineárními vozíky: 735 mm



V této kapitole je počítáno působící zatížení na vozíky, přesněji je zde hledán vozík lineárního vedení, který je nejvíce namáhán, ještě před výpočtem se dá předpokládat že se bude jednat o přední pravý vozík při pohledu z čela manipulátoru. Celou sestavu při pohledu z boku manipulátoru si jde zjednodušeně představit jako prut, tento prut je podepřen vozíky lineárního vedení.

VÝPOČET PŮSOBÍCÍCH SIL:

$$F_1 = (m_{F5M} + m_{H2M} + m_{S1M}) \cdot g = (1400 + 1350 + 1050) \cdot 9,807 = 37,3 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_2 = (m_{zakladac} + m_{uloziste}) \cdot g = (800 + 100) \cdot 9,807 = 8,83 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_3 = m_{sare} \cdot g = 700 \cdot 9,807 = 6,87 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (21)$$

$$F_4 = m_{krytovani} \cdot g = 200 \cdot 9,807 = 1,96 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Výpočet sil na vozíky:

$$y: \quad -F_1 - F_2 - F_3 - F_4 + F_A + F_B = 0$$

$$M_A: \quad -(F_1 + F_2) \cdot x_1 - F_3 \cdot x_2 - F_4 \cdot x_3 - F_B \cdot x_4 = 0 \quad (22)$$

Síla působící na přední a zadní vozíky lin vedení:

$$F_B = -1 \cdot \left[\frac{(F_1 + F_2) \cdot x_1 + F_3 \cdot x_2 + F_4 \cdot x_3}{x_4} \right]$$
$$F_B = -1 \cdot \left[\frac{(37,3 \cdot 10^3 + 8,83 \cdot 10^3) \cdot 0,333 + 6,87 \cdot 10^3 \cdot 0,03 + 1,96 \cdot 10^3 \cdot 0,938}{0,735} \right]$$
$$F_B = -23,68 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (23)$$

$$F_A = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 - F_B = 37,3 \cdot 10^3 + 8,83 \cdot 10^3 + 6,87 \cdot 10^3 + 1,96 \cdot 10^3 + 23,68 \cdot 10^3$$

$$F_A = 78,64 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Vypočítané hodnoty pomocí rovnic rovnováhy potvrdily, že přední vozíky jsou namáhané tlakem a zadní vozíky tahem. Výsledné hodnoty jsou brány jako celková síla působící na dvojici předních a zadních lineárních vozíků. V následujícím výpočtu je určeno jakým podílem jsou výsledné síly rozloženy. Vlevo na obr. 41, je vidět že hmotnosti spojené se zakladačem hlav jsou rozloženy přesně v polovině, jediný faktor který bude posouvat výslednice sil jsou samotná těžiště frézovacích hlav, tyto těžiště jsou uvedeny od dělící roviny frézovacích hlav neboli patice pro upínání hlav do smýkadla. Tyto hodnoty jsou na obr. 41 znázorněny. Síla F_1 z minulého výpočtu je zde rozložena do 3 složek, tyto složky vznikají působením hmotnosti jednotlivých hlav v těžišti působíšť.

Parametry pro výpočet:

Hmotnosti:

$$m_{F5M} = 1400 \text{ kg}$$

$$m_{H2M} = 1350 \text{ kg}$$

$$m_{S1M} = 1050 \text{ kg}$$

Působíště:

$$x_{H2M} = 220 \text{ mm}$$

$$x_{S1M} = 50 \text{ mm}$$

$$x_{F5M} = 360 \text{ mm}$$

$$\Delta x = 410 \text{ mm}$$

$$x_{lin} = 317 \text{ mm}$$



Velikosti sil vyvolaných hmotností hlav:

$$\begin{aligned}F_{F5M} &= m_{F5M} \cdot g = 1400 \cdot 9,807 = 13,79 \cdot 10^3 \text{ N} \\F_{H2M} &= m_{H2M} \cdot g = 1350 \cdot 9,807 = 13,24 \cdot 10^3 \text{ N} \\F_{S1M} &= m_{S1M} \cdot g = 1050 \cdot 9,807 = 10,3 \cdot 10^3 \text{ N}\end{aligned}\quad (24)$$

Rovnice rovnováhy 2:

$$\begin{aligned}y: & -F_{S1M} - F_{H2M} - F_{F5M} - F_2 - F_3 - F_4 + F_C + F_D = 0 \\M_C: & -(F_2 + F_3 + F) \cdot x_{lin} - F_{F5M} \cdot (\Delta x - x_{F5M} + x_{lin}) - F_{H2M} \cdot (\Delta x - x_{H2M} + x_{lin}) \\& - F_{S1M} \cdot (\Delta x - x_{S1M} + x_{lin}) + F_C \cdot 2 \cdot x_{lin} = 0\end{aligned}\quad (25)$$

Síla působící na pravé a levé lin. vedení:

$$F_C = \frac{(F_2 + F_3 + F) \cdot x_{lin} + F_{F5M} \cdot (\Delta x - x_{F5M} + x_{lin}) + F_{H2M} \cdot (\Delta x - x_{H2M} + x_{lin}) + F_{S1M} \cdot (\Delta x - x_{S1M} + x_{lin})}{2 \cdot x_{lin}}$$
$$F_C = \frac{\left[8,83 \cdot 10^3 + 6,87 \cdot 10^3 + 1,96 \cdot 10^3 \right] \cdot 0,317 + 13,79 \cdot 10^3 \cdot (0,41 - 0,36 + 0,317) + 13,24 \cdot 10^3 \cdot (0,41 - 0,22 + 0,317) + 10,3 \cdot 10^3 \cdot (0,41 - 0,05 + 0,317)}{2 \cdot 0,317}$$
$$F_C = 38,4 \cdot 10^3 \text{ N}\quad (26)$$

$$\begin{aligned}F_D &= F_{S1M} + F_{H2M} + F_{F5M} + F_2 + F_3 + F_4 - F_C = \\F_D &= 13,79 \cdot 10^3 + 13,24 \cdot 10^3 + 10,3 \cdot 10^3 + 8,83 \cdot 10^3 + 6,87 \cdot 10^3 + 1,96 \cdot 10^3 - 38,4 \cdot 10^3 \\F_D &= 16,6 \cdot 10^3 \text{ N}\end{aligned}$$

Rozložení sil na jednotlivá vedení:

$$\begin{aligned}F_{celkové} &= F_C + F_D = 34,8 \cdot 10^3 + 16,6 \cdot 10^3 = 54,98 \cdot 10^3 \text{ N} \\F_{Pravé} &= F_C = 34,8 \cdot 10^3 \text{ N} \\F_{Levé} &= F_D = 16,6 \cdot 10^3 \text{ N}\end{aligned}\quad (27)$$

Poměr sil na vedeních:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \frac{F_C}{F_{celkové}} \cdot 100 = \frac{34,8 \cdot 10^3}{54,98 \cdot 10^3} \cdot 100 = 69,8 \% \\ \varphi_2 &= \frac{F_D}{F_{celkové}} \cdot 100 = \frac{16,6 \cdot 10^3}{54,98 \cdot 10^3} \cdot 100 = 30,2 \%\end{aligned}\quad (28)$$

Podle rozložení sil lze jednoduše vypočítat že pravé lin vedení při pohledu z čela manipulátoru bude přenášet téměř 70 % zatížení a levé pouze 30 %. Jak bylo předpokládáno tak nejvíce zatížený vozík bude pravý přední při pohledu z čela manipulátoru vlevo na obr. 40.

VÝSLEDNÉ MAXIMÁLNÍ ZATÍŽENÍ P:

$$P = F_A \cdot \varphi_1 = 78,64 \cdot 10^3 \cdot 0,698 = 54,89 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (29)$$

Z výsledných sil působících na lineární vedení je třeba navrhnout vozík na největší zatížení. Na lineární vozíky působí jak tlak i tah, síla která se snaží vozík táhnout směrem nahoru, však není nijak velká a proto ji není věnována pozornost. Výrobce lineárního vedení uvádí, že volený typ lineárních vozíků má stejné dovolené zatížení v tlaku i v tahu. Podle velikosti statického zatížení, bylo voleno lineární vedení od firmy Hiwin. Přesný druh vedení je vybrán z katalogu a jedná se o typ: HIWIN - RGW 35 HC se základními parametry: [26]

$$C_0 = 142 \cdot 10^3 \text{ N} - \text{statické dovolené zatížení}$$

$$C_{\text{dyn}} = 73,1 \cdot 10^3 \text{ N} - \text{dynamické dovolené zatížení}$$

KONTROLA LINEÁRNÍHO VELENÍ:



Z důvodu rychlosti pohybu manipulátoru, která bude nižší než 0,2 m/s, je provedena pouze kontrola lineárního vedení na statické zatížení. Statický bezpečnostní faktor je poměrem základní statické únosnosti a maximálního zatížení daného vozíku.

$$f_s = \frac{C_0}{P} = \frac{142 \cdot 10^3}{54,89 \cdot 10^3} = 2,6 \quad (30)$$

Podle doporučených hodnot z obr. 42, je zvolené lineární vedení vyhovující a dostatečně předimenzované, jelikož manipulátor se bude pohybovat v prostředí normálního zatížení.

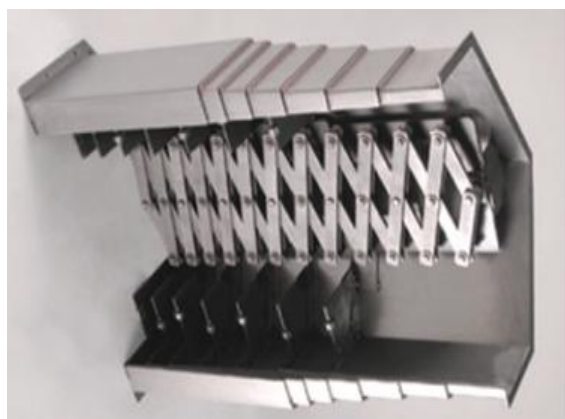
Typ stroje	Stav zatížení	f_s (Spodní limit)
Běžný průmyslový stroj	Normální stav zatížení	1.0 ~ 1.3
	S rázy a vibracemi	2.0 ~ 3.0
Strojní nářadí	Normální stav zatížení	1.0 ~ 1.5
	S rázy a vibracemi	2.5 ~ 7.0

Obr.42 Standardní hodnota statického bezpečnostního faktoru [21]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.3 KRYTOVÁNÍ A OCHRANA FUNKČNÍCH PLOCH, PŘÍVOD MÉDIÍ

Krytování obráběcího stroje je jeho nedílnou součástí. Ochranné kryty stroje se skládají z krytů pracovního prostoru. Tyto kryty dělíme na vnitřní, které slouží k ochraně pohybových mechanismů a vnější, které oddělují pracovní prostor stroje od okolí. Ochranné kryty vnitřní se skládají z koryt, skluzů a dalších částí, na které přímo navazuje pohyblivé krytování stroje. Vnější ochranné kryty, které jsou schopny kvalitně odhlučnit pracovní prostor stroje od okolí, splňují parametry průraznosti a další požadované specifikace a zároveň přináší velký vliv na celkový design stroje a na výsledné ceně stroje se podílí nemalým dílem. Při samotné konstrukci veškerého krytování stroje musí konstruktér dbát na to, aby tento uzel u obráběcího stroje splňoval náročné provozní požadavky, nařízení, normy, a nijak nesnižoval ergonomii stroje. Jelikož jsou u současných strojů všechny mechanismy většinou řádně zakrytovány, musí konstruktér počítat s tím, že krytování se podílí v drtivé míře na výsledném designu stroje. [1]




Obr.43 Pohyblivý kryt stroje [27]



Obr.44 Svařované krytování stroje [28]

Jednou z hlavních podmínek pro správnou funkci vedení je zamezovat vnikání nečistot, prachu a cizích tělísek do styčných ploch, které se navzájem po sobě pohybují. Nečistoty, které se dostanou mezi tyto plochy, velice poškozují a zkracují životnost vodících ploch. Hlavními možnostmi, které zabraňují tomuto opotřebování, jsou v dnešní době kryty a stěrače.

