

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

RÁM KABINY VÝTAHU

ELEVATOR CAGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN VOŠKA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PŘEMYSL POKORNÝ, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Vosika

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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

Rám kabiny výtahu

v anglickém jazyce:

Elevator cage

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

- lanový trakční výtah
- klec průchozí, dveře automatické dvoudílné teleskopické 1300mm
- závěs pevný a pružný ve strojovně - dvě kladky na rámu klece (1:2), nad šachtou
- váhící element mezi klecí a rámem
- klouzavé obousměrné zachycovače v dolní části rámu
- kluzné vodící čelisti rámu

Cíle diplomové práce:

- konstrukční návrh dle výrobních postupů fy LIFTMONT s.r.o.
- pevnostní výpočet hlavních nosných prvků rámu a podlahy dle ČSN 81-1
- MKP analýza rámu klece výtahu
- návrh vodítek dle ČSN 81-1
- vytvořte technickou zprávu a výkresovou dokumentaci dle pokynů vedoucího DP

Parametry výtahu:

- jmenovitá rychlost 1m/s
- nosnost 1600kg
- půdorys klece 1500x2400 mm
- světlá výška klece 2160 mm

Seznam odborné literatury:

GAJDŮŠEK, J.; ŠKOPÁN, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno, 1988

Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I., 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001, 99 s., ISBN: 80-248-0043-8

Polák, J.: Dopravní a manipulační zařízení II., 1. vyd., Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2003, 104 s., ISBN: 80-248-0493-X

Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení IV, 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004, 128 s., ISBN: 80-248-0537-5

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí diplomové práce: Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem lanového trakčního výtahu pro nosnost 1600 kg. Výpočet ukotvení vodiček určených pro tuto konstrukci a jejich pevnostní kontrola. Analýza rámu metodou konečných prvků. Konstrukční změny rámu s ohledem na spolehlivost konstrukce. Součástí práce je i výkresová dokumentace navržené změny. Tato diplomová práce probíhala ve spolupráci s firmou Liftmont CZ s.r.o.

Summary:

This thesis deals with the structural design of the rope traction elevator load 1600 kg. Calculation of anchor guides for the design and strength check. Frame analysis by finite element method. Frame design changes with regard to reliability design. The work also includes drawing the proposed changes. This thesis was carried out in cooperation with the firm Liftmont CZ s.r.o.

Klíčová slova:

Lanový trakční výtah, výpočet vodiček, výpočet maximální rozteče kotev vodiček, pevnostní kontrola, metoda konečných prvků.

Key words:

Rope traction elevator, the calculation of the guides, the calculation of the maximum spacing of anchor rails, stress control, method finite elements.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Bibliografická citace mé práce:

VOSIKA, J. *Rám kabiny výtahu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a že jsem dodržel pokyny pro tvorbu diplomové práce. Literatura, ze které jsem čerpal je uvedena na konci práce.

V Brně dne 28.5.2010

.....



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Poděkování:

Touto cestou bych chtěl poděkovat učitelům z ústavu dopravní techniky a především vedoucímu své práce panu Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady, připomínky a svůj vzácný čas, který mi ochotně věnoval.

Obsah:

Obsah	7
1 Úvod	8
2 Cíle práce	8
3 Popis výtahu	9
4 Příslušenství	13
4.1 Omezovač rychlosti	13
4.2 Obousměrný zachycovač	13
4.3 Vodicí kluzné čelisti	14
5 Výpočet vodiček	15
5.1 Normální provoz – jízda	17
5.1.1 Výpočet případ 1	18
5.1.2 Výpočet případ 2	21
5.2 Normální provoz – nakládání	24
5.3 Působení zachycovačů	28
5.3.1 Výpočet případ 1	28
5.3.2 Výpočet případ 2	32
6 Analýza metodou konečných prvků	36
6.1 Zjednodušující stavy	36
6.2 Zatěžovací stavy	40
7 Výsledky analýzy MKP	43
7.1 Normální jízda	43
7.2 Rozjezd výtahu	45
7.3 Vybavení zachycovačů	47
7.4 Nakládání	49
7.5 Vyhodnocení výsledků	50
8 Varianta změny konstrukce	51
8.1 Výsledky změny MKP	52
8.2 Zhodnocení výsledku	54
9 Šroubové spoje	55
10 Závěr	57
Seznam použité symboliky	58
Seznam použité literatury	62
Seznam příloh a výkresů	63

1 Úvod

Výtahy jsou v dnešní době, z hlediska nepřetržitých úspor půdorysné plochy budov a k tomu odpovídajícímu stylu vertikálních výstaveb nových prostorů, důležitým dopravním prvkem. Při výstavbách výškových budov a mrakodrapů jsou téměř nezbytnou součástí k přesunu osob a nákladů mezi jednotlivými podlažími.

Již v roce 1853 byl sestrojen první bezpečný výtah, který sestrojil Elisha Otis, s pojistkou, která zabrání pádu kabiny při přetržení lana. Od této doby se konstrukce výtahů dosti změnila.

V dnešní době se k pohonu výtahu používá pomaloběžný elektromotor se šnekovou převodovkou (50-200 otáček za minutu). Kabina je zavěšena na ocelovém laně přes kladky a váha kabiny a polovina užitečného nákladu je vyrovnána protizávažím. Tyto výtahy jsou z pravidla vedeny vodítky. U vodítek převládá průřez „T“ a jsou pevně přichyceny k šachtě výtahu. Důležitou částí jsou také zachycovače, které slouží pro nouzové zastavení kabiny, pomocí omezovače rychlosti, který se obvykle nachází ve strojovně. V dnešní době se podle německé normy DIN uvažuje i s možností padání klece vzhůru. Proto se zachycovače konstruují i pro tuto variantu. Výtahy mají další elektronické a automatické příslušenství ke správné funkci a bezpečným podmínkám výtahu. Jsou to zejména čidla hmotnostní a pohybová a plně automatizovaná řídicí jednotka. Výtahy jsou v dnešní době zabezpečeny nepřerývaným telekomunikačním kontaktem s dispečinkem.

Zde jsme si v úvodu především připomněli hlavní část trakčního lanového výtahu. Existují i jiné druhy jako jsou hydraulické, oběžné, šikmé apod. Cílem této práce je právě lanový trakční výtah, a proto se dalšími rozděleními zabývat nebudeme.

2 Cíle práce

Hlavním bodem této diplomové práce je analýza metodou konečných prvků, kdy v prostředí I-DEAS budeme zatěžovat model rámu výtahové klece. Zohledníme i použité vazby, okrajové podmínky a stavy zatížení. Způsoby zatěžování budou takové, aby odpovídali všem různým stavům, kterých se může při užívání výtahu dosáhnout. Zabývat se budeme především rozbořením těchto výsledků a hledání kritických uzlů této konstrukce. Případně jejich materiálové úspory.

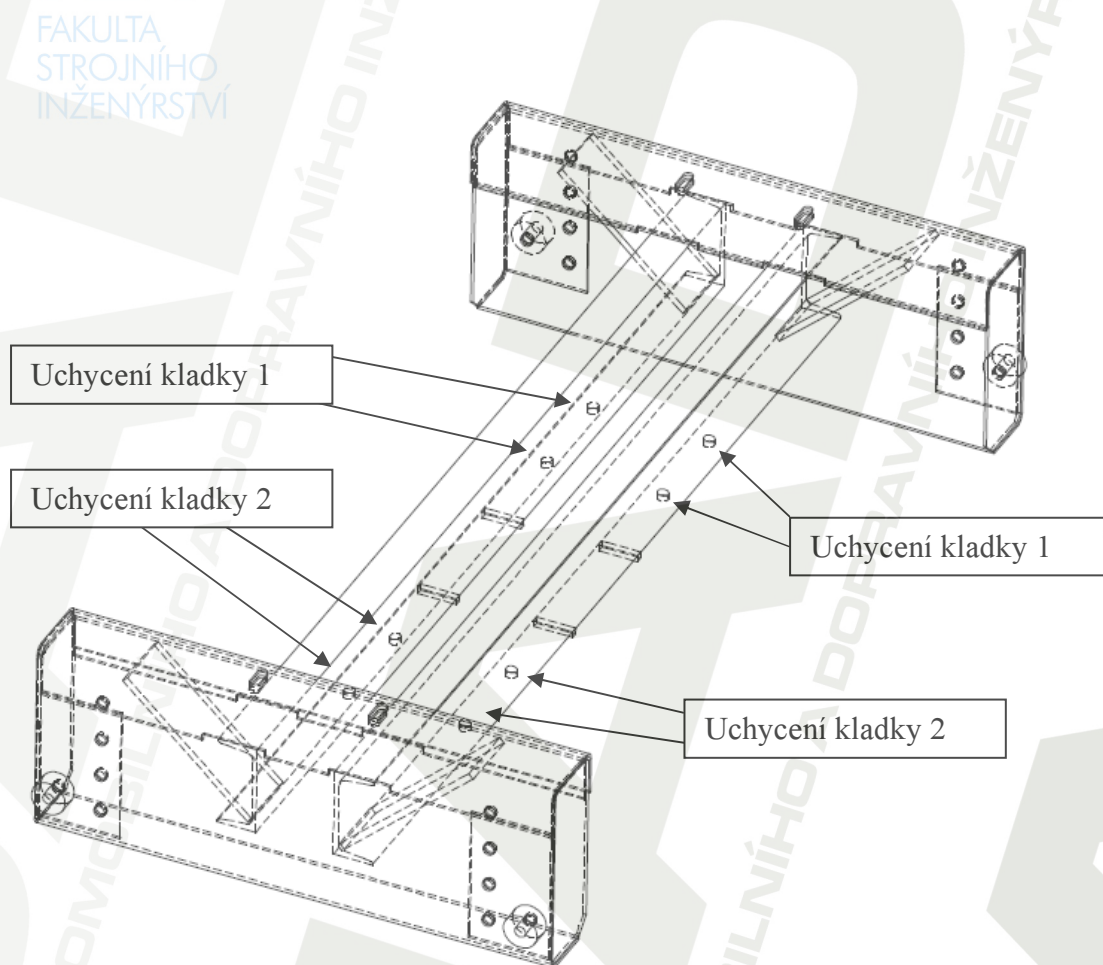
Tato konstrukce je z velké části smontována šroubovými spoji, tudíž se budeme zabývat i touto kontrolou.

Dále dle normy ČSN 81-1 vypočteme velikosti vodítek a jejich rozteče mezi kotvami.

Ke konci zhodnotíme dosažené výsledky a budeme uvažovat nad možnými řešeními této konstrukce.

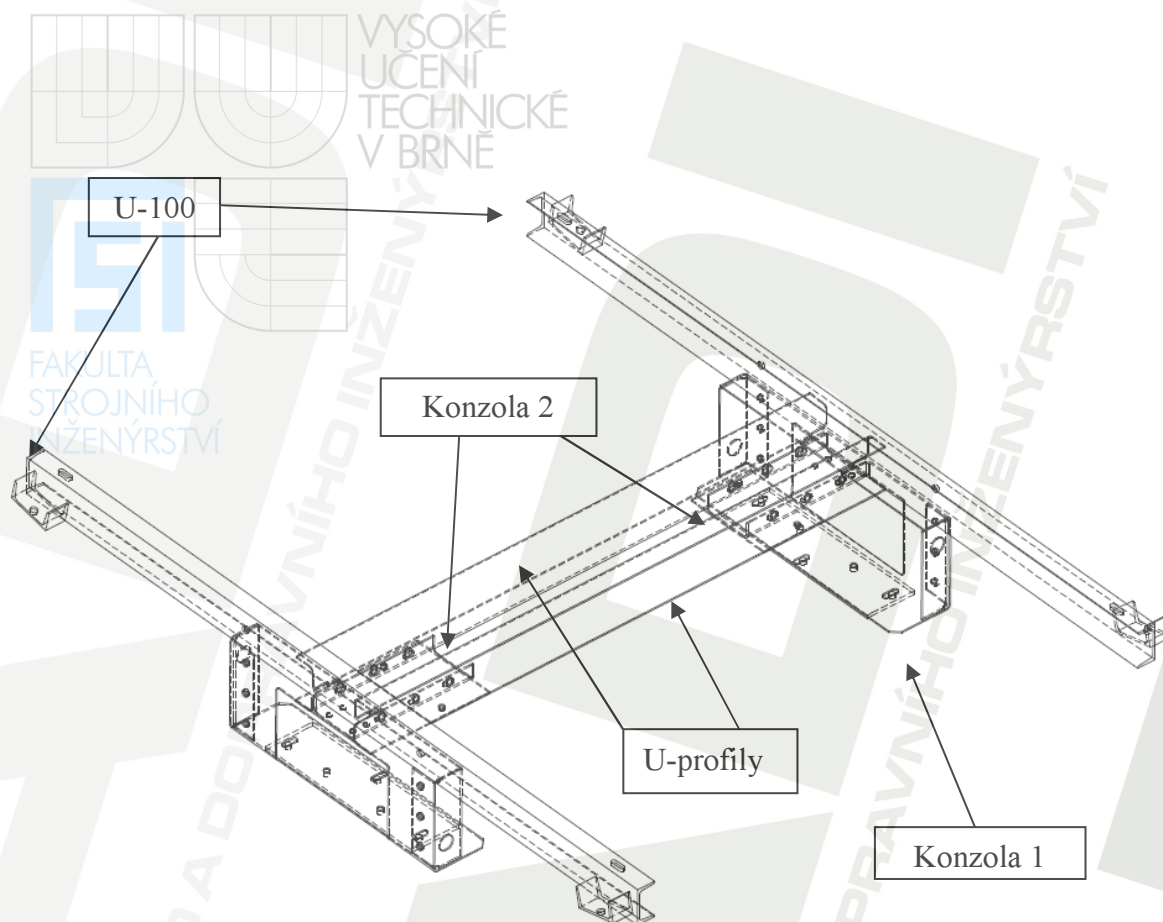
3 Popis výtahu

Tato práce bude zkoumat již navrženou konstrukci rámu výtahu firmy Liftmont CZ s.r.o. Jedná se o lanový trakční výtah, kdy klec je průchozí. Dveře výtahu jsou automatické, dvoudílně teleskopické. Závěs na rámu klece je pevný a pružně uložený ve strojovně. Pevný závěs tvoří dvě kladky, které jsou umístěny na horní části rámu klece (nad stropem kabiny) viz obr.1.



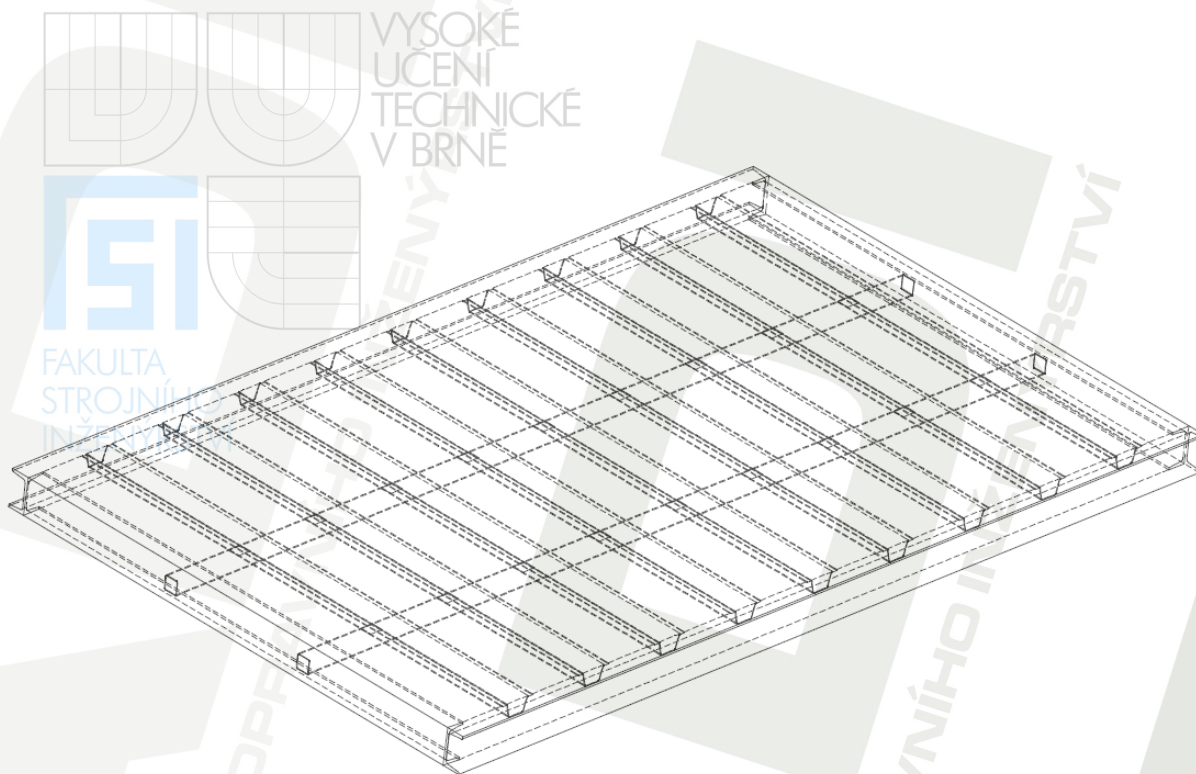
Obr.1: Schéma horní části rámu

Tento horní rám je tvořen dvěma U-140 profily ČSN 42 5570, na kterých jsou vždy po dvojici šroubů, na každém profilu, upevněny kladky. Profily jsou pevně spojeny svařem s levou a pravou horní částí rámu klece, dále konzolou. Levá a pravá konzola této podskupiny je symetrická, vyrobena z ohýbaného plechu tloušťky 4 mm a vyztužena společně s U-profilu plechem tloušťky 10 mm. Klouzavé vodící čelisti jsou uchyceny v drážkách, ke snadnějšímu nastavení při montáži na vrchní části konzol.



Obr.2: Schéma dolní části rámu

Ve spodním rámu (obr. 2) jsou obsaženy dva U-100 profily ČSN 42 5570, na kterých je s pomocí silentbloků upevněna podlaha (obr. 3). Levou a pravou stranu, které jsou symetrické, spojují dva ohýbané U-profil. Tyto profily jsou svařeny s Konzolou 1 nesoucí kluzné vodící čelisti. Mezi těmito U-profil je přišroubována Konzola 2, ke které je šrouby přichycen na každé straně klouzavý obousměrný zachycovač. Ve spodní části Konzoly 2 je navíc upevněn šrouby plech, na který dosedají nárazníky. Všechny tyto části jsou vyrobeny z plechu tloušťky 4 mm.

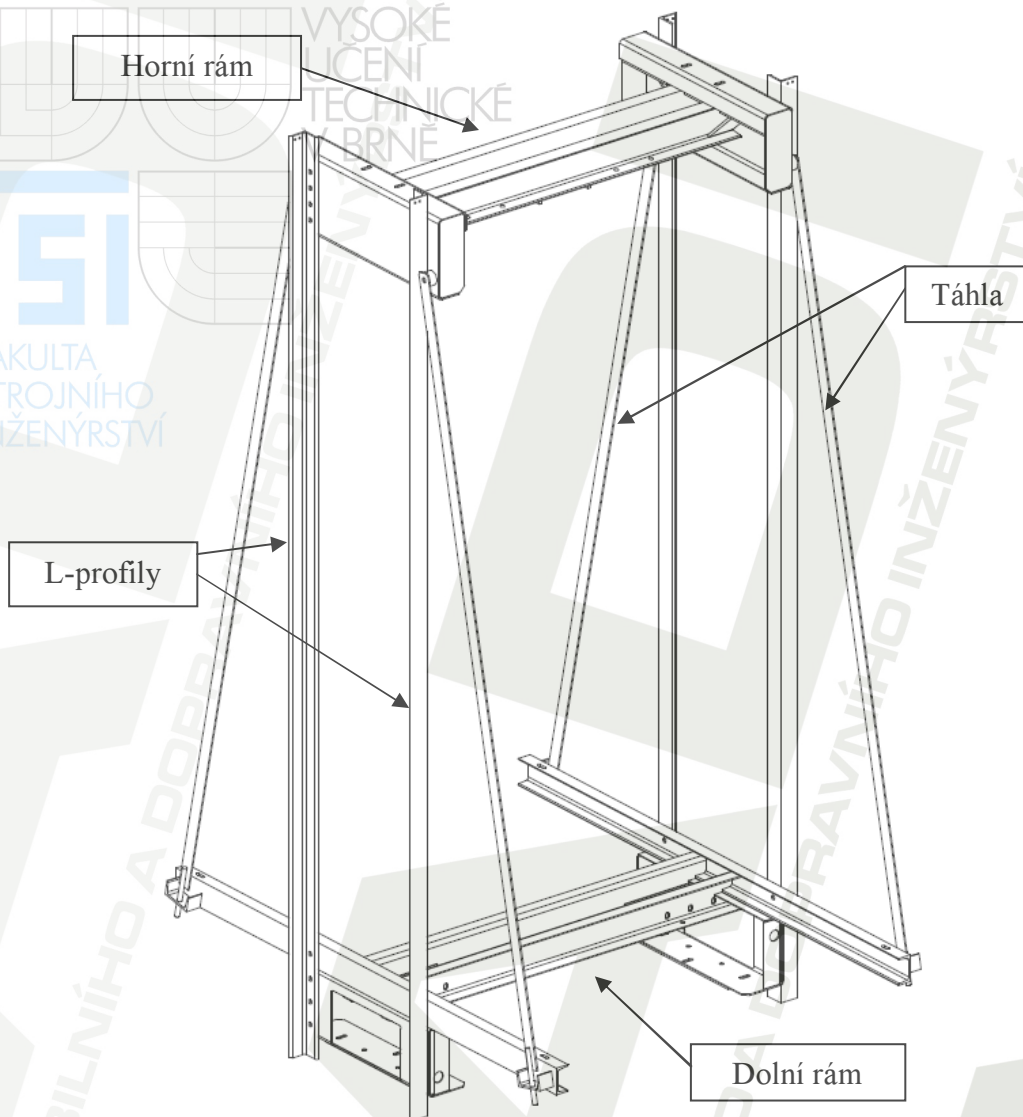


Obr.3: Schéma podlahy

Podlaha je k rámu přišroubována přes silentbloky a sedí na dvou U – 100 profilech dolního rámu. Skládá se z objímky, kterou tvoří U – 100 profily ČSN 42 5570. Nosnou část podlahy tvoří plech tloušťky 2 mm, ke kterému jsou ze spodní části přivařeny Ω profily z téhož ohýbaného plechu. Dále v podélném směru je nosná plocha vyztužena dvěma tenkostěnnými profily 40x40x2mm ČSN 42 6935.

