

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Manipulátor panelu první stěny fúzního reaktoru

Autor: **Bc. Lukáš Kožíšek**
Vedoucí práce: **Ing. Roman ČERMÁK, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš KOŽÍŠEK**
Osobní číslo: **S18N0003P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Téma práce: **Manipulátor panelu první stěny fúzního reaktoru**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Navrhněte manipulátor pro zavážení panelu první stěny fúzního reaktoru do testovacího zařízení HELCZA. Manipulátor má sloužit k převážení panelu první stěny fúzního reaktoru mezi přijímacím boxem a boxem se zkušebními zařízeními pro ozařování těchto panelů. Proveďte rešerši. Rozpracujte koncepční schéma dle specifikací zadavatele. Konstrukční návrh by měl obsahovat návrh manipulátoru včetně potřebných výpočtů.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše.
2. Specifikace požadavků. Rozpracování koncepčního návrhu.
3. Konstrukční návrh zvolené varianty, výpočty, dokumentace.
4. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50-70 stran A4**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojího inženýra 1*. Brno: Computer Press, 1999

LEINVEBER, J., VÁVRA P. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra, 2017

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Tomáš Trojan**
Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

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

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kožíšek	Jméno Lukáš	
STUDIJNÍ OBOR	N 2301 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Čermák, Ph.D.	Jméno Roman	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Manipulátor panelu první stěny fúzního reaktoru		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	118	TEXTOVÁ ČÁST	98	GRAFICKÁ ČÁST	20
---------------	-----	---------------------	----	--------------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p style="text-align: center;">Cílem této práce je navrhnout manipulátor pro panel první stěny fúzního reaktoru, jeho zavezení do zařízení HELCZA a provést potřebné výpočty. V průběhu práce bylo dohlíženo i na výrobu a montáž.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Manipulátor, fúze, panel první stěny, NX12</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Kožíšek	Name Lukáš	
FIELD OF STUDY	N 2301 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Čermák, Ph.D.	Name Roman	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Manipulator of the first wall panel of the fusion reactor		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	118	TEXT PART	98	GRAPHICAL PART	20
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION	<p>The goal of this thesis is to design a manipulator for the first wall panel of a fusion reactor and conduct the necessary calculations. The purpose of this manipulator is to carry the panel into the HELCZA facility. Production and assembly were also supervised during this thesis.</p>
TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	
KEY WORDS	Manipulator, fusion, first wall panel, NX12

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této diplomové práce panu Ing. Romanu Čermákovi, Ph.D., za vedení této práce, podnětné připomínky a cenné rady. Zároveň bych chtěl poděkovat firmě Centrum výzkumu Řež s.r.o., Tomáši Trojanovi a Davidu Kounovskému za téma této práce a obohacující připomínky při řešení konstrukčních problémů. Dále bych chtěl poděkovat mým dvěma kolegům z KKS Bc. Ondřeji Lucákovi a Bc. Jiřímu Kantovi za až velmi kritické a přímé názory k problémům, které jsem v této práci řešil a dávali mi tak neustále podněty ke zlepšování. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině, která mi dávala rady jak na poli techniky, tak na poli praktických věcí okolo diplomové práci.

Obsah

Seznam obrázků.....	1
Seznam tabulek.....	5
Seznam použitých veličin.....	6
Úvod	10
1 Fúzní energetika.....	11
1.1 Termonukleární fúze.....	11
1.2 Fúzní reaktor.....	12
1.3 Projekt ITER.....	13
1.4 F4E.....	14
2 Testovací zařízení HELCZA.....	14
3 Panel první stěny fúzního reaktoru	15
3.1 Materiálové složení.....	16
3.2 Geometrie panelu.....	16
3.3 Uchycení panelu	18
3.4 Kontaminace	19
3.5 Převážná trasa panelu	19
4 Požadavky na manipulátor.....	20
5 Konstrukce manipulátoru.....	22
5.1 Rám panelu	24
5.1.1 FEM analýza a výpočty	25
Rám a konzoly.....	25
Montážní desky	28
Šrouby.....	29
5.2 Zdvihací mechanismus rámu panelu	31
5.2.1 FEM analýza a výpočty	34
Výpočet zdvižné převodovky a navazujících komponent.....	34
Výpočet zdvihacího rámu.....	37
Výpočet rámu pístnic.....	39
5.3 Spodní rám horního vozíku	43
5.3.1 Svařenec spodního rámu horního vozíku.....	43
Obecný popis	43

Výpočet spodního rámu horního vozíku	44
Výpočet příruby převodovky.....	48
5.3.2 Pohon spodního rámu horního vozíku	49
5.3.3 Uložení kol horního vozíku	53
5.4 Rám spodního vozíku	58
5.4.1 Svařenec rámu spodního vozíku	59
Obecný popis	59
Výpočet rámu spodního vozíku.....	60
5.4.2 Uložení kol spodního vozíku	65
Běžné kolo	65
Hnací kolo	67
5.5 Povrchové úpravy	73
5.6 Elektronika.....	74
6 Bezpečnost	77
7 Výroba.....	81
7.1 Spodní vozík	81
7.2 Horní vozík.....	82
7.3 Montáž.....	83
8 Závěr	86
Citovaná literatura	87
Seznam příloh.....	89

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Vazebná energie jádra (2)</i>	11
<i>Obrázek 2: Schéma magnetického pole v reaktoru (6)</i>	12
<i>Obrázek 3: Stavba fúzního reaktoru ve městě Cadarache (8)</i>	13
<i>Obrázek 4: Schematický řez reaktorem projektu ITER (9)</i>	14
<i>Obrázek 5: Tlaková nádoba (12)</i>	15
<i>Obrázek 6: Elektronové dělo (13)</i>	15
<i>Obrázek 7: Panel první stěny fúzního reaktoru (15)</i>	16
<i>Obrázek 8: Termální analýza prstů panelu (16)</i>	17
<i>Obrázek 9: Detail chladicích kanálů panelu (17)</i>	17
<i>Obrázek 10: Panel první stěny od Framatome (18)</i>	18
<i>Obrázek 11: Víko nádoby a držák panelu</i>	18
<i>Obrázek 12: Schéma části laboratoře</i>	19
<i>Obrázek 13: Koncepční schéma manipulátoru</i>	21
<i>Obrázek 14: Finální návrh manipulátoru</i>	22
<i>Obrázek 15: Nosný rám panelu</i>	24
<i>Obrázek 16: Rám panelu - síť a okrajové podmínky</i>	25
<i>Obrázek 17: Rám panelu - napětí Von Mises</i>	26
<i>Obrázek 18: Rám panelu – posunutí</i>	27
<i>Obrázek 19: Montážní deska - síť a okrajové podmínky</i>	28
<i>Obrázek 20: Montážní deska - napětí Von Mises</i>	29
<i>Obrázek 21: Test závitu s mazacím filmem</i>	30
<i>Obrázek 22: Původní otočný mechanismus rámu</i>	31
<i>Obrázek 23: Rám pístnice s pístnicí (současná podoba)- řez</i>	31
<i>Obrázek 24: Zdvihací mechanismus</i>	32
<i>Obrázek 25: Mechanismus zdvihacího rámu</i>	33
<i>Obrázek 26: Katalog UNIMEC (22)</i>	34
<i>Obrázek 27: Schéma výpočtového modelu</i>	35
<i>Obrázek 28: Síť matice a výsledky napětí</i>	36
<i>Obrázek 29: Hřídelová spojka BKH 30 -77</i>	37
<i>Obrázek 30: Zdvihací rám – síť a okrajové podmínky</i>	37

<i>Obrázek 31: Zdvihací rám – napětí Von Mises, pohled na konzolu shora – uprostřed, zespoda - vpravo</i>	38
<i>Obrázek 32: Zdvihací rám – posunutí</i>	39
<i>Obrázek 33: Rámy pístnic - síť a okrajové podmínky 1</i>	40
<i>Obrázek 34: Rámy pístnic - síť a okrajové podmínky 2</i>	41
<i>Obrázek 35: Rámy pístnic - napětí Von Mises</i>	42
<i>Obrázek 36: Rámy pístnice – posunutí</i>	42
<i>Obrázek 37: Spodní rám horního vozíku</i>	43
<i>Obrázek 38: Spodní rám horního vozíku – svařenec</i>	44
<i>Obrázek 39: Spodní rám horního vozíku - síť a okrajové podmínky</i>	45
<i>Obrázek 40: Spodní rám horního vozíku - okrajové podmínky</i>	45
<i>Obrázek 41: Spodní rám horního vozíku - reakce na rám</i>	46
<i>Obrázek 42: Spodní rám horního vozíku - napětí Von Mises</i>	47
<i>Obrázek 43: Spodní rám horního vozíku - posunutí</i>	48
<i>Obrázek 44: Spodní rám horního vozíku – svařenec příruby</i>	48
<i>Obrázek 45: Spodní rám horního vozíku – svařenec příruby – síť, okrajové podmínky a výsledky napětí</i>	49
<i>Obrázek 46: Spodní rám horního vozíku – pohon</i>	50
<i>Obrázek 47: Spodní rám horního vozíku - napínací mechanismus</i>	50
<i>Obrázek 48: Spodní rám horního vozíku - schéma pohonu</i>	51
<i>Obrázek 49: Spodní rám horního vozíku – řetěz (25)</i>	52
<i>Obrázek 50: Spodní rám horního vozíku - uložení kola</i>	53
<i>Obrázek 51: Spodní rám horního vozíku – schéma zatížení hřídele</i>	54
<i>Obrázek 52: Spodní rám horního vozíku - průběh momentu na hřídeli</i>	55
<i>Obrázek 53: Spodní rám horního vozíku - řez hřídelem</i>	56
<i>Obrázek 54: Spodní rám horního vozíku - ložisko 6308-2RS1 (27)</i>	57
<i>Obrázek 55: Spodní rám horního vozíku - ložisko 62208-2RS1 (27)</i>	57
<i>Obrázek 56: Rám spodního vozíku - původní návrh</i>	58
<i>Obrázek 57: Rám spodního vozíku - současný návrh</i>	58
<i>Obrázek 58: Rám spodního vozíku – svařenec</i>	59
<i>Obrázek 59: Rám spodního vozíku - síť a okrajové podmínky</i>	60
<i>Obrázek 60: Rám spodního vozíku - reakce v kolech</i>	61

<i>Obrázek 61: Rám spodního vozíku - schéma zátěžného stavu 1</i>	62
<i>Obrázek 62: Rám spodního vozíku - schéma zátěžného stavu 2</i>	62
<i>Obrázek 63: Rám spodního vozíku - napětí Von Mises 1. Zatížení.....</i>	63
<i>Obrázek 64: Rám spodního vozíku - napětí Von Mises 2. Zatížení.....</i>	63
<i>Obrázek 65: Rám spodního vozíku - posunutí 1. zatížení</i>	64
<i>Obrázek 66: Rám spodního vozíku - posunutí 2. Zatížení.....</i>	64
<i>Obrázek 67: Rám spodního vozíku - uložení běžného kola</i>	65
<i>Obrázek 68: Rám spodního vozíku – schéma zatížení hřídele běžného kola</i>	66
<i>Obrázek 69: Rám spodního vozíku - průběh momentu na čepu.....</i>	66
<i>Obrázek 70: Rám spodního vozíku - uložení hnací hřídele.....</i>	67
<i>Obrázek 71: Rám spodního vozíku - síť hnacího hřídele</i>	68
<i>Obrázek 72: Rám spodního vozíku – hnací hřídel napětí Von Mises.....</i>	69
<i>Obrázek 73: Rám spodního vozíku – detail hnacího hřídele napětí Von Mises.....</i>	69
<i>Obrázek 74: Rám spodního vozíku – axiální reakce hřídele.....</i>	70
<i>Obrázek 75: Rám spodního vozíku –reakce hřídele ve směru Y</i>	71
<i>Obrázek 76: Rám spodního vozíku –reakce hřídele ve směru Z</i>	71
<i>Obrázek 77: Rám spodního vozíku - ložisko 6308-2RS1 (27).....</i>	72
<i>Obrázek 78: Rám spodního vozíku - ložisko 62208-2RS1 (27).....</i>	72
<i>Obrázek 79: Logo CVŘ</i>	73
<i>Obrázek 80: Vzorník RAL barev (28).....</i>	73
<i>Obrázek 81: Vizualizace manipulátoru.....</i>	74
<i>Obrázek 82: Elektronická výzbroj horního vozíku</i>	75
<i>Obrázek 83: STOP tlačítko (29).....</i>	75
<i>Obrázek 84: Koncové spínače honeywell (30).....</i>	75
<i>Obrázek 85: Nosná deska elektroniky – síť s okrajovými podmínkami, výsledky napětí a posunutí.....</i>	76
<i>Obrázek 86: Bezpečnostní prvky manipulátoru</i>	78
<i>Obrázek 87: Klopení vozíku</i>	80
<i>Obrázek 88: Obrábění rámu spodního vozíku</i>	81
<i>Obrázek 89: Obrábění spodního rámu horního vozíku – nastojato.....</i>	82
<i>Obrázek 90: Obrábění spodního rámu horního vozíku – naležato</i>	83
<i>Obrázek 91: Obrábění spodního rámu horního vozíku - korekce</i>	83

<i>Obrázek 92: Elektroinstalace</i>	84
<i>Obrázek 93: Mechanická montáž</i>	84
<i>Obrázek 94: Sestava spodního a horního vozíku</i>	85

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Základní požadavky na manipulátor.....</i>	20
<i>Tabulka 2: Zatížení nosného rámu.....</i>	26
<i>Tabulka 3: Rám panelu - výsledky napětí v simulacích.....</i>	28
<i>Tabulka 4: Údaje motoru s převodovkou.....</i>	33
<i>Tabulka 5: Údaje zdvižné převodovky.....</i>	33
<i>Tabulka 6: Hmotnosti působící na zdvižnou převodovku.....</i>	34
<i>Tabulka 7: Hmotnosti působící na zdvižnou převodovku.....</i>	38
<i>Tabulka 8: Zdvihací rám - výsledky simulací.....</i>	39
<i>Tabulka 9: Rám pístnic - výsledky simulací.....</i>	41
<i>Tabulka 10: Spodní rám horního vozíku – hmotnosti pro svislou sílu.....</i>	46
<i>Tabulka 11: Spodní rám horního vozíku - údaje pro příčnou sílu.....</i>	46
<i>Tabulka 12: Spodní rám horního vozíku - výsledky.....</i>	47
<i>Tabulka 13: Údaje motoru s převodovkou.....</i>	50
<i>Tabulka 14: Údaje o kolech.....</i>	50
<i>Tabulka 15: Spodní rám horního vozíku - geometrie hřídele.....</i>	54
<i>Tabulka 16: Spodní rám horního vozíku - ložisko 6308-2RS1.....</i>	57
<i>Tabulka 17: Spodní rám horního vozíku - ložisko 62208-2RS1.....</i>	57
<i>Tabulka 18: Rám spodního vozíku - zatěžující síly.....</i>	61
<i>Tabulka 19: Rám spodního vozíku - výsledky.....</i>	63
<i>Tabulka 20: Rám spodního vozíku - geometrie čepu běžného kola.....</i>	65
<i>Tabulka 21: Rám spodního vozíku - ložisko 6308-2RS1.....</i>	72
<i>Tabulka 22: Rám spodního vozíku - ložisko 62208-2RS1.....</i>	72
<i>Tabulka 23: Vzdálenosti při překlopení.....</i>	79

Seznam použitých veličin

<i>Zkratka</i>	<i>Popis</i>
ΔE_p	rozdíl potenciální energie
$a_{01.04.}$	vzdálenost a od podpory
$a_{02.01.02.}$	vzdálenost a od podpory
$b_{01.04.}$	vzdálenost b od podpory
$b_{02.01.02.}$	vzdálenost b od podpory
$c_{02.01.02.}$	vzdálenost c od podpory
C_{retez}	statická únosnost řetězu
CTETRA (10)	druh elementu sítě simulace s meziuzlem
$d_{01.04.}$	nejmenší průměr čepu
$d_{02.01.02.}$	nejmenší průměr hřídele
d_{15}	průměr řetězového kola s 15 zuby
d_{2M24}	střední průměr závitu šroubu M24
d_{30}	průměr řetězového kola s 30 zuby
d_{kolo}	průměr jízdního kola
D_{kolo}	průměr kola spodního vozíku
$d_s M24$	střední průměr plochy pod hlavou šroubu M24
E_k	kinetický energie manipulátoru s panelem 12 při max. rychlosti
E_{p1}	potenciální energie v bodě 1
E_{p2}	potenciální energie v bodě 2
$F_{01.01.-x C}$	příčná síla zatěžující spodní vozík
$F_{01.01.-x D}$	příčná síla zatěžující spodní vozík
$F_{01.01.-z A}$	reakční síla horního vozíku zatěžující spodní vozík
$F_{01.01.-z B}$	reakční síla horního vozíku zatěžující spodní vozík
$F_{01.01.-z C}$	reakční síla horního vozíku zatěžující spodní vozík
$F_{02.01.-y}$	příčná síla působící na kolo horního vozíku
$F_{02.01.-z}$	síla zatěžující spodní rám horního vozíku
$F_{02.02.-z}$	síla od hmotnosti panelu
$F_{02.07.}$	síla působící na zdvihací rám
$F_{02.08.y}$	příčná síla působící na rámy pístnic
$f_{blickle ocel}$	tření kola blickle vůči oceli
f_h	tření pod hlavou šroubu M24
F_{Kx}	x složka reakční síly kola horního vozíku
F_{Kz}	z složka reakční síly kola horního vozíku
F_{M24}	osová síla ve šroubu M24

F_{retez}	síla v řetězu
F_{SR}	síla od hmotnosti spodního rámu
$F_{\text{tažná}}$	tažná síla na kole horního vozíku
g	gravitační zrychlení
CHEXA (20)	druh elementu sítě simulace s meziuzlem
i_{FT}	převodový poměr motoru BLS043.240 a převodovky FT105
$i_{\text{FT-023}}$	převodový poměr převodovky FT105 s motorem BLS 022.240
i_{TPR}	převodový poměr zdvižné převodovky
$k_{1.4021 \text{ QT800}}$	bezpečnost materiálu 1.4021 s teplotním zpracováním QT800
$k_{1.4301}$	bezpečnost materiálu 1.4301 (zastarale AISI 304)
$k_{\text{A4-80}}$	bezpečnost materiálu A4-80
k_{S235}	bezpečnost materiálu S235
$l_{01.04.}$	vzdálenost mezi podporami
$l_{02.01.02.}$	vzdálenost mezi podporami
$m_{02.01.}$	hmotnost působící na spodní rám horního vozíku
$M_{02.02.-y}$	moment působící na nosný rám panelu
$m_{02.07.}$	hmotnost působící na zdvihací rám
$M_{\text{FT-022}}$	točivý moment motoru BLS 022.240 s převodovkou FT105
$M_{\text{FT-043}}$	výstupní moment motoru BLS043.240 a převodovky FT105
M_{in}	vstupní moment zdvižné převodovky
M_{kolo}	moment na jízdním kole horního vozíku
$m_{\text{Man 12}}$	hmotnost manipulátoru s panelem 12
$M_{\text{o max 01.04.}}$	maximální ohybový moment čepu spodního vozíku
$M_{\text{o max 02.01.02}}$	maximální ohybový moment hřídele horního vozíku
$M_{\text{o x max 02.01.02}}$	x složka ohybového moment v místě max. ohybového momentu
$M_{\text{o z max 02.01.02}}$	z složka ohybového moment v místě max. ohybového momentu
$m_{\text{p max}}$	maximální hmotnost panelu
$M_{\text{R kolo}}$	reakční moment na kole horního vozíku
$m_{\text{rám p.}}$	odhad hmotnosti rámu panelu pro největší panel
m_{sloupy}	hmotnost sloupů
m_{SR}	hmotnost spodního rámu
$M_{\text{U M24}}$	utahovací moment šroubů M24
$m_{\text{zd. prev.}}$	hmotnost zdvižné převodovky
$m_{\text{zdvih. celk}}$	hmotnost zatěžující zdvižnou převodovku
$m_{\text{zdvih. rám}}$	hmotnost zdvihacího rámu
$M_{\text{zdvizne celk.}}$	celkový moment pro obě zdvižné převodovky
n_{FT}	výstupní otáčky motoru BLS043.240 a převodovky FT105

n_{FT-022}	otáčky převodovky FT105 s motorem BLS 022.240
n_{in}	vstupní otáčky zdvižné převodovky
$n_{kolo\ SV}$	otáčky hřídele spodního vozíku
P_{FT}	výkon motoru BLS 043.240
P_{FT-022}	výkon motoru BLS 022.240
P_{in}	příkon zdvižné převodovky
P_{out}	výkon zdvižné převodovky
P_{TPR}	stoupání závitu zdvižné převodovky
R_1	reakční kola na kole horního vozíku
$R_{A\ 01.02.}$	reakce A hřídele spodního vozíku
$R_{A\ 01.04.}$	reakce A čepu spodního vozíku
$R_{A\ 02.01.}$	A reakce hřídele horního vozíku
$R_{A\ 02.01.x}$	x složka A reakce hřídele horního vozíku
$R_{A\ 02.01.z}$	z složka A reakce hřídele horního vozíku
R_{ax}	axiální reakce hřídele horního vozíku
$R_{ax\ 01.04.}$	axiální reakce čepu spodního vozíku
$R_B\ 01.02.}$	reakce B hřídele spodního vozíku
$R_B\ 01.02.\ ax$	axiální reakce hřídele spodního vozíku
$R_B\ 01.04.}$	reakce B čepu spodního vozíku
$R_B\ 02.01.}$	B reakce hřídele horního vozíku
$R_B\ 02.01.x}$	x složka B reakce hřídele horního vozíku
$R_B\ 02.01.z}$	z složka B reakce hřídele horního vozíku
RBE2	<i>rigid body element</i> - 1D element
RBE3	<i>rigid body element</i> - 1D element
$R_{e1.4021\ QT800}$	mez kluzu materiálu 1.4021 s teplotním zpracováním QT800
$R_{e1.4301}$	mez kluzu materiálu 1.4301 (zastarale AISI 304)
R_{eA4-80}	mez kluzu materiálu A4-80
R_{eS235}	mez kluzu materiálu S235
s	hmotnost vozíku s panelem 12
S_{retez}	bezpečnost řetězu
$v_{kolo\ SV}$	rychlost pohybu spodního vozíku
V_{TPR}	rychlost zdvihu zdvižné převodovky
$W_k\ 02.01.01.$	průřezový modul v krutu hřídele horního vozíku
$W_o\ 01.04.$	průřezový modul v ohybu čepu spodního vozíku
$W_o\ 02.01.01.$	průřezový modul v ohybu hřídele horního vozíku
x	vzdálenost těžiště od klopné hrany
y	výška těžiště vozíku

Z_{TPR}	poměr otáčky a zdvihu zdvižné převodovky
α	úhel stoupání šroubu M24
μ_{TPR}	účinnost zdvižné převodovky
$\sigma_D 1.4021 QT800$	dovolené napětí materiálu 1.4021 s teplotním zpracováním QT800
$\sigma_{D1.4301}$	dovolené napětí materiálu 1.4301 (zastarale AISI 304)
σ_{DA4-80}	dovolené napětí materiálu A4-80
σ_{DS235}	dovolené napětí materiálu S235
$\sigma_o 01.04.$	ohybové napětí čepu spodního vozíku
$\sigma_o 02.01.02.$	maximální normálové napětí hřídele horního vozíku
$\sigma_r 02.01.02.$	redukované napětí hřídele horního vozíku
$\tau_k 02.01.02.$	maximální tečné napětí hřídele horního vozíku
ϕ	třecí úhel šroubu M24
ω_{in}	vstupní úhlová rychlost zdvižné převodovky

Úvod

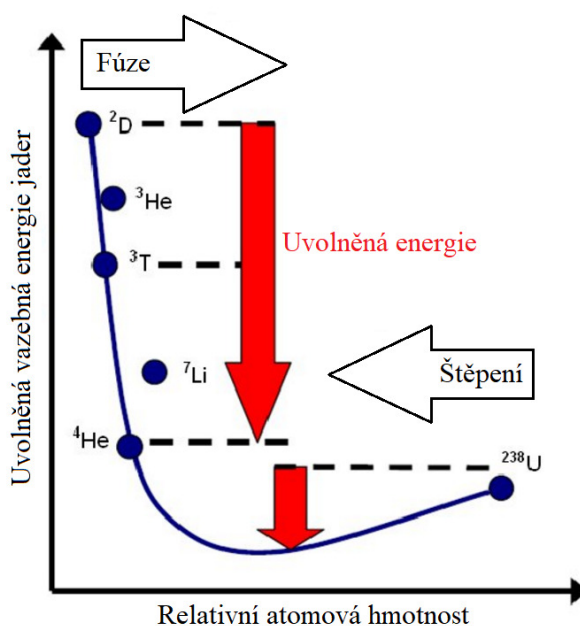
Tato práce se zabývá řešením konstrukčního návrhu manipulátoru panelu první stěny fúzního reaktoru (dále jen panel). Tento manipulátor bude pracovat v hale Centra výzkumu Řež na Borských polích v Plzni. Jeho úkolem bude převzetí panelu po vybalení a následně jeho zavezení do testovacího zařízení HELCZA. Zde bude nutné panel usadit do rámu uvnitř podtlakové nádoby, jejíž součástí je elektronové dělo, které bude následně teplotním zatěžováním panel testovat.

Manipulátor panelu je důležitou součástí laboratoře. Kvůli bezpečnostním opatřením a rozdělení laboratoře na malé místnosti není možné používat pohyblivé mostové jeřáby. Z tohoto důvodu je nutné pro přepravu používat jednoúčelový manipulační stroj, který bude schopen manipulovat s panelem bezpečně k obsluze a ohleduplně k panelu samotnému, jelikož se jedná o velmi citlivou součást.

1 Fúzní energetika

1.1 Termonukleární fúze

Tento proces je inverzním principem k jadernému štěpení, kde se jádro těžšího prvku (např. izotop uranu 235) rozštěpí na dvě jádra lehčích prvků a uvolní se tři neutrony a energie. U termonukleární fúze se slučují dvě jádra lehčích prvků a vzniká jádro těžšího prvku a energie. K dosažení fúze je třeba, aby se jádra dostala dostatečně blízko a převládly přitažlivé jaderné síly nad odpuzivými Coulombovými silami. Aby tohoto bylo dosaženo, je třeba, aby měli jádra vysokou rychlost, respektive vysokou teplotu. To, že vzniká energie, je dáno rozdílnými vazebnými energiemi jednotlivých prvků, které se při reakci uvolní. Tento rozdíl je vidět na obrázku 1. (1)



Obrázek 1: Vazebná energie jádra (2)

Palivem pro termonukleární fúzi v reaktoru ITER je směs deuteria a tritia. Tuto reakci tzv. *deuterium-tritiovou fúzi* popisuje následující rovnice.



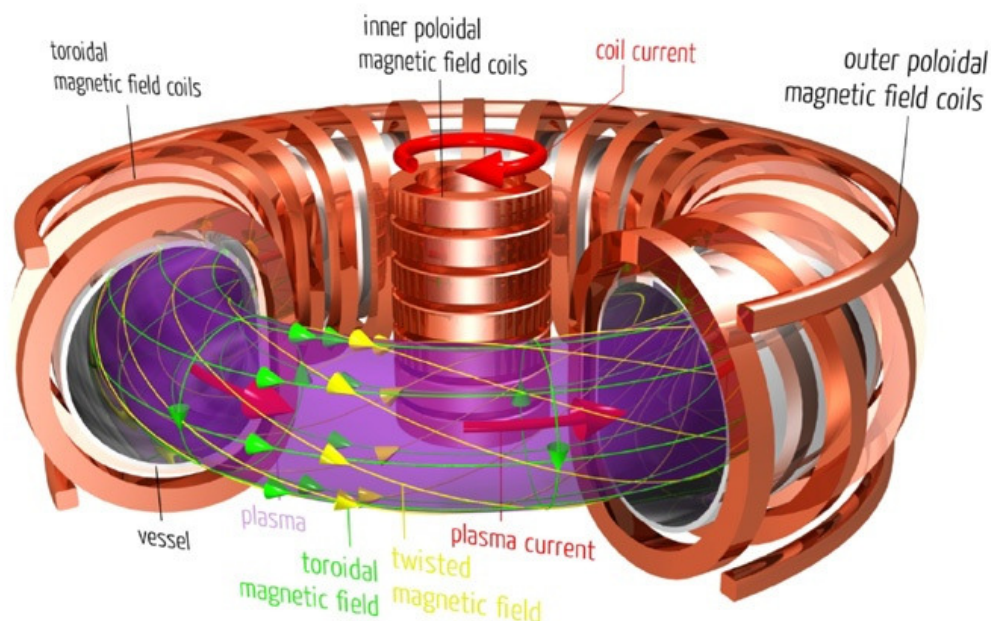
Zde se slučuje deuterium a tritium na helium při uvolnění neutronu a energie. Problém je, že tritium se na zemi téměř nevyskytuje, neboť se β -rozpadem mění na stabilní izotop helia poločasem rozpadu 12,323 let. Tento problém je vyřešen výrobou z lithia.



Podmínkou pro umělé vytvoření fúze je vysoká teplota. Při DT fúzi se plazmový prsteneц zahřívá až na 100 mil °C. Vzniká zde i radioaktivita, neboť palivem je radioaktivní tritium. (3) (4)

1.2 Fúzní reaktor

Jedná se o zařízení, které umožňuje získávat energii pomocí fúzní reakce. Může fungovat na dvojím principu. Prvním principem je takzvané inerciální udržení. To funguje na podobném principu jako vodíková bomba. Pomocí laseru zahříváme malé množství paliva. Objem paliva je omezen proto, aby nezničil okolní prostředí a aby byl tak malý, abychom mu byli schopni dodat dostatečnou energii pro fúzi. (5)



Obrázek 2: Schéma magnetického pole v reaktoru (6)

Druhým principem je magnetické udržení. Reaktory, které fungují na tomto principu, se také nazývají tokamaky (slovo pochází z ruštiny a znamená toroidní komora v magnetických cívkách). Ty pro usměrnění plazmatu používají magnetické pole a vakuum, aby se nedotýkalo stěny reaktoru. Je to nezbytně nutné, neboť žádný materiál by nevydržel teploty plazmatu kolem 100 mil °C.

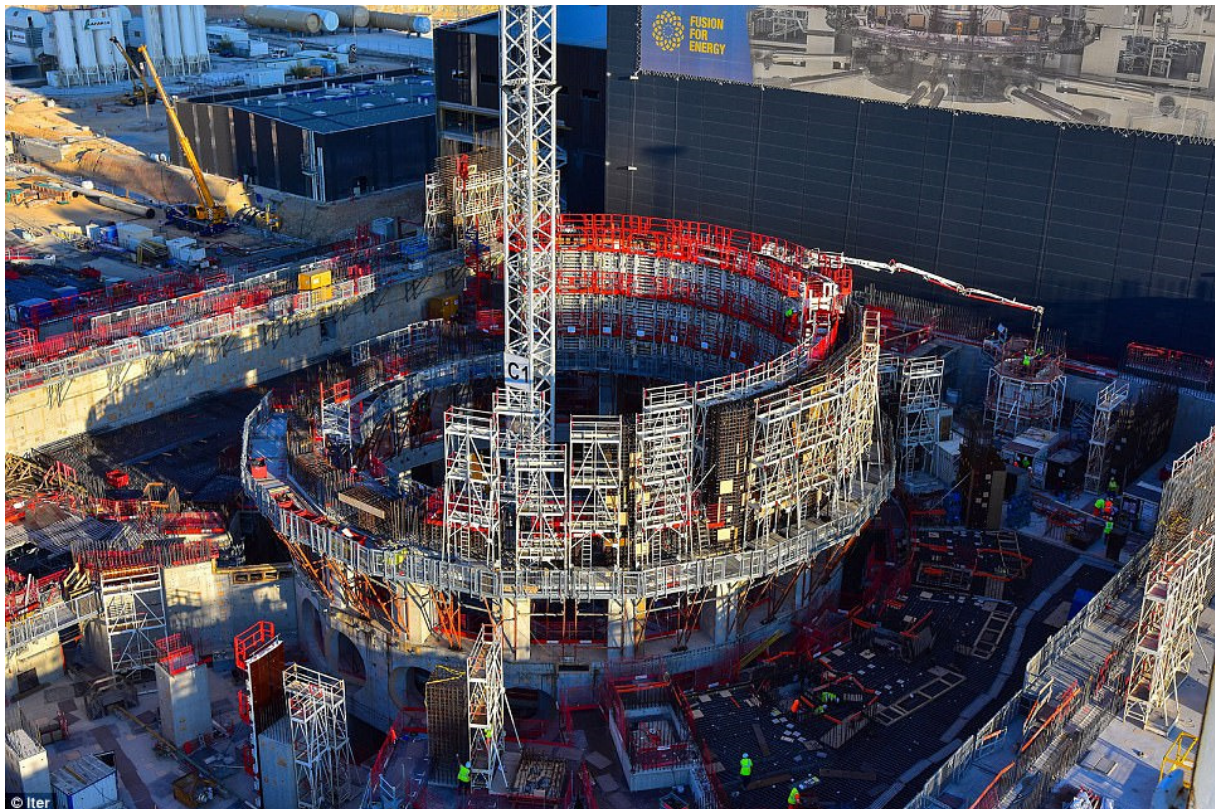
Na obrázku 2 je vidět princip tohoto reaktoru. Cívky reaktoru jsou vlastně sekundární cívky transformátoru. Ty vytváří v reaktoru toroidální proud, který kolem sebe vytváří poloidální magnetické pole. Superpozicí toroidálního a poloidálního magnetického pole získáme výsledné magnetické pole ve tvaru šroubovice. Díky tomu, že se elektricky nabitě částice pohybují podél siločar takového pole, bude plazma držena v reaktoru izolovaná od stěny. Aby bylo docíleno požadované teploty, je třeba plazma zahřát. Tuto funkci vykonává proud z toroidálního magnetického pole, který je ale schopen zahřát plazma jen na teploty v řádech desítek mil. kelvinů. Poté je zahříváno ještě například mikrovlnami. Získávání energie prostřednictvím fúze funguje velmi podobně jako u konvenčních elektráren. Teplo z fúze se pomocí panelů první stěny, které fungují jako tepelné výměníky, dostává do vody. Poté jsou v okruhu parogenerátory, turbíny a generátor elektrické energie.

V současné době již existují reaktory, ve kterých již fúze proběhla. Například se jedná o anglický tomakat JET, který produkoval výkon 16MW po dobu 1s. Jde ale pouze o malý

reaktor, kde potřebná energie pro vytváření podmínek pro fúzi převyšuje produkovaný výkon.
(7)

1.3 Projekt ITER

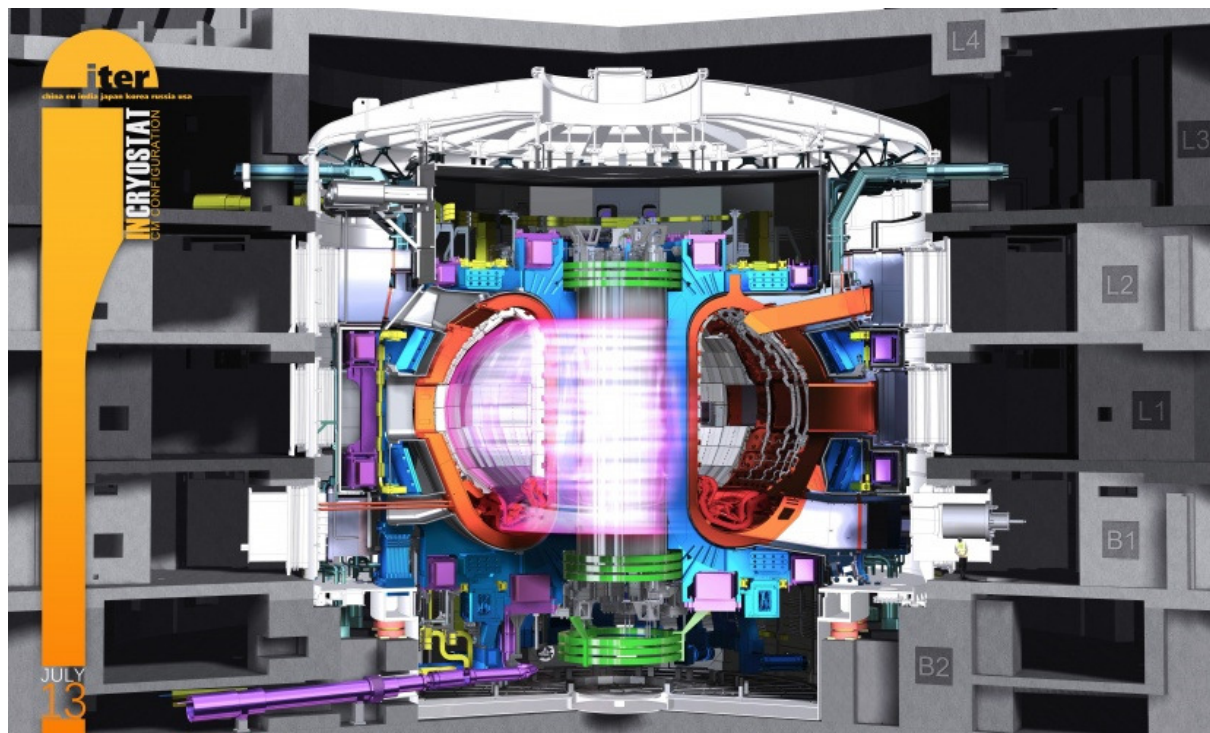
International Thermonuclear Experimental Reactor (mezinárodní termonukleární experimentální reaktor) bude prvním reaktorem, který by měl produkovat větší výkon, než bude spotřebovaná energie na udržení fúze. Jde o projekt Evropské unie, Číny, Indie, Japonska, Korey, USA a Ruska. Jeho stavba byla zahájena roku 2007 ve městě Cadarache. Průběh stavby reaktoru je vidět na obrázku 3.



Obrázek 3: Stavba fúzního reaktoru ve městě Cadarache (8)

Odhadovaný výkon je 500MW ze zážehů trvajících 500-1000s z 0,5g směsi deuteria a tritia. Příkon by měl být 50MW. ITER je pouze experimentálním reaktorem, který nebude vytvořené teplo převádět na elektrickou energii a dodávat do sítě, ale pouze ji odvádět do chladicího systému. Oficiální zdroje tvrdí, že první plasma bude vytvořena roku 2025 a první deuterium-tritium reakce začnou roku 2035.

Na obrázku 4 je vidět řez reaktorem projektu ITER. Na jeho vnitřních stěnách jsou patrné panely první stěny. Ty mají různý tvar (obdélník, lichoběžník), šířku a výšku, závislou na tom, na jakém průměru a v jaké výšce se v reaktoru nacházejí. (3) (9)



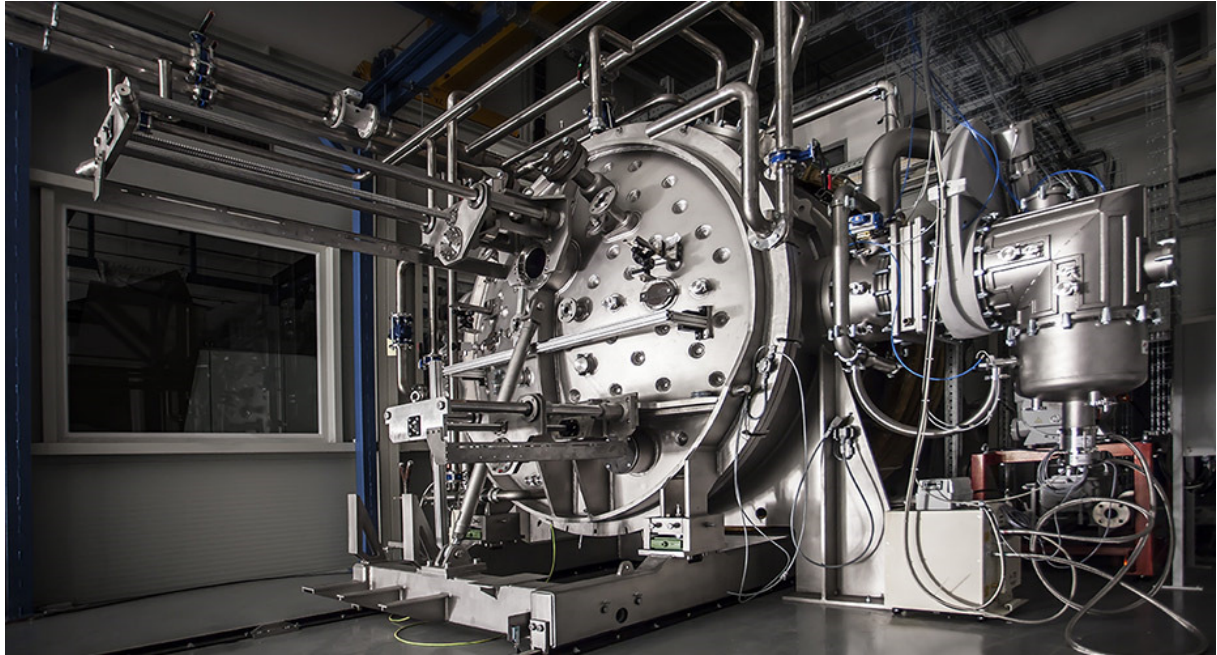
Obrázek 4: Schematický řez reaktorem projektu ITER (9)

1.4 F4E

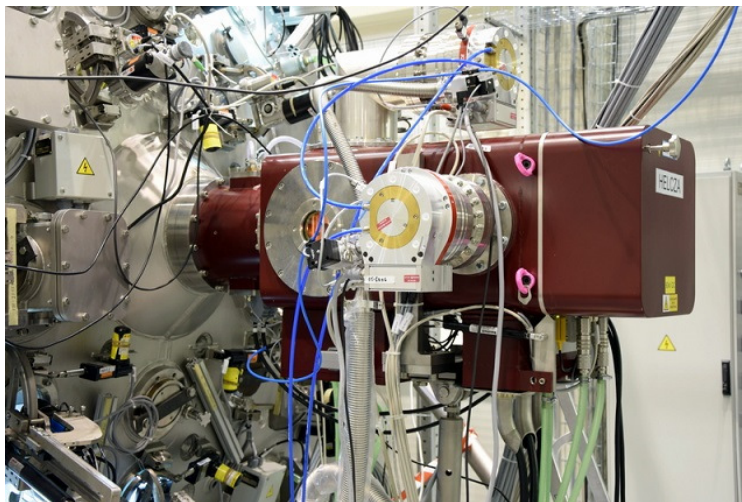
Fusion for energy je evropská organizace, která zodpovídá za evropské podílení se v projektu ITER. Sídlí v Barceloně ve Španělsku a má kanceláře ve Francii v Saint-Paul-lès-Durance a v Německu ve Garchingu. Jejím hlavním úkolem je spolupracovat s evropskými průmyslovými subjekty a s evropskými výzkumnými organizacemi. Dále také poskytovat projektu ITER vyspělá technická řešení a služby. V případě panelů první stěny funguje například jako prostředník mezi organizací ITER, výrobci třech prototypů panelů a Centrem výzkumu Řež, kde by tyto panely měly být testovány. (10)

2 Testovací zařízení HELCZA

High Energy Load Czech Assembly je zařízení vybudované za peníze z projektu SUSEN (Sustainable energy – udržitelná energetika) v Plzni, konkrétně v hale Centra výzkumu Řež. Skládá se z elektronového děla, vysokotlakých a nízkotlakých čerpadel a potrubí, zařízení na výrobu demineralizované vody, tlakové nádoby a beryliového hospodářství. Jeho úkolem je testování panelů první stěny, zda vydrží vysoký tepelný tok, který bude ve fúzním reaktoru. Nejprve bude panel přijat do celého zařízení a otestován, zda není znečištěn. Následně na něm proběhnou tlakové a těsnostní zkoušky. Poté bude umístěn na manipulátor, jenž je předmětem této diplomové práce a bude umístěn do tlakové nádoby, kterou je možné vidět na obrázku 5. Pro simulování takové energie bude panel ostřelován svazky elektronů z elektronového děla. Dělo je možné vidět na obrázku 6. Toto dělo má plošný výkon 20MW na 1m² a jeho výkon je 800kW. (11)



Obrázek 5: Tlaková nádoba (12)



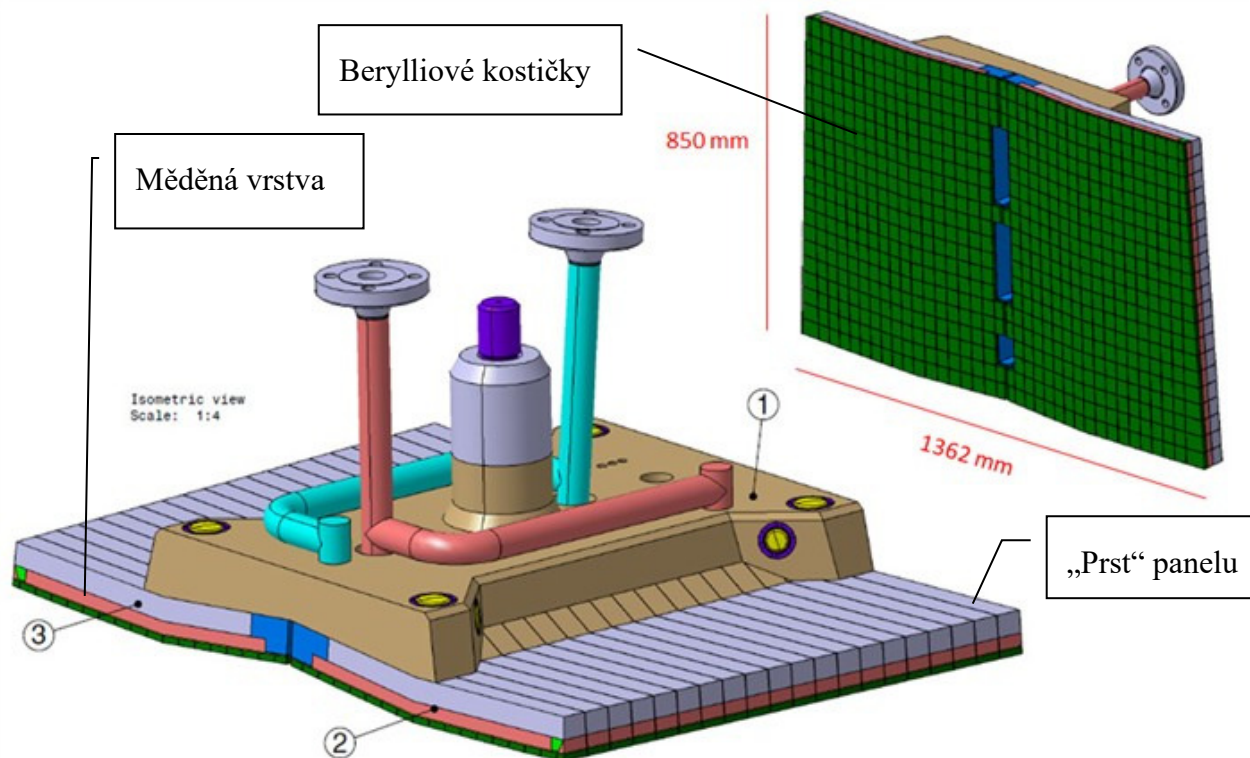
Obrázek 6: Elektronové dělo (13)

3 Panel první stěny fúzního reaktoru

Panel první stěny fúzního reaktoru (angl. First wall panel) tvoří stěnu fúzního reaktoru. Má zastávat funkci tepelného výměníku. CVŘ přijme na začátku testovací kampaně ve svém zařízení HELCZA 3 prototypy panelu stejného typu od 3 výrobců a bude testovat, který z nich je nejvhodnější pro fúzní provoz. Bohužel z manipulačního hlediska má každý panel jiné manipulační body. Celkem bude v reaktoru několik typů panelů, a to dle umístění lišící se rozměry a hmotností.

3.1 Materiálové složení

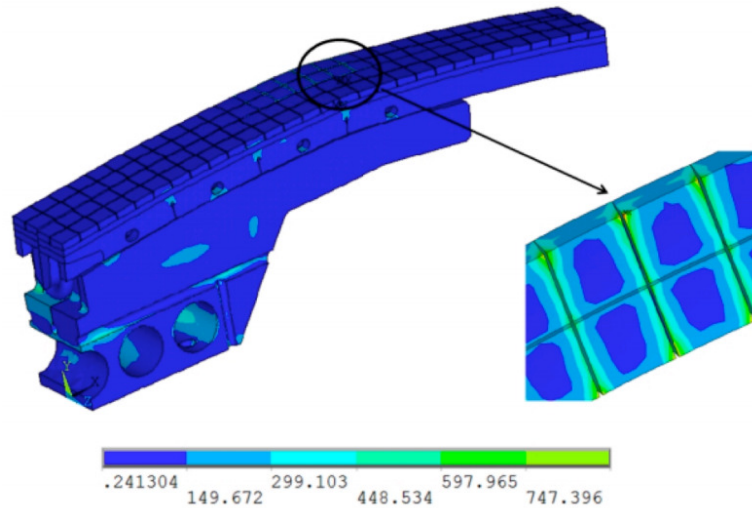
Panel je vytvořen kombinací tří materiálů – nerezová oceli AISI 316L, slitina mědi CuCrZr a Beryllium. Nerezové části mají komplikovaný tvar a jsou zhotoveny metodou HIP k nim je pomocí stejné metody přidělána i měděná část, a poté berylliové kostky. Ocelové a měděné části jsou spojovány při teplotě 1040°C a tlaku 140MPa po dobu dvou hodin. Berylliové kostičky jsou poté připojovány při teplotě 580°C tlaku 140MPa po dobu 2h. (14)



Obrázek 7: Panel první stěny fúzního reaktoru (15)

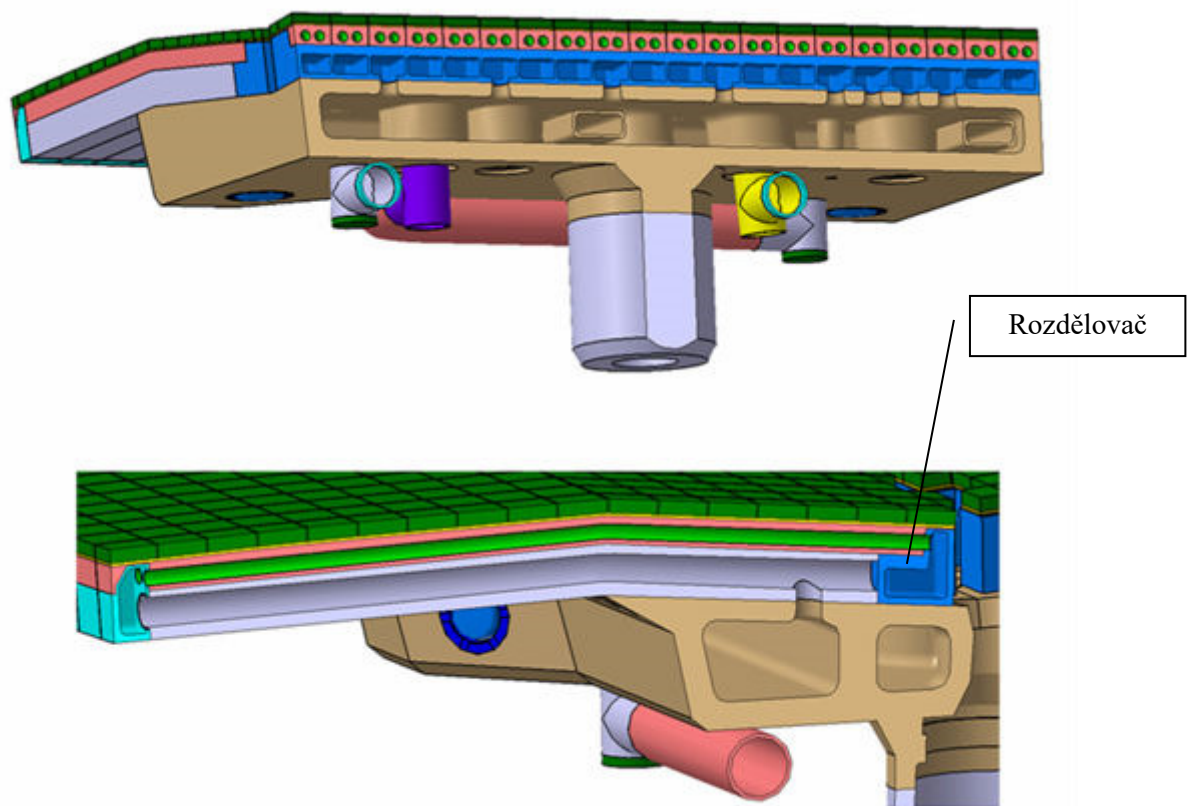
3.2 Geometrie panelu

Jak je vidět na obrázku 7 a 9, panel se skládá z dutého nerezového těla (pos. 1 obr. 7), do kterého je přivedena voda modrou trubicou (obr. 7). Z tohoto těla se voda dále přes rozdělovač dostane do trubek v prstech panelu. Prsty panelu jsou jeho periferie, kde je voda vedena trubicou obklopenou mědí v přední části na okraj panelu (u beryllia), a poté trubicou nazpět v nerezové zadní části a zpět do druhé části nerezového těla. Tento kanál je vidět v řezu na obrázku 9. Poté se voda odvádí červenou trubicou ven z panelu (obr. 7). Panel se nejdříve vyrábí jako jeden uzavřený blok.



