

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh manipulátoru pro zavážení zátek horizontálních prostupů (EPP) vakuové nádoby reaktoru ITER

Autor: **Bc. Ladislav Vít**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Václava LAŠOVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ladislav VÍT**

Osobní číslo: **S16N0052P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**

Název tématu: **Návrh manipulátoru pro zavážení zátek horizontálních
prostupů (EPP) vakuové nádoby reaktoru ITER**

Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Navrhněte manipulátor pro zasunutí a vysunutí Equatorial Port Plugu (EPP) do testovací vakuové nádoby (TT). Omezte se pouze na manipulátor EPP s uvážením prostoru a návazností na případný UPP manipulátor (Upper Port Plug).

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše, specifikace požadavků
2. Konstrukční návrh manipulátoru
3. Základní kontrolní výpočet hlavních prvků
4. Zhodnocení práce, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

PITCHER, S. *Review of ITER's upper port plugs. : ITER Diagnostic Physicist, 2010*

PUSTHENS, J., FRICONNEAU, J. *ITER Upper Port Plug handling cask system assessment and design proposals. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2011*

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Martin Prokš**

ŠKODA JS a.s., Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **19. září 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2017

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Děkuji své vedoucí paní doc. Ing. Václavě Lašové, Ph.D. za vstřícné vedení a všechny potřebné rady a návody, které mně poskytla během vyhotovení této diplomové práce.

Zároveň děkuji i mému konzultantovi z firmy Škoda JS a.s., Plzeň panu Ing. Martinu Prokšovi za cenné konzultace.

Dále bych rád poděkoval Západočeské Univerzitě v Plzni, Fakultě strojní, zvláště Katedře konstruování strojů za poskytnutí zajímavého tématu k vypracování diplomové práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Vít	Jméno Ladislav		
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. LAŠOVÁ, Ph.D.	Jméno Václava		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Návrh manipulátoru pro zavážení zátek horizontálních prostupů (EPP) vakuové nádoby reaktoru ITER			

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	56	TEXTOVÁ ČÁST	31	GRAFICKÁ ČÁST	25
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Diplomová práce obsahuje popis reaktoru ITER a zátek horizontálních i horních prostupů. Následně je z možných variant řešení vybrána jedna, která je dále rozpracována. V závěru jsou provedeny MKP výpočty především na dovolené otláčení podlahy.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Reaktor ITER, horizontální zátky, manipulátor, pohon, otláčení</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc.Vít	Name Ladislav	
FIELD OF STUDY	N2301		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. LAŠOVÁ, Ph.D.	Name Václava	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of manipulator for loading Equatorial Port Plug (EPP) of the vacuum container of the ITER reactor		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	56	TEXT PART	31	GRAPHICAL PART	25
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis contains a description of the ITER reactor, an equatorial and upper port plug. After that one of the possible variants is selected and further processed. FEM calculations are made mostly for the pressure on the floor.
KEY WORDS	Reactor ITER, equatorial port plug, manipulátor, propulsion, pressure

Obsah

1	Úvod	5
1.1	Zadávací společnost	5
2	Reaktor ITER	6
2.1	Tokamak	7
2.2	Termojaderná fúze	7
2.3	Zátka prostupu – Port plug	8
2.3.1	Equatorial Port Plug- EPP	8
2.3.2	Upper Port Plug – UPP	9
2.4	Testovací nádoba	10
3	Analýza problému	10
3.1	Požadavky	10
3.2	Specifikace	10
3.3	Konstrukční problémy	11
3.4	Specifikování požadavků na vlastnosti technického systému	11
4	Koncepční návrh	16
4.1	Navržení funkční struktury TS	16
4.1.1	Návrh provozního transformačního procesu TS	16
4.2	Navržení orgánové struktury TS	17
4.2.1	Návrh orgánů pro stanovené funkce TS	17
4.2.2	Kombinace orgánů pro varianty/alternativy orgánové struktury TS	25
4.2.3	Hodnocení navržených variant orgánové struktury TS	28
5	Konstrukční celky manipulátoru	29
5.1	Volba a umístění přímočarých hydromotorů	29
5.1.1	Varianta A – Po obvodu	30
5.1.2	Varianta B – Uvnitř	31
5.1.3	Vyhodnocení varianty	32
5.1.4	Výpočet a volba hydromotoru	32
5.2	Pohon po kolejkách	38
5.2.1	Výpočet	40
5.2.2	Volba	42
5.3	Ověření polohy port plugu	43

5.3.1	Rozdělení senzorů	43
5.3.2	Umístění senzorů	45
5.3.3	Volba senzorů	46
5.4	Rám manipulátoru	46
5.4.1	Výpočet MKP	48
6	Závěr	55
7	Zdroje	56

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Škoda JS	5
Obrázek 2 - Reaktor ITER (3)	6
Obrázek 3 - Tokamak (4)	7
Obrázek 4 - Umístění port plugů (6)	8
Obrázek 5 – Equatorial port plug 1 [mm] (2)	8
Obrázek 6 - Equatorial port plug 2	9
Obrázek 7 - Upper Port Plug 1 [mm] (2)	9
Obrázek 8 - Upper Port Plug 2	9
Obrázek 9 – Testovací nádoba (7)	10
Obrázek 10 - Náčrtek manipulátoru	11
Obrázek 11: Black box manipulátoru	16
Obrázek 12: Naplněný Black box manipulátoru	16
Obrázek 13 - Pouzdrový řetěz	18
Obrázek 14 - Válečkový řetěz	18
Obrázek 15 - Pohon řetězem, z boku	18
Obrázek 16 - Pohon řetězem, shora	19
Obrázek 17 - Přímočarý hydromotor (9)	20
Obrázek 18 - Pohon jedním hydromotorem	20
Obrázek 19 – Pohon kratším hydromotorem	21
Obrázek 20 - Pohon kratším hydromotorem, shora	21
Obrázek 21 - Pohybový šroub	22
Obrázek 22 - Pohon pohybovým šroubem	22
Obrázek 23 - Pohon pohybovým šroubem – shora	23
Obrázek 24 - Ozubené kolo a hřeben	23
Obrázek 25 - Pohon pastorek – hřeben	24

Obrázek 26 - Pohon pastorek - hřeben – shora	24
Obrázek 27 - Varianta A	26
Obrázek 28 - Varianta B.....	26
Obrázek 29 - Varianta C.....	27
Obrázek 30 - Varianta D	27
Obrázek 31 - Graf výběr varianty	29
Obrázek 32 - Manipulátor zepředu.....	30
Obrázek 33 - Manipulátor zboku	30
Obrázek 34 - Manipulátor shora, varianta A.....	30
Obrázek 35 - Manipulátor zboku, varianta B.....	31
Obrázek 36 - Manipulátor zepředu, varianta B	31
Obrázek 37 - Popis manipulátoru zepředu	32
Obrázek 38 - Popis manipulátoru zboku	33
Obrázek 39 - Znázornění sil 1	33
Obrázek 40 - Znázornění sil 2	35
Obrázek 41 - Rozměry manipulátoru	36
Obrázek 42 - Rozměry hydromotoru (10).....	37
Obrázek 43 - Zubový hydromotor.....	39
Obrázek 44 - Lamelový hydromotor	39
Obrázek 45 - Radiální pístový hydromotor.....	40
Obrázek 46 - Axiální pístový hydromotor	40
Obrázek 47 - Lankový senzor (13).....	43
Obrázek 48 - Laserový senzor (14)	43
Obrázek 49 - Ultrazvukové senzory (15)	44
Obrázek 50 - Kapacitní senzor (16)	44
Obrázek 51 - Lineární potenciometr (17).....	45
Obrázek 52 - Umístění senzorů shora	45
Obrázek 53 - Umístění senzorů zepředu	45
Obrázek 54 - Výběr senzorů.....	46
Obrázek 55 - Manipulátor	46
Obrázek 56 - Zjednodušený model	47
Obrázek 57 – Část rámu manipulátoru.....	47
Obrázek 58 - Nasíťovaný model	48
Obrázek 59 - Statické řešení, okrajové podmínky	49

Obrázek 60 - Statické řešení, posunutí	49
Obrázek 61 - Statické řešení, kontaktní síla	50
Obrázek 62 - Statické řešení, tlak na kraji	50
Obrázek 63 - Statické řešení, tlak uprostřed	51
Obrázek 64 - Řešení při posunu, okrajové podmínky	51
Obrázek 65 - Řešení při posunu, posunutí	52
Obrázek 66 - Řešení při posunu, kontaktní síla	52
Obrázek 67 - Řešení při posunu, tlak na kraji	53
Obrázek 68 - Řešení při posunu, tlak uprostřed	54

Seznam Tabulek

Tabulka 1 - Požadavky k vnějším vlastnostem TS vztažené k transformačním procesům.....	13
Tabulka 2 - Požadavky k vnějším vlastnostem TS vztažené k operátorům	14
Tabulka 3 - Požadavky ke vnitřním a strukturním vlastnostem TS	15
Tabulka 4: Morfologická matice	17
Tabulka 5 - Návrh variant	25
Tabulka 6 - Váhy kritérií	28
Tabulka 7 - Bodování a agregace	28
Tabulka 8 - Vyhodnocení varianty	32
Tabulka 9 - Rozměry hydromotoru (10)	38
Tabulka 10 - Volba parametrů MITCalc	41
Tabulka 11 - Základní rozměry MITCalc	41
Tabulka 12 - Napětí a bezpečnost MITCalc.....	42
Tabulka 13 - Volba rotačního hydromotoru (12)	42

1 Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh manipulátoru pro zavážení zátek horizontálních prostupů (EPP). Navrhované zařízení musí zajistit napolohování a přemístění každé zátky do testovací nádoby.

Začátek práce obsahuje popis Mezinárodního termonukleárního experimentálního reaktoru (ITER) a zároveň úlohu jednotlivých zátek. Následně jsou uvedeny požadavky zadavatele včetně jejich rozboru. Pro zavážení zátek je možné použít několik konstrukčních variant, které jsou popsány v následující části. Poté je vybrána vhodná varianta.

Další část práce obsahuje detailnější rozbor zvolené varianty, na který navazují výpočty a výběr pohonu.

V závěru jsou provedeny výpočty metodou konečných prvků a jejich vyhodnocení.

1.1 Zadávací společnost

ŠKODA JS a.s. je dlouholetým spolehlivým dodavatelem technologií pro jadernou energetiku. K hlavním oborům činnosti patří inženýring, výroba komponent a servis pro jaderné elektrárny. V předchozích šedesáti letech se ŠKODA JS a.s. podílela na stavbě jaderných elektráren nejen v České republice a na Slovensku, ale také v Maďarsku, Bulharsku nebo Německu. (1)

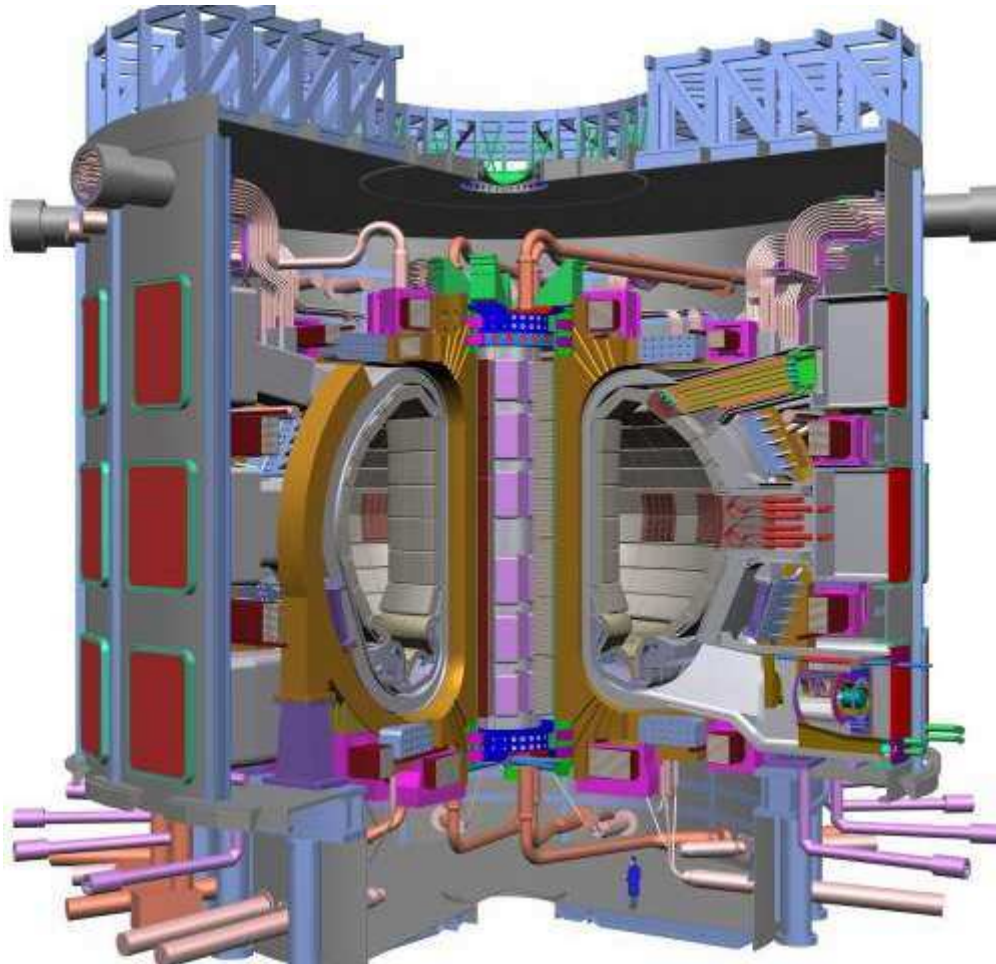


Obrázek 1 - Škoda JS

2 Reaktor ITER

International Thermonuclear Experimental Reactor - Mezinárodní termonukleární experimentální reaktor je projekt připravovaného tokamaku, který by se měl stát předstupněm ke komerčnímu využití termonukleární fúze v energetice. Jde o druhý nejdražší mezinárodní vědecký projekt (prvním je Mezinárodní vesmírná stanice). Celkový rozpočet projektu je 18 mld. €. Polovinu částky uhradí Evropská unie a zbylou část ostatní účastnické státy, konkrétně USA, Rusko, Čína, Japonsko, Jižní Korea a Indie.

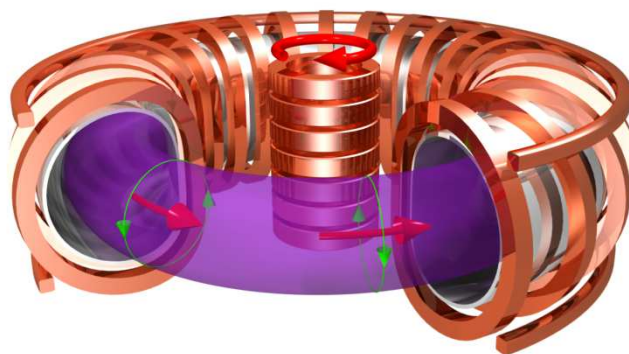
Výstavba ve francouzském městě Cadarache začala v roce 2007. Zisk prvního plazmatu se předpokládá v listopadu 2025, zatímco spuštění na plný výkon v roce 2035. Plánovaný výkon reaktoru o objemu přibližně 840 m³ by měl být 500 MW. Palivem pro tento reaktor by měla být dávka směsi deuteria a tritia o celkové hmotnosti kolem 0,5 g. Odpadním produktem reakce je helium a proud neutronů, který v lithiové obálce reaktoru vyrobí teplo a štěpením lithia i jednu ze složek paliva, radioaktivní tritium. (2)



Obrázek 2 - Reaktor ITER (3)

2.1 Tokamak

Tokamak je zařízení uchovávající plazmu a vytvářející magnetické pole, díky kterému je zabráněno dotyku plazmatu a stěny komory. Jeho základní částí je vakuová reakční komora ve tvaru prstence, která je obklopena cívkami toroidálního magnetického pole. Tyto cívky vytvoří v komoře velmi silné magnetické pole. Prstencová komora tokamaku je sekundárním závitem transformátoru, který v komoře generuje proud v toroidálním směru (na velkých zařízeních až několik megaampérů). Tento proud vytváří kolem sebe poloidální magnetické pole. Složením magnetického pole toroidálního a poloidálního se dostane výsledná konfigurace magnetického pole ve tvaru šroubovic. Siločáry takto vytvářeného magnetického pole se do sebe uzavírají v reakční komoře. Elektricky nabitá částice se pohybuje podél magnetické siločáry. Právě proto by měly částice plazmatu zůstat v komoře izolované od stěny. Různé nestability a difuze částic napříč magnetickým polem výrazným způsobem zhoršují udržení plazmatu. (3)



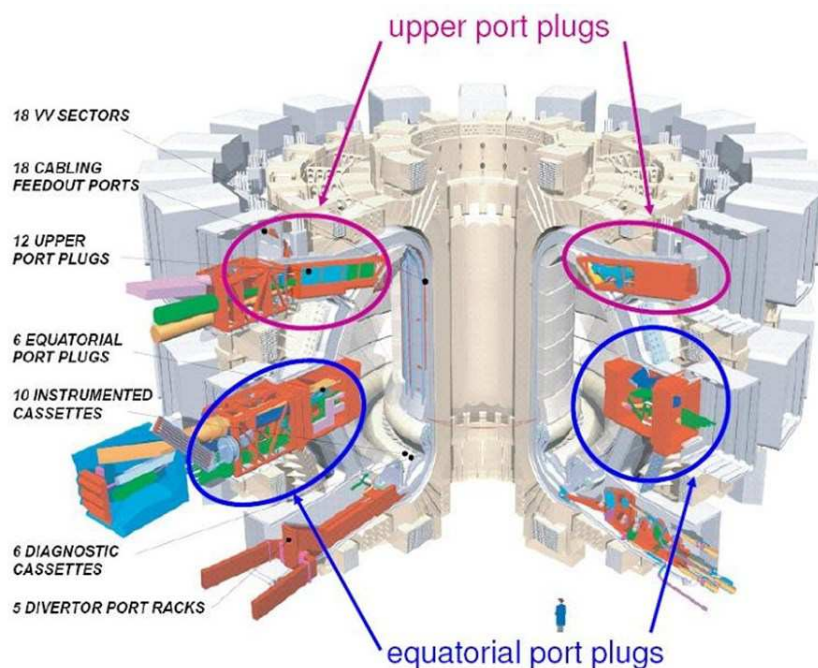
Obrázek 3 - Tokamak (4)

2.2 Termojaderná fúze

Termojaderná fúze je proces, při kterém se slučují lehčí jádra, vznikají jádra těžší a uvolňuje se energie. K jejímu dosažení je nutné, aby se reagující jádra přiblížila vzájemně natolik, že převládne přitažlivá jaderná síla nad odpudivou elektrickou silou. Aby částice překonaly odpudivou Coulombickou bariéru (tedy aby se dostaly dostatečně blízko k sobě a převládly přitažlivé jaderné síly), musí se vzájemně srážet velkou rychlostí. Nejefektivnějším způsobem jak toho dosáhnout, je ohřátí paliva na velmi vysokou teplotu. V pozemských podmínkách je z hlediska energetického využití nejvhodnější reakce deuteria a tritia (těžký a supertěžký izotop vodíku). Při této reakci vzniká helium a neutron. Výše zmíněná reakce je nejvhodnější zejména z důvodu nejnižší potřebné zápalné teploty ze všech fúzních reakcí. Jedná se o teplotu 100 až 200 milionů K. První podmínkou zvládnutí řízené termojaderné fúze je dosažení této teploty. Jakýkoliv materiál je při takto vysoké teplotě ve stavu plazmatu. Z toho vyplývá druhá podmínka pro úspěšné zvládnutí řízené termojaderné fúze – zabránit dotyku horkého plazmatu a stěny komory. (5)

2.3 Zátka prostupu – Port plug

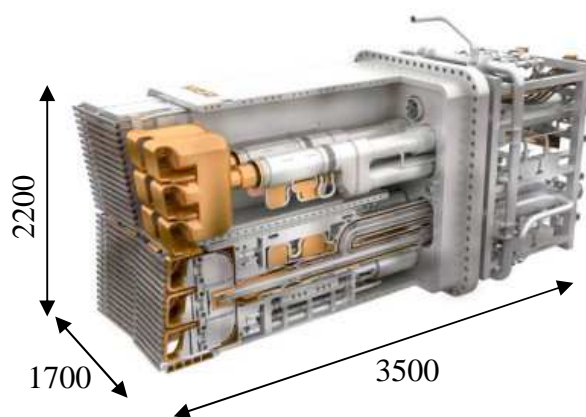
Equatorial port plugs – EPP i upper port plugy - UPP jsou v reaktoru ITER symetricky rozmístěny. Z osmi EPP je šest věnováno diagnostickým systémům a dva jsou použity pro topné systémy ICRF. Základní požadavky na port plug jsou utěsnit port na vakuové nádobě, dostatečné ochlazování diagnostických zařízení vodou, stínění proudu neutronů a gama záření. Pro kontrolu plazmy je potřeba celkový výkon mikrovlnných vln 20 MW o frekvenci 170 GHz. Během provozu bude voda dodávána tlakem 4,4 MPa, což zaručuje, že k varu dojde při teplotě 240°C.



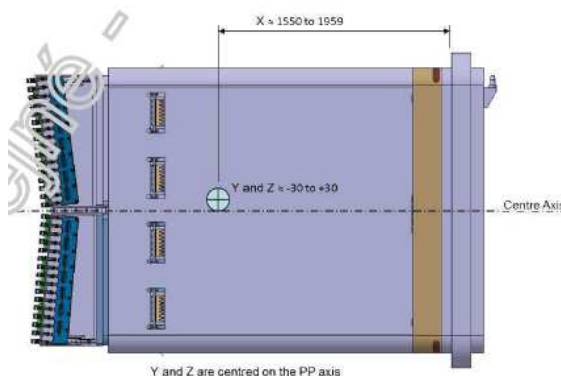
Obrázek 4 - Umístění port plugů (6)

2.3.1 Equatorial Port Plug- EPP

EPP váží 45 t a je vyroben z nerezové oceli. Plug je v reaktoru uchycen pouze za přírubu s těžištěm 1,9 m od příruby.



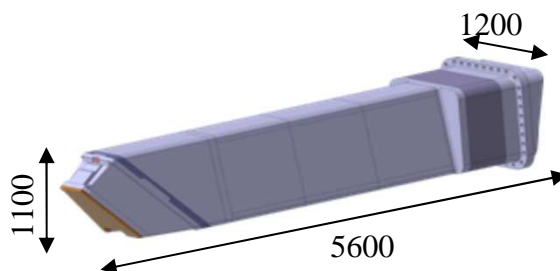
Obrázek 5 – Equatorial port plug 1 [mm] (2)



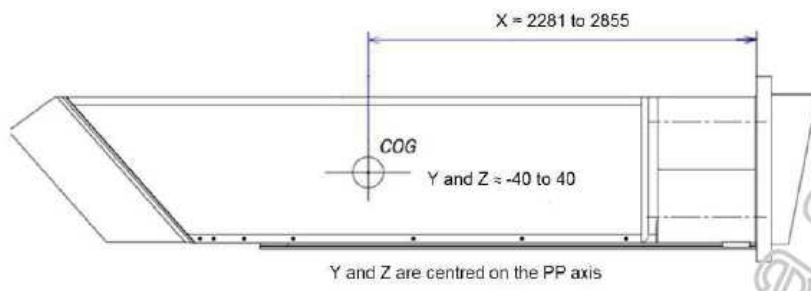
Obrázek 6 - Equatorial port plug 2

2.3.2 Upper Port Plug – UPP

UPP váží 25 t a k jeho výrobě byla použita nerezová ocel. Plug je v reaktoru uchycen pouze za přírubu s těžištěm 2,9 m od příruby.