Horní a spodní rám je sešroubován (viz obr. 4), vždy po čtveřici šroubů na každém spoji, čtyřmi L-profilů a čtyřmi táhly z plechu tloušťky 5 mm obdélníkového průřezu. Tyto táhla jsou opět sešroubovány nahoře a dole jedním šroubem.

Konstrukcí dvou kladek na tomto zařízení se docílí lanového převodu $i_k=2$ a tím i menší zátěže na motor a převodovku. Vážící element, který nám nedovolí překročit kritickou nosnost výtahu je umístěn mezi rámem a kabinou. Mazání vodících klouzavých čelistí po vodítkách je docíleno samomazacím mechanismem uchyceným v těsné blízkosti horních vodících čelistí.



Obr. 4: Schéma rámu klece výtahu

Parametry výtahu:

Jmenovitá rychlost	$v_{jm} = 1 \text{ m/s}$
Nosnost	$Q = 1600 \text{ kg (21 osob)}$
Půdorys klece	$1500 \times 2400 \text{ mm}$
Světlá výška klece	2160 mm
Hmotnost klece	$m_k = 373 \text{ kg}$
Hmotnost rámu	$m_r = 468 \text{ kg}$
Hmotnost podlahy	$m_p = 184 \text{ kg}$

4 Příslušenství

V této kapitole se budeme věnovat příslušenstvím, které obsahuje tato konstrukce. Nebudou zde vyjmenovány veškeré potřebné zařízení pro chod výtahu, ale především ty, které nám ovlivňují různé zatěžovací a vazební podmínky rámu klece.

4.1 Omezovač rychlosti

Omezovač rychlosti (viz obr. 5) je důležité bezpečnostní zařízení, které vybaví při překročení jmenovité rychlosti zachycovače. Dle normy ČSN EN 81-1 maximální povolená rychlost k vybavení zachycovačů nesmí překročit 115% jmenovité rychlosti.

Pro tuto konstrukci volím omezovač rychlosti od firmy PFB typ LK 200 viz [1]. Je to obousměrný omezovač rychlosti s kontrolní drážkou. Max nominální rychlost je 1,48m/s. Vybavovací rychlost se nastavuje mezi 0,32-1,7m/s, která podle (1) vyhovuje. Průměr kladky je 207 mm a lana 6-6,5mm.

Vybavovací rychlost:

$$v_v = v_{jm} \cdot 1,15 = 1 \cdot 1,15 = 1,15 \text{ m/s} \quad (1)$$



Obr.5: Omezovač rychlosti LK 200

4.2 Obousměrné zachycovače

Při překročení určité rychlosti kap. 4.1, která se nastaví na omezovači rychlosti a přezkouší se na revizních jízdách, se zachycovač vybaví. Zachycovač musí zastavit kabinu dle předepsaných limitů normy ČSN EN 81-1, zpomalením mezi $(0,2 \text{ až } 1) \cdot g \text{ [m/s}^2\text{]}$. Toto zpomalení je pro náš úkol prioritní veličina a budeme uvažovat hodnotu $0,2 \cdot g$ při zatěžovacích stavech, kdy $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Volím k této konstrukci odpovídající obousměrný zachycovač od firmy Dynatech typ PQ 4000 UD viz obr. 6. Je to zachycovač pro nosnost $P+Q = 881 \div 4023 \text{ kg}$ viz [1], dle (3) je vyhovující. Tloušťka vodítka 8-16mm.

Nosnost zachycovače:

$$P = m_k + m_r + m_p = 373 + 468 + 184 = 1025 \text{ kg} \quad (2)$$

$$P + Q = 1025 + 1600 = 2625 \text{ kg} \quad (3)$$

$m_k = 373 \text{ kg}$		Hmotnost klece
$m_r = 468 \text{ kg}$		Hmotnost rámu
$m_p = 184 \text{ kg}$		Hmotnost podlahy

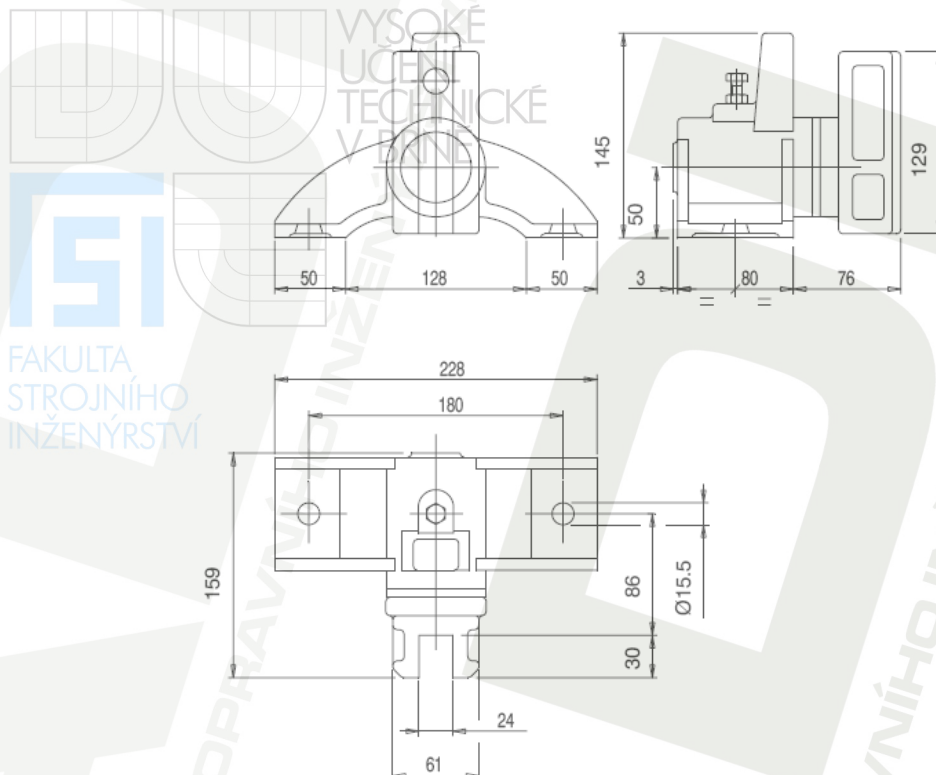


Obr.6: Zachycovač PQ 4000 UD

4.3 Vodicí kluzné čelisti

Vodicí čelisti (Obr.7), pohybující se po vodičkách, nám splňují funkci vazby kabiny vzhledem k okolní šachtě, kdy je uvolněn pouze translační pohyb ve svislém směru. To znamená, vodicí čelisti brání naklopení (vyosení) kabiny, ve všech souřadných osách, vůči dráze jízdy. Tomuto vyosení zapříčiňuje hlavně asymetrické zatížení kabiny. Také slouží k pohlcení nežádoucích vibrací.

Dle zátěže kabiny, velikosti vodiček a montážního upevnění ke kleci volím kluzné čelisti od firmy P.F.B. typ T410. Jsou určeny pro maximální zátěž 2500 kg a pro vodička $k_1 = 16 \text{ mm}$ viz [3], Tab. 1. Do těchto ocelových čelistí jsou vkládány perlonové vložky (nylon 6), které mají vlastnosti: odolné vyšším teplotám, odolnost proti otěru, pevnost, tuhost, tvrdost a pružnost.



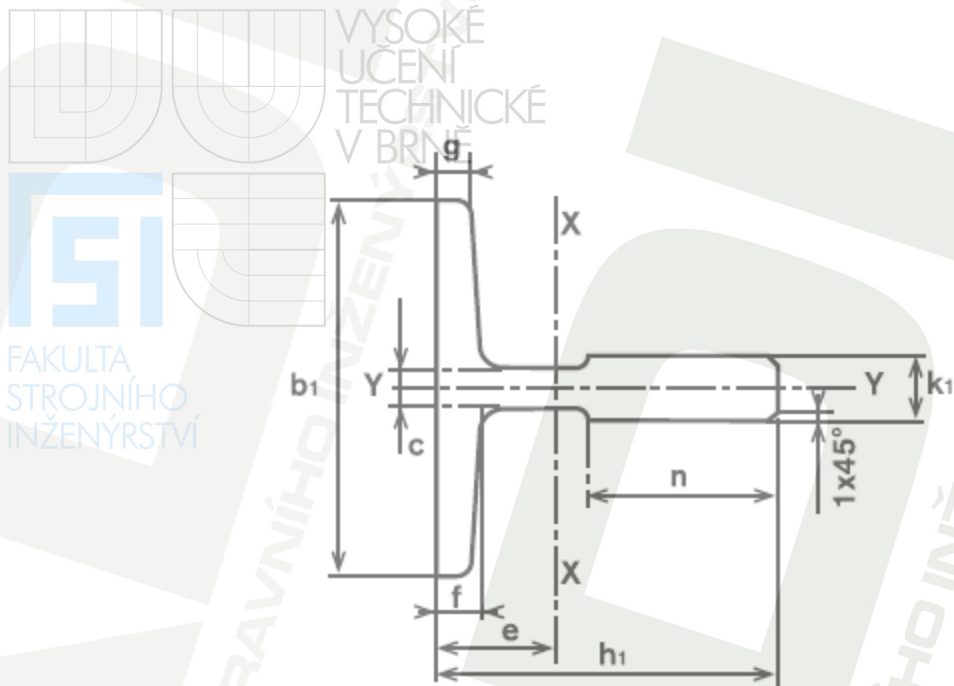
Obr. 7: Vodící čelist T410

5 Výpočet vodítek

Vodítka jsou pevně přichycena kotvami k šachtě výtahu. Jejich výpočet maximální rozteče mezi kotvami je dána normou ČSN EN 81-1. Vodítka musí být dimenzována na namáhání na ohyb a tlak. V případech, kdy působí zachycovače na vodítka, musí se dimenzovat na ohyb a vzpěr. Kontrolují se na tyto zatěžovací stavy:

- Normální provoz – jízda
- Normální provoz - nakládání
- Působení zachycovačů

Volím vodítka dle projekčního plánu firmy Liftmont CZ s.r.o. od firmy Savera, typ 90/A viz [4], které jsou vyrobeny z oceli tažením za studena.



Obr.8: Průřez vodička 90/A

Tab. 1: Rozměry vodička 90/A viz [4], Obr.8

b_1	h_1	k_1	n	c	f	e	g
90	75	16	42	10	10	21,6	8

Tab.2: Technické parametry vodička 90/A viz [4]

$S_v[\text{mm}^2]$	$W_{xx}[\text{mm}^3]$	$W_{yy}[\text{mm}^3]$	$i_{xx}[\text{mm}]$	$i_{yy}[\text{mm}]$	$I_{xx}[\text{mm}^4]$	$I_{yy}[\text{mm}^4]$	$q[\text{kg/m}]$
1730	20870	11800	24,3	17,5	1020000	530000	13,55

S_v plocha příčného průřezu

q_1 hmotnost 1m vodička

I_{xx} moment setrvačnosti k ose x

W_{xx} modul průřezu v ohybu k ose x

i_{xx} poloměr setrvačnosti k ose x

I_{yy} moment setrvačnosti k ose y

W_{yy} modul průřezu v ohybu k ose y

i_{yy} poloměr setrvačnosti k ose y

Tab. 3: Dovolené hodnoty napětí [MPa] dle ČSN EN 81-1

Zatěžovací stav	R _m [MPa]		
	370	440	520

Tab. 4: Součinitel rázu dle ČSN EN 81-1

Ráz při	Součinitel rázu	Hodnota
Působení klouzavých zachycovačů nebo klouzavého svěracího zařízení nebo dosedacího zařízení s nárazníkem pohlcujícím energii nebo nárazník pohlcující energii.	k ₁	2
Jízda	k ₂	1,2

Tab. 5: Součinitel bezpečnosti dle ČSN EN 81-1

Případ zatížení	Poměrné prodloužení A ₅	Součinitel bezpečnosti
Normální provoz- Nakládání do klece	A ₅ ≥ 12%	2,25
	8% ≤ A ₅ < 12%	3,75
Působení zachycovačů	A ₅ ≥ 12%	1,8
	8% ≤ A ₅ < 12%	3,0

viz [4] poměrné prodloužení A₅ = 12%

5.1 Normální provoz – jízda

Tento stav je vlivem na vodička nejbezpečnější. Počítá se na dva způsoby rozložení zatížení klece, které jsou dány normou ČSN EN 81-1. Hledaná hodnota maximální rozteče kotev se stanoví tak, aby odpovídala vzniklá napětí na vodičkách dovolenému napětí a povolenému průhybu. Průhyb dle zmiňované normy nesmí překročit 5 mm. Dle konstrukce rámu budeme řešit tento výpočet jako centricky vedenou závěsnou klec.

A(2400mm) délka podlahy kabiny
 B(1500mm) šířka podlahy kabiny
 x_{qi}, y_{qi} [mm] vzdálenost těžiště jmenovitého zatížení Q k vodičku
 x_p, y_p [mm] vzdálenost těžiště a hmotnosti klece P k vodičku
 Q(1600kg) těžiště hmotnosti jmenovitého zatížení
 P(1025kg) těžiště hmotnosti prázdné klece
 S závěsný bod klece

Dovolené napětí:

R_m (520 MPa) mez pevnosti v tahu dle Tab. 3

$S_{bj}(2,25)$ součinitel bezpečnosti dle Tab. 5

σ_{dovj} dovolené napětí pro stav Normální provoz - jízda

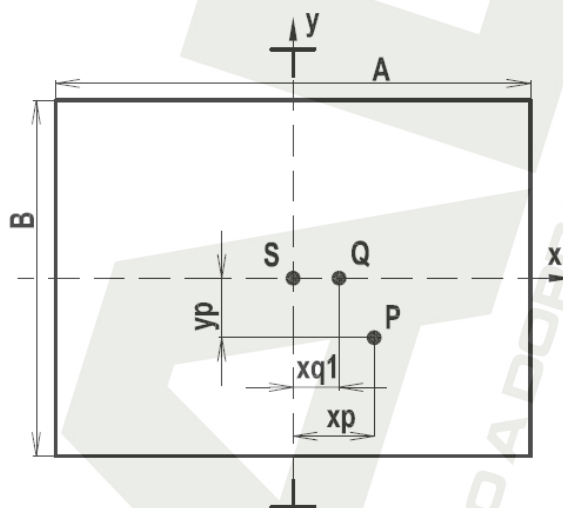
$$\sigma_{dovj} = \frac{R_m}{S_{bj}}$$

$$\sigma_{dovj} = \frac{520}{2,25}$$

$$\sigma_{dovj} = 231,111 \text{ MPa}$$

(4)

5.1.1 Výpočet případ 1



Obr. 9: Příklad zatížení 1

Nalezení souřadnic:

$$x_{q1} = \frac{A}{8}$$

$$x_{q1} = \frac{2400}{8}$$

$$x_{q1} = 300 \text{ mm}$$

$$y_{q1} = 0$$

(5)

$$x_p = 6,21 \text{ mm}$$

$$y_p = 2,28 \text{ mm}$$

Hodnoty x_p, y_p jsou odměřeny z programu SolidWorks.

Namáhání na ohyb:

1) v ose x:

$k_2(1,2)$ součinitel rázu dle Tab. 4

$g_n(9,81\text{m/s}^2)$ gravitační zrychlení

$n(2)$ počet vodiček

$h(3303\text{ mm})$ svislá vzdálenost mezi vodičnými čelistmi

Hodnota „h“ je odečtena z modelu v programu SolidWorks.

Síla ve vodičných čelistech:

$$F_{yj1} = \frac{k_2 \cdot g_n \cdot 2 \cdot (Q \cdot y_{q1} + P \cdot y_p)}{n \cdot h}$$

$$F_{yj1} = \frac{1,2 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot (1600 \cdot 0 + 1025 \cdot 2,28)}{2 \cdot 3303}$$

$$F_{yj1} = 8,329\text{ N}$$

(6)

Ohybový moment:

$l(1229\text{mm})$ maximální rozteč mezi kotvami

Hodnota „l“ se stanoví, tak aby vypočtené hodnoty napětí a průhybů odpovídali předepsané normě ČSN EN 81-1. Účelem je zjistit maximální rozteč, tudíž hodnotu „l“ jsme korigovali tak, aby se vzniklé napětí co nejvíce přiblížilo dovolenému napětí, avšak tuto hodnotu dovoleného napětí nepřekročilo. Využití programu Mathcad.

$$M_{xj1} = \frac{3 \cdot F_{yj1} \cdot l}{16}$$

$$M_{xj1} = \frac{3 \cdot 8,329 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{xj1} = 1,9194 \cdot 10^3\text{ N} \cdot \text{mm}$$

(7)

Napětí v ohybu:

$W_{xx}(20870\text{mm}^3)$ modul průřezu v ohybu k ose x dle Tab. 2

$$\sigma_{xj1} = \frac{M_{xj1}}{W_{xx}}$$

$$\sigma_{xj1} = \frac{1,9194 \cdot 10^3}{20870}$$

$$\sigma_{xj1} = 0,09197\text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(8)

2) v ose y:

Síla ve vodících čelistech:

$$F_{xj1} = \frac{k_2 \cdot g_n \cdot (Q \cdot x_{q1} + P \cdot x_p)}{n \cdot h}$$

$$F_{xj1} = \frac{1,2 \cdot 9,81 \cdot (1600 \cdot 300 + 1025 \cdot 6,21)}{2 \cdot 3303}$$

$$F_{xj1} = 866,711 \text{ N}$$

(9)

Ohybový moment:

$$M_{yj1} = \frac{3 \cdot F_{xj1} \cdot l}{16}$$

$$M_{yj1} = \frac{3 \cdot 866,711 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{yj1} = 1,997 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(10)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{yj1} = \frac{M_{yj1}}{W_{xx}}$$

$$\sigma_{yj1} = \frac{1,997 \cdot 10^5}{20870}$$

$$\sigma_{yj1} = 16,926 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(11)

Kombinované namáhání

$$\sigma_{j1} = (\sigma_{xj1} + \sigma_{yj1})$$

$$\sigma_{j1} = (0,09197 + 16,926)$$

$$\sigma_{j1} = 17,017 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(12)

Namáhání příruby vodítka na ohyb

c(10mm) tloušťka spojky mezi přírubou a stojnou dle Tab.1

$$\sigma_{Fj1} = \frac{1,85 \cdot F_{xj1}}{c^2}$$

$$\sigma_{Fj1} = \frac{1,85 \cdot 866,711}{10^2}$$

$$\sigma_{Fj1} = 16,034 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(13)

Průhyb vodiček

1) v ose x:

$I_{yy}(530000\text{mm}^4)$ moment setrvačnosti k ose y

$E(2,1 \cdot 10^5 \text{MPa})$ modul pružnosti v tahu pro taženou ocel dle [5] str.35

$$\delta_{xj1} = \frac{0,7 \cdot F_{xj1} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{yy}}$$

$$\delta_{xj1} = \frac{0,7 \cdot 866,711 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 530000}$$

$$\delta_{xj1} = 0,21081 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

Vyhovuje!

(14)

2) v ose y:

$I_{xx}(1020000\text{mm}^4)$ moment setrvačnosti vodička k ose x

$$\delta_{yj1} = \frac{0,7 \cdot F_{yj1} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{xx}}$$

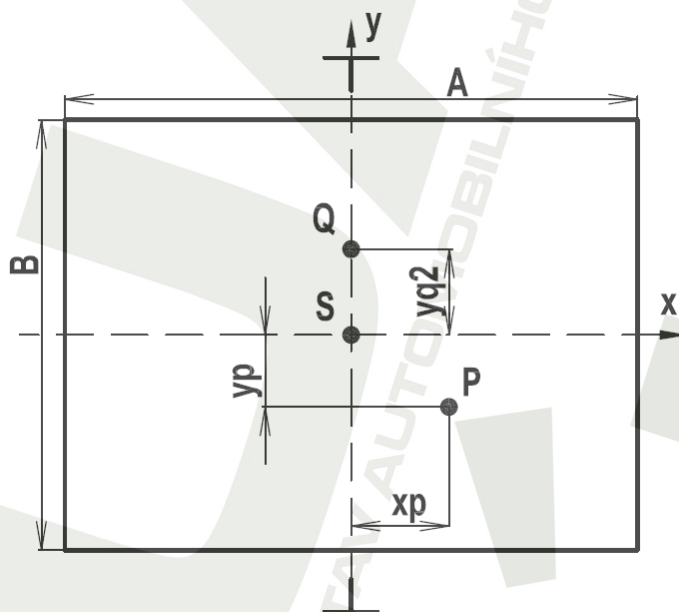
$$\delta_{yj1} = \frac{0,7 \cdot 1,272 \cdot 10^5 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1020000}$$

$$\delta_{yj1} = 1,0526 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

Vyhovuje!