Z důvodu nutnosti přivádět média jako jsou vzduch, provozní kapaliny, hydraulika a energie na pohybující se části obráběcího stroje nebo jeho periferií, jsou konstruovány energetické nosiče. Jednotlivé prvky, které používáme pro přívod médií, jsou rozmístěny a odděleny tak, aby při pohybu nedocházelo k jejich vzájemnému poškozování. Při výběru vhodného energetického řetězu, je nutné brát v potaz celkový pojezd pohybující se části, poloměr ohybu, počet prvků, které potřebuje vést, poloměr ohybu a zástavbové rozměry. V dnešní době je mnoho firem, které se zabývají výrobou těchto nosičů. [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 57
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.3.1 PRVKY PRO KONTROLU A BEZPEČNOST

Pohony strojů a jednotlivých periférií většinou vyžadují indikaci koncových poloh. Jedním druhem snímačů pro indikaci koncových poloh jsou snímače bezkontaktní. Výhodou bezkontaktních snímačů polohy je, že nedochází k žádnému mechanickému opotřebení, jako je u kontaktních snímačů. První indukční bezkontaktní snímače byly vyvinuty již v roce 1958 a v současné době lze najít široké spektrum bezkontaktních snímačů v různých rozsazích měření a velikostí samotného čidla. Kromě čidel válcových jako jsou na obr. 45, jsou mnohdy používána čidla v hranolovém pouzdru nebo jiném pouzdru. [29]





Obr.45 Bezkontaktní snímače [29]

Koncové a bezpečnostní snímače mechanické, v dnešní době představují cenově výhodné řešení pomocí dotykového snímání předmětů. Jsou vyráběny ve velkém sortimentu tvarů a velikostí pouzder, různých stupňů krytí, s různými spínacími charakteristikami a hodnotami spínaných veličin. Mezi jejich nejčastější použití patří: [30]

- Příslušenství strojů: Obráběcí stroje, lisy, dopravní linky;
- zařízení pro manipulaci s materiálem;
- stavební stroje a zařízení;
- textilní stroje;
- balící stroje a zpracovací zařízení.

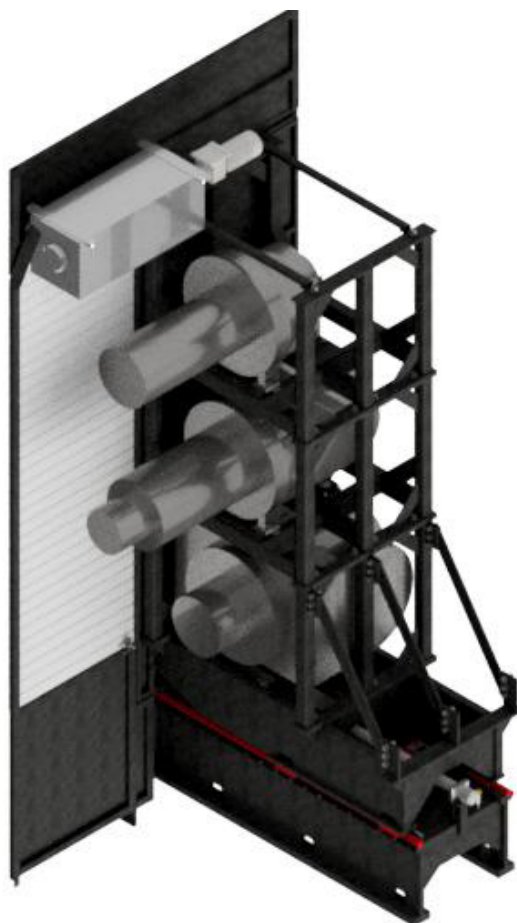


Obr.46 Dotykové snímače polohy [30]


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 58
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH SYSTÉMU

Tato kapitola se zabývá konstrukčním návrhem daného systému. Tento systém se skládá z několika hlavních komponent viz. obr. 47. Jedná se o pevný svařovaný stojan, který slouží jako základna pro posuvovou část systému. Posuvová část manipulátoru je opět vytvořena pomocí svařovaných dílců. Tato část byla vytvořena jako stavebnicová. Celá tato sestava musí také splňovat bezpečnostní i ergonomické podmínky, a je žádoucí tuto část stroje řádně zaskytovat a umožnit její snadné a bezpečné používání. Konstrukce svařovaných částí rámu, popřípadě celého systému, je značně složitý proces, u kterého je nutná spolupráce konstruktéra, technologa, výpočtáře i programátora výsledného systému. Konstrukční návrh nosných částí manipulátoru se v dnešní době provádí převážně pomocí výpočtových programů a to metodou konečných prvků (MKP). V oblasti MKP programů je v dnešní době již široký výběr, avšak pro strojní dílce se dnes nejvíce využívá programu ANSYS, který umožňuje nepřeberné množství nastavení parametrů tak, aby teoretické testování co nejvíce odpovídalo budoucímu reálnému zatížení. Vzhledem k tomu, že autor práce nikdy nepracoval s tímto systémem, bude provádět pevnostní analýzu v programu Autodesk Inventor. Tento program je v dnešní době také velice používaným softwarovým nástrojem pro tyto výpočty. Pomocí této metody budou kontrolovány pouze základní části nosného systému.



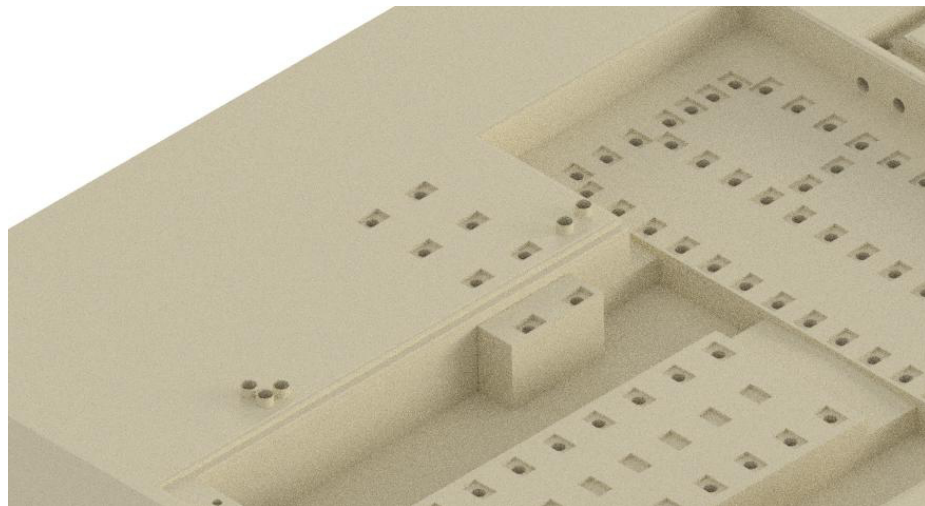
Obr.47 Pohyblivý manipulátor pro systém AVH

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 59
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.1 KONSTRUKCE MANIPULÁTORU



Jako prvním bodem při návrhu systému pro výměnu frézovacích hlav se autor zabývá konstrukčním řešením hlavních nosných částí. Manipulátor se skládá z několika prvků. Ještě před konstrukcí těchto prvků byla nutná úprava samotného základu stroje a přemístění dalších uzlů na stroji tak, aby systémy AVN a automatického měření nástrojů zůstaly funkční a nebyly nijak ovlivněny systémem pro výměnu hlav. Jelikož systém AVN byl přemístěn na druhou stranu stroje, nabízí se poměrně velký prostor v levé části stroje. Celková konstrukce manipulátoru byla vytvářena tak, aby zapadla do současného stroje a nemusely se kvůli němu nijak výrazně měnit současné komponenty používané na stroji, jako jsou dopravníky třísek, krytování stroje, dveře a jiné části stroje.

ZÁKLAD STROJE:



Obr.48 Úprava základu stroje

Z důvodu změny koncepce rozmístění uzlů na stroji bylo rozhodnuto pro úpravu základu stroje. Díky tomu, že došlo k přesunutí systému pro AVN a systému měření nástrojů, vznikl poměrně velký prostor pro realizaci systému pro výměnu hlav. Byl vytvořen betonový "výčnělek" pro uložení pevného rámu svého manipulátoru. Díky tomuto "výčnělku" lze konstruovat manipulátor s menším vyložením, a to vede k faktu, že nemusí být nosné části tak robustní, což vede opět ke snížení ceny. Konstrukce betonového "můstku" zde není rozebrána dopodrobna, skládá se však pouze z armovaného betonu, jako většina základu kolem. Do něj jsou zapuštěny přípravné plochy pro zabetonování fixátorů. Betonový "můstek" je uložen přibližně o 100 mm níže než je podlaha okolo stroje, a to z důvodu krytování stroje, které je popsáno dále v této práci.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 60
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	


SVAŘOVANÝ RÁM STROJE : STATICKÝ

V rámci nosných částí strojů lze rámy/stojany realizovat z různých druhů materiálů. Mezi nejčastěji používané materiály na rámy stroje patří šedá, popřípadě tvárná litina a to ve formě odlitků. Výhody litiny jsou v dobré obrobitelnosti a vysoké materiálové tlumení. Konstrukce z litiny je u nosných částí strojů velice známou a zavedenou technologií. Nevýhodou je, že odlitky se ekonomicky začínají vyplácet až u větších sérií. Dalším druhem pro nosný rám je svařenec. Tento druh nosné konstrukce se vyplácí a je přímo vhodné jej volit pro jednotlivé provedení nebo malé série. Svařence oproti litinovým odlitkům mají většinou menší hmotnost a to z toho důvodu, že ocel má větší modul pružnosti v tahu i ve smyku než litina. Z důvodu žebrování a nutného zřetele na konstrukci odlitků, je někdy nutné volit širší stěny, než by bylo nutné z důvodu technologie odlévání. [1]



Obr.49 Pevná základna manipulátoru

Jako pevný základ manipulátoru je volen svařenec, tento svařenec se skládá z výpalku plechů, řezaných profilů dutých i plných. Svařovaná konstrukce by měla být na výrobu rychlá a relativně levná. Vyrábět nosný rám z litiny bylo zamítnuto z důvodu, že zatím není předpoklad pro sériovou výrobu těchto systémů. Předpokládá se použití maximálně několika kusů za rok.

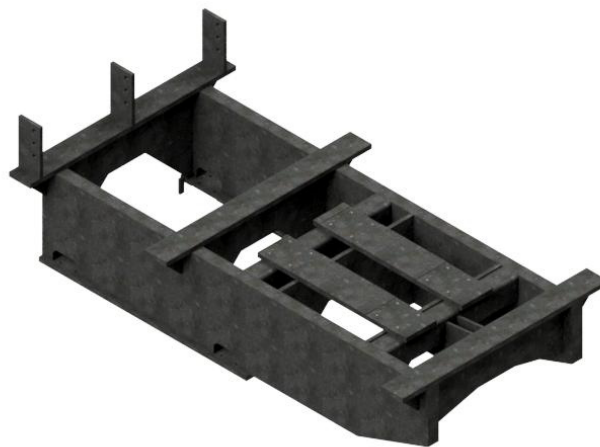
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 61
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Jako první se všechny části manipulátoru svaří a až následně obrobí všechny funkční plochy. Díry pro ustavení manipulátoru budou pouze vypáleny. Díky použití výškově nastavitelných fixátorů není potřeba obrábět spodní dosedací plochy stojanu. Hlavní důraz u obrábění tohoto svařovaného rámu bude kladen na obrobení dosedacích ploch pro lineární vedení, které bude namontováno na horní části. Další technologickou operací bude obrobení plochy pod domek pro pístnici. Tato plocha musí opět splňovat požadované geometrické tolerance. Další funkční části stojanu, sloužící pro uchycení různých druhů krytování a jiných komponent, budou obrobena také po svaření.