Obrázek 8: Thermální analýza prstů panelu (16)

Posléze jsou do něj kotoučovou frézou vytvořeny drážky oddělující jednotlivé prsty. To je kvůli teplotnímu namáhání a dilataci. Panel je namáhán vysokým teplotním tokem a kvůli spojení několika materiálů s různou teplotní roztažností by při velké ploše vznikalo příliš vysoké napětí. Ze stejného důvodu je beryllium rozděleno do kostiček. Na obrázku 8 je vidět teplotní analýza prstu panelu, kde jsou špičky napětí právě na okrajích rozhraní beryllia a mědi, a to z důvodu teplotní dilatace.



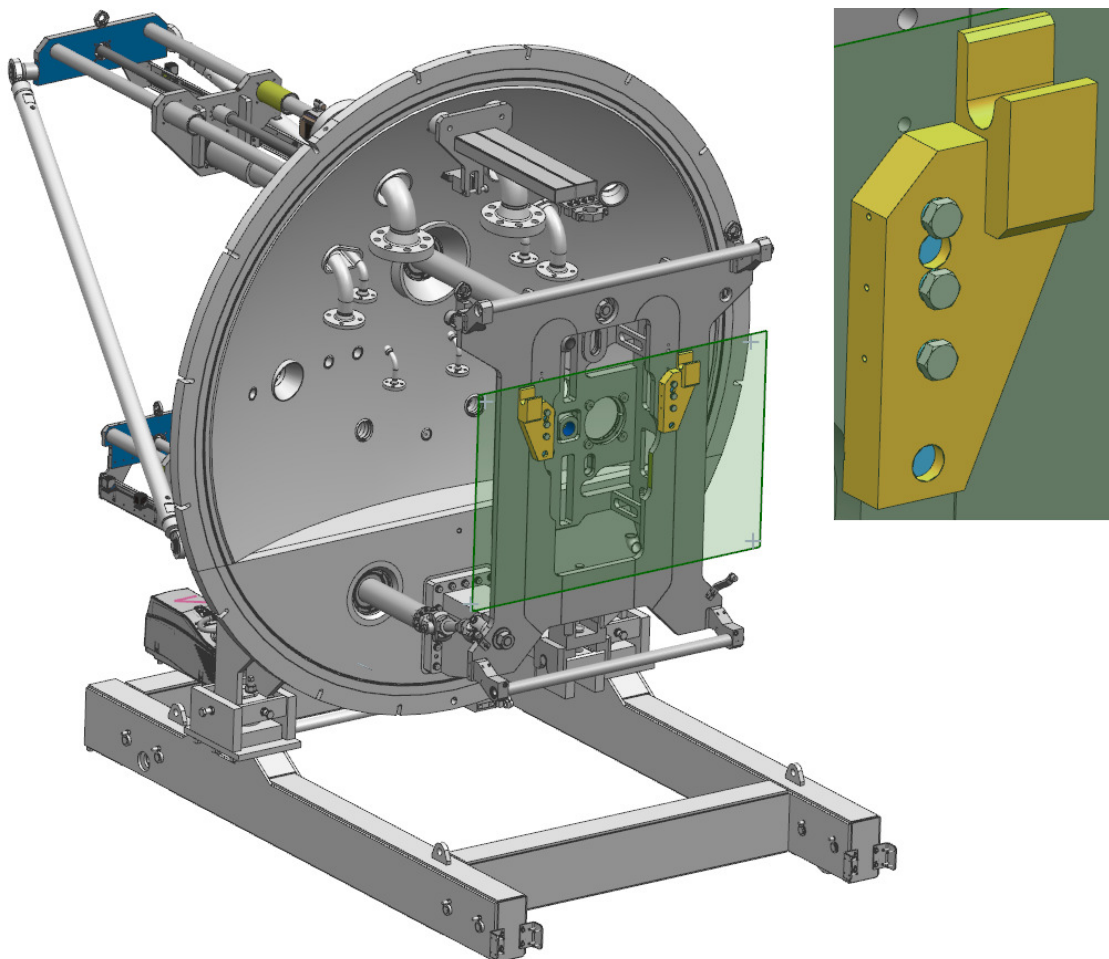
Obrázek 9: Detail chladicích kanálů panelu (17)

3.3 Uchycení panelu

Panel od každého výrobce má jiné montážní body. Například panel od výrobce firmy Framatome, který je na obrázku 10, má na okrajích závitové díry (na obrázku červeně), a poté závitové díry u osy panelu. K těmto díram lze šrouby uchytit montážní desky pro manipulaci. Na tomto konkrétním panelu jsou žluté příruby s přimontovanými čepy pro otáčení panelu.



Obrázek 10: Panel první stěny od Framatome (18)



Obrázek 11: Víko nádoby a držák panelu

Na obrázku 11 je vidět uchycení ve víku nádoby zařízení HELCZA. Na nerezový držák byly navrženy sedla (žlutá barva), do kterých budou posazeny tvarové protikusy, které jsou smontovány s panelem, a také s nosným rámem panelu (obrázek 13). Umístění panelu je na obrázku 11 naznačeno zelenou barvou.

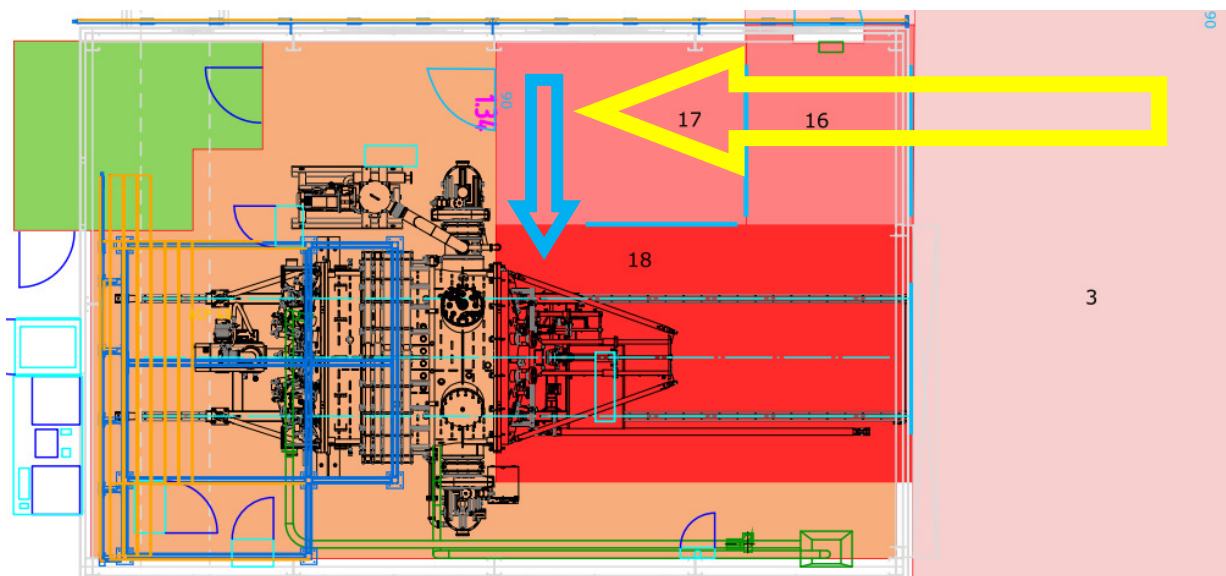
3.4 Kontaminace

Panel má na sobě vrstvu beryllia. Do této vrstvy, která bude ve fúzním reaktoru čelem k fúzní reakci, bude stříleno elektronovým dělem. Při tomto procesu mohou vznikat v prostoru nádoby mikroskopické částice beryllia. Beryllium je toxické a karcinogenní. Jeho toxicita je dána schopností vytěsnit hořčík z enzymů. Při otravě berylliem se poškodí játra, ledviny a nervový systém. Vdechování prachu beryllia způsobuje chorobu zvanou chronická beryllióza. Ta velmi často přeroste v rakovinu plic. (19) (20)

Kvůli výše zmíněným negativním vlivům tohoto prvku, je nutné zabezpečit v laboratoři bezpečné podmínky k práci. Z tohoto důvodu jsou povinni všichni pracovníci nosit ochranné pomůcky a celou laboratoř je nutné rozdělit do ocelových boxů s hermeticky uzavíratelnými přechody. Na obrázku 12 je vidět část tohoto objektu. Různými barvami jsou ukázány jednotlivé místnosti s potenciálními úrovněmi zamoření. Místnost 18, kde po proběhnutí testu bude otevřena tlaková nádoba, je jako místnost s největším potenciálním zamořením. Čím více jsou na schématu světlejší barvy, tím méně má daný prostor potenciálně zamořen. Všechny boxy jsou napojeny na vzduchotechniku s filtry vzduchu.

3.5 Přepravní trasa panelu

Box s panelem bude po provedení přijímacích zkoušek umístěn v boxu 3. Z tohoto boxu se bude muset přes box 16, který funguje jen jako přechodová místnost, dostat přímočarým pohybem do boxu 17. Tento pohyb je znázorněn na obrázku 12 žlutou šipkou. Poté bude třeba, aby panel zajel do otevřené přetlakové nádoby v boxu 18 a zavěsil zde panel. Mezi boxem 17 a 18 se skokově zvedá výška podlahy o 350mm. Po zavěšení panelu do zařízení manipulátor odjede zpět do boxu 3 a v tlakové nádobě proběhne test.



Obrázek 12: Schéma části laboratoře

4 Požadavky na manipulátor

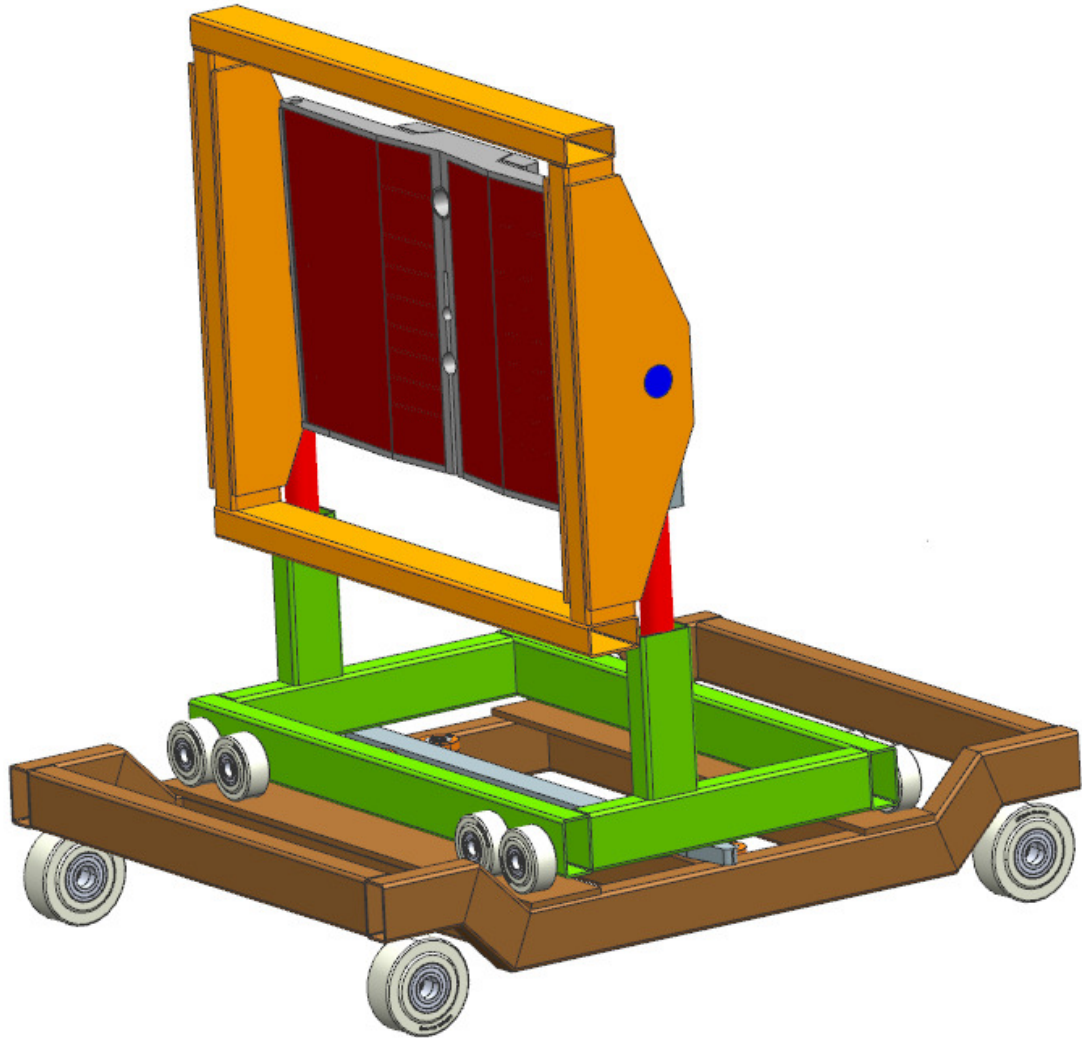
Koncepční schéma manipulátoru bylo pevně dáno od zadavatele diplomové práce. Na obrázku 13 lze vidět jeho vizualizaci. Dva vozíky jsou použity z důvodu překonání výškového rozdílu u tlakové nádoby. Spodní vozík (hnědá barva) přijede do boxu 17 a zde z něj vyjede již v druhé výškové úrovni horní vozík (zelená a oranžová barva) do boxu 18 na plošinu nádoby.

Tabulka 1: Základní požadavky na manipulátor

Maximální výška panelu	1360mm
Maximální šířka panelu	1650mm
Výška prvního prototypu	850mm
Šířka prvního prototypu	1350mm
Maximální hmotnost panelu	1000kg
Zdvih panelu	±50mm
Rotace panelu	90°
Minimální šířka chodby	2200mm

První koncepční schéma počítá s tím, že nosný rám panelu (oranžová barva) se bude natáčet na otočných čepch (modrá barva) o 90° do horizontální polohy. Tato poloha je nutná kvůli posazení panelu do manipulátoru pomocí jeřábu z přepravního boxu, kde bude panel uložen také v horizontální poloze. Aby bylo možné panel usadit do držáku v tlakové nádobě, je třeba mít mechanismus, který s rámem panelu bude pohybovat ve vertikálním směru ±50mm. Tento mechanismus je znázorněn na schématu červenou barvou v podobě pístnic.

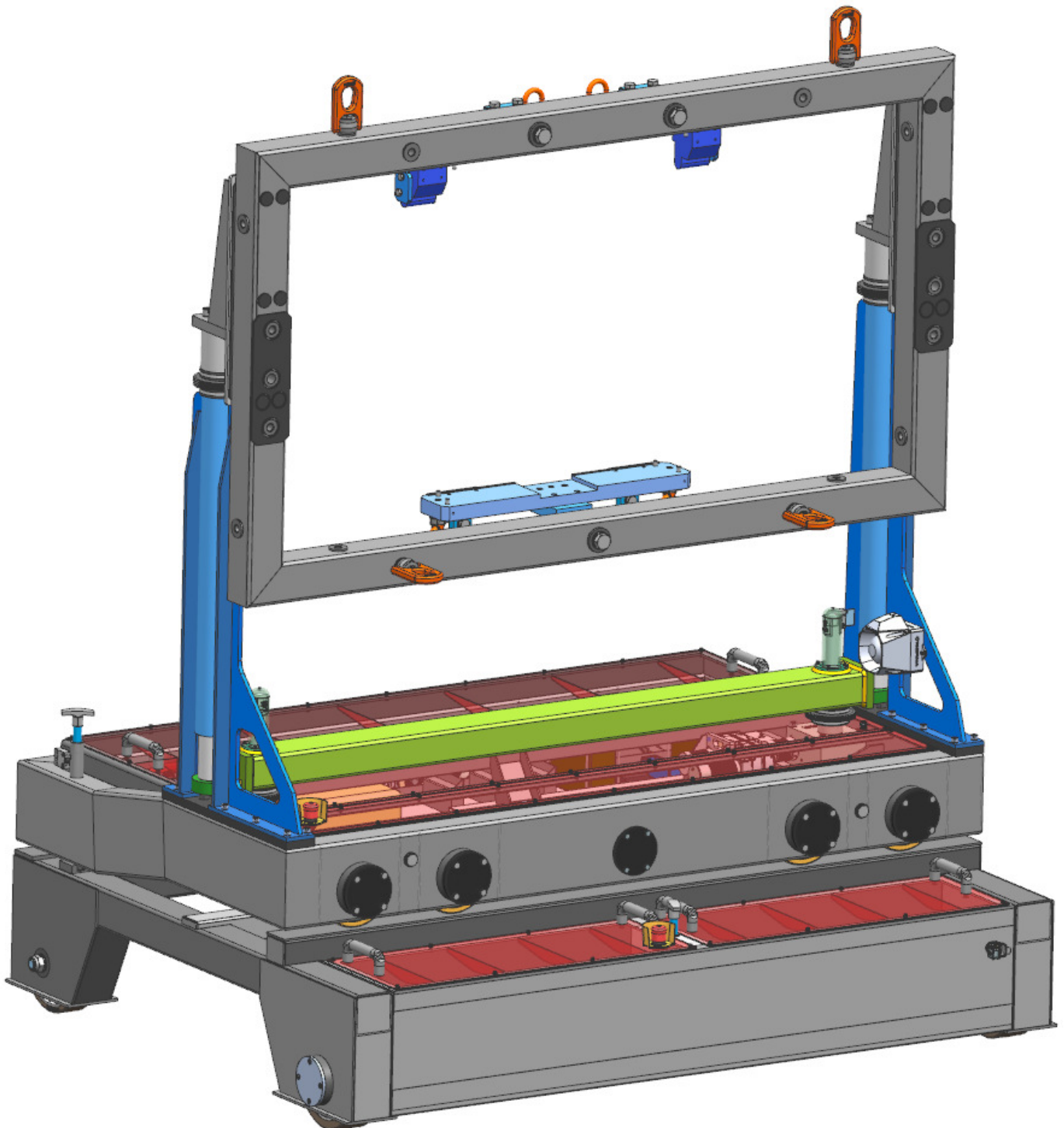
Vozíky manipulátoru budou navrhovány a počítány s ohledem na hmotnost největšího panelu a rozměry nejširšího a nejvyššího panelu. Tyto údaje jsou zaneseny v tabulce 1. Pouze rám panelu bude navrhován jen na první prototypy, které přijdou do laboratoře CVŘ v Plzni. To znamená, že na každý další typ panelu bude třeba vyrobit nový typ rámu. Toto řešení bylo zvoleno kvůli absenci 3D a 2D dokumentací k dalším typům panelům. K dispozici byla pouze dokumentace k prvním třem prototypům stejného typu, které přijdou do Plzně na začátku testovací kampaně. Kola horního ani spodního vozíku nebudou schopná zatáčení a vedení vozíku bude provedeno prostřednictvím vodičích lišt a roln.



Obrázek 13: Koncepční schéma manipulátoru

Dalším požadavkem byla dekontaminovatelnost manipulátoru. Dílčími úkoly tohoto požadavku je minimalizovat počet a výskyt špatně omyvatelných dutin a tvarově složitých ploch. S tím se spojuje i požadavek na korozní odolnost manipulátoru kvůli omývání vodou. Dalším namáháním z hlediska koroze je demineralizovaná voda, která by mohla při přepravě vytékat z panelu první stěny.

5 Konstrukce manipulátoru



Obrázek 14: Finální návrh manipulátoru

Na obrázku 14 je finální konstrukční návrh manipulátoru. Počáteční požadavky se v průběhu návrhu změnilly poté, co bylo rozhodnuto, že rotaci nosného rámu panelu bude provádět samostatné zařízení, a tudíž tato funkce není potřeba. Zároveň vznikly další drobné požadavky. Ty budou probrány detailně u všech konstrukčních celků.

Při konstrukci manipulátoru bylo postupováno postupným navrhováním komponent shora dolů, aby bylo možné dimenzovat konstrukční celky umístěné níže na alespoň přibližnou váhu.

V prvním kroku byl navržen rám panelu. Výškově byl navržen primárně pro panel číslo 12, ale šířkově, kvůli dalším návaznostem (pístnice atp.), je splňuje rozměrově požadavky pro všechny panely. Konstrukční práce byla podpořena MKP analýzou i analytickými výpočty šroubových spojů. U nich byl testován speciální nástřík zamezující zadření.

Dále byly navrženy pístnice včetně zdvihacího rámu (obrázek 14 – zelená barva) a zdvižních převodovek i s pohonem. V průběhu prací bylo řešeno, zda nebude rám panelu zvedán přes pákový mechanismus. Nakonec se od něj ale upustilo, neboť při pohybu vzhůru se rám pohyboval i ve směru dopředu a to nebylo žádoucí. Výše zmíněné celky byly propočteny metodou konečných prvků i analyticky.

Po navržení pístnic pro ně byl vytvořen rám (obrázek 14 – modrá barva). U něj bylo komplikované splnit všechny zástavbové a tuhostní požadavky, protože zde není moc prostoru pro žebra. Po namodelování byl i rám pístnic zkontrolován metodou konečných prvků.

Ten je přišroubován na rám horního vozíku. Jedno se o obdélníkový svařenec na které byly kladeny požadavky, na tuhost, dekontaminaci a zástavbový prostor. Zároveň v sobě musel schovat elektronickou výzbroj a uvnitř profilů i kola. Celý rám byl taky zkontrolován konečno-prvkovou metodou a hřídele kol byly počítány analyticky.

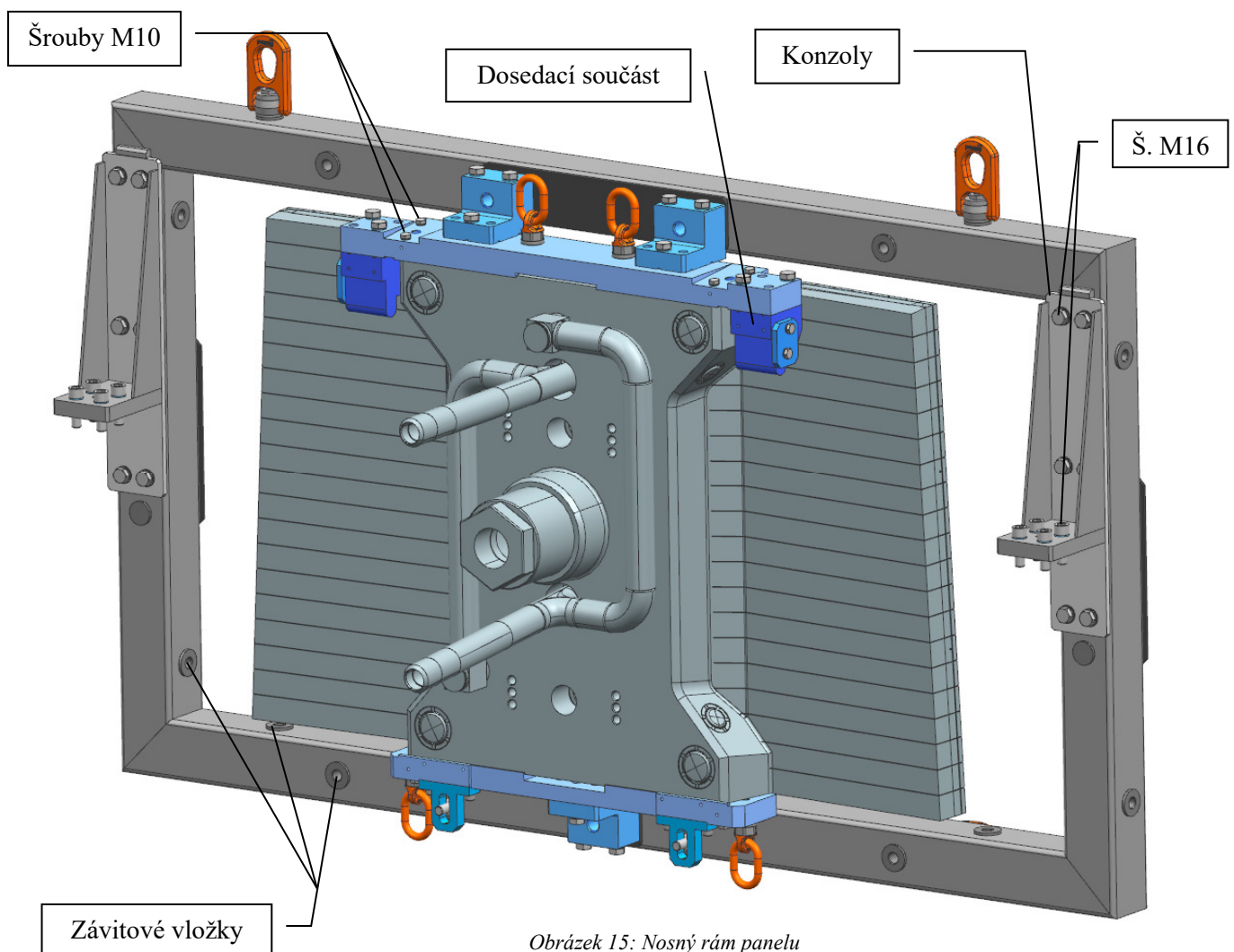
Posledním celkem je spodní vozíku, který slouží pouze jako dopravník pro horní vozík. Funkčně je téměř analogický s horním vozíkem. Musí unést vše co se nachází nad ním, a zároveň mít utěsněný prostor pro elektroniku. I zde probíhaly totožné výpočty jako u horního vozíku.

Po hrubých konstrukčních pracích, byla řešena bezpečnost a elektronika. Byly přidávány signalizační prvky, koncové spínače, aretační čepy a jiné. Zároveň byly na základě požadavků od elektrokonstruktérů zabudovány do vnitřku obou vozíků baterie, řídicí jednotky, přijímací jednotky atd.

5.1 Rám panelu

Tento rám rozměrově vyhovuje jen pro panel číslo 12 (první prototyp, který bude testován v CVŘ), neboť pro další typy panelů nejsou dostatečné podklady. Rám panelu je svařený z čtvercových profilů rozměru 100x100x4 z materiálu 1.4301. Do něj jsou vevařeny vložky se závitovými dírami, do kterých je možné zašroubovat nosná oka, jak je vidět na obrázku. Jsou směřovány buďto ve směru od panelu, anebo ve směru před a za panel. A to, aby bylo zaručeno, že lze nosný rám zavěsit za oka jak v horizontální, tak ve vertikální pozici. Rám je k nosným deskám (na obrázku 15 modrá barva) přichycen pomocí tří šroubů M24. Tyto šrouby budou odmontovány po posazení dosedacích součástí do sedel na držáku zařízení HELCZA. Zde bylo vyhověno požadavku obsluhy na minimalizaci montážních úkonů. Proto jsou zde jen tři šrouby, jinak veškeré úkony u nádoby provádí manipulátor. K panelu první stěny jsou nosné desky přišroubovány pomocí osmi M10 šroubů.

Ke zbytku manipulátoru je rám připevnění pomocí konzol. Každá konzola je k rámu připevněna pomocí šesti M16 A4-80 šroubů a k pístnici pomocí čtyř M16 A4-80. U rámu je vertikální poloha konzoly zajištěna pomocí přivařených tyče, jejíž dosedací plocha je po svaření ofrézována.



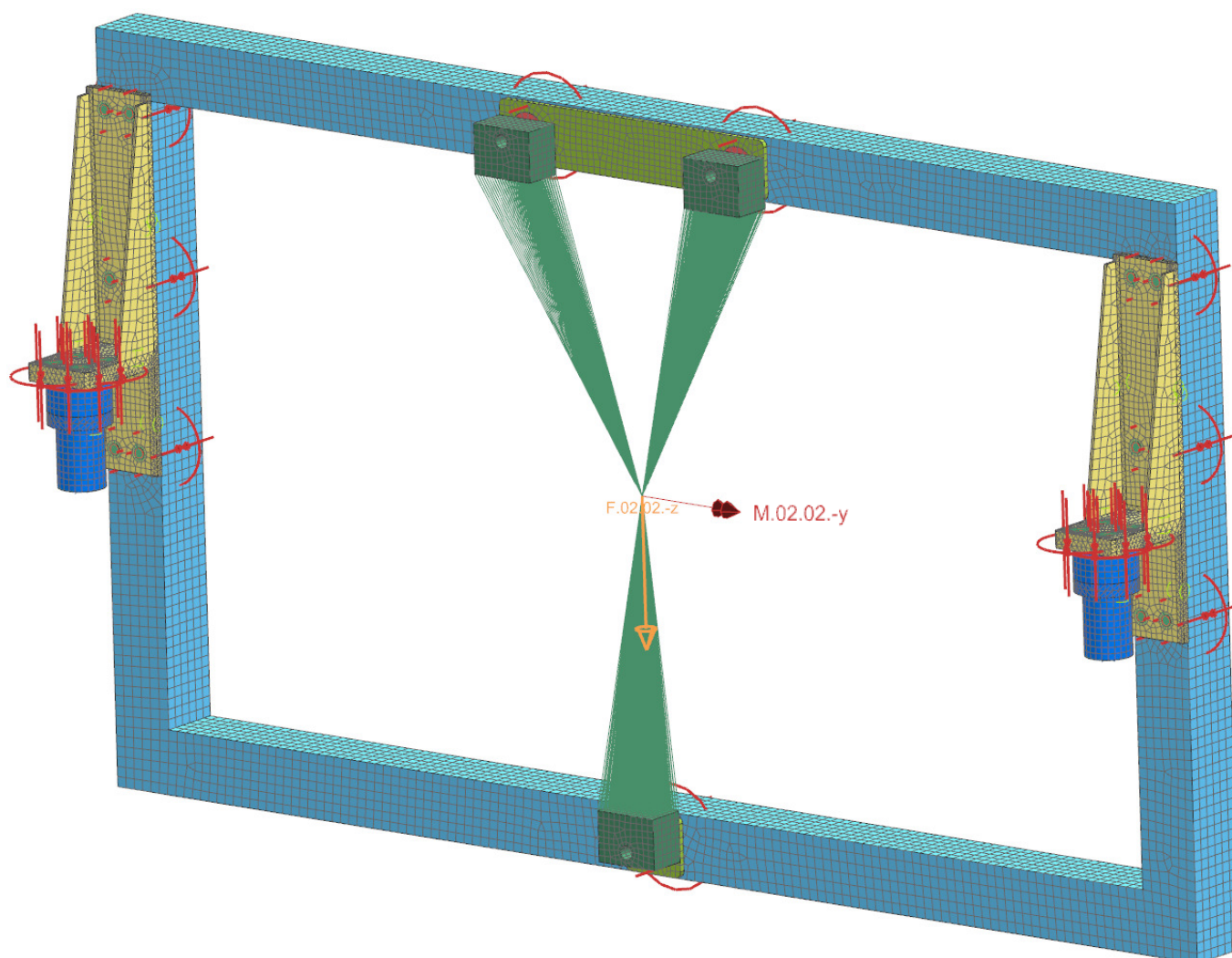
Obrázek 15: Nosný rám panelu

5.1.1 FEM analýza a výpočty

Rám a konzoly

V první simulaci byl vyšetřován pevnostně rám, konzoly a šroubové spoje na těchto součástech.

Profily byly nasítovány pomocí 2D sítě a byly odebrány zaoblení profilů, kvůli zlepšení kvality sítě. Konzoly, vložky a ostatní komponenty byly nasítovány kombinací sítě s čtyřstěnnými elementy s meziuzlem *CTETRA* (10) a tažené sítě s elementy s meziuzlem *CHEXA* (20) pro zmenšení výpočtového času. Pro nahrazení panelu byly využity RBE3 (dokonalé tuhé elementy, které odebírají tři translační stupně volnosti), jež spojují kostky s těžištěm panelu a se silami. Šrouby byly vytvořeny funkcí *Bolt Connection*, která nahradí dřív 1D prvkem s vlastnostmi skutečného šroubu a hlavu a závit spojí s protikusem RBE2 elementy.



Obrázek 16: Rám panelu - síť a okrajové podmínky

Sestava byla zatížena v těžišti panelu silou $F_{02.02.-z}$, která nahrazuje maximální hmotnost největšího panelu, na kterou musí být součásti nadimenzovány. Je dána vztahem

$$F_{02.02.-z} = m_{p \max} * g = 1000 * 9,81 \doteq 10000N$$

V tomto bodě byl aplikován i moment $M_{02.02.-y}$, odpovídající vyosení panelu o 100mm. Tento moment byl přidán, protože poloha těžiště není určena kvůli nedostatku informací.

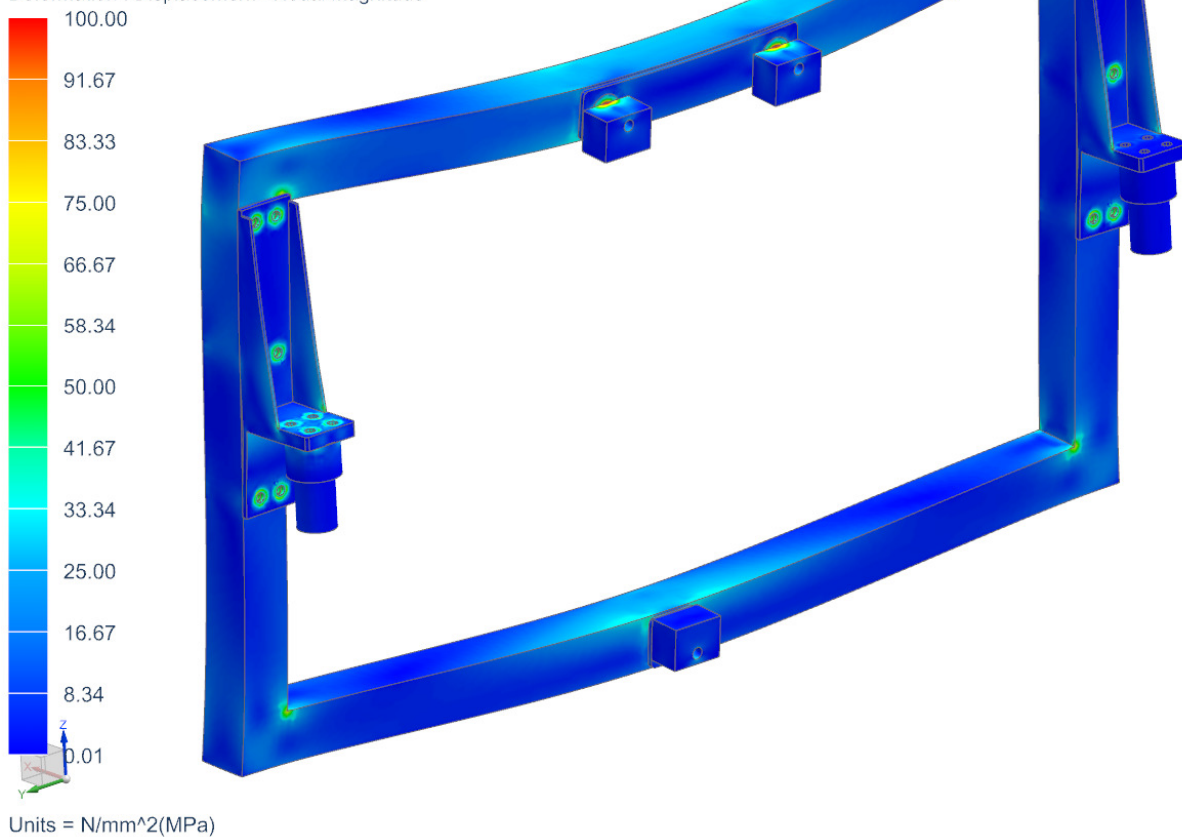
$$M_{02.02.-y} = F_{02.02.-z} * e_p = 10000 * 0,1 = 1000Nm$$

Tabulka 2: Zatížení nosného rámu

Zatížení	hodnota
$F_{02.02.-z}$	10000 N
Předeprtí šroubů M16	30 000 N
Předeprtí šroubů M24	110 000 N
$M_{02.02.-y}$	1 000 Nm

Sestavě byly odebrány stupně volnosti na koncích částečně vymodelovaných pístnic. Všechny komponenty, které jsou sešroubovány, jsou v simulaci spojeny pomocí předeprtí šroubů a vazby *Surface-To-Surface-Contact*.

10.02.02_RAM_PANELU_sim2 : Bez_spodniho_zebra Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Beam Section : Maximum, Shell Section : Top
Min : 0.01, Max : 360.35, Units = N/mm²(MPa)
Beam Coord sys : Local
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 17: Rám panelu - napětí Von Mises

Celý rám a konzoly jsou z materiálu 1.4301 (staré označení AISI 304). Mez kluzu tohoto materiálu je 210MPa. Bezpečnost na celý manipulátor byla zvolena 2.

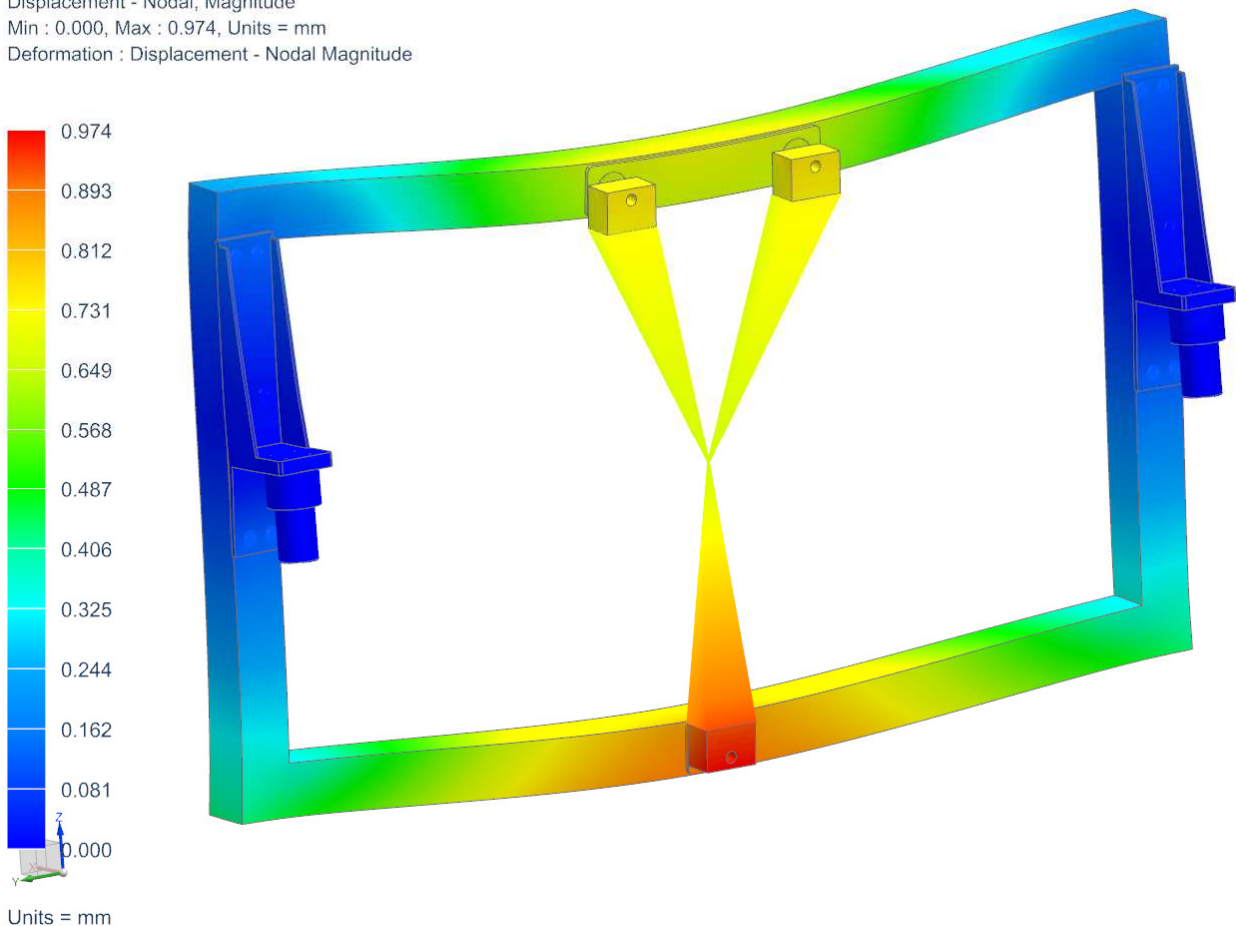
$$\sigma_{D\ 1.4301} = \frac{R_{e\ 1.4301}}{k_{1.4301}} = \frac{210}{2} = 105\text{MPa}$$

Šrouby jsou z materiálu A4 pevnostní třídy 80. Dovolené napětí bude s bezpečností 1,5 oproti mezi kluzu.

$$\sigma_{D\ A4-80} = \frac{R_{p\ 0,2\ A4-80}}{k_{A4-80}} = \frac{600}{1,5} = 400\text{MPa}$$

Na obrázku 17 je vidět pevnostní výsledek simulace. Napětí na profilech a konzolách nepřesáhne 40MPa, ve vložkách pro šrouby pak 80MPa. V simulaci se sice objevily špičky kolem 300MPa, ale to je způsobeno připevnění 1D šroubů pomocí dokonale tuhých elementů.

10.02.02_RAM_PANELU_sim2 : Bez_spodniho_zebra Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.974, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



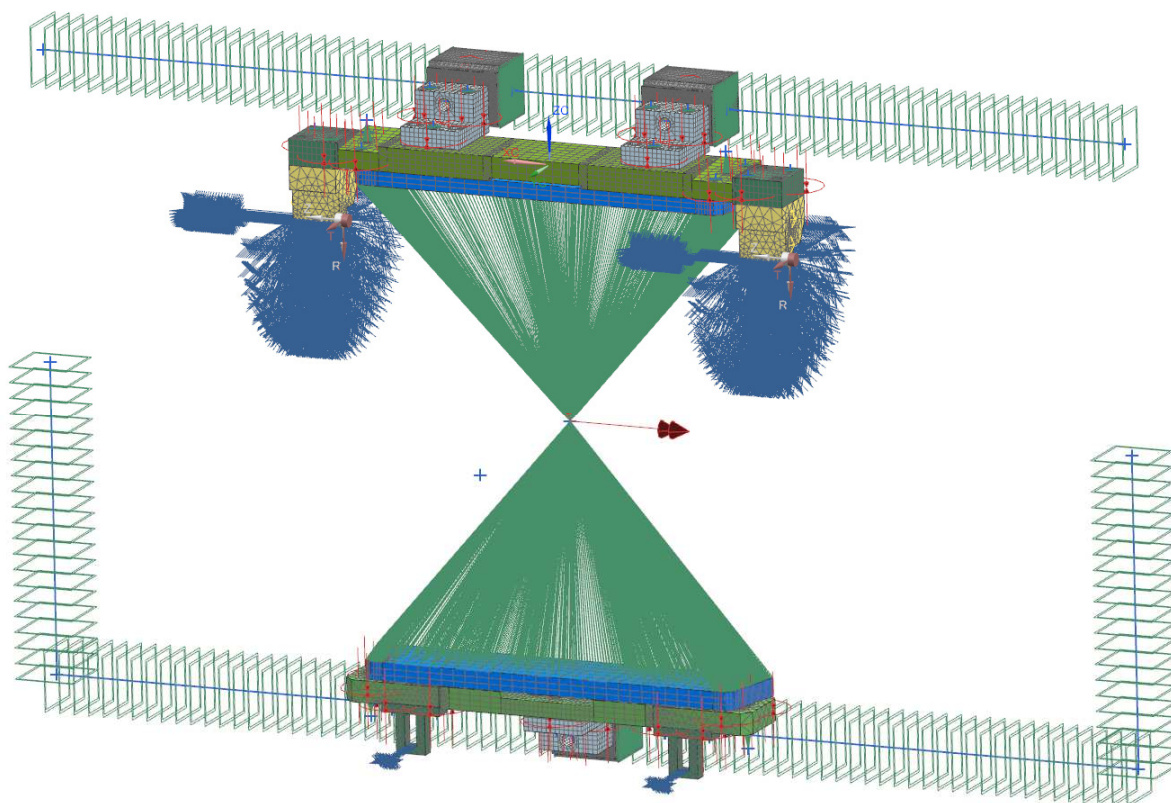
Obrázek 18: Rám panelu – posunutí

Posunutí panelu nepřesáhne 1mm, což je vyhovující. Větší posunutí by bylo nevhodující z hlediska montáže do sedel v držáku víka nádoby, proto již nebude profil dále zmenšován, i když by to maximální napětí dovolovalo.

Montážní desky

Byla také provedena simulace, která pevnostně hodnotila montážní desky, kostky se závity, sedla a jejich spojovací materiál. Zatěžování bylo stejné jako v minulém případě. Stupně volnosti byly odebrány na sedlech a na držácích na dolní desce. Rám panelu je zde nahrazen modrými deskami, které odpovídají jeho dosedacím plochám pro montážní desky. Jeho tělo je nahrazeno RBE2 elementy.

Síť je obdobná jako u předchozí simulace. Pro potřeby vyzkoušení zátěžného stavu, kdy celý komplet drží manipulátor na pístnicích, je zde vymodelován 1D síť i rám panelu, který nahrazuje tuhost uložení. Zde pak byly stupně volnosti odebrány na koncích 1D elementů.



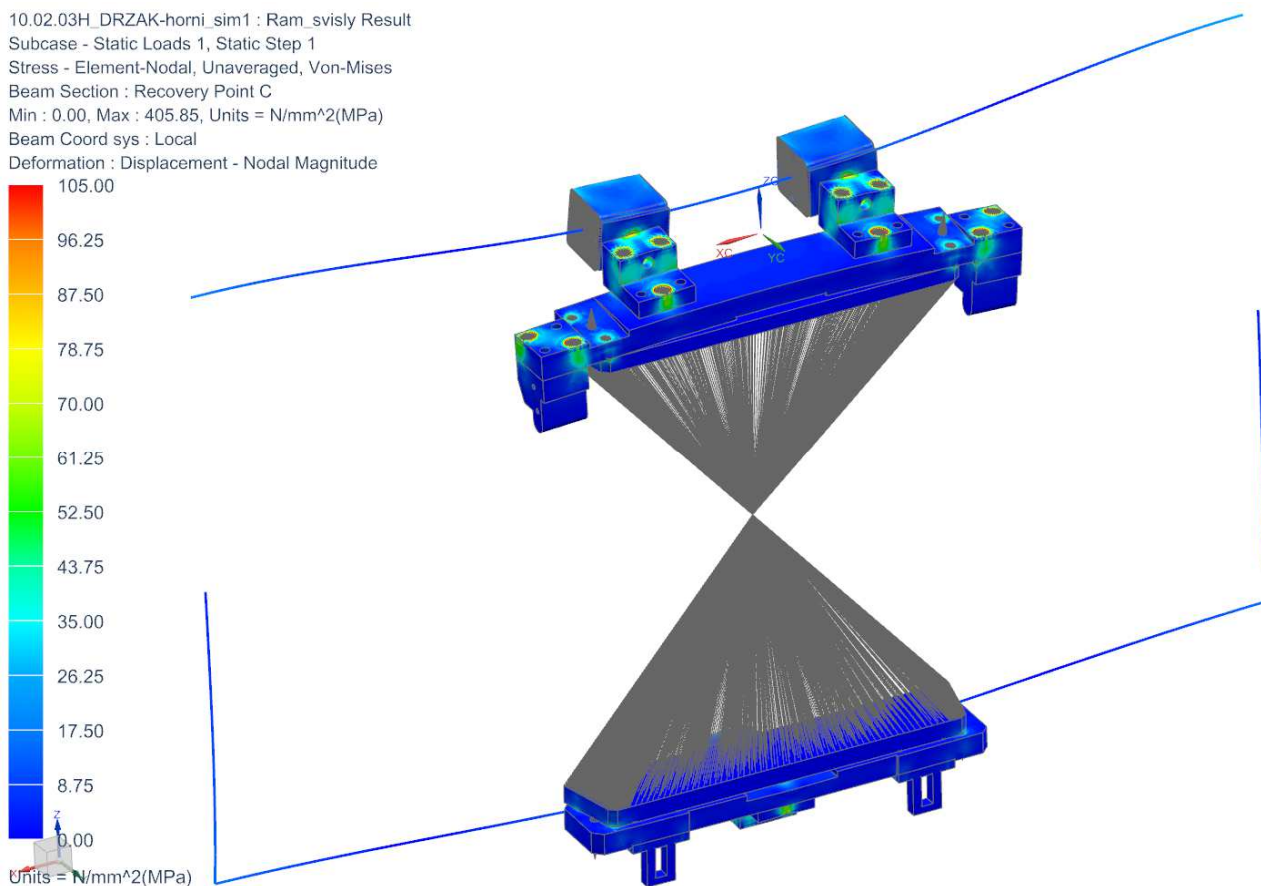
Obrázek 19: Montážní deska - síť a okrajové podmínky

Na obrázku 20 jsou vidět napětí v simulaci montážních desek, které nepřesáhnou u vyráběných dílů 65MPa. Ve šroubech se poté drží podobně jako v minulé simulaci.