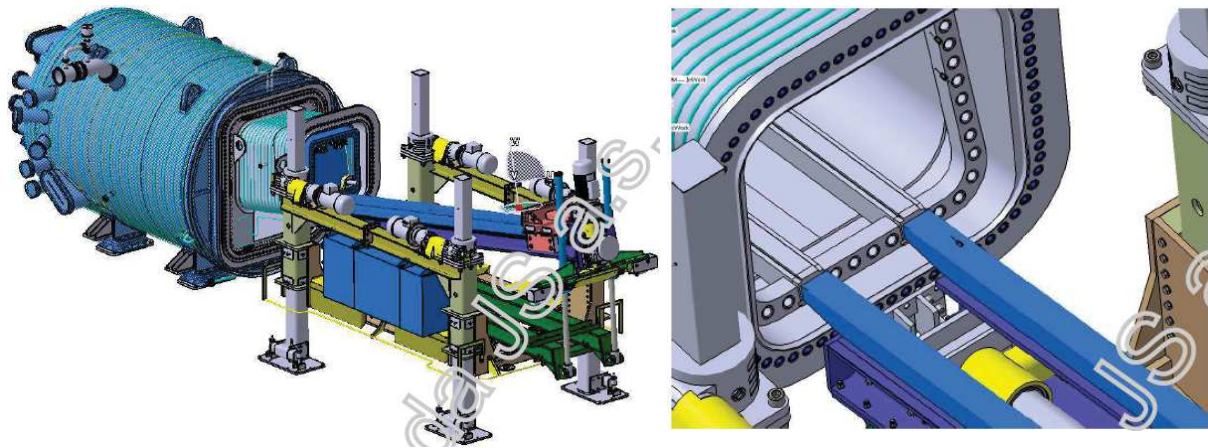
Obrázek 7 - Upper Port Plug 1 [mm] (2)



Obrázek 8 - Upper Port Plug 2

2.4 Testovací nádoba

Port plugy jsou před jejich instalací do reaktoru ITER zkoušeny v testovací nádobě – test tank (TT), ve které je ověřena jejich funkce při provozním tlaku 1×10^{-5} Pa a teplotě $100^{\circ}\text{C} - 240^{\circ}\text{C}$. V TT jsou veškerá potřebná zkušební zařízení pro diagnostiku testu.



Obrázek 9 – Testovací nádoba (7)

3 Analýza problému

3.1 Požadavky

Tato diplomová práce se zabývá návrhem manipulátoru k testovací nádobě pro Equatorial Port Plug s možností případné modifikace pro Upper Port Plug.

3.2 Specifikace

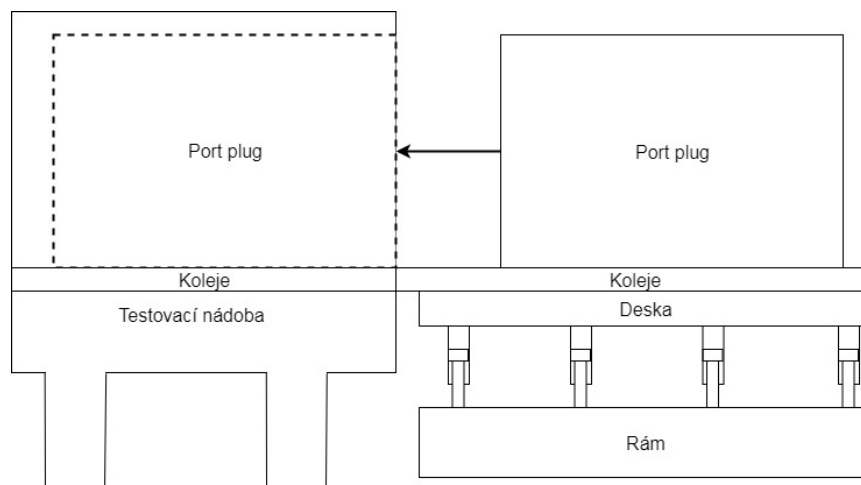
EPP je vědecké zařízení které se nesmí poškodit. Jeho váha je 45 tun, spočívá na čtyřech kovových kluzných patkách a jeho posouvání po zařízení a v TT je kluzné, patky po kolejnicích - kov na kov. Součinitel tření je zde 0,3.

Horizontální seismický případ $\pm 0,5$ g. Vertikální síly jsou uvažovány vlastní hmotnost, seismický případ $1 \pm 0,5$ g a jeřábový případ hrubého odložení EPP s násobkem $1 + 0,5$ g.

Dále je navržen roznášecí rám pod celým zařízením, z důvodu nosnosti podlahy 10 tun na m^2 .

Konstrukce je navržena podle Eurokódu 3 - Návrh ocelových konstrukcí EN-1993 a Eurokódu 8 - Návrh seismicky odolných konstrukcí EN-1998 (7)

3.3 Konstrukční problémy



Obrázek 10 - Náčrtek manipulátoru

Manipulátor je na obrázku znázorněn rámem. Pro zabezpečení požadované polohy jsou na rámu připevněny hydromotory. Po ustavení kolejí do správné pozice je port plug zasunut do testovací nádoby.

Nejdůležitějším úkolem je vyřešení dostatečné tuhosti celého manipulátoru. Pro výpočet je uvažován případ s největším zatížením na manipulátor. Tento stav nastává při zasouvání zátky, kdy najednou působí třecí síly v kolejích i síla od motoru. Dalším problémem je řízení pohybu manipulátoru a zajištění jeho správné polohy.

3.4 Specifikování požadavků na vlastnosti technického systému

Na tvořený technický systém (TS) jsou kladeny různé nároky od jednotlivých subjektů. Jde zejména o požadavky:

- Zákazníka
- Státu
- Výrobce

Vedle toho však na TS existují i požadavky:

- Lidu (morálnost výrobku, výroby, použití)
- Ekologických subjektů (ekologie výroby, likvidace, použití)
- Jiných ekonomických subjektů (normalizace)

Pro zadaný TS jsou předpokládány tyto požadavky zákazníka (seřazeno dle předpokládané důležitosti) :

1. Zamezení zranění obsluhy
2. Zamezení poškození port plugu
3. Zamezení poškození manipulátoru
4. Přesné napolohování EPP
5. Pohyb port plugu dovnitř testovací nádoby
6. Umožnění modifikování
7. Zamezení ovlivnění prostředí
8. Nízká spotřeba energie
9. Nízká cena stroje
10. Možnost řízení
11. Snadná obsluha
12. Malé rozměry
13. Nízká hmotnost
14. Rychlost pohybu
15. Umožnění demontáže
16. Krátká doba montáže
17. Krátká doba výroby
18. Ekologičnost výroby

POŽADAVKY (na charakteristiky) K VNĚJŠÍM VLASTNOSTEM TS VZTAŽ. K TRANSF. PROCESŮM ŽIVOTNÍCH ETAP TS	POŽADOVANÁ HODNOTA A PŘÍPADNÁ TOLERANCE	VÁHA (1 - 4)
(1) Požadavky k provozním funkcím/účinkům:		
Technický systém :		
• Převést EPP z polohy 1 do polohy 2		4
- Hmotnost	45 tun	
- Délka přepravní dráhy	6 m	
- Rychlost	0,5 m / min	
• Srovnat EPP		4
• Umožnit modifikaci		2
Přepravní proces :		
• Neovlivnit přepravovaný výlisek		4
• Umožnit řízení		3
(2) Požadavky k ostatním provozním vlastnostem:		
• Prostředí	čisté	1
• Četnost použití	občasné	2
• Životnost	20 let	3
• Údržba	minimální	3
• Čištění	minimální	2
• Spolehlivost	vysoká	4
• Spotřeba energie	nízká	2
(3) Požadavky k vlastnostem pro předvýrobní procesy a výrobu:		
• Náročnost výroby	nízká	3
• Druh výroby	kusová	2
• Náročnost montáže	nízká	3
• Možnost modifikace		3
• Unifikace součástí	vysoká	3
• Normalizace součástí	vysoká	3
• Počet součástí	nízký	2
(4) Požadavky k vlastnostem pro distribuci:		
• Skladovací prostor	minimální	2
• Umožnění manipulace		2
• Umožnění přepravy		2
(5) Požadavky k vlastnostem pro likvidaci:		
• Demontovatelnost	jednoduchá	2
• Opravitelnost	vysoká	1
• Recyklovatelnost	vysoká	1
• Znovupoužitelnost součástí	vysoká	1

Tabulka 1 - Požadavky k vnějším vlastnostem TS vztahované k transformačním procesům

POŽADAVKY (na charakteristiky) K VNĚJŠÍM VLASTNOSTEM TS VZTAŽ. K OPERÁTORŮM TRANSF. PROCESŮM ŽIVOTNÍCH ETAP TS	POŽADOVANÁ HODNOTA A PŘÍPADNÁ TOLERANCE	VÁHA (1 - 4)
(1) Požadavky k vlastnostem pro řízení, management:		
• Konkurenceschopnost	vysoká	4
(2) Požadavky k vlastnostem k lidem:		
• Barevné provedení	v barvách Škody JS	1
• Tvarový design	uspokojivý	2
• Bezpečnost	vysoká	4
• Přístupnost	vysoká	2
• Čistota	vysoká	1
• Intuitivní ovládnání	vysoká	3
• Snadnost ovládnání	vysoká	3
(3) Požadavky k aktivnímu materiálovému a energetickému okolí:		
• Ekologická nezávadnost	vysoká	4
• Recyklovatelnost	vysoká	1
(4) Požadavky k aktivnímu informačnímu okolí:		
• Splnění zákonů a předpisů	úplné	4
• Splnění norem	vysoké	3
• Porušení patentových a licenčních práv	žádné	4
(5) Požadavky k vlastnostem k ostatním TS:		
• Normalizace	vysoká	3
• Typizace	vysoká	2
(6) Požadavky k vlastnostem k informacím:		
• Dokumentace	minimální, jasná	1
• Návod k obsluze	minimální, jasný	2
• Návod k údržbě	minimální, jasný	2
(7) Požadavky k ekonomickému a časovému řízení:		
• Výrobní cena	nízká	4
• Cena vývoje	nízká	4
• Čas výroby	nízký	3
• Čas vývoje	nízký	4

Tabulka 2 - Požadavky k vnějším vlastnostem TS vztažené k operátorům

POŽADAVKY (na charakteristiky) KE VNITŘNÍM A STRUKTURNÍM VLASTNOSTEM TS	POŽADOVANÁ HODNOTA A PŘÍPADNÁ TOLERANCE	VÁHA (1 - 4)
(1) Požadavky k obecným konstrukčním vlastnostem:		
• Tuhost konstrukce	vysoká	4
• Přesnost	vysoká	4
• Hmotnost	nízká	2
• Vytvořitelnost	vysoká	4
• Odolnost	vysoká	3
• Množství součástí	nízké	2
• Smontovatelnost	vysoká	3
(2) Požadavky k elementárním konstrukčním vlastnostem:		
• Dodavatelé	spolehliví, prověření	3

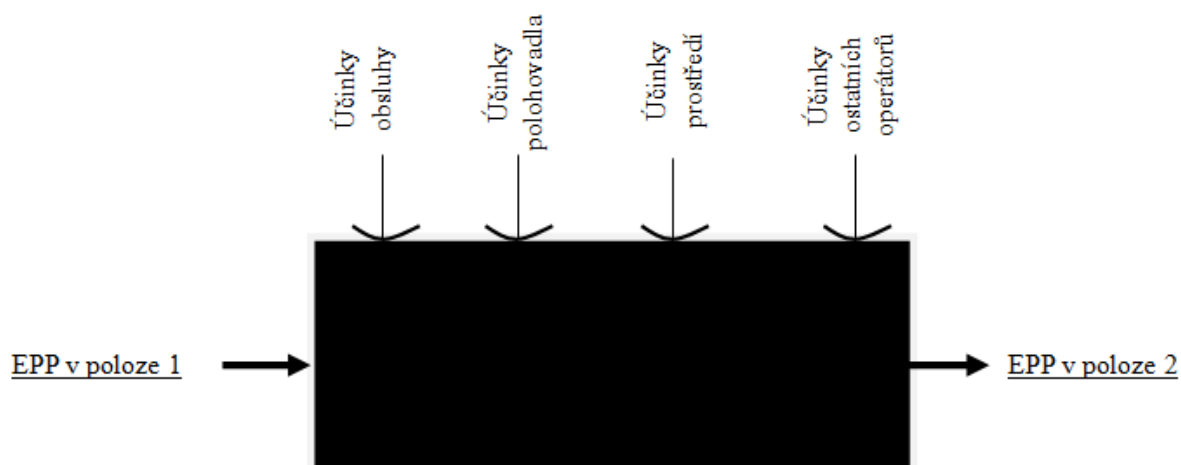
Tabulka 3 - Požadavky ke vnitřním a strukturním vlastnostem TS

4 Koncepční návrh

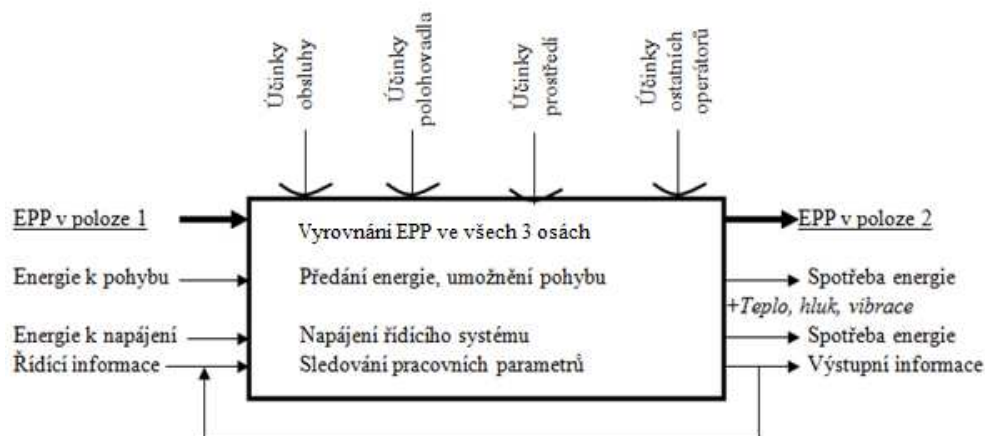
4.1 Navržení funkční struktury TS

4.1.1 Návrh provozního transformačního procesu TS

Technický systém (TS) plní požadavky na něj kladené přeměnou vstupních parametrů na parametry výstupní. Proces přeměny a tím i splnění požadavků může ovlivnit celá řada faktorů. Grafickým znázorněním transformačního procesu je takzvaný „Black box“.



Obrázek 11: Black box manipulátoru



Obrázek 12: Naplněný Black box manipulátoru

Navrhovaný technický systém musí změnit polohu portu plugu z výchozí polohy na koncové místo. Dále zajistí jeho zasunutí dovnitř testovací nádoby. Následně zajistí návrat do výchozí polohy. Veškeré procesy i faktory nesmí poškodit manipulovaný objekt.

Dosažení výše uvedených stavů doprovází řada vedlejších transformací. Jde zejména o převody energií nutných k umožnění hlavní transformace a o informace nutné k řízení procesu.

Cílem transformačního procesu je bez výjimky splnit hlavní transformace a omezit nežádoucí výstupy (teplo, hluk, vibrace).

4.2 Navržení orgánové struktury TS

4.2.1 Návrh orgánů pro stanovené funkce TS

Při návrhu jsou zkoumány možné funkční principy, plnicí funkce TS získané posouzením požadovaných vlastností. Jednotlivé principy jsou následně zapsány do morfologické matice.

FUNKCE	1. MOŽNOST	2. MOŽNOST	3. MOŽNOST	4. MOŽNOST
Princip pohonu	Řetěz	Přímočarý hydromotor	Pohybový šroub	Ozubené kolo a hřeben
Počet pohonů	Jeden	Dva	Tři	
Princip fungování pohonu	Elektrický pohon	Kapalinový pohon	Fyzický pohon	
Umožnění modifikování	Nastavením	Modulárně	Konstrukčně	
Pohyb manipulátoru	Kola	Bez pohybu		
Zamezení zranění obsluhy	Zakrytím	Řízením		
Odolnost proti seismicitě	Tuhý rám	Odpružení		

Tabulka 4: Morfologická matice

Equatorial port plug je šoupán po kolejkách. Je možné ho zatížit pouze na přírubě, a proto je navrhnout držák, který bude sílu mezi motorem a port plugem přenášet.

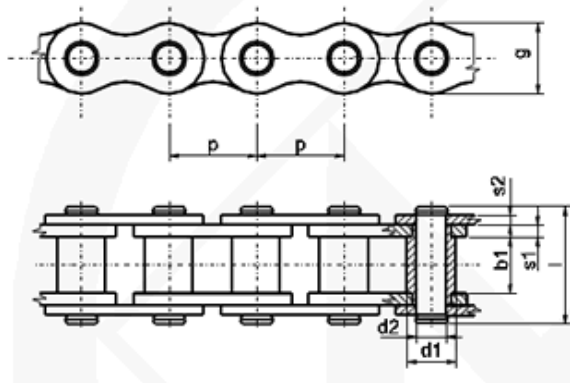
Princip pohonu:

- Řetěz

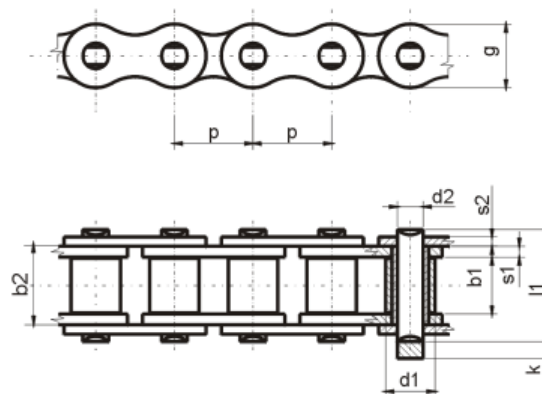
Mezi deskou a port plugem je místo pro pohonný mechanismus. První variantou způsobu posouvání je možnost posunu pomocí řetězu.

- **Válečkový** řetěz je vytvořen spojením vnitřních a vnějších článků. Vzájemná pohyblivost sousedních článků je umožněna točným uložením čepu vnějšího článku v pouzdru vnitřního článku. Na každém pouzdru je nasazen otočný váleček, který snižuje tření při náběhu na řetězové kolo. Proto je tento typ řetězu vhodný pro větší obvodové rychlosti. Pro přenos větších výkonů je možné použít řetěz dvouřadý (duplex), třířadý (triplex) nebo i víceřadý.
- **Pouzdrový** řetěz je velmi podobný válečkovému. Liší se tím, že nemá válečky, které snižují tření, a proto je vhodný pro menší rychlosti. Běžná dovolená rychlost pohybu řetězu je pro pomaloběžné pouzdrové

řetězy 0,3 až 1,2 m/s, max. 3,0 m/s. Pouzdrové řetězy se nejčastěji používají v trvalém pracovním režimu v hrubých provozních podmínkách, v provozech teplých a vlhkých. (8)

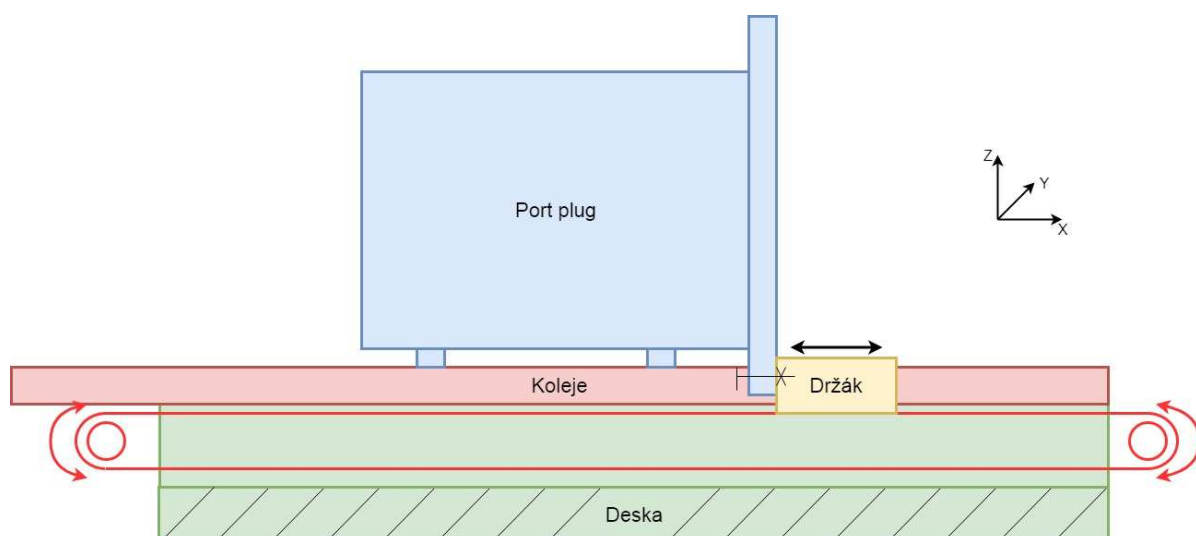


Obrázek 13 - Pouzdrový řetěz



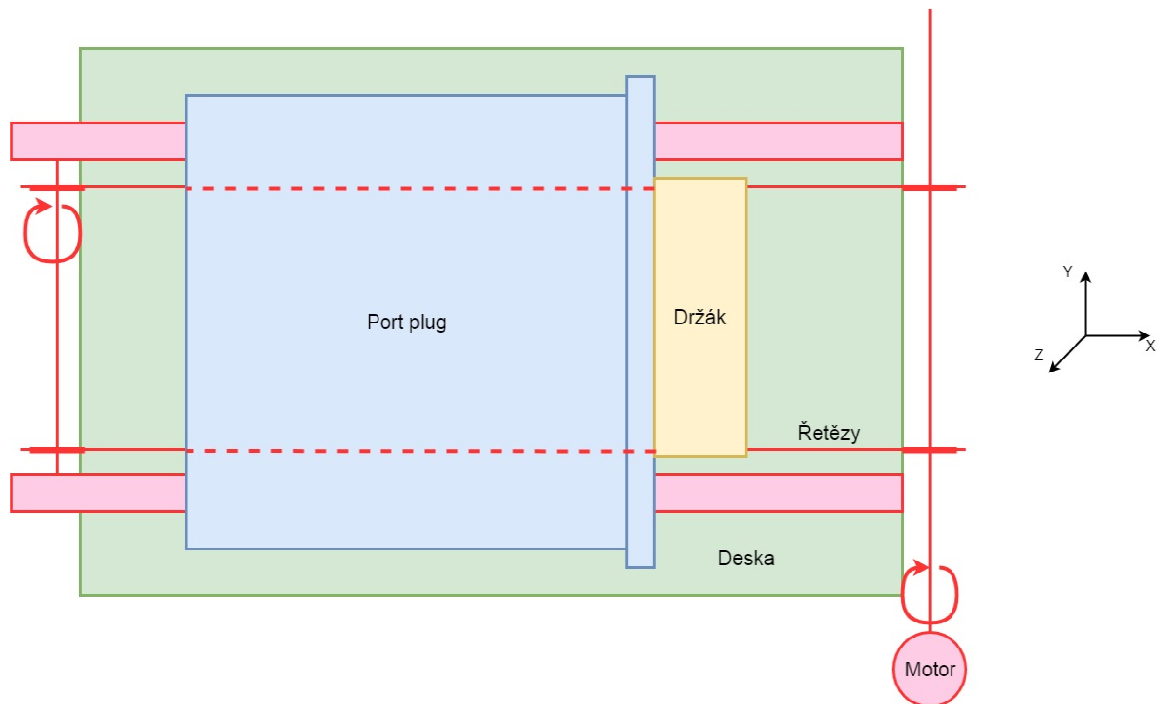
Obrázek 14 - Válečkový řetěz

Port plug je přichycen za přírubu přes držák na řetěz. Řetěz je poháněn elektromotorem na jedné ze stran manipulátoru.