Jelikož se předpokládá obrábění všech částí na víceosém obráběcím centru VU 3021, kterým disponuje firma Trimill, celý svařovaný rám bude možno obrábět na jedno upnutí. Podle nabízených specifikací výrobce stroje Trimill nebude problém dosáhnout požadovaných tolerancí ploch pod lineárním vedením, což by opět mělo snížit celkovou cenu tohoto systému z důvodu obrábění na vlastním stroji.

SWAŘOVANÝ RÁM STROJE : "SANĚ"

Celkový zavážecí manipulátor by se dal rozdělit do dvou základních částí. Pevná část, která se ustaví na základ stroje a pohybující se část. Pohybující se část se opět skládá se dvou základních částí. První část je nosný rám tzv. saně, které slouží pro dosažení požadovaného vyložení při výměně hlav. Jedná se o konstrukci převážně tvořenou výpalkami z plechů o tloušťce od 10 mm do 40 mm. Je předpokládáno, že se všechny části budou vypalovat na plazmě, která umožňuje pálení těchto tloušťek při zachování pěkného řezu. Všechny komponenty se dle technické dokumentace nejdříve svaří a následně se obrobí funkční plochy. Jak je již patrné, tak bude nosná konstrukce poměrně namáhána na ohyb v místě od prvního vozíku zprava, směrem do pravé strany. Jelikož je předpokládáno zatížením okolo 4000 kilogramů, které budou na této části nesené, volil poměrně robustní konstrukci, aby nedocházelo k větším deformacím. Volba dvou širších výpalků výrazně nezvýší pořizovací cenu systému, ale zabezpečí dostatečné předimenzování.



Obr.50 Pohyblivá část manipulátoru - Saně

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 62
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SVAŘOVANÝ RÁM STROJE : "LŮŽKA PRO HLAVY"

Druhou část pohyblivé části manipulátoru jsou lůžka pro uložení frézovacích hlav. Tato část systému je vytvořena jako stavebnicová. Z důvodu, že se předpokládá nabízení mnoha jiných frézovacích hlav a ne pouze tří zadaných - (F5M, S1M, H2M), se autor rozhodl pro univerzální koncepci lůžek pro uložení frézovacích hlav. Lůžka jsou vytvořena pro největší uvažovanou frézovací hlavu a to F5M. Proto je možno sestavit různé druhy frézovacích hlav a jejich počet. Je možné, že zákazník nebude požadovat 3 výměnné hlavy, ale pouze dvě. Pak se jednoduše jedno lůžko odstraní.

Lůžka jsou již vytvořena převážně ze silnostěnných ocelových profilů, které jsou vhodně svařeny a vyztuženy. Tyto kusy se na sebe jednoduše přišroubují pomocí pevnostních šroubů na rozhraní každého lůžka. Při konstrukčním návrhu části stroje byla snaha o jejich jednoduchost, což by snižovalo pořizovací náklady materiálu a také výrobní náklady na vytvoření jednotlivých svařenců a jiných částí. Kontrola těchto svařenců proběhla pomocí metody MKP. Je zde opět voleno mírné předdimenzování z důvodu možného zvolení více těžkých hlav zákazníkem.



Obr.51 Pohyblivá část manipulátoru - Lůžka



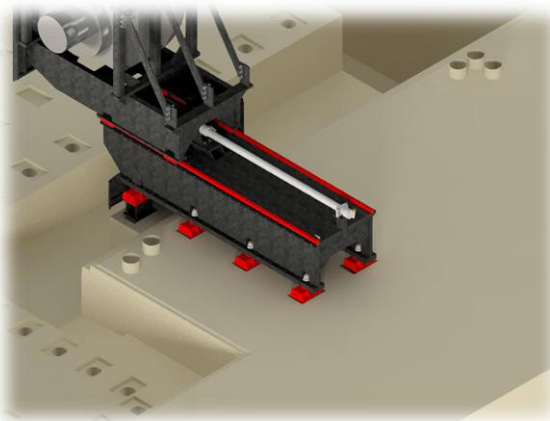
4.2 USTAVENÍ MANIPULÁTORU

Z důvodu velkého klopného momentu, který na manipulátor bude působit je nutné, aby pevná část manipulátoru byla připevněna k betonové podlaze. Bylo rozhodnuto přichycení manipulátoru realizovat pomocí tzv. fixátorů a "kotev". Svařovaný rám je přitáhnut k podlaze pomocí kombinace pevnostních šroubovic, podložek

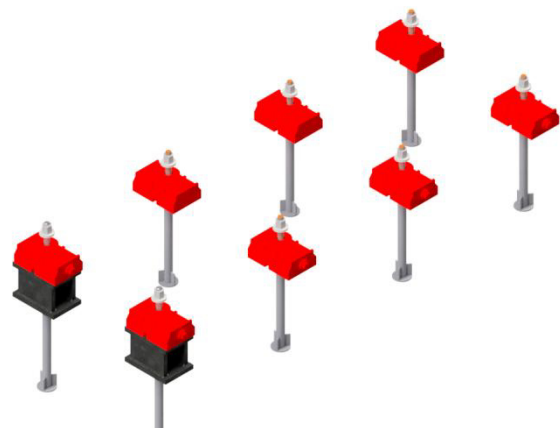
a matic, šroubovice, které prochází přes fixátory jsou zašroubovány do kotev.

Kotvy: Jedná se o komponenty, které jsou zabetonovány do podlahy. Kotva je tvořena pomocí trubky, kde na jedné straně je vytvořen vnitřní závit M24, do kterého se následně přišroubuje šroubovice na přitáhnutí požadované komponenty. Na druhé straně (spodní) je vytvořen element, který zabraňuje vytažení kotvy vlivem dotahování z betonového lůžka.

Fixátor: komponenta, která nám umožňuje výškové nastavení, je konstruována na vysoké zatížení, zvolené fixátory fungují na principu dvou klínů proti sobě, při pohybu jednoho z klínů se mění výška ukotvení.



Obr.52 Ustavení manipulátoru 1

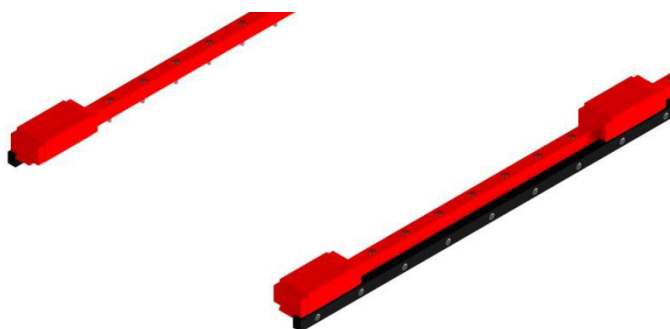


Obr.53 Ustavení manipulátoru 1

Bylo rozhodnuto pro použití tohoto druhu ustavení z důvodu snadného ovládání, další možností by bylo použití zabetonovaných kotev a odměřovacích podložek, tato varianta by byla levnější, však náročná na nastavování výšky, proto nebyla realizována.

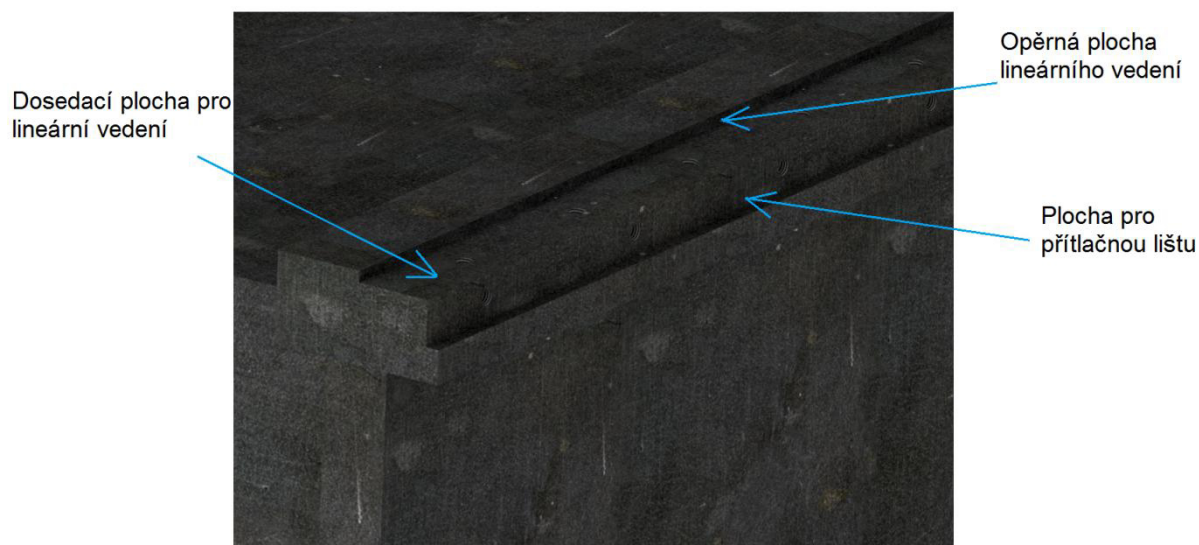
4.3 VEDENÍ MANIPULÁTORU

Horní část manipulátoru, ve které jsou uloženy výměnné hlavy, bude namontována na vozíky lineárního vedení. Toto vedení bude namontováno na pevný rám manipulátoru, tento rám byl konstruován tak, aby splňoval požadavky pro instalaci lineárních vedení, jako jsou například dostatečná tuhost, rovinost plochy pod lineárním vedením, vzájemnou rovnoběžnost ploch, na které se toto vedení instaluje, jak dosedací, tak opěrnou a jakost povrchu pod tímto vedením.



Obr.54 Lineární vedení- 1

Pevný rám se bude obrábět na stroji VU 3021, tento stroj je schopen upnout takto velký obrobek a dosažení požadovaných tolerancí u něj nebude problém. Na tomto stroji budou obráběny všechny potřebné plochy a závity. Lineární vedení bude následně namontováno na tělo manipulátoru, toto přichycení je realizováno pomocí pevnostních šroubů. Jako další doplňující prvek je použití přítlačné lišty vedení, tyto lišty zajistí kvalitní dotlačení těla lineáru na opěrnou plochu.