(15)

5.1.2 Výpočet případ 2



Obr.10: Příklad zatížení 2

Nalezení souřadnic:

$$y_{q2} = \frac{B}{8}$$

$$y_{q2} = \frac{1500}{8}$$

$$y_{q2} = 187,5 \text{ mm}$$

$$x_{q2} = 0$$
(16)

Namáhání na ohyb:

1) v ose x:

Síla ve vodících čelistech:

$$F_{yj2} = \frac{k_2 \cdot g_n \cdot 2 \cdot (Q \cdot y_{q2} + P \cdot y_p)}{n \cdot h}$$

$$F_{yj2} = \frac{1,2 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot (1600 \cdot 187,5 + 1025 \cdot 2,28)}{2 \cdot 3303}$$

$$F_{yj2} = 1077,5 \text{ N}$$
(17)

Ohybový moment:

$$M_{xj2} = \frac{3 \cdot F_{yj2} \cdot l}{16}$$

$$M_{xj2} = \frac{3 \cdot 1077,5 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{xj2} = 2,483 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$
(18)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{xj2} = \frac{M_{xj2}}{W_{xx}}$$

$$\sigma_{xj2} = \frac{2,483 \cdot 10^5}{20870}$$

$$\sigma_{xj2} = 11,898 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(19)

2) v ose y:

Síla ve vodících čelistech:

$$F_{xj2} = \frac{k_2 \cdot g_n \cdot (Q \cdot x_{q2} + P \cdot x_p)}{n \cdot h}$$

$$F_{xj2} = \frac{1,2 \cdot 9,81 \cdot (1600 \cdot 0 + 1025 \cdot 6,21)}{2 \cdot 3303}$$

$$F_{xj2} = 11,343 \text{ N}$$

(20)

Ohybový moment:

$$M_{yj2} = \frac{3 \cdot F_{xj2} \cdot l}{16}$$

$$M_{yj2} = \frac{3 \cdot 11,343 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{yj2} = 2613,85 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(21)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{yj2} = \frac{M_{yj2}}{W_{xx}}$$

$$\sigma_{yj2} = \frac{2613,85}{20870}$$

$$\sigma_{yj2} = 0,223 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(22)

Kombinované namáhání

$$\sigma_{j2} = (\sigma_{xj2} + \sigma_{yj2})$$

$$\sigma_{j2} = (11,898 + 0,223)$$

$$\sigma_{j2} = 12,119 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(23)

Namáhání příruby vodítka na ohyb

$$\sigma_{Fj2} = \frac{1,85 \cdot F_{xj2}}{c^2}$$

$$\sigma_{Fj2} = \frac{1,85 \cdot 11,343}{10^2}$$

$$\sigma_{Fj2} = 0,209 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(24)

Průhyb vodiček

1) v ose x:

$$\delta_{xj2} = \frac{0,7 \cdot F_{xj2} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{yy}}$$

$$\delta_{xj2} = \frac{0,7 \cdot 11,343 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 530000}$$

$$\delta_{xj2} = 2,759 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

Vyhovuje!

(25)

2) v ose y:

$$\delta_{yj2} = \frac{0,7 \cdot F_{yj2} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{xx}}$$

$$\delta_{yj2} = \frac{0,7 \cdot 1077,5 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1020000}$$

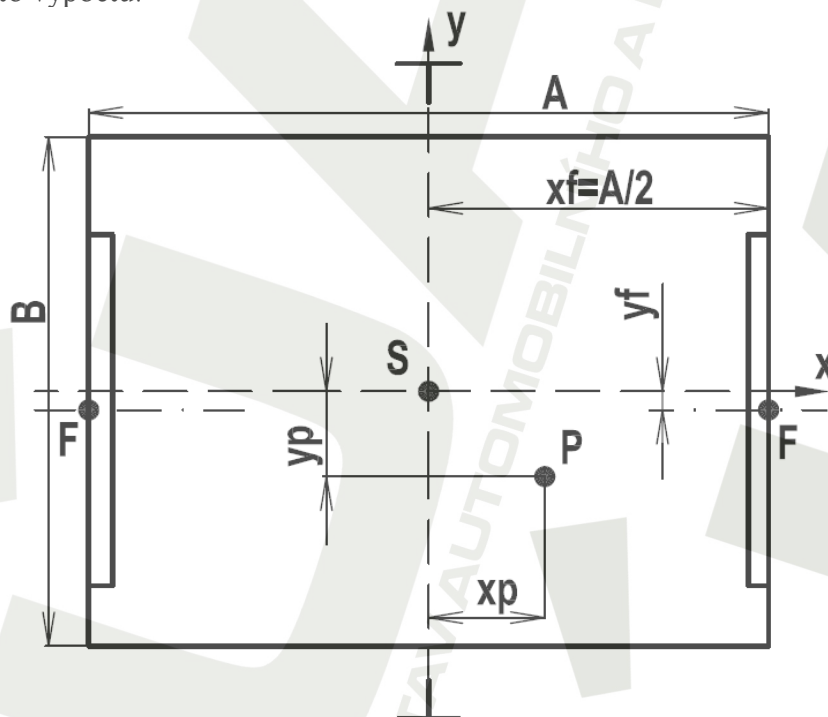
$$\delta_{yj2} = 0,136 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

Vyhovuje!

(26)

5.2 Normální provoz – nakládání

Tento stav zahrnuje možnost, kdy osoby nastupují do kabiny. Vzhledem k zavěšení rámu, umístění dveří a vodiček je tento stav nejkritičtější. Hledaná maximální rozteč „l“ je závislá na tomto výpočtu.



Obr.11: Příklad zatížení 2

Podle obr. 11 je zřejmé působí síly při nakládání, které je ve středu prahu vstupu do kabiny (na obrázku umístění „F“). Následovat bude výpočet pouze pro jeden případ a to dveří na pravé straně, kdy jsou vzniklé účinky na vodička největší, díky těžišti hmotnosti prázdné klece „P“ na stejné straně.

A(2400mm) délka podlahy kabiny
 B(1500mm) šířka podlahy kabiny
 x_f, y_f [mm] vzdálenost působí zatížení vzhledem k vodičku
 x_p, y_p [mm] vzdálenost těžiště a hmotnosti klece P k vodičku
 P(1025kg) těžiště hmotnosti prázdné klece
 S závěsný bod klece

Nalezení souřadnic:

$$x_f = 1200 \text{ mm}$$

$$y_f = 60 \text{ mm}$$

Hodnoty jsou odečteny z projekčního plánu firmy Liftmont CZ s.r.o.

Velikost zatížení prahu:

Q(1600kg) hmotnost jmenovitého zatížení

$g_n(9,81 \text{ m/s}^2)$ gravitační zrychlení

$$F_s = 0,4 \cdot g_n \cdot Q$$

$$F_s = 0,4 \cdot 9,81 \cdot 1600$$

$$F_s = 6278,4 \text{ N}$$

(27)

Namáhání na ohyb

$x_p = 6,21 \text{ mm}$, $y_p = 2,28 \text{ mm}$ viz kap. 5.1.1

1) v ose x:

Síla ve vodících čelistech:

$$F_{yf} = \frac{g \cdot (P \cdot y_p + F_s \cdot y_f)}{h}$$

$$F_{yf} = \frac{9,81 \cdot (1025 \cdot 2,28 + 6278,4 \cdot 60)}{3033}$$

$$F_{yf} = 1125,76 \text{ N}$$

(28)

Ohybový moment:

$$M_{xf} = \frac{3 \cdot F_{yf} \cdot l}{16}$$

$$M_{xf} = \frac{3 \cdot 1125,76 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{xf} = 2,594 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(29)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{xf} = \frac{M_{xf}}{W_{xx}}$$

$$\sigma_{xf} = \frac{2,594 \cdot 10^5}{20870}$$

$$\sigma_{xf} = 12,4302 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(30)

2) v ose y:

Síla ve vodících čelistech:

$$F_{xf} = \frac{g \cdot (P \cdot x_p + F_s \cdot x_f)}{2 \cdot h}$$

$$F_{xf} = \frac{9,81 \cdot (1025 \cdot 6,21 + 6278,4 \cdot 1200)}{2 \cdot 3033}$$

$$F_{xf} = 11197,7 \text{ N}$$

(31)

Ohybový moment:

$$M_{yf} = \frac{3 \cdot F_{xf} \cdot l}{16}$$

$$M_{yf} = \frac{3 \cdot 11197,7 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{yf} = 2,58036 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(32)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{yf} = \frac{M_{yf}}{W_{yy}}$$

$$\sigma_{yf} = \frac{2,58036 \cdot 10^6}{20870}$$

$$\sigma_{yf} = 218,674 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(33)

Kombinované namáhání

$$\sigma_f = (\sigma_{xf} + \sigma_{yf})$$

$$\sigma_f = (12,4302 + 218,674)$$

$$\sigma_f = 231,105 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(34)

Namáhání příruby vodítka na ohyb

$$\sigma_{Fn} = \frac{1,85 \cdot F_{xf}}{c^2}$$

$$\sigma_{Fn} = \frac{1,85 \cdot 11197,7}{10^2}$$

$$\sigma_{Fn} = 207,157 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovj}$$

Vyhovuje!

(35)

Průhyb vodiček

1) v ose x:

$$\delta_{xf} = \frac{0,7 \cdot F_{xf} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{yy}}$$

$$\delta_{xf} = \frac{0,7 \cdot 11197,7 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 530000}$$

$$\delta_{xf} = 2,7236 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

Vyhovuje!

(36)

2) v ose y:

$$\delta_{yf} = \frac{0,7 \cdot F_{yf} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{xx}}$$

$$\delta_{yf} = \frac{0,7 \cdot 1125,76 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1020000}$$

$$\delta_{yf} = 0,142 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

Vyhovuje!

(37)

5.3 Působení zachycovačů

Výpočet vzhledem k působení zachycovačů je rozdílný od předchozích výpočtů tím, že zahrnuje namáhání vodiček i na vzpěr. Budeme opět uvažovat dvě varianty zatížení klece dle normy ČSN EN 81-1 podle kap. 5.1.

Dovolené napětí:

R_m (520 MPa) mez pevnosti v tahu dle Tab. 3

$S_{bz}(1,8)$ součinitel bezpečnosti dle Tab. 5

σ_{dovz} dovolené napětí pro stav Působení zachycovačů

$$\sigma_{dovz} = \frac{R_m}{S_{bz}}$$

$$\sigma_{dovz} = \frac{520}{1,8}$$

$$\sigma_{dovz} = 288,889 \text{ MPa}$$

(38)

5.3.1 Výpočet případ 1

Tato varianta zatížení klece odpovídá kap. 5.1.1 obr. 9, hodnoty souřadnic jsou totožné.

$x_{q1} = 300 \text{ mm}$

$y_{q1} = 0$

$x_p = 6,21 \text{ mm}$

$y_p = 2,28 \text{ mm}$

Namáhání na ohyb:

1) v ose x:

$k_{z1}(2)$ součinitel rázu dle Tab. 4

$g_n(9,81 \text{ m/s}^2)$ gravitační zrychlení

$n(2)$ počet vodiček

$h(3303 \text{ mm})$ svislá vzdálenost mezi vodícími čelistmi

$P(1025 \text{ kg})$ těžiště hmotnosti prázdné klece

$Q(1600 \text{ kg})$ hmotnost jmenovitého zatížení

Síla ve vodících čelistech:

$$F_{yz1} = \frac{k_{z1} \cdot g_n \cdot 2 \cdot (Q \cdot y_{q1} + P \cdot y_p)}{n \cdot h}$$

$$F_{yz1} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot (1600 \cdot 0 + 1025 \cdot 2,28)}{2 \cdot 3303}$$

$$F_{yz1} = 27,764 \text{ N}$$

(39)

Ohybový moment:

$l(1229\text{mm})$ maximální rozteč mezi kotvami

$$M_{xz1} = \frac{3 \cdot F_{yz1} \cdot l}{16}$$

$$M_{xz1} = \frac{3 \cdot 27,764 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{xz1} = 6,398 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(40)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{xz1} = \frac{M_{xz1}}{W_{xx}}$$

$$\sigma_{xz1} = \frac{6,398 \cdot 10^3}{20870}$$

$$\sigma_{xz1} = 0,307 \text{ MPa} \leq \sigma_{\text{dovz}}$$

Vyhovuje!

(41)

2) v ose y:

Síla ve vodících čelistech:

$$F_{xz1} = \frac{k_{z1} \cdot g_n \cdot (Q \cdot x_{q1} + P \cdot x_p)}{n \cdot h}$$

$$F_{xz1} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot (1600 \cdot 300 + 1025 \cdot 6,21)}{2 \cdot 3303}$$

$$F_{xz1} = 1444,5 \text{ N}$$

(42)

Ohybový moment:

$$M_{yz1} = \frac{3 \cdot F_{xz1} \cdot l}{16}$$

$$M_{yz1} = \frac{3 \cdot 1444,5 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{yz1} = 3,3287 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(43)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{yzl} = \frac{M_{yzl}}{W_{xx}}$$

$$\sigma_{yzl} = \frac{3,3287 \cdot 10^5}{20870}$$

$$\sigma_{yzl} = 28,209 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje! (44)

Vzpěr

Štíhlost:

$i_{xx}(24,3\text{mm})$ poloměr setrvačnosti vodička k ose x

$i_{yy}(17,5\text{mm})$ poloměr setrvačnosti vodička k ose y

Hodnoty dle Tab. 2.

1) v ose x:

$$\lambda_x = \frac{1}{i_{xx}}$$

$$\lambda_x = \frac{1229}{24,3}$$

$$\lambda_x = 50,576$$

(45)

2) v ose y:

$$\lambda_y = \frac{1}{i_{yy}}$$

$$\lambda_y = \frac{1229}{17,5}$$

$$\lambda_y = 70,229$$

(46)

Výpočet koeficientu ω :

Pro výpočet koeficientu ω použijeme větší hodnotu štíhlosti z λ_x, λ_y .

$$\omega = 0,00002447 \cdot \lambda^{2,36} + 1,03$$

$$\omega = 0,00002447 \cdot 70,229^{2,36} + 1,03$$

$$\omega = 1,588$$

(47)

Vzpěrná síla:

$$F_k = \frac{k_{zl} \cdot g_n \cdot (P + Q)}{n}$$

$$F_k = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot (1025 + 1600)}{2}$$

$$F_k = 25751,2 \text{ N}$$

(48)

Napětí na vzpěr:

$S(1730\text{mm}^2)$ plocha příčného průřezu vodička

$$\sigma_k = \frac{F_k \cdot \omega}{S}$$

$$\sigma_k = \frac{25751,2 \cdot 1,588}{1730}$$

$$\sigma_k = 23,633 \text{ MPa}$$

(49)

Kombinované namáhání

Ohyb:

$$\sigma_{z1} = (\sigma_{xz1} + \sigma_{yz1})$$

$$\sigma_{z1} = (0,307 + 28,209)$$

$$\sigma_{z1} = 28,516 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje!

(50)

Ohyb + vzpěr:

$$\sigma_{c1} = \sigma_k + 0,9 \cdot \sigma_{z1}$$

$$\sigma_{c1} = 23,633 + 0,9 \cdot 28,516$$

$$\sigma_{c1} = 49,298 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje!

(51)

Ohyb + tlak:

$$\sigma_1 = \sigma_{z1} + \frac{F_k}{S}$$

$$\sigma_1 = 28,516 + \frac{25751,2}{1730}$$

$$\sigma_1 = 43,401 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje!

(52)

Namáhání příruby vodička na ohyb

$c(10\text{mm})$ tloušťka spojky mezi přírubou a stojnou dle Tab.1

$$\sigma_{Fz1} = \frac{1,85 \cdot F_{xz1}}{c^2}$$

$$\sigma_{Fz1} = \frac{1,85 \cdot 1444,5}{10^2}$$

$$\sigma_{Fz1} = 26,724 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje!

(53)

Průhyb vodiček

1) v ose x:

$$\begin{aligned}\delta_{xz1} &= \frac{0,7 \cdot F_{xz1} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{yy}} \\ \delta_{xz1} &= \frac{0,7 \cdot 1444,5 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 530000} \\ \delta_{xz1} &= 0,351 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Vyhovuje!

(54)

2) v ose y:

$$\begin{aligned}\delta_{yz1} &= \frac{0,7 \cdot F_{yz1} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{xx}} \\ \delta_{yz1} &= \frac{0,7 \cdot 27,764 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1020000} \\ \delta_{yz1} &= 3,509 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Vyhovuje!

(55)

5.3.2 Výpočet případ 2

Tato varianta zatížení klece odpovídá kap. 5.1.2 obr. 10, hodnoty souřadnic jsou totožné.

$$x_{q2} = 0 \text{ mm}$$

$$y_{q2} = 187,5 \text{ mm}$$

$$x_p = 6,21 \text{ mm}$$

$$y_p = 2,28 \text{ mm}$$

Namáhání na ohyb:

1) v ose x:

Síla ve vodičích čelistech:

$$\begin{aligned}F_{yz2} &= \frac{k_{z1} \cdot g_n \cdot 2 \cdot (Q \cdot y_{q2} + P \cdot y_p)}{n \cdot h} \\ F_{yz2} &= \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot (1600 \cdot 187,5 + 1025 \cdot 2,28)}{2 \cdot 3303} \\ F_{yz2} &= 3591,8 \text{ N}\end{aligned}$$

(56)

Ohybový moment:

$l(1229\text{mm})$ maximální rozteč mezi kotvami

$$M_{xz2} = \frac{3 \cdot F_{yz2} \cdot l}{16}$$

$$M_{xz2} = \frac{3 \cdot 3591,8 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{xz2} = 8,27685 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(57)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{xz2} = \frac{M_{xz2}}{W_{xx}}$$

$$\sigma_{xz2} = \frac{8,27685 \cdot 10^5}{20870}$$

$$\sigma_{xz2} = 39,66 \text{ MPa} \leq \sigma_{\text{dovz}}$$

Vyhovuje!

(58)

2) v ose y:

Síla ve vodících čelistech:

$$F_{xz2} = \frac{k_1 \cdot g_n \cdot (Q \cdot x_{q2} + P \cdot x_p)}{n \cdot h}$$

$$F_{xz2} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot (1600 \cdot 0 + 1025 \cdot 6,21)}{2 \cdot 3303}$$

$$F_{xz2} = 18,905 \text{ N}$$

(59)

Ohybový moment:

$$M_{yz2} = \frac{3 \cdot F_{xz2} \cdot l}{16}$$

$$M_{yz2} = \frac{3 \cdot 18,905 \cdot 1229}{16}$$

$$M_{yz2} = 4356,4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(60)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{yz2} = \frac{M_{yz2}}{W_{xx}}$$

$$\sigma_{yz2} = \frac{4356,4}{20870}$$

$$\sigma_{yz2} = 0,369 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje! (61)

Kombinované namáhání

σ_k, F_k dle kap. 5.3.1

Ohyb:

$$\sigma_{z2} = (\sigma_{xz2} + \sigma_{yz2})$$

$$\sigma_{z2} = (39,66 + 0,369)$$

$$\sigma_{z2} = 40,028 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje! (62)

Ohyb + vzpěr:

$$\sigma_{c2} = \sigma_k + 0,9 \cdot \sigma_{z2}$$

$$\sigma_{c2} = 23,633 + 0,9 \cdot 40,028$$

$$\sigma_{c2} = 59,659 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje! (63)

Ohyb + tlak:

$$\sigma_2 = \sigma_{z2} + \frac{F_k}{S}$$

$$\sigma_2 = 40,028 + \frac{25751,2}{1730}$$

$$\sigma_2 = 54,913 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje! (64)

Namáhání příruby vodítka na ohyb

$c(10\text{mm})$ tloušťka spojky mezi přírubou a stojnou dle Tab.1

$$\sigma_{Fz2} = \frac{1,85 \cdot F_{xz2}}{c^2}$$

$$\sigma_{Fz2} = \frac{1,85 \cdot 18,905}{10^2}$$

$$\sigma_{Fz2} = 0,35 \text{ MPa} \leq \sigma_{dovz}$$

Vyhovuje! (65)

Průhyb vodiček

1) v ose x:

$$\begin{aligned}\delta_{xz2} &= \frac{0,7 \cdot F_{xz2} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{yy}} \\ \delta_{xz2} &= \frac{0,7 \cdot 18,905 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 530000} \\ \delta_{xz2} &= 4,598 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Vyhovuje!

(66)

2) v ose y:

$$\begin{aligned}\delta_{yz2} &= \frac{0,7 \cdot F_{yz2} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_{xx}} \\ \delta_{yz2} &= \frac{0,7 \cdot 3591,8 \cdot 1229^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1020000} \\ \delta_{yz2} &= 0,454 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Vyhovuje!

(67)

Závěrem toho výpočtu můžeme říci, že vodička stanovená dle projekčního plánu firmy Liftmont CZ s.r.o. (T90/75/16) jsou vyhovující pro maximální rozteč kotev $l = 1229 \text{ mm}$. Materiál vodiček musí být pro nejvyšší dovolené napětí 520 MPa obsažené v normě ČSN EN 81-1, ostatní jsou nevyhovující. Volil jsem vodička od firmy Savera typ 90/A tažené za studena dle katalogu viz [4].

Celý výpočet probíhal dle normy ČSN EN 81-1.

6 Analýza metodou konečných prvků

Analýza metodou konečných prvků (dále jen MKP) je zpracována v programu I-DEAS 11. V této analýze jde především o zjištění maximálních napětí a deformací a jejich lokálního výskytu.