Tabulka 3: Rám panelu - výsledky napětí v simulacích

<i>komponenta</i>	<i>max. napětí [Mpa]</i>	<i>dovolené napětí [Mpa]</i>
Šrouby M16	210	400
Šrouby M24	360	400
Rám (profily)	36	105
Rám (vločky)	79	105
Montážní deska	63	105
Konzoly	29	105

V tabulce 3 jsou vidět maximální odměřená napětí ze součástí, včetně jejich dovoleného napětí. Pevnostně celý rám včetně konzol vyhovuje a předepnutí šroubů je dostatečné, jelikož žádné součásti neodléhají.



Obrázek 20: Montážní deska - napětí Von Mises

Šrouby

V dalším kroku bylo třeba vypočítat utahovací momenty pro šrouby M24, které budou při montáži opakovaně utahovány a povolovány podle toho, jak bude panel přimontován a odmontován od rámu. Od obsluhy vyvstala obava, aby se nerezové šrouby v nerezové kostce nezadřely, a tím pádem se nevytvořily velké problémy při montáži. Obyčejná maziva není možné použít z důvodu umístění ve vakuové komoře. Při evakuaci nádoby by takové mazivo zaneslo vývěvu a nádobu, proto bylo vybráno tuhé vytvrzované mazivo LF Kote 450. Aby byla jistota funkčnosti takového maziva, byly vytvořeny v rámci návrhu manipulátoru testovací vzorky, ve kterých se šrouby M24 utáhly, povolily a následně se vyhodnocoval stav povrchu závitu a tendence k zadírání. Zároveň byly testovány i závity M10 a M16. Tento jeden testovací přípravek je nerezový kvádr s průchozí dírou pro šroub se závitem na jejím konci. Přípravek by měl simulovat utahování šroubu v sestavě.

Tento pevně zakotvený kluzný film se udržel i po několikanásobném utahování a tak byl použit na šrouby M24 a následně i na šrouby M16, které drží rám panelu a M10, které drží

panel (obrázek 15). Výrobce deklaruje tření 0,1 pod hlavou a 0,12 v závitě. Utahovací moment se vypočte jako

$$M_{U M24} = 0,5 * F_{M24} * (d_{2M24} * \tan(\alpha + \varphi) + d_{s M24} * f_h)$$

$$M_{U M24} = 0,5 * 110\,000 * (21,9 * \tan(2,5 + 6,84) + 30,5 * 0,1) \doteq 370Nm$$

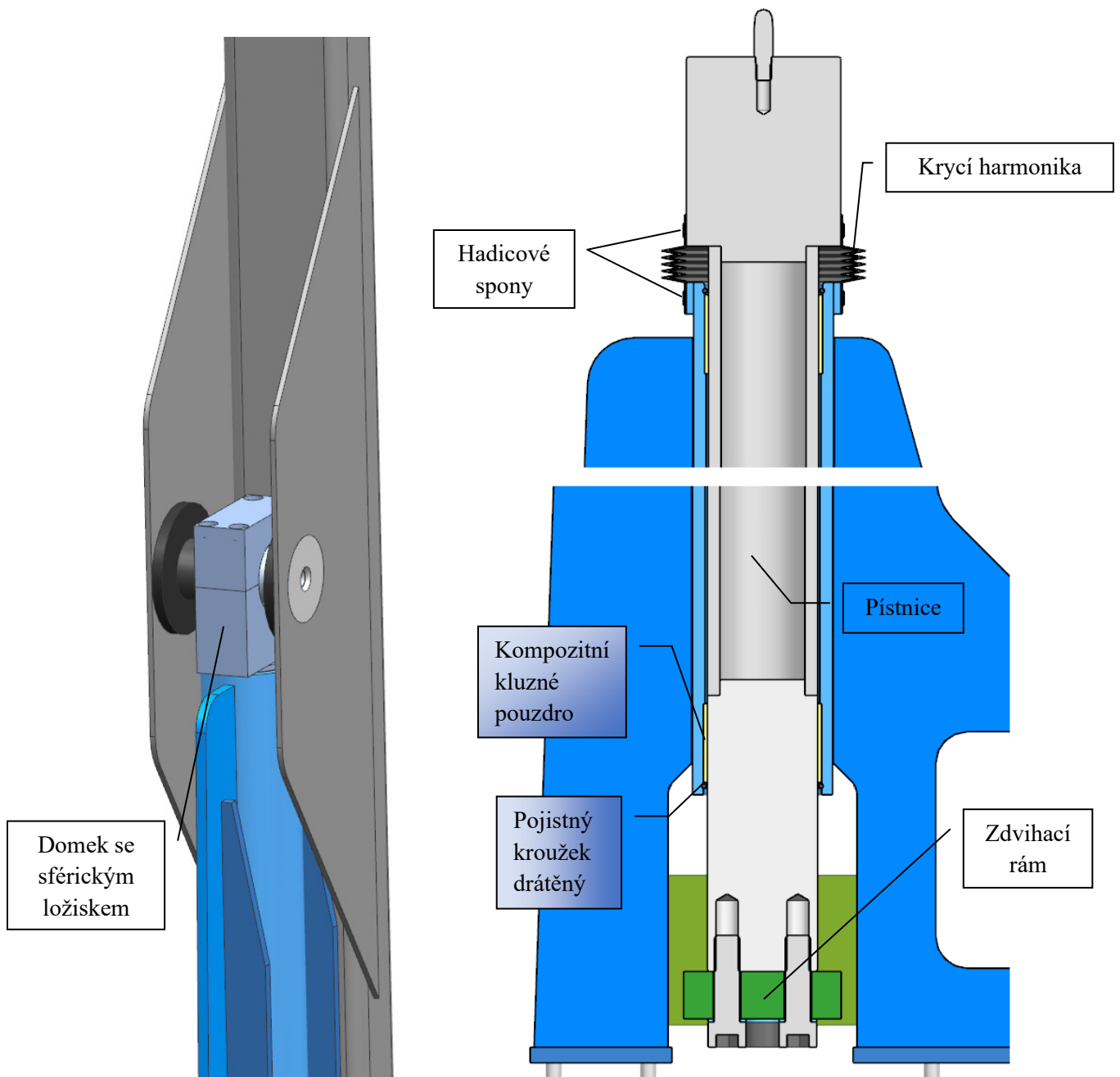
kde $d_{2 M24}$ a $d_{s M24}$ je střední průměr závitu a střední průměr plochy pod hlavou, α je úhel stoupání závitu, φ je třecí úhel a f_h je tření pod hlavou. Momentu 370Nm bude dosaženo pomocí rázového utahováku.



Obrázek 21: Test závitu s mazacím filmem

5.2 Zdvihací mechanismus rámu panelu

Dle požadavků měl být panel rámu zvedán o 100mm a natáčen o 90°. Otočení mělo být zprostředkováno buď šnekovou převodovkou v ose, šnekovou převodovkou mimo osu a s řetězovým mechanismem anebo trapézovou zdvihací převodovkou a táhlem. V průběhu návrhu přibyl požadavek, aby bylo možné s rámem panelu točit o 180°. Takové konstrukční uspořádání by na manipulátoru bylo jen stěží dosažitelné a zároveň ekonomicky náročné. Protože bylo natáčení třeba jen v boxu č. 3 (obrázek 12) v průběhu tlakových zkoušek a podobně, bylo rozhodnuto o navržení samostatného jednoúčelového zařízení zvaného „obracedlo“. Tím pádem již nebylo třeba, aby manipulátor otáčel vzorkem.



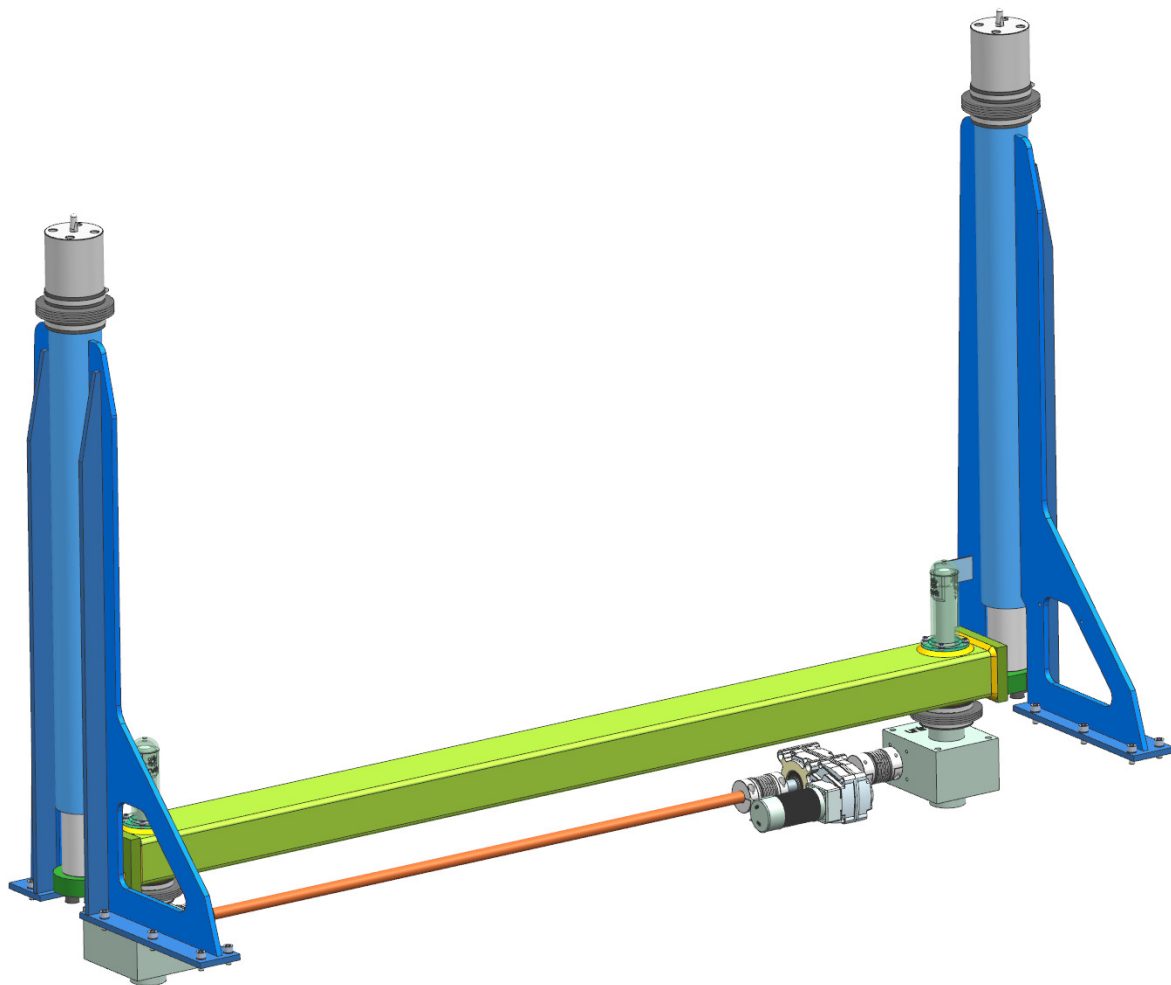
Obrázek 22: Původní otočný mechanismus rámu

Obrázek 23: Rám pístnice s pístnicí (současná podoba)- řez

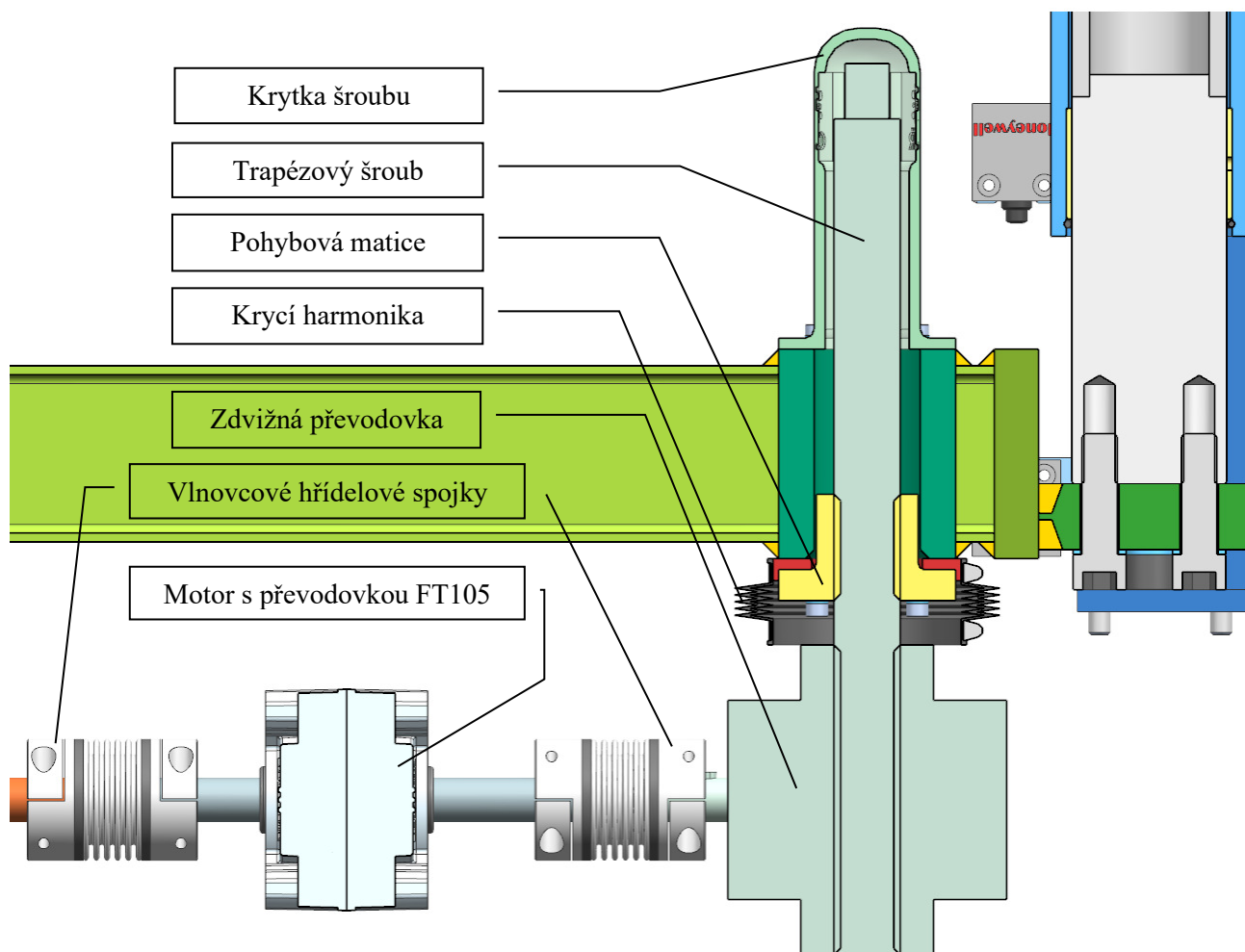
Na obrázku 22 je vidět původní otočný mechanismus pro rám panelu. Spodní část domku se šroubovala do závitové díry v pístnici. V něm pak bylo sférické ložisko, kterým procházel čep, jež byl příložkou přišroubován ke konzole nosného rámu panelu.

Na vedlejším obrázku 23 je vidět současná podoba sestavy kolem pístnice. Ta se pohybuje ve dvou kompozitních pouzdrech PCM 707550 M, která jsou bezúdržbová. Jsou předmazaná již z výroby a po dobu jejich životnosti je není třeba mazat. (21) V otvorech v rámu pístnice drží pomocí přesahu vnějšího průměru, ale pro pojištění jejich axiální polohy byly přidány pojistné drátěné kroužky. Samotná pístnice je svařenec ze tří částí – trubky a dvou přírub. Ke spodní části se přišroubuje zdvihací rám a k horní poté konzola rámu panelu. Mezi horní přírubou pístnice a rámem pístnice je krycí harmonika přitažená dvěma hadicovými sponami, aby do prostoru otvoru rámu a do pouzder nevnikla voda.

Obě pístnice spojuje zdvihací rám (obrázek 24 - zelená barva), který je na svých koncích přimontován k pístnicím pomocí konzolek. Blíže ke svému středu má po obou stranách vevařené vložky, ve kterých je přimontována pohybová matice zdvižné převodovky značky UNIMEC. Přes trapézové šrouby jsou plastové průhledné krytky vytisklé na 3D tiskárně. Ty spolu s krycími harmonikami, které jsou mezi zdvihacím rámem a krytem horního vozíku (červená barva na obrázku 14), zabraňují natečení vody k pohybovému šroubu a do dutiny horního vozíku.



Obrázek 24: Zdvihací mechanismus



Obrázek 25: Mechanismus zdvihacího rámu

Na obrázku 25 je vidět mechanismus zdvihacího rámu. Matice je sešroubovaná s vložkou v příčnicku a v ní je pohybový šroub, který se otáčí a je axiálně pevně upevněn v převodovce. Do zdvižné převodovky vede vstupní hřídel, který je spojen přes vlnovcovou hřídelovou spojku s výstupním hřídelem převodovky FT105 převodového poměru 1:44. Společně s motorem BLS043.240 dávají výstupní moment 18Nm v rozsahu 6,8-68 ot/min. Analogicky na druhé straně je mechanismus naprosto stejný s tím rozdílem, že točivý moment je přiveden pomocí spojovacího hřídele (obrázek 25 – oranžová barva).

Tabulka 4: Údaje motoru s převodovkou

FT 105 + BLS043.240			
Výkon	P_{FT}	130	W
Moment	M_{FT-043}	18	Nm
Otáčky	n_{FT}	6,8-68	ot/min
Př. poměr	i_{FT}	1:44,4	-

Tabulka 5: Údaje zdvižné převodovky

TPR			
Př. poměr	i_{TPR}	1/5	-
Zdvih šroubu	z_{TPR}	1,2	mm/ot
Stoupání	p_{TPR}	6	mm
Účinnost	μ_{TPR}	30	%

5.2.1 FEM analýza a výpočty

Výpočet zdvižné převodovky a navazujících komponent

K tomuto výpočtu je potřeba několik vstupů. Některé z nich jsou již v tabulkách 4 a 5. Dalším důležitým vstupem je celková hmotnost, která bude zatěžovat pohybové šrouby. Skládá se z hmotnosti panelu (brána hmotnost nejtěžšího panelu), hmotnosti rámu panelu a k němu připojených komponent, sloupů a zdvihacího rámu.

Tabulka 6: Hmotnosti působící na zdvižnou převodovku

součást	hmotnost	
Panel (max.)	$m_{p \max}$	1 000 kg
Rám panelu (odhad)	$m_{\text{rám p.}}$	350 kg
Sloupy	m_{sloupy}	44 kg
Zdvihací rám	$m_{\text{zdvih. rám}}$	33 kg
Celková	$m_{\text{zdvih. celk}}$	1 427 kg

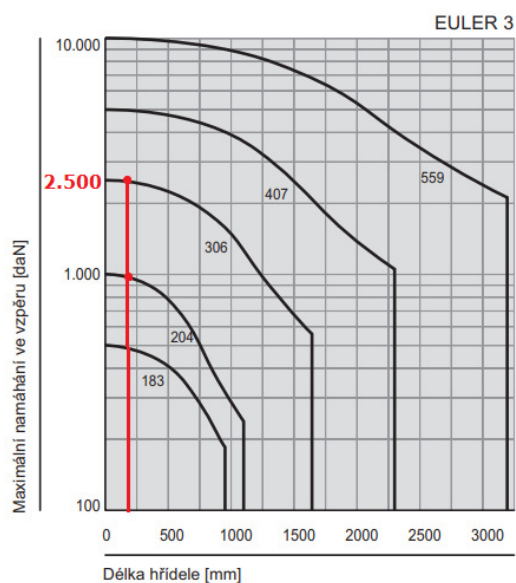
Z tohoto údaje je možné vypočítat celkovou sílu působící na matici jako

$$F_{\text{zdvih celk}} = m_{\text{zdvih. celk}} * g = 1\,427 * 9,81 \doteq 14\,000\text{N}$$

Podle tohoto údaje je možné zvolit převodovku z katalogu výrobce. Bylo vybíráno podle dvou kritérií – maximálního dovoleného zatížení a vzpěru. Na každou převodovku působí polovina síly $F_{\text{zdvih celk}}$.

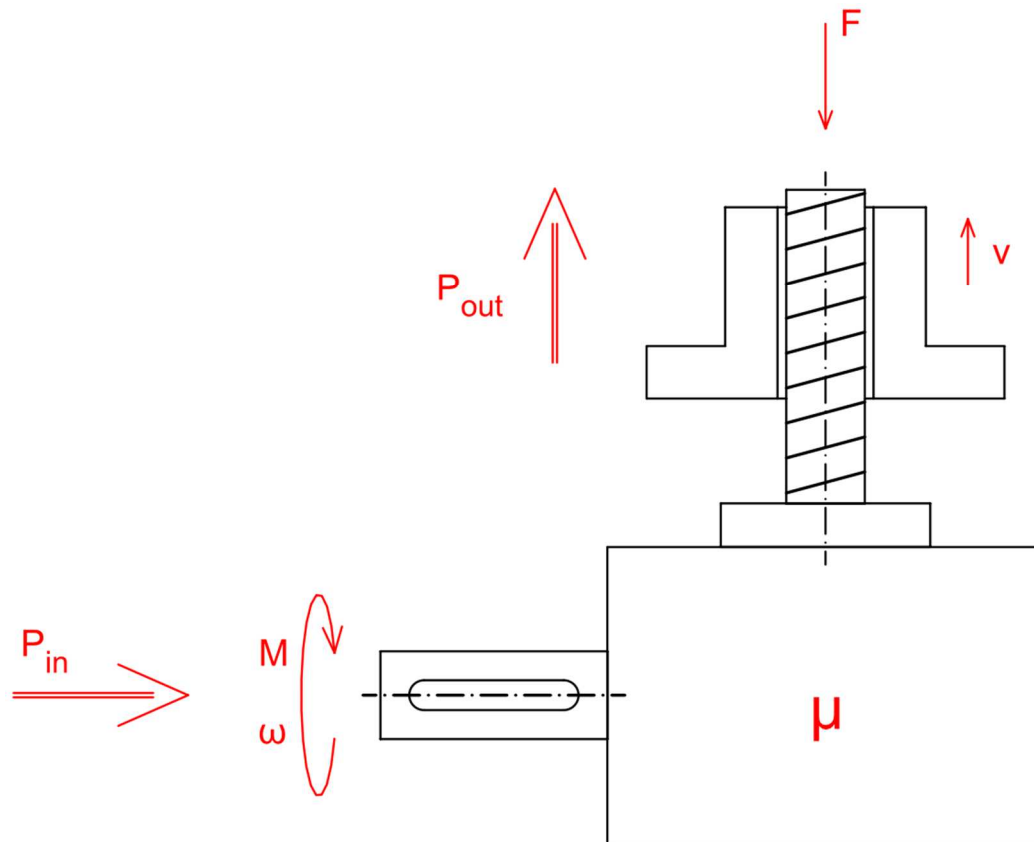
Technické údaje

Rozeř	183	204	306
Připustné zatížení [daN]	500	1000	2500



Obrázek 26: Katalog UNIMEC (22)

Vyhovující jsou převodovky řady 204 a vyšší. Kvůli možnému zvýšení zdvihu nebo zatížení v budoucnu volím převodovku řady 306.



Obrázek 27: Schéma výpočtového modelu

Na obrázku 27 je vidět schéma výpočtového modelu převodovky. Vychází z předpokladu, že výkon, který z převodovky vychází, je ten samý jako ten, který do ní vstupuje vynásoben účinností.

$$P_{out} = P_{in} * \mu_{TPR}$$

U přímočarého pohybu na výstupu a rotačního na vstupu lze výkon rozepsat jako

$$\frac{F_{zdvih\ celk}}{2} * v_{TPR} = M_{in} * \omega_{in} * \mu_{TPR}$$

Dále je třeba převést obvodovou rychlost na otáčky za minutu a rychlost posuvu vyjádřit zdvihovou funkcí (je třeba převést z *minut* na *sekundy* a z *mm* na *m*) pomocí otáček jako

$$v_{TPR} = \frac{z_{TPR} * n_{in}}{60 * 1\ 000} \quad \text{a} \quad \omega_{in} = \frac{2 * \pi * n_{in}}{60}$$

Po dosazení do základní rovnice a vyjádření momentu dostaneme

$$M_{in} = \frac{\frac{F_{zdvih\ celk}}{2} * z_{TPR}}{2 * \pi * \mu_{TPR} * 1\ 000} = \frac{\frac{14\ 000}{2} * 1,2}{2 * \pi * 0,3 * 1000} = 4,46Nm$$

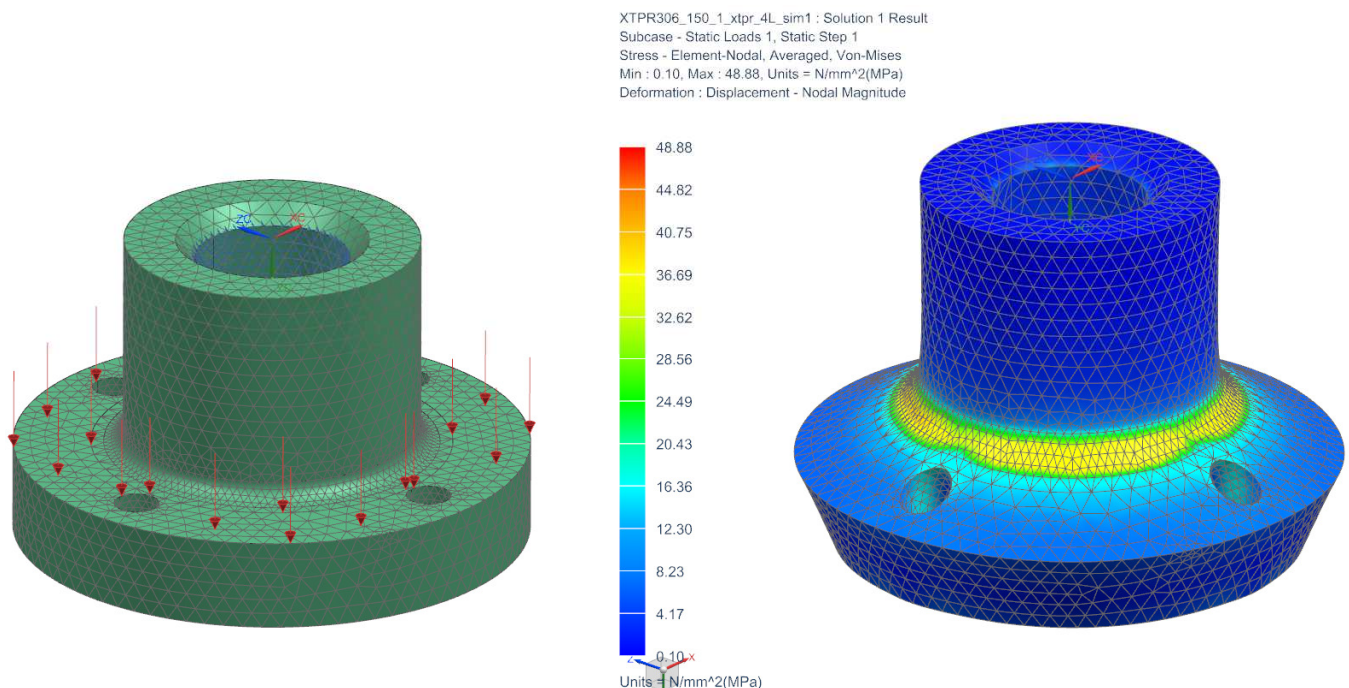
Celkový moment pro obě převodovky získáme jako

$$M_{zdvizne\ celk.} = M_{in} * 2 = 4,46 * 2 = 8,92Nm$$

Tento moment je téměř dvakrát menší než výstupní moment z převodovky. Ale kvůli případným ztrátám ve vedení a „předepnutí“ konstrukce z důvodu výrobních nepřesností bude tato bezpečnost ponechána. Dále je třeba vypočítat rychlost posuvu z maximálních a minimálních otáček motoru s převodovkou.

$$v_{TPR} = z_{TPR} * n_{in} = 1,2 * (6,8\ až\ 68) = 8,16\ až\ 81,6\ \frac{mm}{min}$$




Na obrázku 25 je vidět pohybová matice (žlutá barva), která je použita obráceně (příruba je v opačné poloze vůči zatížení, než ukazuje výrobce ve všech svých aplikačních výkresech a videích). Bylo proto rozhodnuto vypočítat napětí v matici při nestandardním způsobu zatěžování, a to kvůli jistotě o napětí v konstrukci. Dle výrobce je matice z materiálu CuAl10Fe2-GM (23). Ten má mez kluzu vyšší než 200MPa.



Obrázek 28: Síť matice a výsledky napětí

Z výsledků simulace je patrné, že bezpečnost je vyšší než 4 (ve špičce napětí) a je možné matici takto použít.

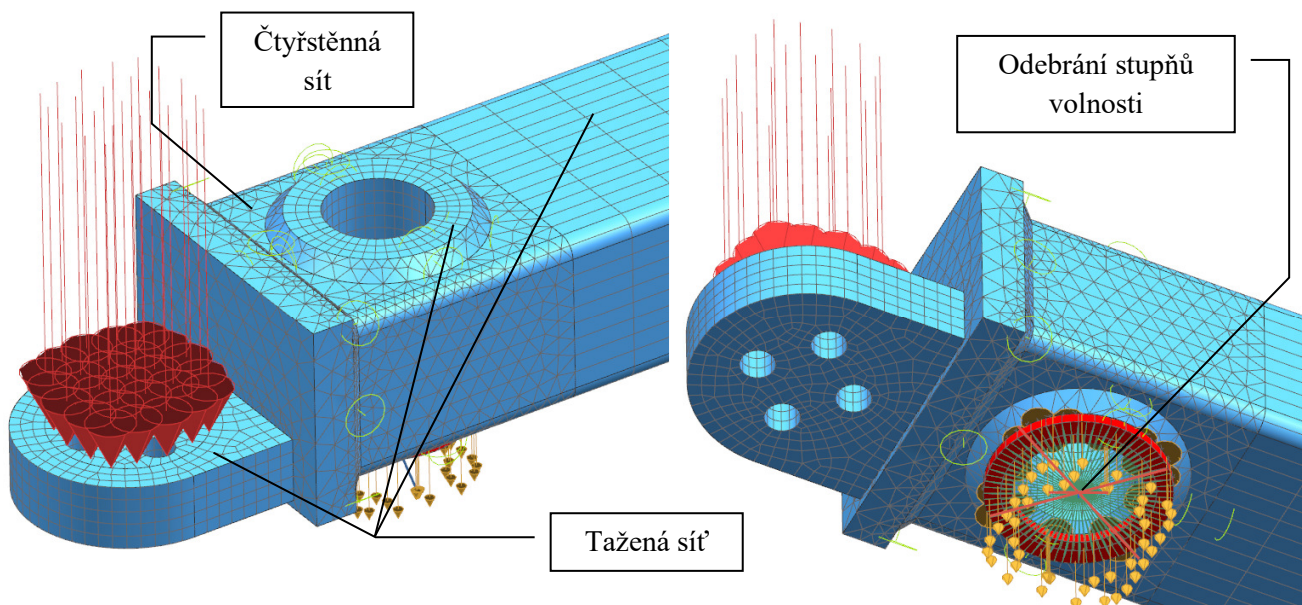
SPECIFICATIONS BKH

BKH Series		15	30	60	80	150	200
Rated torque (Nm)	T_{KN}	15	30	60	80	150	200
Overall length (mm)	A^{-2}	59 66	69 77	83 93	94 106	95 107	105 117
Axial \pm  (mm))	max.	1 2	1 2	1,5 2	2 3	2 3	2 3
Lateral \pm  (mm)	max.	0,15 0,2	0,2 0,25	0,2 0,25	0,2 0,25	0,2 0,25	0,25 0,3
Angular \pm  (degree)	max.	1 1,5	1 1,5	1 1,5	1 1,5	1 1,5	1 1,5

Obrázek 29: Hřídelová spojka BKH 30 -77

Hřídelová spojka, která je mezi převodovkou motoru a zdvižnými převodovkami, byla vybrána vlnovcového typu, a to kvůli velkým povoleným nesouosostem a úhlovému natočení, které by mohly nastat při montáži na velkém svařenci. S ohledem na maximální moment převodovky 18Nm byla vybrána řada BKH 30 s povoleným krouticím momentem 30Nm (obrázek 29).

Výpočet zdvihacího rámu



Obrázek 30: Zdvihací rám – síť a okrajové podmínky

Na obrázku 30 je vidět síť zdvihacího rámu (obrázek 24 - zelená barva). Tento je kombinací materiálů 1.4301 (příruby, konzolky a vložky) a S235J2 (profil). Jako u předchozích byla použita kombinace čtyřstěnné (obecnější tvary – konzola se svarem a první část profilu s dírou) a šestistěnné tažené sítě (prizmatické tvary – vložka, konzolka a profil ve střední části). Na spodní ploše vložky je funkcí *Surface-to-surface Gluing* „přilepena“ podložka z materiálu PA6. K té je připevněna trapézová matice. Zde jsou místo ní RBE2 elementy odebrány stupně volnosti (je ponecháno pouze natočení ve směru natočení ohybem). Zatížení je na ploše dosednutí pístitnice silou $F_{02,07}$.

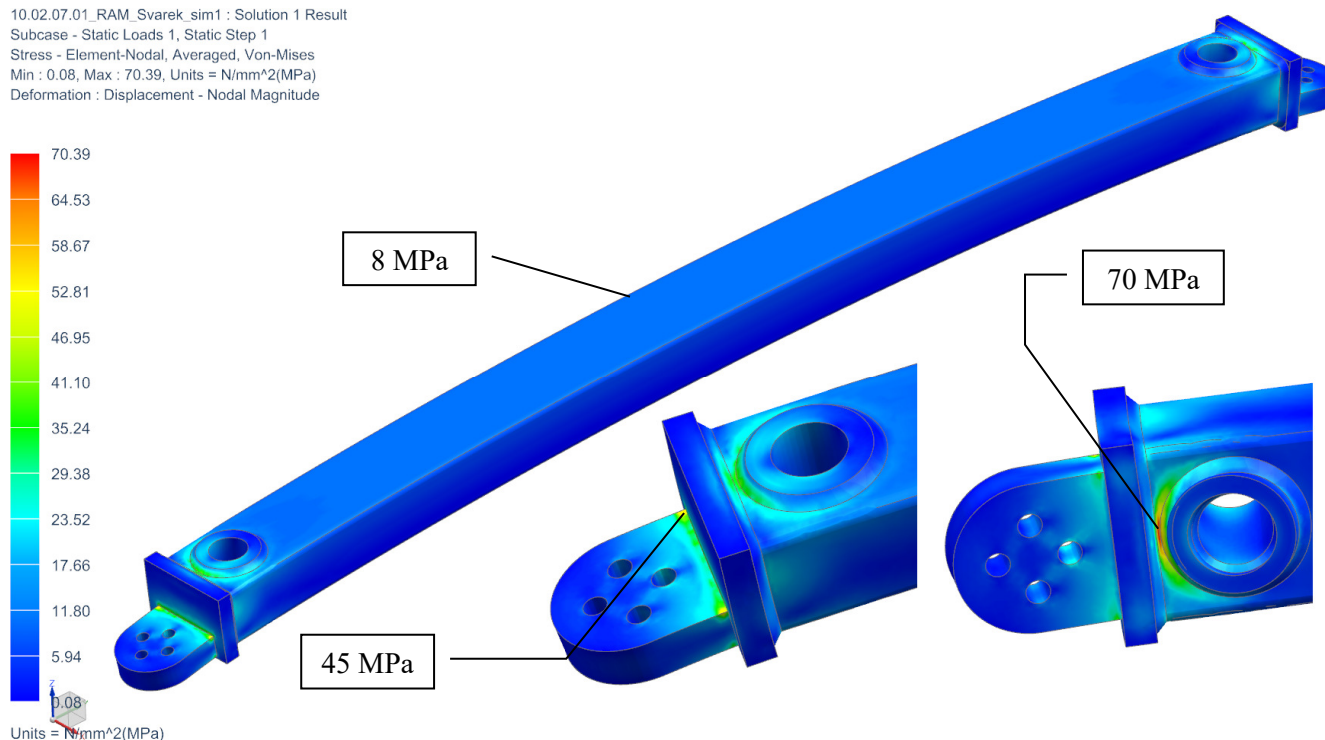
Tabulka 7: Hmotnosti působící na zdvižnou převodovku

součást	hmotnost	
Panel (max.)	$m_{p \max}$	1 000 kg
Rám panelu (odhad)	$m_{\text{rám p.}}$	350 kg
Sloupy	m_{sloupy}	44 kg
Celková	$m_{02.07.}$	1 394 kg

V tabulce 7 je vidět hmotnost, která spočívá nad zdvihacím rámem. Síla, kterou je třeba zatížit konzolky, se vypočte jako

$$F_{02.07} = m_{02.07.} \cdot g = 1394 \cdot 9,81 \doteq 13\,700\text{N}$$

10.02.07.01_RAM_Svarek_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Min : 0.08, Max : 70.39, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 31: Zdvihací rám – napětí Von Mises, pohled na konzolu shora – uprostřed, zespoda - vpravo

Na obrázku 31 je vidět napětí na součásti. Největší napětí je v místě svarů (45 MPa) a na špičce mezi vložkou a přírubou (70MPa). Na celém profilu mezi vložkami je 8 MPa. Toto napětí je poměrně nízké, avšak profily s menším kvadratickým momentem průřezu měly nevyhovující tuhost.

Na obrázku 32 je vidět posunutí celého rámu. Maximální hodnota je 0,185mm. Ta je dostatečně malá. Oproti výpočtovému modelu bude napětí a průhyb ještě menší, neboť pístitnice podrží krajní konzolky, aby se nemohly ohýbat. Přibude tedy ještě okrajová podmínka, že úhel natočení v místě konzolky $\varphi \approx 0$.

Aby bylo možné vyhodnotit výsledky, je třeba ještě znát dovolené napětí pro materiál S235. To bylo vypočteno následovně

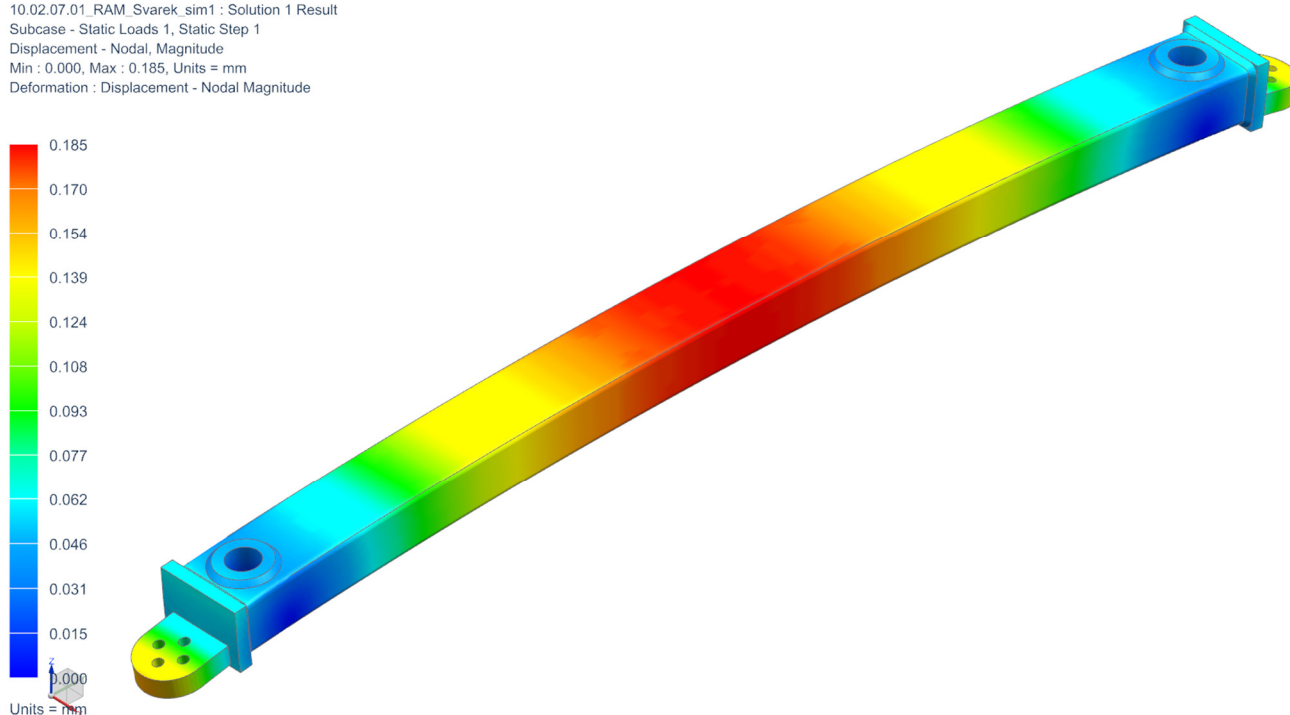
$$\sigma_{D \text{ S235}} = \frac{R_e \text{ S235}}{k} = \frac{235}{2} \doteq 117\text{MPa}$$

Zhodnocení výsledků je pak v tabulce 8. Je vidět, že všechny hodnoty napětí se pohybují pod dovoleným napětím a lze tedy říct, že konstrukce vyhovuje.

Tabulka 8: Zdvihací rám - výsledky simulací

Zdvihací rám		dovolené	
max. napětí v mat. S235	70 MPa		117
max. napětí v mat. 1.4301	45 MPa		105
max. posunutí	0,185 mm		

10.02.07.01_RAM_Svarek_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.185, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



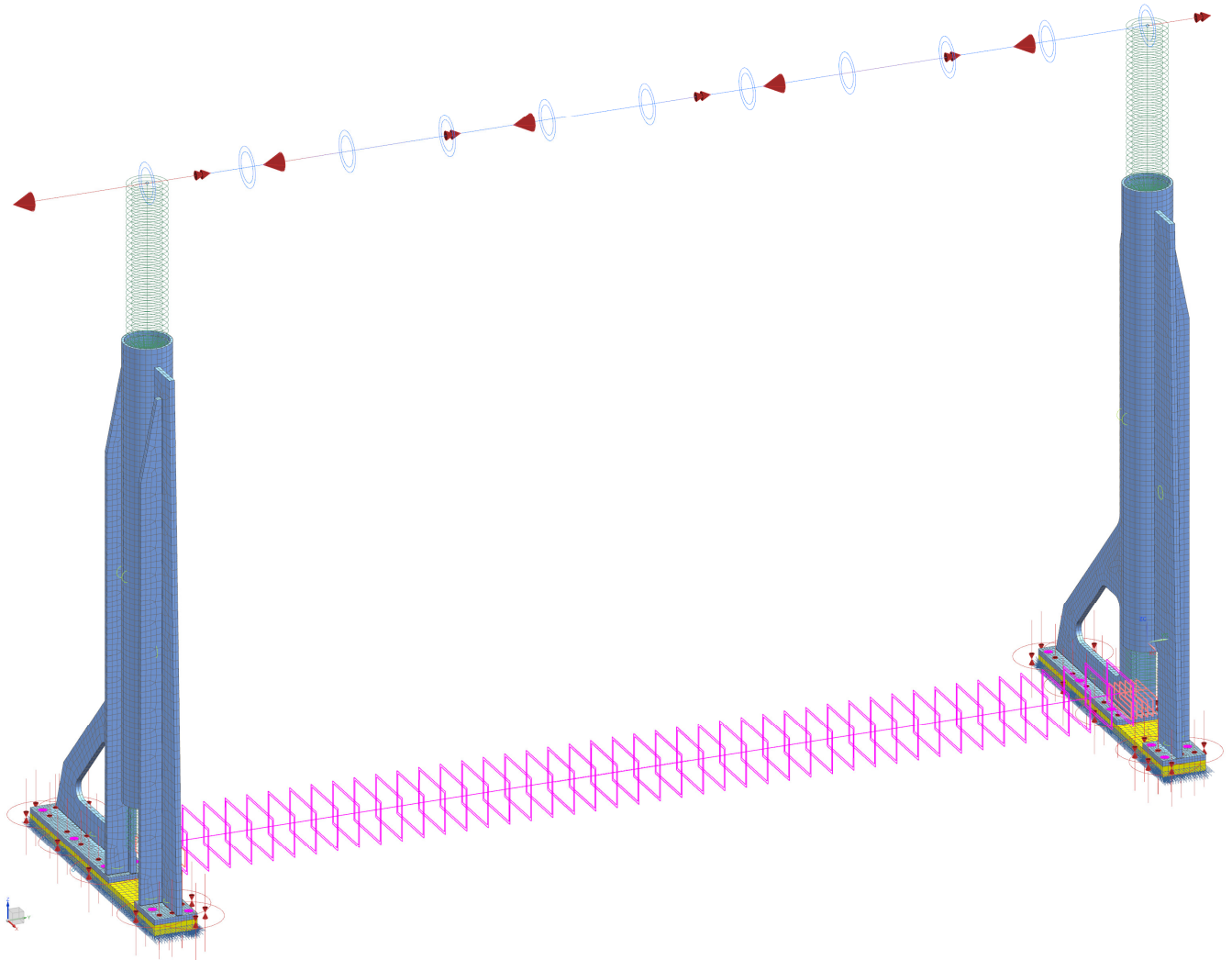
Obrázek 32: Zdvihací rám – posunutí

Výpočet rámu pístnic

Posledním konstrukčním celkem ve zdvihacím mechanismu jsou rámy pístnic (obrázek 24 - modrá barva). Ty vedou pístnice při jejich lineárním pohybu. Jsou namáhány vyosením panelu (zatížení momentem v příčném směru) a boční silou (je třeba počítat s nahodilými silami při obsluze zařízení apod.). Rámy jsou kompletně svařené z materiálu 1.4301. Po svaření se do trubky vyfrézují na horizontálním obráběcím centru otvory pro kluzná pouzdra. Rám je ve spodní části uchycen přes svoje dosedací desky devíti šrouby M10 k nerezové desce, která je přivařena k rámu horního vozíku. Samotné rámy pístnic nejsou tuhé v příčném směru (míněno spojení šrouby s rámem horního vozíku), ale protože se v nich pohybuje pevně sešroubovaná sestava *zdvihací rám + pístnice + nosný rám panelu*, které jsou ještě uchyceny ke zdvižním převodovkám, tak ohybová tuhost v příčném směru není tak nutná.

Na obrázcích 33 a 34 je vidět síť této simulace. Rám pístnic je celý zasíťovaný 3D taženou sítí a jednotlivé komponenty jsou k sobě spojeny funkcí *Mesh mating* (propojí sítě

v uzlových bodech), jen trubka se stojnami je spojena funkcí *Surface-to-surface Gluing* (spojení není v uzlových bodech). Ocelová deska na rámu horního vozíku je také zasít'ována 3D taženou sítí. Spolu se sítí rámu pístnic je spojena devíti šrouby funkcí *Bolt connection* (jako v kapitole 5.1.1). Ty jsou předepruty funkcí *Bolt preload*. Zdvihací rám, pístnice a nosný rám jsou nahrazeny 1D prvky, jelikož na nich nechceme vyhodnocovat napětí a jsou třeba jen jako nahrazení tuhosti. Pístnice jsou s rámem pístnic spojeny v místě kluzných pouzder RBE3 elementy. Celá sestava je zatížena na „ose rámu“ momentem $M_{02.02.y}$ (kapitola 5.1.1) a silou $F_{02.08.y}$.



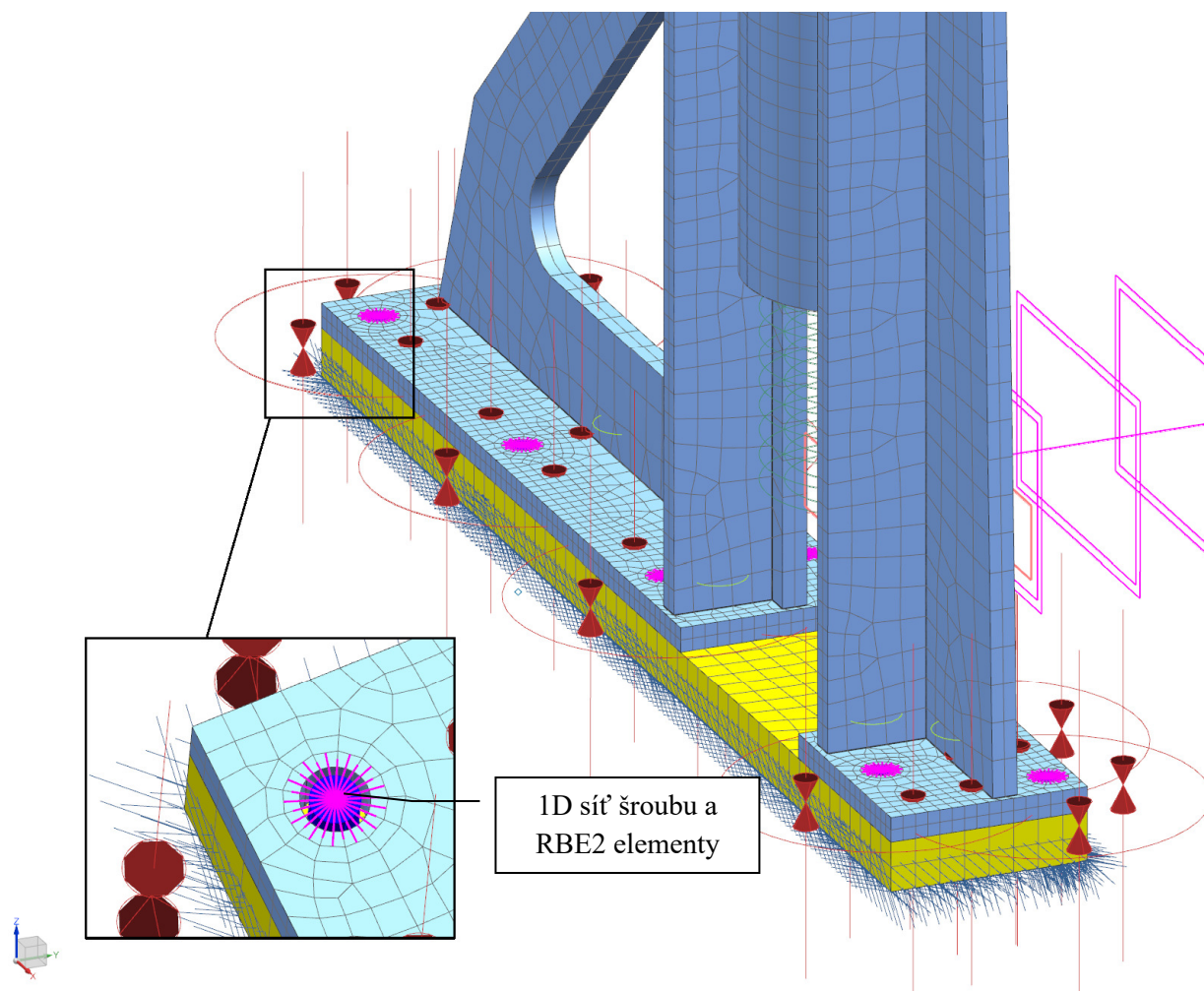
Obrázek 33: Rámy pístnic - sít' a okrajové podmínky 1

Tato síla byla stanovena na základě empirických znalostí pracovníků CVŘ a rovná se

$$F_{02.08.y} = 2000N$$

Stupně volnosti byly odebrány na spodní ploše desek rámu spodního vozíku. Byly odebrány všechny 3 translační stupně volnosti.