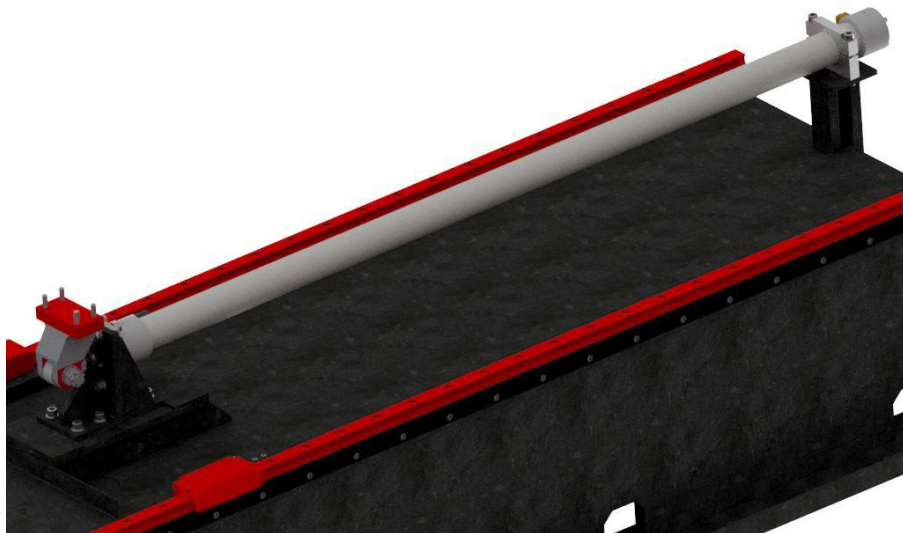


Obr.55 Lineární vedení- 2





4.4 POHON MANIPULÁTORU

Pohon je realizován pomocí přímočarého hydromotoru. Uložení tohoto motoru je pomocí dvou svařovaných konzolí. Svařovaná konzole, která se nachází na konci motoru, slouží pouze na podepření a nepřenáší žádné síly. Hlavní konzole, ke které je motor pomocí příruby připevněn, je vytvořena ocelovými výpalkami svařenými k sobě. Tato konzole byla kontrolována pomocí MKP metody. Na pravé straně obr. 56 je vidět svorka, která bude držet tento motor v požadované poloze. Z důvodu velkého zdvihu motoru, a tím důsledkem dlouhého těla pístnice, je nutné výškové ustavení hydromotoru. Protože pouze přírubové připevnění není dostatečné a hrozilo by prohnutí tohoto motoru a následné poškození, je nutné druhý konec ustavit. Výškové ustavení motoru bude provedeno pomocí dobrušovacích podložek, které se umístí pod svorku.



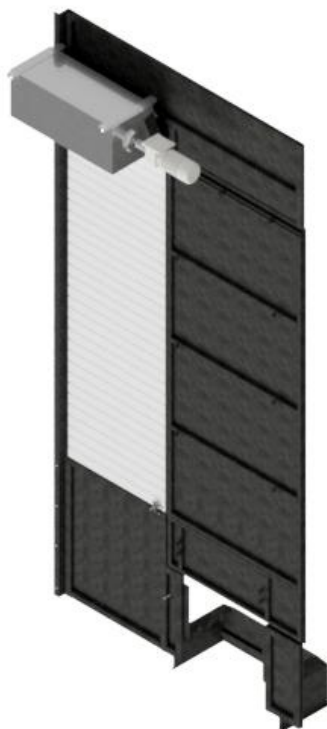
Obr.56 Uložení přímočarého hydromotoru

Konzole, která bude připevněna k pohybující se části manipulátoru, byla také kontrolována pomocí metody MKP. Jedná se o vhodně upravenou komponentu, která musí splňovat geometrické tolerance jako jsou souosost děr pro čep a rovinnost osy pro čep s plochou pro přitáhnutí k pohybující se části. Z důvodu výklopného oka není tolerance pro tuto rovinnost tak vysoká.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 66
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

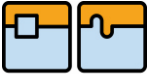

4.5 KRYTOVÁNÍ MANIPULÁTORU

Krytování manipulátoru se rozděluje na dvě základní části. Části, které se pohybují při vyjíždění a zajiždění manipulátoru a části, které jsou statické. Obě části krytování slouží pro oddělení samotného mechanismu od pracovního prostoru. Dále také slouží k ochraně frézovacích hlav umístěných na lůžkách, aby nedocházelo k jejich znečišťování vlivem řezných kapalin a třísek.



Obr.57 Krytování manipulátoru

Pohyblivých krytů je v dnešní době celá škála. Autor se rozhodl využít dva základní typy. Jako první pohyblivý kryt bude sloužit čelní stěna manipulátoru. Jedná se o svařovaný rám, na kterém jsou umístěny obyčejné plechy. Podobná koncepce je použita na krytování celého stroje. Výhodou tohoto krytování je jednoduchá konstrukce, vysoká životnost z důvodu dobré odolnosti vůči třískám a není nutno navrhovat vlastní pohon krytu. Nevýhodou je fakt, že manipulátor, který nese všechny frézovací hlavy a mnoho dalších prvků, musí nést další hmotu navíc. Nesená část krytování, která bude vážit přibližně 200 kg není v poměru s celkovou hmotností nijak rozhodující. Jako další část pohyblivého krytování bude roletový kryt od firmy Hestego. Tento kryt je zde z důvodu zakrytí druhé poloviny systému pro výměnu hlav. Z důvodu vlastní výměny frézovacích hlav je nutná mobilní zábrana, která se přemístí před vlastním vyjetím manipulátoru. Bylo zvažováno několik druhů jako jsou takzvané "kukačky", které se rozevřou při vyjíždění manipulátoru nebo pohyblivou zástěnu, která pomocí přídatného pohonu odjede stranou. Volba "kukaček" z realizace samotné výměny není proveditelná, pohyblivá zástěna by byla možná, ale musela by se pohybovat poměrně velká část krytování po dráze přibližně dva metry, proto se autor rozhodl pro koncepci s roletovým krytem.

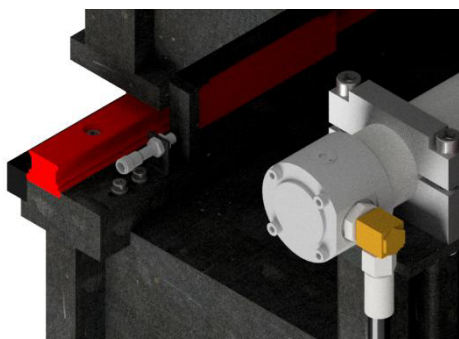
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 67
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.6 PRVKY ŘÍZENÍ A BEZPEČNOSTI

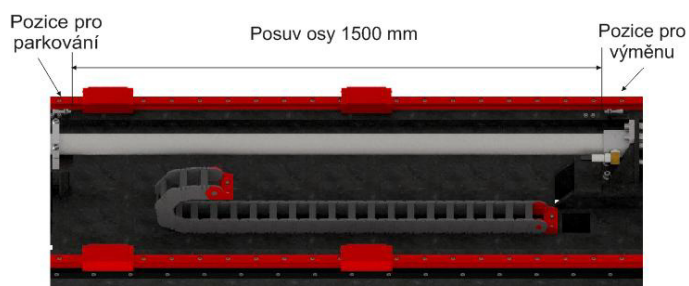
Tato kapitola se zabývá realizací návrhu komponent, které jsou zapotřebí pro bezpečný a spolehlivý chod systému. Řídící systém stroje je centrálním mozkiem celého CNC stroje, jedná se o počítačový software, který realizuje veškeré pohyby stroje. Tento systém však pro správnou funkci potřebuje dostatek informací. V kapitole 3.1.4 autor provedl jednoduché seznámení se základními senzory pro detekování pohybu a polohy. Základní prvky systému pro AVH potřebují několik senzorů pro detekci hlav, detekci správného najetí pro výměnu a detekci otevření či zavření roletového krytu.

Snímače polohy manipulátoru:

Tyto snímače jsou umístěny do systému pro zajištění informace o tom, zda je manipulátor v poloze pro výměnu hlavy nebo v parkovací poloze. Tato informace je nutná z důvodu toho, kdyby manipulátor z nějakého neznámého důvodu byl sice vyjet, ale nebyl najet přesně. Nepřesné najetí manipulátoru by způsobilo rozdílnou polohu pro výměnu smýkadla a upínací patice frézovacích hlav a následky této chyby by byly fatální. Jako druhá poloha pro nutnou kontrolu je poloha, kdy je manipulátor v parkovací poloze z důvodu toho, že roletový kryt najíždí přesně do vodící plochy, která je namontována na pohybuující se části manipulátoru. Jako další následek nesprávného najetí by bylo špatné těsnění proti provozním kapalinám z důvodu nedovření krytování.



Obr.58 Umístění koncového snímače



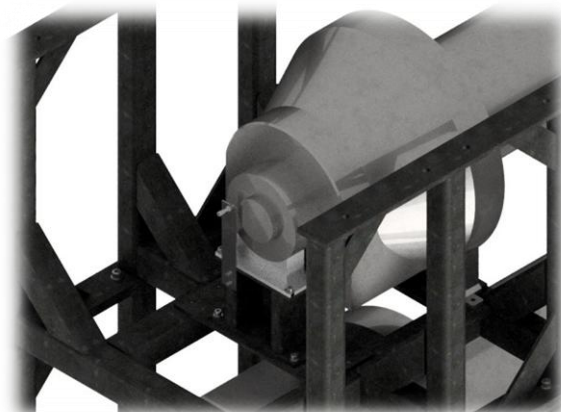
Obr.59 Umístění koncových snímačů

Snímače frézovacích hlav:

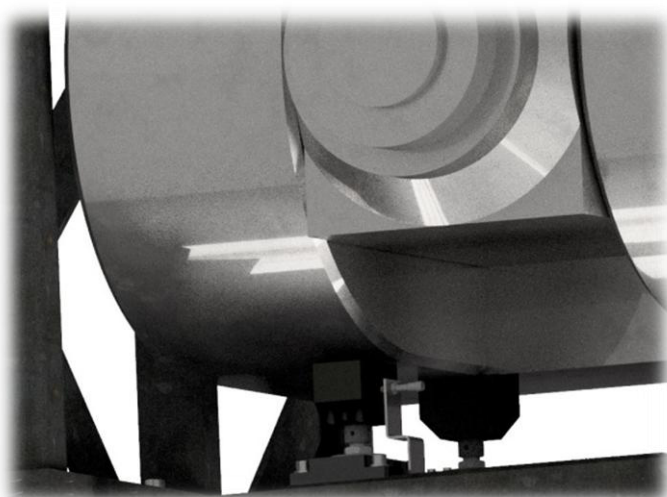
Další snímače, které jsou použity u systému AVH, jsou snímače detekce frézovacích hlav. Tyto snímače jsou zde z důvodu nutné informace pro řídicí systém stroje. Jedná se o informaci, zda je frézovací hlava uložena v lůžku nebo není. Z důvodu vypnutí stroje by po opětovném zapnutí neměl žádné informace, jakou hlavu má vůbec upnut ve smýkadle. Dalším důvodem pro umístění těchto snímačů je fakt, že jsou využity jako kontrola správného uložení v zakladači pro hlavy. Při vhodném nastavení snímačů můžeme zajistit, že frézovací hlava je uložena například ve správné osové vzdálenosti vůči smýkadlu jako je například na obr. 61, kde je frézovací hlava S1M a snímač kontroluje vzdálenost přímo na čele frézovací hlavy. Na dalších frézovacích hlavách jsou snímače použity trochu odlišně, jelikož již samotné uložení hlavy nám dovoluje pouze jednu pozici, tak snímače slouží pouze pro informaci, zda je frézovací hlava v lůžku či nikoliv.