V program I-DEAS přitom využíváme především funkce modelovacího prostředí, dále pak vytvoření výpočtové sítě (meshování), vytvoření počátečních podmínek a vazeb.

Ve tvorbě modelu je třeba brát v úvahu nalezení nejbližší podobajícího se konceptu s reálným zadáním. Musíme proto uvažovat všechny podmínky, které výtah překonává a nahradit je správnými funkcemi.

Vzhledem k výpočtové náročnosti programu jsme volili způsob tvoření sítě skořepinovou formou. Ostatní zjednodušení a náhrady funkčních spojení rámu jsou zahrnuty v následujících kapitolách.

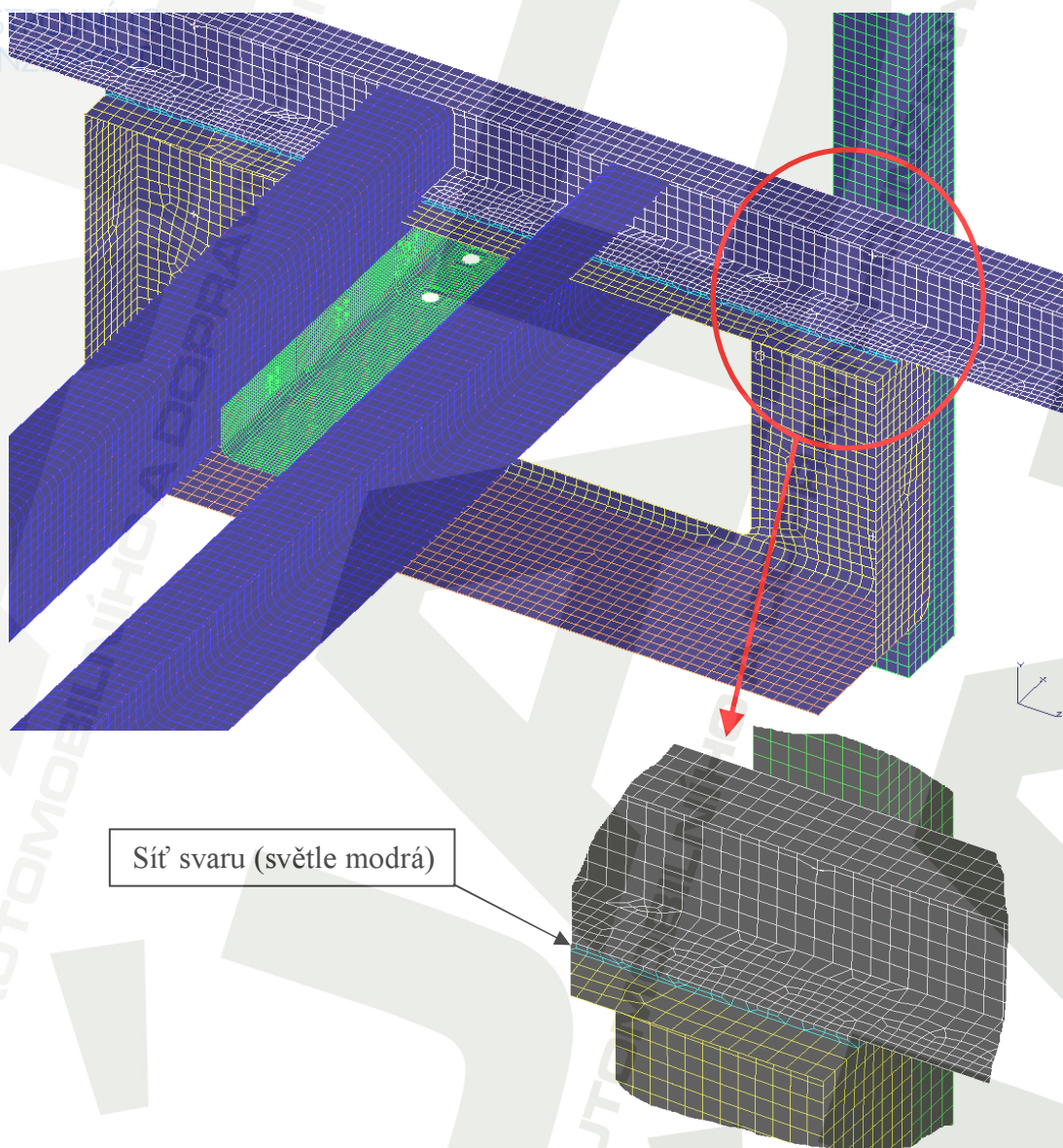
Cílem je nalezení kritických míst této konstrukce při možných stavech zatížení a zhodnocení jejich výsledků. V poslední části uvedeme změnu, která je pro konstrukci výhodná z hlediska bezpečnosti a životnosti rámu.

6.1 Zjednodušující stavy

S ohledem k vysokým nárokům na hardwarové zařízení je použita výpočtová síť tvořena skořepinově, proto musíme uvažovat určitá zjednodušení celého modelu. Tyto náhrady se týkají šroubových a některých svarových spojů, náhrad tlumičů – silentbloků, zachycovačů, nosných kladek a vodících čelistí.

Sít':

Sít' je tvořena s velikostí jednoho elementu (čtvercově) o stranách 10 mm. Každá ze sítí daného prvku má přiřazené vlastnosti materiálu odpovídající skutečné konstrukci. Protože je sít' tvořena skořepinově, je zapotřebí vytvářet mezi rovnoběžnými stranami svarově spojených prvků svary jako samostatnou sít' viz obr.12. Této síti svaru se pak přiřazují vlastnosti svařovaného materiálu.



Obr.12: Znáznornění sítě svaru

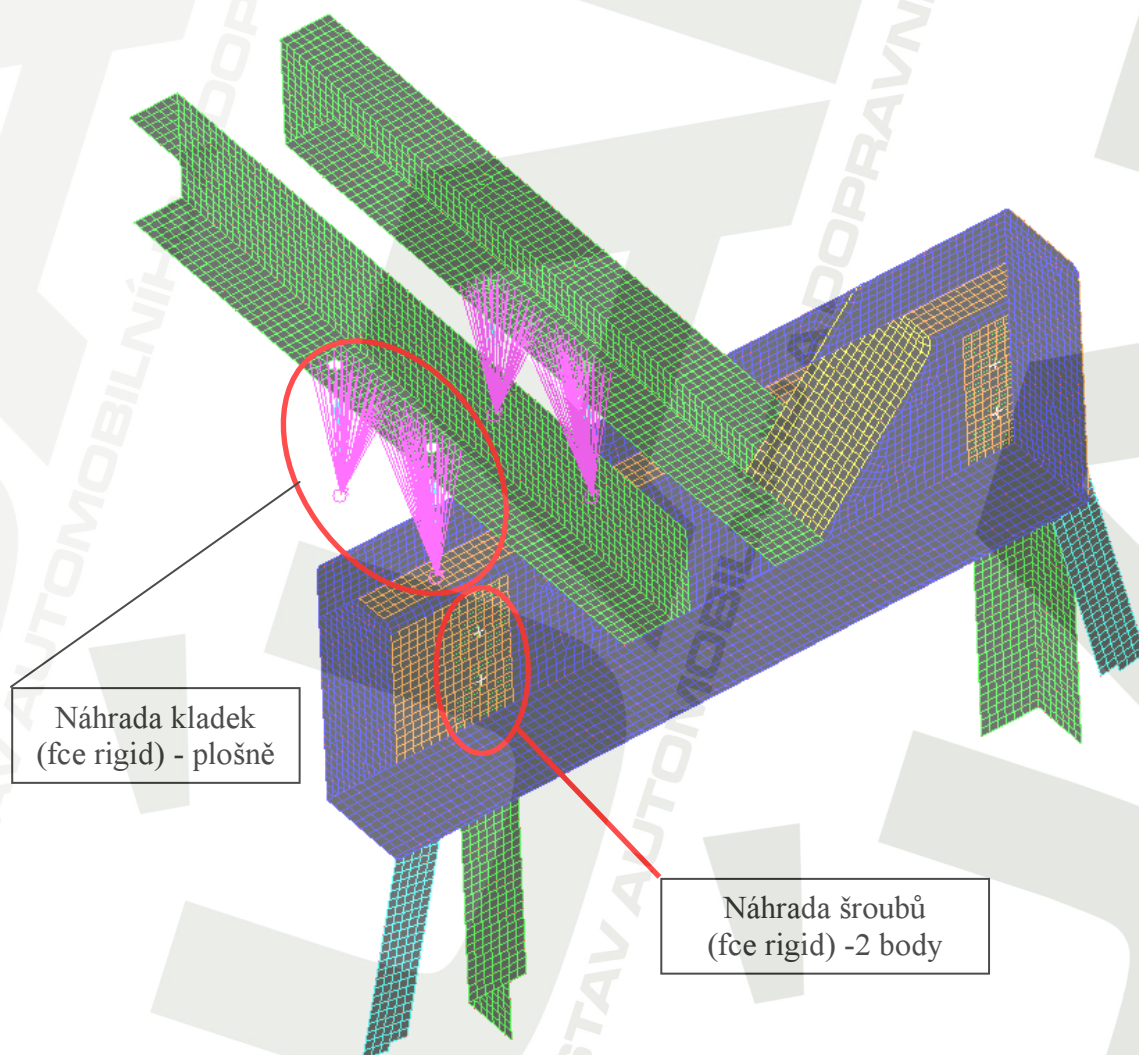
Šroubové spoje:

Šroubové spoje jsou nahrazovány na tomto modelu funkcí „rigid“. Rigid je naprosto tuhý prvek, který přenáší napětí mezi spojenými prvky modelu. Na funkci rigid nevznikají žádné deformace. Zadává se dvěma body, tudíž není zpracován ve výpočtu jako šroubový spoj, slouží pouze jako nahrazení sjednocovací funkce v místě šroubu.

Takto však neuvažujeme u šroubového spojení rámu s nosnými kladkami viz obr.1. Zde nahrazujeme spojení pomocí plochy příruby kladky viz obr.13. Přestože jsou kladky upevněny s rámem šrouby, v modelu tuto variantu neuvažujeme, protože tyto šrouby při jízdě výtahu nejsou namáhány, vzniká pouze tlak mezi přírubou kladky a rámem. Plocha těchto rigidů odpovídá dosedací ploše příruby kladek, kde rigidy jsou směřovány do jednoho bodu soustředného s dírami uchycení kladek.

V tomto bodě jsou pak umístěny příslušné vazby viz Příloha 1. Lano dokáže přenést pouze tah ve směru své osy, proto je zde jediná vazba a to v tomto směru odpovídající směru jízdy.

Naopak u vodičích čelistí je tato vazba jediná uvolněna. Vazby vodičích čelistí jsou umístěny na šroubech (rigidech), kterými jsou k rámu připevněny viz Příloha 1,2.

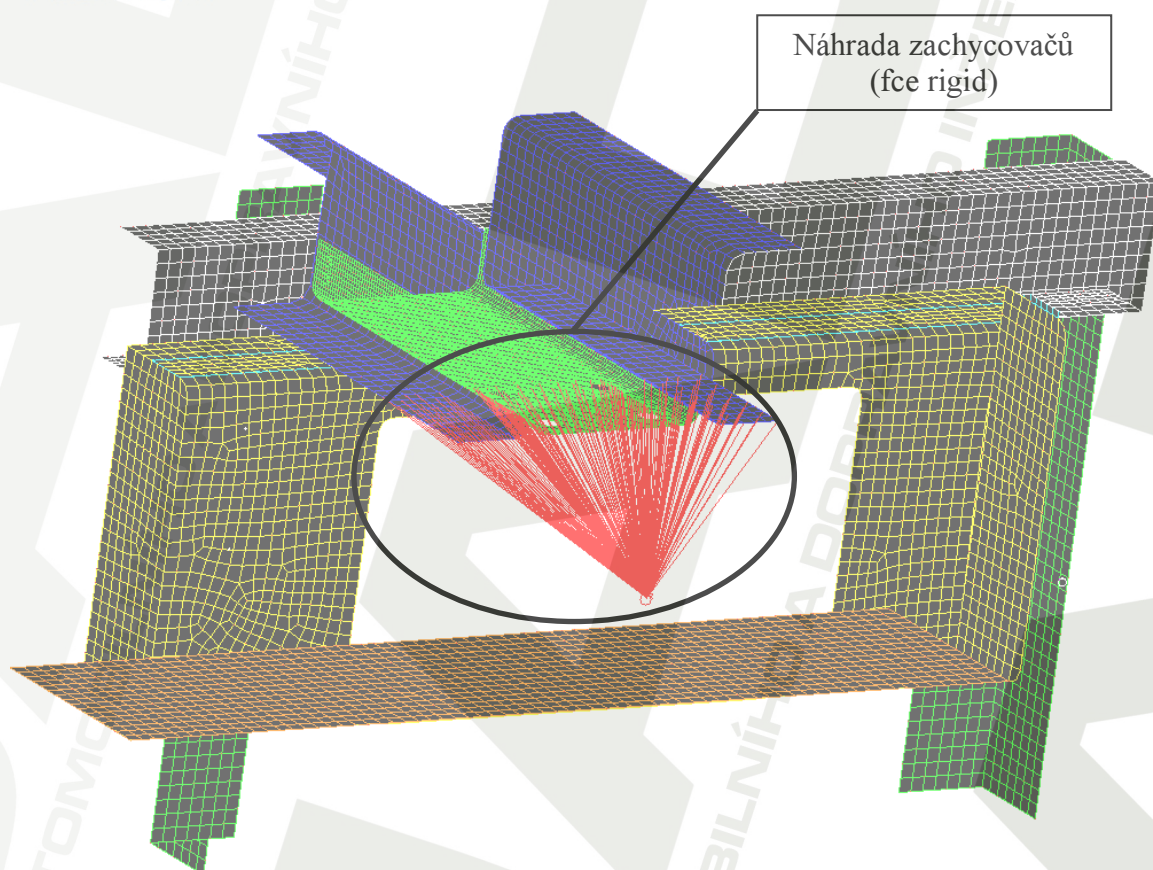


Obr.13: Náhrada nosných kladek a šroubových spojů

Spojení zachycovačů odpovídá totožně jako upevnění nosných kladek k rámu na obr. 13. Protože při možném pádu kabiny a vybavení zachycovačů působí pouze tlak mezi plochou zachycovače na rám viz obr. 14.

Vazba je pak umístěna do bodu, do kterého směřují rigidy od dosedací plochy zachycovače. Tento bod je simulován do skutečných míst středu zachycovacích čelistí. Zde jsou zavazbeny všechny směry, tudíž bod je pevně umístěn.

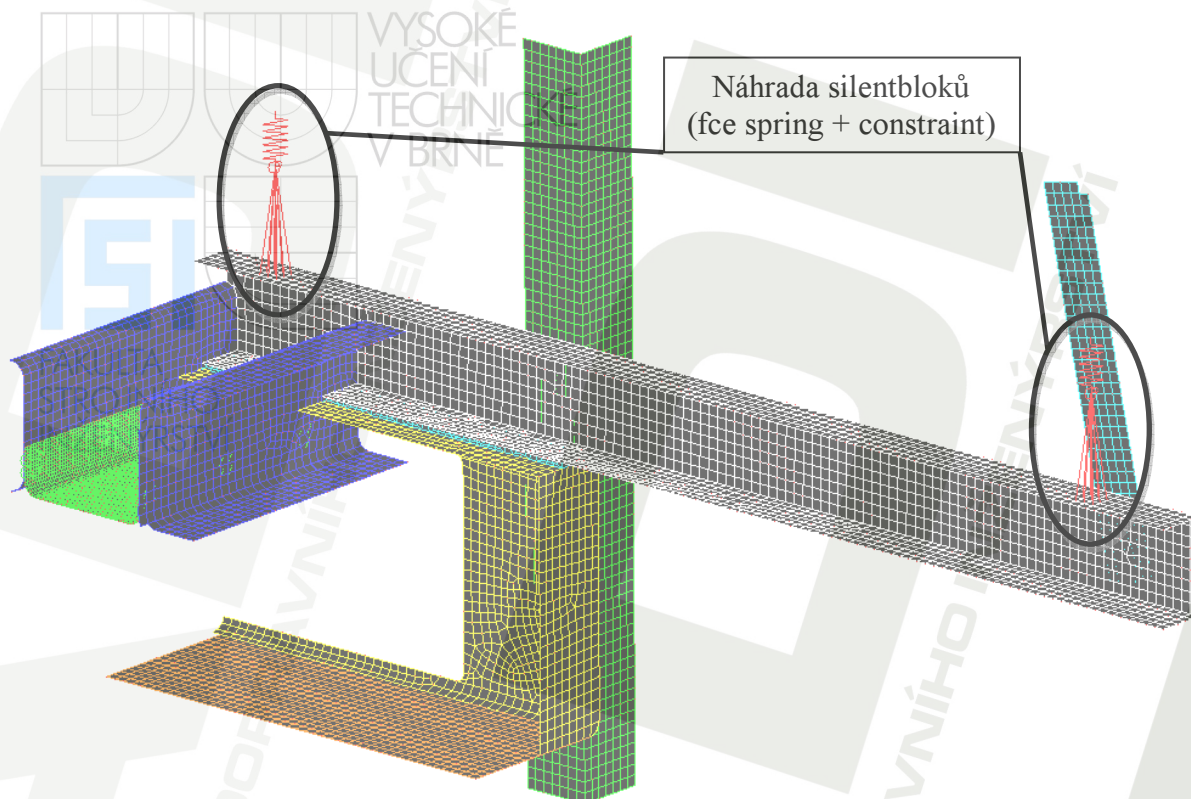
Šroubové spojení zachycovačů k rámu má vliv pouze při pádu kabiny vzhůru. Tento stav však není řešen, protože zatížení rámu je minimální. A to díky opačnému směru vektoru zpomalení, kdy nám toto zpomalení rám odlehčí a také, protože tento stav je možný pouze při jízdě s jednou nebo dvěma osobami.



Obr.14: Náhrada zachycovačů

Silentbloky:

Silentbloky jsou umístěny na rámu. Podlaho je usazena na nich. Jejich náhrada je řešena pomocí funkce „spring“ (pružina), kdy se stanoví pouze konkrétní tuhost silentbloků. Tato tuhost odpovídá 1000 N/mm. Napětí od silentbloků (pružin) na rám je dále rozloženo na plochu přibližně odpovídající velikostí silentbloků pomocí funkce „constraint“ viz obr. 15. Funkce constraint již nefunguje jako naprosto tuhý prvek.



Obr.15: Náhrada silentbloků

6.2 Zatěžovací stavy

Zde uvedeme druhy zatěžování rámu výtahu, které byly počítány MKP a jejich způsob zatížení v programu I-DEAS 11. Jsou zde řešeny 4 způsoby zatěžování.

1. Normální jízda:

Tento stav uvažujeme při konstantní rychlosti kabiny, tzn. uvažujeme stav jako kdyby výtah stál. Bereme v úvahu přitom 2 druhy zatížení, symetrické ve středu těžiště kabiny (M1) a asymetrické (M2) viz obr.16,17. Vazby jsou přitom vkládány na vodící čelisti a nosné kladky viz Příloha 1.

2. Rozjezd výtahu:

V tomto případě je zahrnuto zrychlení, které jsem stanovil 1m/s^2 . Hodnota zrychlení je pouze orientační, odvíjí se totiž od charakteristik motoru s převodovkou, které nejsou k dispozici. Jsou zde vyhodnoceny opět stavy symetrického a asymetrického zatížení obdobně jako u Normální jízdy. Stejně tak i způsob umístěných vazeb viz Příloha 1.

3. Vybavení zachycovačů:

Při vybavení zachycovačů vznikají nejvyšší hodnoty napětí na rámu. Je to především díky vzniklému přetížení než se zachycovače uvedou do provozu. Dle normy ČSN EN 81-1 se zachycovače musí vybavit se zpomalením $(0,2 \div 1) \cdot g$, kde g je gravitační zrychlení. Volil jsem hodnotu $0,2 \cdot g$, vzhledem k typu klouzavých zachycovačů. Jsou řešeny stavy symetrického (M1) a asymetrického (M2) zatížení rámu obr. 16, 17.

Vazby jsou nyní přesunuty od kladek na zachycovače a to zcela pevně (jako vetknutý nosník) viz Příloha 2.

4. Nakládání:

Nakládání je řešeno jako zatěžující stav v normě ČSN EN 81-1, proto jsme volili i jeho kontrolu MKP. Zatížíme rám hmotou M3 viz obr. 16, 17.

Vazby jsou určeny totožně jako Normální jízda a Rozjezd zachycovačů viz Příloha 1.

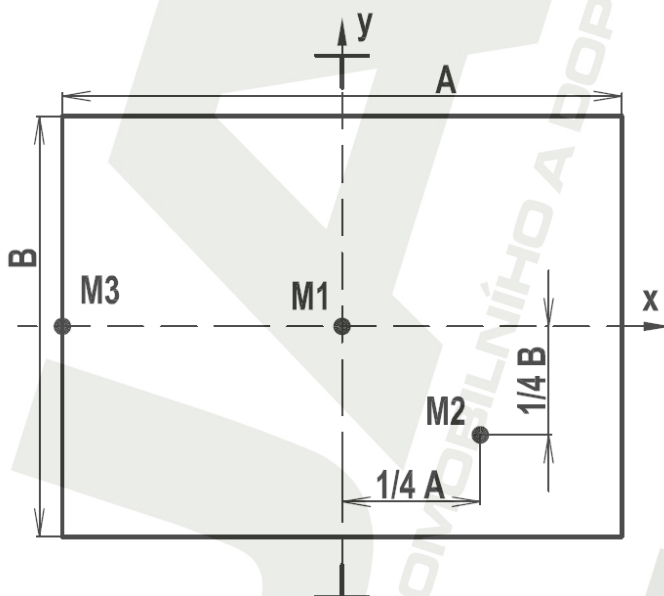
Zatěžující hmoty:

Rám výtahu dle normy je zatěžován 125% maximální nosnosti, tzn. $Q = 2000 \text{ kg}$. Hmoty M1÷M3 jsou v programu tvořeny funkcí „Lumped mass“, kdy se této hmotě přiřadí odpovídající hmotnost.