Na obrázku 34 lze detailně vidět zasít'ování rámu pístnice a protikusu v podobě nerezové desky. Šrouby jsou vymodelovány pomocí 1D elementů (modrá barva) s vlastnostmi jádra šroubu M10. Uchycení s dosedací plochou pro hlavu a závit je pomocí RBE2 elementů (fialová čáry).



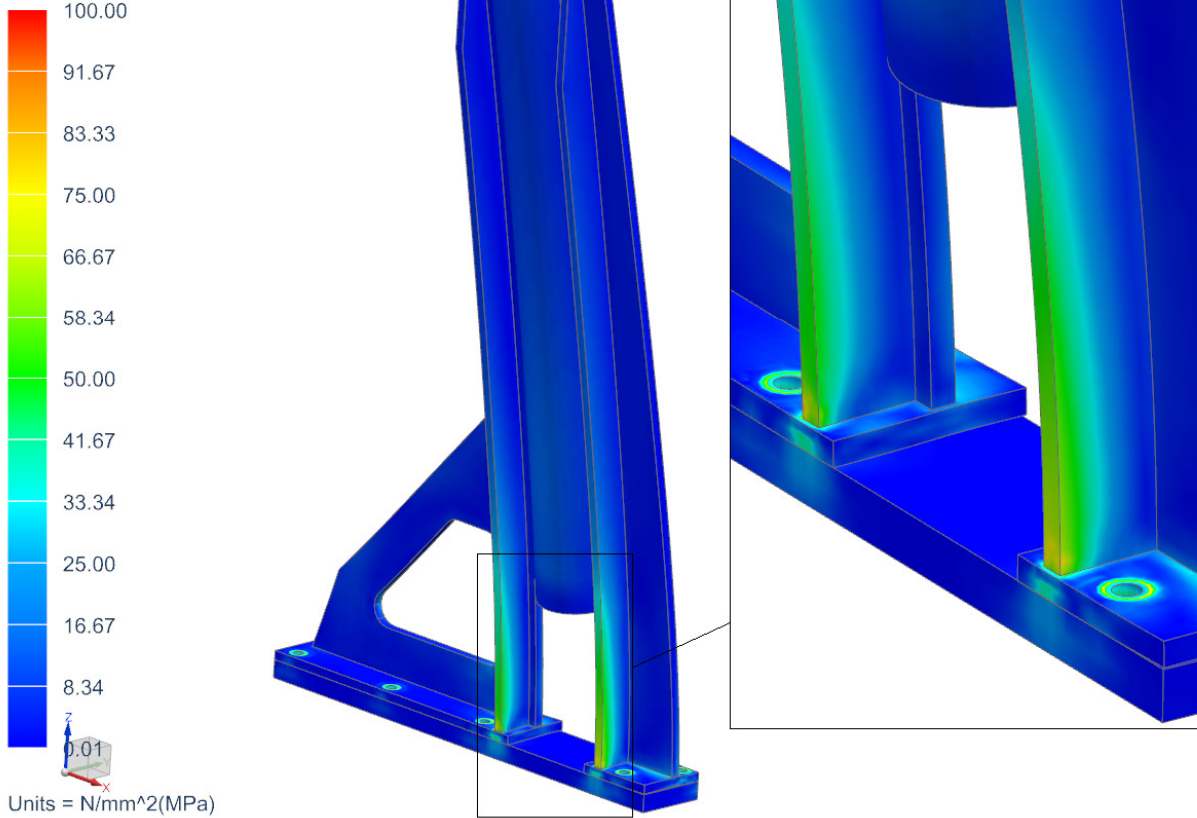
Obrázek 34: Rám pístnic - síť a okrajové podmínky 2

Na obrázku 35 jsou vidět výsledky napětí. Kvůli přibližné souměrnosti výsledků byla ukázána detailněji jen jedna strana. Maximální napětí ve 3D elementech je ve spodní části žebra, a to sice 85MPa. Maximální napětí v 1D elementech, šroubech M10, je 249MPa. Jinak má celá konstrukce vysoký koeficient bezpečnosti. Na obrázku 36 je vidět posunutí celé konstrukce. V maximálním zátěžném stavu, při daných okrajových podmínkách, je maximální posunutí 2mm.

Tabulka 9: Rám pístnic - výsledky simulací

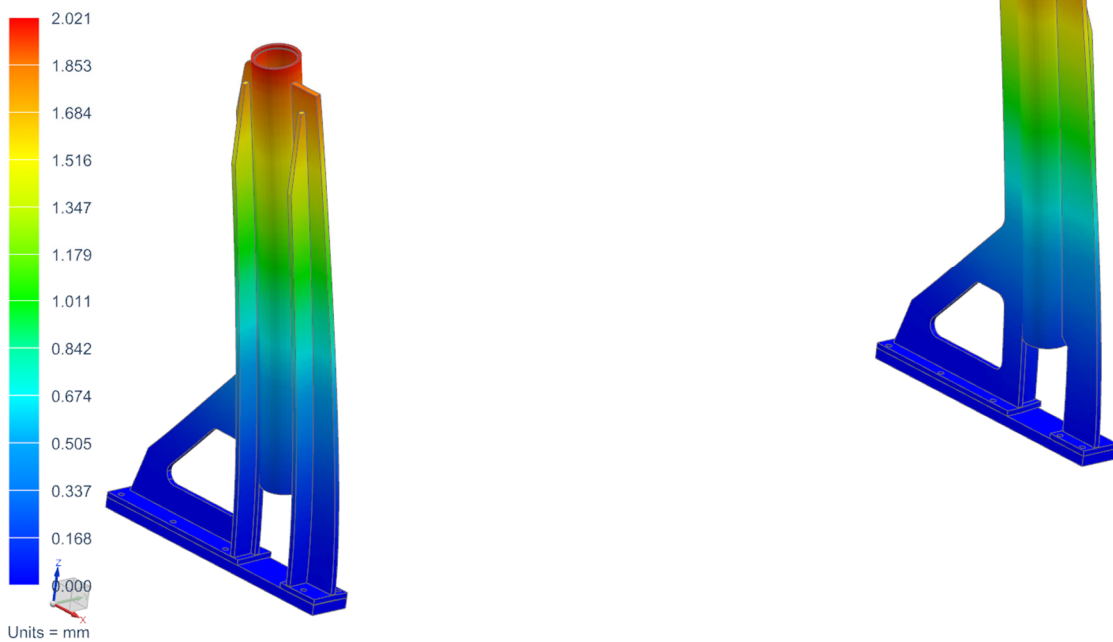
Rám pístnic		dovolené
max napětí v mat. 1.4301	85 Mpa	105
max napětí v mat. A4-80	249 MPa	400
max posunutí	2,02 mm	

10.02.08_RAM_SLOUPU_sim2 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Beam Section : Maximum
Min : 0.01, Max : 249.45, Units = N/mm²(MPa)
Beam Coord sys : Local
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



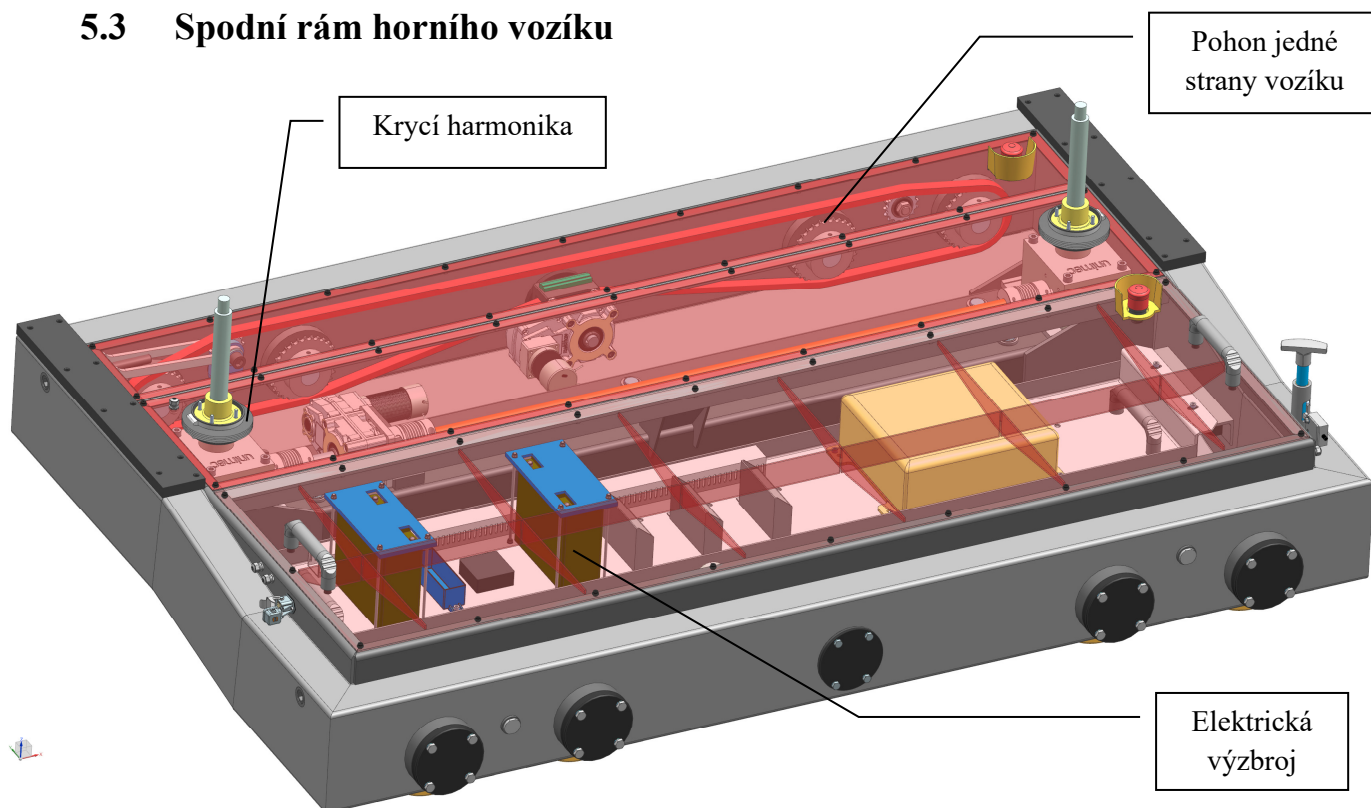
Obrázek 35: Rámy pístnic - napětí Von Mises

10.02.08_RAM_SLOUPU_sim2 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 2.818, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 36: Rámy pístnic – posunutí

5.3 Spodní rám horního vozíku



Obrázek 37: Spodní rám horního vozíku

Na obrázku 37 je vidět spodní rám horního vozíku, na kterém jsou upevněny všechny navazující výše zmíněné komponenty horního vozíku. Vnitřní prostor je vodotěsný. Ze spodní strany je přivařen plech a kabely procházejí skrze průchodky s krytím IP 68. Tři horní krycí plechy z nerezové oceli (obrázek 37 – průhledná červená barva) jsou přišroubovány do lemujícího plechu šrouby M6 a jsou utěsněny nalepovacím těsněním. Jeden ze tří krytů je vyroben z tlustšího plechu a vyžebrován, aby unesl dva pracovníky, kteří budou provádět montážní úkony na zařízení výše. Tento kryt má na obou stranách madla kvůli manipulaci.

Aby byl utěsněn i zdvihací mechanismus, byla i zde použita krycí harmonika jako těsnění, které kompenzuje vysouvání pohybové matice. Uvnitř vozíku se nachází montážní deska s elektronikou, zdvižné převodovky s motorem a převodovkou, a také řetězové pohony pro kola s motorem a převodovkou (na každé straně jeden).

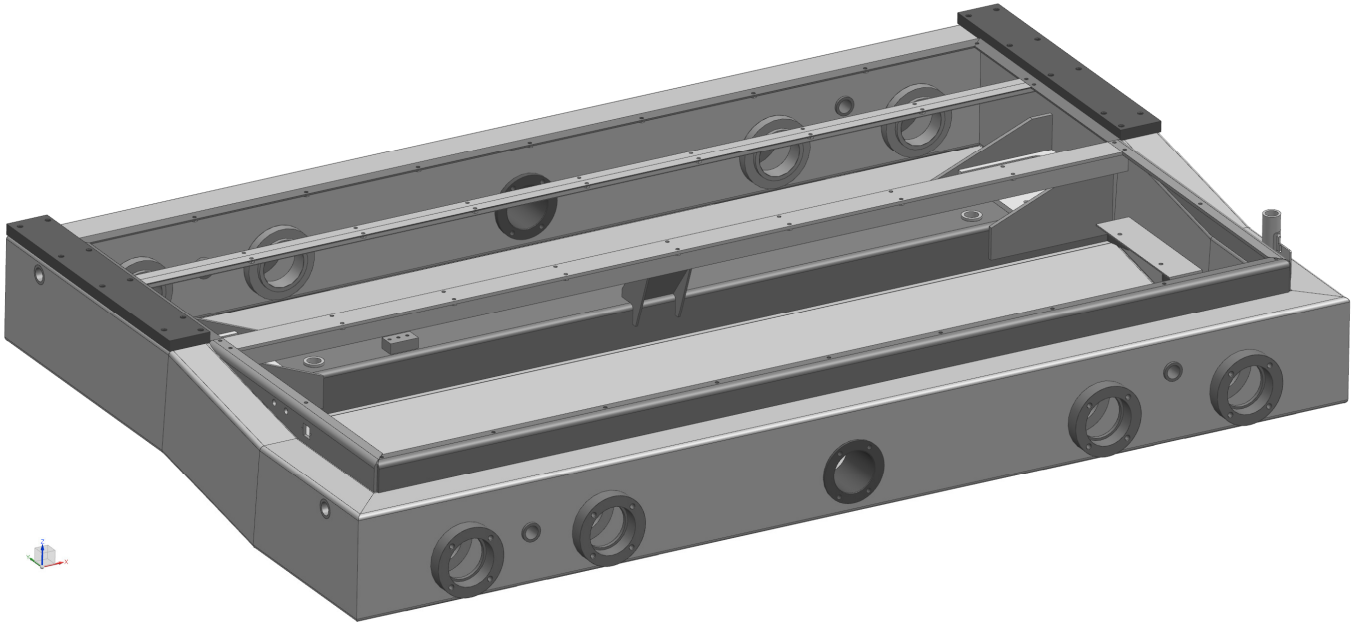
Rám disponuje osmi koly kvůli přejezdu přes spáru mezi spodním vozíkem a plošinou ve víku. Na spodní straně je pak šest vodících rolen.

5.3.1 Svařenec spodního rámu horního vozíku

Obecný popis

Na obrázku 38 je svařenec rámu. Je kombinací součástí z materiálů S235 a 1.4301. Komponenty, které jsou funkční (vložky, domky pro ložiska, ocelová dosedací deska pro rám pístnic, vodící pouzdro pro aretační čep), jsou zhotoveny z materiálu 1.4301, ostatní bez funkčních ploch anebo součásti, které mají funkční plochy jen uvnitř vozíku, jsou z materiálu S235.

Konstrukčně se rám skládá ze čtyř obdélníkových profilů 200x80x4. V těch jsou různé vložky pro ložiska, čepy, atp. Středem rámu vede příčník, na kterém je umístěna zdvižná převodovka a přišroubována příruba pro motor s převodovkou. Kolem vnitřního otvoru je rám lemován L profily a plechy, které slouží jako montážní plocha pro nerezové kryty. Příčně jsou k tomuto účelu uloženy ještě T profily. Jeden je většího rozměru a uprostřed je přivařen pomocí výztuhy k příčníku.

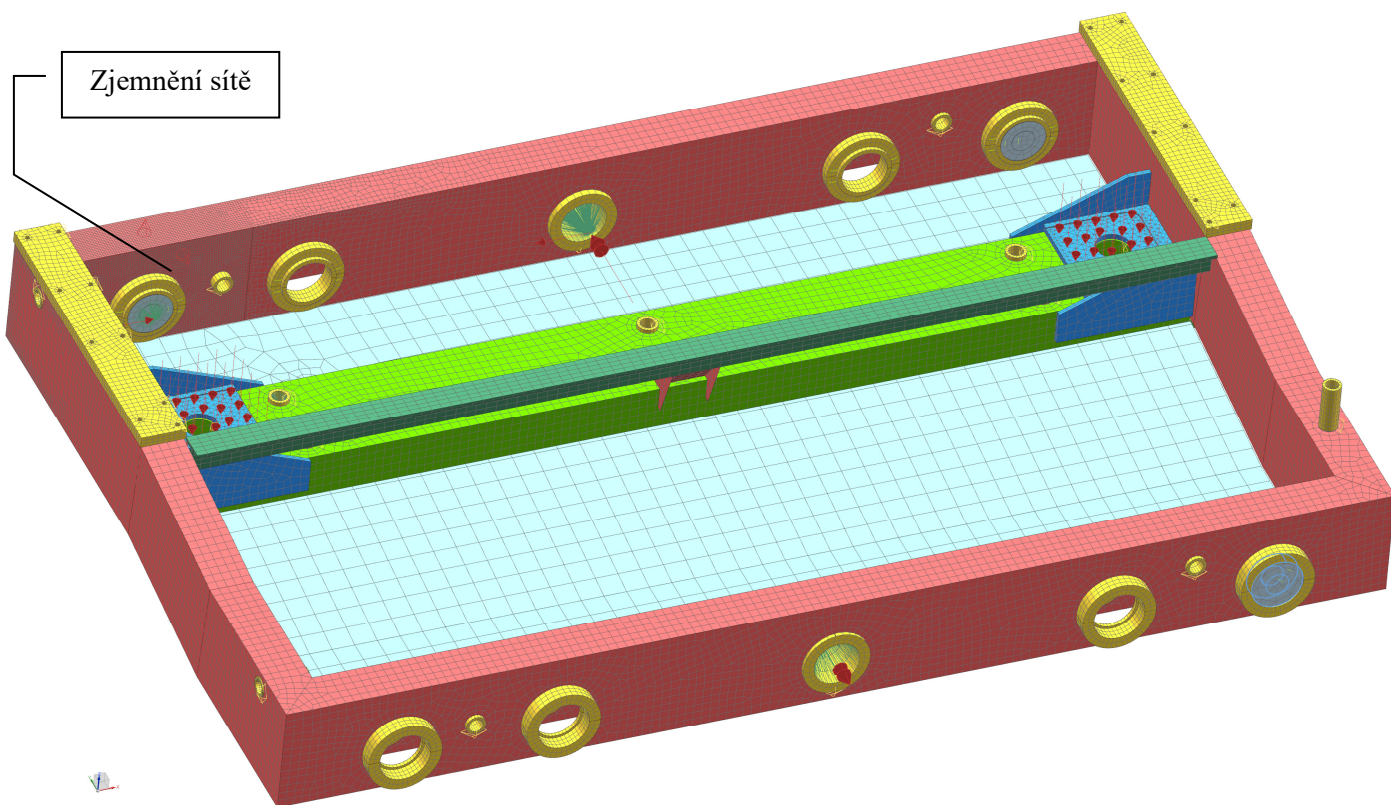


Obrázek 38: Spodní rám horního vozíku – svařenec

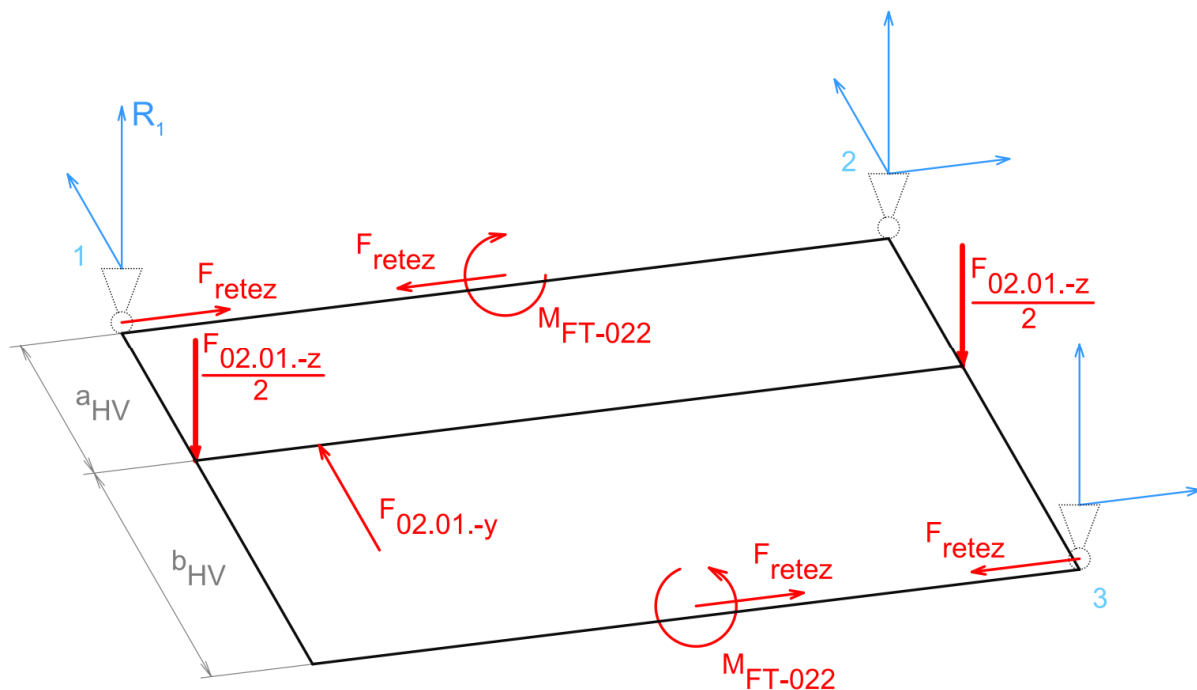
Výpočet spodního rámu horního vozíku

Spodní rám horního vozíku byl podroben výpočtu metodou konečných prvků. Sítí rámu je kombinací 1D, 2D a 3D elementů. Hlavní profily rámu byly zasilťovány 2D sítí (růžová – tl. 4mm, světle zelená – tl. 5mm, světle modrá – tl. – 1,5mm). Nerezové vložky, návarky (žlutá barva) a zbylé komponenty z konstrukční oceli (tmavě zelená a modrá barva) byly zasilťovány 3D taženou a čtyřstěnnou sítí. Jednotlivé 2D a 3D komponenty k sobě byly přidělovány funkcí *Surface-to-surface Gluing a Edge-to-surface Gluing*. Hřídele, ve kterých byly odebrány stupně volnosti, byly ke zbytku rámu připojeny *Surface-to-surface Contact*. V místě, kde je na profilu největší napětí, došlo ke zjemnění sítě (obrázek 39).

Na obrázku 40 je vidět schéma zatížení a odebrání stupňů volnosti rámu. Stupně volnosti byly odebrány ve středu hřídelů tak, aby celá úloha byla staticky určitá. Model pracuje s předpokladem, že vozík má kvůli výrobní nepřesnosti nebo nerovnosti povrchu, po kterém jede, jedno kolo nadlehčené. Dále je vozík od zdvižných převodovek zatížen svislou silou $F_{02.01.-z}$, která působí na příčník rámu. Zde, v místě jednoho ze šesti pouzder pro čep rolny, je aplikována síla $F_{02.01.-y}$. Ta by na vozík působila v případě, že by směr kol a roln nebyl stejný a navzájem by se „hádaly“ při pohybu. Ve středních vložkách v profilech 200x80, kde je umístěn pohon, je aplikován moment M_{FT-022} od převodovky a do krajních vložek je předeprnutí od sil řetězu.



Obrázek 39: Spodní rám horního vozíku - síť a okrajové podmínky



Obrázek 40: Spodní rám horního vozíku - okrajové podmínky

Pro výpočet je nejdříve třeba znát zatížení. M_{FT-022} a F_{retez} jsou známe z kapitoly 5.3.2. $F_{02.01.-z}$ a $F_{02.01.-y}$ je potřeba vypočítat. Pro tento výpočet jsou v tabulkách 10 a 11 vstupy.

Tabulka 10: Spodní rám horního vozíku – hmotnosti pro svislou sílu

Součást	Hmotnost	
Panel (max.)	$m_{p \max}$	1000 kg
Rám panelu (odhad)	$m_{\text{rám p.}}$	350 kg
Sloupy	m_{sloupy}	44 kg
Zdvihací rám	$m_{\text{zdvih. rám}}$	33 kg
Zdvižné převodovky	$m_{\text{zd. prev.}}$	22 kg
Celková	$m_{02.01.}$	1449 kg

Tabulka 11: Spodní rám horního vozíku - údaje pro příčnou sílu

Tření Blickle Besthane®	$f_{\text{blickle ocel}}$	0,3
Hmotnost spodního rámu	m_{SR}	2001 kg

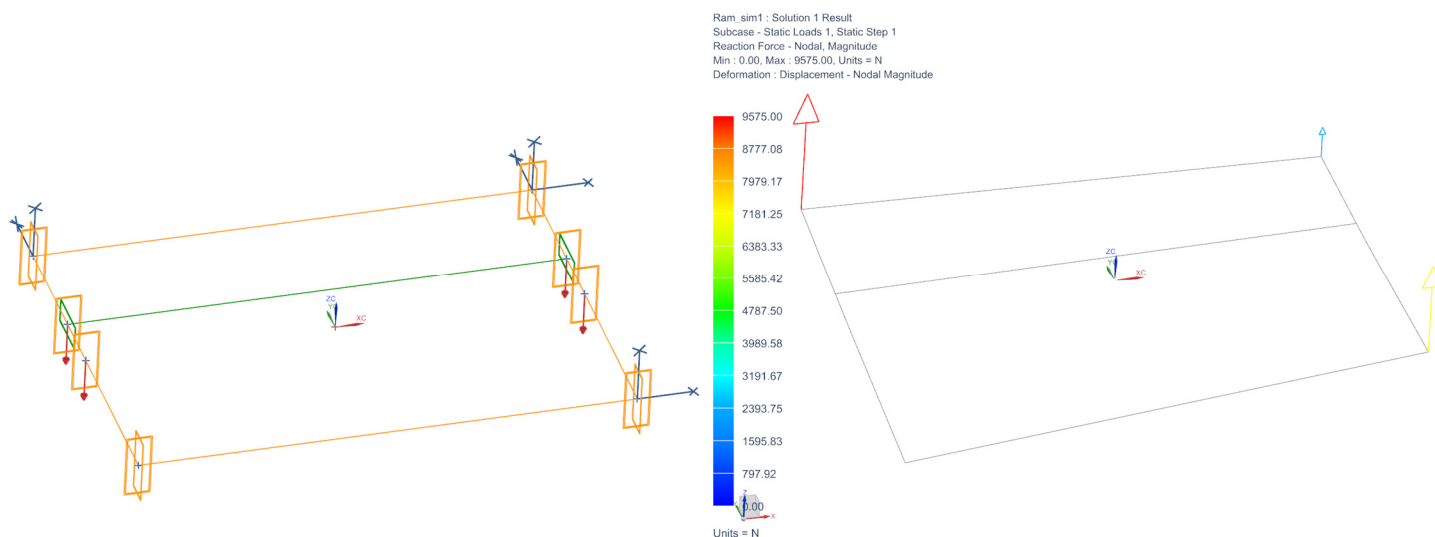
Svislá síla $F_{02.01.-z}$ se vypočte z hmotnosti z tabulky 10 jako

$$F_{02.01.-z} = m_{02.01.} * g = 1\,449 * 9,81 \doteq 14\,220\text{N}$$

Síla od hmotnosti spodního rámu je

$$F_{SR} = m_{SR} * g = 502 * 9,81 \doteq 4\,930\text{N}$$

Síla $F_{02.01.-y}$ se vypočte jako maximální příčná síla, kterou je schopné kolo přenést (obrázek 40, poz. 1). Získáme ji z hmotnosti spodního rámu vozíku a svislé síly na rám. Pomocí jednoduché simulace rámu s 1D elementy byla zjištěna reakční síla na kolech.



Obrázek 41: Spodní rám horního vozíku - reakce na rám

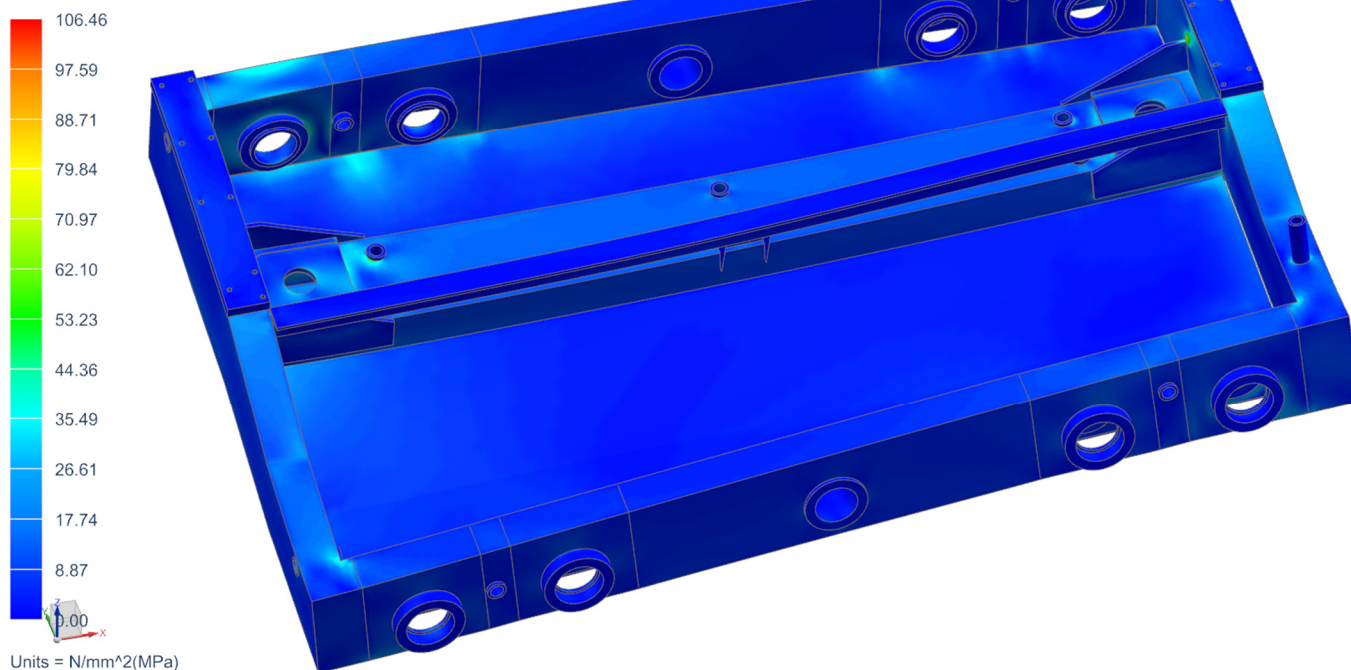
$$R_1 = 9\,575\text{ N}$$

Síla od rolny se tedy vypočte z tření (24) a svislé síly jako

$$F_{02.01.-y} = R_1 * f_{blickle\ ocel} = 9\,575 * 0,3 \doteq 2\,872\text{ N}$$

Všechny tyto zatížení byly vstupem pro výpočet rámu. Na obrázku 42 jsou vidět výsledky napětí. V kritických místech dosahuje 80-90MPa (ve špičce 106MPa). Na většině ploch však nepřesáhne 10MPa. Důvod pro takto nízké napětí je profil 200x80x4, který musí být takto velký kvůli nutnosti zástavbového prostoru pro kolo. Posunutí je na obrázku 43 a jeho maximální hodnota je 1,97mm. Hodnoty výsledků napětí a posunutí jsou vyhovující.

10.02.01.01_SPODNI_RAM_Svarek_sim2 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Shell Section : Top
Min : 0.00, Max : 106.46, Units = N/mm^2(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

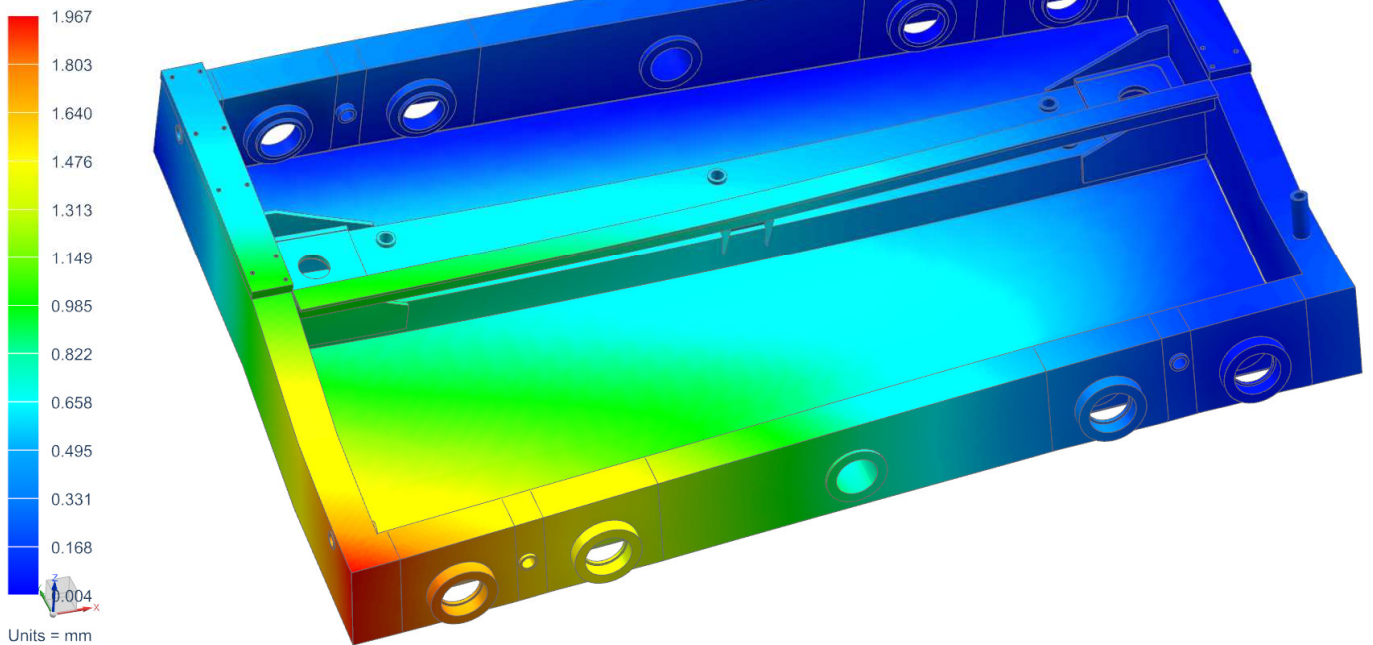


Obrázek 42: Spodní rám horního vozíku - napětí Von Mises

Tabulka 12: Spodní rám horního vozíku - výsledky

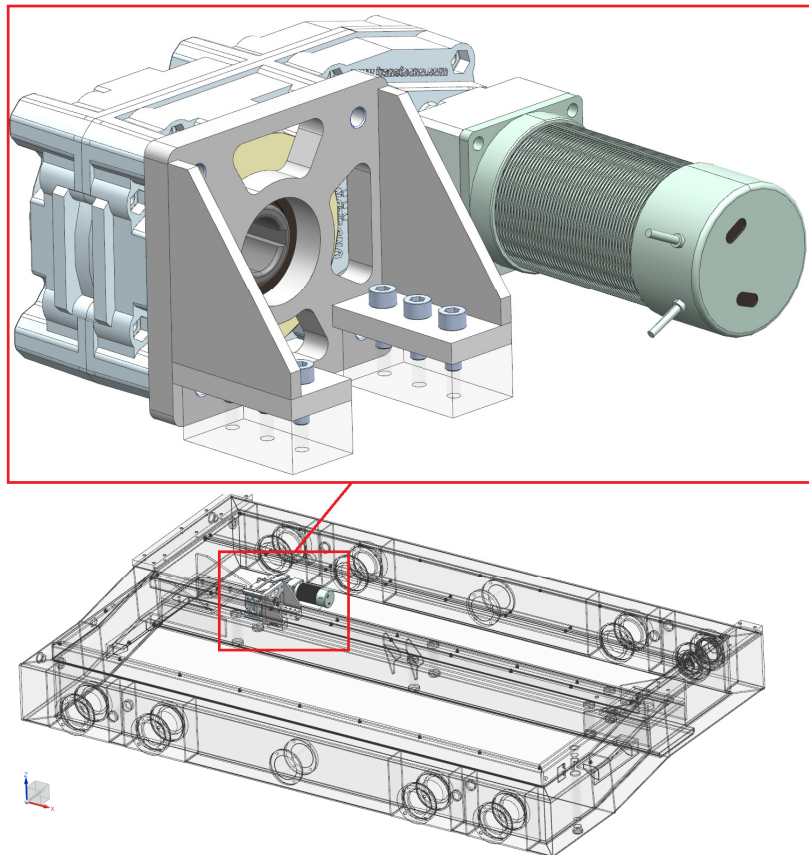
Spodní rám horního vozíku		dovolené
max napětí v mat. 1.4301	60 Mpa	105
max napětí v mat. S235	89 MPa	117
max posunutí	1,97 mm	

10.02.01.01_SPODNI_RAM_Svarek_sim2 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 1.967, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

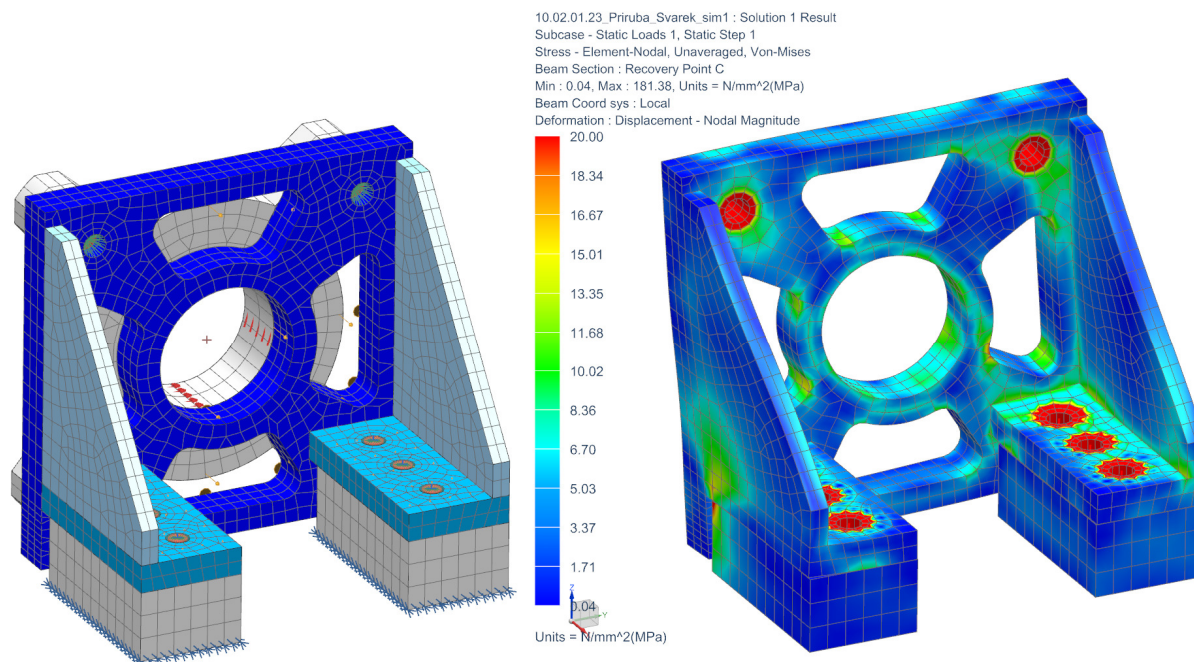


Obrázek 43: Spodní rám horního vozíku - posunutí

Výpočet příruby převodovky



Obrázek 44: Spodní rám horního vozíku – svařenec příruby



Obrázek 45: Spodní rám horního vozíku – svařenec příruby – síť, okrajové podmínky a výsledky napětí

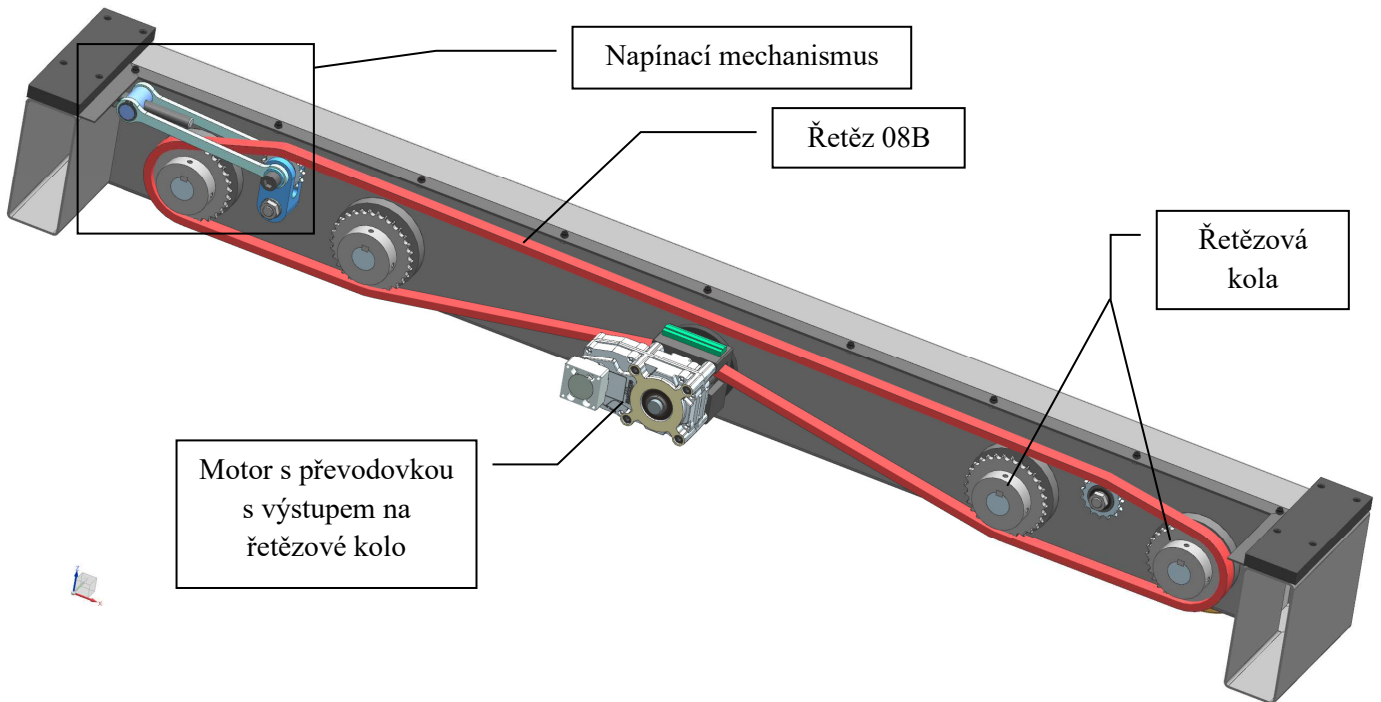
Motor s převodovkou zdvihacího mechanismu je k rámu připevněn pomocí svařené příruby (obrázek 44). Ta je přišroubována pomocí šesti šroubů M6 k dosedací ploše. K převodovce je přišroubována pomocí čtyř šroubů M10. Bylo třeba vypočítat, zda přítláčné síly šroubů budou dostatečné a zda pevnostně vyhovuje. Stavba simulace byla totožná jako v předchozích případech. 3D síť jsou tažené, šrouby jsou zjednodušené pomocí 1D sítí a předepnuty funkcí *Bolt preload*. K přírubě je přišroubován dílec představující převodovku motoru. Ten je zatížen výstupním momentem převodovky FT105. Na obrázku 45 je vidět síť i výsledek napětí. Celý svařenec pevnostně vyhovuje a šrouby také, jelikož nedošlo k odlehnutí ani smyku. V rámci optimalizace hmotnosti by bylo možné zmenšit tloušťku plechu. S ohledem na nutnost mít v plechu závitové díry, byla ale ponechána původní.

5.3.2 Pohon spodního rámu horního vozíku

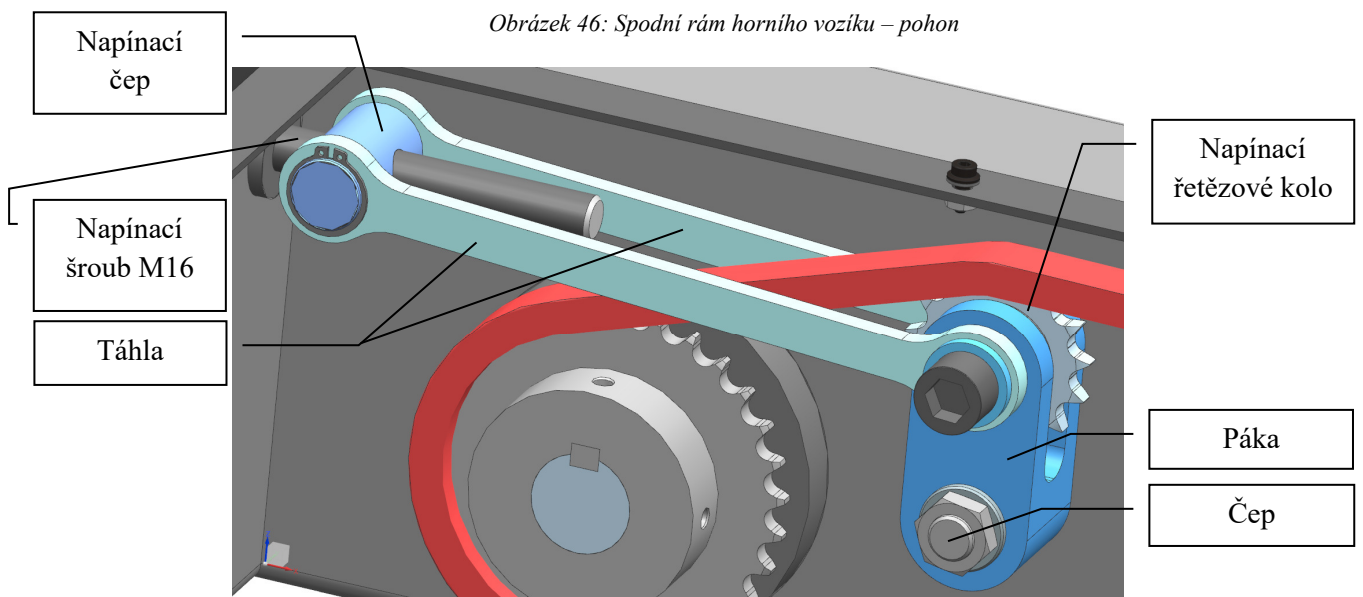
Na obrázku 46 je vidět pohon horního vozíku. Skládá se ze 4 kol, které jsou na hřídeli společně s řetězovým kolem. Ta jsou propojena řetězem 08 B dle DIN 8187. Tento řetěz propojuje kola s hnacím řetězovým kolem připojené k převodovce FT105 s motorem BLS022.240.

Řetěz je napínán mechanismem (obrázek 47), který se skládá z páky, táhel, napínacího řetězového kola a napínacího šroubu. Napínání je možné i z venku vozíku, aniž by bylo nutné odkrývat strojní prostor. Při utahování šroubu se k bočnici rámu přitahuje napínací čep. Přes táhlové ústrojí rotuje páka kolem čepu a tím nadzvedává napínací řetězové kolo směrem vzhůru a napíná řetěz.

V tabulkách 13 a 14 lze vidět vstupy do výpočtu pohonu horního vozíku. Nebyly žádné požadavky na hnací sílu vozíku, pouze na rychlost alespoň 50 mm/s. Proto byl vybrán motor co možná největší a nejsilnější s ohledem na napájecí napětí a zástavbový prostor a max. rychlost.



Obrázek 46: Spodní rám horního vozíku – pohon



Obrázek 47: Spodní rám horního vozíku - napínací mechanismus

Tabulka 13: Údaje motoru s převodovkou

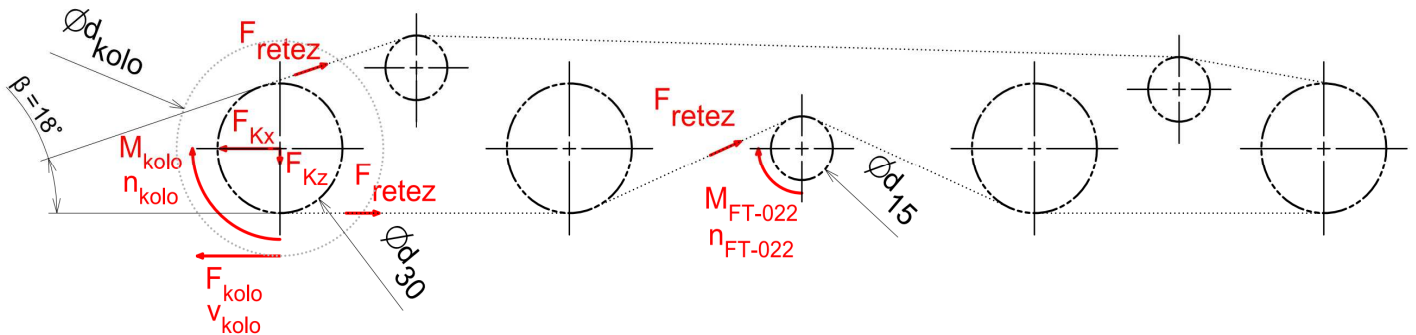
FT 105 + BLS022.240		
Výkon	P_{FT-022}	70 W
Moment	M_{FT-022}	65 Nm
Otáčky	n_{FT-022}	1-10 ot/min
Př. poměr	i_{FT-022}	1:315,1 -

Tabulka 14: Údaje o kolech

kola a řetězová kola		
Průměr ř. kola s 15 zuby	d_{15}	61,08 mm
Průměr ř. kola s 30 zuby	d_{30}	121,5 mm
Průměr jízdního kola	d_{kolo}	200 mm

Postup výpočtu bude probíhat dle schématu z obrázku 48 s vstupy z tabulek výše.

Hnací řetězové kolo s 15 zuby ($\varnothing_{d_{15}}$) je poháněno momentu M_{FT-022} a má otáčky n_{FT-022} . Řetězové kolo ($\varnothing_{d_{30}}$), které pohání normální kolo ($\varnothing_{d_{kolo}}$), má na sobě maximální moment M_{kolo} a otáčky n_{kolo} . Rychlost a síla na povrchu běhounu jsou v_{kolo} a F_{kolo} .