Obr.60 Snímání hlavy H2M



Obr.61 Snímání hlavy S1M

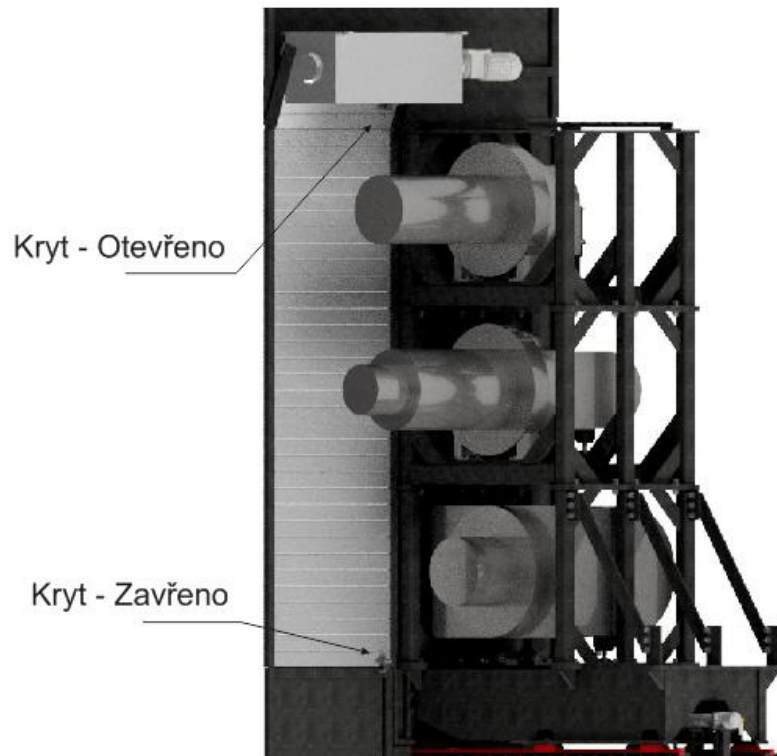


Obr.62 Snímání hlavy F5M

Frézovací hlava S1M je kontrolována pomocí senzoru, který je umístěn před čelem vřetena a je schopen podat informaci o osové vzdálenosti. Frézovací hlavy H2M A F5M jsou osazeny konzolami pro parkování, autor se rozhodl tyto hlavy snímat pomocí těchto konzol. Díky principu kuželového uložení frézovacích hlav, lze snímat pouze informaci, zda je daný objekt před snímačem či ne a je zároveň jisté, že frézovací hlava je na správné poloze pro výměnu.

Snímače roletového krytu:

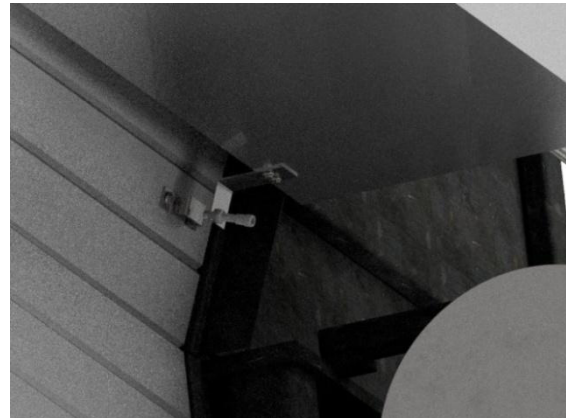
Jelikož je potřeba znát informaci o tom, zda je roletový kryt otevřen nebo zavřen, bylo nutné i pro tuto část zajistit senzorku. Bylo využito snímání objektu, který bude připevněn na poslední část roletového krytu. Jedná se o ocelovou konzoli, která se pomocí spojovacího materiálu svrtá s posledním elementem roletového krytu. Toto umístění nebude nijak bránit pohybu krytu nebo namotání elementu pohyblivého krytování.



Obr.63 Umístění snímačů roletového krytu





Obr.64 Snímač roletového krytu
zavřeno



Obr.65 Snímač roletového krytu
otevřeno

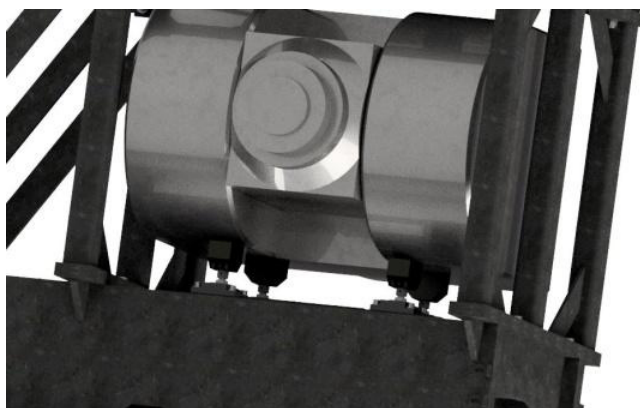
Jelikož je předpokládáno, že k systému AVH bude mít obsluha přístup pomocí dveří umístěných v krytování u tohoto systému, je nutné použití centrálního nouzového tlačítka poblíž tohoto vstupu. Vstup k systému je vhodný pro údržbu stroje a případné upravování systému AVH. Toto tlačítko by mělo být vždy u pohyblivých částí stroje, které mohou nějak ohrozit bezpečnost obsluhy, jelikož systém AVH bude pohybovat poměrně velkými hmotami. I když rychlosti budou pomalé, může zde hrozit přimáčknutí a jiná nebezpečí, proto autor doporučuje použití nouzového odstavení stroje u systému AVH.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 70
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.7 NÁVRH USTAVENÍ VÝMĚNNÝCH HLAV

Podle zadání firmy nebylo úkolem autora práce zabývat se přímo uložením frézovacích hlav, ale jelikož pro správné fungování dalších systémů a následné kontroly je nutné, aby autor znal přenášení sil na podpory zakladače, rozhodl se pro realizaci tohoto uložení. Toto řešení není realizováno kompletně, je zde uveden pouze možný návrh některých variant uložení. Z důvodu mírného předimenzování systému však nebude fatální, pokud se firma Trimill rozhodne pro jiné uložení frézovacích hlav a tím pádem by se změnila působíště sil na nosný rám manipulátoru.

Frézovací hlava F5M bude uložena pomocí konzolí, které se namontují na litinové tělo samotné hlavy. Tento přípravek je vidět na obr. 66. Jedná se o přesně obrobenu součást, která má v sobě vnitřní nesamosvorný kužel. Tento kužel pak zapadá do protikusů, který je namontován na určeném místě v zakladači. Druhá část tohoto systému se díky jemnému závitů a kontra matici dá výškově nastavit. Dále jsou ve spodní desce pevné části upínače vytvořeny drážky, díky kterým se dá konzole nastavovat i do stran. Výhodou uložení frézovací hlavy F5M je fakt, že se těžiště nachází přibližně 360 mm od připojovací patice směrem k čelu vřetene, což je v prostoru mezi umístěnými přípravky pro uložení hlavy, což v případě hlavy S1M není tak jednoznačné.



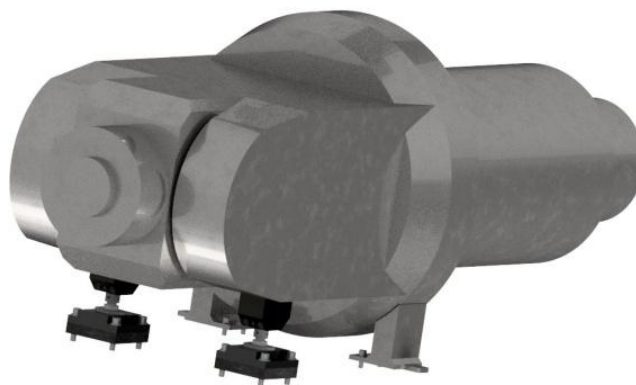
Obr.66 Uložení hlavy F5M



Obr.67 Přípravek pro ustavení frézovacích hlav

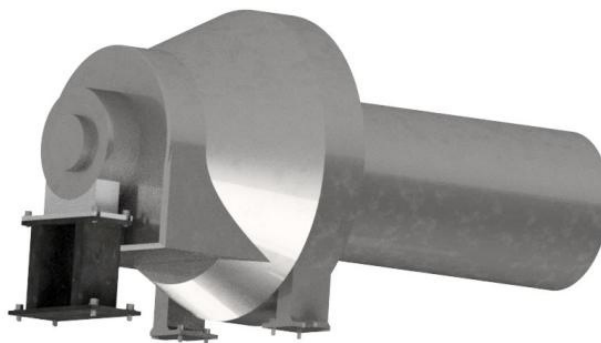


Uložení hlavy H2M je realizováno kombinací uložení pomocí přípravků a speciálních konzolí. Toto uložení lze vidět na obr. 68, speciální konzole, které využívají pro ustavení válcové plochy na frézovací hlavě. Z důvodu že těžiště frézovací hlavy je kvůli elektrovřetenu, které vyčnívá směrem do smýkadla, posunuto k upínací patici. U této hlavy je těžiště přibližně 220 mm. Pro jistotu stabilního uložení frézovací hlavy je však vhodné, aby uložení hlavy bylo podepřeno co nejbližší k této patici pro dobrou stabilitu hlavy. Opětovným užitím přípravku z Obr. 67 je zajištěna fixace proti natočení hlavy kolem osy a opět slouží pro podpěru hlavy a její ustavení.



Obr.68 Uložení frézovací hlavy H2M

Poslední frézovací hlava, která se nachází na nejvyšším místě v zakladači, je hlava S1M. Uložení této hlavy je poněkud komplikovanější, bylo opět využito přípravku na uložení válcové části hlavy. Jako další bod opěru byla využita válcová plocha u vřetene. I když těžiště frézovací hlavy je přibližně 30 mm před upínacím rozhraním, autor by doporučil pro lepší fixaci hlavy využití například pneumatického přidržovače, který by se mohl umístit naproti přípravku, který podepírá válcovou plochu u čela vřetena, tento přidržovač by zajistil i pevnější fixaci frézovací hlavy.



Obr.69 Uložení frézovací hlavy S1M



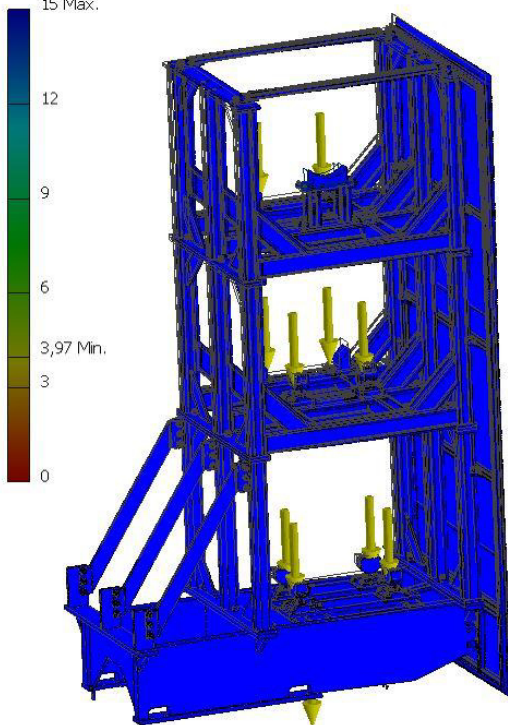
5 PEVNOSTNÍ ANALÝZA SESTAVY

Tato kapitola se věnuje popisu a zhodnocení simulace nosných částí systému pomocí metody konečných prvků. Simulace byla provedena pomocí programu Autodesk Inventor. Zatěžování nosných částí bylo provedeno pomocí superpozice. Nejprve byla kontrolována pohyblivá část manipulátoru, jak je možno vidět na obr. 70,71,72. Z výsledných sil byl pak kontrolován pevný rám(základna) manipulátoru. Autor se pro tuto volbu rozhodl z důvodu eliminace pružného elementu, kterým je lineární vozík. Nahrazení lineárních vozíků vhodnou pružinou by bylo velice složité a výsledek by nemusel být tak přesný.

Jelikož bylo spočítáno pomocí rovnic rovnováhy zatížení na jednotlivé vozíky a podle velikosti těchto sil byly navrženy lineární vozíky, vynechává je z kontroly pomocí této metody. V této kapitole jsou zkoumány faktory jako deformace, posunutí a bezpečnost. Zatěžující síly vzniklé hmotností uložených hlav jsou umístěny do přípravků na jejich ustavení, poměr těchto sil je rozložen pomocí jejich těžišť. Dále jsou zde zahrnuty všechny gravitační síly, které působí v systému od hmotností jako krytování, nosný rám, hmotnost saní která působí na základnu.