Obrázek 15 - Pohon řetězem, z boku

Pro zamezení zpřičení je možné použít dva nebo více řetězů blíže u krajů. Ty zamezí nežádoucím pohybům.



Obrázek 16 - Pohon řetězem, shora

Výhody:

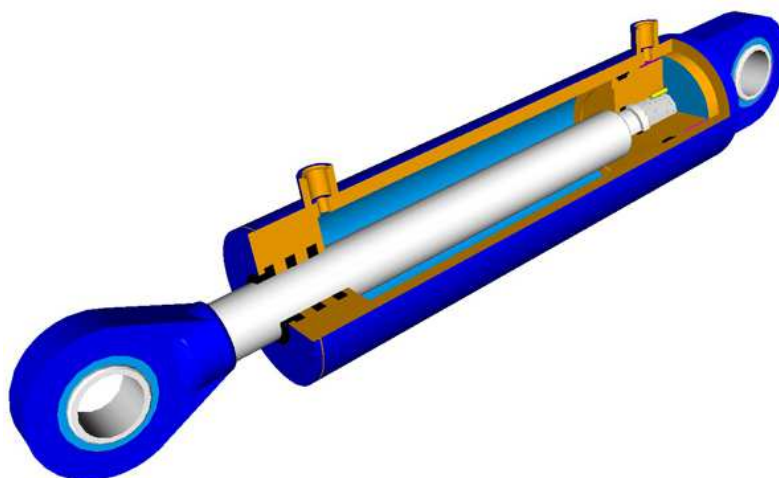
- Levné
- Malá hlučnost
- Malá energetická náročnost

Nevýhody:

- Nepřesné řízení
- Cukání při pomalém pohybu
- Nutnost napnutí

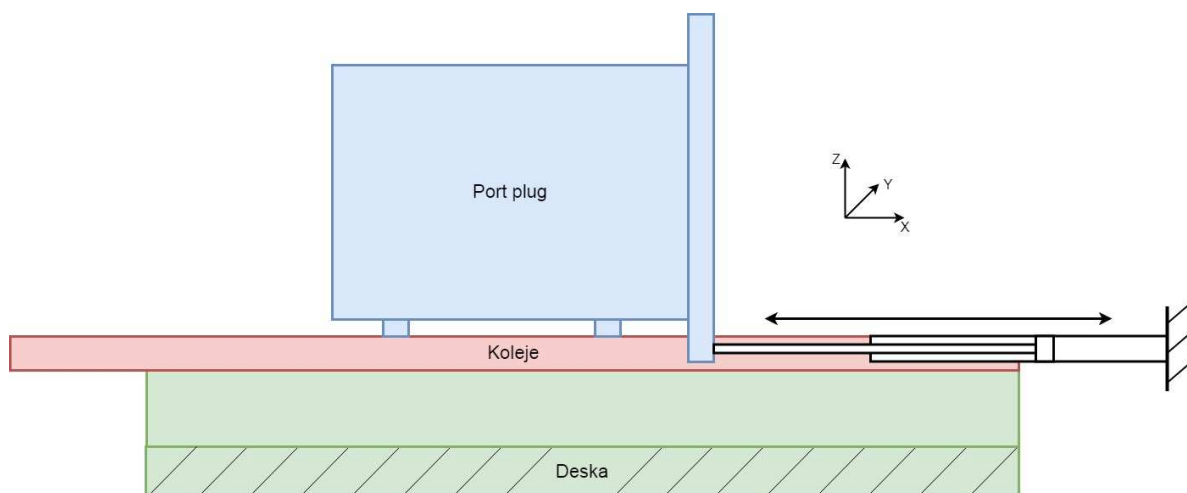
- Přímočarý hydromotor

Další variantou je použití přímočarého hydromotoru k zajištění posuvu plugu.



Obrázek 17 - Přímočarý hydromotor (9)

Toto je možné řešit dvěma způsoby. Prvním způsobem je použití jednoho dlouhého dvojčinného přímočarého hydromotoru ukotveného na přírubě port plugu a vně na pevné části manipulátoru.



Obrázek 18 - Pohon jedním hydromotorem

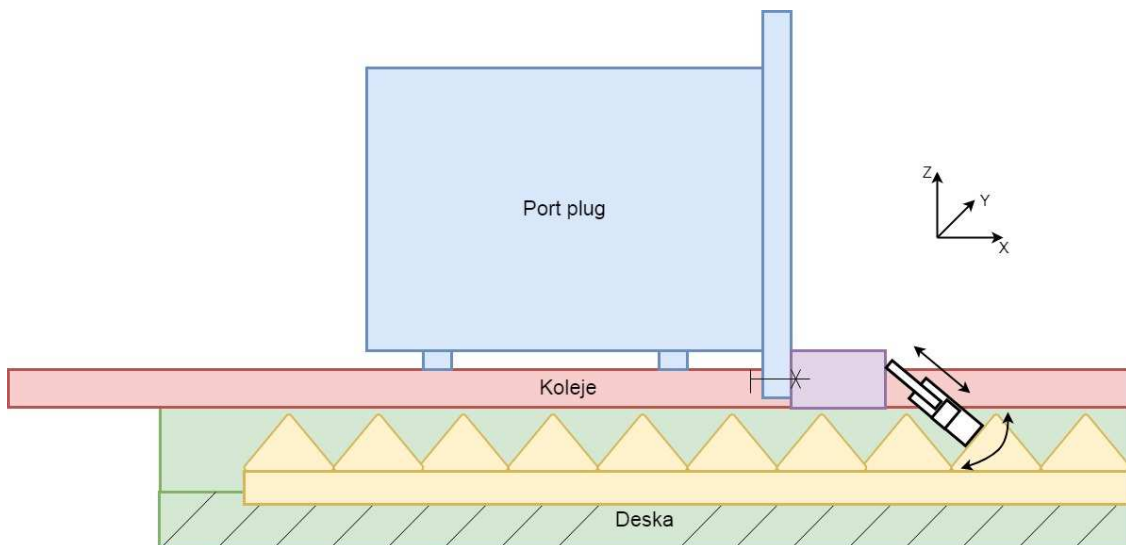
Výhody:

- Jednoduché
- Velká tuhost
- Rychlé
- Malá hlučnost

Nevýhody:

- Nutnost zajištění pístnice proti vybočení
- Velké množství oleje
- Potřeba hydroagregátu

Řešením prvních dvou nevýhod je použití kratšího hydromotoru. To je možné za předpokladu přestavování při každém zdvihu, což má za následek výrazné snížení rychlosti zasouvání.



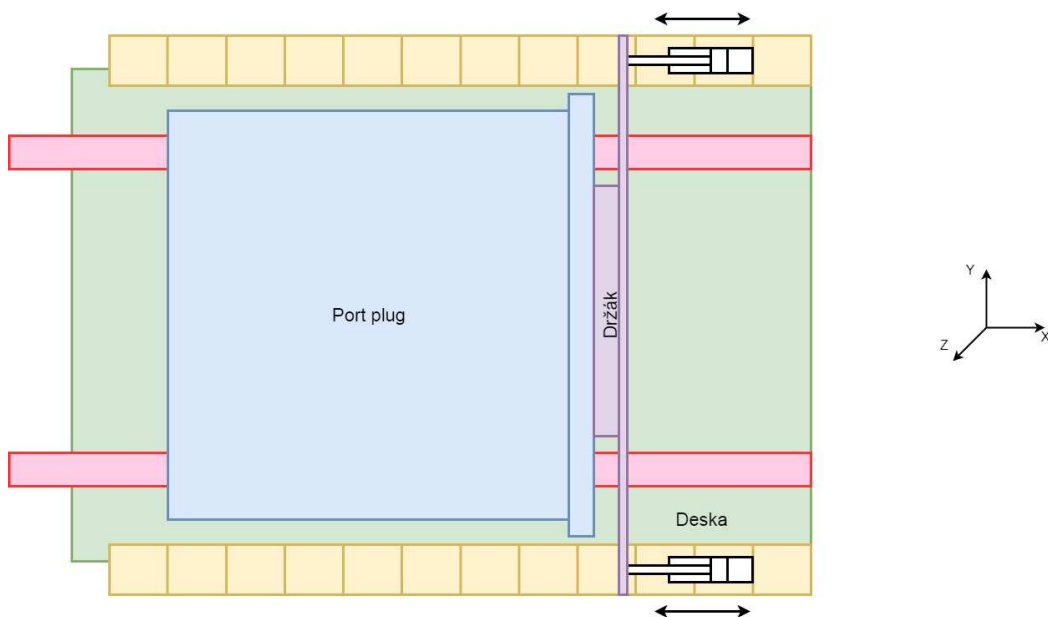
Obrázek 19 – Pohon kratším hydromotorem

Výhody:

- Levnější než předchozí varianta
- Méně potřebného oleje
- Malá hlučnost

Nevýhody:

- Nutnost přestavování
- Potřeba hydroagregátu
- Pomalé



Obrázek 20 - Pohon kratším hydromotorem, shora

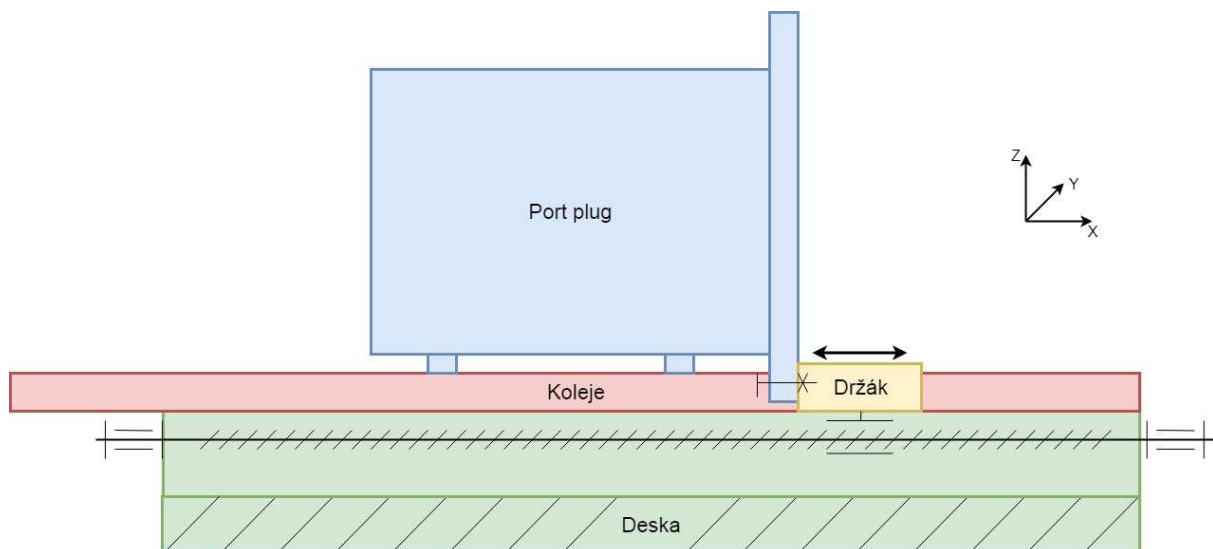
- Pohybový šroub

Slouží k přeměně otáčivého pohybu na pohyb přímočarý a zároveň k převodu točivého momentu na sílu působící v ose šroubu. Šroub se otáčí a matice se pohybuje axiálně a unáší s sebou i zařízení, které je s maticí pevně spojeno.

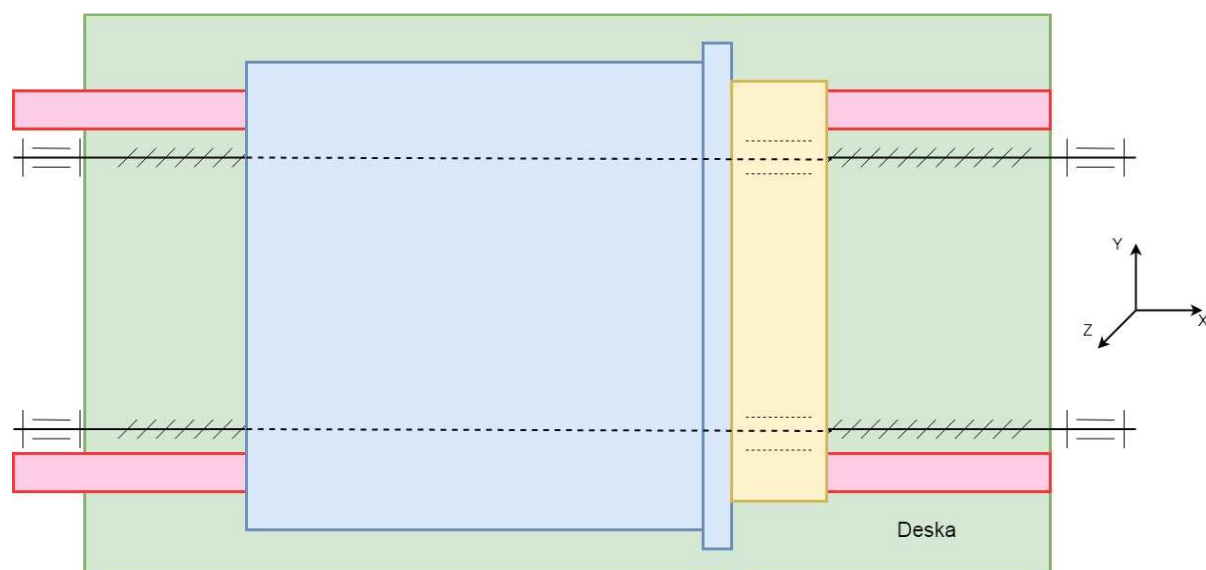


Obrázek 21 - Pohybový šroub

Provedení je podobné jako u dříve popisovaného pohybu pomocí řetězu. Znovu je potřeba zamezení příčiení pomocí dvou nebo více pohybových šroubů.



Obrázek 22 - Pohon pohybovým šroubem



Obrázek 23 - Pohon pohybovým šroubem – shora

Výhody:

- Přesné
- Nízká hmotnost
- Malá hlučnost

Nevýhody:

- Omezená délka zdvihu
- Nutnost mazání
- Pomalé

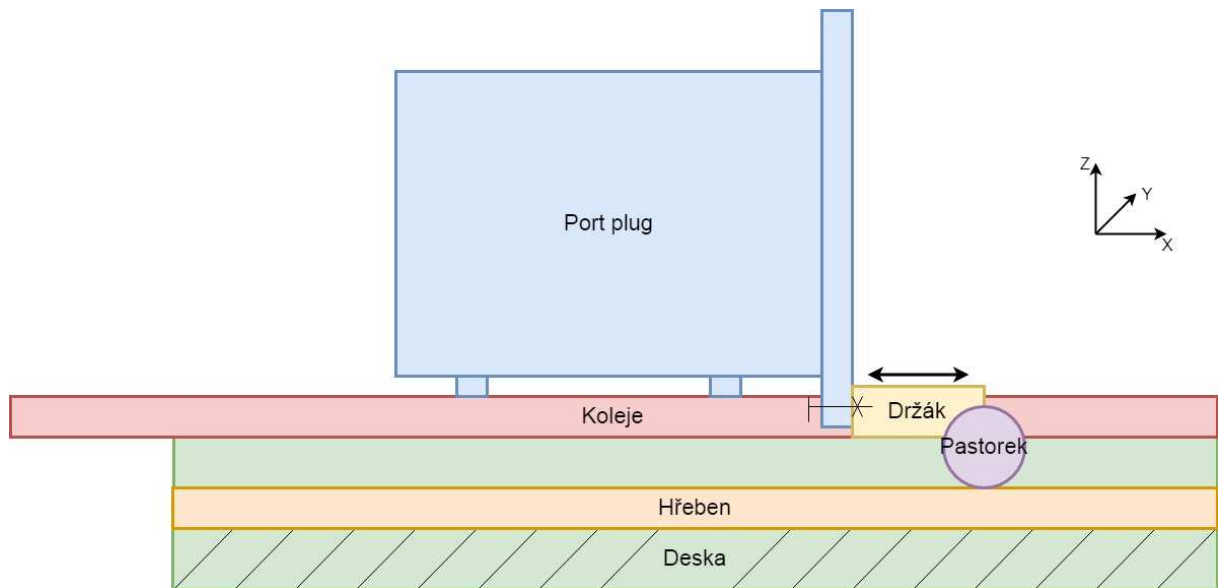
- Ozubené kolo a hřeben

Poslední možností zajištění posuvu port plugu je použití ozubeného kola s hřebem. Princip funkce tohoto převodu je zřejmý z Obrázek 24. Poháněný pastorek se odvaluje po ozubeném hřebu, který je upevněn k rámu stroje. Pastorek je poháněn motorem s velkým momentem nebo za pomoci převodovky jsou sníženy otáčky motoru a získán tak větší moment a tedy i větší posuvová síla.

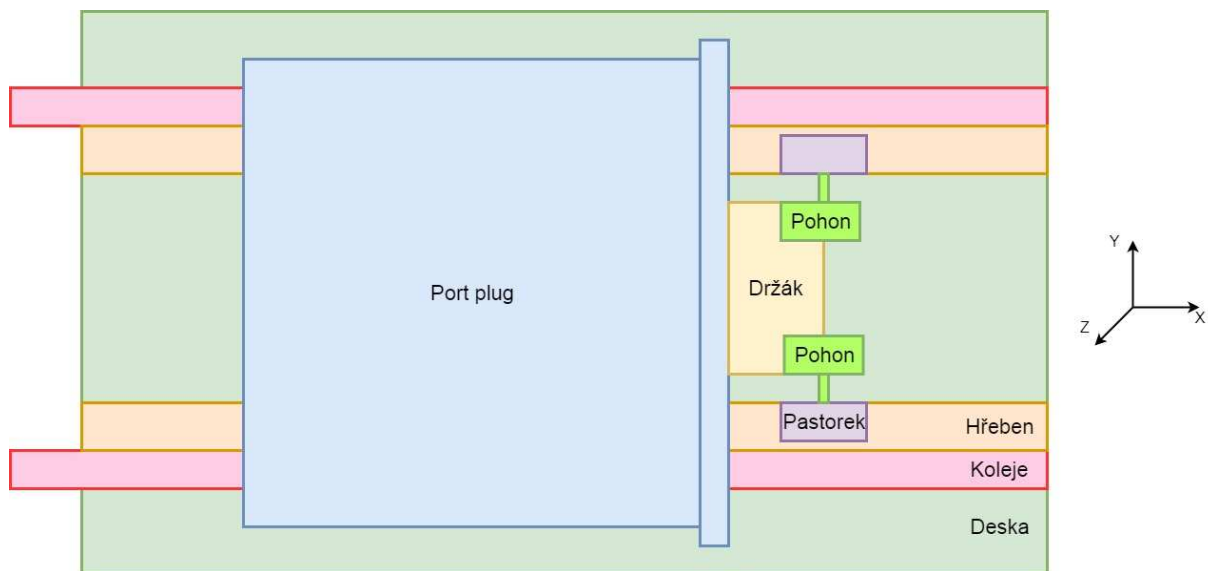


Obrázek 24 - Ozubené kolo a hřeben

Znovu je nutné zamezit zpříčení, proto je potřeba použití dvou hřebenů po obou stranách manipulátoru. Na každém hřebenu je pastorek se svým pohonem.



Obrázek 25 - Pohon pastorek – hřeben



Obrázek 26 - Pohon pastorek - hřeben – shora

4.2.2 Kombinace orgánů pro varianty/alternativy orgánové struktury TS

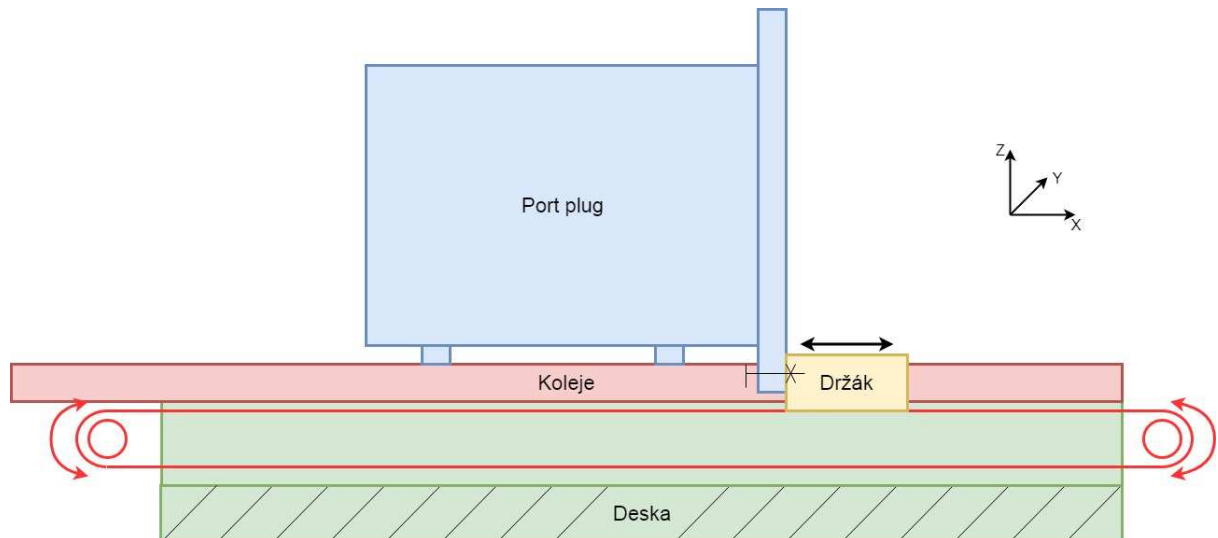
Uvažované varianty jsou znázorněny v níže uvedené tabulce:

- Varianta A -
- Varianta B -
- Varianta C -
- Varianta D -

FUNKCE	1. MOŽNOST	2. MOŽNOST	3. MOŽNOST	4. MOŽNOST
Princip pohonu	Řetěz	Přímočarý hydromotor	Pohybový šroub	Ozubené kolo a hřeben
Počet pohonů	Jeden	Dva	Tři	
Princip fungování pohonu	Elektrický pohon	Kapalinový pohon	Fyzický pohon	
Umožnění modifikování	Nastavením	Modulárně	Konstrukčně	
Pohyb manipulátoru	Kola	Bez pohybu		
Zamezení zranění obsluhy	Zakrytím	Řízením		
Odolnost proti seismicitě	Tuhý rám	Odpružení		

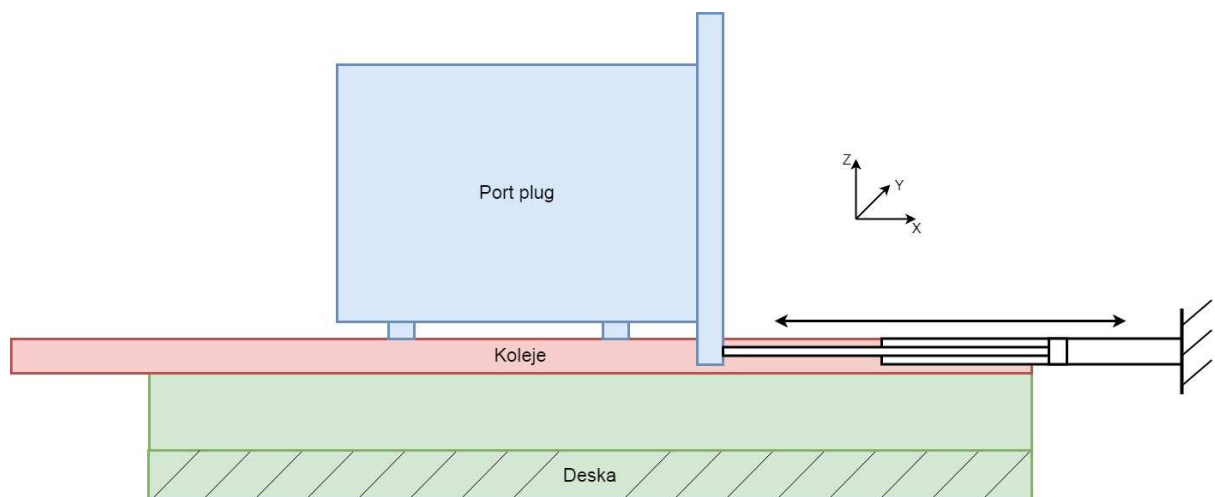
Tabulka 5 - Návrh variant

Varianta A je navržena se dvěma řetězy. Jejich pohon je zajištěn elektromotorem s převodovkou. Pro modifikování na manipulátor pro Upper port plug je zapotřebí konstrukční úprava řešení. Manipulátor je bez pohybu. Zamezení zranění obsluhy je nutné zajistit aktivním řízením.