Obrázek 48: Spodní rám horního vozíku - schéma pohonu

V prvním kroku se vypočte síla v řetězu jako

$$F_{retez} = \frac{M_{FT-022} * 2}{d_{15}} = \frac{65 * 2}{0,06108} \doteq 2\,128\text{N}$$

Tato síla bude pohánět řetězovým kolem s 30 zuby. Moment na něm resp. na kole bude

$$M_{kolo} = \frac{F_{retez} * d_{30}}{2} = \frac{2\,128 * 0,1215}{2} \doteq 129\text{Nm}$$

Síla na běhounu kola se vypočte z průměru a moment jako

$$F_{kolo} = \frac{M_{kolo} * 2}{d_{kolo}} = \frac{129 * 2}{0,2} = 1\,290\text{N}$$

Na obou stranách rámu je jeden motor. Celková tažná síla vozíku je suma těchto sil

$$F_{tažná} = F_{kolo} * 2 = 1290 * 2 = 2\,580\text{N}$$

Dále je třeba ověřit, zda je splněna požadovaná rychlost z otáček a průměru.

$$n_{kolo} = \frac{n_{FT-022} * d_{15}}{d_{30}} = \frac{10 * 0,06108}{0,1215} \doteq 5,03 \frac{ot}{min}$$

$$v_{kolo} = n_{kolo} * \pi * d_{kolo} = 5,03 * \pi * 0,2 \doteq 3,16 \frac{m}{min} \doteq 53 \frac{mm}{s}$$

Při požadavku 50mm/s tento pohon vyhovuje. V dalším kroku je nutné vypočítat reakční sílu na nejméně zatížené nápravě od řetězového pohonu. Výstup z tohoto výpočtu byl v další kapitole vstupem pro výpočet hřídele.

$$F_{Kx} = F_{řetěz} + F_{řetěz} * \cos(\beta) = 2\,128 + 2\,128 * \cos(18) \doteq 4152N$$

$$F_{Kz} = F_{řetěz} * \sin(\beta) = 2\,128 * \sin(18) \doteq 658N$$

Po výpočtu všech sil bylo zkontrolováno, zda řetěz vyhovuje. U běžných strojních zařízení by byl kontrolován i z hlediska životnosti dle normy ČSN 01 4809. Ale tento manipulátor poběží jen velmi zřídka a nájezd tohoto konkrétního pohonu může být v jednotkách hodin za rok. Proto byl řetěz kontrolován jen z hlediska statické únosnosti. Na obrázku 49 jsou vidět základní údaje o řetězu, včetně jeho statické únosnosti (síla k přetržení) $C_{řetěz}$. Ta byla porovnána se silou v řetězu, aby byla zjištěna bezpečnost.

ISO	Označení	p	b ₁	b ₂	d ₁	d ₂	a ₁	a ₂	g	Plocha	Síla k	Hmotnost
	pxb ₁ v palcích/mm	mm	min. mm	max. mm	max. mm	mm	max. mm	max. mm	max. mm	článku cm ²	přetržení kN	kg/m
08 B - 1	○ 1/2"x5/16"	12,70	7,75	11,30	8,51	4,45	17,00	20,90	11,80	0,50	18	0,70

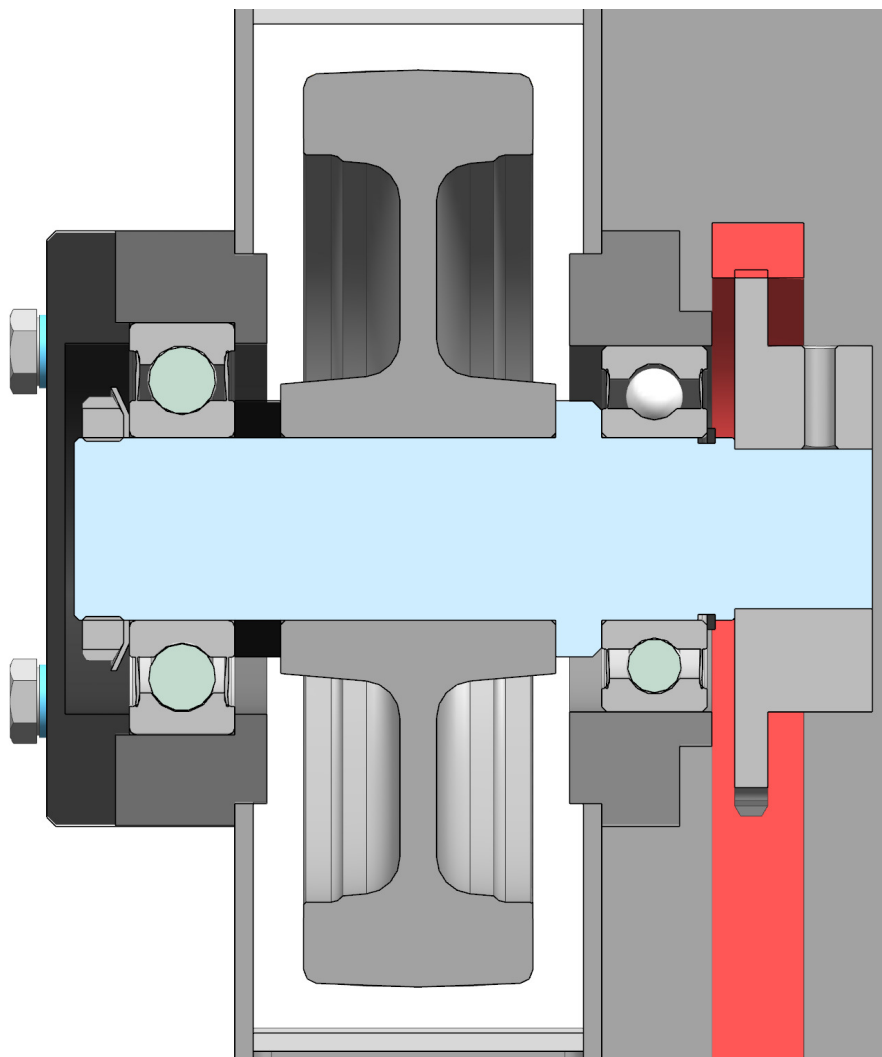
Obrázek 49: Spodní rám horního vozíku – řetěz (25)

$$s_{řetěz} = \frac{C_{řetěz}}{F_{řetěz}} = \frac{18\,000}{2\,128} \doteq 8,49$$

Bezpečnosti řetězu je 8,49 a je zcela vyhovující.

5.3.3 Uložení kol horního vozíku

Na obrázku 50 je řez uložením kola horního vozíku. Kolo Blickle GBN 200/40H7, jehož běhoun je z materiálu Blickle Besthane® (polyuretan) s nízkým valivým odporem, je uloženo na hřídeli. Točivý moment je přenášen pomocí pera. Hřídel je uložena ve dvou ložiscích SKF. Na levé straně je větší ložisko 6308-2RS1, které zachycuje jak radiální, tak axiální síly působící na hřídel. Na jedné straně je opřené o distanční podložku a na straně druhé stažené hřídelovou maticí. V rámu vozíku je usazené ve vložce a axiálně chycené přišroubovaným víčkem. Na pravé straně je ložisko 62208-2RS1 zachycující jen radiální reakci hřídele. Axiální pozice je na hřídeli vymezena osazením a pojistným kroužkem. V rámu je axiálně posuvně uložené ve vložce. Na konci hřídele je řetězové kolo. Točivý moment je také přenášen perem. Axiálně je kolo chycené stavěcím šroubem.

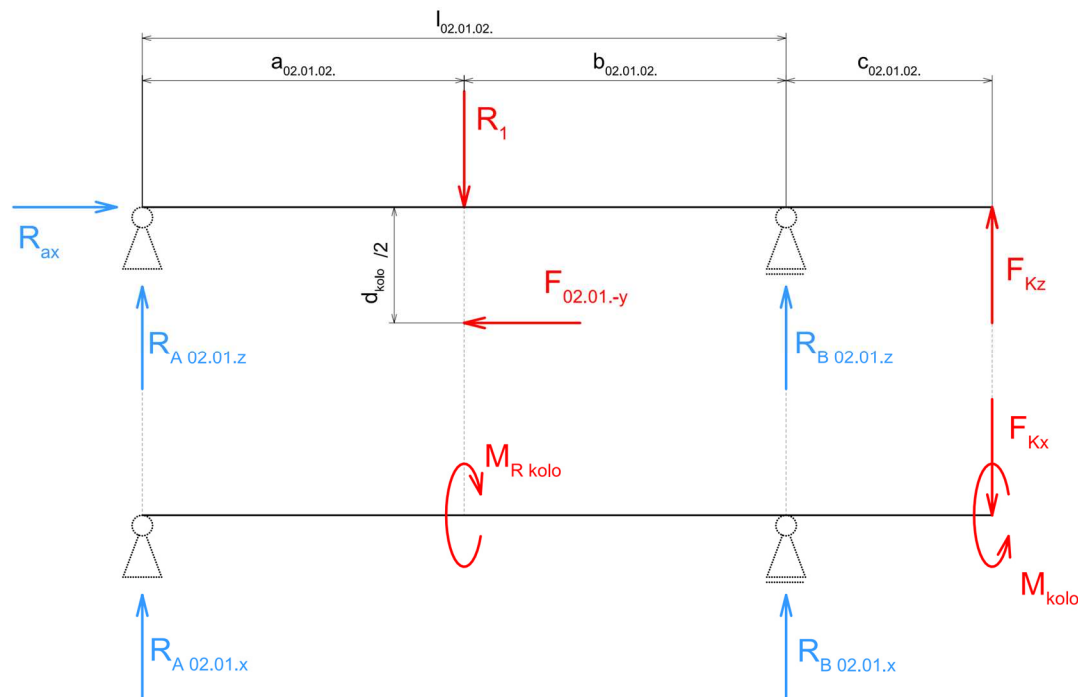


Obrázek 50: Spodní rám horního vozíku - uložení kola

Na obrázku 51 je schéma zatížení hřídele v horizontální (směr x) a vertikální rovině (směr z). R_1 je výjimečná síla z kapitoly 5.3.1, která by vznikla, pokud by manipulátor jel po 3 kolech vinou nerovnosti nebo nepřesnosti výroby. F_{Kz} a F_{Kx} (5.3.2) jsou síly přenášené na řetězové kolo při maximálním momentu motoru. Od řetězového kola ke kolu Blickle je

v hřídeli také namáhání krouticím momentem M_{kolo} , proti kterému působí reakční moment M_R

kolo.



Obrázek 51: Spodní rám horního vozíku – schéma zatížení hřídele

Tabulka 15: Spodní rám horního vozíku - geometrie hřídele

Nejmenší průměr hřídele	$d_{02.01.02.}$	35,1 mm
Vzdálenost mezi podporami	$l_{02.01.02.}$	103 mm
Vzdálenost a od podpory	$a_{02.01.02.}$	51,5 mm
Vzdálenost b od podpory	$b_{02.01.02.}$	51,5 mm
Vzdálenost c od podpory	$c_{02.01.02.}$	21,1 mm

K určení reakcí v obou směrech stačí 2 podmínky rovnováhy pro každý směr. Při vypočtení jedné reakce z momentové podmínky rovnováhy, získáme jejím dosazením do silové p.r. druhou reakci.

$$z: \quad R_{A \ 02.01.z} - R_1 + R_{B \ 02.01.z} + F_{Kz} = 0$$

$$R_{A \ 02.01.z} * (l_{02.01.02.}) - R_1 * (b_{02.01.02.}) - F_{Kz} * (c_{02.01.02.}) + F_{02.01.-y} * \frac{d_{kolo}}{2} = 0$$

$$x: \quad R_{A \ 02.01.x} + R_{B \ 02.01.x} - F_{Kx} = 0$$

$$R_{A \ 02.01.z} * (l_{02.01.02.}) + F_{Kx} * (c_{02.01.02.}) = 0$$

$$Ax. \text{ směr: } R_{ax} - F_{02.01.-y} = 0$$

$$M: \quad M_{R \ kolo} - M_{kolo} = 0$$

Po vyčíslení vzorce získáme hodnoty reakcí v podporách.

$$R_{A\ 02.01.z} = 2\ 134\ N$$

$$R_{B\ 02.01.z} = 6\ 783\ N$$

$$R_{A\ 02.01.x} = -851\ N$$

$$R_{B\ 02.01.x} = 5\ 003\ N$$

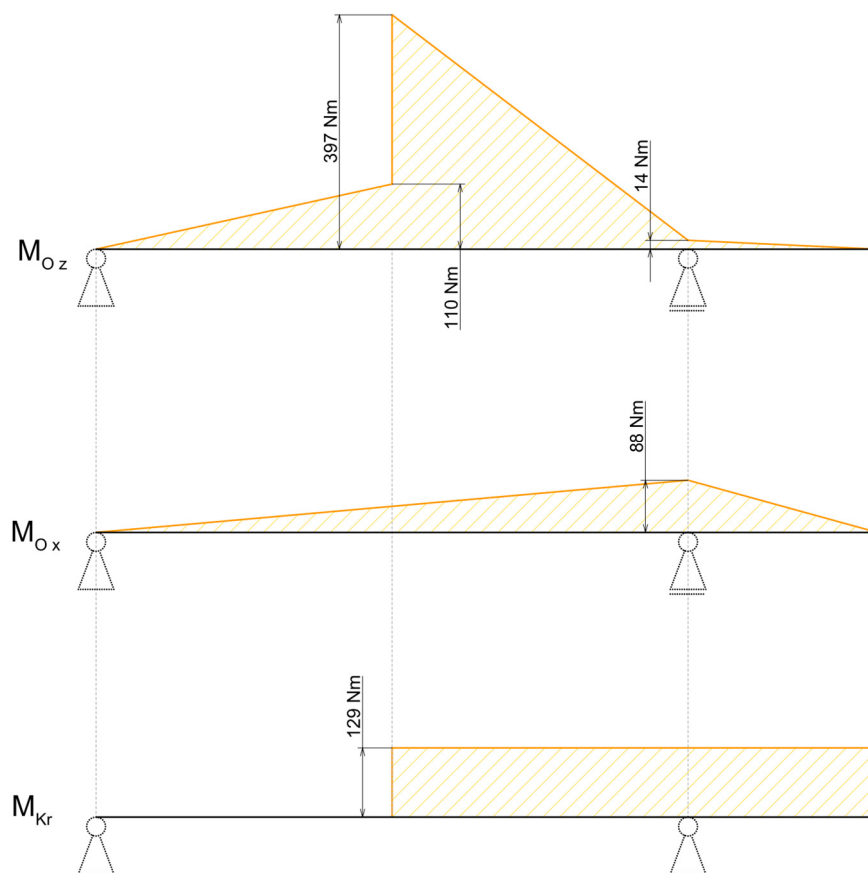
$$R_{ax} = 2\ 872\ N$$

Celkové reakce v podpoře A a B získáme jako odmocninu ze součtu kvadrátů sil.

$$R_{A\ 02.01.} = \sqrt{R_{A\ 02.01.z}^2 + R_{A\ 02.01.x}^2} = \sqrt{2134^2 + (-851)^2} \doteq 2\ 297\ N$$

$$R_{B\ 02.01.} = \sqrt{R_{B\ 02.01.z}^2 + R_{B\ 02.01.x}^2} = \sqrt{6783^2 + 5003^2} \doteq 8\ 428\ N$$

Při funkčním vyjádření ve směru osy hřídele bychom dostali průběhy ohybových a kroutících momentů v ní, v závislosti na osové pozici. Tyto průběhy jsou vidět na obrázku 52. První dva grafy ukazují průběhy ohybových momentů v rovinách os z a x, třetí pak průběh kroutícího momentu.

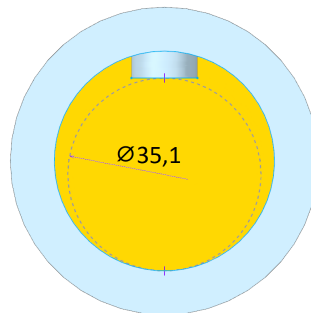


Obrázek 52: Spodní rám horního vozíku - průběh momentu na hřídeli

Největší celkový ohybový moment je uprostřed mezi podpěrami a vypočte se jako

$$M_{o \max 02.01.02} = \sqrt{M_{o z \max 02.01.02}^2 + M_{o x \max 02.01.02}^2} = \sqrt{397^2 + 44^2} \doteq 399 \text{ Nm}$$

kde $M_{o z \max}$ a $M_{o x \max}$ jsou ohybové momenty v místě maximálního celkového ohybového momentu. Hřídel má nominální průměr 40mm, ale v místě maximálního momentu je kvůli drážce pro pero nosný průměr jen 35,1mm.



Obrázek 53: Spodní rám horního vozíku - řez hřídelem

Průřezové moduly v ohybu a v krutu se pak vypočtou jako

$$W_{o 02.01.02} = \frac{\pi * d_{02.01.02}^3}{32} = \frac{\pi * 35,1^3}{32} \doteq 4245 \text{ mm}^3$$
$$W_{k 02.01.02} = \frac{\pi * d_{02.01.02}^3}{16} = \frac{\pi * 35,1^3}{16} \doteq 8490 \text{ mm}^3$$

Ohybové a smykové napětí od krutu se vypočte jako

$$\sigma_{o 02.01.02} = \frac{M_{o \max 02.01.02} * 1000}{W_{o 02.01.02}} = \frac{399 * 1000}{4245} \doteq 94 \text{ MPa}$$
$$\tau_{k 02.01.02} = \frac{M_{k 02.01.02} * 1000}{W_{k 02.01.02}} = \frac{129 * 1000}{8490} \doteq 15 \text{ MPa}$$

Redukované napětí hypotézou Von Mises poté je

$$\sigma_r 02.01.02 = \sqrt{\sigma_{o 02.01.02}^2 + 3 * \tau_{k 02.01.02}^2} = \sqrt{94^2 + 3 * 15^2} = 98 \text{ MPa} < \sigma_D 1.4301$$

Hřídel vyhovuje.

V posledním kroku této kapitoly je třeba ověřit, zda ložiska vydrží dané zatížení. Ložisko 6308-2RS1 (ve výpočtu podpora A) přenáší jak radiální sílu R_A 02.01., tak axiální R_{ax} (resp. $F_{02.01.-y} = 2872\text{N}$, kap. 5.3.1). Tyto hodnoty byly vloženy do online kalkulačky SKF. Maximální otáčky za minutu u obou ložisek jsou 5,03, proto bylo porovnáváno se statickou bezpečností (26) a nebyl prováděn výpočet na životnost. Na obrázku 54 je zadání do online nástroje SKF a výsledky statické bezpečnosti.

Forces		Speed	Temperature ①	
Radial	Axial	r/min	Inner ring	Outer ring
kN	kN		°C	°C
2.297	2.872	5.03	23	23
Designation		Equivalent static load P_0	Static safety factor S_0	
6308-2RS1		5.33	7.93	

Obrázek 54: Spodní rám horního vozíku - ložisko 6308-2RS1 (27)

Totéž se provede pro ložisko 62208-2RS1 přenášející pouze radiální sílu R_B 02.01..

Forces		Speed	Temperature ①	
Radial	Axial	r/min	Inner ring	Outer ring
kN	kN		°C	°C
8.428	0	5.03	23	23
Designation		Equivalent static load P_0	Static safety factor S_0	
62208-2RS1		8.43	3.64	

Obrázek 55: Spodní rám horního vozíku - ložisko 62208-2RS1 (27)

Obě ložiska vyhovují z hlediska statické bezpečnosti. V sumarizačních tabulkách 16 a 17 jsou hodnoty obou ložisek.

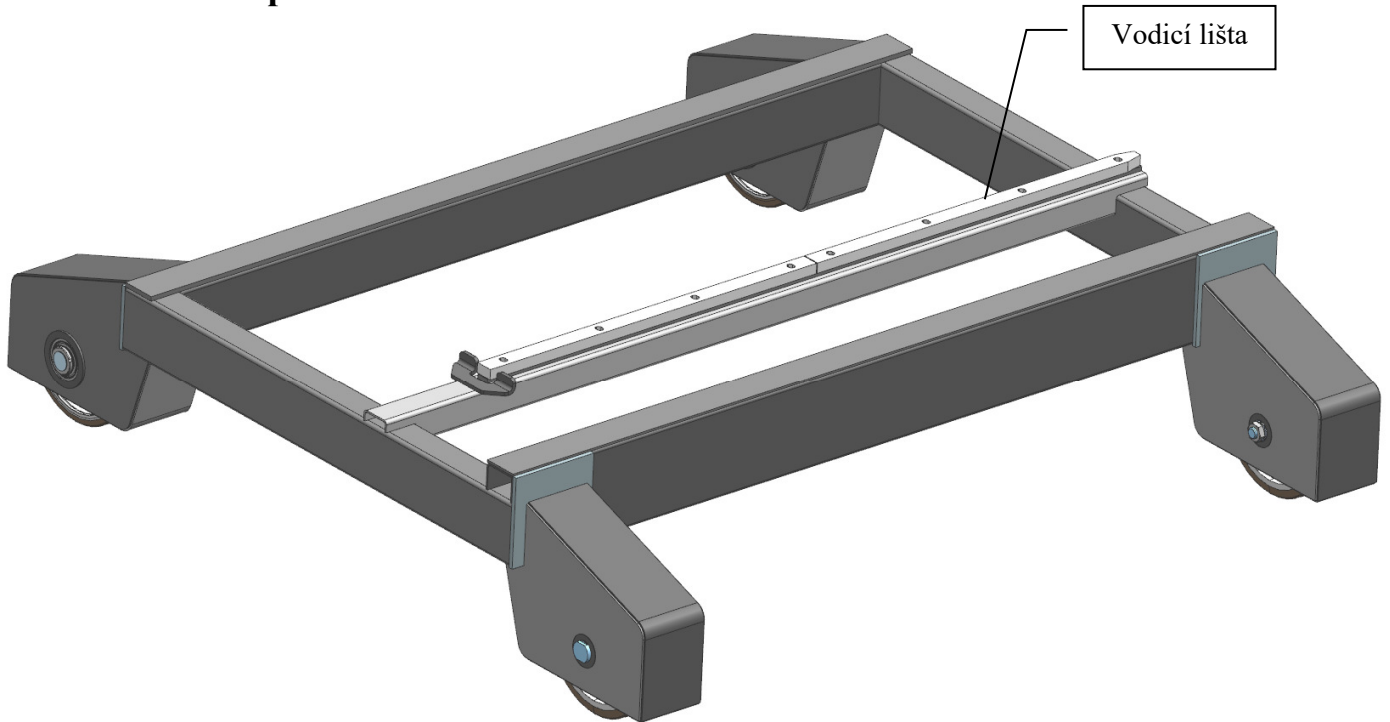
Tabulka 16: Spodní rám horního vozíku - ložisko 6308-2RS1

Ložisko 6308-2RS1	
Radiální zatížení	2 297 N
Axiální zatížení	2 872 N
Ekvivalentní zatížení	5 330 N
Koeficient statické bezpečnosti	7,93 -

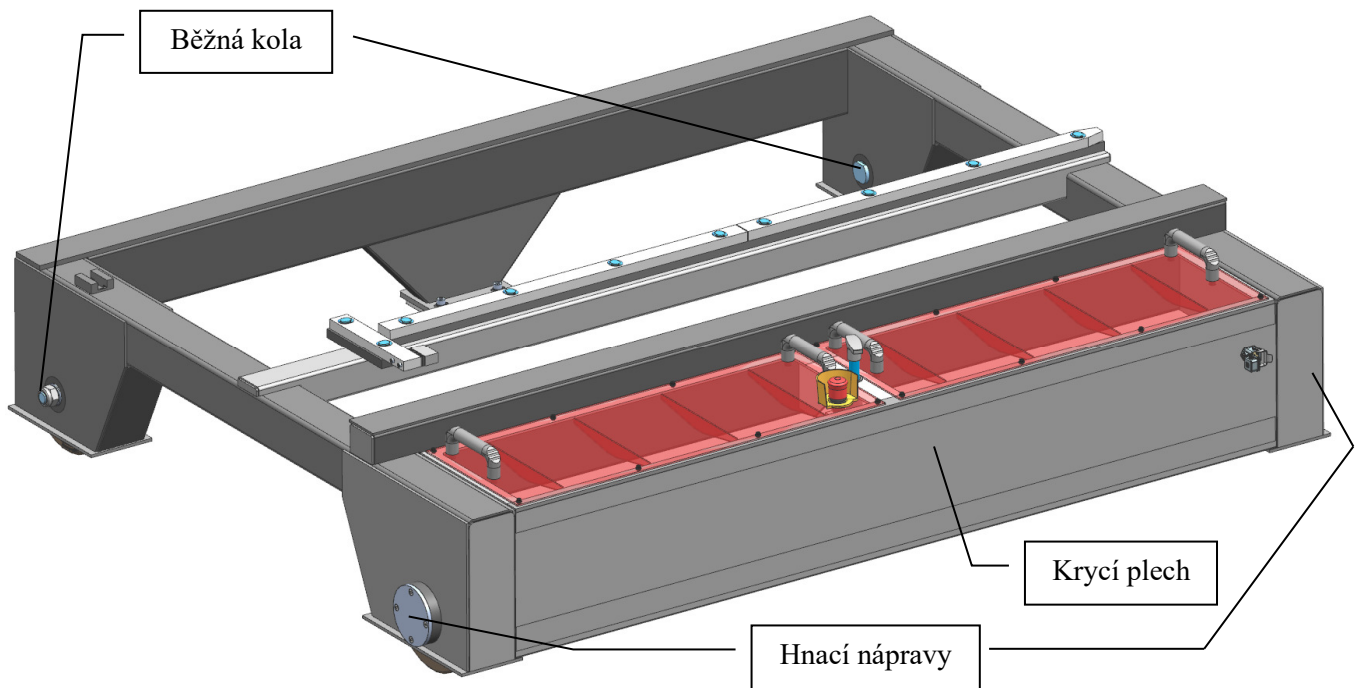
Tabulka 17: Spodní rám horního vozíku - ložisko 62208-2RS1

Ložisko 62208-2RS1	
Radiální zatížení	8 428 N
Axiální zatížení	- N
Ekvivalentní zatížení	8 430 N
Koeficient statické bezpečnosti	3,64 -

5.4 Rám spodního vozíku



Obrázek 56: Rám spodního vozíku - původní návrh



Obrázek 57: Rám spodního vozíku - současný návrh

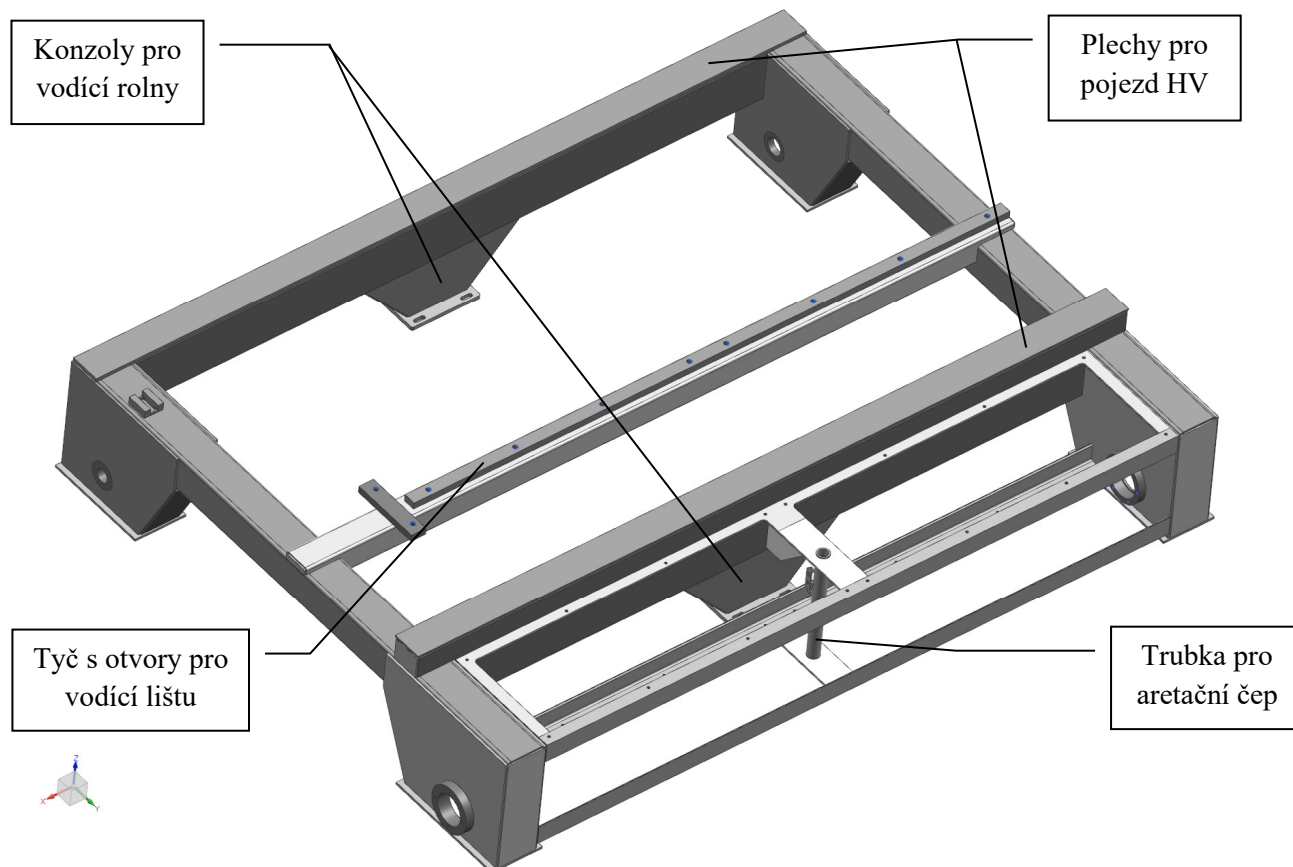
Na obrázku 56 je vidět původní řešení rámu spodního vozíku. Oproti současnému má kola uložena v kapsách, které jsou vetknuté do příčnicku rámu. Původní řešení se při výpočtech ukázalo jako tuhostně a napěťově nevyhovující. Hlavně v místě vetknutí bylo vysoké napětí ve svarech poměrně tenkých plechů. Z tohoto důvodu byly podélníky rámu protaženy až nad kola a bočnice kapes kole byly přivařeny k bokům podélníků, jak je vidět na obrázku 57.

Vozík má 4 kola – 2 hnací a 2 běžná. Stejně jako rám horního vozíku je i v tomto rámu prostor pro elektrickou výzbroj, který je tvořen rámem spodního vozíku, kapsami pro kola a plechem tloušťky 1,5mm. V tomto prostoru jsou zároveň i dva motory s převodovkou, které pohání nápravu.

5.4.1 Svařenec rámu spodního vozíku

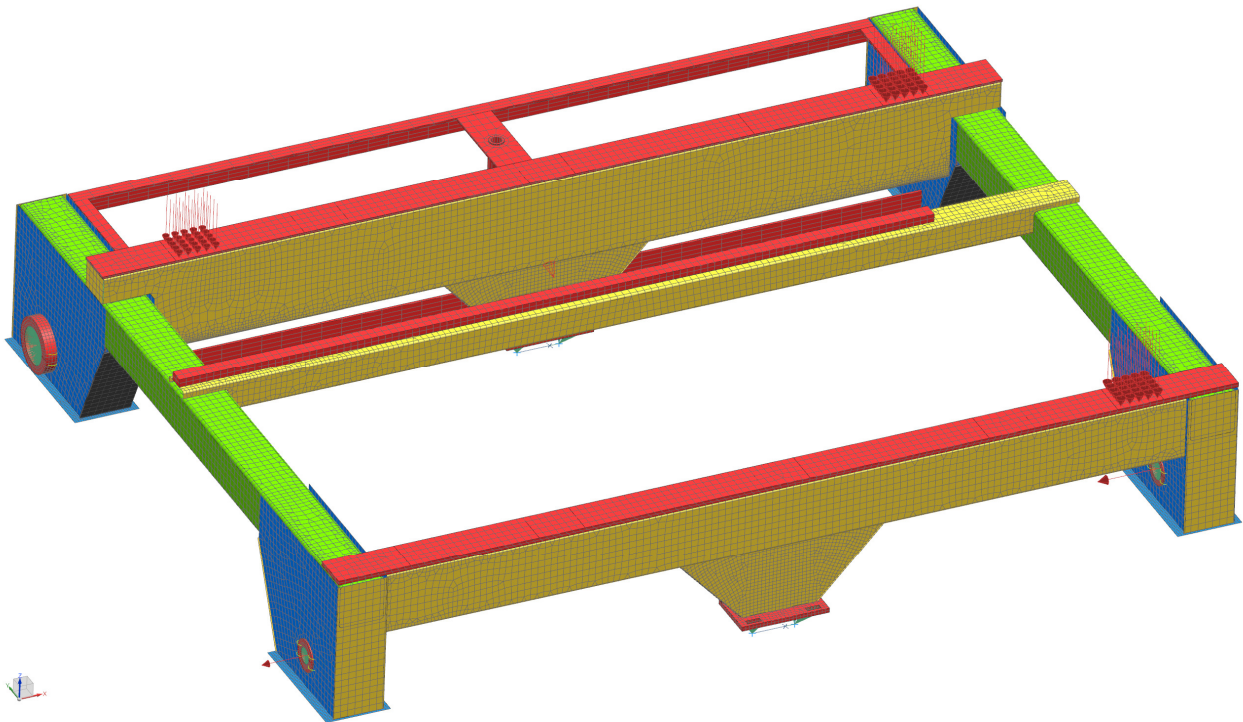
Obecný popis

Rám spodního vozíku se skládá ze dvou hlavních příčníků (140x80x3) a podélníků (200x80x3) z materiálu S235. Podélníky jsou širší a nižší než na předchozí verzi, neboť je třeba zachovat prostor pod podélníkem pro kolo a zároveň musí být dostatečná šířka profilu, aby stěny kapes k němu přivařené vytvořily dostatečně široký prostor pro kolo s uložením. V kapsách jsou nerezové vložky z mat. 1.4301, ve kterých je uložena osa kola (vzadu) a ložisko pro hřídel (vpředu). Celá kapsa je zesílena lemem ze spodní části. Ke dvěma podélníkům je přivařen pomocný příčník (70x70x3), na kterém je přivařena nerezová tažená tyč se závitovými dírami pro vodící lištu. Na obou hlavních příčnicích jsou přivařeny pásy také z nerezů, které poslouží jako plocha pro pojezd horního vozíku. Pod nimi jsou konzoly, k jejichž spodním částem jsou přišroubovány plechy s vodícími rolnami. Ty vedou vozík po vodící liště z boxu 3 k boxu 18. Prostor pro elektrické komponenty je vytvořen z L profilů, na které se následně přivaří krycí plech (obrázek 57, na obrázku 58 chybí kvůli názornosti). Doprostřed L profilů jsou nahoře a dole přivařeny plechy s otvorem, do kterých se následně navaří trubka, ve které budou otvory pro kluzná pouzdra aretačního čepu.



Obrázek 58: Rám spodního vozíku – svařenec

Výpočet rámu spodního vozíku



Obrázek 59: Rám spodního vozíku - síť a okrajové podmínky

Na obrázku 59 je síť rámu spodního vozíku. Je opět kombinací 3D, 2D a 1D prvků. 3D síť (na obrázku reprezentována červenou barvou) je z šestistěnné sítě *CHEXA* (20). Zbylé komponenty jsou zasítovány 2D sítí (žlutá - plechy 3mm, zelená - 4mm a modrá - 6mm). Jednotlivé kusy jsou k sobě přidělovány funkcemi *Surface-to-surface Gluing* a *Edge-to-surface Gluing*. Plochy ložiskových domků jsou připevněny do svého středu pomocí růžice RBE3 elementů. Každé dvě protilehlé růžice jsou spojeny RBE2 elementy a jsou jim odebrány stupně volnosti.

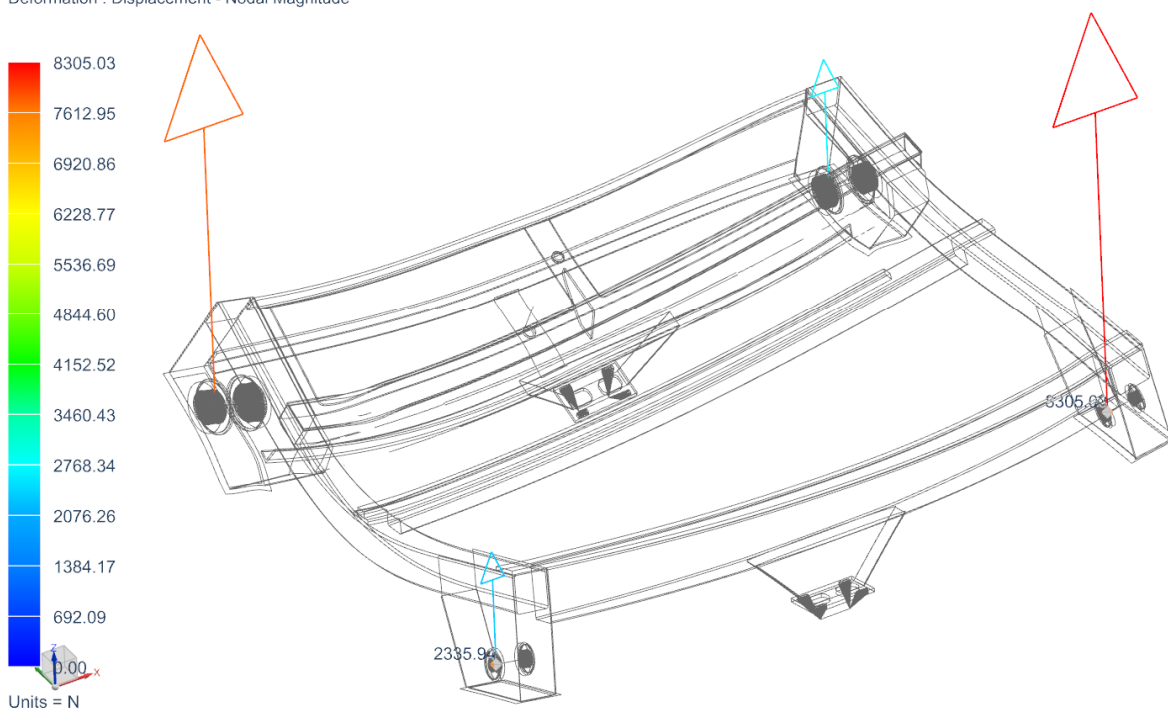
Byly uvažovány dva zátěžné stavy, které jsou na obrázcích 61 a 62. Vstupující síly do prvního stavu jsou přebrány z výsledků reakčních sil simulace horního vozíku (obrázek 41) a gravitace. Tyto síly jsou vidět v tabulce 18. Síly $F_{01.01.-x C}$ a $F_{01.01.-x D}$ jsou příčné síly, způsobené možnými výrobními nepřesnostmi a pokud by osa vodící lišty nebyla kolmá na osy kol. Byly vypočteny iteračně. V prvním kroku se vypočetl rám bez těchto příčných sil a odečetly se reakce $R_{01.01.z C}$ a $R_{01.01.z D}$ (obrázek 60 a 61). V následujícím kroku se z tření kol vůči betonu ($f_{blickle\ beton} = 0,49$) vypočtou síly $F_{01.01.-x C}$ a $F_{01.01.-x D}$.

$$F_{01.01.-x C} = R_{01.01.z C} * f_{blickle\ beton} = 2\,335 * 0,49 \doteq 1\,144\,N$$

$$F_{01.01.-x D} = R_{01.01.z D} * f_{blickle\ beton} = 8\,305 * 0,49 \doteq 4\,069\,N$$

Tyto síly byly doplněny do simulace a v dalším kroku se spočetly oba zátěžné stavy. První stav uvažuje jízdu spodního vozíku, kdy je horním vozíkem zatěžována ve 3 bodech. Současně působí příčné síly vycházející z výše zmíněných důvodů. Druhý stav počítá s tím, že spodní vozík dojel až ke dveřím do boxu 18 a vyjíždí z něj horní vozík, který zatíží příčník spodního přesně uprostřed. Tyto dva stavy byly spočteny pomocí simulace *SOL 101 Linear Statics - Subcase Constraints*, kdy řešič vypočte nejdříve matici tuhosti (většina času této simulace), která je pro obě varianty stejná a poté spočte sekvenčně výsledky s dvěma vektory zatížení.

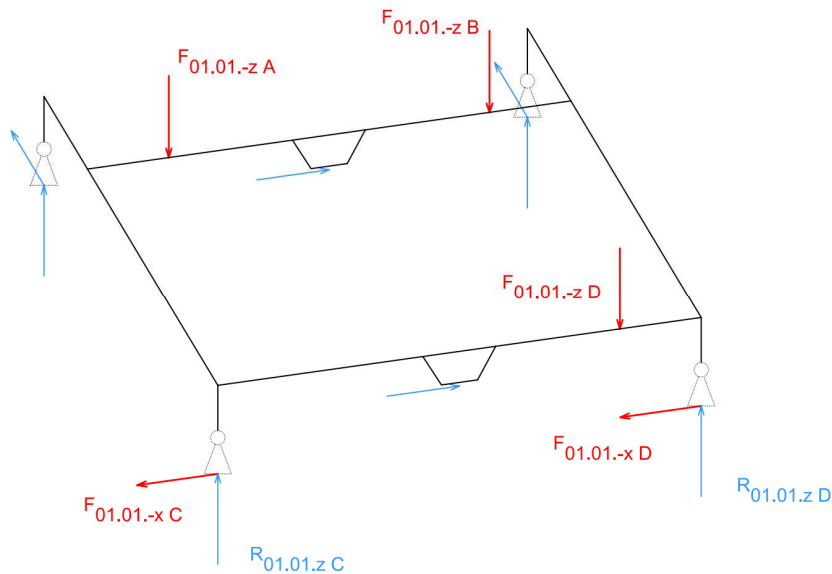
10.01.01.01S_RAM_SPODNIHO_VOZIKU_Svarek_sim1 : Zatizeni Result
Reakce kola, Static Step 1
Reaction Force - Nodal, Magnitude
Min : 0.00, Max : 8305.03, Units = N
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



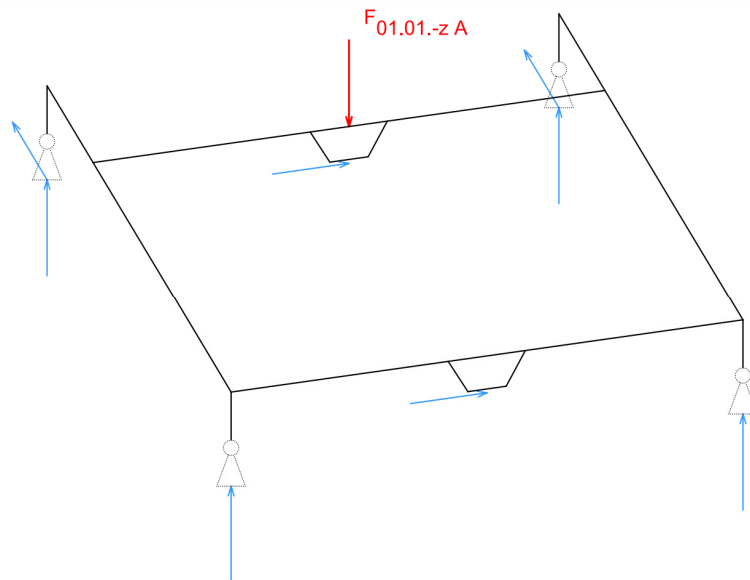
Obrázek 60: Rám spodního vozíku - reakce v kolech

Tabulka 18: Rám spodního vozíku - zatěžující síly

Zatížení		hodnota	
Reakční síly z horního vozíku zatěžující spodní vozík	F _{01.01.-z A}	9 575	N
	F _{01.01.-z D}	7 138	N
	F _{01.01.-z B}	2 438	N
Příčné síly	F _{01.01.-x C}	1 144	N
	F _{01.01.-x D}	4 069	N



Obrázek 61: Rám spodního vozíku - schéma zátěžného stavu 1

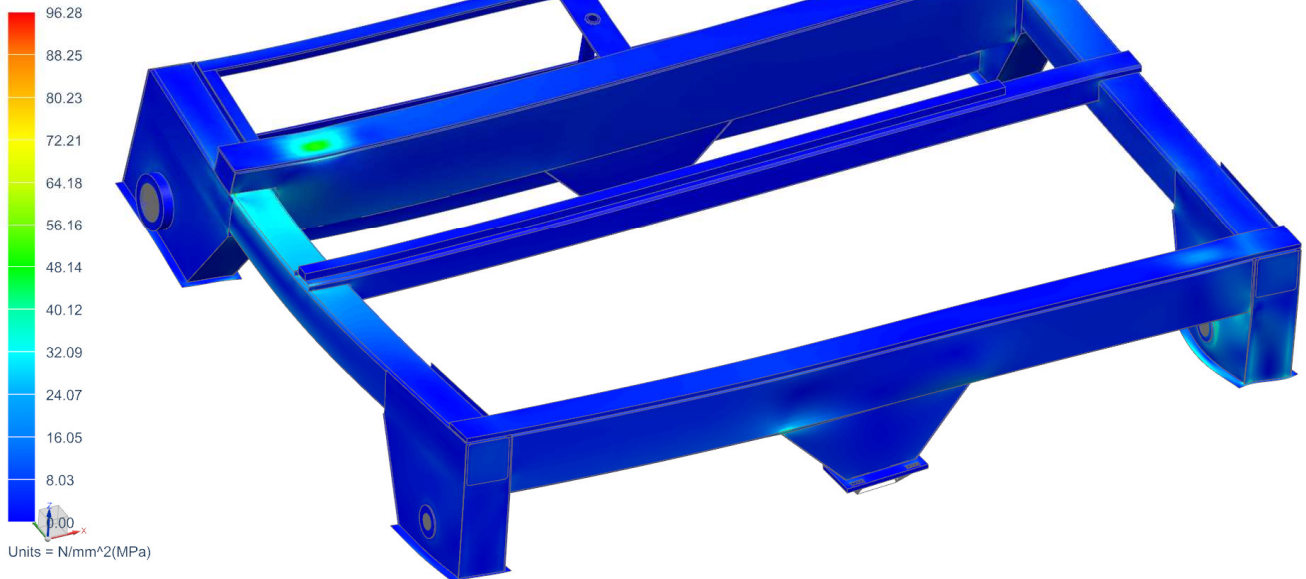


Obrázek 62: Rám spodního vozíku - schéma zátěžného stavu 2

Na obrázcích 63 a 64 jsou výsledky napětí obou zátěžných stavů. V 1. případě napětí nepřesáhne ve špičkách 96 MPa, v kritických místech 50MPa a na většině ploch profilů není vyšší než 10MPa. V případě, kdy je taxující síla aplikována doprostřed hlavního příčnicku, je maximální špičkové napětí 136MPa. Jde ale pouze o singularitu napětí, která je jen v jednom uzlu a nevyskytuje se na žádné ploše. V místě této singularity navíc je funkcí *Edge-to-surface Gluing* přilepena konzola k hlavnímu příčnicku. To je považováno za vznik špičky, která by v reálu nenastala kvůli $\frac{1}{2}$ V svaru překrytým koutovým svarem. Napětí v kritických místech nepřesáhne 95MPa a na většině ploch se drží pod 20MPa. Pevnostně byla konstrukce vyhodnocena jako vyhovující.

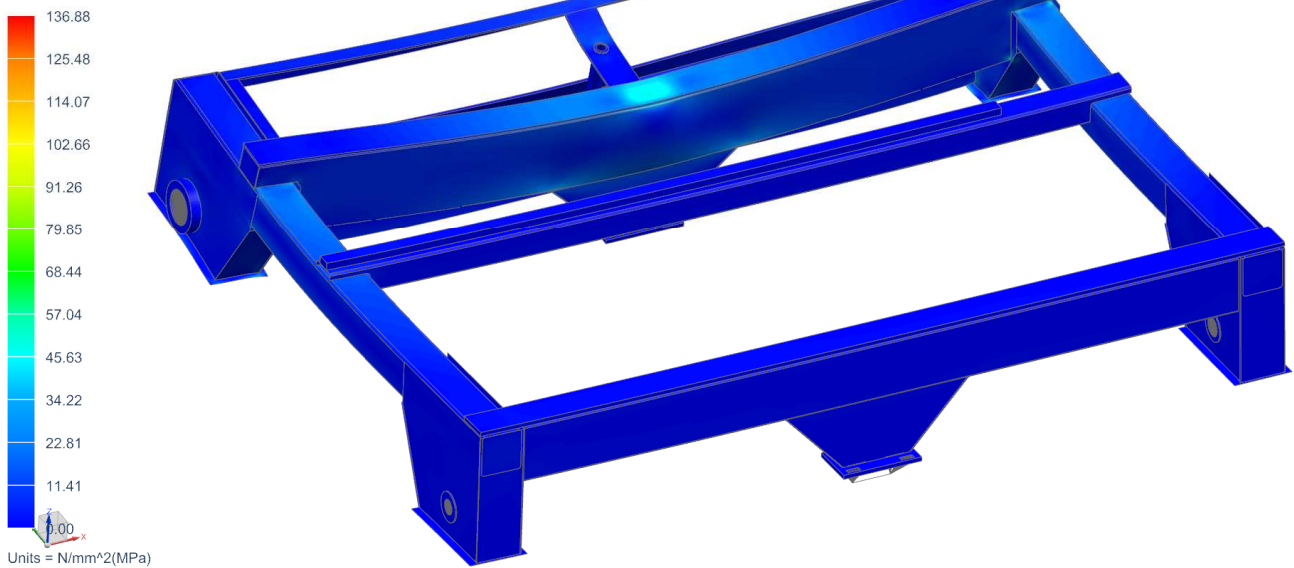
Max průhyb v simulaci byl odečten jako 0,563mm. Tento průhyb byl shledán jako vyhovující, neboť nebude mít negativní vlivy na navazující konstrukce. V tabulce sumarizační 19 lze vidět vyhodnocené výsledky obou simulací.