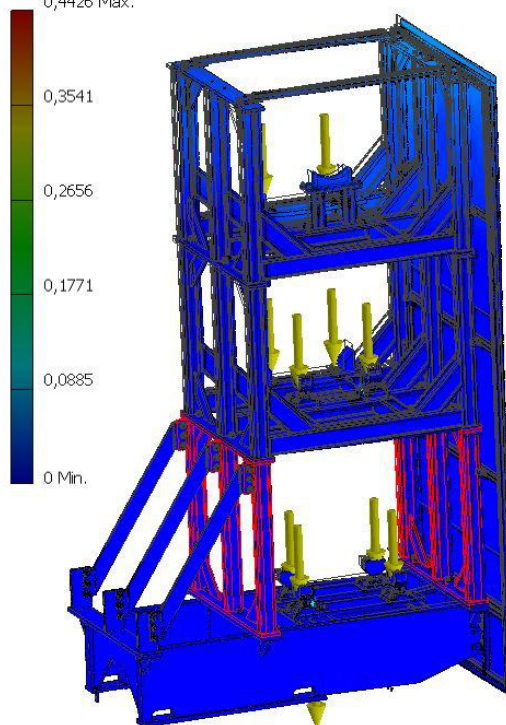
KONTROLA SANÍ A LŮŽEK MANIPULÁTORU:

Typ: Součinitel bezpečnosti
Jednotka: ul
12.5.2016, 15:15:06
15 Max.



Obr.70 Bezpečnost 1

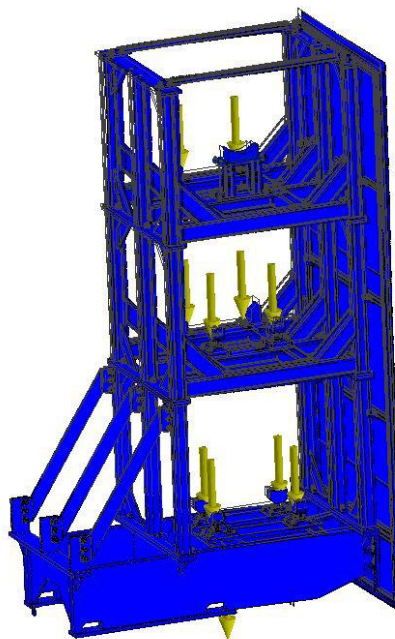
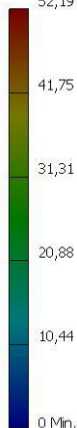
Typ: Posunutí
Jednotka: mm
12.5.2016, 15:13:59
0,4426 Max.



Obr.71 Posunutí 1



Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
12.5.2016, 15:12:51
52,19 Max.

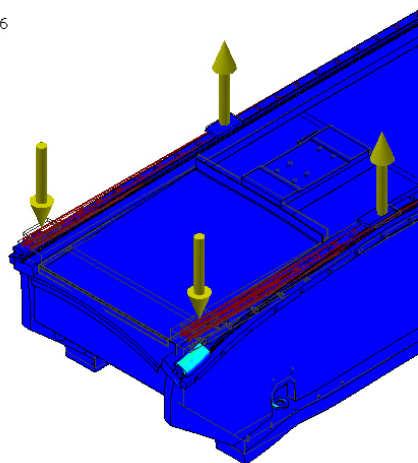
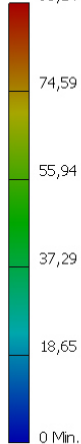


Obr.72 Maximální napětí 1

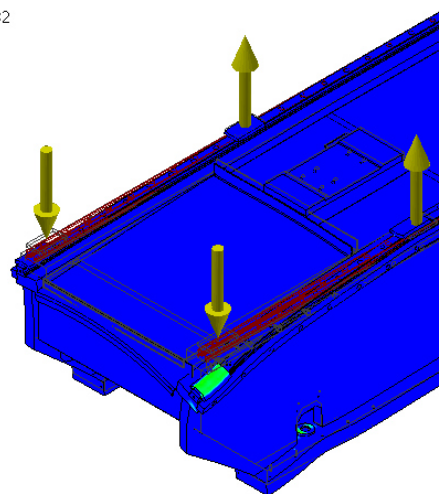
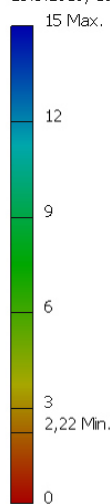
Z výsledků je vidět, že teoretické zatížení dosahuje hodnot maxima mírně nad 50 MPa, toto napětí je uspokojivé a podle toho vychází i bezpečnostní součinitel dostatečně velký a to přibližně 4. Největší napětí se nachází v místech těsně za prvním vozíkem, kde působí největší ohybový moment na celou sestavu. Lůžka jsou předdimenzována dostatečně a je možnost naskládat více těžkých hlav nad sebe, ale musela by se provést kontrola vedení a pohonu. Maximální posunutí v sestavě je v pravém horním rohu obr. 71, kde se nám celá lůžka posouvají směrem k pracovnímu prostoru, toto posunutí je sice 0,4 mm, ale funkci systému to nijak nevadí. Uvedené deformace jsou pro statický stav. Při reálné aplikaci budou vznikat další síly vlivem dynamiky. Z důvodu malých rychlostí a tlumení v koncových polohách nejsou tyto síly při této kontrole započítány. Bezpečnostní koeficienty jsou dostatečně vysoké a proto se dá považovat tato kontrola za vyhovující

**KONTROLA ZÁKLADNY MANIPULÁTORU:**

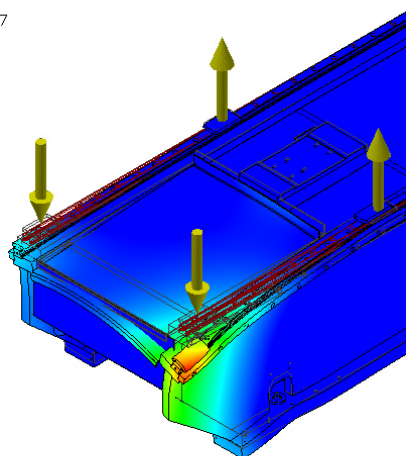
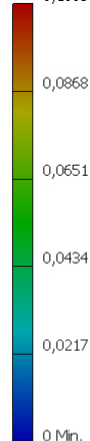
Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
25.5.2016, 10:55:26
93,24 Max.

*Obr.73 Maximální napětí 2*

Typ: Součinitel bezpečnosti
Jednotka: ul
25.5.2016, 10:56:32

*Obr.74 Bezpečnost 2*

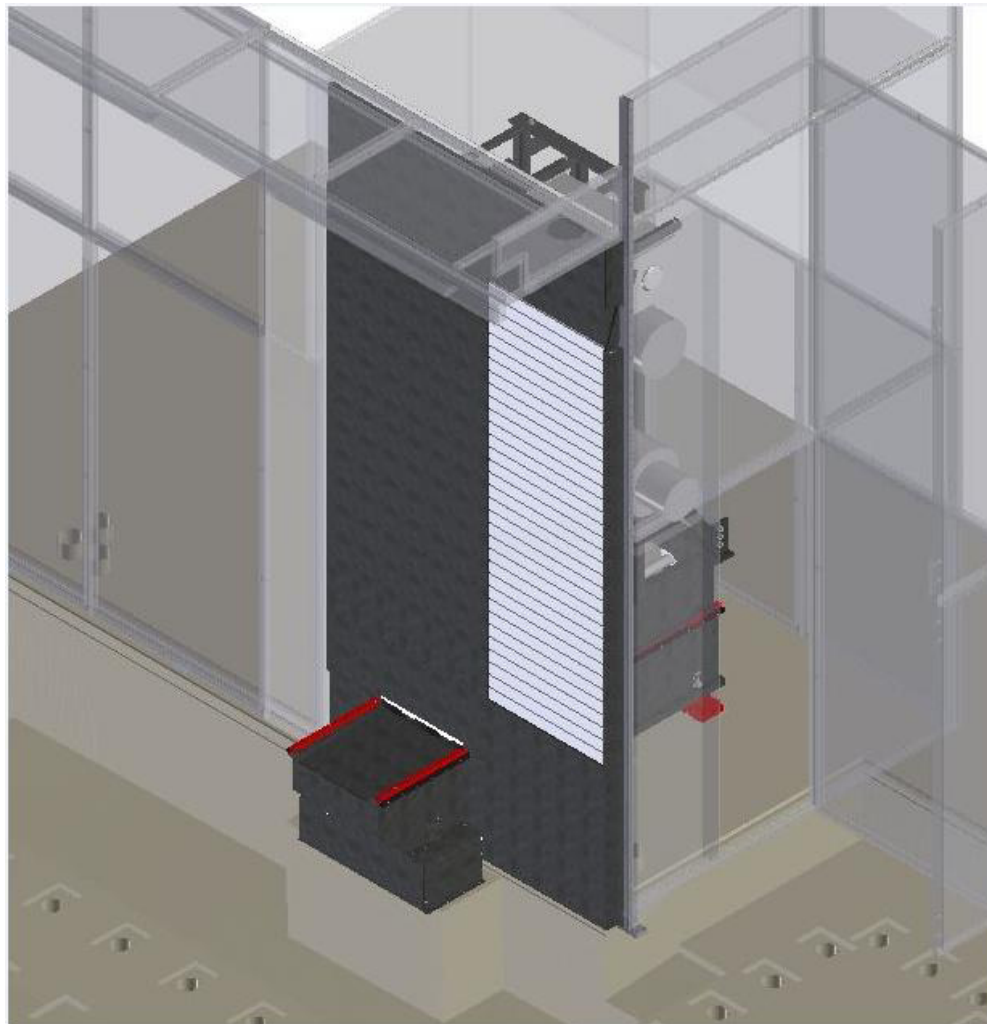
Typ: Posunutí
Jednotka: mm
25.5.2016, 10:57:07
0,1085 Max.

*Obr.75 Posunutí 2*

Svařovaná základna byla kontrolována při působení síly, kdy jsou saně maximálně vyloženy směrem do pracovního prostoru. Jedná se o bod, kdy bude deformace největší z důvodu přesazení přední části základny do pracovního prostoru stroje, kdy již není podepírána fixátory. I v tomto nejhorším bodě, vyhovuje bezpečnost pro zatížení, deformace se pohybuje v řádech desetin milimetru, což při výměně nevádí, protože technik si bod výměny nastaví vždy pro daný typ zásobníku a jeho stav zatížení. Kontrola nosných částí systému se dá považovat za hotovou a autor hodnotí všechny výsledky jako vyhovující.