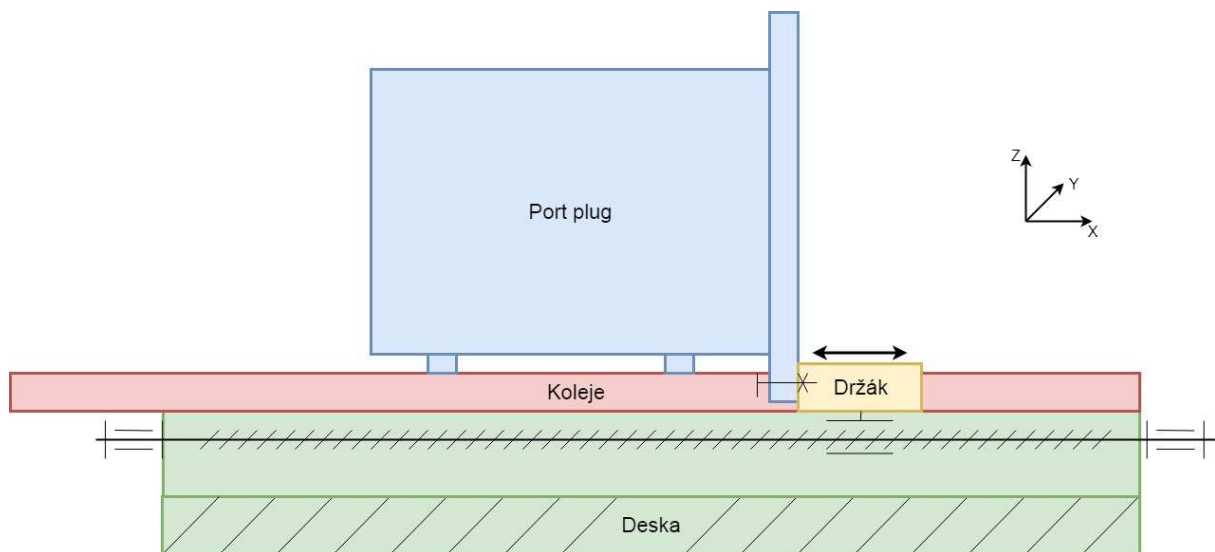
Obrázek 27 - Varianta A

Varianta B je zvolena s jedním přímočarým dvojčinným hydromotorem. Tato varianta také nepočítá s pohybem manipulátoru. Změnu na manipulátor pro UPP je zde také nutné provést konstrukčně. K manipulátoru musí být přivedena tlaková kapalina na polohování kolejí, proto jí lze v této variantě využít.



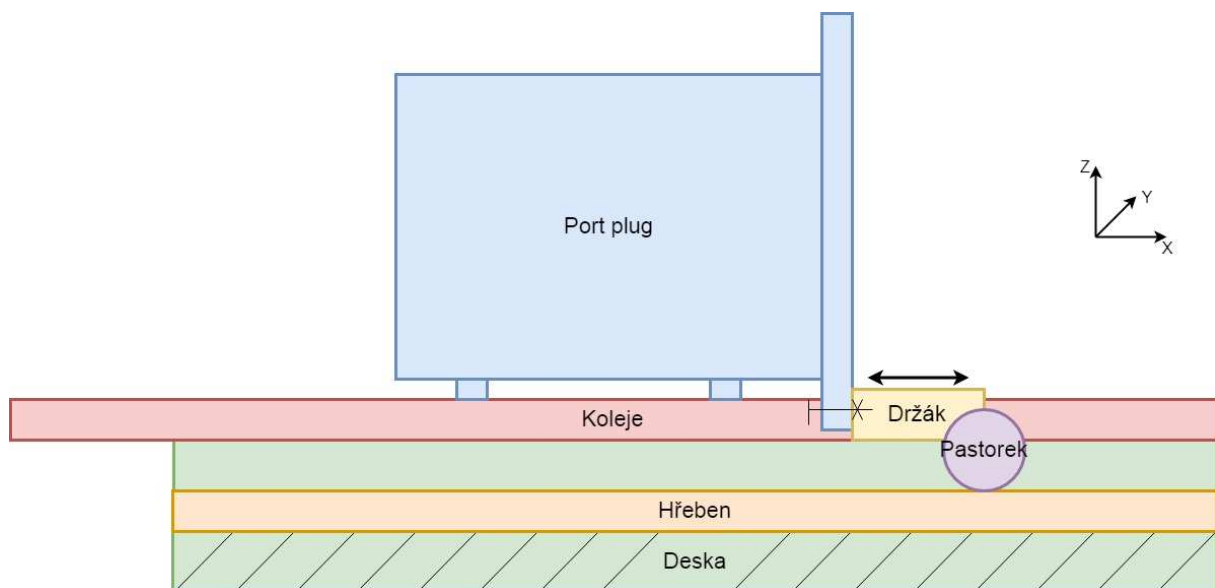
Obrázek 28 - Varianta B

Varianta C počítá s pohybem port plugu pomocí dvou pohybových šroubů poháněných elektromotorem s převodovkou.



Obrázek 29 - Varianta C

Varianta D využívá k pohybu port plugu dvou hřebenů s ozubenými koly. K jejich pohybu je použit rotační hydromotor, který je možné napojit na tlakovou kapalinu, která je zapotřebí na polohování kolejí s port plugem.



Obrázek 30 - Varianta D

4.2.3 Hodnocení navržených variant orgánové struktury TS

Volba varianty k podrobnějšímu rozpracování je provedena pomocí metody vícekritériálního rozhodování. Jako důležitá kritéria pro rozhodnutí mezi čtyřmi variantami manipulátoru byla zvolena:

- K1 – cena
- K2 – rychlost
- K3 – bezpečnost
- K4 – estetika
- K5 – složitost

Dále byla stanovena váha pro každé kritérium, kde 5 odpovídá nejlepší hodnotě splnění kritéria, 1 odpovídá hodnotě nejmenší. Stanovená dílčí váha kritéria je poměr mezi váhou jednotlivého kritéria a sumou vah všech kritérií.

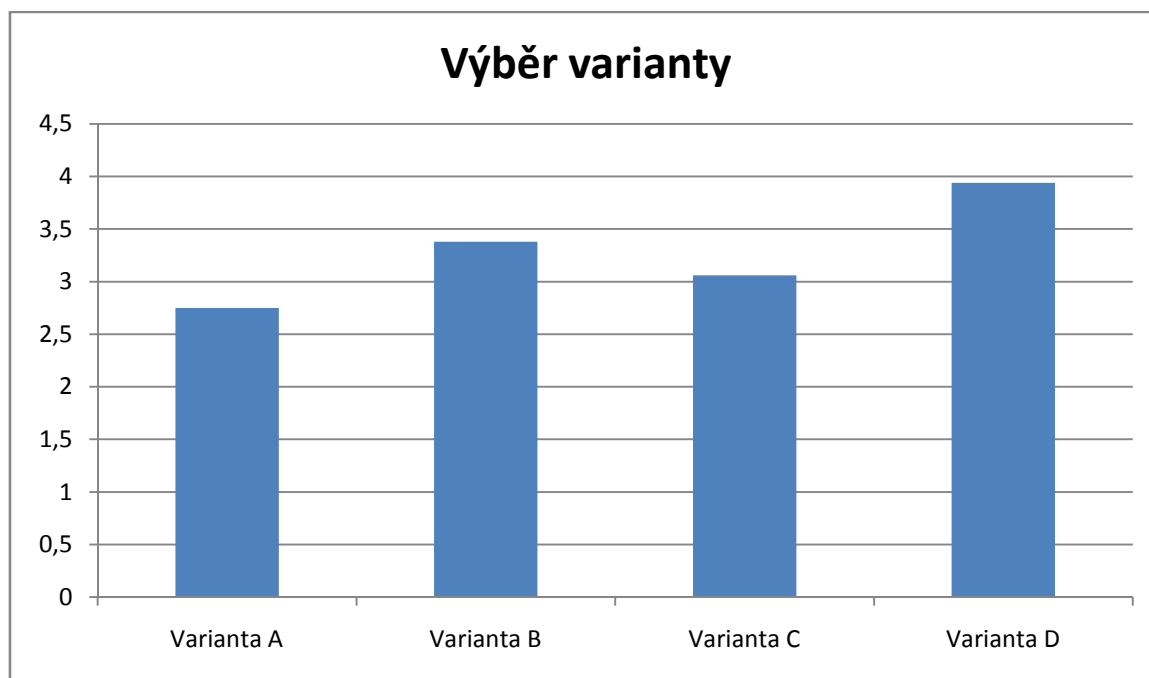
Kritérium	Váha kritéria	Dílčí váha kritéria
K1	5	0,31
K2	2	0,13
K3	4	0,25
K4	1	0,06
K5	4	0,25

Tabulka 6 - Váhy kritérií

Následně je provedeno přiřazení vah kritérií pro každou variantu konstrukce manipulátoru a uvedeny výsledky celkové agregace, která se počítá jako součet součinů dílčích vah a bodů hodnocení pro každou variantu.

Varianta	K1 cena	K2 rychlost	K3 bezpečnost	K4 estetika	K5 složitost	Agregace
A – řetězem	4	3	2	2	2	2,75
B – přímočarý hydromotor	2	5	4	2	4	3,38
C – pohybový šroub	4	3	3	3	2	3,06
D – pastorek a hřeben	4	4	5	3	3	3,94

Tabulka 7 - Bodování a agregace



Obrázek 31 - Graf výběr varianty

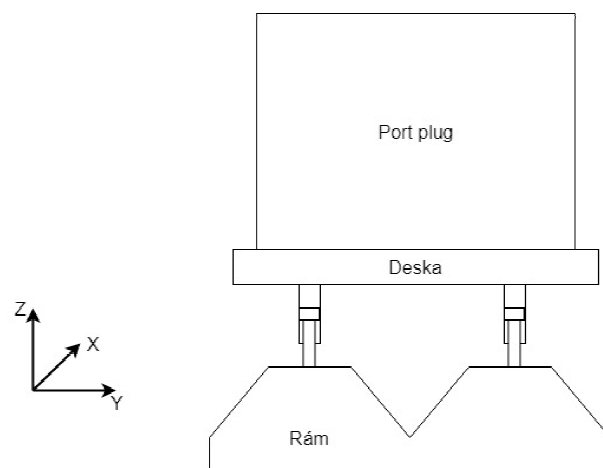
Nejvíce bodů získala varianta D – pastorek a hřeben. Dále v práci bude uvažována tato varianta.

5 Konstrukční celky manipulátoru

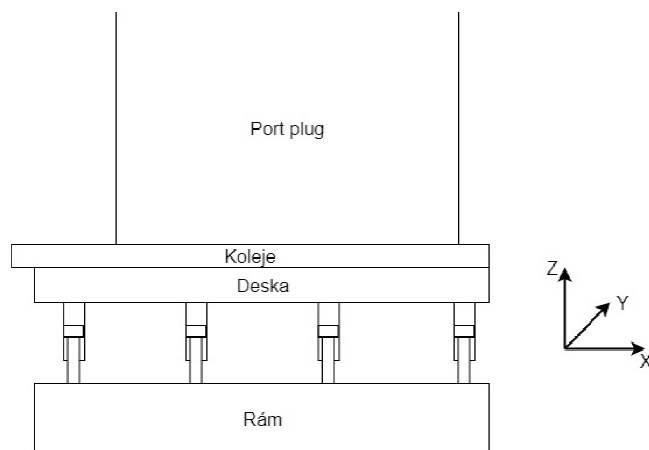
Pro vybranou variantu je dále rozpracován konstrukční návrh jednotlivých součástí manipulátoru. Návrh je prováděn jako odpověď na požadavky kladené v předešlých kapitolách.

5.1 Volba a umístění přímočarých hydromotorů

Pro přesné pohybování s port plugem je zapotřebí odebrat všech šest stupňů volnosti. V tomto případě podepřením desky několika hydromotory jsou odebrány pouze tři stupně volnosti. Posuv v ose Z a rotace kolem osy X i Y. Pro získání statické určitosti je zapotřebí přidání dalších hydromotorů.



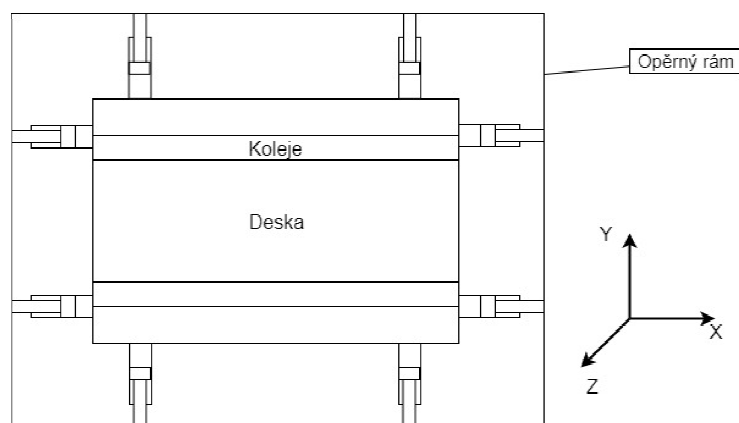
Obrázek 32 - Manipulátor zepředu



Obrázek 33 - Manipulátor z boku

5.1.1 Varianta A – Po obvodu

První variantou zajištění statické určitosti je umístění osmi hydromotorů po obvodu manipulátoru.



Obrázek 34 - Manipulátor shora, varianta A

Výhody:

- Jednodušší řízení
- Možnost menších hydromotorů

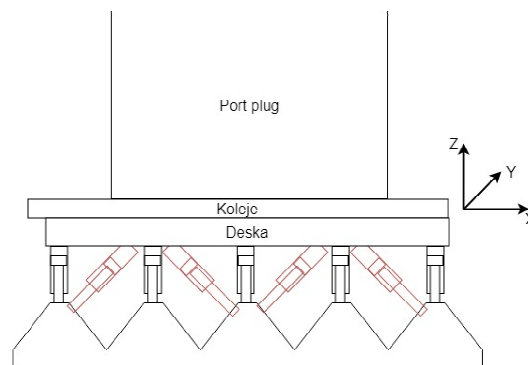
Nevýhody:

- Nutnost opěrného rámu
- Širší zařízení
- Cena

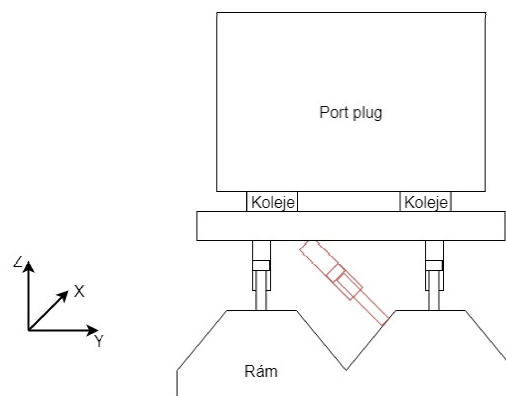
Velkou nevýhodou této varianty je nutnost vytvoření opěrného rámu. To nejen zvětší celý manipulátor, ale prodraží jeho výrobu.

5.1.2 Varianta B – Uvnitř

Druhou variantou zabránění rotace kolem osy Z a posuvu v osách X a Y je přidání deseti hydromotorů podle obrázku.



Obrázek 35 - Manipulátor z boku, varianta B



Obrázek 36 - Manipulátor zepředu, varianta B

Výhody:

- Užší manipulátor

Nevýhody:

- Více hydromotorů
- Delší pístnice

5.1.3 Vyhodnocení varianty

Hodnotící parametry	Váha	Varianta A		Varianta B	
Složitost konstrukce	3	3	9	2	6
Cena	5	2	10	6	30
Velikost	2	3	6	8	16
			25		52

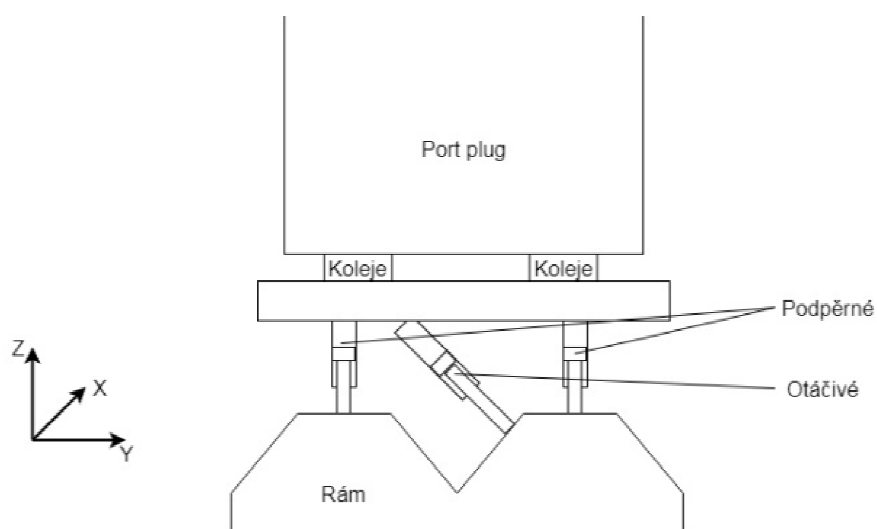
Tabulka 8 - Vyhodnocení varianty

Pro výběr nejvhodnější varianty manipulátoru byla použita tabulka, ve které jsou vypsány nejdůležitější hodnotící parametry, kterým je přiřazena váha podle jejich důležitosti. Jednotlivé varianty jsou obodovány v rozmezí od 1 do 10 bodů, kde 10 bodů je nejlepší. Následně jsou jednotlivé parametry v každé variantě roznásobeny přiřazenou váhou daného parametru. Dílčí výsledky jsou následně sečteny pro každou z variant a výsledné hodnoty jsou poté porovnány.

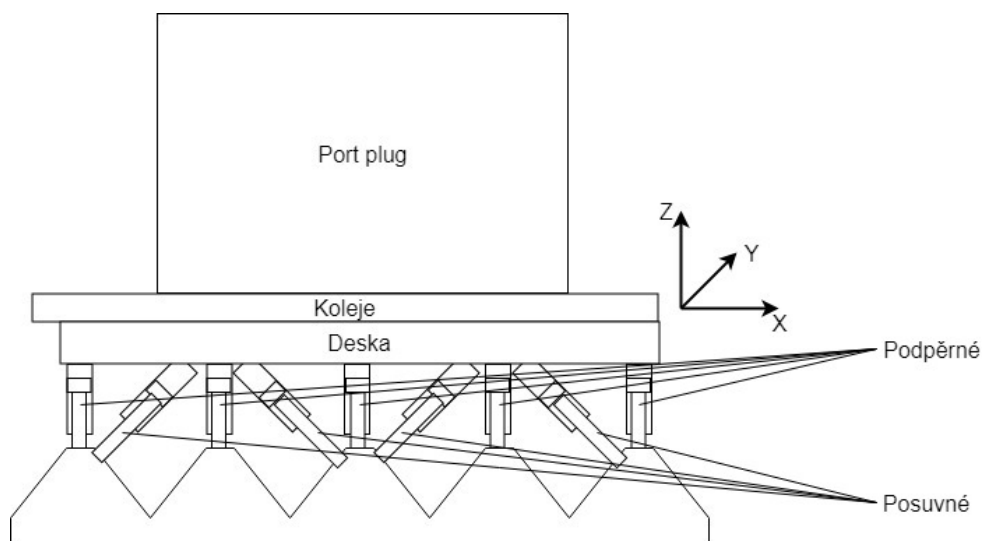
Z porovnávací tabulky vychází jako nejvýhodnější varianta B. Proto dále v práci je uvažována pouze tato varianta.

5.1.4 Výpočet a volba hydromotoru

Pro výpočet je nutné zvolení několika zátěžných stavů, ve kterých jsou hydromotory nejvíce namáhané.

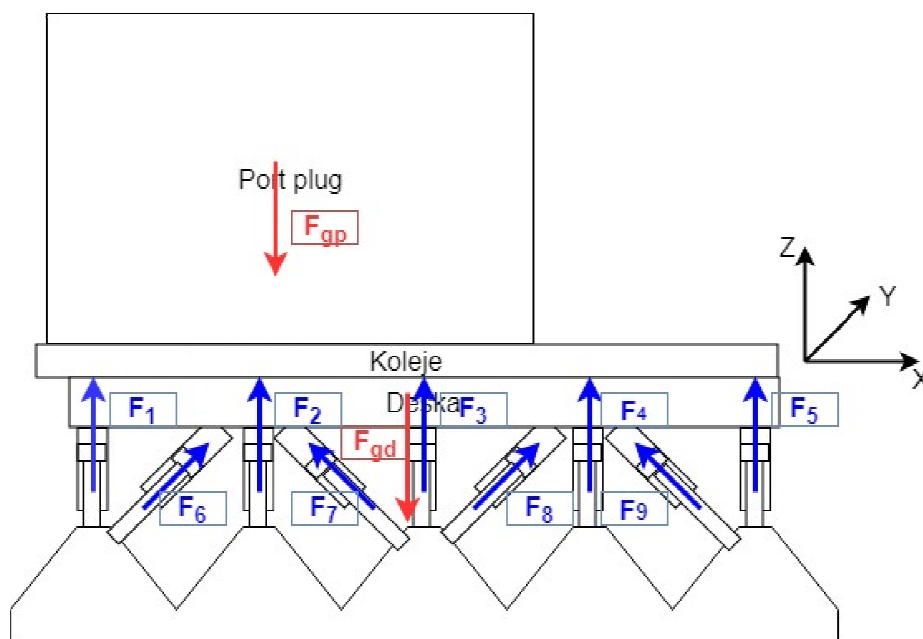


Obrázek 37 - Popis manipulátoru zepředu



Obrázek 38 - Popis manipulátoru z boku

Pro výpočet podpěrných hydromotorů je zvolena situace, kdy je port plug umístěn blíže k jedné straně. Na obrázku je znázorněna pouze jedna polovina manipulátoru. Druhá polovina je symetrická, proto jsou všechny hmotnosti vyděleny dvěma.