10.01.01.01S_RAM_SPODNIHO_VOZIKU_Svarek_sim1 : Zatizení Result
Bezne_zatizení, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Shell Section : Top
Min : 0.00, Max : 96.28, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 63: Rám spodního vozíku - napětí Von Mises 1. Zatizení

10.01.01.01S_RAM_SPODNIHO_VOZIKU_Svarek_sim1 : Zatizení Result
Vyjimecné, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Shell Section : Top
Min : 0.00, Max : 136.88, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

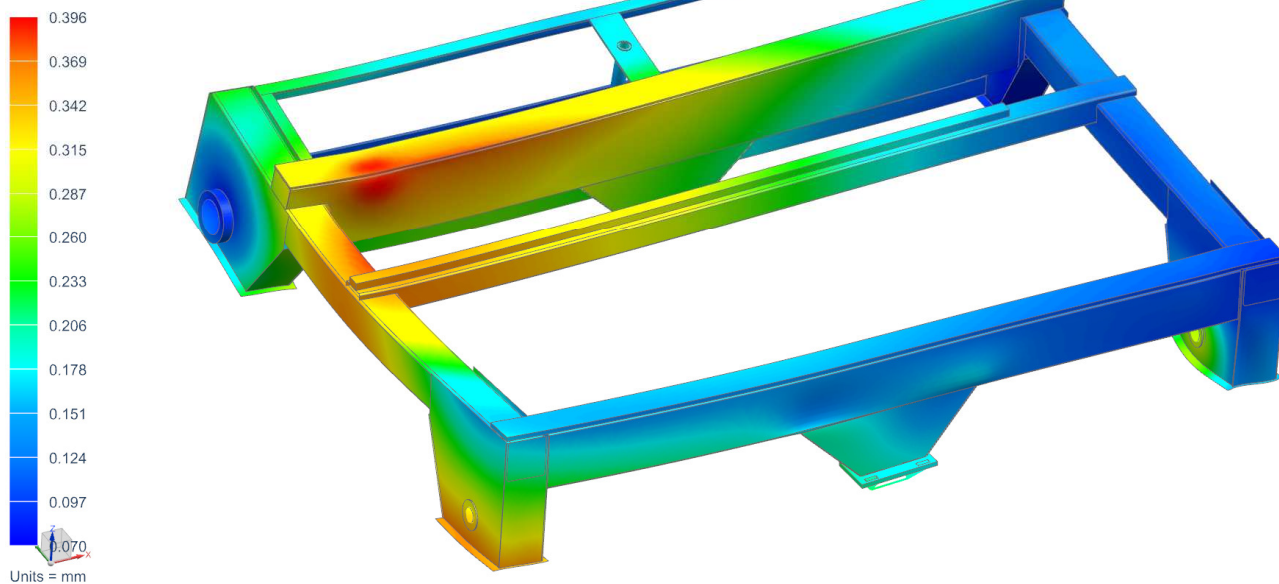


Obrázek 64: Rám spodního vozíku - napětí Von Mises 2. Zatizení

Tabulka 19: Rám spodního vozíku - výsledky

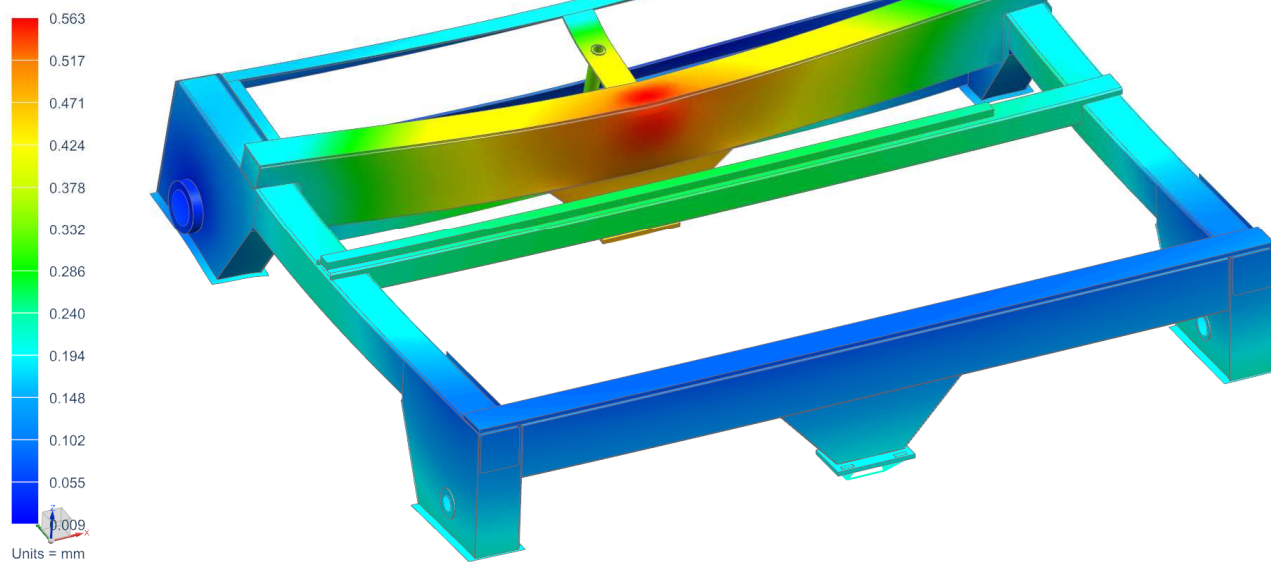
Rám spodního vozíku		dovolené
max. napětí v mat. 1.4301	54 MPa	105
max. napětí v mat. S235	96 MPa	117
max. posunutí	0,563 mm	

10.01.01.01S_RAM_SPODNIHO_VOZIKU_Svarek_sim1 : Zatizeni Result
Bezne_zatizeni, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.070, Max : 0.396, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 65: Rám spodního vozíku - posunutí 1. zatížení

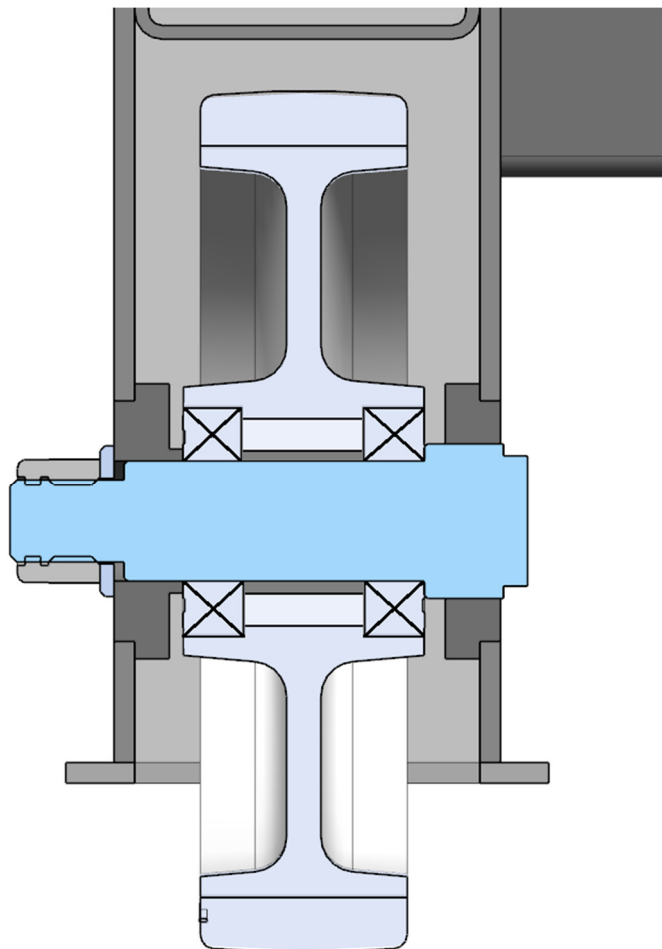
10.01.01.01S_RAM_SPODNIHO_VOZIKU_Svarek_sim1 : Zatizeni Result
Vyjimene, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.009, Max : 0.563, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 66: Rám spodního vozíku - posunutí 2. zatížení

5.4.2 Uložení kol spodního vozíku

Běžné kolo



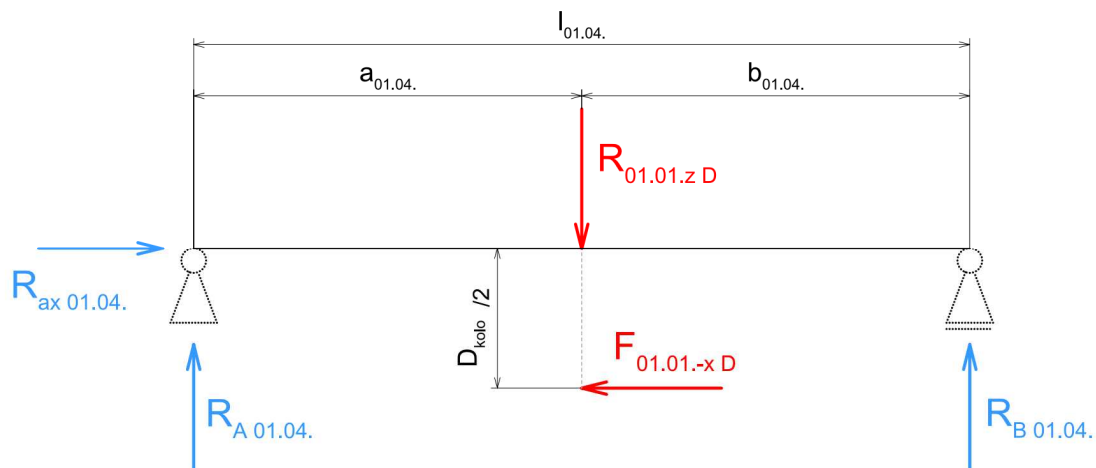
Obrázek 67: Rám spodního vozíku - uložení běžného kola

Na obrázku 67 je vidět uložení běžného kola GB 250/35K. Kolo samotné má uvnitř dvě kuličková ložiska, která jsou zalisovaná do ocelového těla. Mezi vnitřními kroužky ložisek je distanční trubka, aby bylo možné ložiska stáhnout. Tento způsob přichycení je vidět na obrázku. Samotné kolo je uloženo na čepu, který je radiálně uchycen ve vložkách na obou stranách. Čep přes osazení dotlačuje ložisko ke stěně levé vložky, kde je z druhé strany stažen pojistnou maticí se silonovou vložkou.

Pro výpočet byl opět zvolen konzervativní model, který soustřeďuje sílu $R_{01.01.z D}$ a klopný moment od síly $F_{01.01.-x D}$ (obě kap. 5.4.1) do prostředku čepu.

Tabulka 20: Rám spodního vozíku - geometrie čepu běžného kola

Nejmenší průměr čepu	$d_{01.04.}$	35 mm
Vzdálenost mezi podporami	$l_{01.04.}$	90 mm
Vzdálenost a od podpory	$a_{01.04.}$	45 mm
Vzdálenost b od podpory	$b_{01.04.}$	45 mm
Průměr kola spodního vozíku	D_{kolo}	250 mm



Obrázek 68: Rám spodního vozíku – schéma zatížení hřídele běžného kola

S tabulkou s geometrickými charakteristikami čepu a se schématem zatížení je možné sestavit podmínky rovnováhy.

$$z: \quad R_{A 01.04.} - R_{01.01.z D} + R_{B 01.04.} = 0$$

$$R_{A 01.04.} * (l_{01.04.}) - R_{01.01.z D} * (b_{01.04.}) + F_{01.01.-x D} * \frac{D_{kolo}}{2} = 0$$

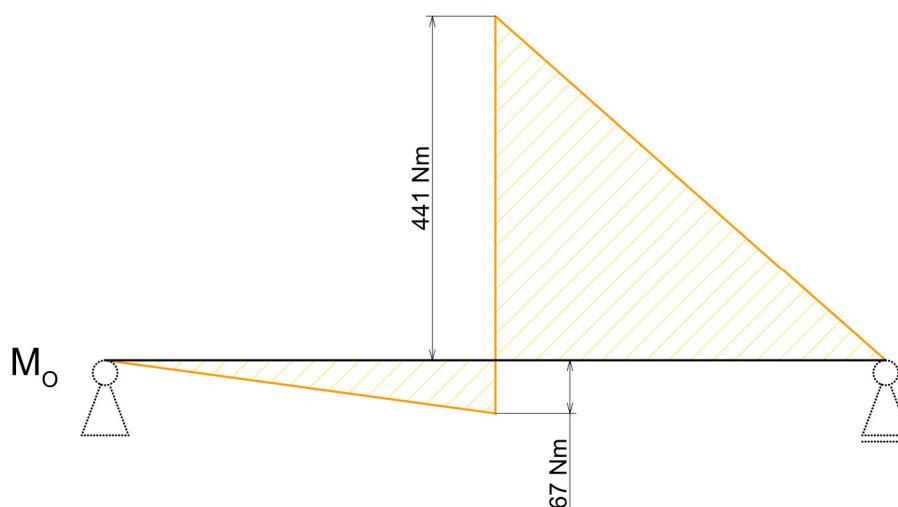
$$Ax. směr: \quad R_{ax 01.04.} - F_{01.01.-x D} = 0$$

Po vyčíslení vzorce získáme hodnoty reakcí v podporách.

$$R_{A 01.04.} = -1\,499\text{N}$$

$$R_{B 01.04.} = 9\,804\text{N}$$

$$R_{ax 01.04.} = 4\,069\text{N}$$



Obrázek 69: Rám spodního vozíku - průběh momentu na čepu

Na obrázku 69 je průběh momentu na čepu kola. Maximální hodnota je 441Nm.

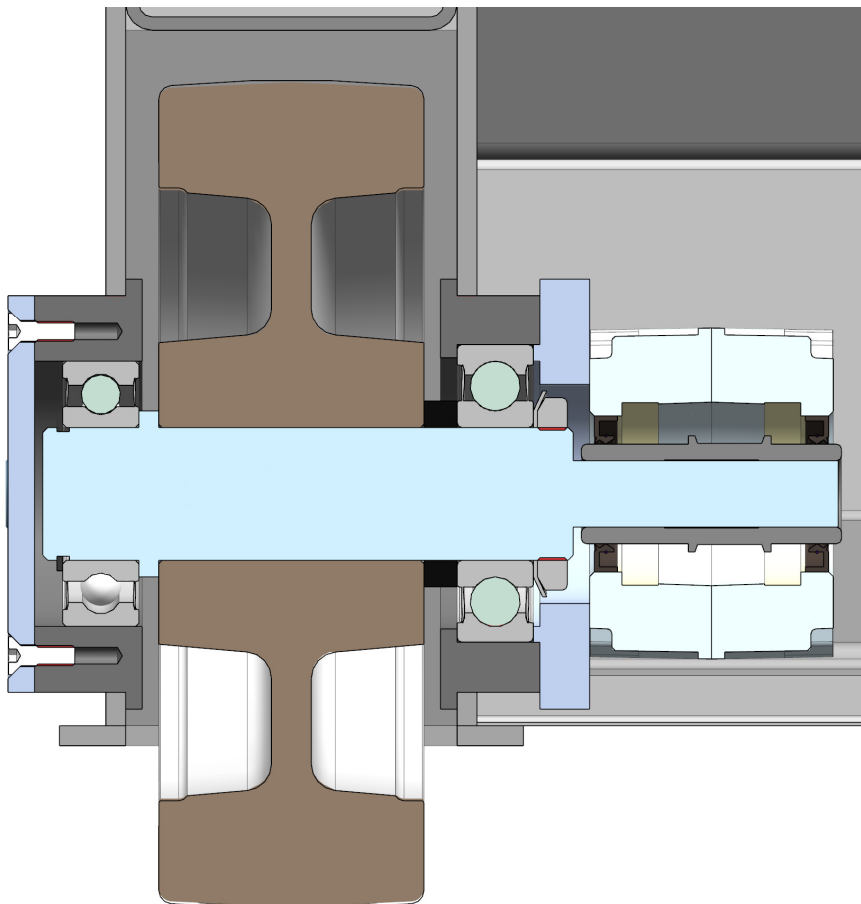
$$W_{o\ 01.04.} = \frac{\pi * d_{01.04.}^3}{32} = \frac{\pi * 35^3}{32} \doteq 4\ 209\ mm^3$$

Ohybové napětí se vypočte jako

$$\sigma_{o\ 01.04.} = \frac{M_{o\ max\ 01.04.} * 1000}{W_{o\ 01.04.}} = \frac{441 * 1000}{4209} \doteq 105\ MPa \leq \sigma_{D\ 1.4301}$$

I když vypočtené napětí je stejné jako dovolené, vzhledem ke konzervativnosti výpočtového modelu a maximálnímu zatížení lze konstatovat, že čep vyhovuje.

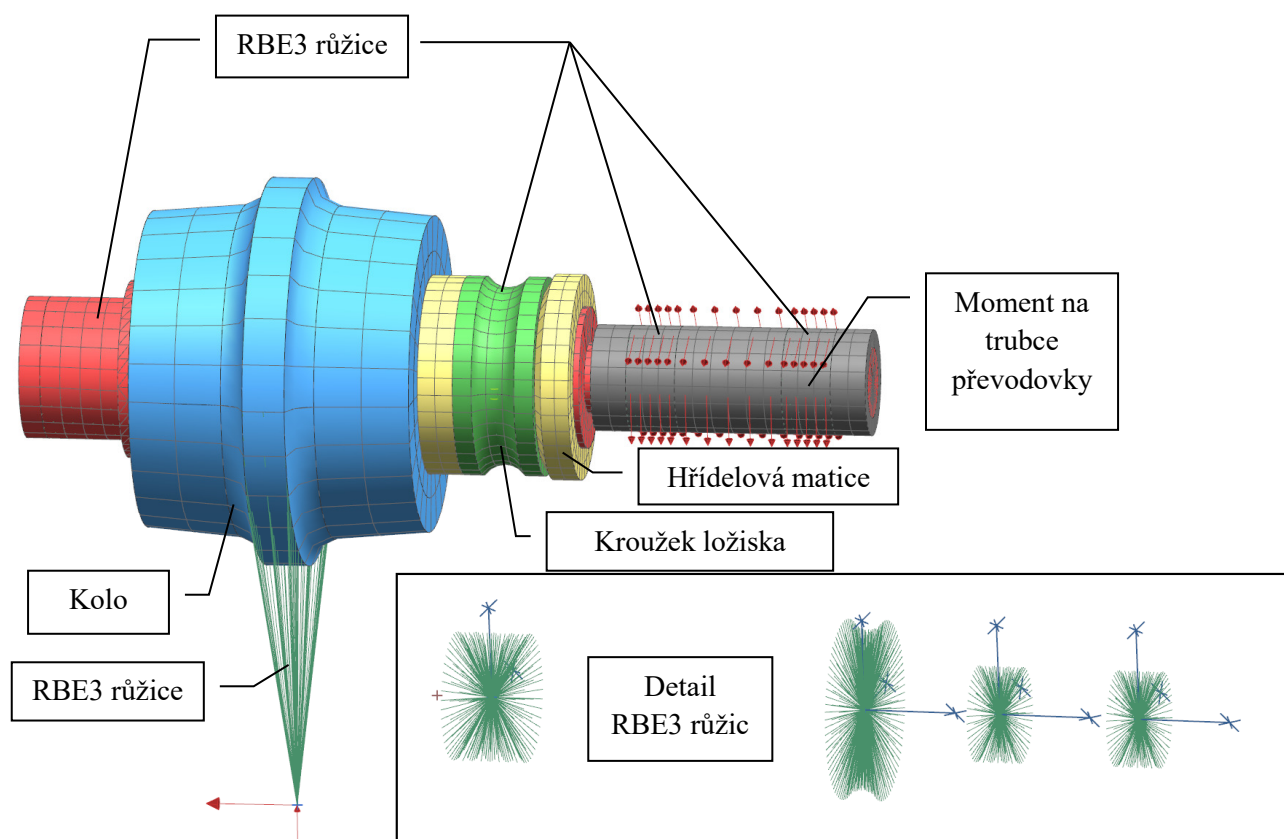
Hnací kolo



Obrázek 70: Rám spodního vozíku - uložení hnací hřídele

Hnací hřídel (obrázek 70) je uložena ve stejných ložiskách jako hřídele horního vozíku. Pravé ložisko odebírá radiální i axiální síly. V rámu vozíku je uloženo ve vložce a zajištěno víčkem se šesti šrouby. Hřídel je pak axiálně zajištěn přes osazení na hřídeli, kolo a distanční podložku hřídelovou maticí. Levé ložisko, které je uloženo ve vložce jako plovoucí, jímá jen radiální síly. Na hřídeli je pak zajištěno pojistným kroužkem. Na pravé straně je pak

hřídel zmenšeného průměru a zde se přenáší točivý moment z převodovky. Točivý moment je přenášen trubkou s drážkou na pero. Ta je chycena na dvou ložiscích (na obrázku 70 chybí, jsou vidět jen plochy pro vnější kroužek ložiska). Hřídel je tedy radiálně uložen na 4 ložiscích a je staticky neurčitý. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto provést výpočet pomocí MKP.

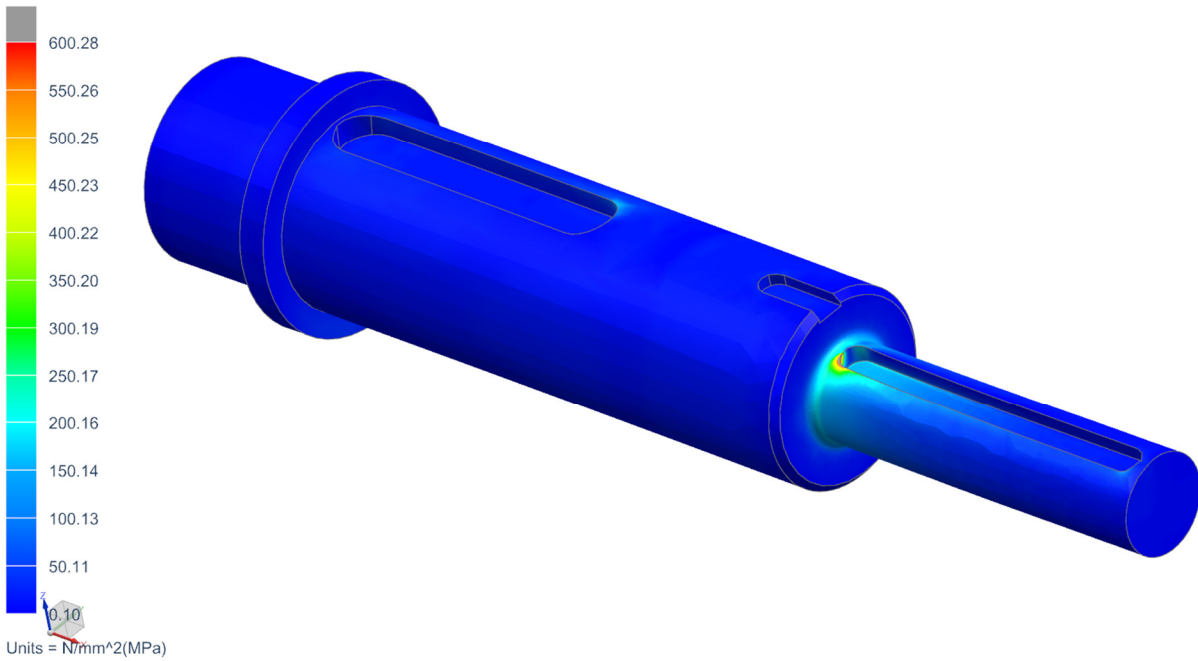


Obrázek 71: Rám spodního vozíku - síť hnacího hřídele

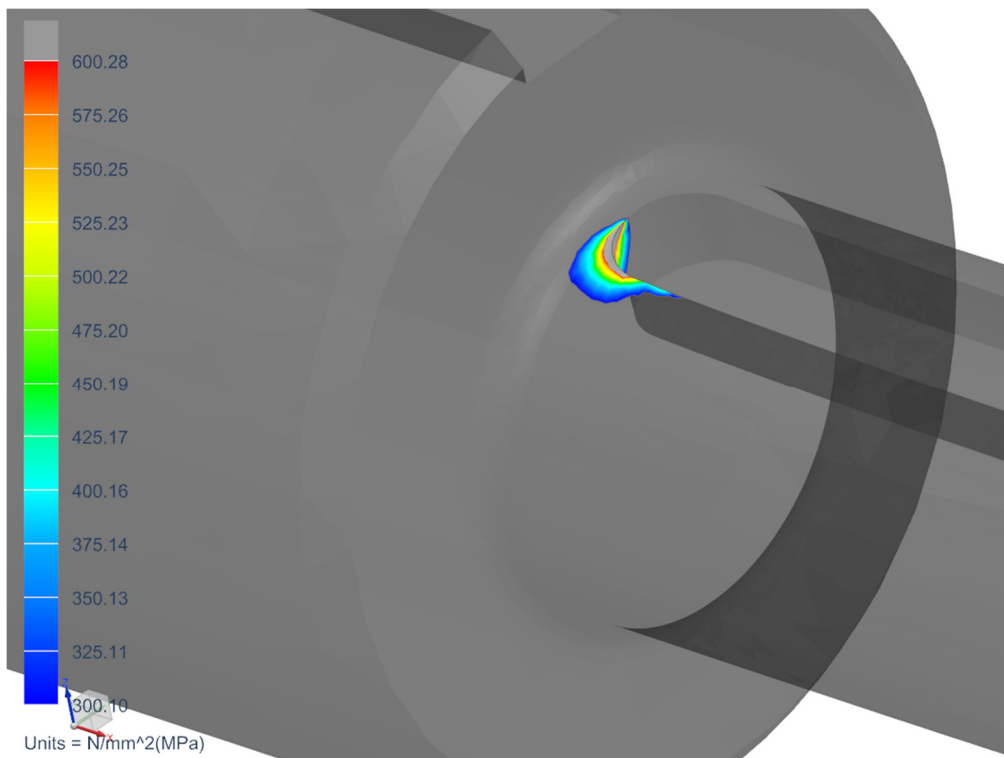
Na obrázku 71 je vidět síť a okrajové podmínky simulace. Došlo ke značnému zjednodušení geometrie dílů, na kterých se nebude vyhodnocovat napětí, ale slouží jen jako přenašeči sil. Kolo (modrá barva) bylo ponecháno jen ve vnitřní části a přenos sil z běhounu je zprostředkován pomocí RBE3 růžice. Levé ložisko bylo odebráno úplně a na ploše hřídele, kde se opíralo, byla vytvořena RBE3 růžice, která se spojila se středovým bodem ložiska (v rámečku, na obrázku 71, jsou vidět růžice všech ložisek, které nejsou přes síť vidět). U pravého ložiska byl ponechán jen vnitřní kroužek (zelená barva). Hřídelová matice byla spojena s hřídelem funkcí *Surface-to-surface Gluing*. Pera byla s hřídelem spojena funkcí *Surface-to-surface Contact*. Stejnou funkcí jsou spojeny i hřídel s kolem, ložiskem, distančním kroužkem (žlutá barva) a trubkou převodovky (šedá barva).

S malou chybou na straně bezpečnosti lze převzít zatěžující síly z předchozího výpočtu čepu spodního vozíku $R_{01.01.z}$ a $F_{01.01.-x.D}$. Ty je možné aplikovat stejným způsobem. Jako další silou bude zatížení od převodovky FT105, $i=1:315,1$ s motorem BLS043.240. Tento komplet dává moment 105Nm při rychlosti $n_{kolo\ SV} = 10$ ot/min. Ten byl aplikován na trubku převodovky.

10.01.01.01_Hřidel_sim3 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Min : 0.14, Max : 905.35, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 72: Rám spodního vozíku – hnací hřídel napětí Von Mises



Obrázek 73: Rám spodního vozíku – detail hnacího hřídele napětí Von Mises

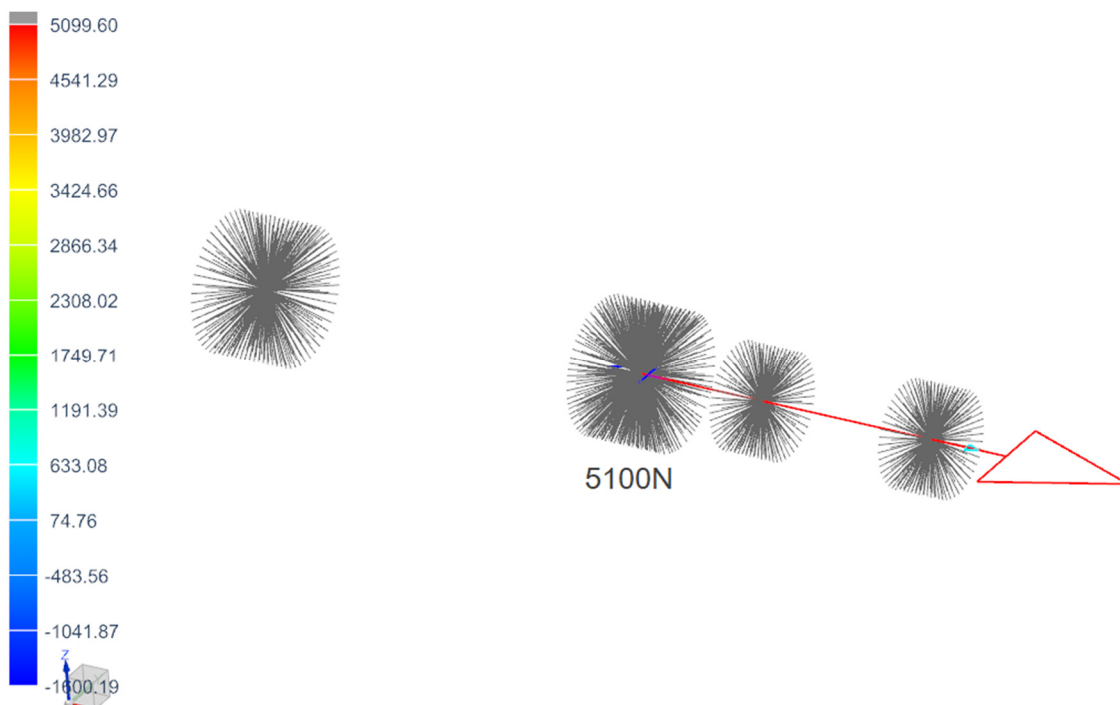
$$\sigma_{D \ 1.4021 \ QT800} = \frac{R_{e \ 1.4021 \ QT800}}{k_{1.4021}} = \frac{600}{2} = 300 \text{ MPa}$$

Nejdříve se vypočetlo dovolené napětí materiálu 1.4201 QT800 (AISI 420 –zast.), který je kalený a popuštěný. Na obrázku 72 je výsledek napětí hypotézou Von Mises. Na většině ploch hřídele je napětí pod 30 MPa. Pouze v místě kontaktu pera a drážky se vytvořila singularita napětí, daná kontaktem ostré hrany – plochy. V reálu by tato hrana zplastizovala, kontaktní napětí by se začalo přenášet přes větší plochu a kleslo by. Ve výsledku simulace, kvůli předpokladu lineární deformace, se ale vyskytne vysoká špička napětí. Jak je vidět na obrázku 73 (zde jsou elementy s napětím pod 300MPa, což je dovolené napětí, průhledné a elementy s napětím vyšším jak 600MPa, což je mez kluzu, jsou šedé) jedná se o singularitu ve velmi malém objemu.

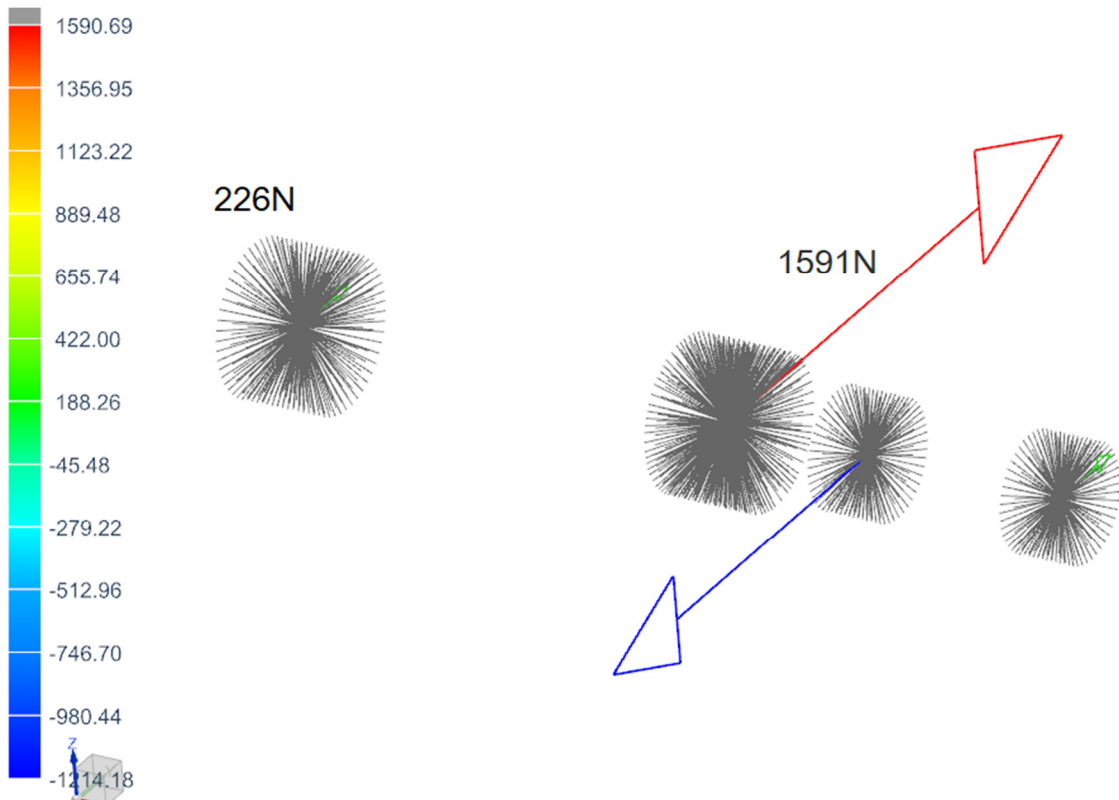
Na obrázku 74 je vidět axiální reakce v pravém ložisku. Na obrázcích 75 a 76 jsou obě složky radiálních reakcí v ložiskách. Jednotlivé radiální reakce v ložiskách lze vypočítat jako odmocninu ze součtu kvadrátů.

$$R_{A\ 01.02.} = \sqrt{226^2 + (-8553)^2} \doteq 8556\ N$$
$$R_{B\ 01.02.} = \sqrt{1591^2 + 842^2} \doteq 1800\ N$$
$$R_{B\ 01.02.}\ ax = 5100\ N$$

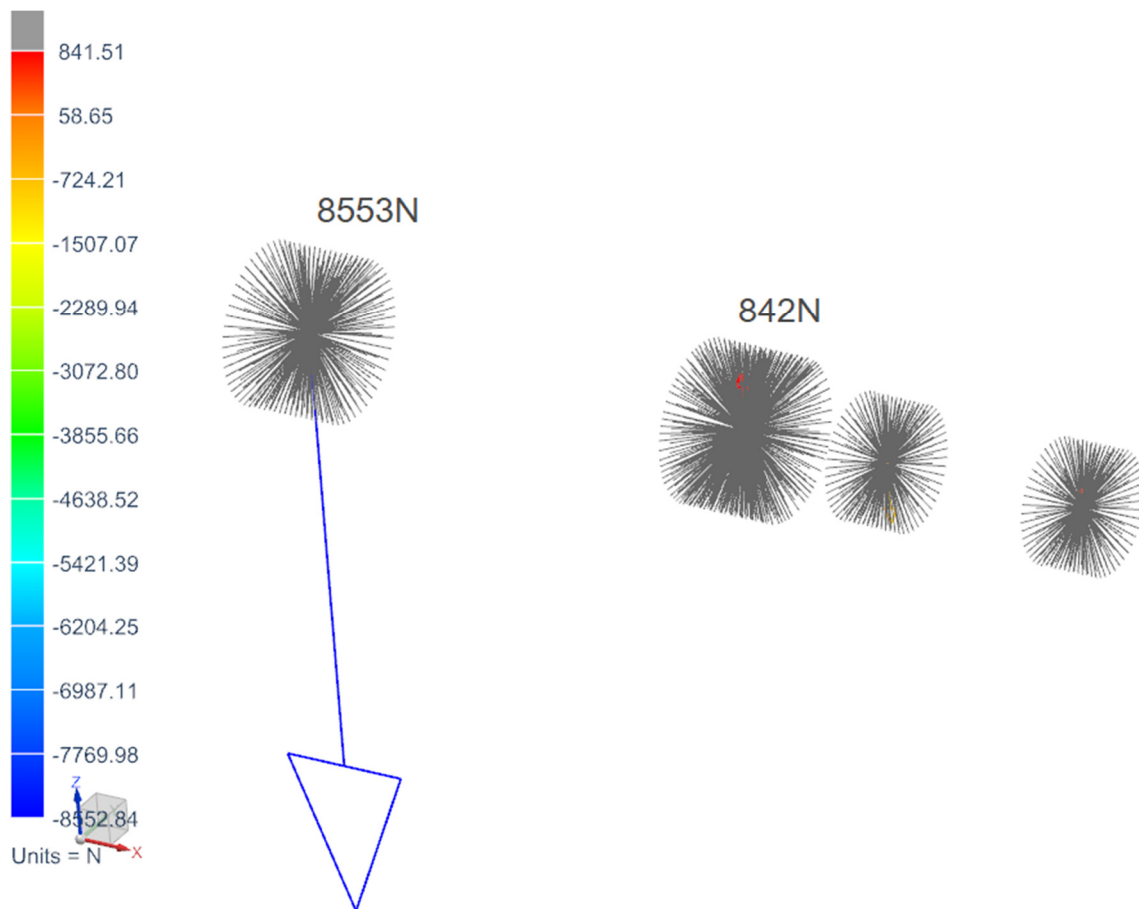
V následujícím kroku byly opět pomocí SKF nástroje hodnoty statické bezpečnosti.





Obrázek 74: Rám spodního vozíku – axiální reakce hřídele



Obrázek 75: Rám spodního vozíku –reakce hřídele ve směru Y





Obrázek 76: Rám spodního vozíku –reakce hřídele ve směru Z

Forces		Speed r/min	Temperature ① °C	
Radial kN	Axial		Inner ring	Outer ring
1.8	5.1	10	23	23
Designation		Equivalent static load P_0 kN	Static safety factor S_0	
▶ 6308-2RS1		3.63	6.61	

Obrázek 77: Rám spodního vozíku - ložisko 6308-2RS1 (27)

Forces		Speed r/min	Temperature ① °C	
Radial kN	Axial		Inner ring	Outer ring
8.6	0	10	23	23
Designation		Equivalent static load P_0 kN	Static safety factor S_0	
▶ 62208-2RS1		8.6	2.21	

Obrázek 78: Rám spodního vozíku - ložisko 62208-2RS1 (27)

Tabulka 21: Rám spodního vozíku - ložisko 6308-2RS1

Ložisko 6308-2RS1	
Radiální zatížení	1 800 N
Axiální zatížení	5 100 N
Ekvivalentní zatížení	3 630 N
Koeficient statické bezpečnosti	6,61 -

Tabulka 22: Rám spodního vozíku - ložisko 62208-2RS1

Ložisko 62208-2RS1	
Radiální zatížení	8 556 N
Axiální zatížení	/ N
Ekvivalentní zatížení	8 556 N
Koeficient statické bezpečnosti	2,21 -

Ložiska dle výpočtového nástroje SKF vyhovují s bezpečnostmi 6,61 pro 6308-2RS1 a 2,21 pro 62208-2RS1. Výsledky, včetně zatěžujících sil, jsou vidět v tabulkách 21 a 22.

Hřídel i ložiska vyhovují. V posledním kroku se vypočte rychlost spodního vozíku. Na ní byl požadavek minimální rychlosti 100mm/s.

$$v_{kolo\ SV} = n_{kolo\ SV} * \pi * D_{kolo} = 10 * \pi * 0,25 \doteq 7,85 \frac{m}{min} \doteq 131 \frac{mm}{s}$$

Spodní vozík má rychlost 131mm/s, takže požadavek splňuje.

5.5 Povrchové úpravy

Jedním z požadavků na vozík bylo, aby odolával ostříku demineralizované vody, když z panelu bude vytékat zbytek chladicího média. Dále potom, aby snesl omývání mokrým hadrem při dekontaminaci. Všechny tyto požadavky vyústily v to, že funkční části jsou nerezové. Konstrukční části (nosné profily apod.) musí být chráněny před korozí. Výrobce byla doporučena kombinace dvou komponentního epoxidového základu a dvou komponentní epoxidové barvy. Základem bude *ZG 13 - epoxidový základ* a barvou poté *ZE 53 - epoxidová samozákladující antikorozní vrchní barva*. Odstín barvy manipulátoru byl vybrán dle loga CVŘ. Po porovnání se vzorníkem RAL barev modrých odstínů (obrázek 80) bylo rozhodnuto, že největší podoba loga je s odstínem RAL 5012. Ten bude použit na všech vnějších površích manipulátoru, které jsou z obvyčejné konstrukční oceli.



Obrázek 79: Logo CVŘ



Obrázek 80: Vzorník RAL barev (28)

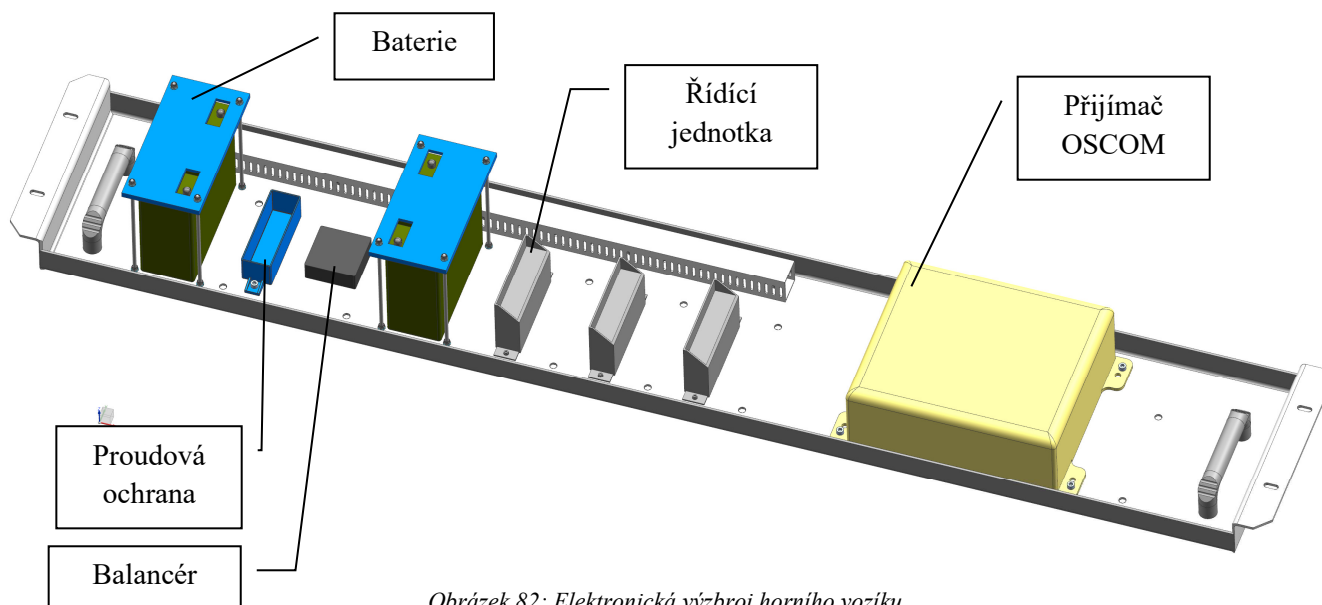
Na obrázku 81 je vizualizace finálního stavu manipulátoru. Konstrukční ocel je zde pokryta barvou odstínu RAL 5012. Nerezové komponenty jsou zobrazeny s ocelovým válcovaným povrchem. Pochozí kryty dutin vozíku jsou z broušeného nerez.



Obrázek 81: Vizualizace manipulátoru

5.6 Elektronika

Elektronická zařízení (dálkové ovládání, přijímače, druh koncových spínačů, průchodky pro kabely, baterie a přepětové a proudové ochrany) byla vybrána pracovníky elektrické konstrukce CVŘ. Mým úkolem bylo vybrat motory s převodovkou (z toho vyplývají řídicí jednotky). V této kapitole bude stručně popsána elektronická výzbroj vozíku.



Obrázek 82: Elektronická výzbroj horního vozíku

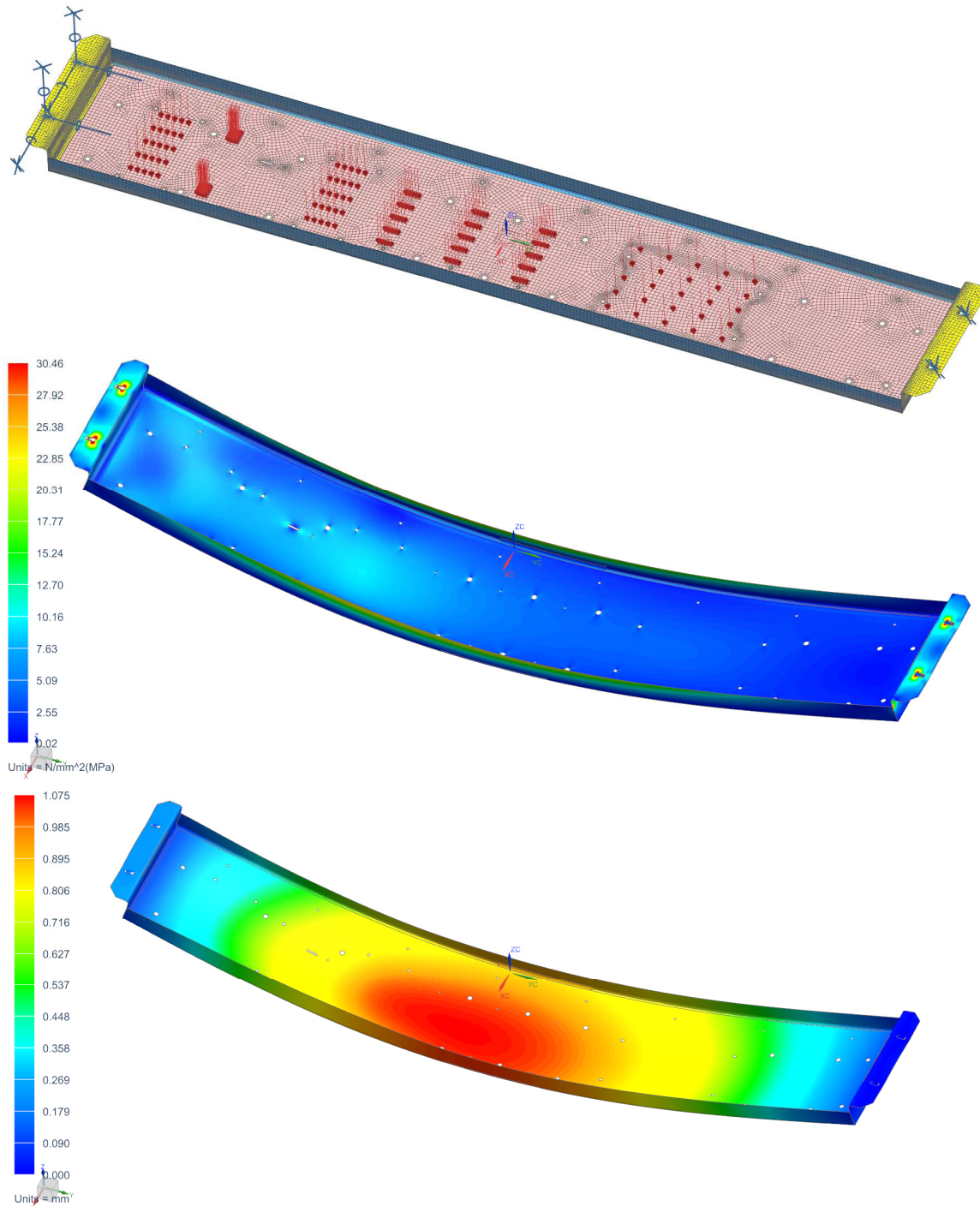
Na obrázku 82 je vidět deska s elektrickými komponenty horního vozíku. Při popisu z levé strany je k desce připevněno madlo pro snadné vyndání desky z prostoru vozíku, neboť celá sestava váží 33,5kg. Dále jsou na desce dvě baterie SB EVX1220. Obě mají napětí 12V, kapacitu 20Ah a jsou propojeny do série. K desce jsou připevněny pomocí přílohek tisknutých na 3D tiskárně a svorníků. Mezi nimi se nachází balancér pro 2x12V baterie HA01. Ten vyrovnává napětí na bateriích a zabraňuje rozdílu napětí mezi bateriemi. Druhou komponentou mezi nimi je ochrana baterií BP 100. Ten zajišťuje, že nepoteče bateriemi větší proud, než je dovolený. Vedle baterií se nacházejí tři řídicí jednotky od BLDC motorů. Ty jsou napájeny z baterií a dostávají řídicí signál z přijímače. Ten je od firmy Oscom. Patří k němu ještě dálkové ovládání a druhý přijímač umístěný ve spodním vozíku. Součástí elektroniky jsou i koncové spínače od firmy Honeywell a STOP tlačítka. Koncové spínače od Honeywell jsou použity dvojího typu. Prvním je jednoduchý spínač (obrázek 84 – vlevo). Druhým typem je spínač, který má ve spínací části rolnu. Toho je využito při spínání aretačními čepu ve směru tečném na osu spínače (obrázek 84 – vpravo). STOP tlačítko slouží k nouzovému zastavení vozíku při nečekaných stavech (obrázek 83). Stejná výzbroj jako u horního vozíku je i u spodního, jen je uspořádána na dvou montážních deskách.



Obrázek 83: STOP tlačítko (29)



Obrázek 84: Koncové spínače honeywell (30)



Obrázek 85: Nosná deska elektroniky – síť s okrajovými podmínkami, výsledky napětí a posunutí

V posledním kroku byl proveden výpočet nosné desky elektroniky metodou konečných prvků. Diskretizace proběhla pomocí 2D sítě. Jednotlivé 2D sítě byly spojeny pomocí funkce *Surface-to-surface Gluing*. Díl byl pak zatížen gravitací a hmotnostmi od jednotlivých komponent. Stupně volnosti byly odebrány na koncích, kde je v reálu uchycení šrouby. Výsledky jsou vyhovující, neboť špičky napětí nepřesahují 50MPa a maximální napětí nepřesahuje 30MPa. Maximální průhyb je 1,1mm.

6 Bezpečnost

Manipulátor je velké zařízení, které, včetně svého nákladu, má hmotnost kolem 2300kg. Při takové hmotnosti by bez řádného zabezpečení mohl napáchat spoustu materiálních škod i úrazů. Tato kapitola se bude věnovat součástem, konstrukčním úpravám a konstrukčním celkům, které omezují tato rizika.

Na obrázku 86 jsou vidět hlavní bezpečnostní prvky.

Prvek A je aretační čep, který fixuje při jízdě spodního vozíku horní tak, aby nemohl samovolně sjet dolů. Jelikož horní vozík, který je plně ložený, váží přes 2000kg, způsobil by obrovské materiální škody a mohl by způsobit i vážnou újmu na zdraví. Aretační čep se pohybuje v kluzných pouzdrech, která jsou uložena v trubce. V té je drážka, ve které „běhá“ šroub s válcovou hlavou. Ten je zašroubován do závitové díry v aretačním čepu. Tento šroub fixuje čep v trubce a zároveň spíná koncový spínač Honeywell s rolnou na hrotu tlačítka, který je usazen kolmo k ose čepu. Při zaaretování horního vozíku (čep je dole zasunut ve vyfrézovaném díle, který je přivařen k rámu spodního vozíku) je zároveň stisknut i koncový spínač a řídicí jednotka má signál, že není možné s vozíkem vyjet.

Na stejném principu funguje i prvek B z obrázku 86. Ten pouze aretuje spodní vozík ve vodící liště. Jinak je mechanika a logika totožná. Při zaaretování spodního vozíku vyšle koncový spínač signál do řídicí jednotky, že není možné spustit motory.