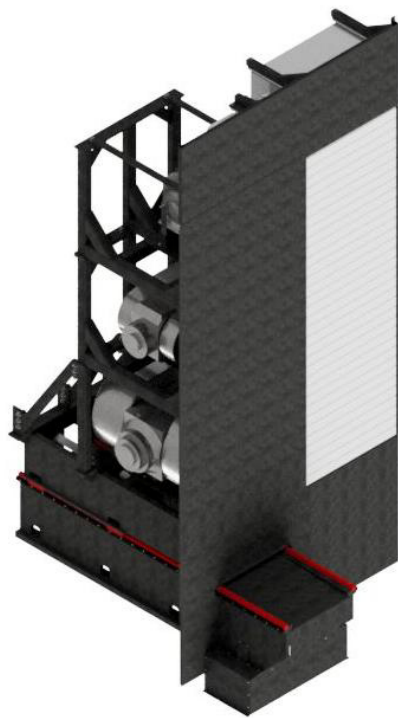
6 VIZUALIZACE NAVRŽENÉHO SYSTÉMU PRO AVH



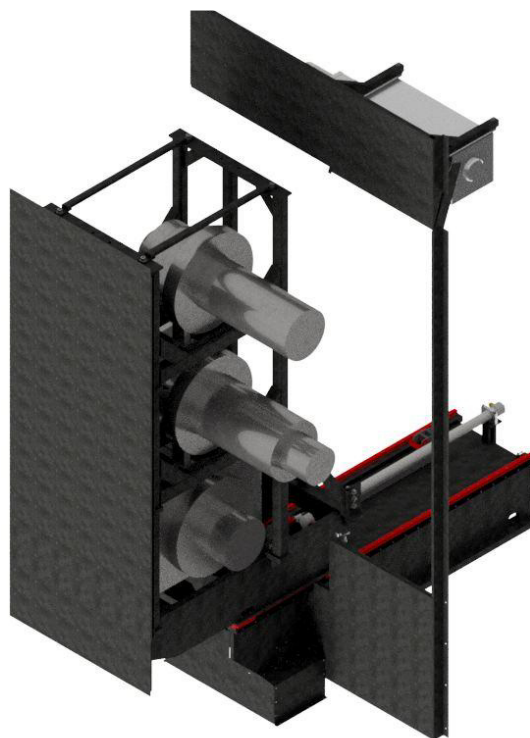
Obr.76 Systém AVH- celek

Tabulka 6 - základní znaky navrhovaného systému AVH:

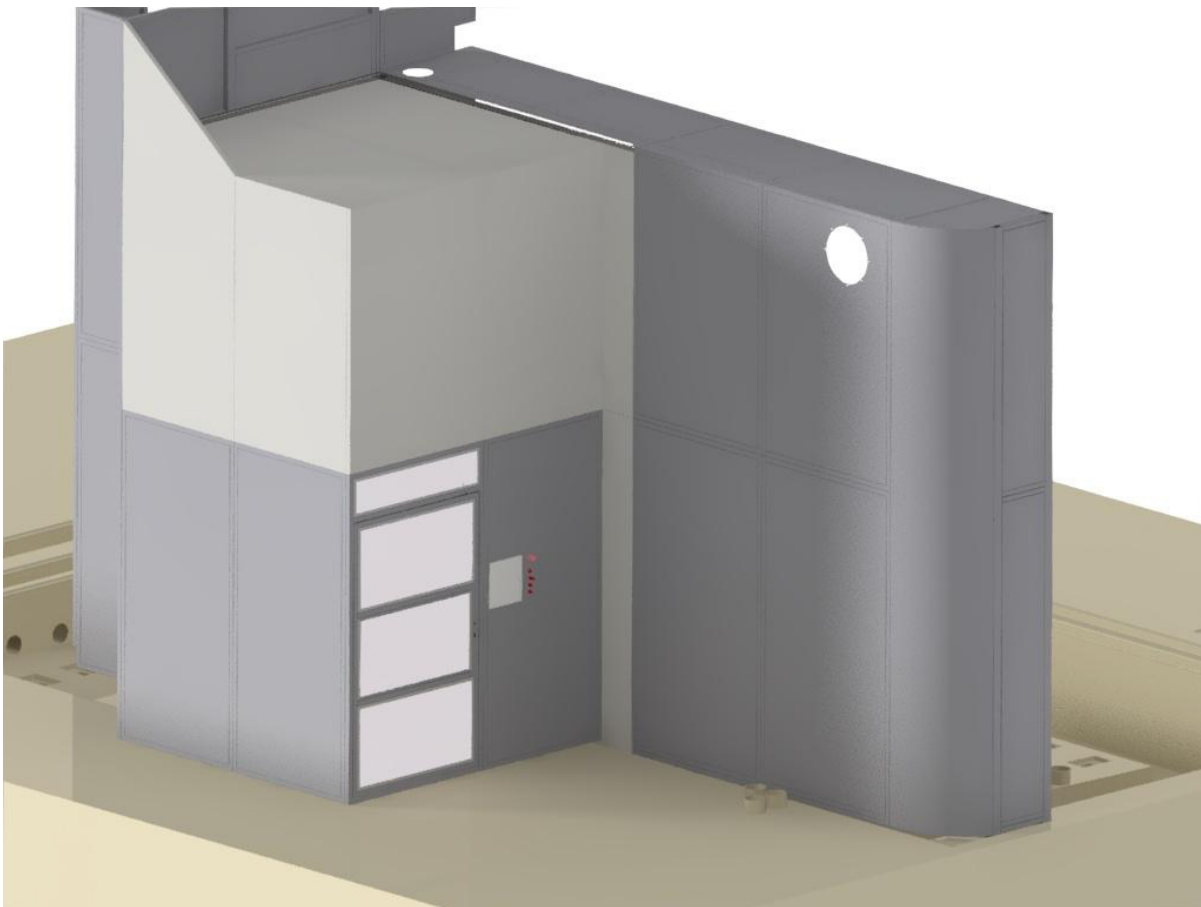
Druh výměny	Automatická výměna
Princip výměny	Zavážející manipulátor
Uložení hlav	Různé
Počet lůžek	2 nebo 3 pozice







Obr.77 Systém AVH- parkovací poloha



Obr.78 Systém AVH- poloha pro výměnu do smýkadla



*Obr.79 Systém AVH-
Vnější pohled na stroj*

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 78
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

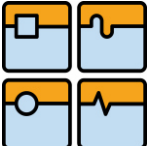
7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh uzlu systému výměny frézovacích hlav na horizontálním obráběcím centru HM 2520, kdy se bude jednat o modernizaci stávajícího centra HC 2520. Navrhovaný systém byl konstruován tak, aby šel použit přímo na tento stroj bez jakýchkoliv úprav. Práce byla rozdělena do dvou základních částí.





První část je rešeršního charakteru. Z důvodu, že se jedná o konstrukční práci, je tato část velice stručná. Úvodem práce je seznámení se zadavatelskou firmou. Dále je stručné shrnutí problematiky automatických systémů, které se používají ke zvyšování efektivity a multifunkčnosti současných obráběcích strojů. Byl proveden průzkum trhu a na světovém trhu existuje celá řada výrobců, kteří se zabývají na svých strojích systémem automatické výměny frézovacích hlav. Díky tomuto průzkumu a porovnání výhod a nevýhod byl volen druh systému pro výměnu frézovacích hlav a to systém, kde bude nutná konstrukce závěšovacího manipulátoru.

V druhé části diplomové práce se autor zabýval vlastní konstrukcí nového systému. Požadavky na systém pro výměnu hlav nebyly od zadavatelské firmy příliš specifikovány. Parametry, které je nutno dodržet, jsou najetí do pojezdů os smýkadla, neomezení pracovního prostoru stroje a snaha o zachování půdorysu stroje. Jedním z prvních kroků bylo zvolení místa, kde se systém umístí, samotný manipulátor a zároveň zásobník se bude skládat z několika hlavních skupin. Nosná struktura celku byla konstruována převážně kombinací výpalků ze železa a jácklových profilů, které se následně svaří a obrobí. Tato volba zajistila jednoduchou a robustní konstrukci v kombinaci s nízkou pořizovací cenou. Autor se také pro zvýšení univerzálnosti tohoto systému rozhodl pro stavebnicovou konstrukci. Jelikož je v navrhovaném systému použita největší uvažovaná frézovací hlava F5M, zaručuje, že všechny nabízené hlavy se do takto navrženého manipulátoru vejdou. Zákazník si také může určit, zda mu stačí pouze dvě lůžka pro frézovací hlavy, nebo využije všechny tři. Dále díky univerzálnímu připojování lůžek může výrobce jednoduše kombinovat všechny nabízené frézovací hlavy v jednom systému. Jako další část návrhu nosné struktury systému byla provedena kontrola pomocí MKP metody.

Další část navrhovaného systému je volba pohonu, dále volba vedení pro saně manipulátoru, sensorika systému. Jako jedním z posledních kroků je návrh krytování systému, tomuto krytování byla věnována také velká pozornost. Venkovní krytování autor provedl pouze zjednodušenými náhradami, protože to nebylo součástí zadání. Zjednodušené venkovní krytování bylo vloženo k systému AVH, aby bylo dokázáno, že se takto navržený systém bezproblémově vejde do stávajícího půdorysu stroje, a zároveň se dá velice efektivně využít stávajícího krytování systému AVN, což opět sníží náklady na návrh a výrobu. Krytování systému od pracovního stroje se dělí na posuvné krytování pomocí roletového krytu a krytu přimontovaného přímo na rám manipulátoru. Další pevné krytování vymezuje pouze vzniklé prostory kolem manipulátoru, krytování základny manipulátoru a jiných zkonstruovaných částí.

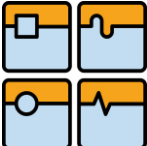
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 79
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Výsledkem této diplomové práce je stručná rešerše o automatických systémech a systémech výměny frézovacích hlav na současném trhu. Největší část práce se zabývá návrhem a konstrukcí daného systému pro firmu Trimill. Navržený systém splňuje požadavky zadané firmou. Práce dále obsahuje celkový 3D model a výkresová dokumentaci.


 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 80
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014, 684 s. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] AUTOMATIZAČNÍ SYSTÉMY I [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://web.spscvcz/~madaj/autsys1.pdf>
- [3] PAVLÍK, Jan. Problematika rychlé automatické výměny nástrojů u obráběcích strojů: Problematic of fast automatic tool change by working machinery. [V Brně: Vysoké učení technické], 2011. 197 s. ISBN 978-80-214-4386-0.
- [4] Demmeler [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: [http://www.demmeler.com/images/pdf/broschueren/Werkzeugarena/139 Prospekt WA 2009 5c 09 SprachVersion ENG.pdf](http://www.demmeler.com/images/pdf/broschueren/Werkzeugarena/139%20Prospekt%20WA%202009%205c%2009%20SprachVersion%20ENG.pdf)
- [5] Trimill a.s. [online]. [cit. 2016-05-20].
Dostupné z: <http://www.trimill.cz/>
- [6] TRIMILL, Trimill a.s. – interní podklady
- [7] Fermatmachinery [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/uvod>
- [8] Tosvarnsdorf [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/>
- [9] TOS-kurim [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.tos-kurim.cz/cz/>
- [10] Danobatgroup [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://events.danobatgroup.com/emo-2013/milling-boring.php>
- [11] Giddings & Lewis [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://metalcuttingcomposites.fivesgroup.com/products/milling/boring-mills/giddings-lewis-ftftr-series-floor-type-hbm.html>
- [12] PŘÍMOČARÝ HYDROMOTOR [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52524
- [13] Hydraulics [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.hydraulics.cz/>
- [14] Pkservis [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.pkservis.com/cz/pneumaticke-systemy-aventics>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 81
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	



- [15] Mmspektrum [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu.html>
- [16] Mnsystems [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.mnsystems.cz/index.php/kulickove-srouby>
- [17] Wittenstein-rack-pinion [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.wittenstein-rack-pinion.com/site/de/DasLinearsystem/Systeme/Pages/Performance-Linearsystem.aspx>
- [18] NÁVRH ŘETĚZOVÉHO ZÁSOBNÍKU NÁSTROJŮ [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40438
- [19] Elektromotory [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.elektromotory.cz/produkty/elektromotory/ostatni-motory>
- [20] Pohonnatechnika [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>
- [21] Loziska [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: http://www.loziska.com/store/lin_vedeni_pmi.pdf
- [22] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-736-1033-7.
- [23] Linsys [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.linsys.cz/data/file/Roller%20rail.pdf>
- [24] Skf [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/linear-motion/linear-guides-and-tables/linear-ball-bearings/linear-ball-bearing-lbc/index.html>
- [25] KONSTRUKCNÍ NÁVRH [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: https://dSPACE.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/40117/DP_manipul%C3%A1tor.pdf?sequence=1
- [26] Hiwin [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.hiwin.com/linear-guideways.html>
- [27] OCHRANNÁ ZAŘÍZENÍ POUŽÍVANÁ VE [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=43203