Obrázek 39 - Znázornění sil 1

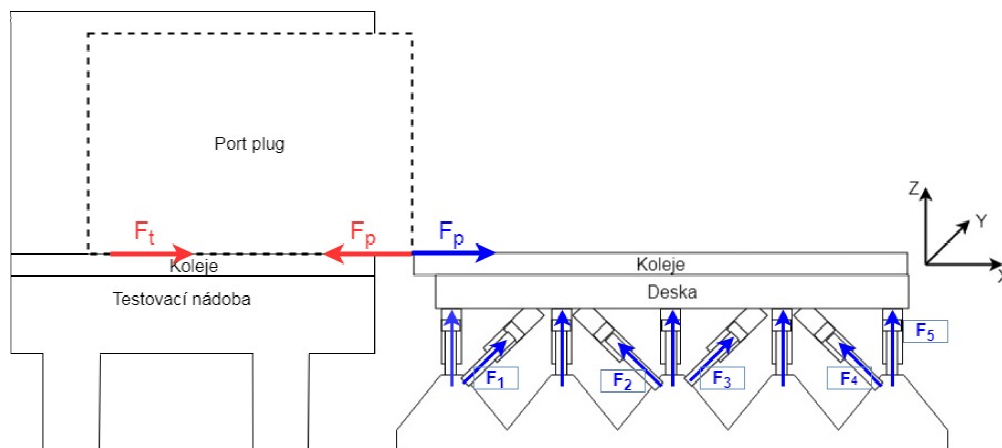
Za předpokladu, že port plug leží rovnoměrně na prvních třech hydromotorech, síly v nich budou stejné. Síly F_6 a F_7 jsou sklopené pod úhlem 45° , proto je uvažována ve výpočtu složka v ose Z.

Stejně je provedeno i zatížení deskou s koleji. Zatížení je rozloženo na všechny síly.

$m_p := \frac{45000}{2} \text{ kg} = 22500 \text{ kg}$	hmotnost portu plugu
$m_d := \frac{6500}{2} \text{ kg} = 3250 \text{ kg}$	hmotnost desky, motoru a kolejí
$g := 9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	gravitační zrychlení
$\alpha := 45^\circ$	úhel natočení
$F_{gp} := m_p \cdot g = 220.7 \text{ kN}$	gravitační síly
$F_{gd} := m_d \cdot g = 31.9 \text{ kN}$	
Za předpokladu, že jsou všechny hydromotory, tedy i ty šikmé, pod portem plugem stejně zatížené	
$n_1 := 3 \cdot 1 + \sin(\alpha) \cdot 2 = 4.4$	počet hydromotorů, které zvedají port plugu
$n_2 := 5 \cdot 1 + \sin(\alpha) \cdot 4 = 7.8$	počet hydromotorů, které zvedají desku
$F_1 := \frac{F_{gp}}{n_1} + \frac{F_{gd}}{n_2} = 54.1 \text{ kN}$	
$F_2 := F_1 = 54.1 \text{ kN}$	
$F_3 := F_1 = 54.1 \text{ kN}$	
$F_4 := \frac{F_{gd}}{n_2} = 4.1 \text{ kN}$	potřebná síla v hydromotorech
$F_5 := F_4 = 4.1 \text{ kN}$	
$F_6 := F_1 = 54.1 \text{ kN}$	
$F_7 := F_1 = 54.1 \text{ kN}$	

Výpočet byl proveden v programu Mathcad Prime 3.1.

Pro výpočet nakloněných hydromotorů je použita situace, kdy jsou opěrné body portu plugu již v testovací nádobě, ale pohon je stále na kolejích. V této chvíli vznikají největší síly v podélné ose X. Z důvodu zvolení pouze jednočinných hydromotorů jsou zatíženy pouze ty, které jsou při pohybu portu plugu v tlaku.

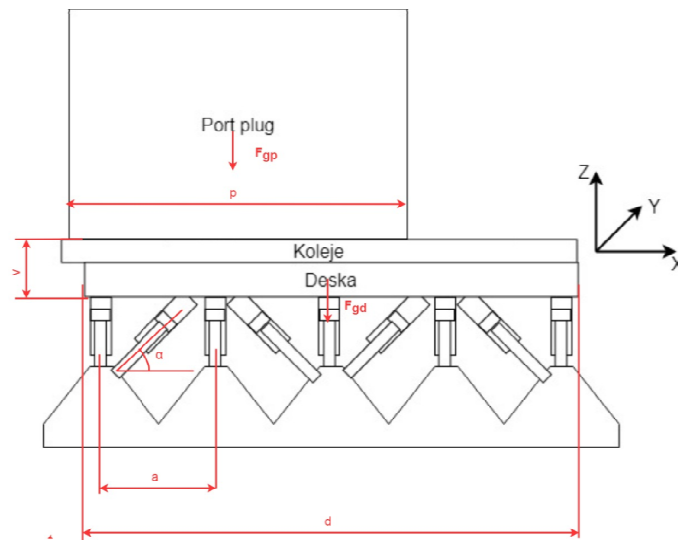


Obrázek 40 - Znázornění sil 2

$m_p := 45000 \text{ kg} = 45000 \text{ kg}$	hmotnost port plugu
$m_d := 6500 \text{ kg} = 6500 \text{ kg}$	hmotnost desky, motoru a kolejí
$g := 9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	gravitační zrychlení
$\alpha := 45^\circ$	úhel natočení
$f := 0.3$	koeficient tření
$F_{gp} := m_p \cdot g = 441.5 \text{ kN}$	gravitační síly
$F_{gd} := m_d \cdot g = 63.8 \text{ kN}$	
$F_p := F_{gp} \cdot f = 132.4 \text{ kN}$	potřebná síla na rozjetí port plugu
$F_p - (F_2 + F_4) \cdot \cos(\alpha) = 0$	rovnováha v ose x při pohybu dovnitř
$F_p - (F_1 + F_3) \cdot \cos(\alpha) = 0$	rovnováha v ose x při pohybu ven
$F_m := \frac{F_p}{2}$	síla působící na polovinu manipulátoru
$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F$	substituce za sílu ve válci
$F := \frac{F_m}{2 \cdot \cos(\alpha)} = 46.8 \text{ kN}$	síla ve válci

Výpočet byl proveden v programu Mathcad Prime 3.1.

Dále je ještě ověřena momentová podmínka. Pro zjednodušení je uvažováno zatížení pouze hydromotoru 5. V reálném případě bude toto zatížení menší, protože část síly bude na předchozích hydromotorech.



Obrázek 41 - Rozměry manipulátoru

$p := 4500 \text{ mm}$	délka port plugu
$d := 6500 \text{ mm}$	délka desky
$a := 825 \text{ mm}$	vzdálenost hydromotorů od sebe
$\alpha := 45^\circ$	úhel natočení
$v := 400 \text{ mm}$	tloušťka desky
$F_5 := \frac{F_p \cdot v}{d} = 4.1 \text{ kN}$	síla v posledním hydromotoru

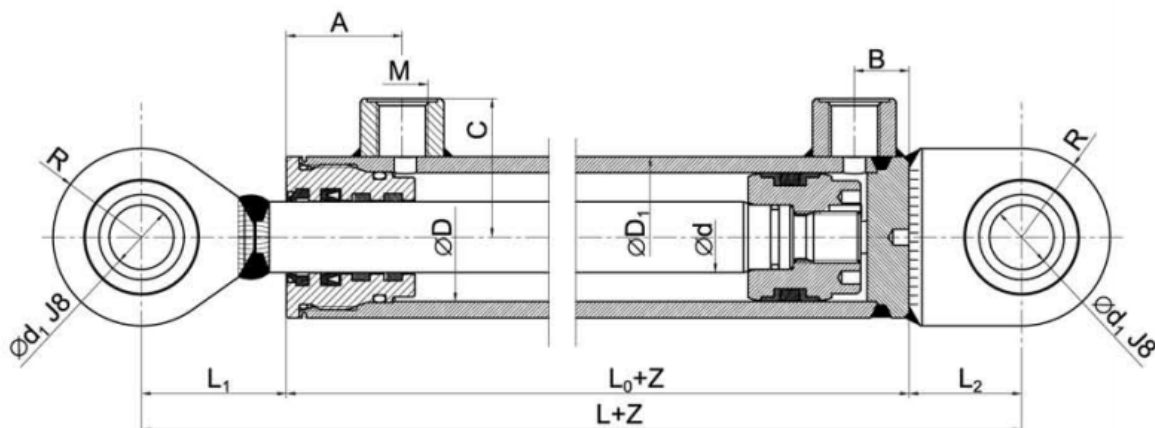
Výpočet byl proveden v programu Mathcad Prime 3.1.

Největší zatížení z momentové podmínky posledního hydromotoru je pouze silou o velikosti 4,1 kN. Ta je výrazně menší než síla potřebná pro zvedání, proto je dále tato síla zanedbána. Hydromotory budou dimenzovány pro zatížení 54,1 kN.

Pro navrhovaný manipulátor jsou zvoleny jednočinné hydromotory, které jsou vybrány z katalogu firmu Hydroma, spol. s r. o. podle následujících výpočtů.

$F_{pot} := 54.1 \text{ kN}$	potřebná síla v 1 válci
$p := 20 \text{ MPa}$	pracovní tlak
$k_s := 0.5$	koeficient pro seismickou aktivitu
$F_{max} := F_{pot} + F_{pot} \cdot k_s = 81.15 \text{ kN}$	maximální možná síla
$R_e := 600 \text{ MPa}$	mez kluzu
$k := 5$	bezpečnost
$\sigma_d := \frac{R_e}{k} = 120 \text{ MPa}$	dovolené napětí
$F_{celk} := F_{max} \cdot 1.1 = 89.265 \text{ kN}$	zatížení hydromotoru s odporovými silami
$d_{pk} := \sqrt{\frac{4 \cdot F_{celk}}{\pi \cdot \sigma_d}} = 30.775 \text{ mm}$	kritický průměr pístnice
$d_p := 35 \text{ mm}$	volený průměr pístnice
$D := \sqrt{\frac{4 \cdot F_{celk}}{\pi \cdot p}} = 75.384 \text{ mm}$	potřebný průměr pístu
$D := 80 \text{ mm}$	volený průměr pístu

Výpočet byl proveden v programu Mathcad Prime 3.1.



Obrázek 42 - Rozměry hydromotoru (10)

Maximální potřebná délka podpěrného hydraulického válce je 450 mm a šikmého válce 650 mm. Pro jejich zdvihy postačí uvažovat 40 mm.

ØD	Ød	ØD ₁	Ød ₁	L	L ₀	L ₁	L ₂	M	A	B	C	E	K	R	Maximální doporučené zdvihy dle zvol. Ø d	Hmotnost při daném zdvihu Z
25	12	35	12	142	80	44	18	10x1	36	15	29,5	10	9	17,5	180	$m = 0,7+Z \times 0,00656$
25	14	35	12	142	80	44	18	10x1	36	15	29,5	10	9	17,5	250	$m = 0,72+Z \times 0,00656$
32	18	42	20	170	90	45	35	12x1,5	36	17	39	16	14	27,5	350	$m = 1,5+Z \times 0,00656$
32	20	42	20	170	90	45	35	12x1,5	36	17	39	16	14	27,5	400	$m = 1,6+Z \times 0,00703$
40	22	50	20	170	90	45	35	16x1,5	36	17	43	16	14	27,5	400	$m = 2+Z \times 0,00853$
40	25	50	20	170	90	45	35	16x1,5	36	17	43	16	14	27,5	450	$m = 2+Z \times 0,00940$
50	25	60	25	190	102	50	38	16x1,5	43	16	48	20	18	32,5	400	$m = 3,1+Z \times 0,01063$
50	28	60	25	190	102	50	38	16x1,5	43	16	48	20	18	32,5	500	$m = 3+Z \times 0,01161$
63	32	75	25	215	116	57	42	16x1,5	50	23	55,5	20	18	35	600	$m = 5+Z \times 0,01652$
63	36	75	25	215	116	57	42	16x1,5	50	23	55,5	20	18	35	750	$m = 5+Z \times 0,01820$
70	36	85	30	235	125	65	45	22x1,5	54	25	60,5	22	20	42,5	650	$m = 7,35+Z \times 0,02232$
70	40	85	30	235	125	65	45	22x1,5	54	25	60,5	22	20	42,5	800	$m = 7,2+Z \times 0,02419$
80	40	95	30	240	130	65	45	22x1,5	59	25	65,5	22	20	42,5	700	$m = 8+Z \times 0,02604$
80	45	95	30	240	130	65	45	22x1,5	59	25	65,5	22	20	42,5	900	$m = 9+Z \times 0,02806$
90	45	105	35	275	140	80	55	22x1,5	64	27	70,5	25	25	47,5	800	$m = 12+Z \times 0,03051$
90	50	105	35	275	140	80	55	22x1,5	64	27	70,5	25	25	47,5	1000	$m = 12,4+Z \times 0,03344$
100	50	120	40	300	155	85	60	27x2	73	31	82	28	25	52,5	900	$m = 17+Z \times 0,04254$
100	55	120	40	300	155	85	60	27x2	73	31	82	28	25	52,5	1100	$m = 17,2+Z \times 0,04580$
110	55	130	45	345	185	95	65	27x2	78	38	87	32	30	60	950	$m = 23,6+Z \times 0,04824$
110	63	130	45	345	185	95	65	27x2	78	38	87	32	30	60	1100	$m = 23,9+Z \times 0,05406$
125	63	145	50	417	242	105	70	33x2	95	50	94,5	30	35	62,5	1000	$m = 36,6+Z \times 0,05700$
125	70	145	50	417	242	105	70	33x2	95	50	94,5	30	35	62,5	1350	$m = 37,6+Z \times 0,06300$
140	70	160	60	457	252	115	90	33x2	95	61	102	44	40	80	1000	$m = 51,9+Z \times 0,06700$
140	80	160	60	457	252	115	90	33x2	95	61	102	44	40	80	1150	$m = 52,9+Z \times 0,07600$
160	80	180	70	510	280	130	100	33x2	105	68	112	49	45	90	1150	$m = 72,8+Z \times 0,08100$
160	90	180	70	510	280	130	100	33x2	105	68	112	49	45	90	1500	$m = 74,2+Z \times 0,09200$
180	90	210	90	547	262	155	130	42x2	100	75	130	60	55	110	1300	$m = 101,9+Z \times 0,12200$
180	100	210	90	547	262	155	130	42x2	100	75	130	60	55	110	1700	$m = 107,5+Z \times 0,13400$
200	100	240	100	602	302	160	140	42x2	120	85	145	70	60	120	1500	$m = 146,3+Z \times 0,17100$
200	110	240	100	602	302	160	140	42x2	120	85	145	70	60	120	1850	$m = 147,8+Z \times 0,18400$

Zdvih pístnice podle přání zákazníka.

Zdvihy větší než maximální doporučené nutno kontrolovat na vzpěrnou pevnost.

Tabulka 9 - Rozměry hydromotoru (10)

Podle výsledků výpočtů vychází průměr pístnice ØD 90 mm.

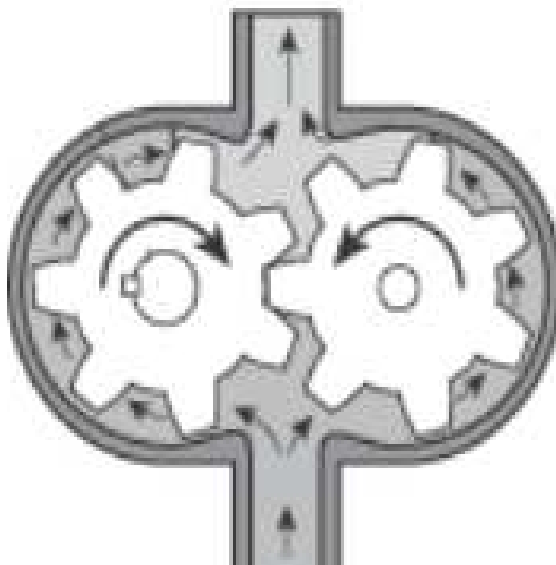
Délka celého hydromotoru je nejméně 240 mm, proto je nutné zvolit zdvih podpěrných hydromotorů $(450 - 240) / 2 = 105 \text{ mm}$ a šikmých hydromotorů $(650 - 240) / 2 = 205 \text{ mm}$.

5.2 Pohon po kolejích

V kapitole 4.2.3 byl vybrán pohon po kolejích pomocí pastorku a hřebene. K manipulátoru je již přivedena tlaková kapalina. Tu lze využít i na otáčení pastorkem.

Rozdělení rotačních hydromotorů:

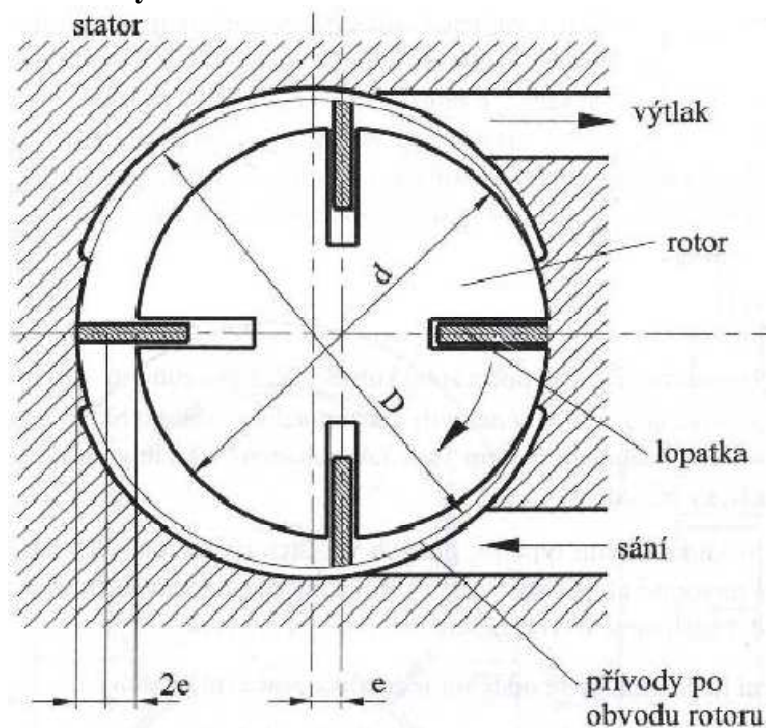
- Zubové



Obrázek 43 - Zubový hydromotor

Motor se roztáčí vlivem tlakového rozdílu na vstupu do motoru a jeho výstupu. Působením tlaku vzniká krouticí moment na hřídeli.

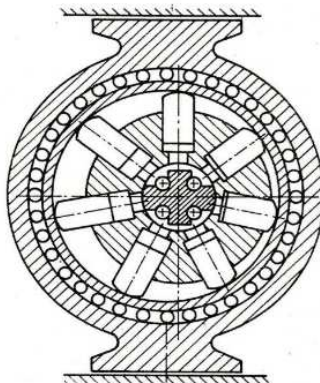
- Lamelové hydromotory



Obrázek 44 - Lamelový hydromotor

Vstupním kanálem je přiváděna kapalina k rotoru, který je uložen ve statoru excentricky. Prostor mezi rotorem a statorem je rozdělen lamelami uloženými v drážkách rotoru. Lamely jsou přitlačovány ke stěnám statoru. Kapalina při průchodu motorem tlačí na boky lamel a tím roztáčí rotor.

- Radiální pístové hydromotory

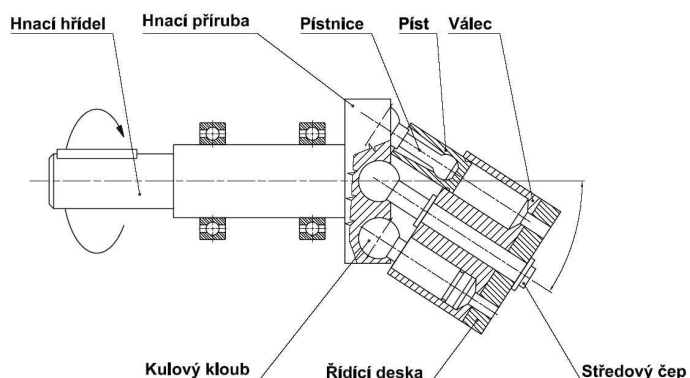


Obrázek 45 - Radiální pístový hydromotor

Síla z pístů od tlaku kapaliny se přenáší na výstředník vytvořený na výstupním hřídeli hydromotoru. Přenos síly od pístu ke středu rotoru je zajištěn prostřednictvím ojnice. Tyto pohony pístů se liší podle výrobce. Počet pístů bývá 5 až 7. Pro zvýšení krouticího momentu mohou být písty uspořádány ve dvou řadách vzájemně pootočených o polovinu rozteče pístů.

Téměř výhradně jsou radiální pístové hydromotory konstruovány pro nízké až střední otáčky s vysokým krouticím momentem. Pro dosažení zvláště velkých točivých momentů se pomaluběžné hydromotory kombinují s planetovým převodem.

- Axiální pístové hydromotory



Obrázek 46 - Axiální pístový hydromotor

Vstupním kanálem je přiváděna kapalina na řídicí desku, která zajistí rozvod kapaliny na dvě poloviny. Dále protéká do pístu, kde tlačí na plunžr, který roztáčí unášecí desku. Konec plunžru je opatřen kulovým čepem a naklápěcí částí, což umožňuje dokonalý styk s hnací přírubou. (11)

5.2.1 Výpočet

Z předchozích výpočtů je dáno, že síla vytvořená na port plug musí být alespoň 134,2 kN. Dle Newtonova zákona akce a reakce platí, že stejně velká síla, ale opačně orientovaná, bude působit i na hřeben. Z důvodu použití dvou hřebenů je použitá síla pro dimenzování vydělena dvěma.

Důležité hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách.