Hmota M1: - Její působíště se nachází v těžišti kabiny viz obr. 16. Dle Tab. 6 je uvažována tato hmota pro symetrické zatížení ($Q+m_k+m_p$). Pro asymetrické zatížení a stav „Nakládání“ pouze (m_k+m_p), kdy uvažujeme pouze hmotnost klece a podlahy.

Hmota M2: - S touto hmotou pracujeme pouze při asymetrickém zatížení rámu. Působíště je z těžiště přesunuto o $1/4$ délky v obou směrech viz obr. 16, proto byla regulována i její hodnota o $1/4$. Tedy na 1500 kg.

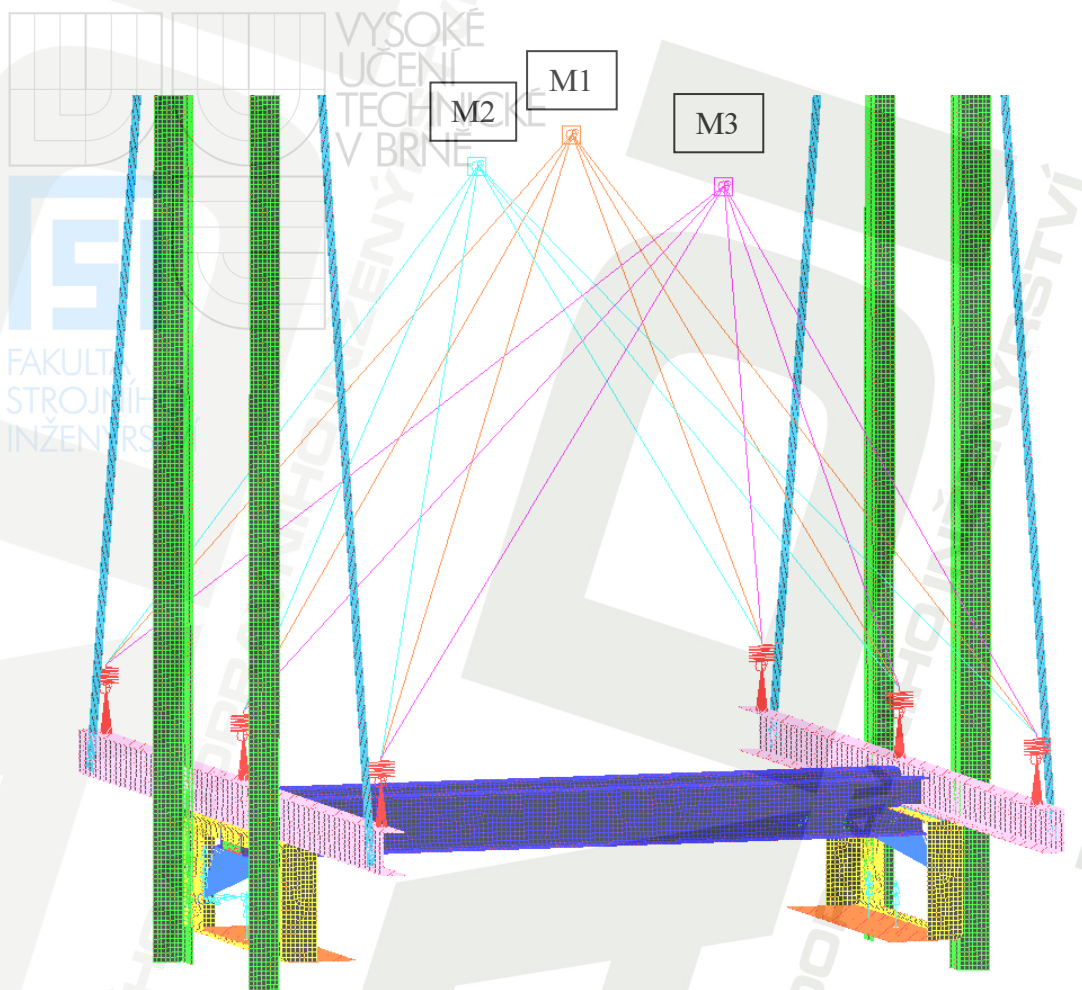
Hmota M3: - Tuto variantu plně předurčuje norma ČSN EN 81-1. V analýze MKP je tato hmota využita pouze v jediném zatěžovacím stavu „Nakládání“. Působení je umístěno do středu prahu dveří. Velikost je dle normy $0,4 \cdot Q$, tudíž 800 kg.



Obr.16: Způsoby zatížení

Tab. 6: Zatěžování rámu

	Normální jízda	Rozjezd výtahu	Vybavení zach.	Nakládání
Symetrické zat.	M1 = 2557 kg			M3 = 800 kg
Asymetrické zat.	M1 = 557 kg, M2 = 1500 kg			M1 = 557 kg



Obr.17: Zatěžovací hmoty

Vazby:

Ve výpočtovém modelu jsou zahrnuty vazby, které mají v programu přiřazenou funkci odpovídající prvkům na skutečné konstrukci výtahu. Jedná se o funkci zachycovačů, nosných kladek a vodících čelistí.

Tab. 7: Použité vazby

Stavy zatížení	Umístění vazeb
Normální jízda Rozjezd výtahu Nakládání	Nosné kladky + Vodicí čelisti
Vybavení zachycovačů	Zachycovače + Vodicí čelisti

Nosné kladky: Vazba v ose rovnoběžné se směrem jízdy, ostatní uvolněné. viz Příloha 1

Zachycovače: Vazba ve všech směrech i momentech. viz Příloha 2

Vodicí čelisti: Uvolněna pouze vazba v ose rovnoběžné se směrem jízdy.
viz Příloha 1 + Příloha 2

7 Výsledky analýzy MKP

Z předcházející kapitoly vyplývá, že budeme vyhodnocovat 7 různých stavů, ke kterým by mohlo dojít při používání výtahu viz Tab. 6.

Budou zde zpracovány pouze maximální hodnoty napětí a deformací s jejich lokálním výskytem. Výsledky centrálního modelu budou pak zobrazeny v odkázaných přílohách. Místa vzniklého napětí a deformací budeme zobrazovat, pokud budou k uvažování, na horní části rámu viz obr. 1 a dolní části rámu viz obr. 2.

Výpočet v programu I-DEAS 11 redukovaného napětí probíhal metodou HMH.

Porovnávací hodnoty:

Tato konstrukce je vyrobena z materiálu 11 373.1, což je dle [6] str. 32 odpovídající materiál určený pro nosné konstrukce. Abychom výsledky dosažené z analýzy MKP mohli porovnat, uvedeme si zde základní výpočtovou pevnost R [MPa] toho materiálu, dle [6] (Tab. 1). Na rám působí z převážné většiny napětí na tlak, proto výsledky porovnáme s dovolenou hodnotou napětí na tlak.

Pro pevnostní třídu oceli 37 (tlak): $R = 210 \text{ MPa}$

$R[\text{MPa}]$ dovolená hodnota napětí na tlak

7.1 Normální jízda

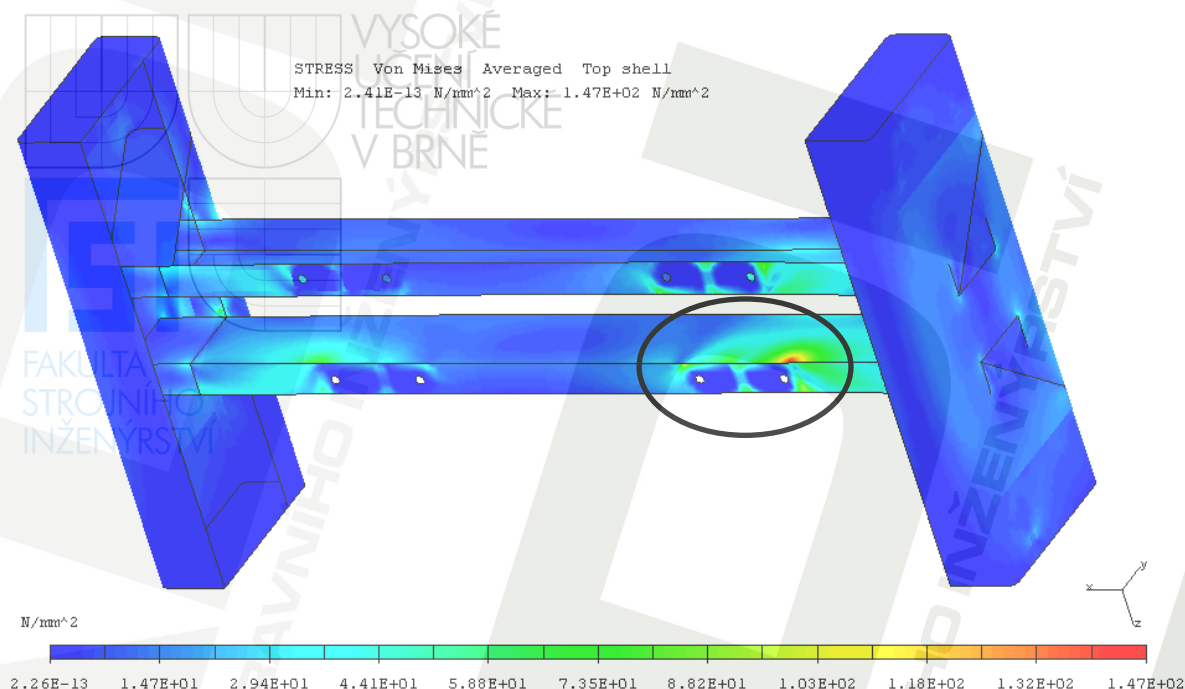
Zde si uvedeme pouze nejkritičtější místa napětí a deformace pro asymetricky zatížený rám tohoto stavu.

Výsledky symetricky zatíženého rámu zde nejsou uvedeny z důvodu menšího vzniklého napětí. Pro přehlednost výsledků jsou uvedeny viz Příloha 3,4.

Asymetrické zatížení

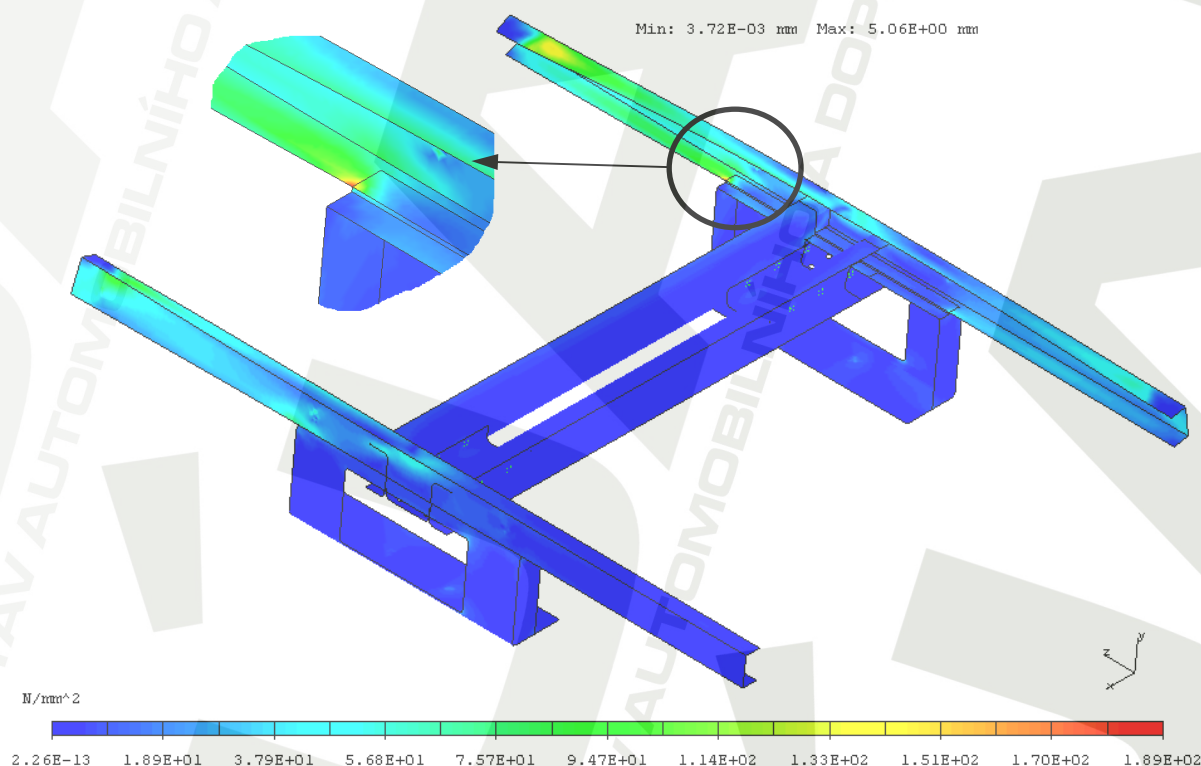
Při stavu Normální jízda zde vzniká největší napětí na dolní části rámu na U-100 profilu viz Obr. 19. Druhá největší koncentrace napětí vzniká na horní části rámu na U-140 profilu viz obr. 18. Tyto hodnoty při porovnání s dovoleným napětím jsou vyhovující.

Maximální deformace vzniká na táhlu mezi dolní a horní částí rámu viz Příloha 5. Další největší deformace je na dolní části rámu viz Obr. 20.



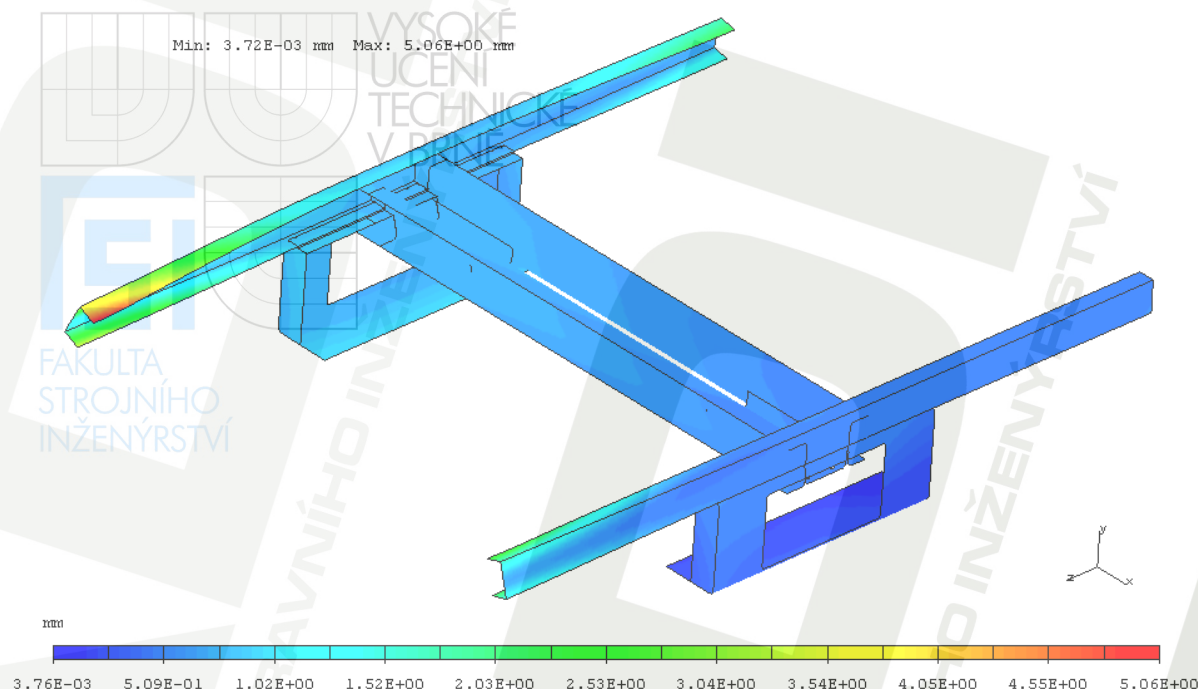
Obr.18: Maximální napětí na horní části rámu

Maximální redukované napětí HMH v horní části rámu 147 MPa. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, při stavu Normální jízda. Lokální výskyt max. napětí u konce příruby nosné kladky na straně umístění hmoty M2.



Obr.19: Maximální napětí na dolní části rámu

Maximální redukované napětí HMH v dolní části rámu 189 MPa. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, při stavu Normální jízda. Lokální výskyt max. napětí v detailu na přechodu Konzoly 1 a profilu U-100 viz Obr. 2, na straně umístění hmoty M2.



Obr.20: Maximální deformace na dolní části rámu

K největší podstatné deformaci 5,06 mm dochází v dolní části rámu na profilu U-100 na straně, která je nejbližší zatěžující hmotě M2. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, při stavu Normální jízda.

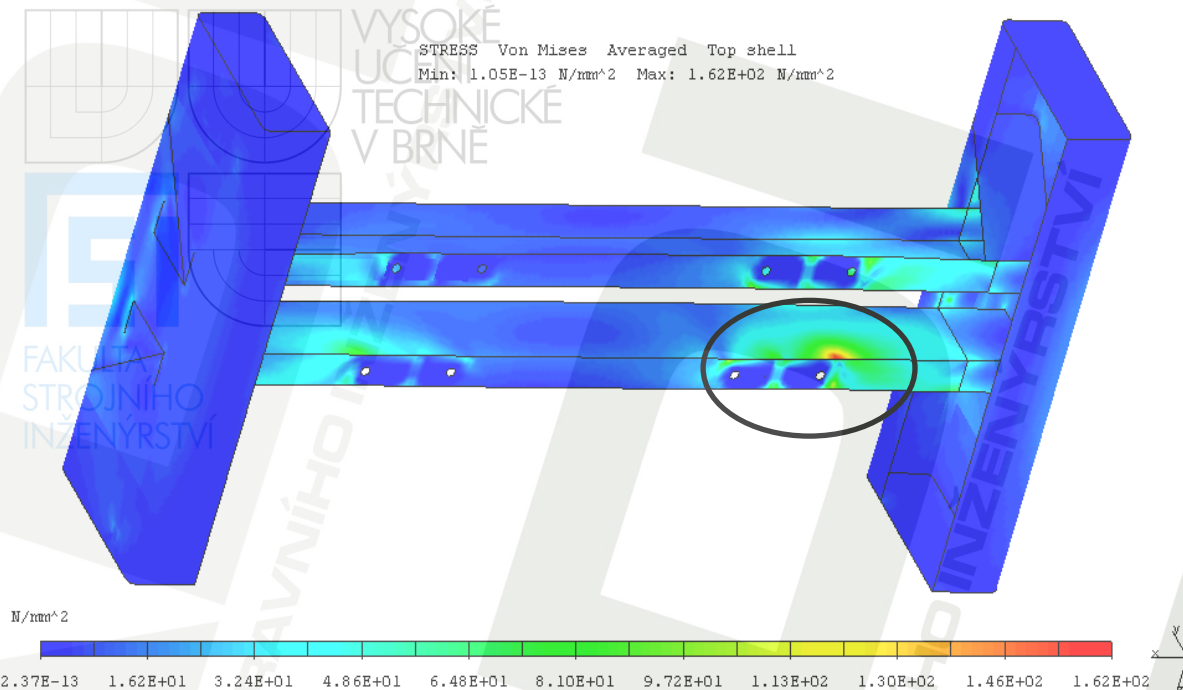
7.2 Rozjezd výtahu

Shodně s kapitolou 7.1 zde uvedeme maximální napětí a deformace asymetrické jízdy při stavu Rozjezd výtahu. Vznikají zde totiž vyšší hodnoty než u symetrického zatížení. Symetrické zatížení udává Příloha 6,7.

Asymetrické zatížení

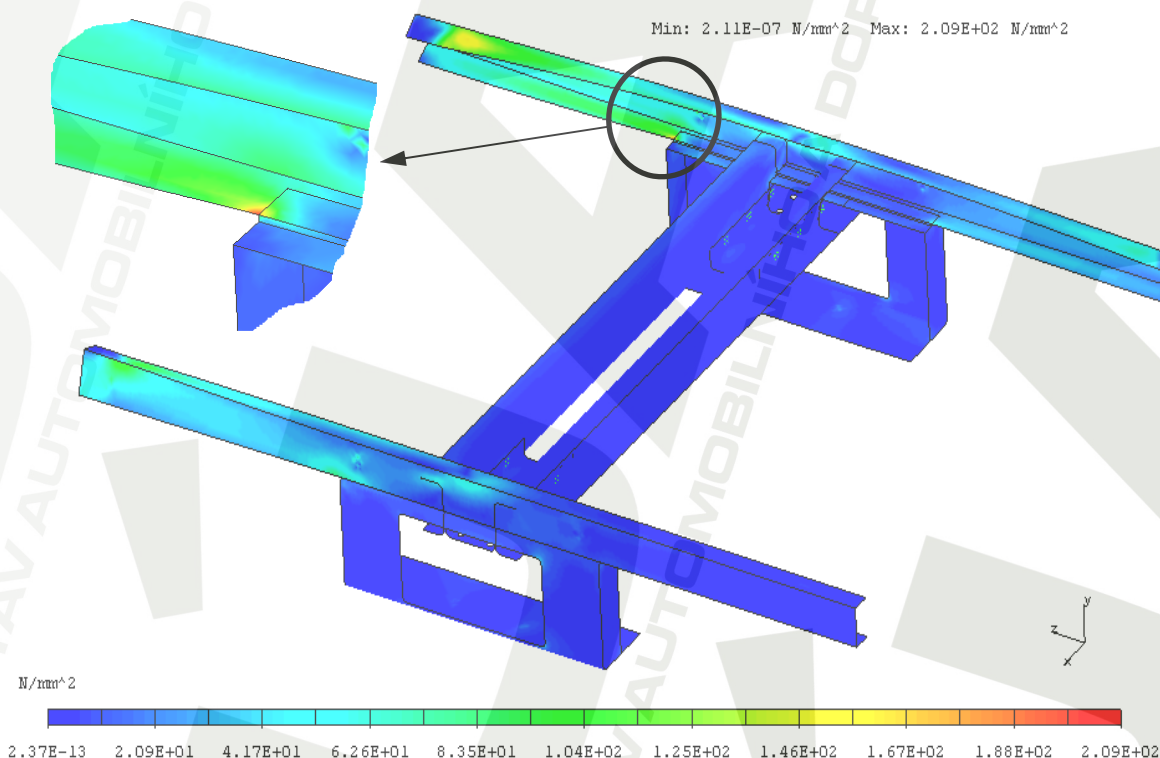
Při stavu Rozjezd výtahu zde vzniká největší napětí na dolní části rámu na U-100 profilu viz Obr. 22. Druhá největší koncentrace napětí vzniká na horní části rámu na U-140 profilu viz obr. 21. Tyto hodnoty při porovnání s dovoleným napětím jsou vyhovující.