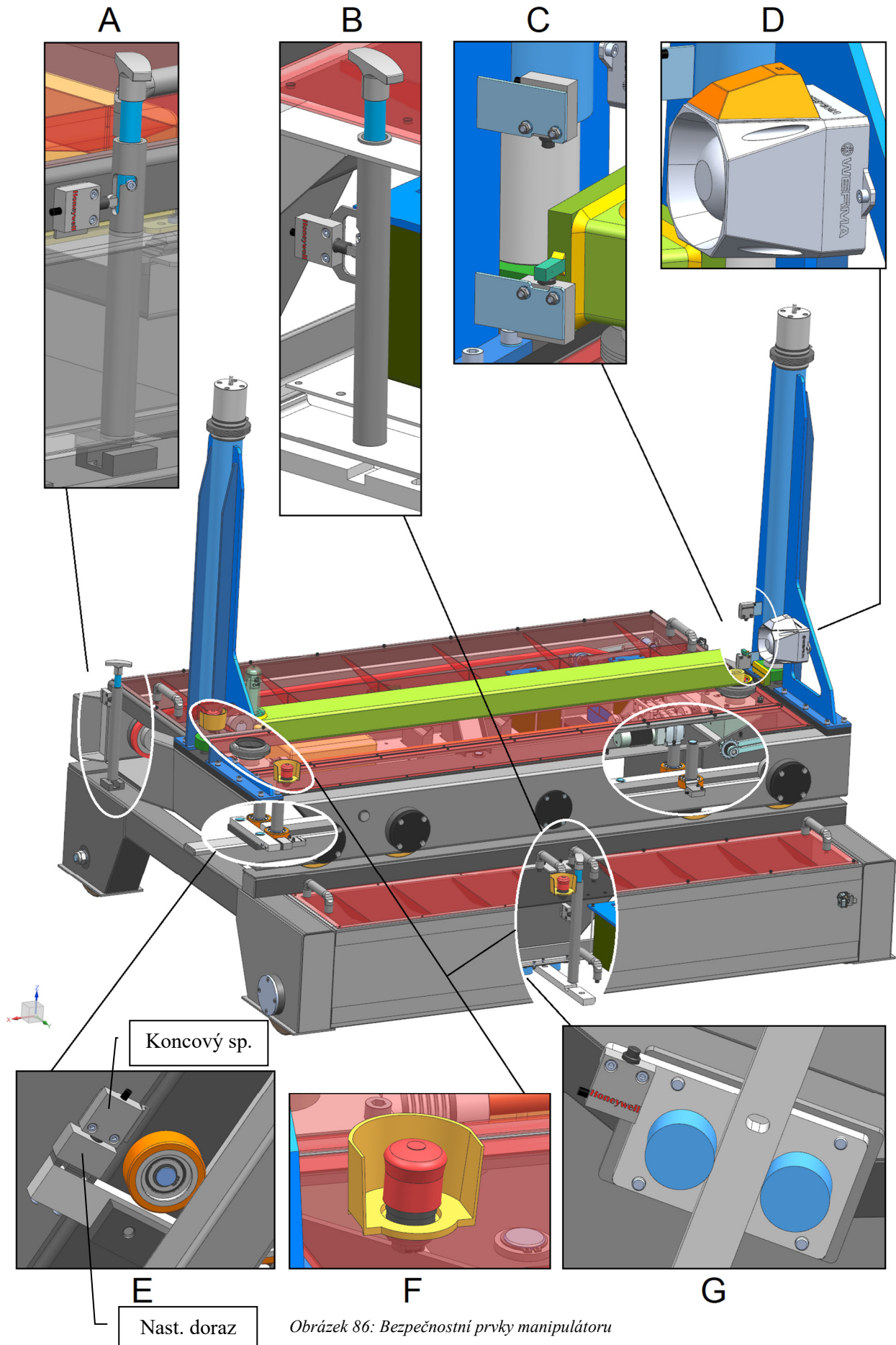
Prvky C jsou koncové spínače, které definují koncové polohy zdvihacího rámu a potažmo i pístnic a celého nosného rámu panelu první stěny. Na boku zdvihacího rámu je přivařena malá tyč čtvercového průřezu, která stiskává spínače.

Prvek D je audiovizuální signalizační zařízení. Při aktivaci vydává zvuky (lze nastavit různé tóny v závislosti na povaze signalizovaného děje) a také bliká. Je umístěn tak, že je vidět jak zepředu, tak zezadu manipulátoru.

Prvek E je koncový spínač horního vozíku, který spíná při dojezdu na konec vodící lišty spodního vozíku. Na něm je dorazový člen, který je možné při montáži vypodkládat podložkami ve formě výpalků dle potřeby. Na druhé straně spodku spodního vozíku je ten samý koncový spínač, který bude „narážet“ do dorazu na plošně uvnitř vakuové nádoby.

Prvky F jsou nouzová *STOP* tlačítka. Ty byly umístěny pro případ náhlých situací, kdy bude třeba bezprostředně zastavit oba vozíky. Protože zdvihací rám spolu s nosným rámem panelu (např. obrázek 14) by mohly znamenat překážku pro stisknutí tlačítka, které je na horním vozíku, byly dány tyto *STOP* tlačítka z obou stran zdvihacího ústrojí. Kdyby nastal problém s komunikací, je *STOP* tlačítko i na spodním vozíku.

Prvek G je koncový spínač spodního vozíku, který signalizuje dojezd na pozici, kde horní vozík vyjede směrem k vakuové nádobě.



Obrázek 86: Bezpečnostní prvky manipulátoru

Požadavky na bezpečný provoz manipulačních vozíků stanovuje ČSN 26 8805, ČSN EN ISO 3691-1 a Nařízení vlády č. 378/2001 Sb (31). Zde jsou vybrané požadavky:

- a. *ochrana zaměstnance proti nebezpečnému dotyku u zařízení pod napětím a před jevy vyvolanými účinky elektřiny*
- b. *umístění ovládacích prvků ovlivňujících bezpečnost provozu zařízení mimo nebezpečné prostory, bezpečné ovládání, a to i v případě jejich poruchy nebo poškození*
- c. *vybavení ovládačem pro nouzové zastavení, který zablokuje spouštěcí ovládače tam, kde je to nutné*
- d. *obsluha musí mít možnost se přesvědčit, že v nebezpečných prostorech se nenachází žádný zaměstnanec; pokud nelze tento požadavek splnit, bezpečnostní systém před spuštěním, popřípadě zastavením zařízení musí vydávat zvukový nebo i viditelný výstražný signál*
- e. *Vybavení hnací jednotky ochranným zařízením proti poškození v případech náhodného zadření, uváznutí či zaseknutí příslušenství nebo přídavných nebo tažených zařízení; pokud zadření, uváznutí či zaseknutí nelze zabránit, je nutné učinit všechna dostupná opatření*
- f. *průmět těžiště přepravovaného břemena musí ležet v půdoryse ložné plochy vozíku a přitom v bezpečné vzdálenosti od nejbližší klopné hrany dané spojnicí opěrných bodů vozíku*

Bod *a* je řešen tím, že veškerá elektronika je umístěna krytá uvnitř strojního prostoru horního a spodního vozíku.

Bod *b* je řešen tím, že je vozík řízen pomocí dálkového ovládání, které má kolem tlačítek ochranou klec, a tak i při pádu na zem nebudou omylem zmáčknuta.

Bod *c* je řešen třemi nouzovými *STOP* tlačítky.

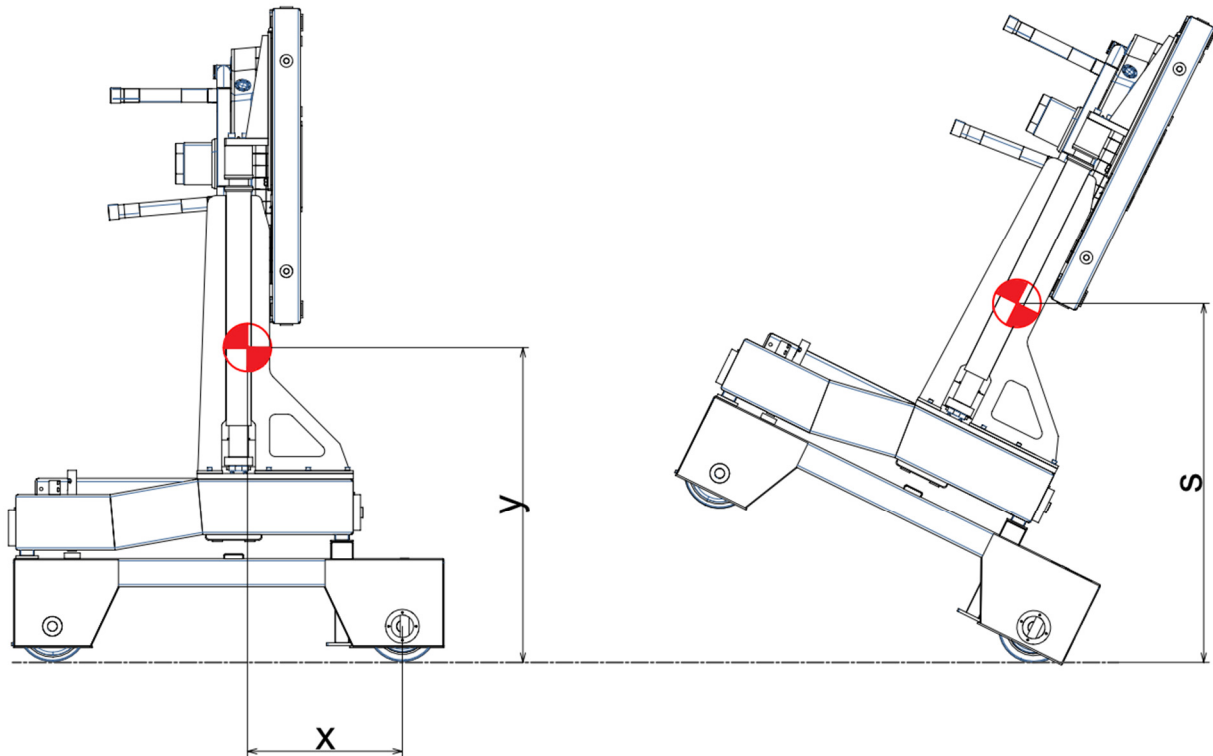
Bod *d* je řešen audiovizuálním signalizačním zařízením tak, aby bylo jasné, že manipulátor je v pohybu.

Bod *e* je řešen tím, že řídicí jednotky motorů jsou vybaveny nastavitelnou proudovou ochranou proti přetížení jak řídicí jednotky, tak motoru.

Bod *f* je řešen jednoduchým výpočtem na klopné momenty. Vychází s předpokladu, že vozík se pohybuje nějakou rychlostí (v tomto případě $v_{\text{kolo SV}}$) a má tedy kinetickou energii E_k . Pokud vozík najede do překážky a jeho rychlost bude nulová, transformuje se tato energie do změny polohové energie těžiště E_p . V běžném provozu je výška těžiště y (obrázek 87). Aby se vozík převrátil, musel by při zaseknutí o překážku dostat svoje těžiště přes výšku s , jak by vozík „rotoval“ kolem klopné hrany (v tomto případě přes přední kola).

Tabulka 23: Vzdálenosti při překlapaní

výška těžiště na podlahou	y	1118	mm
vzdálenost těžiště od klopné hrany	x	550	mm
hmotnost vozíku s panelem 12	$m_{\text{Man 12}}$	2150	kg



Obrázek 87: Klopení vozíku

Jako vstup do výpočtu poslouží maximální výška těžiště pro sestavu s panelem č. 12. Hodnoty pro výpočet jsou v tabulce 23. Nejprve se vypočte kinetická energie vozíku

$$E_k = \frac{1}{2} * m_{Man 12} * v_{kolo SV}^2 = \frac{1}{2} * 2150 * 0,131^2 = \mathbf{18,4 J}$$

Tato kinetická energie nesmí být větší než rozdíl polohových energií mezi stavem, kdy vozík jede a má těžiště v poloze y a kdy má těžiště v maximální poloze s při klopení.

$$\Delta E_p = E_{p 2} - E_{p 1} = m_{Man 12} * g * (s - y)$$

$$s = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{550^2 + 1118^2} = 1246 \text{ mm}$$

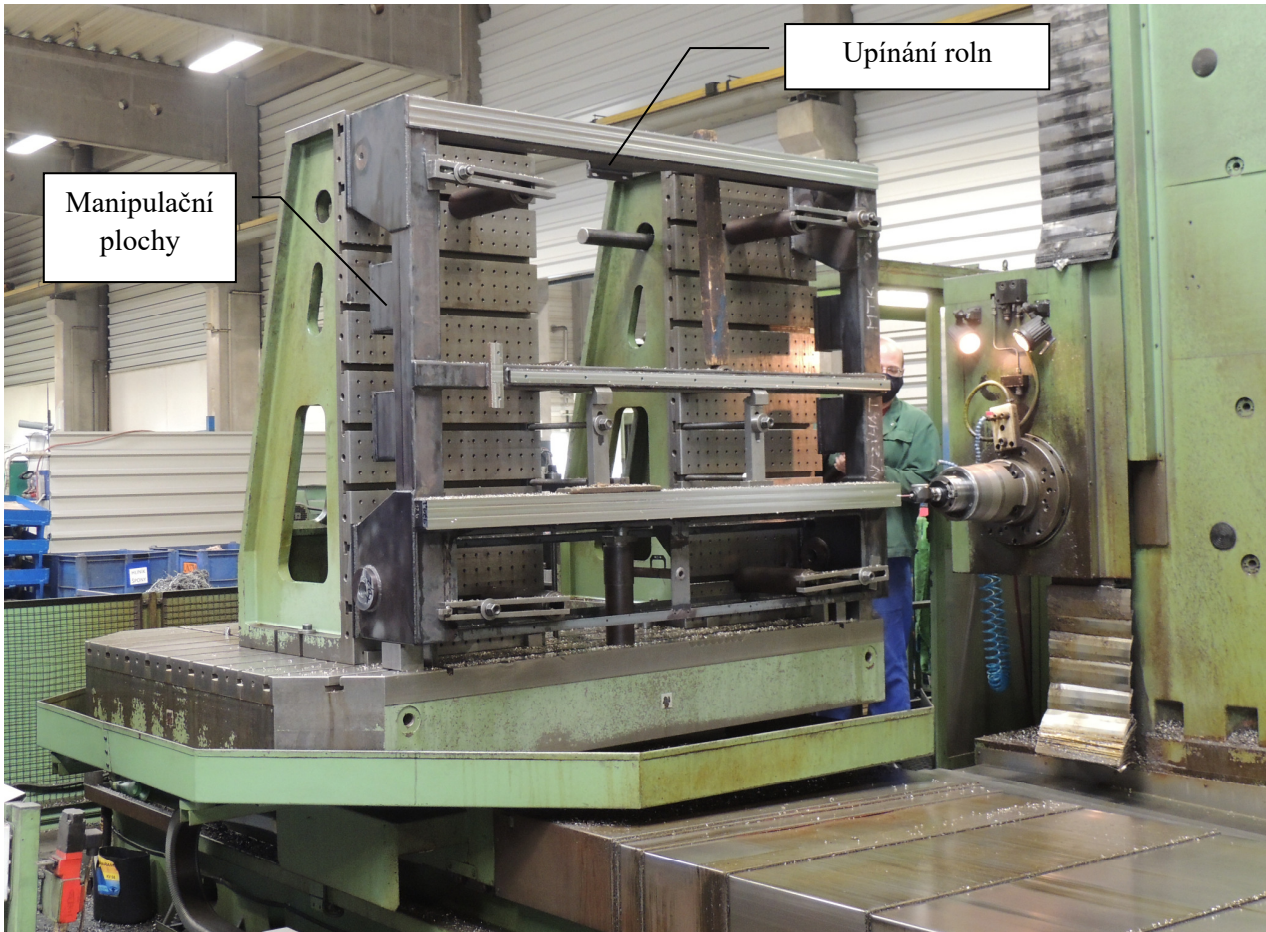
$$\Delta E_p = 2150 * 9,81 * (1,246 - 1,118) = \mathbf{2700 J}$$

Podmínka že $E_k < \Delta E_p$ je splněna několikanásobně a lze tak o vozíku prohlásit, že je stabilní.

7 Výroba

Výrobu prováděla firma MTK Bohemia s.r.o. Ta si zadala obrábění rámu horního a spodního vozíku u firmy MDS Engineering k.s v Plzni. Obrábění obou rámu prováděla na horizontální vyvrtávače TOS Varndsdorf WHN 130.

7.1 Spodní vozík

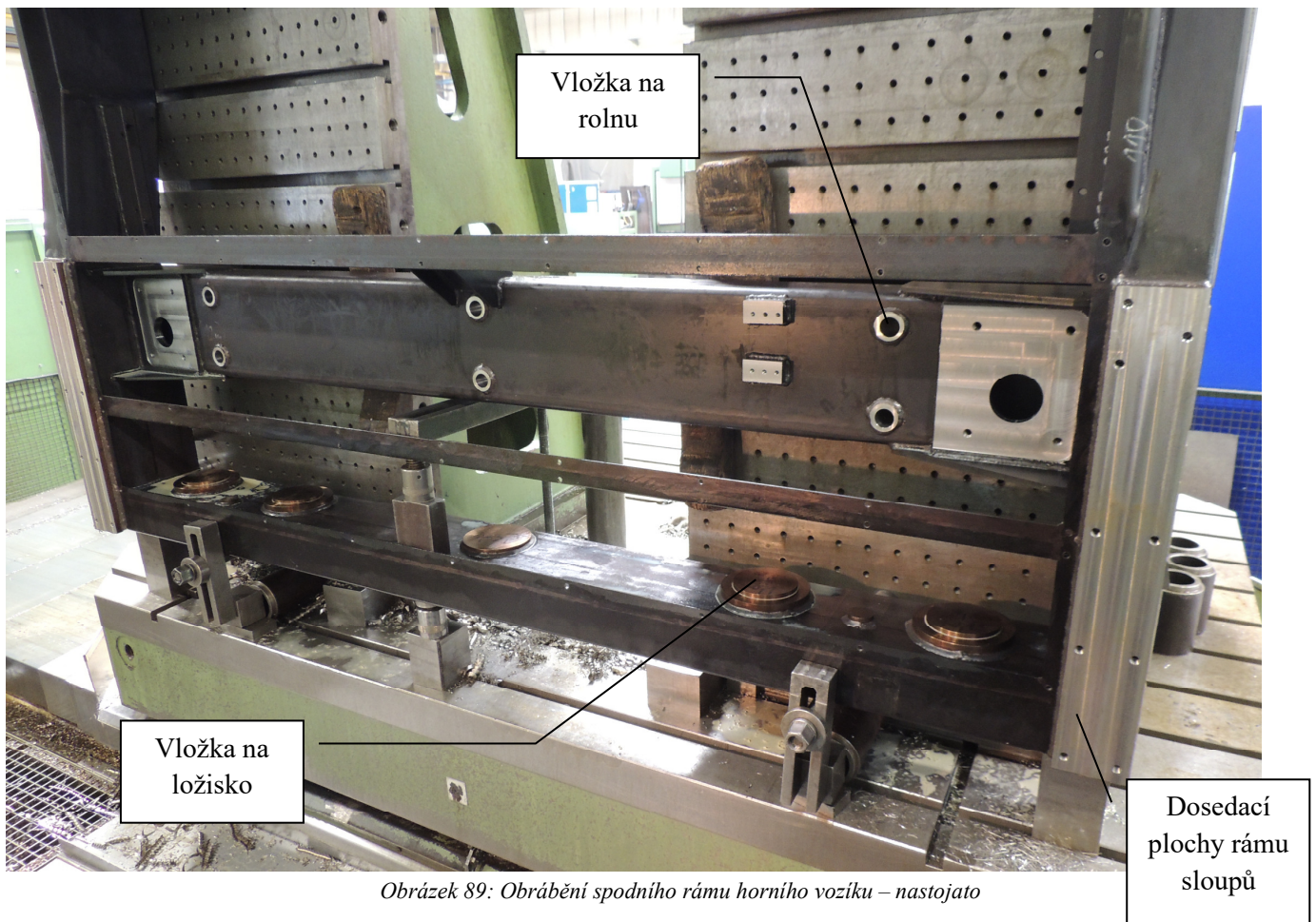


Obrázek 88: Obrábění rámu spodního vozíku

Rám spodního vozíku byl nejdříve svařen z konstrukční oceli S235J2 a nerezové oceli 1.4301 (AISI 304 zast.). Poté byl teplotně zpracován žháním na odstranění pnutí. V důsledku výrobních nepřesností při svařování a teplotního zpracování došlo k rozměrovým změnám. Kvůli tomu musela být plocha, kam přijde mechanismus roln, posunuta do mínusu o 3mm (směrem nahoru). Tento rozdíl oproti výrobní dokumentaci bude při montáži kompenzován výpalkem z plechu stejné tloušťky jako je mezera.

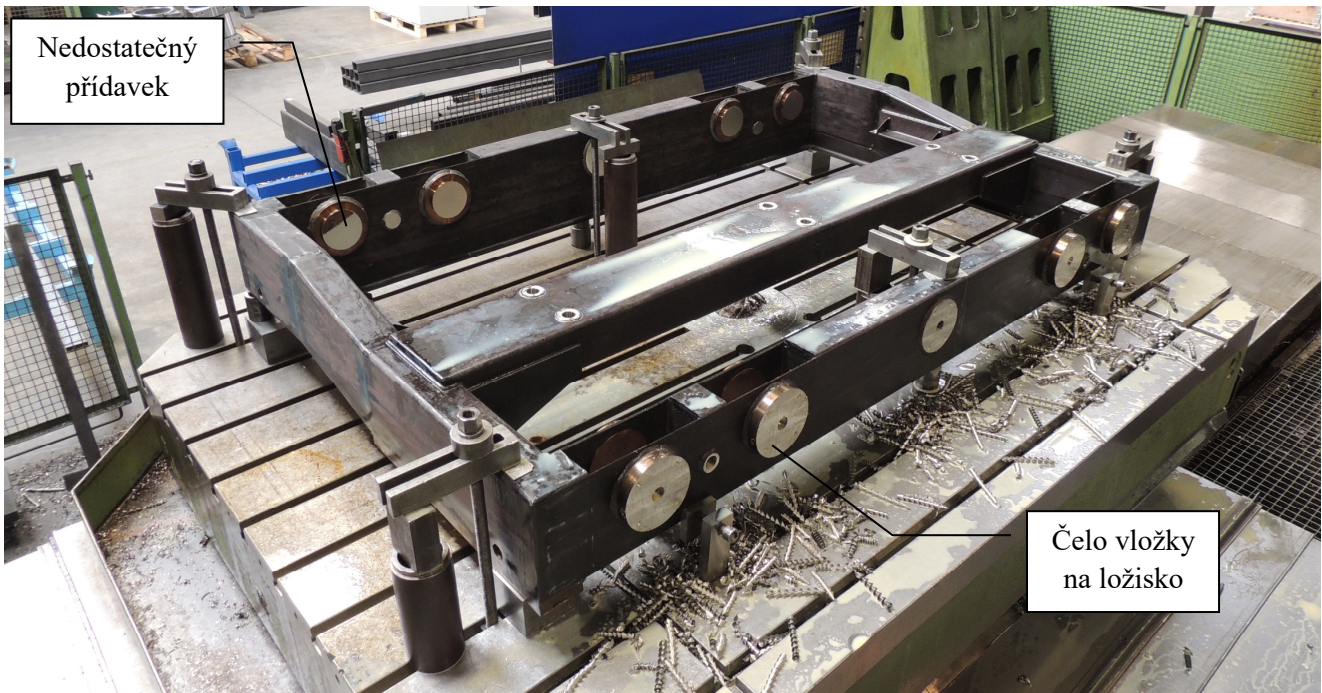
Další změnou oproti původnímu návrhu jsou manipulační body pro vidlice vysokozdvížného vozíku. Tento požadavek vyvstal těsně před tepelným zpracováním. Byly proto urychleně zhotoveny výpalky požadovaných tvarů a dovařeny na vozík. Po následném tepelném zpracování byl rám obroben (obrázek 88). Po obrobení se k prostoru kolem elektrovýbroje přivaří krycí plech tloušťky 1mm.

7.2 Horní vozík

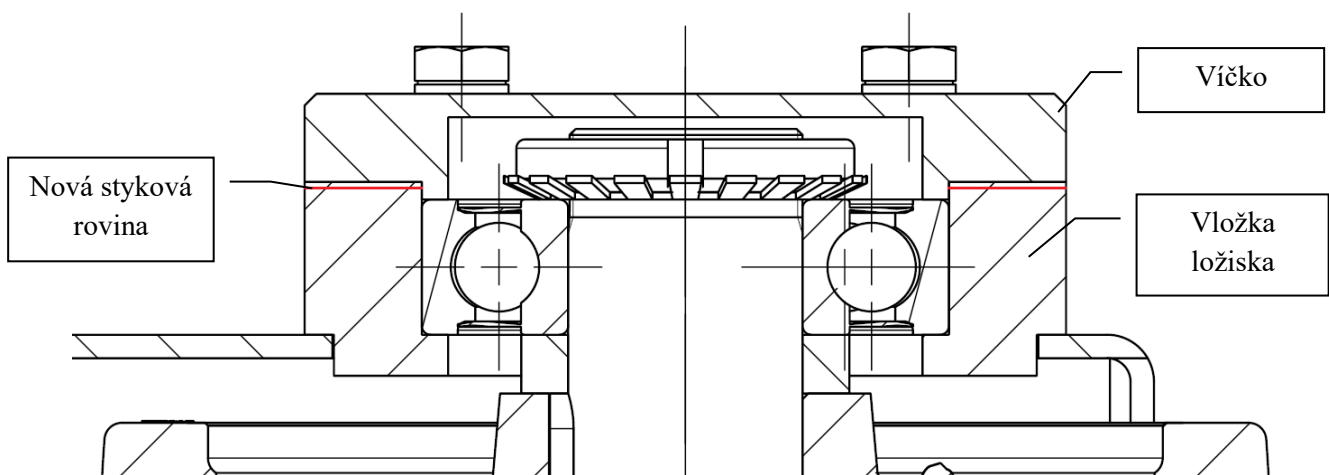


Obrázek 89: Obrábění spodního rámu horního vozíku – nastojato

Rám horního vozíku byl stejně tak jako rám spodního vozíku nejdříve svařen z polotovaru z konstrukční oceli S235 J2 a nerezové oceli 1.4301 (AISI 304 zast.). Následně byl vyžihán. Po žihání byl poslán na obrobení. Šlo o tvarově složitou součást, a tak byl rám upnut třikrát. Na obrázku 89 je vidět první upnutí. V této pozici se rám upnul spodní stranou k úhelníku připevněnému na otočném stole. Byly opracovány všechny díry vertikálního směru v rámu a plochy na tento směr kolmé. Při druhém upnutí se rám přiložil k úhelníku obráceně (dosedací plochou rámu sloupů). V této pozici byly obrobena vnitřní plochy vložek pro ložiska a spodní čela vložek na rolny. V posledním upnutí byl rám uchycen rovnou na otočný stůl (obrázek 90). Zde byly opracovány hlavně díry ložiskových vložek (pouzder). Při předchozích operacích bylo zjištěno, že při obrábění samotných vložek na ložiska nebyl nechán téměř žádný přídavek na čelech. Na vnitřní straně to nebyl problém, neboť se nejednalo o funkční plochu. Na obrázku 90 je vidět „mapa“ po obrábění bez potřebného přídavku. U vnějších stran byla nutnost mít čelo kolmé s požadovanou drsností, protože k němu má být přimontováno víčko, které stahuje ložisko. Bylo rozhodnuto, že čelo vnější vložky se posune o 1mm směrem do středu vozíku. Při tom byla upravena výkresová dokumentace pro víčko, které ještě nebylo obrobeno. Zmíněná změna je patrná na obrázku 91, kde je červeně neznačená nová styková plocha vložky a víčka.



Obrázek 90: Obrábění spodního rámu horního vozíku – naležato

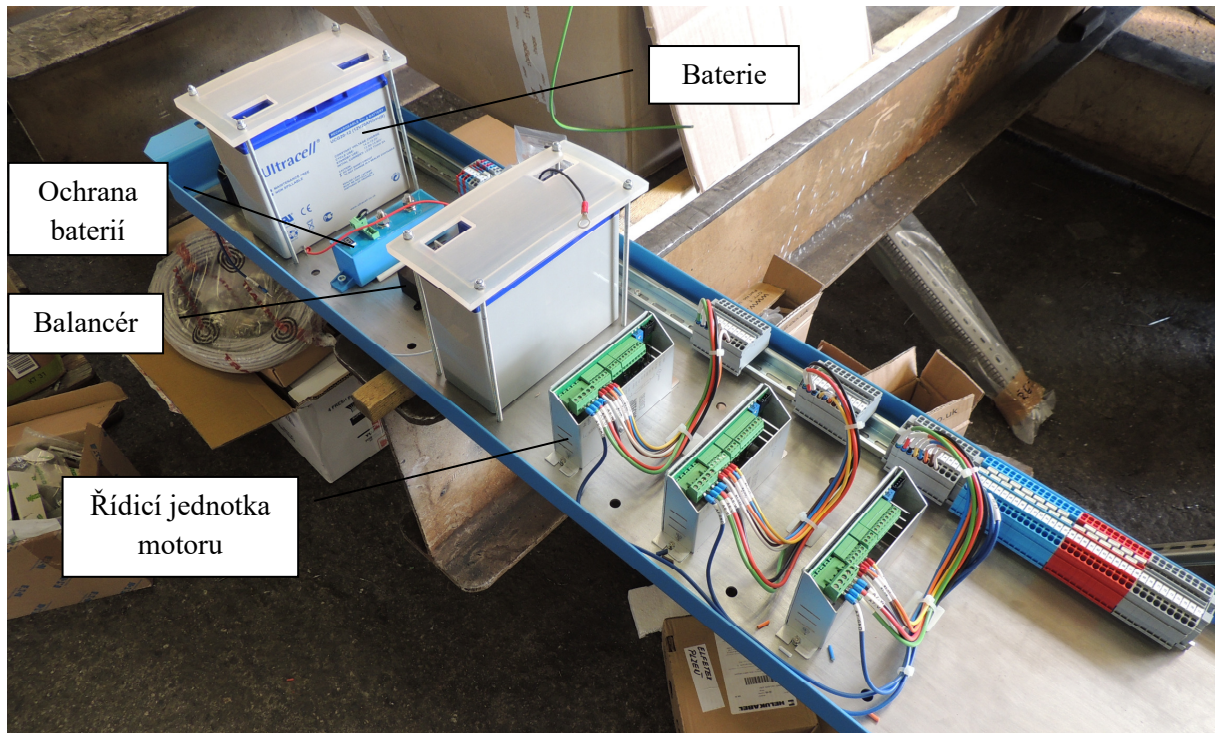


Obrázek 91: Obrábění spodního rámu horního vozíku - korekce

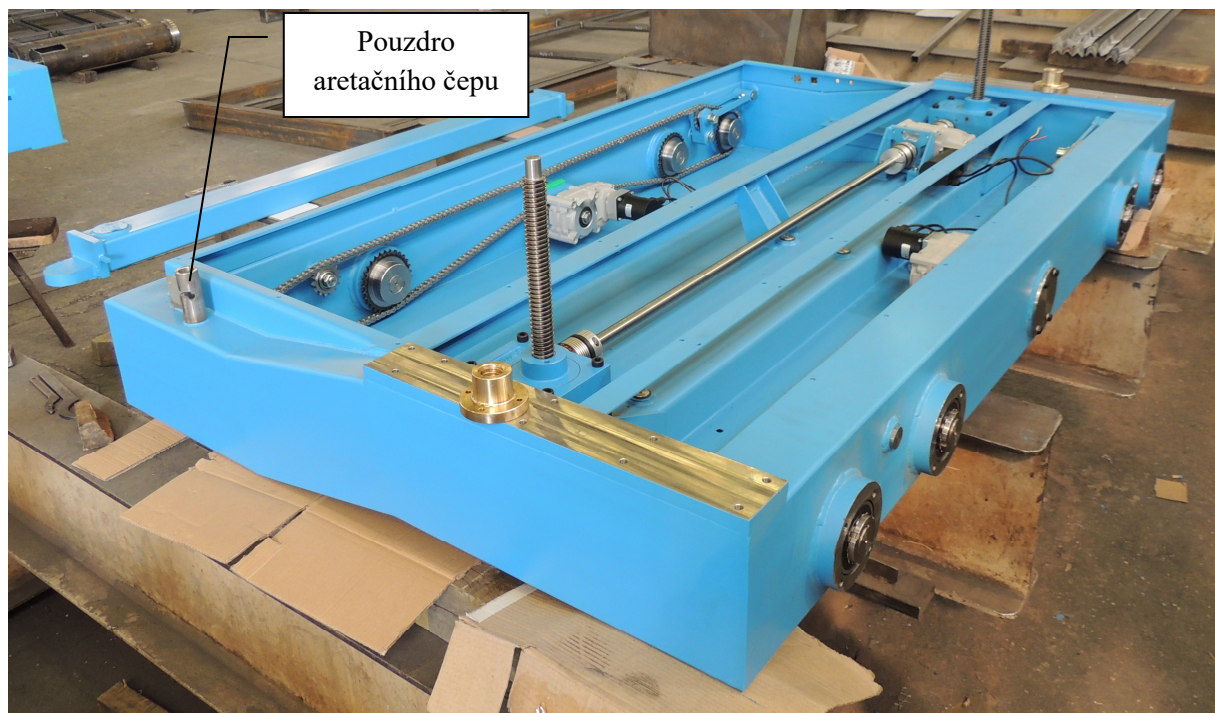
7.3 Montáž

Montáž proběhla v závodě firmy MTK Bohemia s.r.o. Tato firma zajistila montáž mechanické části manipulátoru. O elektrickou část montáže se postarali pracovníci elektrokonstrukce CVŘ. Na obrázku 92 je vidět průběh instalování elektronických komponent (baterie, ochrany baterií, balancér, řídicí jednotky motorů a svorkovnice).

Při mechanické montáži se občas vyskytly chyby, ať již na straně návrhu nebo výroby. Všechny tyto nedostatky bylo možné vyřešit zámečnickými úpravami nebo drobnými změnami při obrábění. Například na obrázku 93 je vidět rám horního vozíku, kde nebyl dodržen polotovar pro pouzdro aretačního čepu. Místo trubky tloušťky 5mm byla použita tloušťka stěny 6,5mm. Kvůli tomu se aretační čep nevešel do otvoru pouzdra. Po malém zmenšení průměru aretačního čepu již vše správně fungovalo.



Obrázek 92: Elektroinstalace



Obrázek 93: Mechanická montáž

V době dopsání diplomové práce se manipulátor nacházel ve stavu, kdy bylo třeba jen domontovat elektroprůchodky, vysílač a přišroubovat rám panelu. Tato podoba je vidět na obrázku 94.



Obrázek 94: Sestava spodního a horního vozíku

8 Závěr

Zadáním této práce bylo navrhnout manipulátor pro zavážení panelu první stěny fúzního reaktoru do testovacího zařízení HELCZA. Tento úkol začíná rozpracováním koncepčního schématu a pokračuje přes konečný návrh až po kontrolu výroby.

V teoretické části byla popsána fúzní energetika. Na začátku byl vysvětlen fyzikální princip termonukleární fúze včetně rovnic pro různé typy fúzních reakcí. Poté byly popsány dva typy stavby fúzních reaktorů včetně jejich funkčních principů. Byl uveden příklad již fungujících reaktorů a popsán nově vznikající projekt ITER ve francouzském Cadarache včetně společností F4E, která zodpovídá za projekt ITER v Evropě.

V pokračování teoretické části je popsáno zařízení HELCZA, jeho umístění, účel a výkonové parametry. Stručně byl popsán test panelu první stěny.

Ve třetí kapitole byly popsány první prototypy panelu první stěny. Panely byly popsány jak z materiálového hlediska, kde jsou popsány materiály i způsob výroby, tak z geometrického hlediska, kde jsou ukázány v řezu chladicí kanály a vnitřní otvory na demineralizovanou vodu. Dále byly popsány i montážní body panelu a jeho usazení v zařízení HELCZA. Důležitou otázkou je hledisko kontaminace, které bylo popsáno i s možnými zdravotními potížemi. Na konci této kapitoly byla popsána cesta manipulátoru v testovacím zařízení.

Před samotným konstrukčním návrhem byly sepsány požadavky na manipulátor. Ať již z hlediska geometrie panelu a chodeb, tak z hlediska zatížení nebo korozních podmínek.

V praktické části byl rozpracován každý konstrukční podcelek manipulátoru, kde byly dodefinovány požadavky a detailně rozebrány jednotlivé části. Byly provedeny analytické a MKP výpočty. Jako první byl rozpracován rám panelu, poté zdvihací mechanismus včetně zdvižných převodovek, příčníku a rámu sloupů. Poté návrh pokračuje u spodního rámu horního vozíku, kde byl vypočten konečnoprvkovou metodou samotný rám a příruba převodovky. Následuje výpočet pohonu a se všemi výstupy z předchozích výpočtů analytické vypočtení hřídele kola a ložisek. Návrh pokračuje na spodním vozíku, kde byla nejdříve popsána stavba a poté proběhly výpočty MKP a analytické a MKP výpočty os a hřídelů. V další kapitole byla popsána povrchová úprava manipulátoru včetně vizualizace budoucí podoby. Následující část popisuje elektroniku včetně jejího upevnění v horním vozíku a simulaci elektronické desky. Následuje popsání bezpečnosti, kde jsou vybraná pravidla, kterými by se měl návrh manipulátoru řídit a prvky, kterými je těchto bezpečnostních aspektů dosaženo. V další kapitole byla popsána výroba od obrábění velkých svařenců až po montáž mechanické a elektronické části manipulátoru.

Výsledkem této diplomové práce je konstrukční návrh manipulátoru panelu první stěny fúzního reaktoru. V průběhu byla konzultována výkresová dokumentace, obrábění a montáž. Manipulátor je v době odevzdání diplomové práce v téměř dokončeném stavu.

V budoucnu by měl návrh pokračovat nosnými rámy i jiných panelů než je FW 12. Pro ty v současné době ještě nejsou informace.

Citovaná literatura

1. Termonukleární fúze. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 13. 11 2019.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Termonukle%C3%A1rn%C3%AD_f%C3%BAze.
2. Researchgate. [Online] [Citace: 13. 11 2019.] https://www.researchgate.net/publication/228900926_Fusion_Power_Plant_Studies_in_Europe/figures?lo=1.
3. ITER Wiki. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 13. 11 2019.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/ITER>.
4. Základy fúzní energetiky V. – Výroba elektřiny. *energetika.tzbinfo*. [Online] [Citace: 13. 11 2019.] <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/14704-zaklady-fuzni-energetiky-v-vyroba-elektriny>.
5. Inerciální udržení. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 13. 11 2019.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Inerci%C3%A1ln%C3%AD_udr%C5%BEen%C3%AD.
6. Questions. *Physics*. [Online] [Citace: 13. 11 2019.] <https://physics.stackexchange.com/questions/333151/how-many-times-does-plasma-do-a-full-loop-tokamak-before-fusion>.
7. Tokamak. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 13. 11 2019.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tokamak>.
8. ITER Facebook. *Facebook*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] <https://www.facebook.com/ITEROrganization/photos/a.55651089706/10155516328739707/?type=3&theater>.
9. ITER. *ITER members*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] <https://www.iter.org/proj/Countries>.
10. F4E Wiki. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] https://en.wikipedia.org/wiki/Fusion_for_Energy.
11. Zprávy. *Český rozhlas Plzeň*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] <https://plzen.rozhlas.cz/plzen-ma-jedno-z-nejmodernejsich-vyzkumnych-pracovist-pro-energetiku-ve-stredni-6715280>.
12. *Soletanchefreyssinet*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] <http://www.soletanchefreyssinet.com/realisation/helcza-complex-plzen/nuvia-helcza-2/>.
13. Nuvia - Test maximálního výkonu děla. *Nuvia*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] <https://nuvia.cz/cs/aktuality/331-projekt-helcza---test-maximalniho-vykonu-dela>.
14. DESIGN AND FABRICATION DESIGN AND FABRICATION. *F4E*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] https://industryportal.f4e.europa.eu/Lists/News/Attachments/96/design%20and%20fabrication%20of%20ITER%20FW%20panels_April%202011.pdf.
15. F4E signs contract. *F4E*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] <https://fusionforenergy.europa.eu/mediacorner/newsview.aspx?content=809>.

16. *Semanticscholar*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] <https://pdfs.semanticscholar.org/c435/20d1d7effd458ffdb94fa014980eb03e93c1.pdf>.
17. Fabricating ITER's first wall. *Nuclear engineering*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] <https://www.neimagazine.com/features/featurefabricating-iters-first-wall-4551656/featurefabricating-iters-first-wall-4551656-465439.html>.
18. Blanket first wall. *ITER*. [Online] [Citace: 16. 11 2019.] <https://www.iter.org/newsline/-/3345>.
19. Beryllium wiki. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 23. 11 2019.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Beryllium>.
20. II.A SKUPINA - KOVY ALKALICKÝCH ZEMIN. *Biotox*. [Online] [Citace: 23. 11 2019.] http://www.biotox.cz/toxikon/anorgan/ja_2a.php.
21. SKF.com. [Online] [Citace: 27. 02 2020.] <https://www.skf.com/binaries/327-120169/0901d19680090e01-SKF-bushings-thrust-washers-and-strips-1-EN.pdf>.
22. matis.cz. *MATIS*. [Online] [Citace: 27. 2 2020.] https://www.matis.cz/data/pdf/prevodovky_motory/094-152.pdf.
23. Trapezoidal Screw Jacks. *Unimec*. [Online] [Citace: 27. 2 2020.] <https://www.unimec.eu/en/products/trapezoidal-screw-jacks/306/TPR.html>.
24. NGV. *Neugart*. [Online] [Citace: 17. 04 2020.] <https://www.neugart.com/en/products/planetary-gearboxes-with-output-flange/ngv/>.
25. www.tyma.cz. *TYMA*. [Online] [Citace: 15. 3 2020.] <https://www.tyma.cz/files/doc/retezy-b.pdf>.
26. 5. Určení velikosti ložiska. *ZKL*. [Online] [Citace: 17. 03 2020.] <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/5-urceni-velikosti-loziska>.
27. SKF Bearing Select Version: 1.2.60. *SKF*. [Online] [Citace: 17. 03 2020.] <https://www.skfbearingselect.com/#/one-or-two>.
28. RAL Blue hues. *Ralcolorchart*. [Online] [Citace: 27. 03 2020.] <https://www.ralcolorchart.com/ral-classic/blue-hues>.
29. Přepínače panelové standardní 22mm. *tme.eu*. [Online] 28. 03 2020. https://www.tme.eu/cz/katalog/prepinace-panelove-standardni-22mm_113051/?art=M22-PVT&page=27.
30. Koncové spínače řady 14CE. *tme.eu*. [Online] 28. 03 2020. https://www.tme.eu/html/CZ/koncove-spinace-rady-14ce/ramka_7679_CZ_pelny.html#.
31. Manipulační vozíky. *Guard7*. [Online] [Citace: 26. 03 2020.] <https://www.guard7.cz/lexikon/manipulacni-voziky>.

Seznam příloh

Vevázaných

Příloha č.1 – Fotografie z výroby a montáže manipulátoru

Volně ložených

Příloha č.2 – Výrobní výkres 10.02.01.05_Priruba

Příloha č.3 – Výrobní výkres 10.02.01.06_Hridel

Příloha č.4 – Výkres svařence 10.02.04.01_SLOUP_Svarek

Příloha č.5 – Výkres svařence 10.02.08_RAM_SLOUPU

Příloha č.6 – Výkres sestavy 10_MANIPULATOR

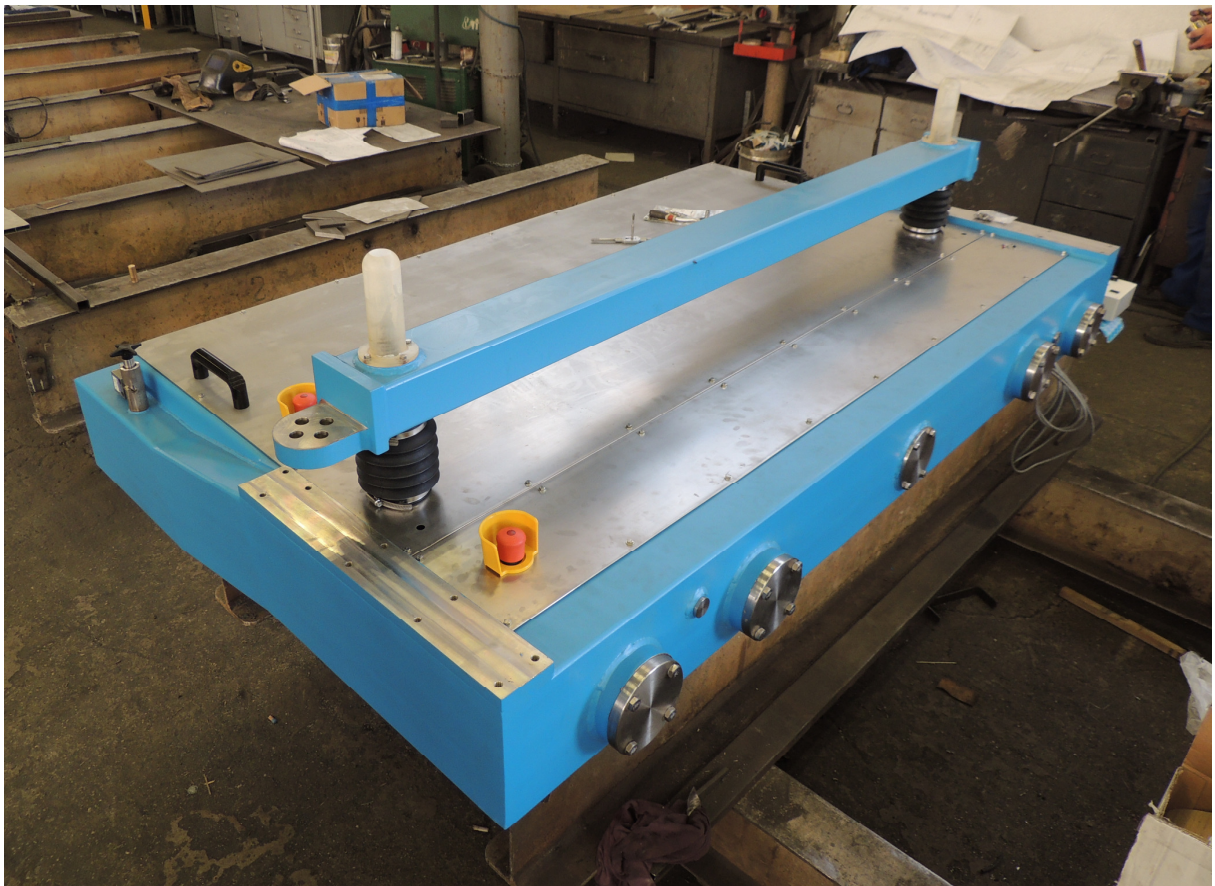
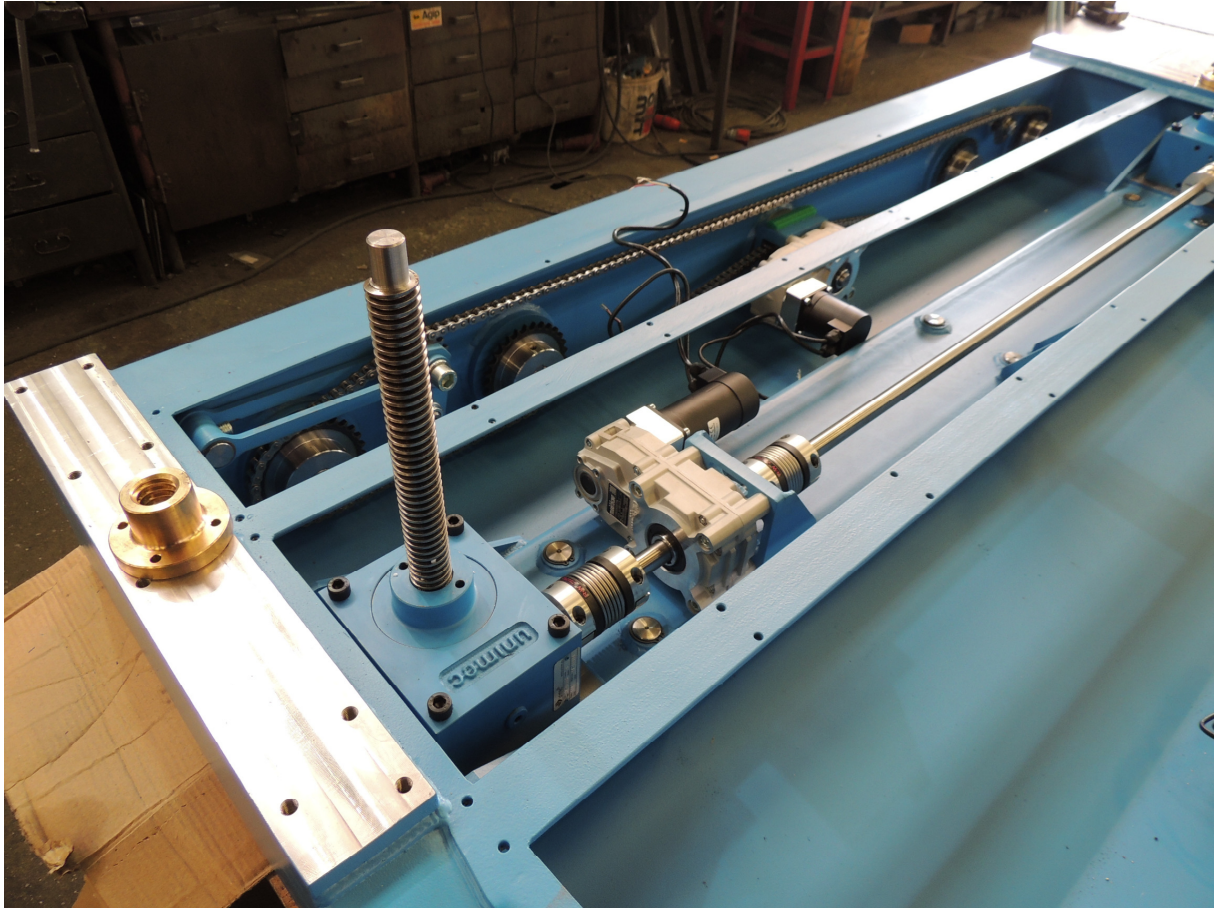
Příloha č. 1