1.0 Volba základních vstupních parametrů			
1.1 Obvodová síla, síla na hřebenu	Ft	66200,00	[N]
1.2 Obvodová rychlost na roztečné kružnici	v vmax	0,02 < 30	[m/s]
1.3 Přenášený výkon	Pw	1,103 1,094	[kW]
1.4 Otáčky pastorku	n	1,26	[/min]
1.5 Kroutilý moment (pastorek)	Mk	8384,00	[Nm]

Tabulka 10 - Volba parametrů MITCalc

6.0 Základní rozměry ozubení			
6.1 Počty zubů pastorku	z	17 ~	
6.2 Šířka pastorku / hřebene	b	300 297	[mm]
6.3 Normální modul	mn	14	[mm]
6.4 Tečný modul	mt	14,8985	[mm]
6.5 Normální rozteč	p	43,982	[mm]
6.6 Čelní rozteč	pt	46,80498	[mm]
6.7 Základní rozteč	ptb	43,645	[mm]
6.8 Osová vzdálenost (roztečná)	a'	126,6372	[mm]
6.9 Osová vzdálenost (výrobní)	av'	126,6372	[mm]
6.10 Osová vzdálenost (pracovní)	aw'	126,6370	[mm]
6.11 Úhel záběru	α	20,00	[°]
6.12 Čelní úhel záběru	α_t	21,1728	[°]
6.13 Valivý úhel záběru normální	α_{wn}	20,0000	[°]
6.14 Valivý úhel záběru čelní	α_{wt}	21,1728	[°]
6.15 Úhel sklonu zubů	β	20,00	[°]
6.16 Základní úhel sklonu	β_b	18,7472	[°]
6.17 Průměr hlavové kružnice	da	281,2740 ~	[mm]
6.18 Průměr roztečné kružnice	d	253,2743 ~	[mm]
6.19 Průměr základní kružnice	db	236,1771 ~	[mm]
6.20 Průměr patní kružnice	df	218,2743 ~	[mm]
6.21 Průměr valivé kružnice	dw	253,2743 ~	[mm]
6.22 Výška hlavy zubu	ha	13,9999 8,7498	[mm]
6.23 Výška paty zubu	hf	17,5000 17,5000	[mm]
6.24 Tloušťka zubu na hlavové kružnici	sna	9,7831 15,6131	[mm]
6.25 Tloušťka zubu na hlavové kružnici (tečná)	sta	10,5521 16,6174	[mm]
6.26 Tloušťka zubu na roztečné kružnici	sn	21,9911 21,9911	[mm]
6.27 Tloušťka zubu na roztečné kružnici (tečná)	st	23,4025 23,4025	[mm]
6.28 Tloušťka zubu patní kružnici	sb	24,0523 36,9590	[mm]
6.29 Jednotková tloušťka zubu na hlavové kružnici	sa*	0,7537 1,1870	[modul]
6.30 Jednotkové přisunutí kol	dY	0,0000	[modul]
6.31 Celková jednotková korekce	x1+x2	0,0000	[modul]
6.32 Jednotkové posunutí	x	0,0000 0,0000	[modul]

Tabulka 11 - Základní rozměry MITCalc

10.0 Napětí a koeficienty bezpečnosti				
10.1	Na únavu v dotyku	SH	1,46	1,57
10.2	Na únavu v ohybu	SF	5,08	6,55
10.3	V dotyku při jednorázovém přetížení	SHst	1,76	1,76
10.4	V ohybu při jednorázovém zatížení	SFst	13,14	15,73

Tabulka 12 - Napětí a bezpečnost MITCalc

5.2.2 Volba

Nejdůležitějším parametrem pro výpočet rotačního hydromotoru je potřebný moment 8 384 Nm. Pro tento vysoký moment je vhodný radiální pístový hydromotor, který byl zvolen od firmy Parker Hannifin Sales CEE s.r.o.

Size Motor version	Displacement		Moment inertia of rotating parts	Theore- tical specific torque ^a	Min. start. torque / Theore- tical torque	Maximum Pressure					Speed range		Maximum output power		Weight		
						input			A+B *	Drain	flushing		flushing				
						cont.	int.	peak			without	with	without	with			
						p	p	p			p	p	n	n		P	P
	V	J		%	bar	bar	bar	bar	bar	giri/min	giri/min	kW	kW	kg			
	cm ³	kg cm ²	Nm/bar			bar	bar	bar	bar	bar			kW	kW	kg		
M R D	300	Min.	152,1	58,50	2,42	-	250	300	420	400	5 (15 bar with "F1" shaft seal)	1-1000	1-1000	20	35	56	
		Max.	304,1	65,50	4,80	90						1-750	1-750	35	53		
	450	Min.	225,8	208,40	3,60	-						1-850	1-850	29	45	83	
		Max.	451,6	229,80	7,20	90						1-600	1-600	46	75		
M R V	450	Min.	133,5	185,50	2,11	-						1-1000	1-1000	22	35	110	
		Max.	451,6	229,80	7,20	90						1-600	1-600	46	75		
M R D	700	Min.	237,6	309,67	3,80	-						1-750	1-750	26	45	103	
		Max.	706,9	358,40	11,30	90						1-500	1-500	65	97		
	1100	Min.	381,3	392,67	6,10	-						0,5-600	0,5-600	34	54	147	
		Max.	1125,8	451,50	17,90	90						0,5-330	0,5-330	77	119		
	M R D	1800	Min.	603,2	752,89	9,6						-	0,5-450	0,5-450	46	69	209
			Max.	1809,6	854,10	28,80						90	0,5-250	0,5-250	103	157	
	M R V	2800	Min.	930,7	2622,99	14,8	-	0,5-120	0,5-320	52	80	337					
			Max.	2792,0	2975,70	44,50	90	0,5-120	0,5-215	127	194						
	M R V	4500	Min.	1497,8	4420,44	23,9	-	0,5-100	0,5-280	55	85	520					
			Max.	4502,7	5015,10	71,70	91	0,5-80	0,5-170	140	210						
	M R V	7000	Min.	2322,4	10149,53	36,98	-	0,5-100	0,5-210	82	125	812					
			Max.	6967,2	11376,60	110,94	91	0,5-80	0,5-130	170	250						

Tabulka 13 - Volba rotačního hydromotoru (12)

Při použití stejného tlaku s přímočarým hydromotorem dosahuje tento krouticího momentu $44,5 * 200 = 8\,900$ Nm, což je více než potřebných 8 384 Nm.

5.3 Ověření polohy port plugu

Pro zajištění správné polohy port plugu je nutné ověřit jeho polohu. Dle zadavatele je kritérium přesnosti polohy port plugu $\pm 0,5$ mm.

5.3.1 Rozdělení senzorů

5.3.1.1 Lankové senzory

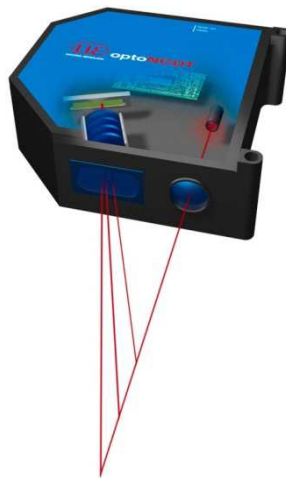
Měřicí princip lankových senzorů umožňuje měření velkých vzdáleností při malých rozměrech senzoru. Lankový senzor měří lineární pohyb sledovaného objektu pomocí pleteného lanka z nerezových vláken, které je navíjeno na bubínek pomocí pružinového motoru s dlouhou životností. Navíjecí bubínek je axiálně propojen s víceotáčkovým nebo inkrementálním potenciometrem popřípadě absolutním enkodérem. Lineární pohyb měřeného objektu je transformován na rotační pohyb a ten je přeměněn na změnu odporu popřípadě na počet impulsů. Senzory s integrovanou elektronikou dodávají na výstup napětí nebo proud.



Obrázek 47 - Lankový senzor (13)

5.3.1.2 Laserové senzory

Díky vysokému rozlišení snímačů jsou laserové senzory ideální pro nekontaktní měření vzdálenosti a pozice. Skrze pokročilé metody analýzy dokáže laserový senzor vypočítat přesnou vzdálenost k objektu pomocí triangulace či fázového posunu. Kompaktní a robustní design senzoru umožňuje měření i ve ztížených podmínkách.



Obrázek 48 - Laserový senzor (14)

5.3.1.3 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory měří vzdálenost bez nutnosti kontaktu nezávisle na barvě nebo materiálu objektu. Vysokofrekvenční ultrazvukové vlny jsou vysílány senzorem směrem k objektu a zpět se vrací odrazem. Na základě prodlevy mezi dobou vyslání signálu a jeho návratem dokáže sensor velice přesně určit vzdálenost snímaného objektu.



Obrázek 49 - Ultrazvukové senzory (15)

5.3.1.4 Kapacitní senzory

Kapacitní měřicí principy vznikly před více jak 40 lety a od té doby neustále dokazují svou efektivitu a spolehlivost v mnoha různých aplikacích. Kapacita senzoru je ovlivňována vzdáleností elektrod, a proto je kapacitní sensor vynikajícím nástrojem pro určování vzdálenosti nekontaktním způsobem. Senzory mají extrémně vysoké rozlišení a dokážou velice přesně určit vzdálenost mezi objekty. Připojená elektronika zobrazuje výsledky v reálném čase. Veškerá elektronika má analogový výstupní signál, který může být použit pro další zpracování. Kapacitní sondy poskytují velice přesné výsledky a to i v extrémních podmínkách jako je například radiace blížící se k 0 K nebo ve vakuu.



Obrázek 50 - Kapacitní senzor (16)

5.3.1.5 Lineární potenciometry

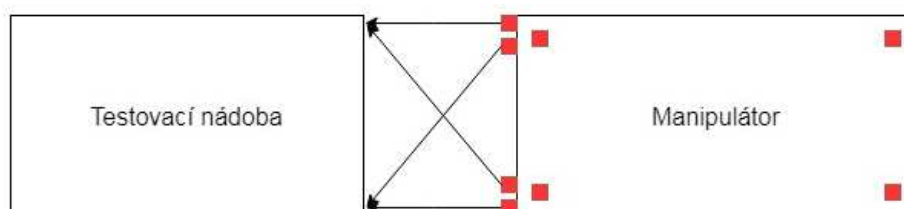
Potenciometrické snímače pracují na podobném principu jako lineární proměnný odpor, jehož jezdec se pohybuje po odporové dráze tak, že výstupní napětí je závislé na jeho poloze. Odporová dráha je vytvořena pomocí drátem vinutého elementu nebo je dnes stále častěji vyráběna z vodivého plastu. Využitím plastového elementu je dosahováno téměř nekonečného rozlišení (v praxi asi 0,01 mm). Nevýhodou tohoto typu senzoru je vyšší citlivost na vibrace, protože vzniká nebezpečí odskoku jezdce a tím dochází ke ztrátě výstupního napětí. Výhodou je cena a absolutní měření, což znamená, že naměřená hodnota zůstává zachována i při výpadku napájecího napětí.



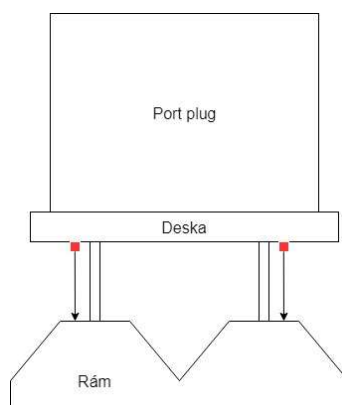
Obrázek 51 - Lineární potenciometr (17)

5.3.2 Umístění senzorů

Pro jednoznačné určení polohy port plugu je zapotřebí použití osmi senzorů měření vzdálenosti. Pro zajištění potřebné výšky a naklopení desky jsou čtyři senzory umístěny v rozích desky. Další čtyři senzory se nachází mezi deskou manipulátoru a testovací nádobou pro usazení port plugu do správné polohy.



Obrázek 52 - Umístění senzorů shora



Obrázek 53 - Umístění senzorů zepředu

5.3.3 Volba senzorů

Pro zvolení vhodného senzoru je vytvořena tabulka pro porovnání jednotlivých vlastností. Senzor musí mít rozlišovací schopnost na desetiny milimetru a zároveň rozsah měření kolem jednoho metru. Těmto požadavkům vyhovují senzory lankové, laserové a lineární senzory.

Hodnotící parametry	Váha	Lankové		Laserové		Lineární	
Složitost montáže	5	4	20	10	50	5	25
Cena	3	10	30	5	15	6	18
Spolehlivost	5	8	40	7	35	9	45
			90		100		88

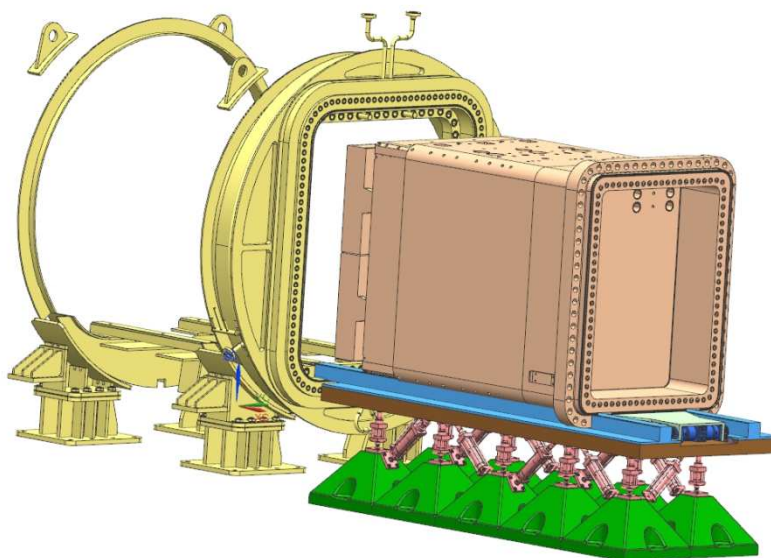
Obrázek 54 - Výběr senzorů

Srovnáním výsledků hodnotících parametrů je nejvhodnějším řešením pro použití senzoru na manipulátoru laserový snímač. Především z důvodu jednoduché montáže a seřízení.

5.4 Rám manipulátoru

Model i výpočty MKP byly provedeny v Softwaru Siemens NX 11 pomocí řešiče NX Nastran, SOL 101 Linear Statics.

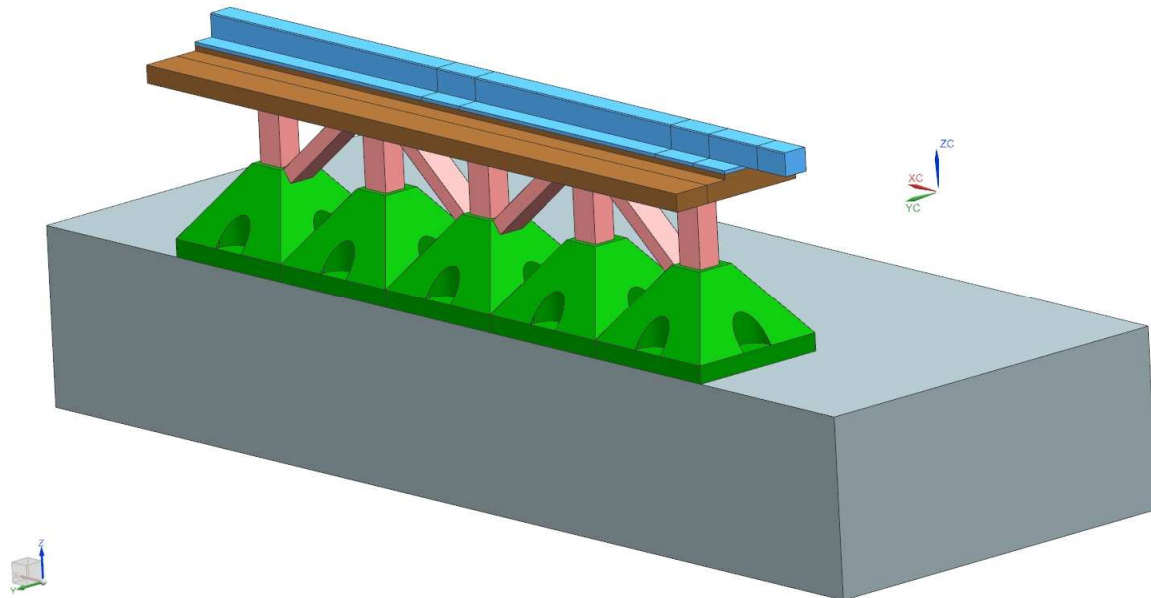
Rám musí být pevně zakotven a zároveň musí co nejlépe rozkládat síly na něj působící do podlahy. Proto je zaměřen hlavně na dovolený tlak na podlahu.



Obrázek 55 - Manipulátor

Pro MKP výpočet rámu byl použit zjednodušený model manipulátoru. Pro urychlení výpočtu je možné použít pouze polovinu manipulátoru, protože je symetrický.

Zeleně je znázorněný rám manipulátoru, červeně zjednodušené hydromotory. Koleje jsou vyznačeny modrou barvou. Pro desku sloužící k uchycení hydromotorů a kolejí je použita hnědá barva. Beton (podlaha v hale) je šedivý.



Obrázek 56 - Zjednodušený model

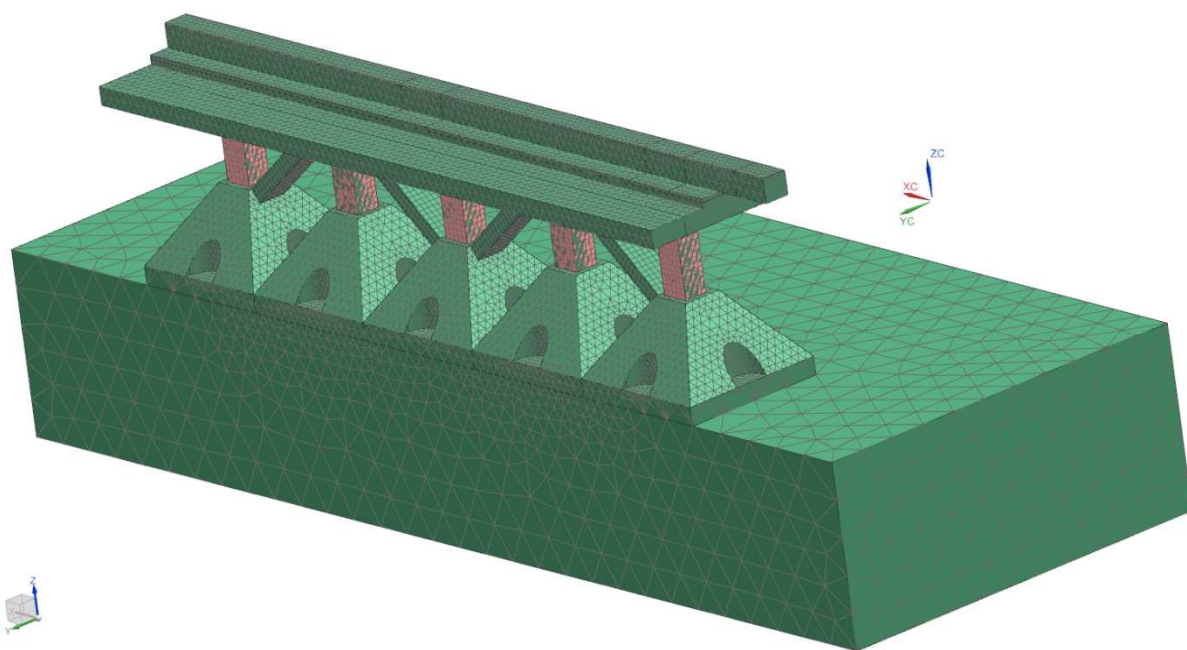
Rám manipulátoru je složený z deseti jednotlivých částí, které jsou přimontovány k podlaze. Viz obrázek níže.



Obrázek 57 – Část rámu manipulátoru

5.4.1 Výpočet MKP

Pro hydromotory byla zvolena tažená 3D síť o velikosti elementu CHEXA (20) 30 mm. Pro ostatní komponenty návrhu je zvolena tetrahedrální síť o velikosti elementu CTETRA (10) 50 mm. Jelikož přesné výsledky betonu nejsou potřeba, velikost jeho elementu byla zvětšena na 200 mm.

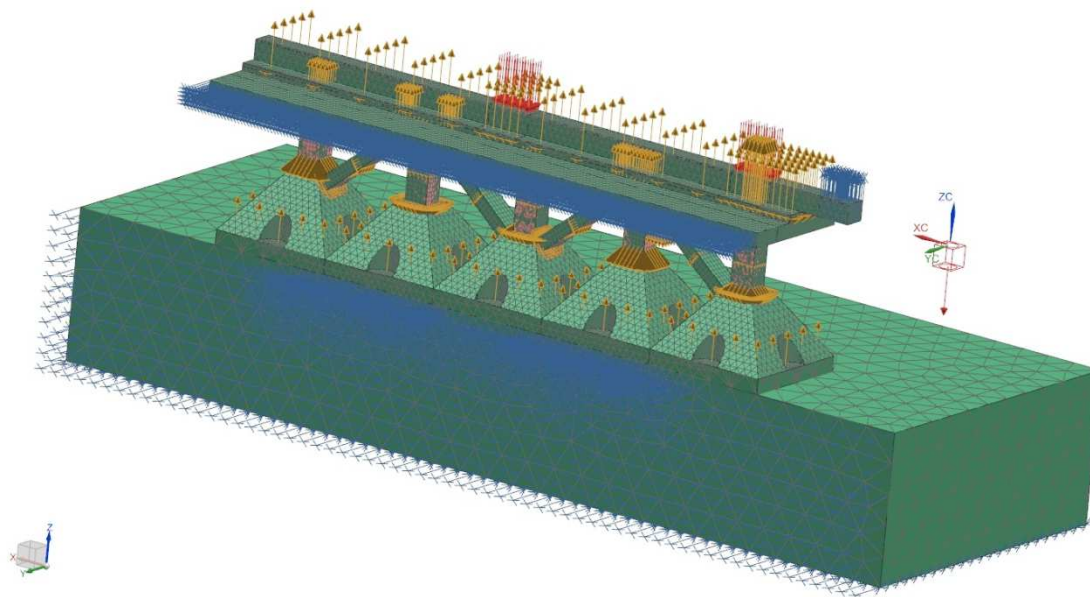


Obrázek 58 - Nasíťovaný model

Pro výpočet manipulátoru je použitým materiálem ocel a pro podlahu beton s materiálovými konstantami modulem pružnosti v tahu $E = 35\,000\text{ MPa}$ a Poissonovou konstantou $\mu = 0,2$.

5.4.1.1 Výpočet, statické zatížení

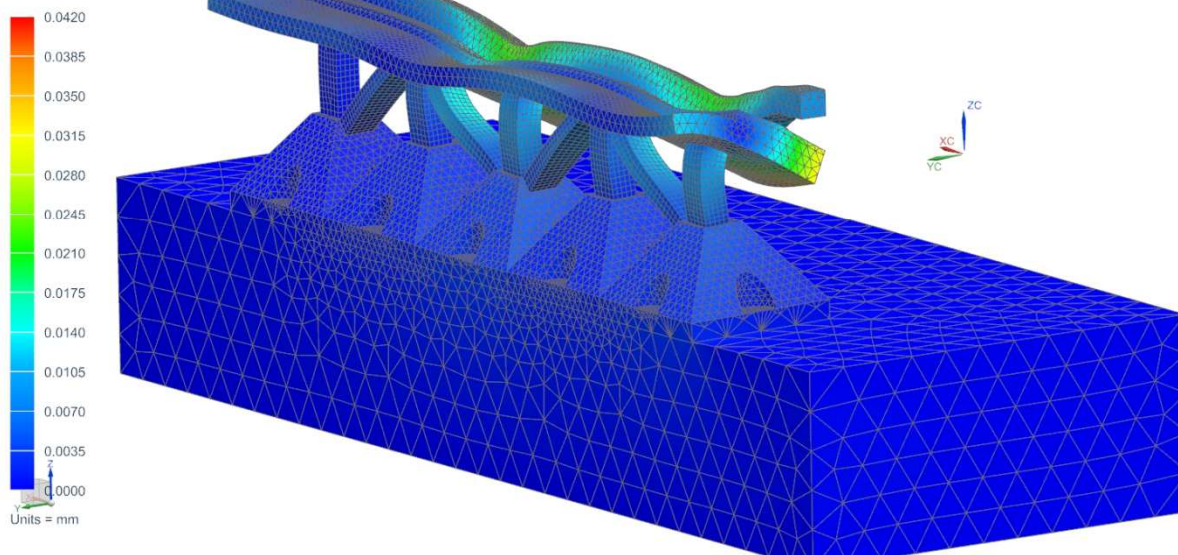
Pro první výpočet je zakázán posuv podlahy ve svislé ose Z a v rovině symetrie je všem částem zamezený pohyb v ose Y. Je zakázán pohyb konce kolejí dolů, protože jsou při zasouvání opřené o testovací nádobu. Dále je stanoveno zatížení na koleje manipulátoru od port plugu s polovinou jeho hmotnosti v záporném směru osy Z. Celý manipulátor je zatížený svojí vlastní tíhou. Kontakty přišroubovaných spojů jsou spojeny gluingem. Zbylé kontakty jsou řešené dotykem pro možnost odlehnutí.