Maximální deformace vzniká na táhlu mezi dolní a horní částí rámu viz Příloha 8. Další největší deformace je na dolní části rámu viz Obr. 23.



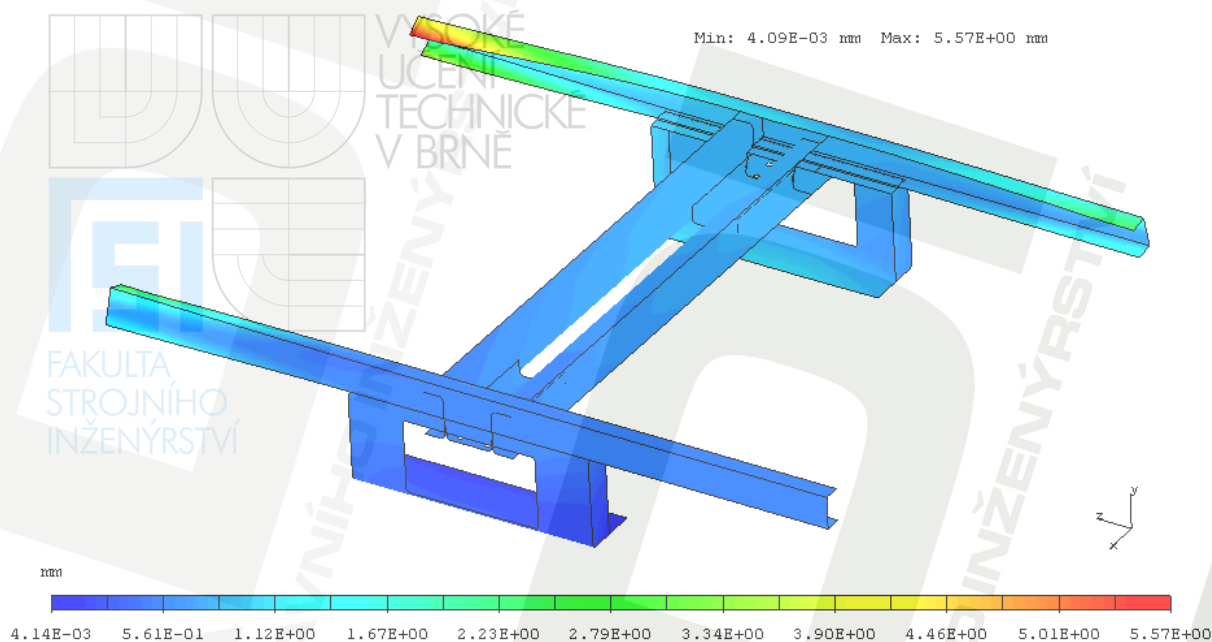
Obr.21: Maximální deformace na horní části rámu

Maximální redukované napětí HMH v horní části rámu 162 MPa. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, při stavu Rozjezd výtahu. Lokální výskyt max. napětí u konce příruby nosné kladky na straně umístění hmoty M2.



Obr.22: Maximální napětí na dolní části rámu

Maximální redukované napětí HMH v dolní části rámu 209 MPa. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, při stavu Rozjezd výtahu. Lokální výskyt max. napětí v detailu na přechodu Konzoly 1 a profilu U-100 viz Obr. 2, na straně umístění hmoty M2.



Obr.23: Maximální deformace na dolní části rámu

K největší podstatné deformaci 5,57 mm dochází v dolní části rámu na profilu U-100 na straně, která je nejbližší zatěžující hmotě M2. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, při stavu Rozjezd výtahu.

7.3 Vybavení zachycovačů

Stejně jako předchozí zde uvedeme maximální napětí a deformace asymetrické jízdy při stavu Vybavení zachycovačů. Vznikají zde totiž vyšší hodnoty než u symetrického zatížení. Symetrické zatížení udává Příloha 9,10.

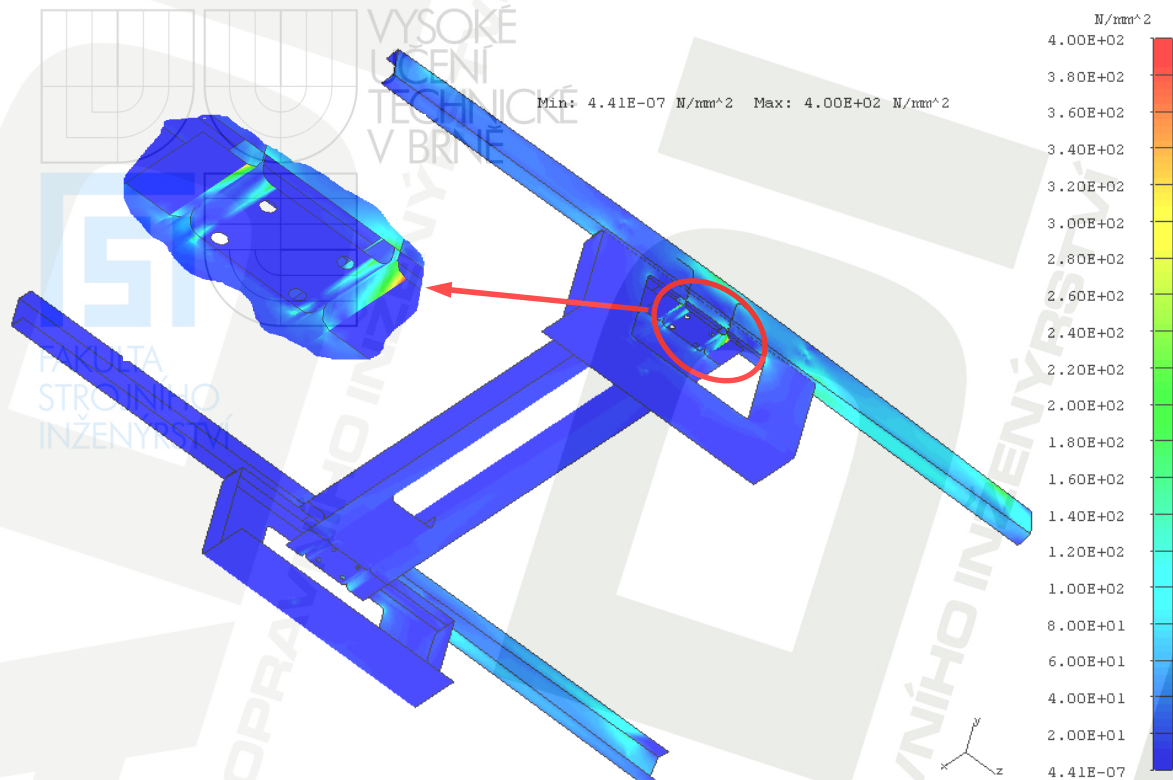
Asymetrické zatížení

Při stavu Vybavení zachycovačů zde vznikají největší napětí na dolní části rámu v místech dosedací plochy zachycovačů viz Obr. 24. Tyto hodnoty při porovnání s dovoleným napětím jsou **nevyhovující**. Napětí vzniká pouze v nepatrné ploše mezi zachycovačem a nosníky U profilu z ohýbaného plechu tloušťky 4 mm. Vzhledem k lokaci tohoto napětí a stavu, který je ojedinělý by však přesáhnutá hodnota napětí neměla ohrozit bezpečnost výtahu. Nutností je však při dosažení toho stavu kontrola těchto míst.

Druhé nejvyšší napětí vzniká stejně jako ve všech případech na přechodu Konzoly 1 a profilu U-100 viz Obr. 2, na straně bližší k umístění hmoty M2. Toto zobrazení již zde není naznačeno (zcela totožné s předchozími stavy), jeho hodnota je 238 MPa viz Tab.8. Při porovnání s dovoleným napětím je **nevyhovující**.

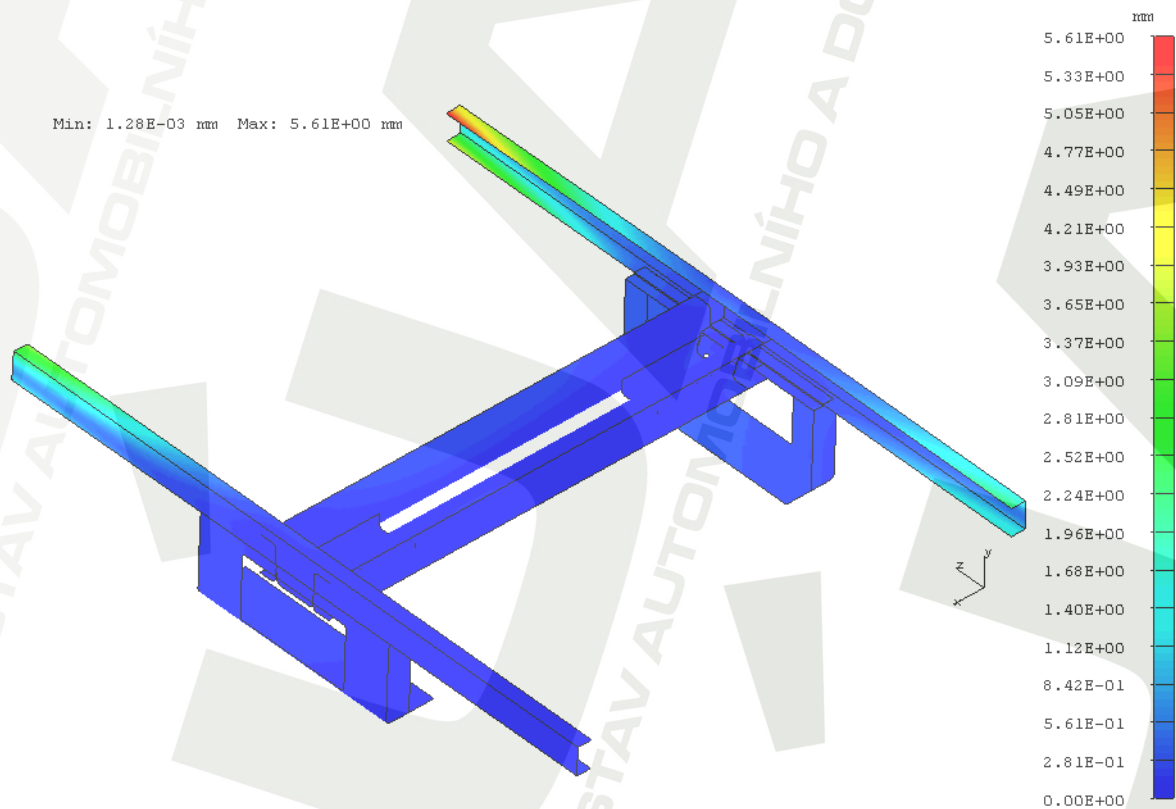
Ostatní koncentrace napětí na rámu klece se pohybují v dovolených hodnotách.

Maximální deformace vzniká na táhlu mezi dolní a horní částí rámu viz Příloha 11. Další největší deformace je na dolní části rámu viz Obr. 25.



Obr.24: Maximální napětí na dolní části rámu

Maximální redukované napětí HMM v dolní části rámu 400 MPa. Měřítko deformace 1:5. Zatížení asymetrické, při stavu Vybavení zachycovačů. Lokální výskyt max. napětí v detailu na dosedací ploše zachycovačů, na straně bližší umístění hmoty M2. Obr.24.



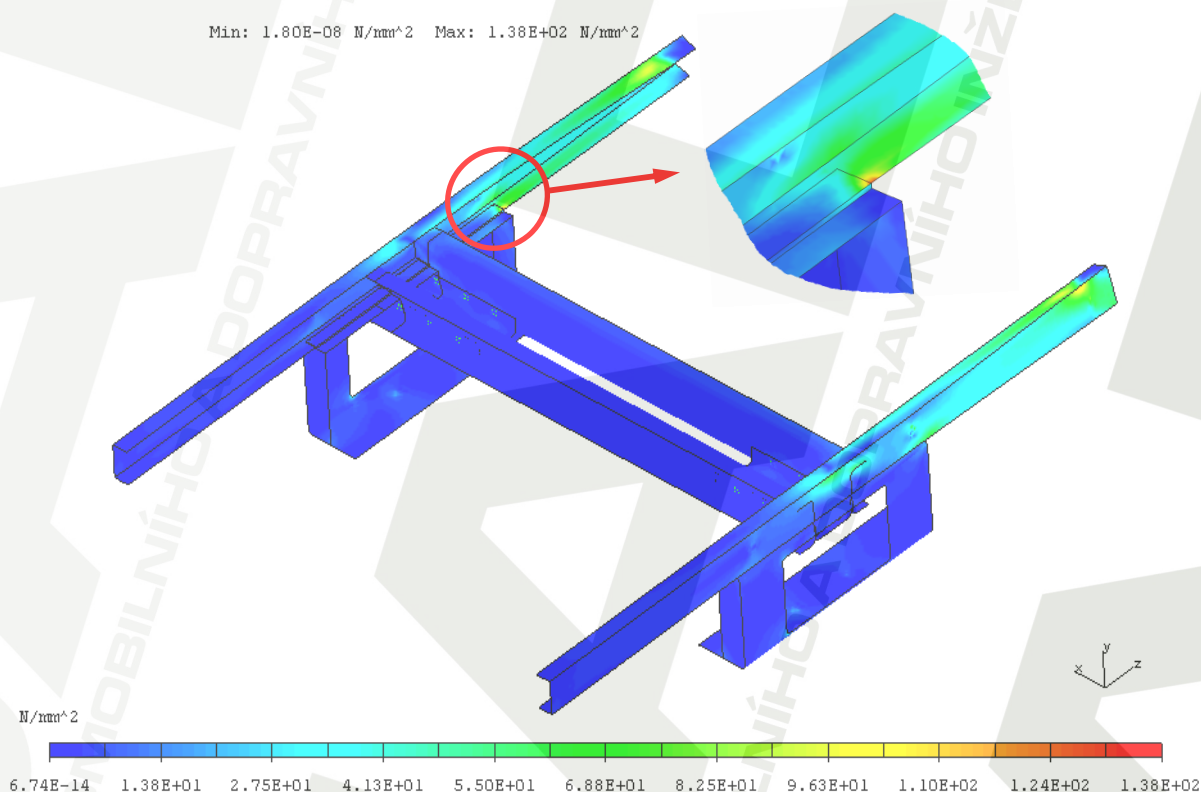
Obr.25: Maximální deformace na dolní části rámu

K největší podstatné deformaci 4 mm dochází v dolní části rámu na profilu U-100 na straně, která je nejbližší zatěžující hmotě M2. Měřítko deformace 1:1. Zatížení asymetrické, při stavu Vybavení zachycovačů. Obr. 25.

7.4 Nakládání

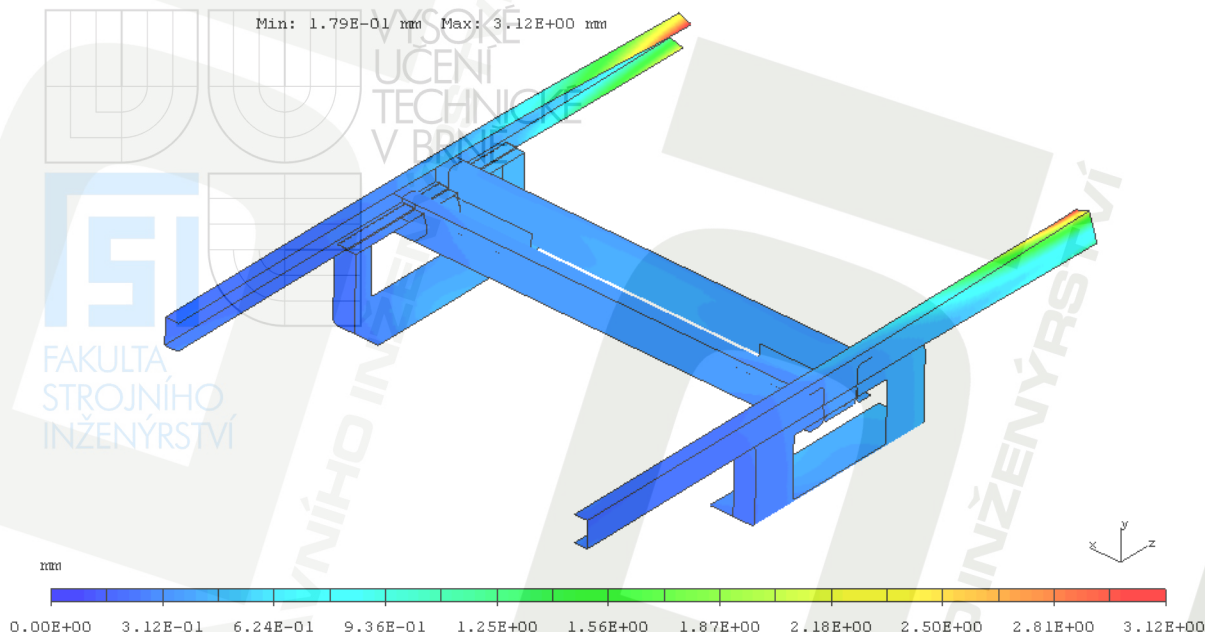
Při stavu Nakládání zde vzniká největší napětí na dolní části rámu na U-100 profilu viz Obr. 26. Tyto hodnoty při porovnání s dovoleným napětím jsou vyhovující.

Maximální deformace vzniká na táhlu mezi dolní a horní částí rámu viz Příloha 12. Další největší deformace je na dolní části rámu viz Obr. 27.



Obr.26: Maximální napětí na dolní části rámu

Maximální redukované napětí HMH v dolní části rámu 138 MPa. Měřítko deformace 1:10. Zatížení stav Nakládání. Lokální výskyt max. napětí v detailu na přechodu Konzoly 1 a profilu U-100 viz Obr. 2, na obou U profilech na straně umístění hmoty M3. Obr.26.



Obr.27: Maximální deformace na dolní části rámu

K největší podstatné deformaci 3,12 mm dochází v dolní části rámu na profilech U-100 na straně, která je nejbližší zatěžující hmotě M3. Deformace na dvou koncích je totožná, díky hmotě M3 ležící ve středu mezi nimi. Měřítko deformace 1:10. Zatížení stav Nakládání. Obr. 27.

7.5 Vyhodnocení výsledků

Výsledky analýzy MKP nám ukázali nejvíce namáhaná místa na rámu výtahu. Při běžném používání výtahu jsou hodnoty napětí v souladu s dovoleným napětím.

Tomu však není při stavu Vybavení zachycovačů, kde hodnota napětí přesáhla povolenou hranici téměř dvojnásobně obr.24. Avšak místo výskytu toho napětí není tak kritické s ohledem na bezpečnost a funkci konstrukce.

To se však nedá říci o místě Deformace 1. Kdy toto místo je namáháno při běžném používání výtahu. Vliv napětí v tomto místě by mohl mít za následek vznik únavového lomu, kde by se mohla uvolnit některá z podpěr podlahy. Proto je v následující kapitole řešena jedna z možných variant úpravy rámu s ohledem na přemístění tohoto místa koncentrace napětí.

Vzniklé nejvyšší hodnoty deformace jsou na táhlech obr. 4 v okolí středu jejich délky. Tato deformace dosahuje extrémních hodnot. To však zohledňuje štíhlost táhla ve směru deformace a tudíž i jeho velká pružnost. Příčinu této deformace způsobuje na rámu v pořadí druhá největší deformace. Ta vzniká na koncích profilů U-100 díky vzniklému bimomentu.

V Tab. 8 jsou znázorněny nejvyšší vzniklé hodnoty napětí a deformací rámu.

Z výsledků jsme zjistili místa těchto největších koncentrací napětí. Kdy:

Napětí 1 – Přejít mezi koncem Konzoly 1 a profilu U-100 viz obr.2,26.

Napětí 2 – Na profilu U-140 viz obr.1,21 v místě okraje příruby nosné kladky.

Deformace 1 – Uprostřed délky bočních táhel výtahu viz obr.4.

Deformace 2 – Konce profilu U-100 viz obr.2,27.