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 82
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [28] Nabidky.edb [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://nabidky.edb.cz/Nabidka-41238-Plechove-kryty-obrabcich-s-troju-krytovani-CNC-stroje-Zlinsky-kraj>
- [29] Odbornecasopisy [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/snimace-pro-indikaci-koncovych-poloh--14862>
- [30] Prell [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <http://www.prell.sk/produkty/honeywell/1%20KONCOVE%20SPINACE.pdf>
- [31] Eluc [online]. [cit. 2016-05-25].
Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1352>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vertikální obráběcí centrum VC 1810. [5].....	12
Obr. 2 Tuhý stroj s výměnou frézovacích hlav. [5]	13
Obr. 3 Tuhý 5-osý stroj, Provedení stroje jako stojící gantry [5]	13
Obr. 4 Morfologie AVN [1]	15
Obr. 5 Velkokapacitní AVN s pojízdou robotickou [4]	16
Obr. 6 Pracovní prostor s nosným zásobníkem nástrojů [31]	16
Obr. 7 Výměnné frézovací hlavy firmy Trimill. [6]	17
Obr. 8 Patice pro automatickou výměnu frézovacích hlav. [3]	17
Obr. 9 Stojan pro uložení frézovacích hlav firmy Feramat. [7]	18
Obr. 10 Manipulátor firmy Trimill - "katamarán" [6]	18
Obr. 11 AVO - Firma Feramat stroj WF 13 [7]	19
Obr. 12 AVO - TOS VARNSDORF - paletová výměna obrobku [8]	19
Obr. 13 AVH - Firma TOS Kuřim-1 [9]	20
Obr. 14 AVH - Firma TOS Kuřim-2 [9]	20
Obr. 15 AVH - Firma SORALUNCE [10]	22
Obr. 16 AVH - Firma giddings & lewis [11]	23
Obr. 17 AVH - Firma Feramat-1 [7]	24
Obr. 18 AVH - Firma Feramat-2 [7]	24
Obr. 19 Návrh systému AVH	28
Obr. 20 Frézovací hlavy firmy Trimill	29
Obr. 21 Pracovní pojezdy stroje HM2520.....	31
Obr. 22 Poloha pro výměnu frézovacích hlav-1.....	32
Obr. 23 Poloha pro výměnu frézovacích hlav-2.....	32
Obr. 24 Přímocharý hydromotor firmy hydraulics [13]	33
Obr. 25 Pneumatický válec [14]	34
Obr. 26 9 Různé druhy kuličkových šroubů [16]	35
Obr. 27 Pastorek a hřeben [17]	35
Obr. 28 Servomotory [19]	36
Obr. 29 Systém výměny hlav 1.....	38
Obr. 30 hydraulické schéma obvodu	42
Obr. 31 Uložení pístní tyče	44
Obr. 32 Uložení těla hydromotoru	44
Obr. 33 Schéma kontrolovaného čepu	45
Obr.34 Napětí působící v konzole pístní tyče	47
Obr.35 Součinitel bezpečnosti u konzole pístní tyče.....	48
Obr.36 Napětí působící u konzole , která drží tělo hydromotoru.....	49
Obr.37 Součinitel bezpečnosti u konzole, která drží tělo hydromotoru.....	49
Obr.38 Druhy vedení u CNC strojů.....	50
Obr.39 Profilové lineární vedení [23]	50
Obr.40 Lineární kuličkové ložisko s vodící tyčí [24]	50
Obr.41 Rozložení sil působících na lin vedení	52
Obr.42 Standartní hodnota statického bezpečnostního faktoru [21]	55
Obr.43 Pohyblivý kryt stroje [27]	56
Obr.44 Svařované krytování stroje [28]	56
Obr.45 Bezkontaktní snímače [29]	57
Obr.46 Dotykové snímače polohy [30]	57

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 84
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Obr.47 Pohyblivý manipulátor pro systém AVH.....	58
Obr.48 Úprava základu stroje.....	59
Obr.49 Pevná základna manipulátoru.....	60
Obr.50 Pohyblivá část manipulátoru - Saně.....	61
Obr.51 Pohyblivá část manipulátoru - Lůžka.....	62
Obr.52 Ustavení manipulátoru 1.....	63
Obr.53 Ustavení manipulátoru 1.....	63
Obr.54 Lineární vedení- 1.....	64
Obr.55 Lineární vedení- 2.....	64
Obr.56 Uložení přímočarého hydromotoru.....	65
Obr.57 Krytování manipulátoru	66
Obr.58 Umístění koncového snímače	67
Obr.59 Umístění koncových snímačů	67
Obr.60 Snímání hlavy H2M	68
Obr.61 Snímání hlavy S1M	68
Obr.62 Snímání hlavy F5M	68
Obr.63 Umístění snímačů roletového krytu	69
Obr.64 Snímač roletového krytu.....	69
Obr.65 Snímač roletového krytu.....	69
Obr.66 Uložení hlavy F5M.....	70
Obr.67 Přípravek pro ustavení frézovacích hlav.....	70
Obr.68 Uložení frézovací hlavy H2M.....	71
Obr.69 Uložení frézovací hlavy S1M.....	71
Obr.70 Bezpečnost 1.....	72
Obr.71 Posunutí 1.....	72
Obr.72 Maximální napětí 1.....	73
Obr.73 Maximální napětí 2.....	74
Obr.74 Bezpečnost 2.....	74
Obr.75 Posunutí 2.....	74
Obr.76 Systém AVH- celek.....	75
Obr.77 Systém AVH- parkovací poloha.....	76
Obr.78 Systém AVH- poloha pro výměnu do smýkadla.....	76
Obr.79 Systém AVH- Vnější pohled na stroj.....	77



10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

VC	vertikální centrum	
VM	vertikální centrum s výměnnými hlavami	
CNC	počítačem číslicově řízené	Computer Numerical Control
NC	číslícově řízené	Numerical Control
AVN	automatická výměna nástrojů	
AVH	automatická výměna hlav (frézovacích)	
AVO	automatická výměna obrobků	
TOS	továrna obráběcích strojů	
MKP	metoda konečných prvků	
S1M	označení frézovací hlavy	
H2M	označení frézovací hlavy	
F5M	označení frézovací hlavy	
ZH2RT	označení přímočarého hydromotoru	
HM	hydraulický motor	
HB	hydraulický blok	
tzv.	tak zvaný	
tz.	to znamená	
obr.	Obrázek	
atd.	a tak dále	

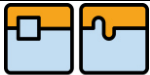
Symbol	Jednotka	Název veličiny
m_{hlav}	[kg]	hmotnost frézovacích hlav
m_{F5M}	[kg]	hmotnost hlavy F5M
m_{H2M}	[kg]	hmotnost hlavy H2M
m_{S1M}	[kg]	hmotnost hlavy S1M
$m_{\text{manipulátoru}}$	[kg]	hmotnost pohybující se části manipulátoru
$m_{\text{krytování}}$	[kg]	hmotnost krytování
$m_{\text{saně}}$	[kg]	hmotnost saní - pohybující se část manipulátoru
$m_{\text{zakladač}}$	[kg]	hmotnost nosné části manipulátoru (lůžek)
$m_{\text{uložiště}}$	[kg]	hmotnost přípravků pro ustavené frézovacích hlav
m_{celku}	[kg]	hmotnost všech pohybujících částí manipulátoru
g	[m.s ⁻²]	tíhové zrychlení
f	[-]	součinitel tření lineárních vozíků
F_{N}	[N]	normálová síla na lineární vedení
F_{p}	[N]	pasivní odpory známé
$p_{\text{provozní1}}$	[MPa]	provozní tlak pro výsuv válce
$p_{\text{provozní2}}$	[MPa]	provozní tlak pro zásuv válce
S_{ptlak}	[m ²]	plocha válce při tlaku
S_{ptah}	[m ²]	plocha válce při tahu
F_{tlak}	[N]	síla působící při vysouvání válce
F_{tah}	[N]	síla působící při zasouvání válce
k	[-]	součinitel bezpečnosti
I_{min}	[m ⁴]	minimální kvadratický moment průřezu
$F_{\text{kritická}}$	[N]	síla kritická pro vzpěr pístní tyče
$k_{\text{vzpěr}}$	[-]	součinitel bezpečnosti pro vzpěr
p_{Gmax}	[MPa]	maximální provozní tlak hydraulického agregátu



V_{G1}	[l/min]	geometrický objem původního hydraulického agregátu
v_1	[m.s ⁻¹]	rychlost zdvihu válce
t_1	[s]	čas výsuvu manipulátoru
V_{G2}	[l/min]	geometrický objem nového hydraulického agregátu
v_1	[m.s ⁻¹]	rychlost zdvihu válce s novým HG
t_1	[s]	čas výsuvu manipulátoru s novým HG
$D_{\text{čepu}}$	[mm]	průměr čepu
$l_{\text{čepu}}$	[mm]	nejmenší délka plochy čepu kde působí tlak
l_k	[mm]	nejmenší délka plochy konzole kde působí tlak
T_{D1}	[MPa]	dovolené napětí pro stříh u čepu
σ_{D1}	[MPa]	dovolené napětí pro tlak u čepu
σ_{D2}	[MPa]	dovolené napětí pro tlak u konzole
$S_{T\text{ČEPU}}$	[m ²]	plocha čepu kde působí tlak
$S_{\sigma\text{ČEPU}}$	[m ²]	plocha čepu kde působí tlak
$S_{\sigma\text{KONZOL}}$	[m ²]	plocha čepu kde působí tlak
T_S	[MPa]	skutečné napětí pro stříh u čepu
$k_{\text{stříh}}$	[-]	součinitel bezpečnosti pro namáhání stříhem u čepu
$\sigma_{s\text{ČEPU}}$	[MPa]	skutečné napětí pro tlak u čepu
$K_{\text{OTLAČENÍ-1}}$	[-]	součinitel bezpečnosti pro namáhání tlakem u čepu
$\sigma_{s\text{KONZOL}}$	[MPa]	skutečné napětí pro tlak u konzole
$K_{\text{OTLAČENÍ-2}}$	[-]	součinitel bezpečnosti pro namáhání tlakem u konzole
x_{1-4}	[m]	vzdálenosti působení sil od bodu působíště síly F_A
F_{1-5}	[N]	síly vyvolané hmotnostmi v soustavě
F_A	[N]	síla od podpory v místě A
F_B	[N]	síla od podpory v místě B
F_C	[N]	síla od podpory v místě C
F_D	[N]	síla od podpory v místě D
M_A	[N·m]	moment k bodu A
M_C	[N·m]	moment k bodu C
$F_{\text{celkové}}$	[N]	síla působící na obě lineární vedení
$F_{\text{Pravé}}$	[N]	síla působící na pravé lineární vedení
$F_{\text{Levé}}$	[N]	síla působící na levé lineární vedení
ϕ_1, ϕ_1	[%]	Podíl sil na jednotlivá vedení
P	[N]	působíště největší síly
C_0	[N]	statické dovolené zatížení
C_0	[N]	dynamické dovolené zatížení
f_s	[-]	součinitel bezpečnosti u lineárních vozíků

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 základní parametry AVH firmy TOS KUŘIM	20
Tab. 2 základní parametry AVH firmy SORALUNCE)	22
Tab. 3 základní znaky AVH firmy Giddings & Lewis	23
Tab. 4 základní znaky AVH firmy Fermať.....	24
Tab. 5 základní parametry hlav Trimill:.....	30
Tab. 6 základní znaky navrhovaného systému AVH:.....	75



12 SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavy:	Celek systému	V100P1
Výkres svařence:	Svařovaný rám	323-R2013P1
Výkres svařence:	Svařovaná konzole	323-R2001P1
Výkres vyráběné součásti:	Obráběný čep	323-2010P1

CD: Elektronická verze diplomové práce
Výkresová dokumentace v elektronické podobě
3D model systému AVH