Obrázek 59 - Statické řešení, okrajové podmínky

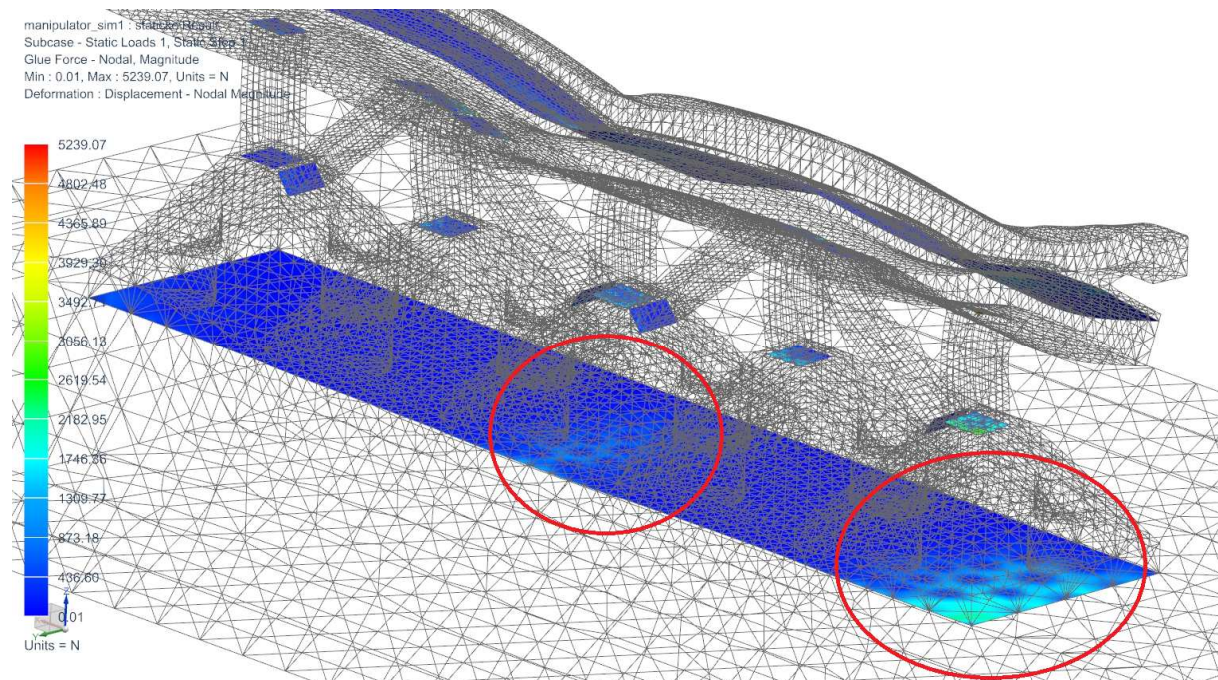
V níže uvedeném obrázku je vidět deformace manipulátoru a jeho celkové posunutí, které je 0,042 mm. Je tak malé, že na funkčnost zařízení nemá vliv.

manipulator_sim1 : staticke Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.0000, Max : 0.0420, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



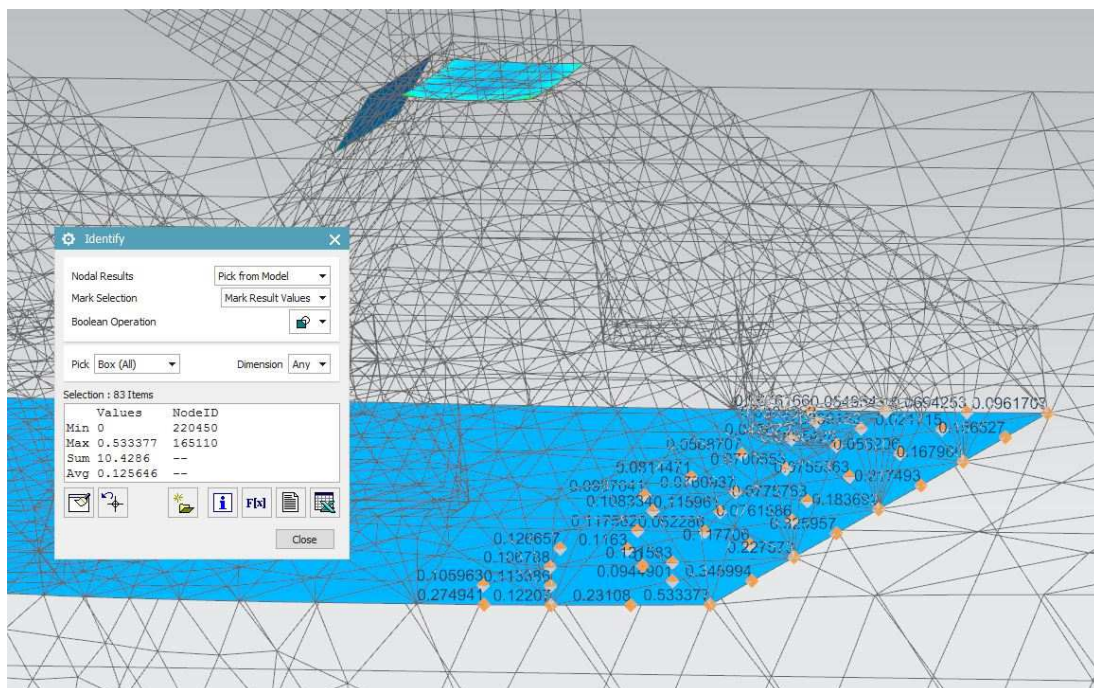
Obrázek 60 - Statické řešení, posunutí

Při tomto zatížení vznikají dvě oblasti se zvýšeným napětím, které jsou podrobeny detailnímu vyhodnocení.



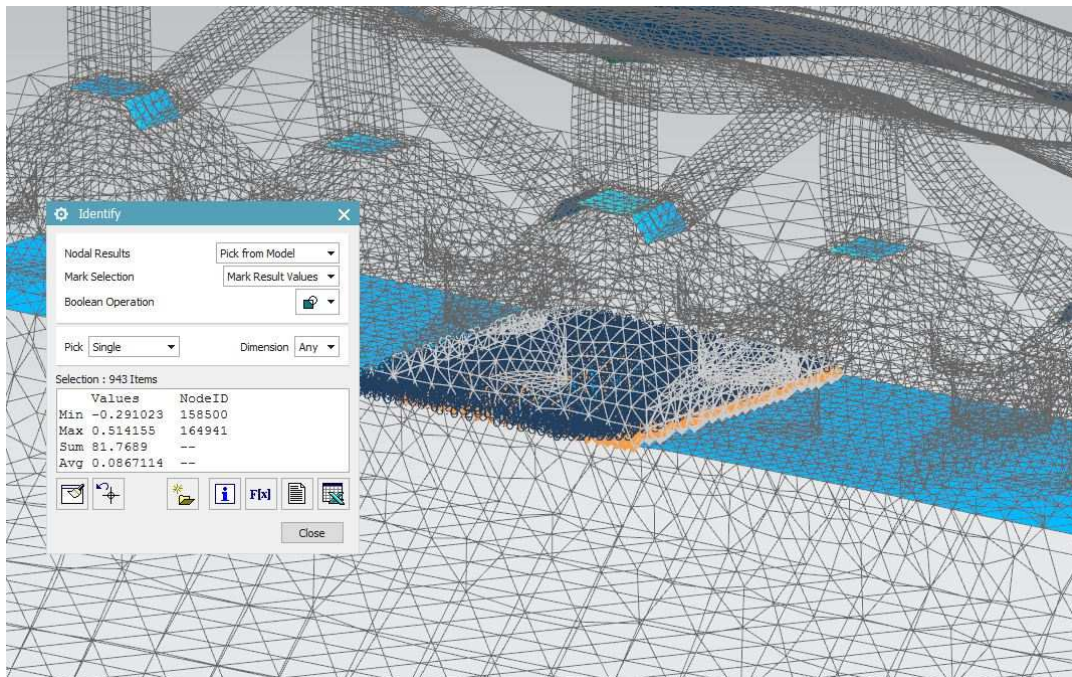
Obrázek 61 - Statické řešení, kontaktní síla

Na níže znázorněném výstupu z výpočtového programu je vidět tlak ve spoji rámu s podložkou. Ve výpočtu vznikají špičky napětí v uzlech sítě. K výslednému výpočtu byla vybrána nejvíce zatížená plocha, pro kterou byly hodnoty tlaku následně zprůměrovány. Výsledný tlak tohoto návrhu je roven 0,126 MPa. Z důvodu dovoleného tlaku pouze 0,1 MPa by bylo potřeba tuto skutečnost dále analyzovat.



Obrázek 62 - Statické řešení, tlak na kraji

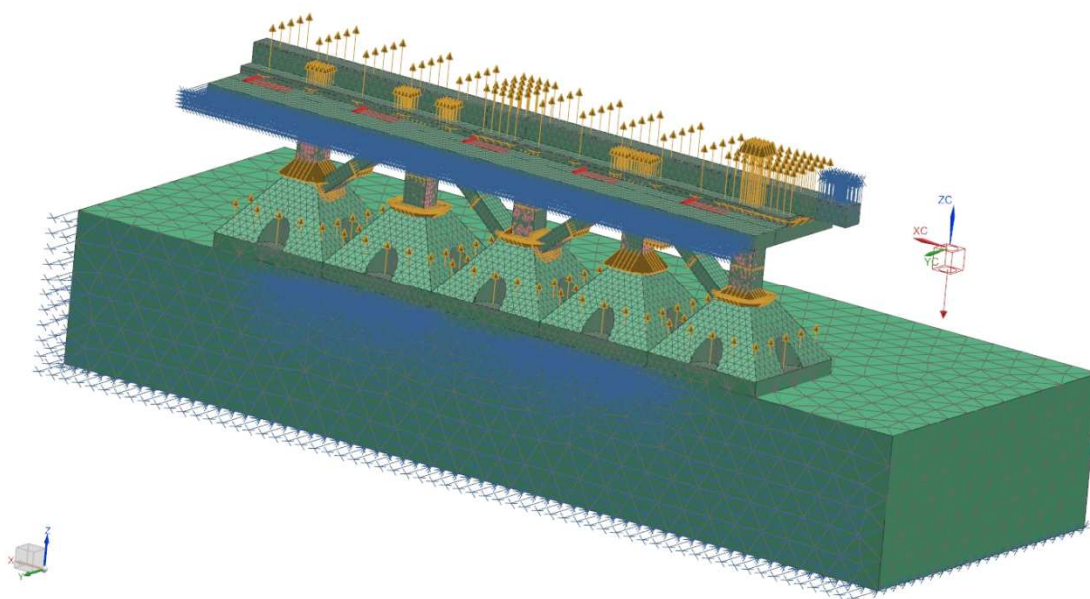
Tlak v druhé nejvíce exponované části, tj. střed manipulátoru, dosahuje pouze 0,087 MPa. Z této hodnoty vyplývá, že toto místo vyhovuje zadané podmínce.



Obrázek 63 - Statické řešení, tlak uprostřed

5.4.1.2 Výpočet, řešení při pohybu

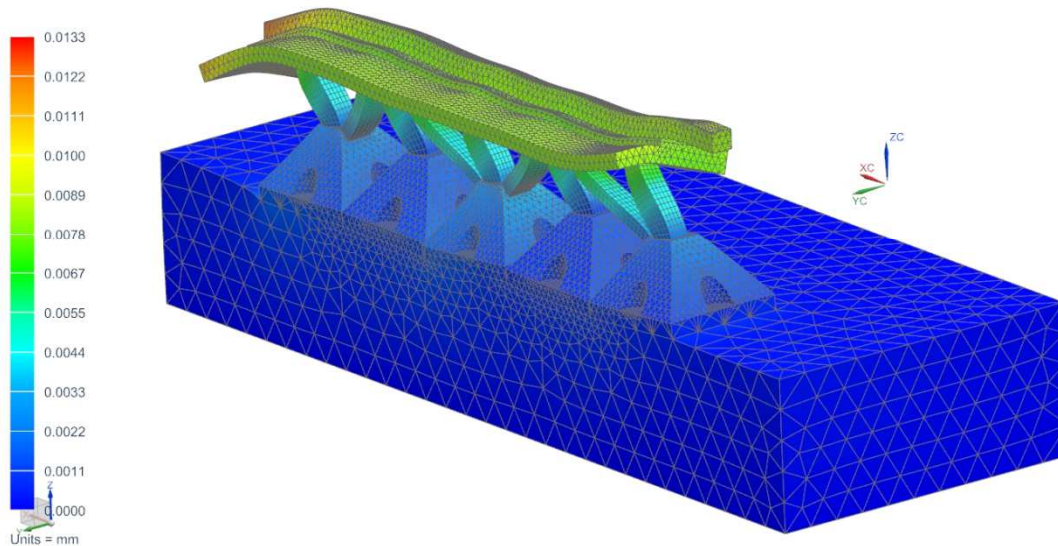
V druhém stavu je port plug uvnitř testovací nádoby a manipulátor se při jeho posunu dovnitř odtlačuje. Pro výpočet je zvoleno stejné ukotvení i kontakty. Je změněna pouze síla. Nyní působí na manipulátor v místě hřebenu a směrem od testovací nádoby. Její velikost byla vypočítána dříve v kapitole 5.1.4.



Obrázek 64 - Řešení při posunu, okrajové podmínky

Posunutí v tomto případě je pouhých 0,013 mm, proto je dále v práci zanedbáno.

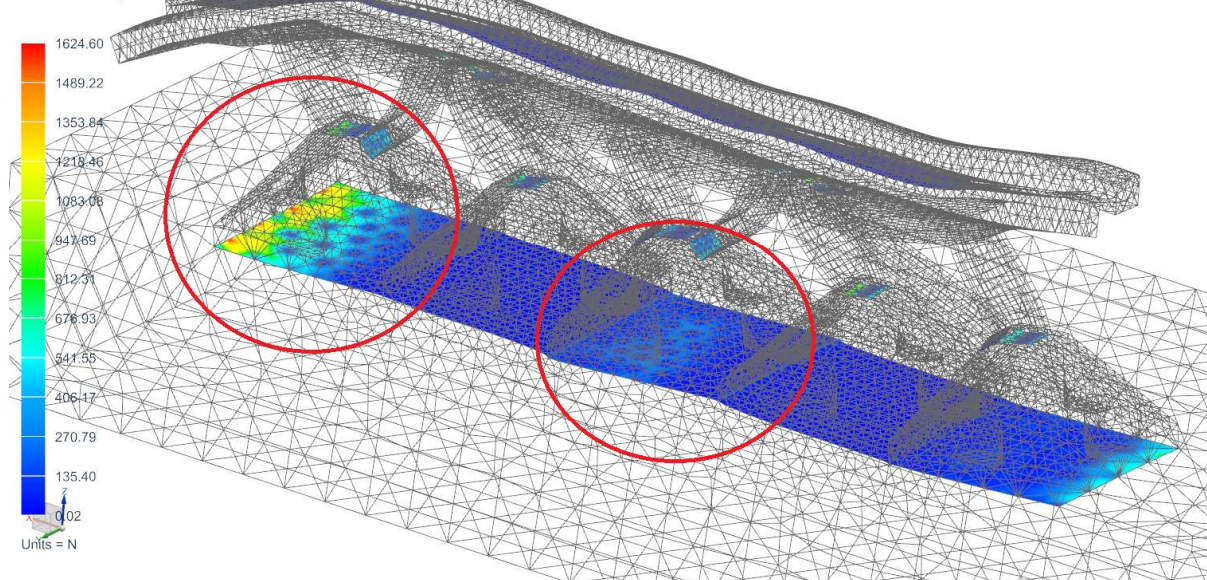
manipulator_sim1 : pohyb Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.0000, Max : 0.0133, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 65 - Řešení při posunu, posunutí

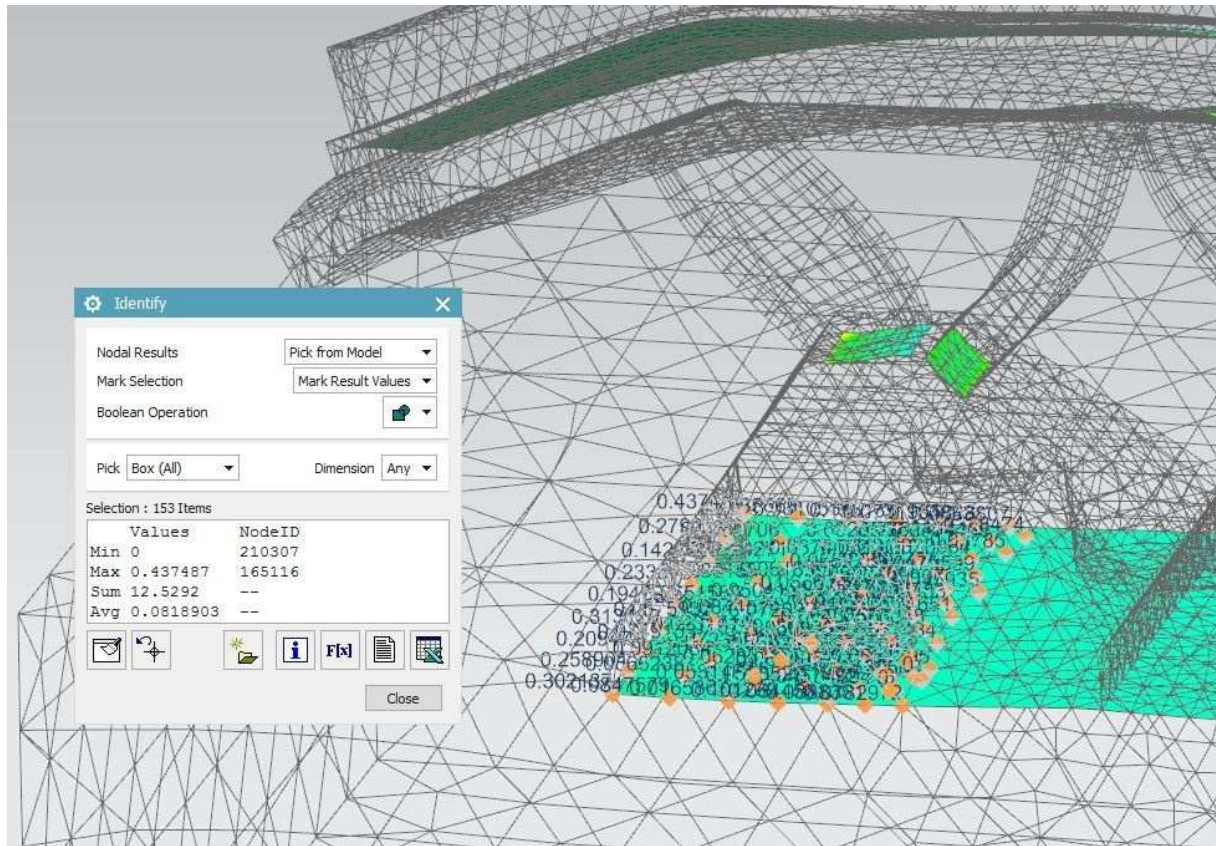
Na podlahu znovu vzniká tlak na dvou místech, proto budou dále analyzována.

manipulator_sim1 : pohyb Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Glue Force - Nodal, Magnitude
Min : 0.02, Max : 1624.60, Units = N
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



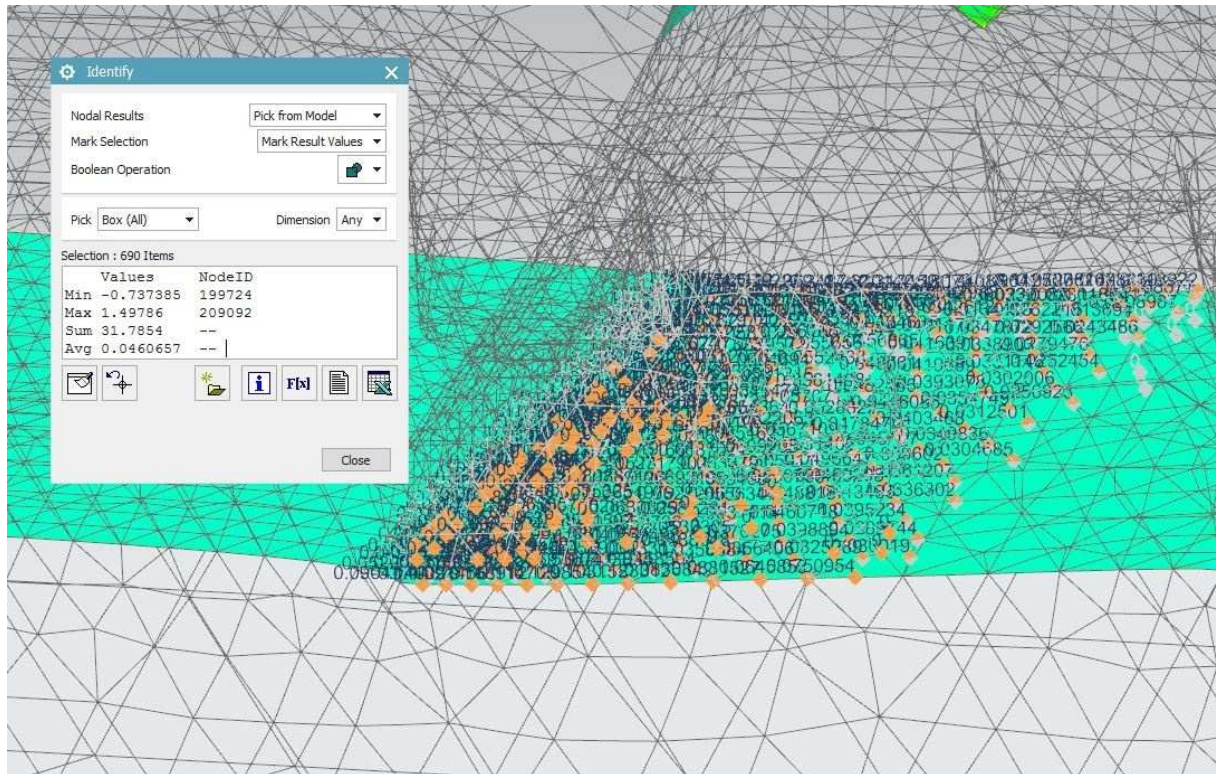
Obrázek 66 - Řešení při posunu, kontaktní síla

I v tomto případě vznikají špičky napětí v uzlech sítě, proto je vybrána větší plocha a její hodnoty zprůměrovány. Na kraji manipulátoru je tlak 0,082 MPa, což je méně než dovolených 0,1 MPa.



Obrázek 67 - Řešení při posunu, tlak na kraji

Na posledním obrázku je vidět tlak uprostřed manipulátoru, který dosahuje hodnoty pouze 0,046 MPa. Vypočtená hodnota je nejnižší ze všech vyhodnocovaných zátěžných stavů, je tedy vyhovující.