Tab. 8: Výsledky analýzy MKP

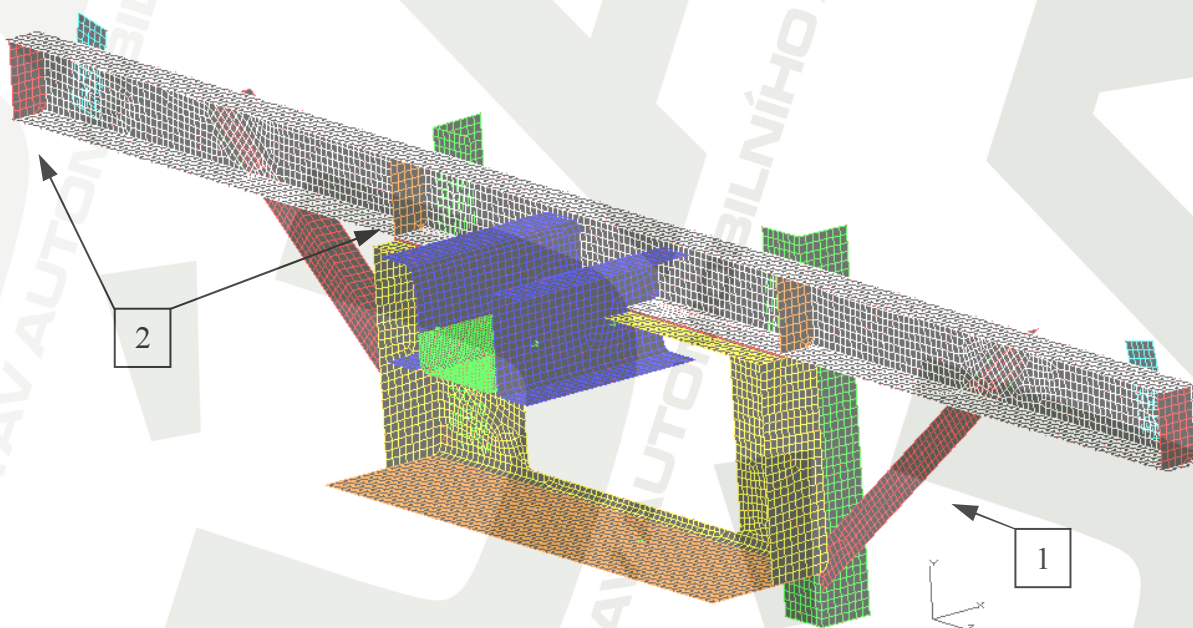
	Zatížení	Napětí 1 [MPa]	Napětí 2 [MPa]	Deformace 1 [mm]	Deformace 2 [mm]
Normální jízda	Symetrické	129	124	11,5	3
	Asymetrické	189	147	18,9	5,06
Rozjezd výtahu	Symetrické	142	137	12,7	3,31
	Asymetrické	209	162	20,8	5,57
Vybavení zachyc.	Symetrické	171	-	14	3,53
	Asymetrické	238	-	22,1	5,61
Nakládání	-	138	83,1	11,9	3,12

8 Varianta změny konstrukce

Změny v konstrukci rámu výtahu jsem stanovil podle vyhodnocení výsledků MKP. Podmětem k těmto změnám je výskyt napětí v kritické oblasti, kde tato nebezpečná koncentrace napětí vzniká při běžném užívání výtahu.

Cílem dobré konstrukce je ideálně pružný celek, kdy napětí se rozloží rovnoměrně do všech prvků konstrukce a nevytváří tak místa „shluků“ napětí. Volil jsem proto řešení, kdy pomocí vzpěry (1) připojené k odlehčovanému (napěťově) prvku spojím s prvkem, který je nejméně namáhaný (L-profil svislé táhlo). Pro snížení deformací jsem volil navíc záslepky (2) v profilu U-100. Na Obr.28 jsou změny naznačeny ve výpočtové síti programu I-DEAS (červená barva).

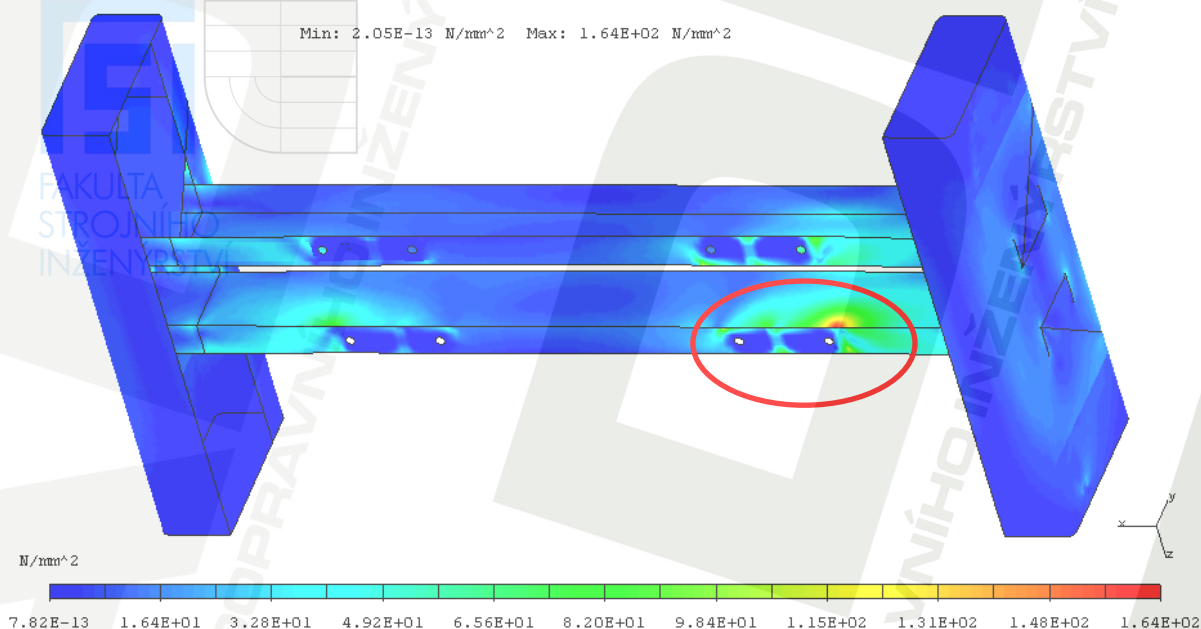
Konstrukční změny jsou zpracovány v sestavě přiložené výkresové dokumentace.



Obr.28: Změny v konstrukci

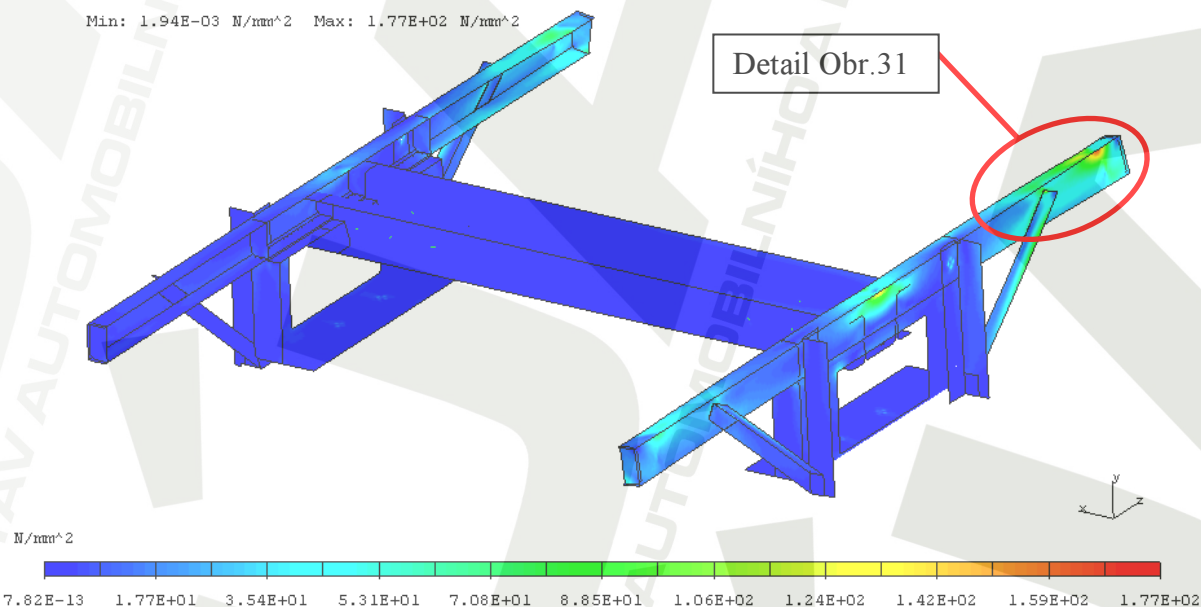
8.1 Výsledky změny MKP

Změna je zpracována při stavu Rozjezd výtahu asymetrické zatížení, protože zde vznikají nejvyšší výsledné hodnoty napětí při běžném provozu.



Obr.29: Maximální napětí na horní části rámu změny

Maximální redukované napětí HMM v horní části rámu 164 MPa. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, při stavu Rozjezd výtahu ve změně konstrukce. Lokální výskyt max. napětí u konce příruby nosné kladky na straně umístění hmoty M2. Obr.29.



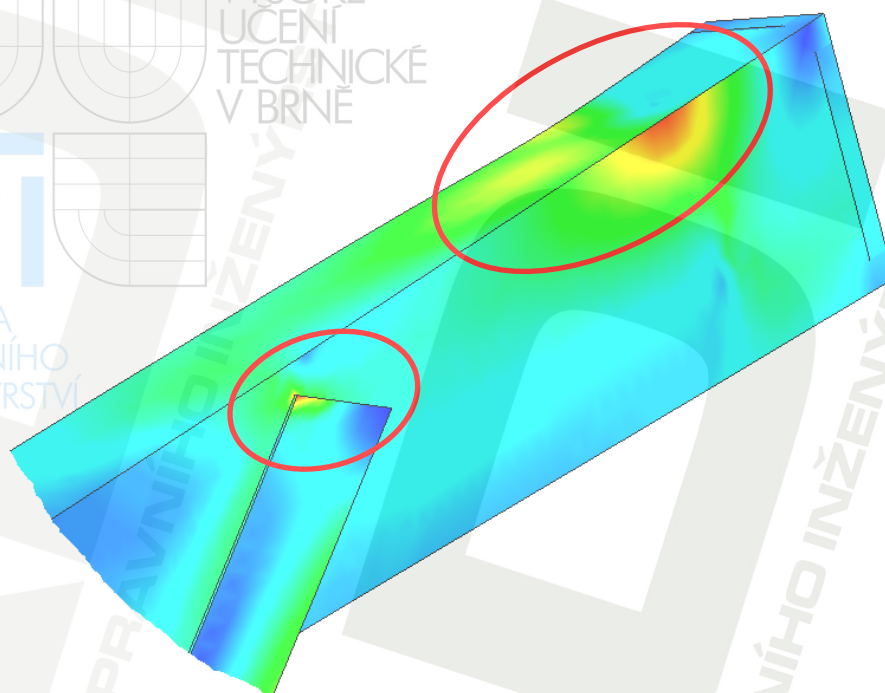
Obr.30: Maximální napětí na dolní části rámu změny

Maximální redukované napětí HMM v dolní části rámu 177 MPa. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, stav Rozjezd výtahu při změně konstrukce. Lokální výskyt max. napětí v detailu Obr.31, na straně umístění hmoty M2. Obr.30.



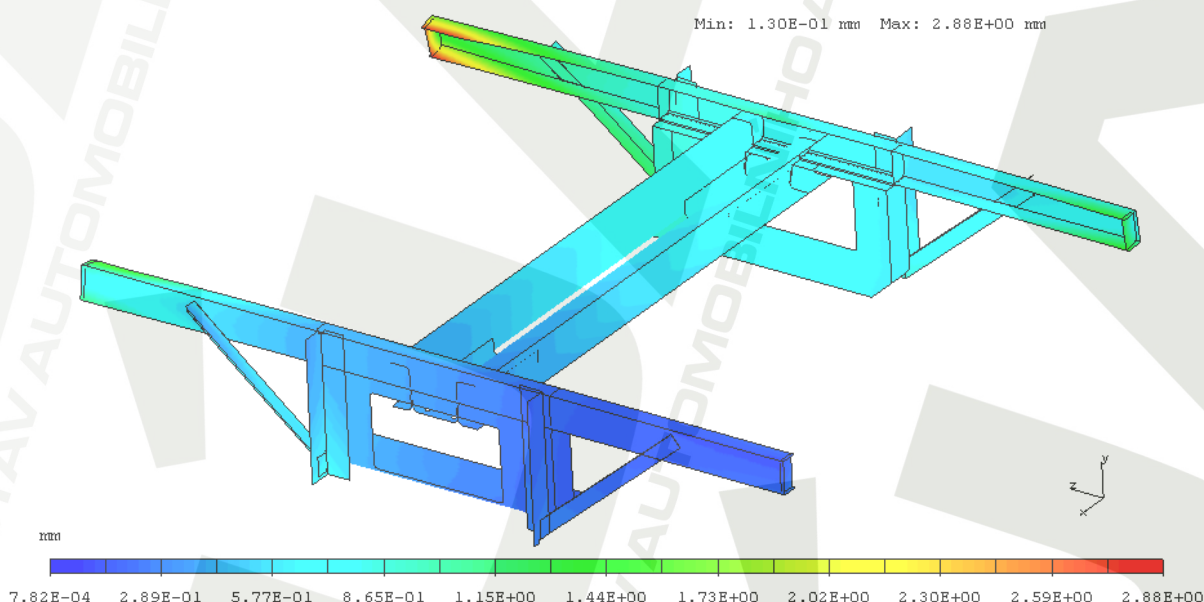
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



Obr.31: Detail maximálního napětí na dolní části rámu změny

Detail maximálního redukovaného napětí HMH v dolní části rámu 177 MPa dle Obr. 30. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, stav Rozjezd výtahu při změně konstrukce. Lokální výskyt max. napětí u konce spoje vyztužovací vzpěry a v místě ukončení silentbloku viz Obr.31.



Obr.32: Maximální deformace na dolní části rámu změny

K největší podstatné deformaci 2,88 mm dochází v dolní části rámu na profilu U-100 na straně, která je nejbližší zatěžující hmotě M2. Měřítko deformace 1:10. Zatížení asymetrické, stav Rozjezd výtahu při konstrukční změně. Obr. 32.

8.2 Zhodnocení výsledku

Porovnáním s předchozí konstrukcí můžeme upozorovat přesunutí koncentrace napětí do míst vyztužující vzpěry a na profil U-100 u krajního silentbloku viz Obr.31. Tímto můžeme tvrdit, že z předešlé konstrukce jsme nyní napětí rozložili na dvě místa, která neleží v nebezpečném místě této konstrukce. Kdy se nám podařilo snížit namáhání z 209 MPa na 177 MPa, což je z hlediska dovoleného napětí vyhovující. Místo původního vzniku koncentrace napětí (209 MPa) viz Obr.22 je nyní odlehčeno na hodnotu 55 MPa viz Tab.9.

Deformace se na změněné konstrukci nyní snížila v místě dolní části rámu na profilu U-100 viz Obr.32 o 2,69 mm. Vlivem zásepek Obr.27 poz. 2 jsme docílili snížení deformací na táhlech mezi horní a dolní částí rámu o 11,46 mm.

Způsob vyztužení proto můžeme uvažovat jako jednu možnou variantu, která je vyhovující. Místa koncentrace napětí nyní leží v prostorech nově přidané vzpěry, což je z hlediska bezpečnosti výtahu výhodnější varianta.

Volba vzpěr a jejich rozměry jsou zobrazeny v sestavě přiložené výkresové dokumentace.

Tab. 9: Výsledky analýzy MKP se změnou v konstrukci

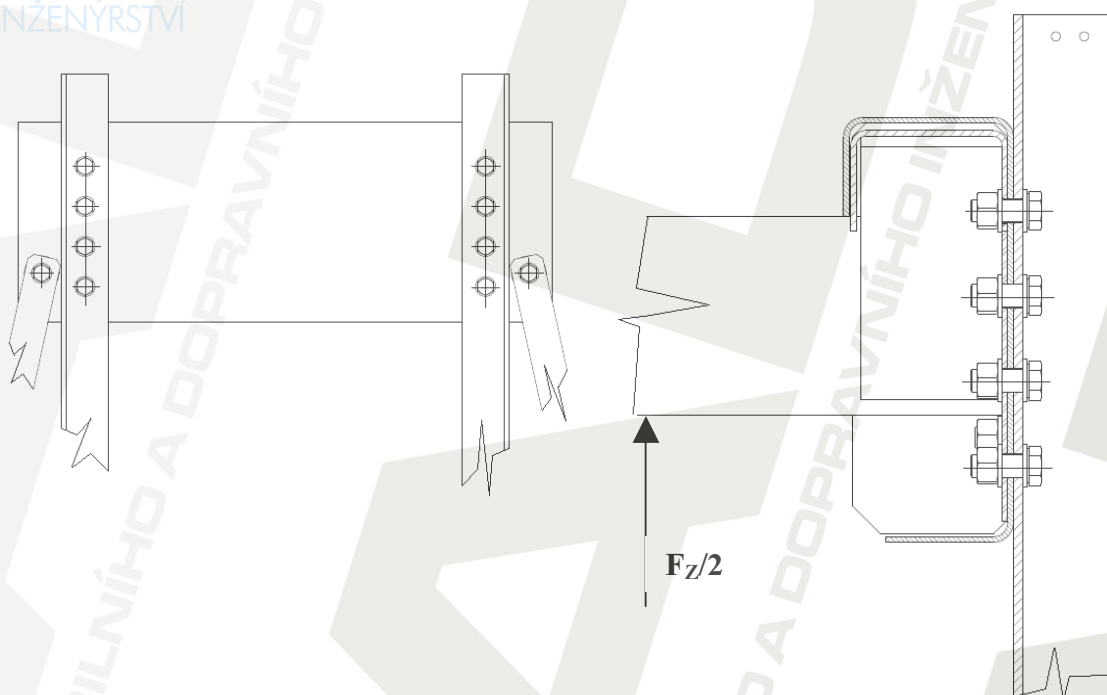
	Zatížení	Napětí 1 [MPa]	Napětí 2 [MPa]	Deformace 1 [mm]	Deformace 2 [mm]
Rozjezd výtahu	Asymetrické	209	162	20,8	5,57
Změna	Asymetrické	55	164	9,34	2,88

9 Šroubové spoje

V této kapitole zkontrolujeme šroubové spojení na konstrukci výtahu. Volím pro kontrolu spojení v horní části rámu, kdy svislá táhla profilu L spojují dolní část viz Obr.4. Na bocích rámu jsou takto spojeny dva L – profily s konzolou. Konzola je svarovým spojem sloučená s profily U-140 na kterých je nosný prvek (kladky). Kontrolu budeme provádět pro stav Rozjezd výtahu. Šroubové spojení horní části rámu s L profily je zobrazeno na Obr. 33.

Ve výpočtu budeme kontrolovat šrouby na tah dle [7] ve zjednodušené formě rovnoměrně rozloženého zatížení.

Volím dle [6] str. 33 používané šrouby pro nosné konstrukce třídu pevnosti 4.6 (4D).



Obr.33: Kontrolované šroubové spojení na horní části rámu

Dle [7] Tab.8. pro šrouby pevnostní třídy 4.6:

$R_e = 240 \text{ MPa}$ Mez kluzu

Dle [7] Tab.10. pro Spoj s předpětím zatížený míjivě:

$\sigma_{Dš} \approx (0,3 \text{ až } 0,1) \cdot R_e$ Dovolené napětí šroubu

Volím:

$$\sigma_{Dš} = 0,1 \cdot R_e$$

$$\sigma_{Dš} = 0,1 \cdot 240$$

$$\sigma_{Dš} = 24 \text{ MPa}$$

(68)

Zatěžující síla:

Vznik této síly je vzhledem k maximální nosnosti výtahu. Počítáme s rozjezdovým zrychlením $a = 1 \text{ m/s}^2$, při gravitačním zrychlení $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ a hmotnosti $P+Q = 2625 \text{ kg}$ viz rovnice (2).

$$\begin{aligned} F_z &= (P + Q) \cdot (g + a) \\ F_z &= 2625 \cdot (9,81 + 1) \\ F_z &= 28376,25 \text{ N} \end{aligned} \quad (69)$$

Síla ve šroubech:

Zatěžující sílu musíme díky symetričnosti konstrukce rozdělit na obě strany rámu, proto počítáme pouze s 50% této síly. Dále tuto sílu rozkládáme do 8 šroubů, kterými je rám spojen. Spojení táhel, které slouží spíše pro vyztužení podlahy, neuvažujeme. Obr.33.

$i = 8$ Počet zatěžovaných šroubů

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{(F_z / 2)}{i} \\ F_s &= \frac{28376,25 / 2}{8} \\ F_s &= 1773,52 \text{ N} \end{aligned} \quad (70)$$

Jmenovitý výpočtový průřez šroubu:

pro šroub M16 x 1,5 dle [5]:

$d_2 = 15,026 \text{ mm}$ Střední průměr metrického závitu

$d_3 = 14,16 \text{ mm}$ Malý průměr metrického závitu

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \\ A_s &= \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{15,026 + 14,16}{2} \right)^2 \\ A_s &= 167,255 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (71)$$

Pevnostní podmínka:

$$\begin{aligned} \sigma_s &= \frac{F_s}{A_s} \leq \sigma_{D\dot{s}} \\ \sigma_s &= \frac{1773,52}{167,255} \leq \sigma_{D\dot{s}} \\ \sigma_s &= 10,6 \text{ MPa} \leq 24 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (72)$$

Vyhovuje!