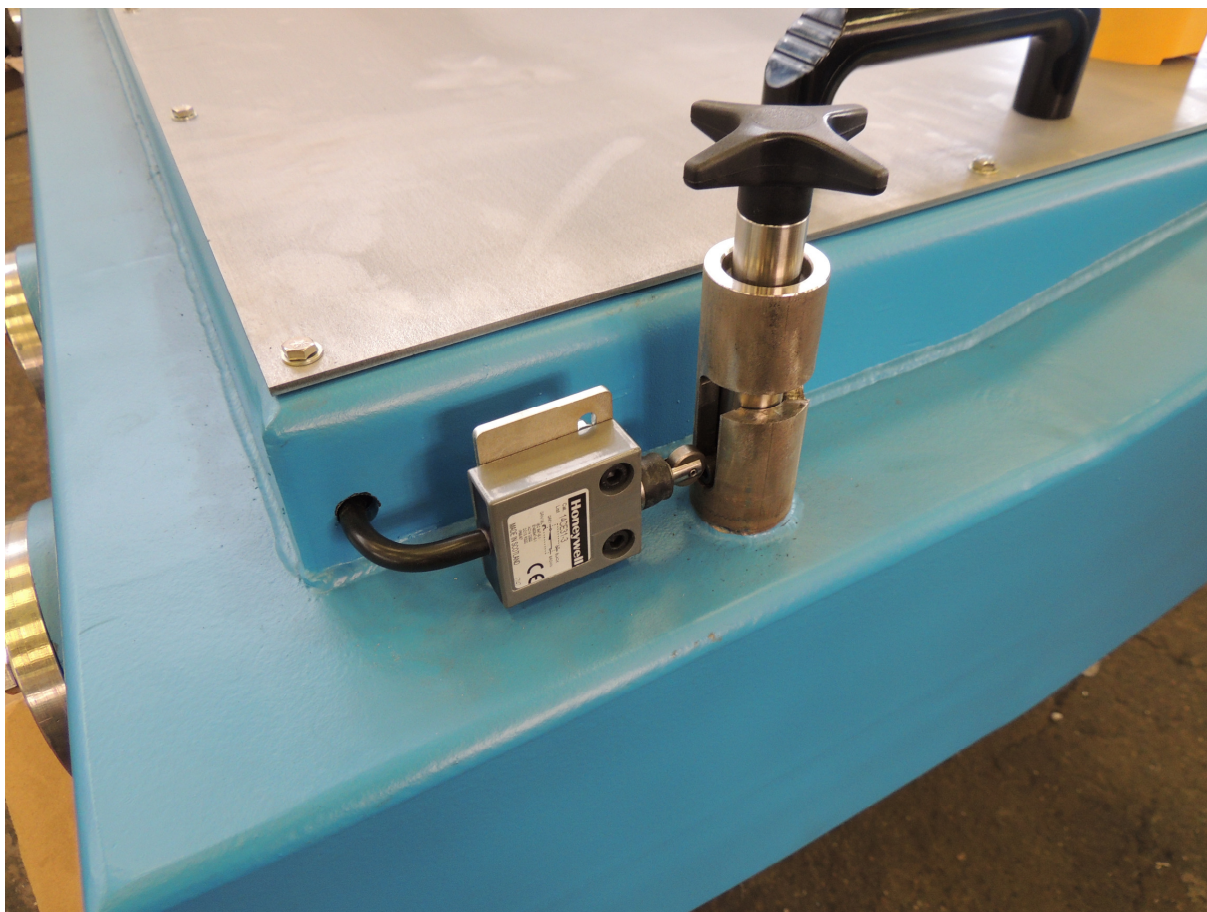
Fotografie z výroby a montáže manipulátoru





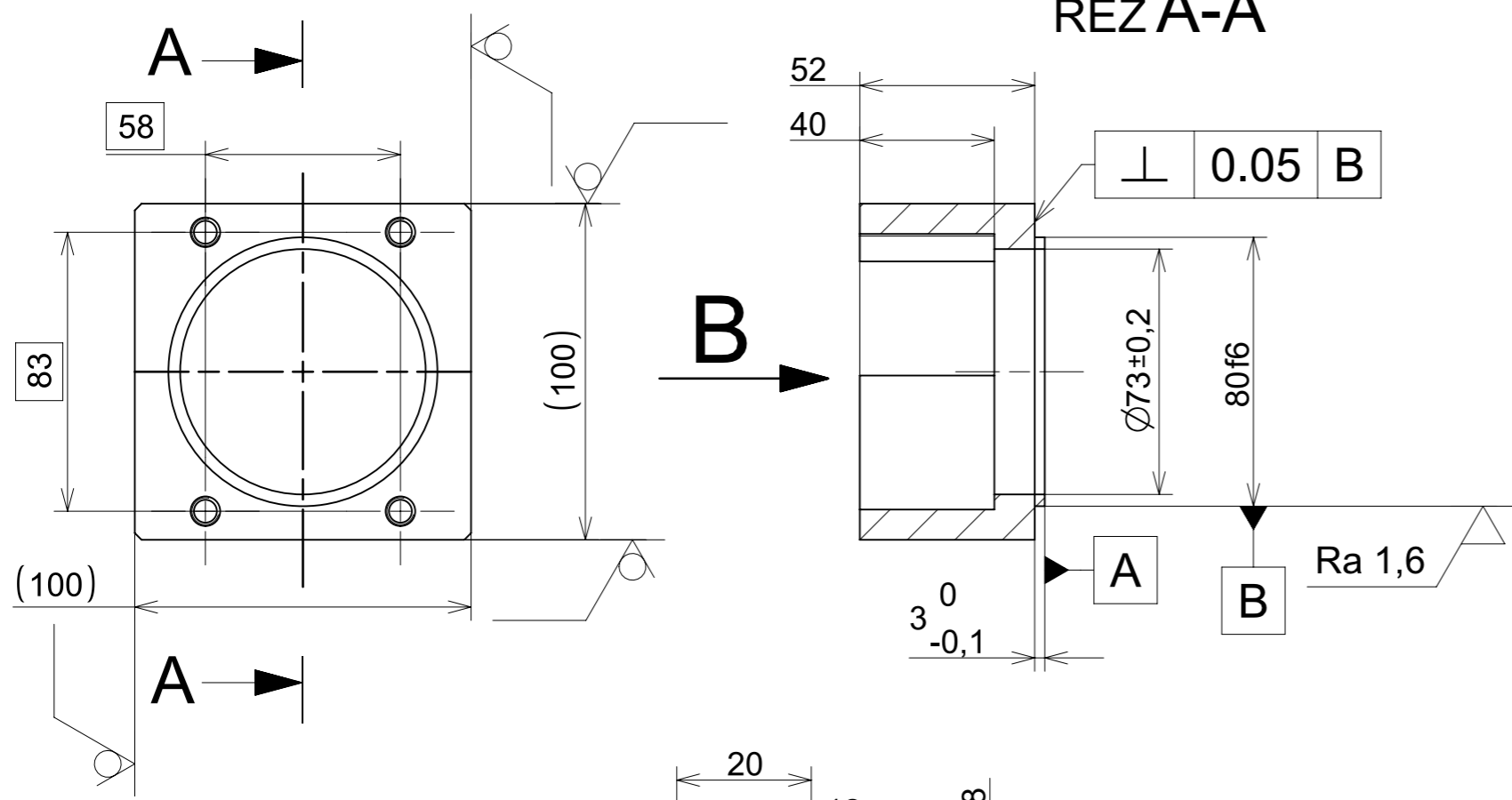




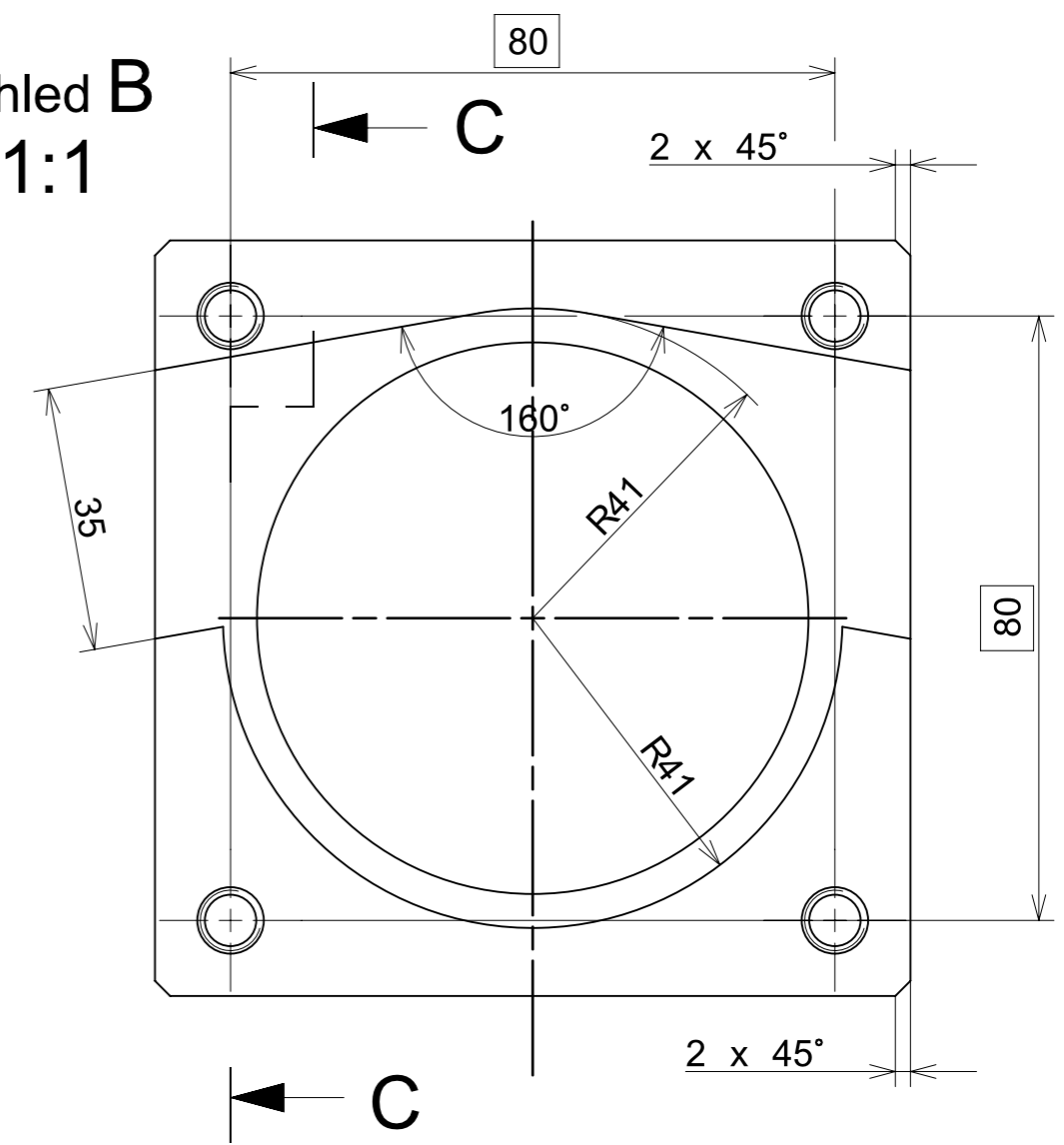




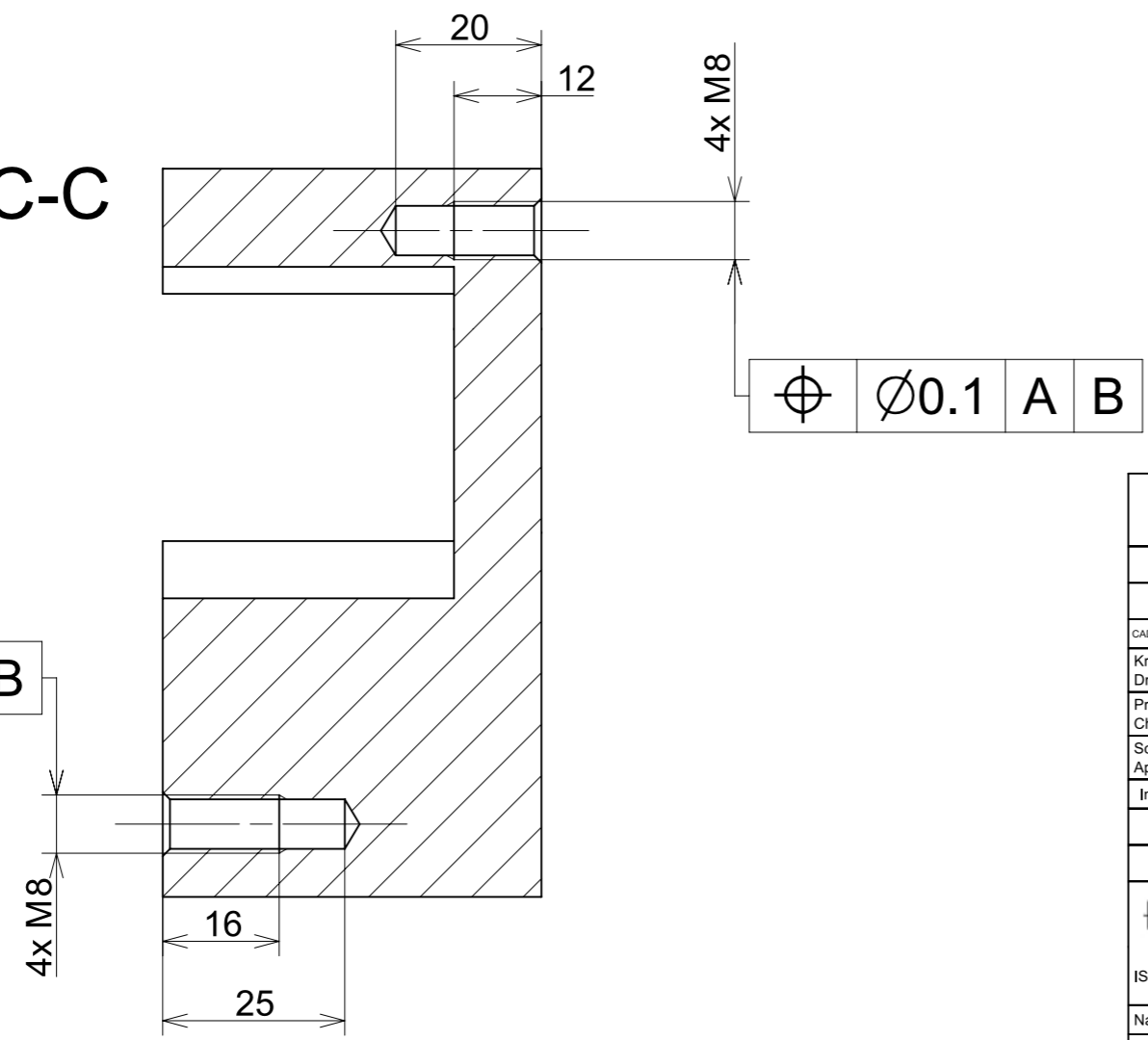
ŘEZ A-A



Pohled B 1:1



ŘEZ C-C



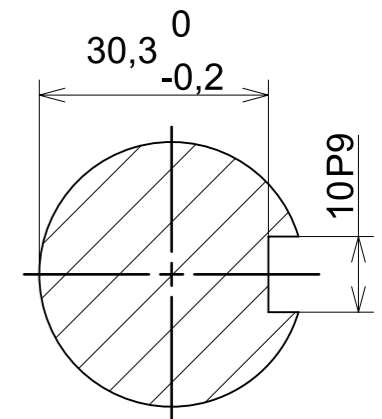
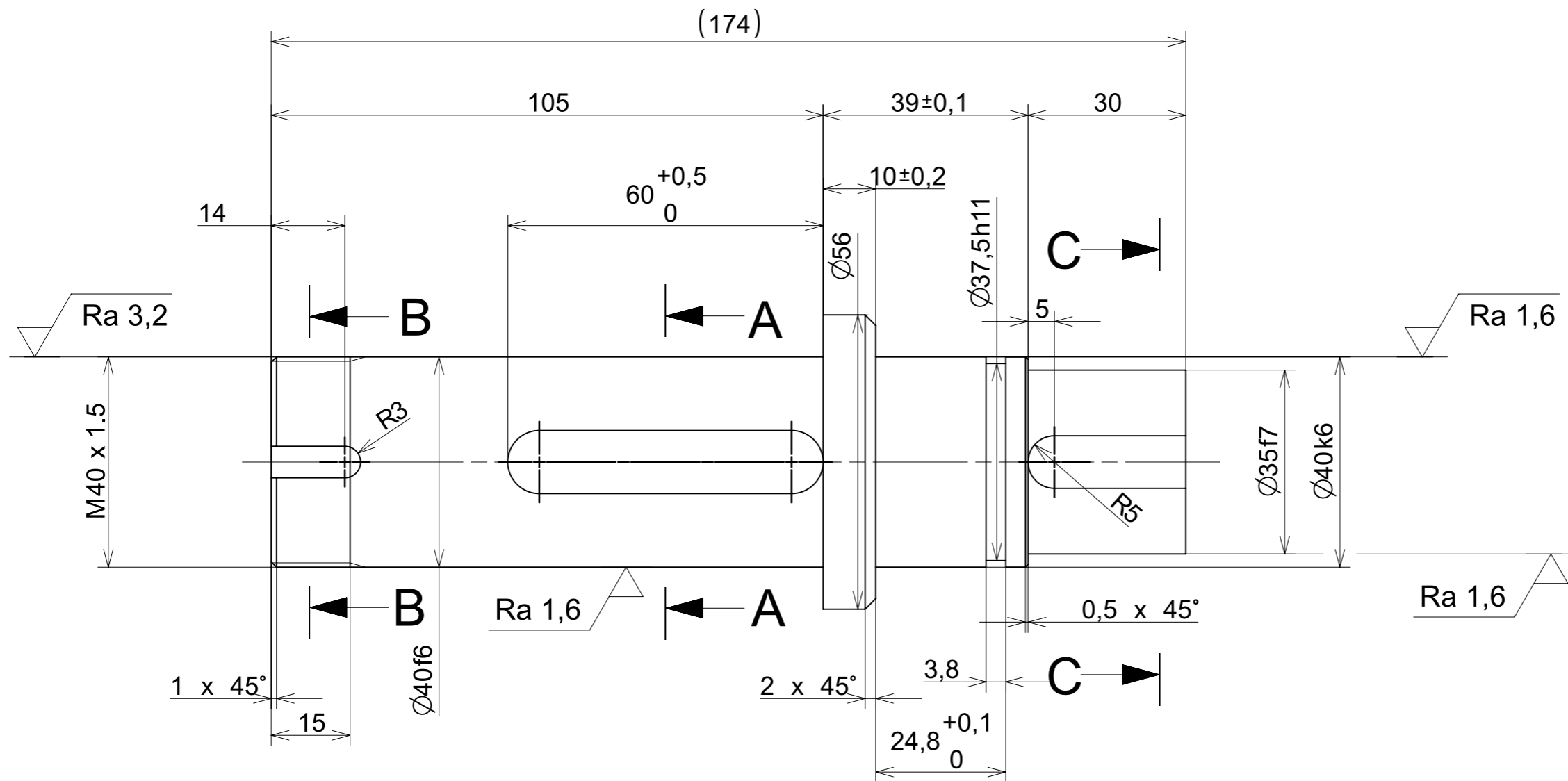
---	4HR 100-60	EN 10059	C45	---	1.6kg	---	---	-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name					
Kreslil / Drawn by	21.04.2020		Lukáš Kožíšek					
Prezkoušel / Checked by	---		---					
Schválil / Approved by	---		---					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
ISO 128	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file			Projekt / Project:	Meritko / Scale		
	ISO 8015 ISO 2768mK	10.02.01.05_Priruba_dwg			---	1:2		
Soubor-vykres / DRW-file				C.sestavy / Assembly No.		---		
10.02.01.05_Priruba_dwg				---		---		
Nazev / Title					Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.		Format
Priruba					0	10.02.01.05		A3
---				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets		1

⊕ Ø0.1 A B

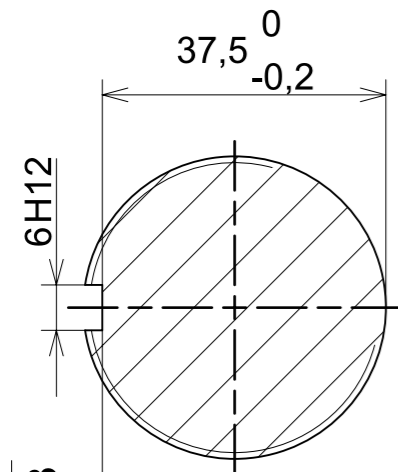
⊕ Ø0.1 A B

Ra 3,2 (√)

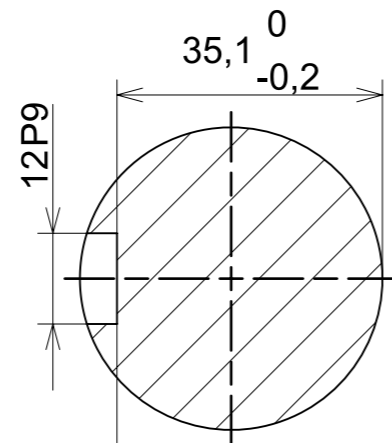
**FAKULTA STROJNI
ZAPADOCESTKE
UNIVERZITY
V PLZNI**
Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved



ŘEZ C-C



ŘEZ B-B



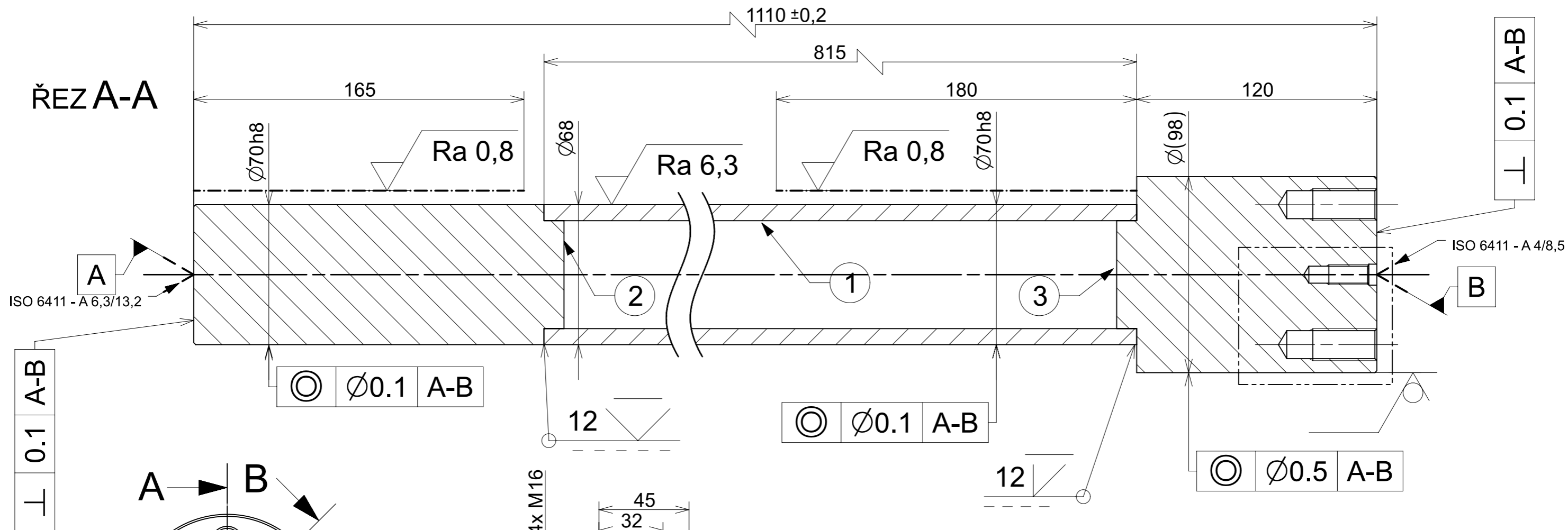
ŘEZ A-A

Ra 3,2 (✓)

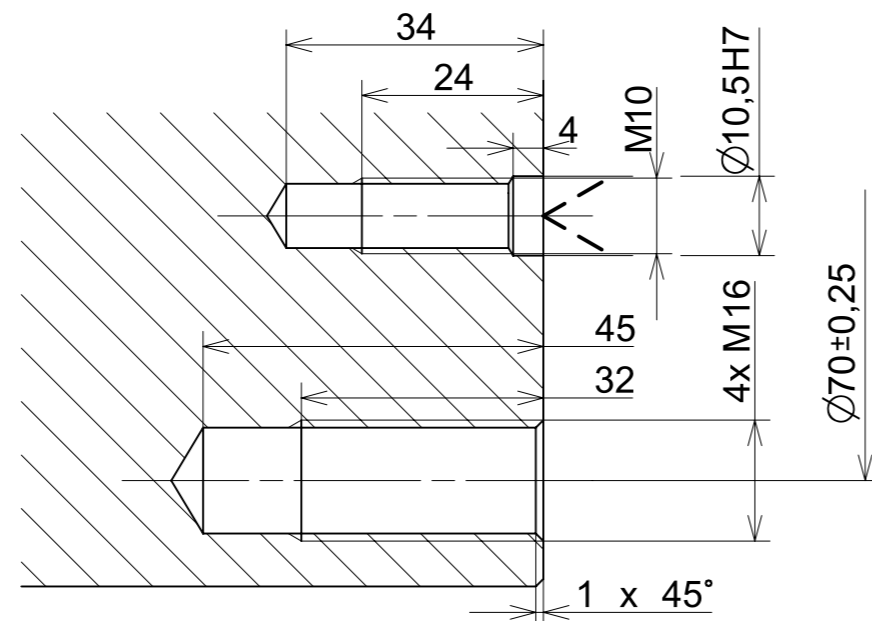
---	D60-180	EN 10060	1.4301	---	1.7 kg	---	---	-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name					
Kresil / Drawn by	20.04.2020		Lukáš Kožíšek					
Prezkoušel / Checked by	---		---					
Schválil / Approved by	---		---					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
ISO 128	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file			Projekt / Project:	---		Meritko / Scale
	ISO 8015 ISO 2768mK	10.02.01.06_Hridel_dwg			C.sestavy / Assembly No.	---		
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format
Hridel				0	10.02.01.06			A3
---				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets		1



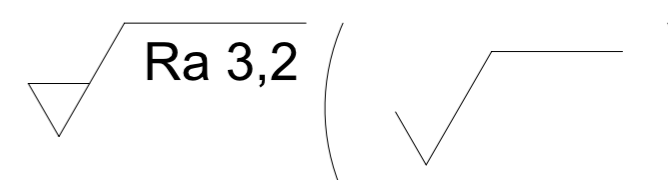
ŘEZ A-A



DETAIL C 1:1



ŘEZ B-B 45°



Základní tolerance svařence: EN ISO 13920 BE

Netolerované rozměry: ISO 2768 mK

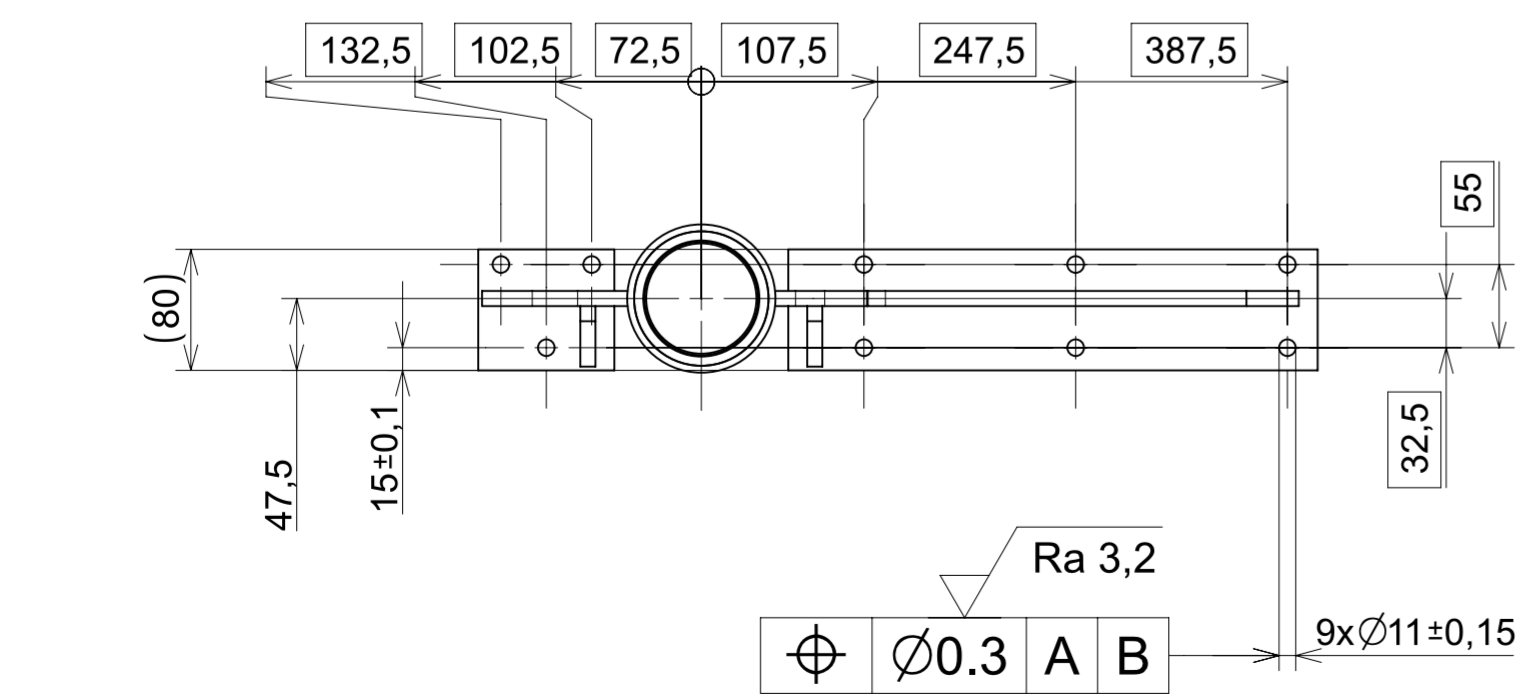
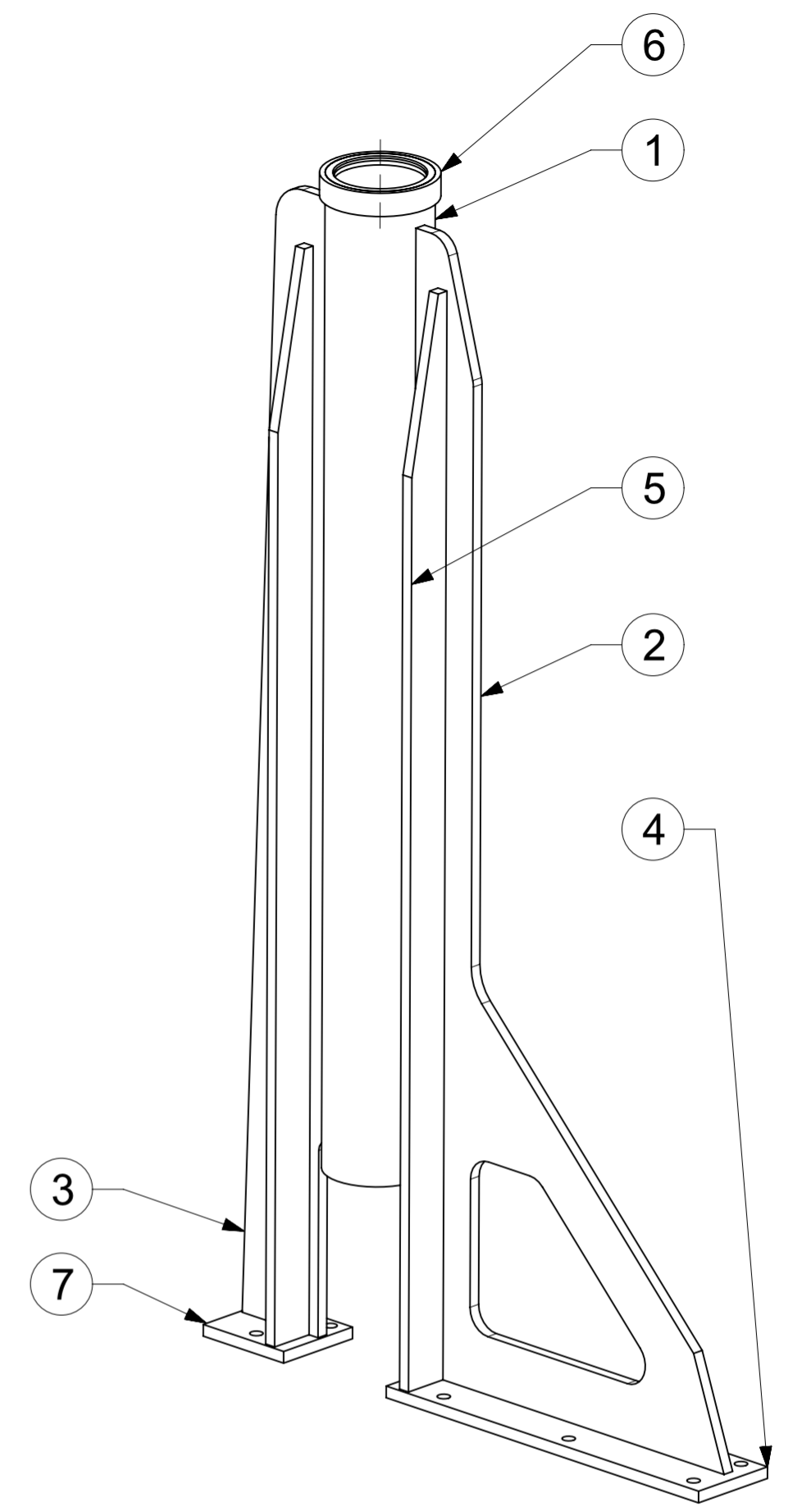
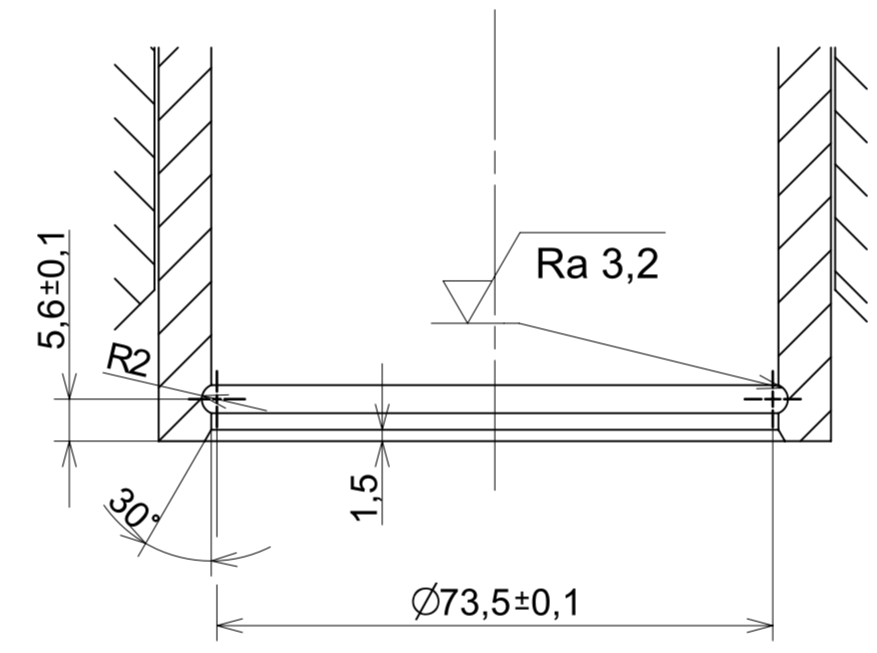
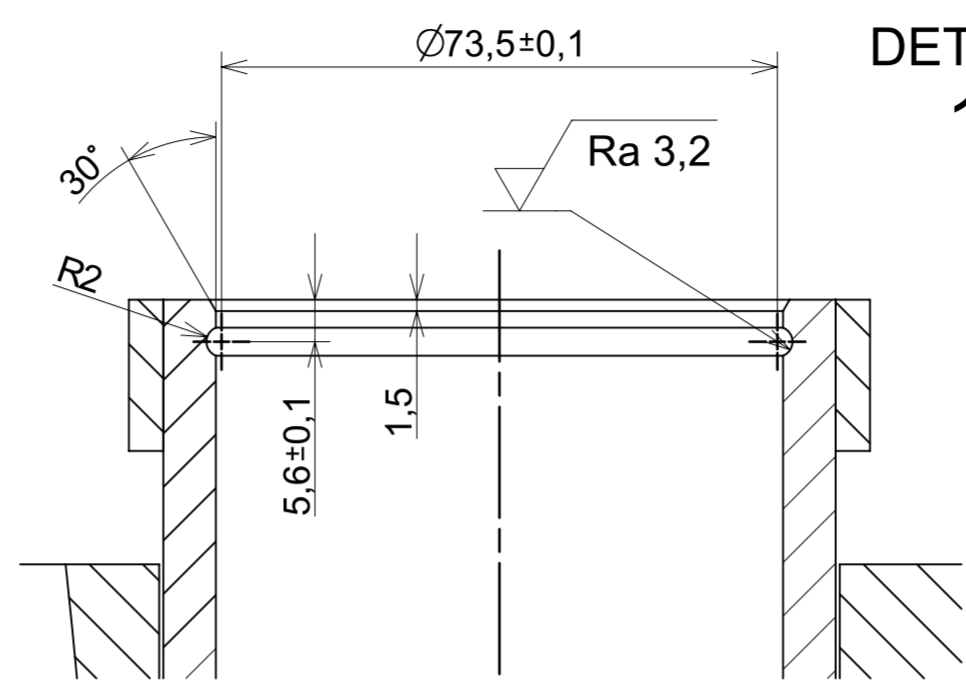
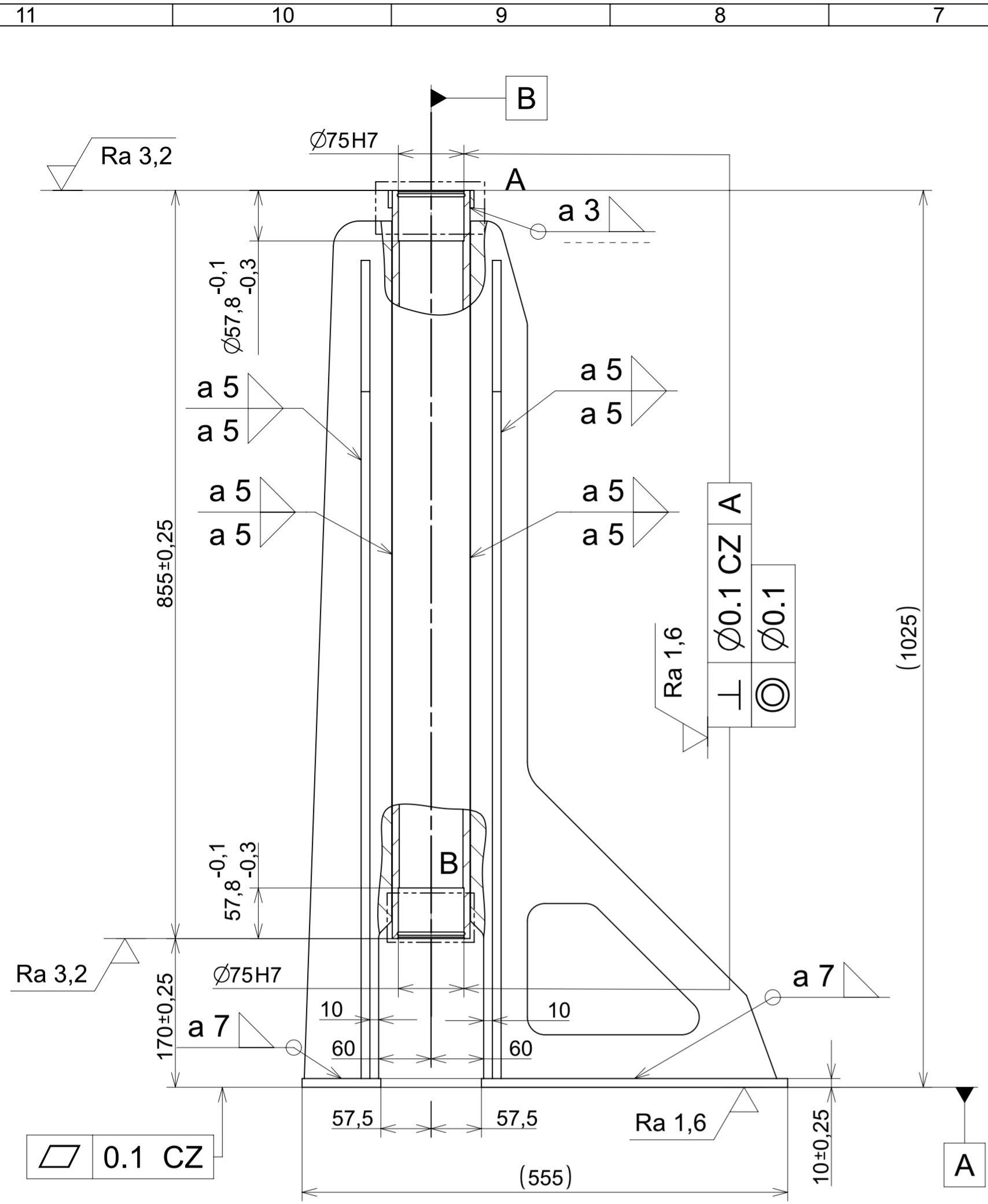
3	Priruba - D100 - 140	EN 10060	1.4301	7.1 kg	10.02.04.01.03	1		
2	Priruba - D75 -195	EN 10060	1.4301	5.3 kg	10.02.04.01.02	1		
1	Sloup - TR KR 75x12,5 -820	EN 10216-5	1.4301	10.0 kg	10.02.04.01.01	1		
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovary	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot	Hr.hmot	Cislo vykresu	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weight	Drawing No.	Quant.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name
Kresil / Drawn by	21.04.2020	Lukáš Kožíšek
Prezkoušel / Checked by	---	---
Schválil / Approved by	---	---



Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

ISO 128	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project:	Meritko / Scale
	ISO 8015 ISO 2768mK	10.02.04.01_SLOUP_Svarek_dwg	C.sestavy / Assembly No.	
Nazev / Title		Soubor-vykres / DRW-file	C.hmot.sestavy	1:2
Sloup		10.02.04.01_SLOUP_Svarek_dwg	22.4 kg	
Rev.			Cislo vykresu / Drawing No.	Format
0			10.02.04.01	
List / sheet no.			Pocet listu / sheets	A3
1			1	



Základní tolerance svařence: EN ISO 13920 BE

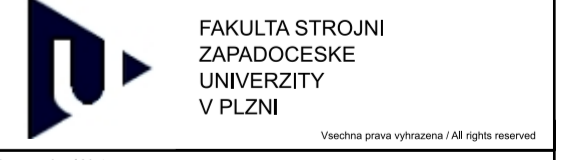
Netolerované rozměry: ISO 2768 mK

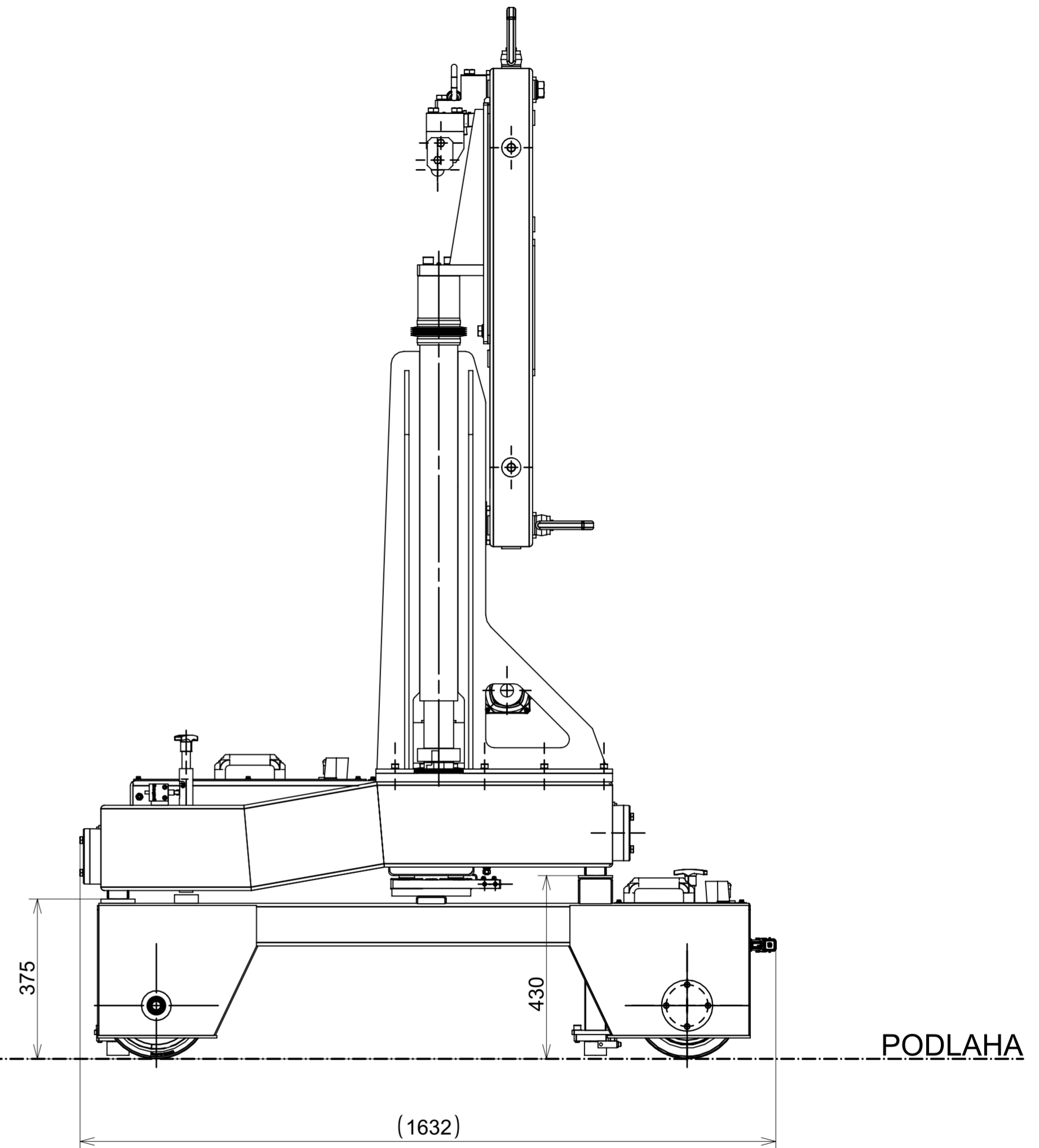
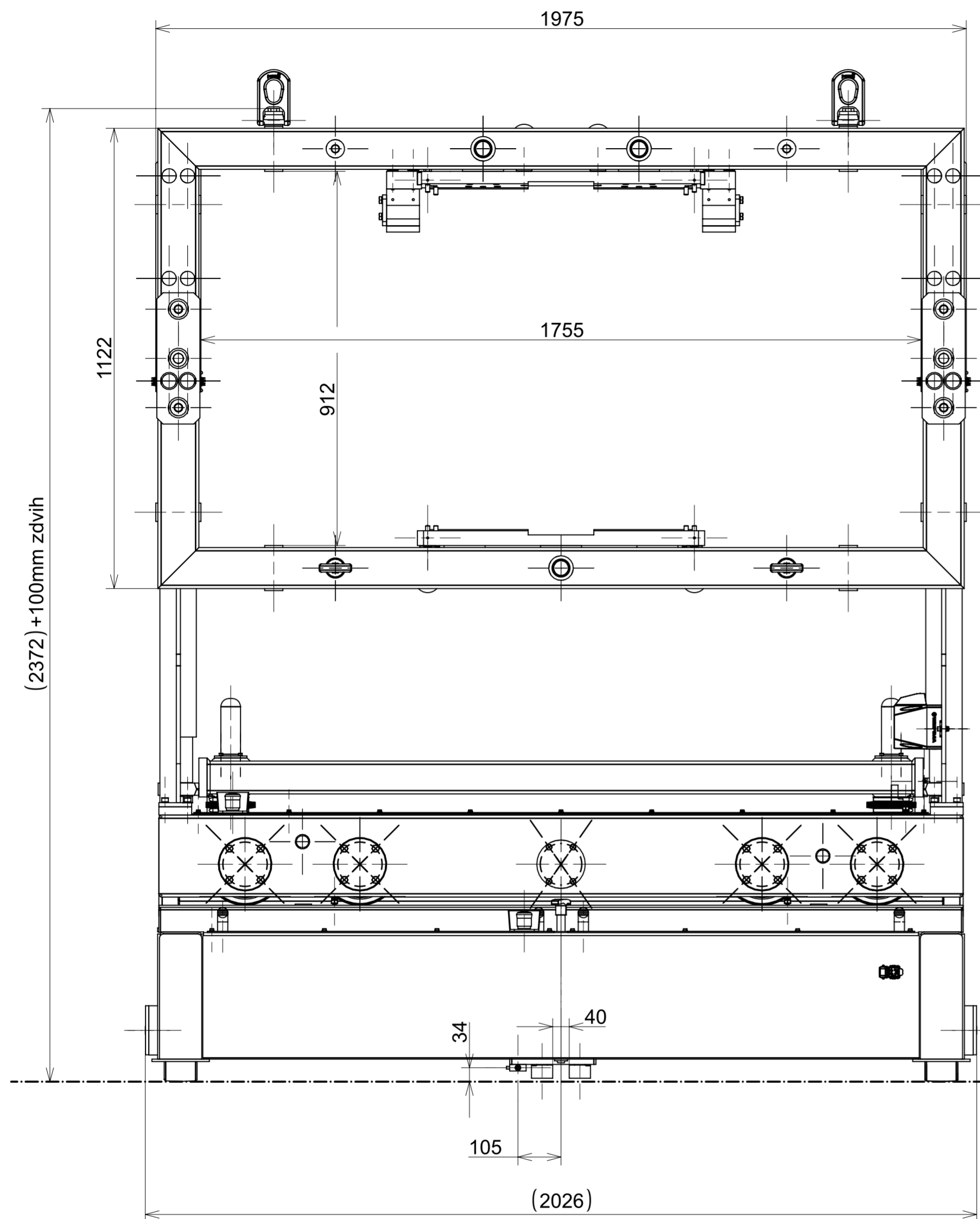
Pos.	Název - rozměr	Polotovár	Materiál konečný/výchozí	T.O.	C.hmot	Hr.hmot	Číslo výkresu	Počet ks.
7	Deska - P12 - 80x90	EN 10029	1.4301		0.6 kg		10.02.08.07	1
6	Objímka - D101,6x8 - 25	EN 10210	1.4301		0.2 kg		10.02.08.06	1
5	Zebro - P10 - 935x40	EN 10029	1.4301		2.7 kg		10.02.08.05	2
4	Deska - P12 - 80x350	EN 10029	1.4301		2.17 kg		10.02.08.04	1
3	Zebro - P10 - 980x85	EN 10029	1.4301		5.8 kg		10.02.08.03	1
2	Zebro - P10 - 350x980	EN 10029	1.4301		7.4 kg		10.02.08.02	1
1	Trubka - D88,9x8 - 855	EN 10216-5	1.4301		14.2 kg		10.02.08.01	1

Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weight	Drawing No.	Quant.
---	---	---	---	---	---	---	---	---

ISO 128	Tolerance / Tolerování	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project	Meritko / Scale
ISO 8015 ISO 2768mK	ISO 128	10.02.08_RAM_SLOUPU_dwg	---	1:5
		10.02.08_RAM_SLOUPU_dwg	C.hmot.sestavy 13.5 kg	

Název / Title	Rev.	Číslo výkresu / Drawing No.	Format
Ram sloupu	0	10.02.08	A2





2	SPODNI VOZIK						478 kg		10.01	1	
1	HORNI VOZIK						996 kg		10.02	1	
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot	Hr.hmot	Cislo vykresu	Pocet ks.			
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weight	Drawing No.	Quant.			
cad 1	Datum / Date	Jmeno / Name									
Kresil / Drawn by	21.04.2020	Lukáš Kožíšek									
Prezkoušel / Checked by	---	---									
Schválil / Approved by	---	---									
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schvál. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:						
---	---	---	---	---	---						
---	---	---	---	---	---						
Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file		10_MANIPULATOR_dwg		Projekt / Project:		---		Meritko / Scale		
	Soubor-vykres / DRW-file		10_MANIPULATOR_dwg		C.sestavy / Assembly No.		---		1:10		
				C.hmot.sestavy		1474 kg					
Nazev / Title				Manipulator		Rev.		0		Cislo vykresu / Drawing No. 10	
						List / sheet no. 1		Pocet listu / sheets 1		Format A2	