Obrázek 68 - Řešení při posunu, tlak uprostřed

6 Závěr

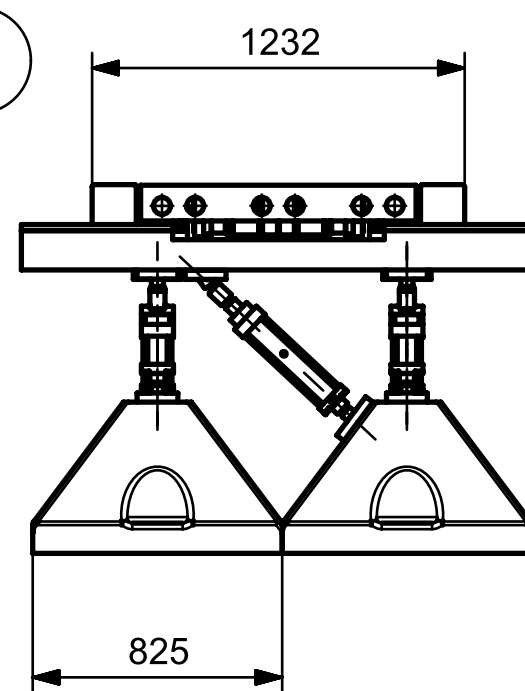
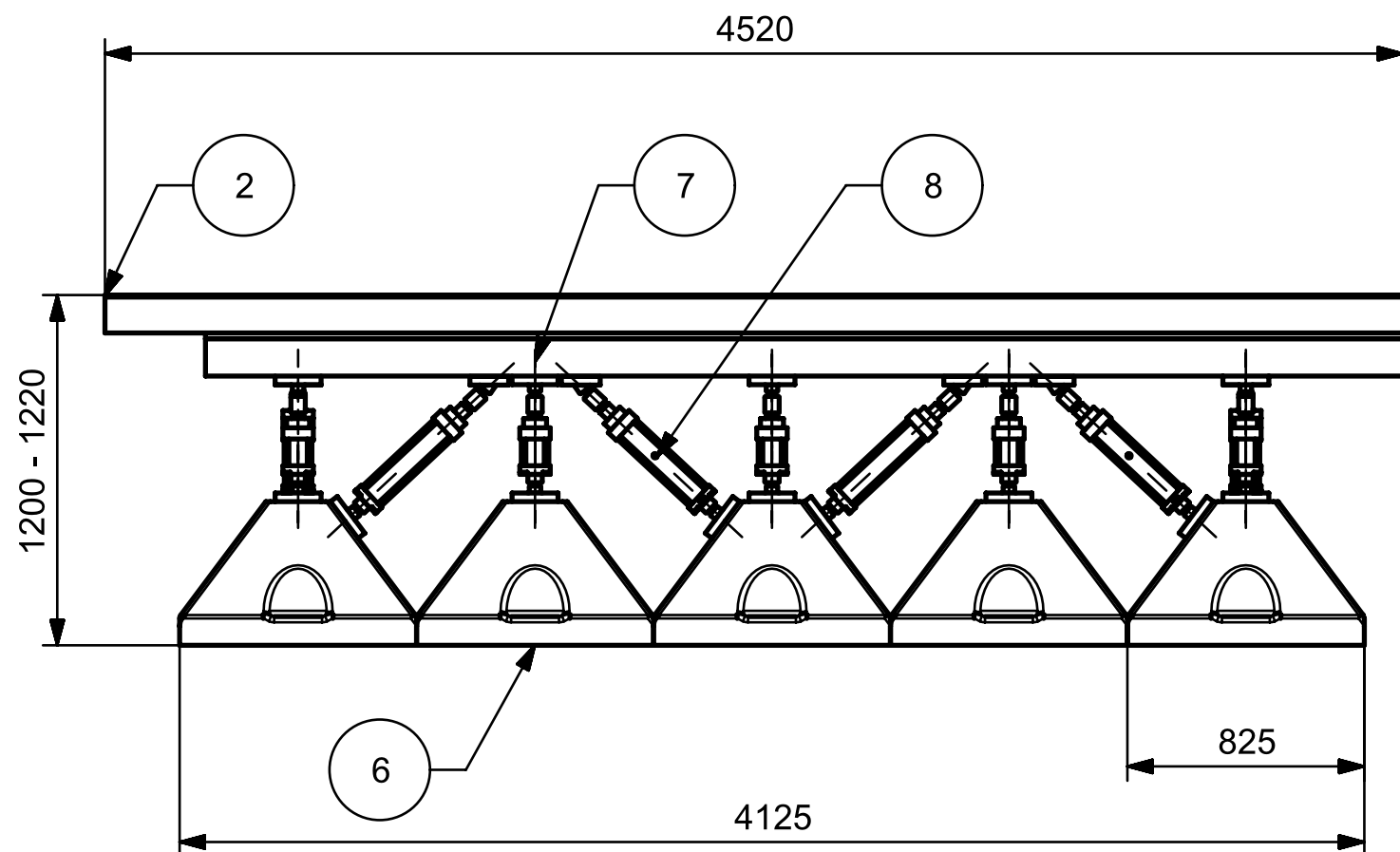
Cílem diplomové práce bylo navrhnout manipulátor pro zavážení horizontálních zátek. V první části práce byla provedena rešerše a specifikace zadání. Následně bylo vypracováno několik konstrukčních variant a proveden výběr nejvhodnější z nich. Výsledná varianta byla dále rozpracována a vyhodnocena. Byly popsány jednotlivé části manipulátoru, jako např. polohování, pohon nebo senzory.

V práci bylo provedeno vyhodnocení Metodou konečných prvků dvou zátěžných stavů pro ověření celkové deformace, ale především dovoleného tlaku na podlahu. Z výsledků vypracované analýzy stavu při posunu portu plugu vyplývá, že všechny sledované hodnoty vyhovují zadaným požadavkům. Hodnoty výpočtu druhého stavu, tj. při statickém zatížení portu plugem vykazují hodnotu tlaku vyšší než je dovolená.

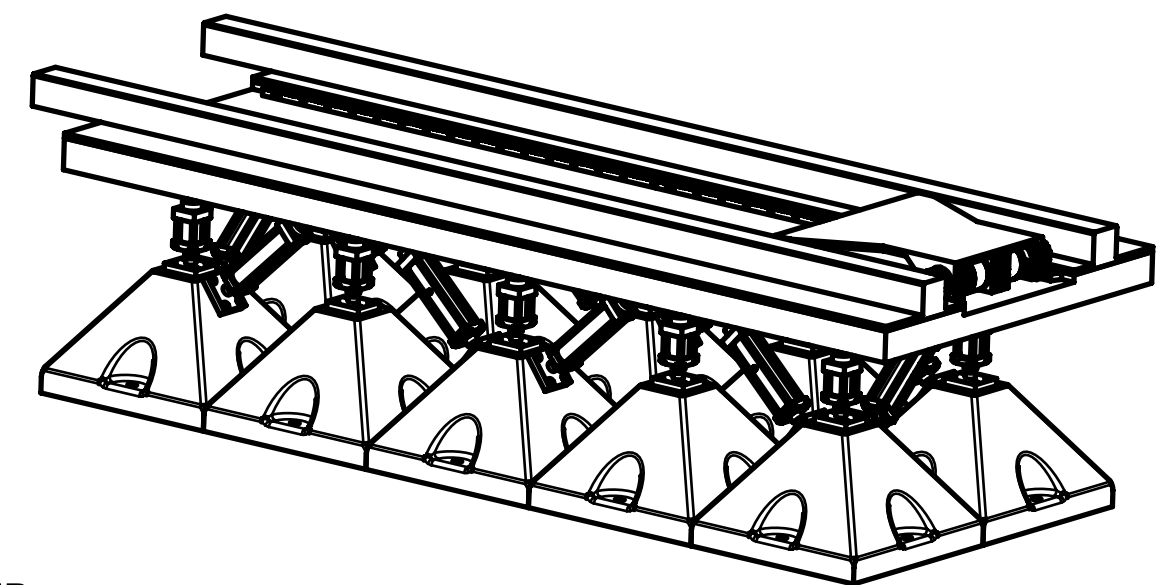
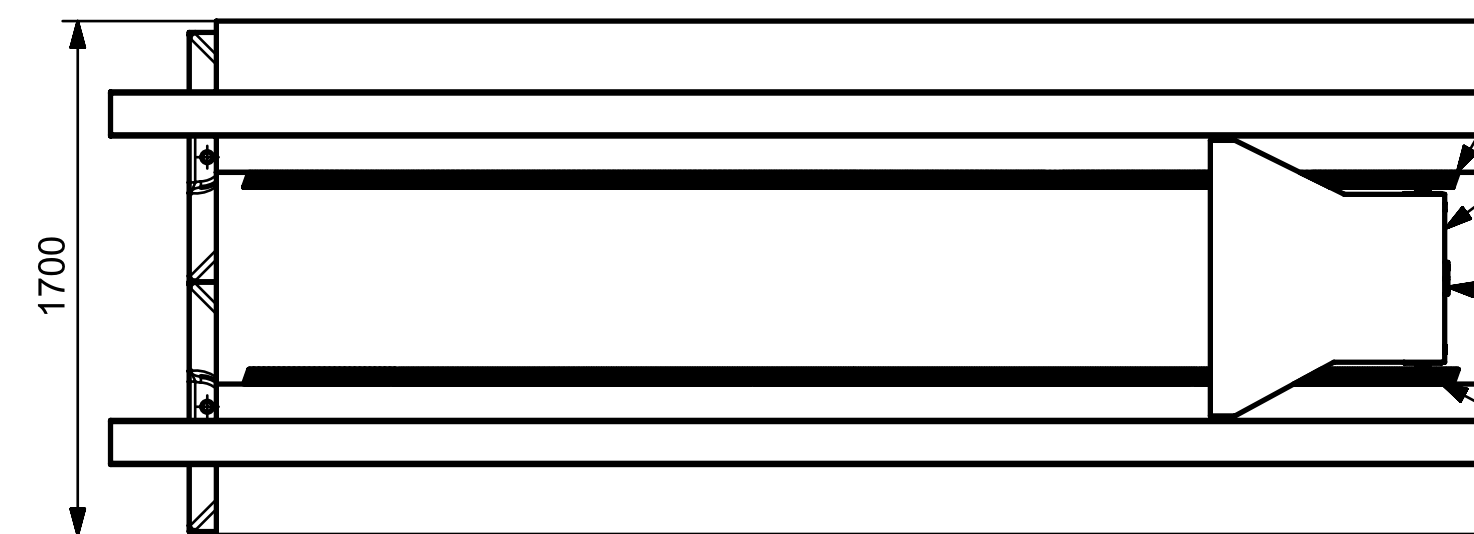
Problém nedovolené hodnoty tlaku si ještě vyžádá další řešení se zadavatelem. Z hlediska požadované funkce manipulátoru práce navrhuje užitečné konstrukční řešení.

7 Zdroje



1. ŠKODA JS a.s. [Online] [Citace: 10. 5 2018.] <http://www.skoda-js.cz>.
2. ITER - Wikipedie. [Online] [Citace: 15. 11 2017.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/ITER>.
3. Fúzní reaktor ITER. [Online] [Citace: 11. 26 2017.] <http://atominfo.cz/2017/02/fuzni-reaktor-iter-fotogalerie/>.
4. Tokamak - Wikipedie. [Online] [Citace: 16. 11 2017.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tokamak>.
5. Ideen 2020. [Online] [Citace: 15. 5 2018.] <http://www.ideen2020.de/de/51/>.
6. Jaderná fúze - Wikipedie. [Online] [Citace: 20. 11 2017.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Jaderná_fúze.
7. Review of ITER's upper port plugs. [Online] [Citace: 25. 11 2017.] <https://www.iter.org/newsline/137/306>.
8. Technické zadání. Škoda JS, a.s.
9. Řetězové převody. [Online] [Citace: 2. 4 2018.] <http://www.mch-retezy.cz/retezove-prevody/>.
10. AMP Hydraulika. [Online] [Citace: 20. 4 2018.] <http://www.amp-hydraulika.cz/hvalec01.html>.
11. přímočaré hydromotory. [Online] [Citace: 15. 5 2018.] <http://www.hydoma.cz/hydromotory/primocare-hydromotory/>.
12. Ing. Roman ČERMÁK Ph.D., Ing. Miroslav DUNÍK. *Přednášky z předmětu TKM - Tekutinové mechanismy*. 2018.
13. Hydraulické prvky. [Online] [Citace: 10. 5 2018.] <http://www.seall.cz/cz/produkt/7-5-113/regulacni-rotacni-hydromotory/>.
14. Lankové senzory. [Online] [Citace: 22. 4 2018.] <http://www.teprostroj.com/42-senzory/1385-lankove-senzory>.
15. Laser - triangulation. [Online] [Citace: 22. 4 2018.] <http://blog.micro-epsilon.de/methoden-der-wegmessung/laser-triangulation/>.
16. Ultrazvukové senzory. [Online] [Citace: 22. 4 2018.] https://www.pepperl-fuchs.com/czech_republic/cs/classid_182.htm.
17. Kapacitní senzory. [Online] [Citace: 22. 4 2018.] <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/kapacitni-senzory.html>.
18. Linear position sensor. [Online] [Citace: 22. 4 2018.] <https://www.megatron.de/en/category/linear-sensors.html>.

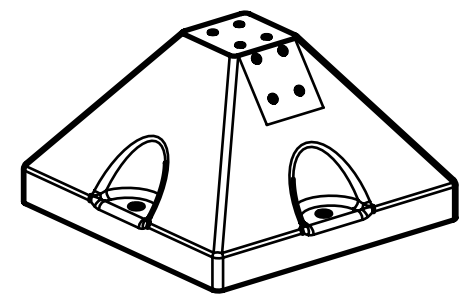
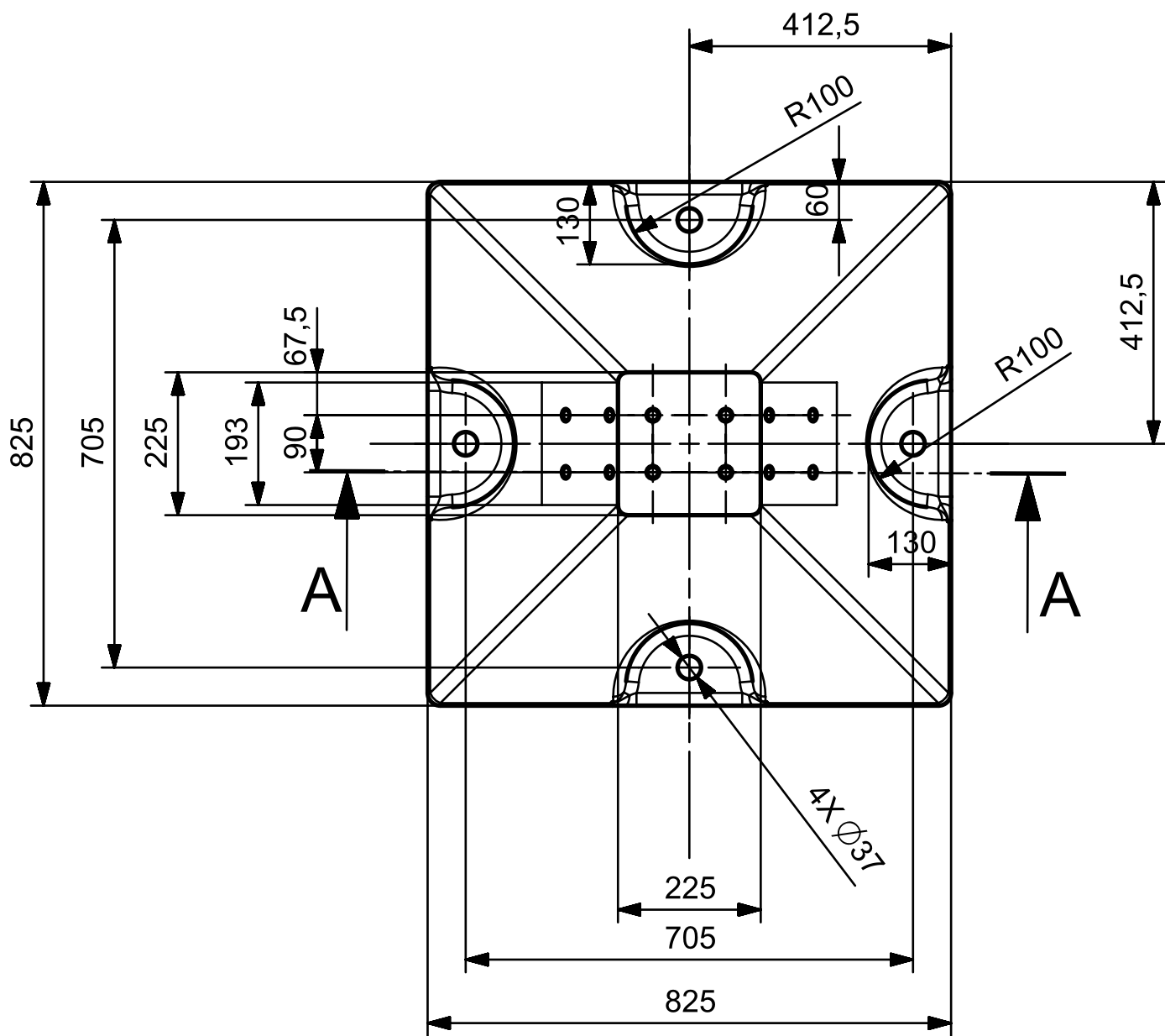
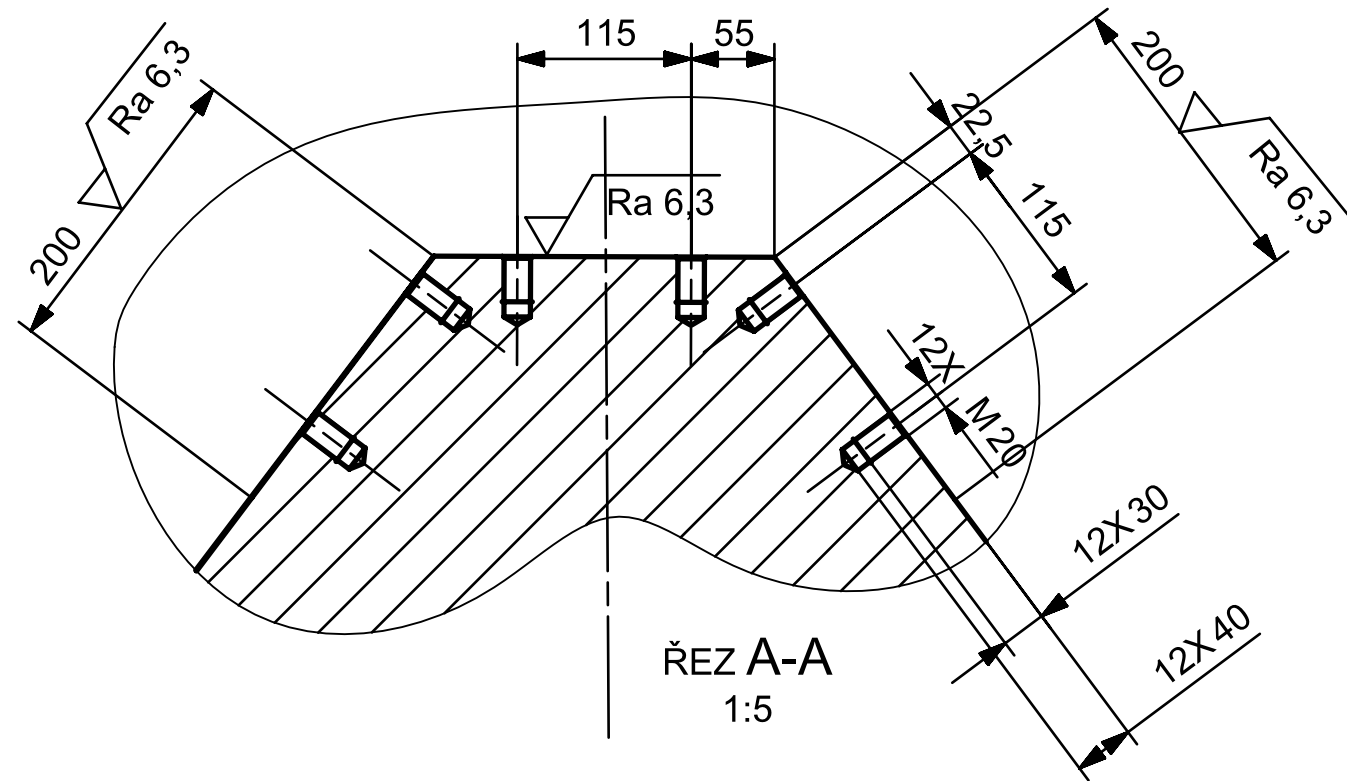
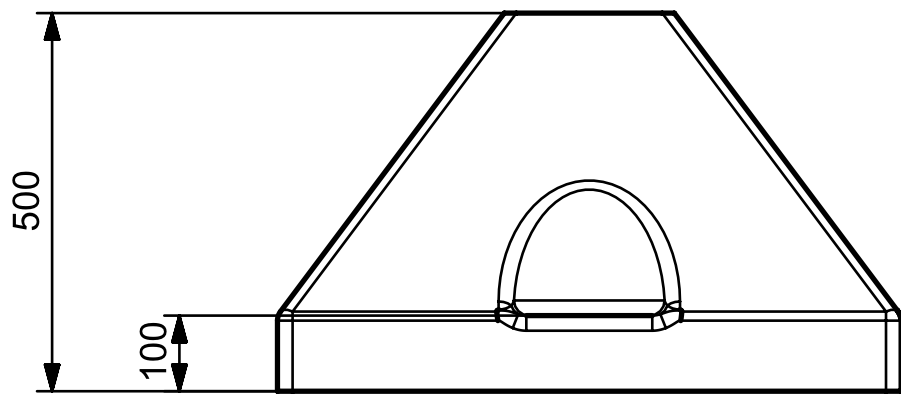


PC NO	PART NAME	QTY
1	DESKA	1
2	KOLEJE	1
3	HREBEN	2
4	PASTOREK	2
5	DRZAK	1
6	RAMOVA KOSTKA	10
7	PRIMOCARY HYDROMOTOR KRATKY	10
8	PRIMOCARY HYDROMOTOR DLOUHY	10
9	ROTACNI HYDROMOTOR	2



Pracovní tlak 20 MPa

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			 FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna práva vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by	18.5.2018	Vít			
Prezkoušel / Checked by					
Schválil / Approved by					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file		manipulator		Projekt / Project:
	Soubor-vykres / DRW-file		manipulator		C.sestavy / Assembly No.
Nazev / Title Manipulátor					Meritko / Scale 1:25
Rev. Císlo vykresu / Drawing No.					Format A3
List / sheet no. 1 Pocat listu / sheets 1					



ODLITEK PÍSKOVÁN
 ŽÍHÁNO KE SNÍŽENÍ PNUTÍ
 NEKÓTOVANÉ POLOMĚRY R20
 PŘESNOST ODLITKU ČSN 01 4470

		42 2420		1430				
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name						
Kreslil / Drawn by	18.5.2018	Vít						
Prezkoušel / Checked by								
Schválil / Approved by								
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK		Soubor-model / ASM-file ram_kostka		Projekt / Project: ram_kostka		Meritko / Scale 1:10		
		Soubor-vykres / DRW-file ram_kostka		C.sestavy / Assembly No.		Format A3		
Nazev / Title Rámová kostka				Rev.		Cislo vykresu / Drawing No. DP 01		
				List / sheet no. 1		Pocet listu / sheets 1		