Závěrem můžeme říci, že šrouby M16 x 1,5, ČSN EN 24017 třídy pevnosti 4.6, které jsou stanoveny pro nosné konstrukce, jsou vyhovující.

10 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce byla kontrola rámu lanového trakčního výtahu. Konstrukce toho rámu byla stanovena firmou Liftmont CZ s.r.o. Výpočtová kontrola je prováděna v programu I-DEAS 11. Vzhledem k nesouhlasným prutovým předpokladům této konstrukce není řešení rám klasickými výpočtovými metodami, kde nelze použít žádnou z možných výpočtových metod. Dle normy ČSN EN 81-1 je zde kontrola rámu zahrnuta pouze v obsazení počátečních podmínek, kdy tato norma udává pouze zatěžující sílu na rám (125% nosnosti) a stanovení povolené funkce zachycovače.

Provedla se analýza MKP při stavech jízdy, rozjezdu, vybavení zachycovačů a nakládání. Z těchto výsledků jsme zjistili, že nejkritičtější hodnoty napětí a deformací vznikají pro stav Vybavení zachycovačů. Zhledem k porovnávánému dovolenému napětí se zjistilo, že při tomto stavu hodnoty napětí nevyhovují. Nejvyšší deformace vznikají na táhlech spojující horní a dolní část rámu. K podstatným deformacím však vzniká na dolní části rámu u konců nosníků, ke kterým je připevněna podlaha.

Přezkoumáním všech namáhaných stavů se zjistila koncentrace napětí v kritickém místě rámu, z hlediska bezpečnosti a životnosti výtahu. Tato koncentrace se zde vyskytuje při všech stavech. Proto je řešení konstrukční návrh změny na rámu výtahu. Změna je již kontrolována pouze při stavu, který je z hlediska provozu nejčastější a nejvíce namáhaný. A to je stav Rozjezd výtahu. Z výsledků je patrné, že maximální hodnotu napětí i deformace se podařilo snížit a koncentraci napětí v kritickém místě zcela přesunout do míst bezpečnějšího výskytu namáhání.

Tato práce dále obsahuje kontrolu vodiček dle normy ČSN EN 81-1. Vodička jsou rozměrově stanovena v projekčním plánu firmy Liftmont CZ s.r.o. Kontrola proto směřovala vhodným navržením třídy pevnosti zvoleného materiálu pro vodička a jejich technologické výroby. Hlavním cílem pro tyto vodičky byla navržená maximální rozteč ukotvení vodiček tak, aby vyhovovali všechny vzniklé namáhání na vodičkách při stavech, které udává norma.

V kapitole 3 se zabýváme rozbořem konstrukce toho výtahu, kde je nastíněna celá koncepce uspořádání jednotlivých prvků a jejich spojení. Konkrétnější zobrazení je v příložené sestavě výkresové dokumentace.

Kapitola 4 naznačuje postup při návrhu nejzákladnějších funkčních prvků této konstrukce. Kdy je brán zřetel na parametry využívané při provozu výtahu.

V poslední části této práce se zabýváme kontrolou šroubových spojení, které se na rámu vyskytují v časté míře. Nejsou zde řešeny všechny varianty šroubového spojení využitě na rámu. Volilo se spojení, které z mého hlediska je nejkritičtější a to je spojení horní a dolní části rámu. Výpočet se zabýval pouze spojením v horní části rámu. Podle zatěžujících podmínek a použitých šroubů M16 x 1,5 se zjistilo, že tyto spojení vyhovují.

Seznam použitých symbolů

Tab.10:

Symbol	Význam	Jednotky
A	Délka podlahy kabiny	[mm]
A_5	Poměrné prodloužení vodička	[%]
A_S	Jmenovitý výpočtový průřez šroubu	[mm ²]
B	Šířka podlahy kabiny	[mm]
c	Tloušťka spojky mezi přírubou a stojnou	[mm]
d_2	Střední průměr metrického závitu	[mm]
d_3	Malý průměr metrického závitu	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu pro taženou ocel	[MPa]
F_k	Vzpěrná síla	[N]
F_S	Velikost zatížení prahu	[N]
$F_{\dot{s}}$	Síla ve šroubech	[N]
F_{xf}	Síla ve vodících čelistech vzhledem k ose x pro stav nakládání	[N]
F_{xji}	Síla ve vodících čelistech vzhledem k ose x pro stav jízda, případ $i \in \{1,2\}$	[N]
F_{xzi}	Síla ve vodících čelistech vzhledem k ose x pro stav zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	[N]
F_{yf}	Síla ve vodících čelistech vzhledem k ose y pro stav nakládání	[N]
F_{yji}	Síla ve vodících čelistech vzhledem k ose y pro stav jízda, případ $i \in \{1,2\}$	[N]
F_{yzi}	Síla ve vodících čelistech vzhledem k ose y pro stav zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	[N]
F_z	Vzniklá síla na rám při stavu Rozjezd výtahu	[N]
g_n	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
h	Svislá vzdálenost mezi vodícími čelistmi	[mm]
I_{xx}	Moment setrvačnosti vodička k ose x	[mm ⁴]
I_{yy}	Moment setrvačnosti vodička k ose y	[mm ⁴]

i_k	Lanový převod	[-]
i_{xx}	Poloměr setrvačnosti vodička k ose x	[mm]
i_{yy}	Poloměr setrvačnosti vodička k ose y	[mm]
k_2	Součinitel rázu pro stav Normální provoz - jízda	[-]
k_{z1}	Součinitel rázu pro stav Zachycovače	[-]
l	Maximální rozteč mezi kotvami vodička	[mm]
$M1$	Zatěžující hmota v těžišti	[kg]
$M2$	Zatěžující hmota v asymetrickém bodě	[kg]
$M3$	Zatěžující hmota v bodě nástupu	[kg]
M_{xf}	Ohybový moment vzhledem k ose x pro stav – nakládání	[N·mm]
M_{xji}	Ohybový moment vzhledem k ose x pro stav – jízda, případ $i \in \{1,2\}$	[N·mm]
M_{xzi}	Ohybový moment vzhledem k ose x pro stav – zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	[N·mm]
M_{yf}	Ohybový moment vzhledem k ose y pro stav – nakládání	[N·mm]
M_{yji}	Ohybový moment vzhledem k ose x pro stav – jízda, případ $i \in \{1,2\}$	[N·mm]
M_{yzi}	Ohybový moment vzhledem k ose x pro stav – zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	[N·mm]
m_k	Hmotnost klece	[kg]
m_r	Hmotnost rámu	[kg]
m_p	Hmotnost podlahy	[kg]
n	Počet vodiček	[-]
P	Hmotnost kabiny	[kg]
Q	Nosnost výtahu	[kg]
R	Dovolené napětí pro nosné konstrukce materiálu 11 373	[MPa]
R_e	Mez kluzu pro šrouby	[MPa]
R_m	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
S	závěsný bod klece	[-]
S_{bj}	Součinitel bezpečnosti pro stav Normální provoz - jízda	[-]
S_{bz}	Součinitel bezpečnosti pro stav Zachycovače	[-]

S_v	Plocha příčného průřezu	$[mm^2]$
v_{jm}	Jmenovitá rychlost výtahu	$[m/s]$
v_v	Vybavovací rychlost	$[m/s]$
W_{xx}	Modul průřezu vodítka v ohybu k ose x	$[mm^3]$
x_f, y_f	Vzdálenost působíště zatížení vzhledem k vodítku, stav Nakládání	$[mm]$
x_p, y_p	Vzdálenost těžiště a hmotnosti klece P k vodítku	$[mm]$
x_{qi}, y_{pi}	Vzdálenost těžiště jmenovitého zatížení Q k vodítku	$[mm]$
δ_{xf}	Průhyb vzhledem k ose x pro stav nakládání	$[mm]$
δ_{xji}	Průhyb vzhledem k ose x pro stav jízda, případ $i \in \{1,2\}$	$[mm]$
δ_{xzi}	Průhyb vzhledem k ose x pro stav zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	$[mm]$
δ_{yf}	Průhyb vzhledem k ose y pro stav nakládání	$[mm]$
δ_{yji}	Průhyb vzhledem k ose y pro stav jízda, případ $i \in \{1,2\}$	$[mm]$
δ_{yzi}	Průhyb vzhledem k ose y pro stav zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	$[mm]$
λ_x	Štíhlost v ose x	$[-]$
λ_y	Štíhlost v ose y	$[-]$
σ_i	Kombinované napětí v ohybu a tlaku stav zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	$[MPa]$
σ_{ci}	Kombinované napětí v ohybu a vzpěru stav zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	$[MPa]$
$\sigma_{Dš}$	Dovolené napětí pro šrouby , míjivé zatížení	$[MPa]$
σ_{dovj}	Dovolené napětí pro stav Normální provoz - jízda	$[MPa]$
σ_{dovz}	Dovolené napětí pro stav zachycovače	$[MPa]$
σ_f	Kombinované napětí v ohybu stav nakládání	$[MPa]$
σ_{Fji}	Napětí na ohyb v přírubě vodítka stav jízda, případ $i \in \{1,2\}$	$[MPa]$
σ_{Fn}	Napětí na ohyb v přírubě vodítka stav nakládání	$[MPa]$
σ_{Fzi}	Napětí na ohyb v přírubě vodítka stav zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	$[MPa]$
σ_{ji}	Kombinované napětí v ohybu stav jízda, případ $i \in \{1,2\}$	$[MPa]$
σ_k	Napětí ve vzpěru	$[MPa]$
$\sigma_{š}$	Napětí v šroubech	$[MPa]$
σ_{xf}	Napětí v ohybu vzhledem k ose x, stav nakládání	$[MPa]$

σ_{xji}	Napětí v ohybu vzhledem k ose x, stav jízda případ $i \in \{1,2\}$	[MPa]
σ_{xzi}	Napětí v ohybu vzhledem k ose x, stav zachycovače případ $i \in \{1,2\}$	[MPa]
σ_{yf}	Napětí v ohybu vzhledem k ose y stav nakládání	[MPa]
σ_{yji}	Napětí v ohybu vzhledem k ose y stav jízda, případ $i \in \{1,2\}$	[MPa]
σ_{yzi}	Napětí v ohybu vzhledem k ose y, stav zachycovače případ $i \in \{1,2\}$	[MPa]
σ_{zi}	Kombinované napětí v ohybu stav zachycovače, případ $i \in \{1,2\}$	[MPa]
ω	Koeficient potřebný k výpočtu napětí na vzpěr	[-]

Seznam použité literatury

Internetové odkazy:

- [1] <http://www.comming.cz/katalog-detail/150001-lk200/>
- [2] <http://www.comming.cz/katalog-detail/260020-pq-4000-ud/>
- [3] <http://www.globalelevators.cz/content/download/496/2094/file/Vedení.pdf>
- [4] [http://www.globalelevators.cz/content/download/300/1437/file/super_alta\(3\).pdf](http://www.globalelevators.cz/content/download/300/1437/file/super_alta(3).pdf)

Knižní odkazy:

- [5] Leiveber J., Řasa J., Vávra P.: Strojnické tabulky, Scientia, 2000
- [6] Kříž R., Martinisko C., Weigner K.: Strojírenská konstrukce I, SNTL, 1986
- [7] Kříž R.: Stavba a provoz strojů I (část 1), Scientia, 1995
ČSN EN 81-1

Seznam příloh a výkresů

Číslo přílohy:

Příloha 1: Vazby nosných kladek a vodících čelistí v horní části.

Příloha 2: Vazby zachycovačů a vodících čelistí v dolní části.

Příloha 3: Napětí na symetricky zatíženém rámu pro stav Normální jízda.

Příloha 4: Maximální deformace symetricky zatíženého rámu pro stav Normální jízda.

Příloha 5: Maximální deformace asymetricky zatíženého rámu pro stav Normální jízda.

Příloha 6: Napětí na symetricky zatíženém rámu pro stav Rozjezd výtahu.

Příloha 7: Maximální deformace symetricky zatíženého rámu pro stav Rozjezd výtahu.

Příloha 8: Maximální deformace asymetricky zatíženého rámu pro stav Rozjezd výtahu.

Příloha 9: Napětí na symetricky zatíženém rámu pro stav Vybavení zachycovačů.

Příloha 10: Maximální deformace symetricky zatíženého rámu pro stav Vybavení zachycovačů.

Příloha 11: Maximální deformace asymetricky zatíženého rámu pro stav Vybavení zachycovačů.

Příloha 12: Maximální deformace zatíženého rámu pro stav Nakládání.

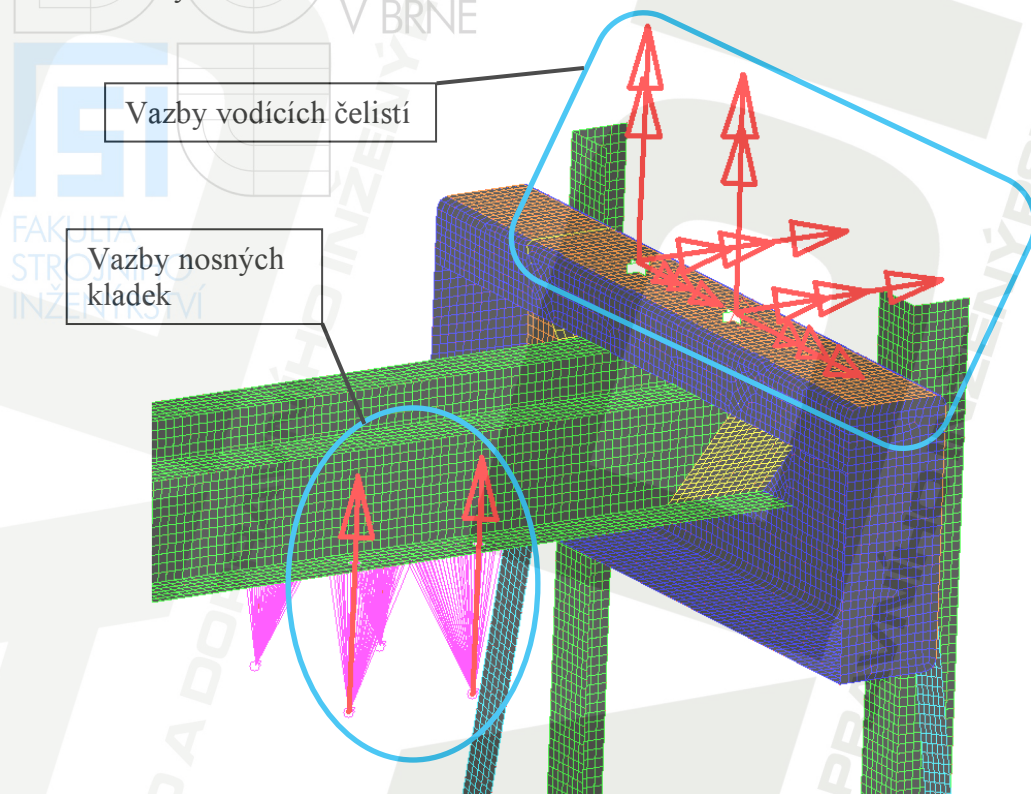
Příloha 13: Maximální deformace asymetricky zatíženého rámu pro stav Rozjezd výtahu při změně v konstrukci.

Číslo výkresu:

1-2010-0: Sestava rámu klece včetně konstrukčních změn.

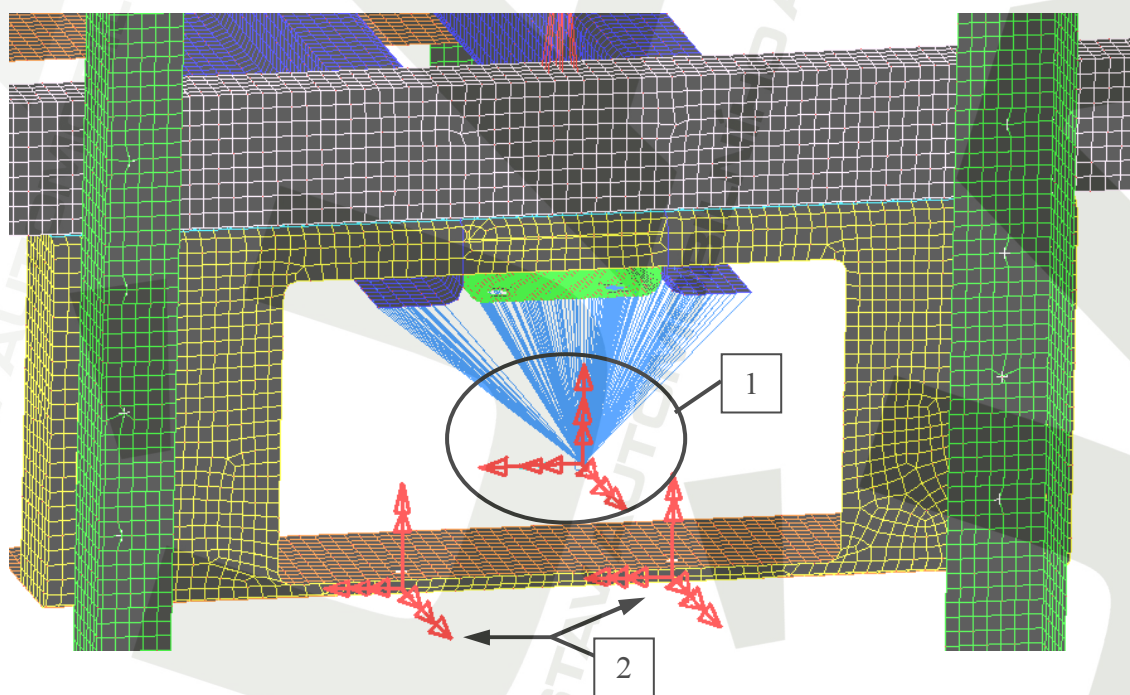
Příloha 1

Zavazbení nosných kladek a vodicích čelistí v horní části rámu.



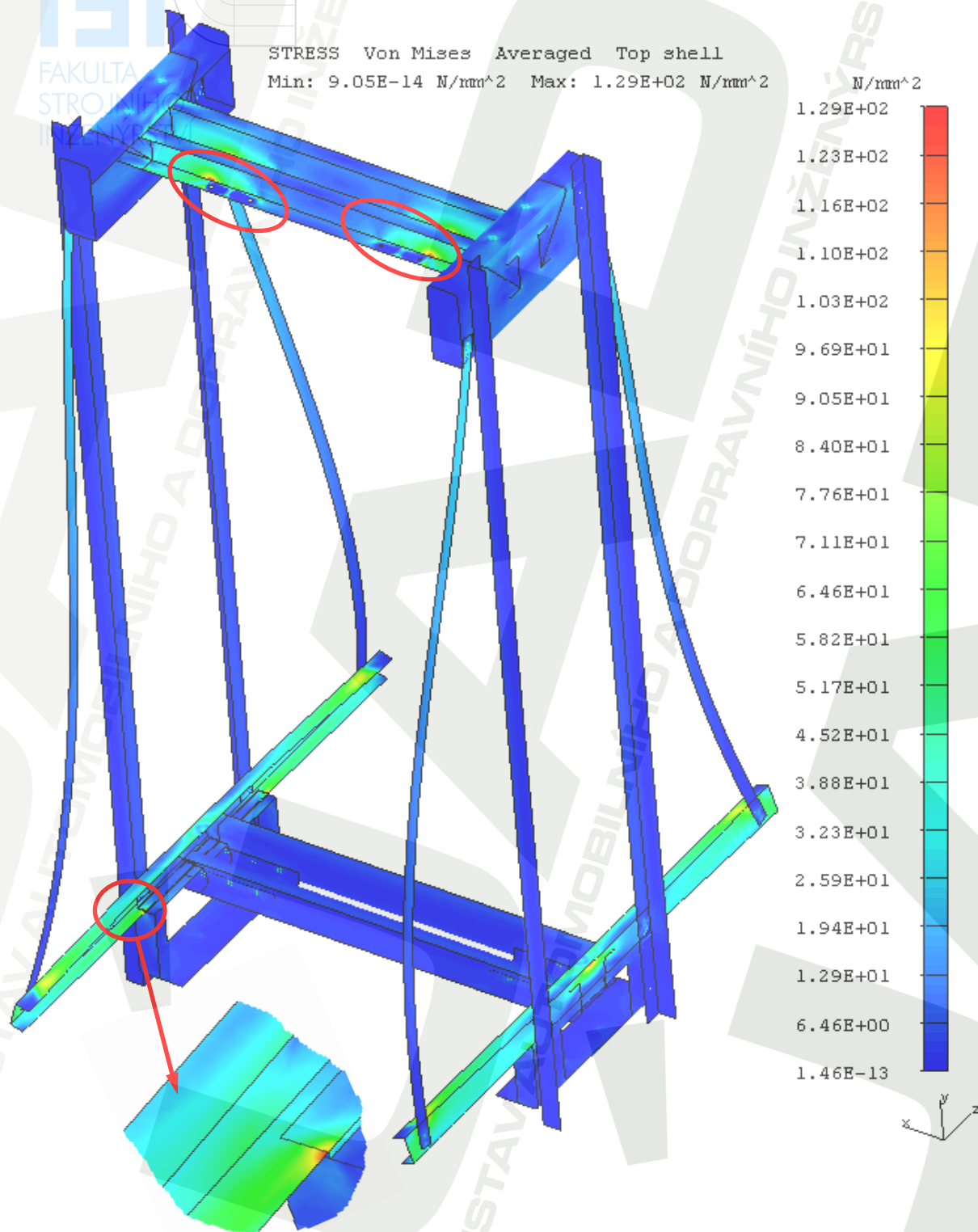
Příloha 2

Zavazbení zachycovačů (1) a vodicích čelistí (2) v dolní části rámu.



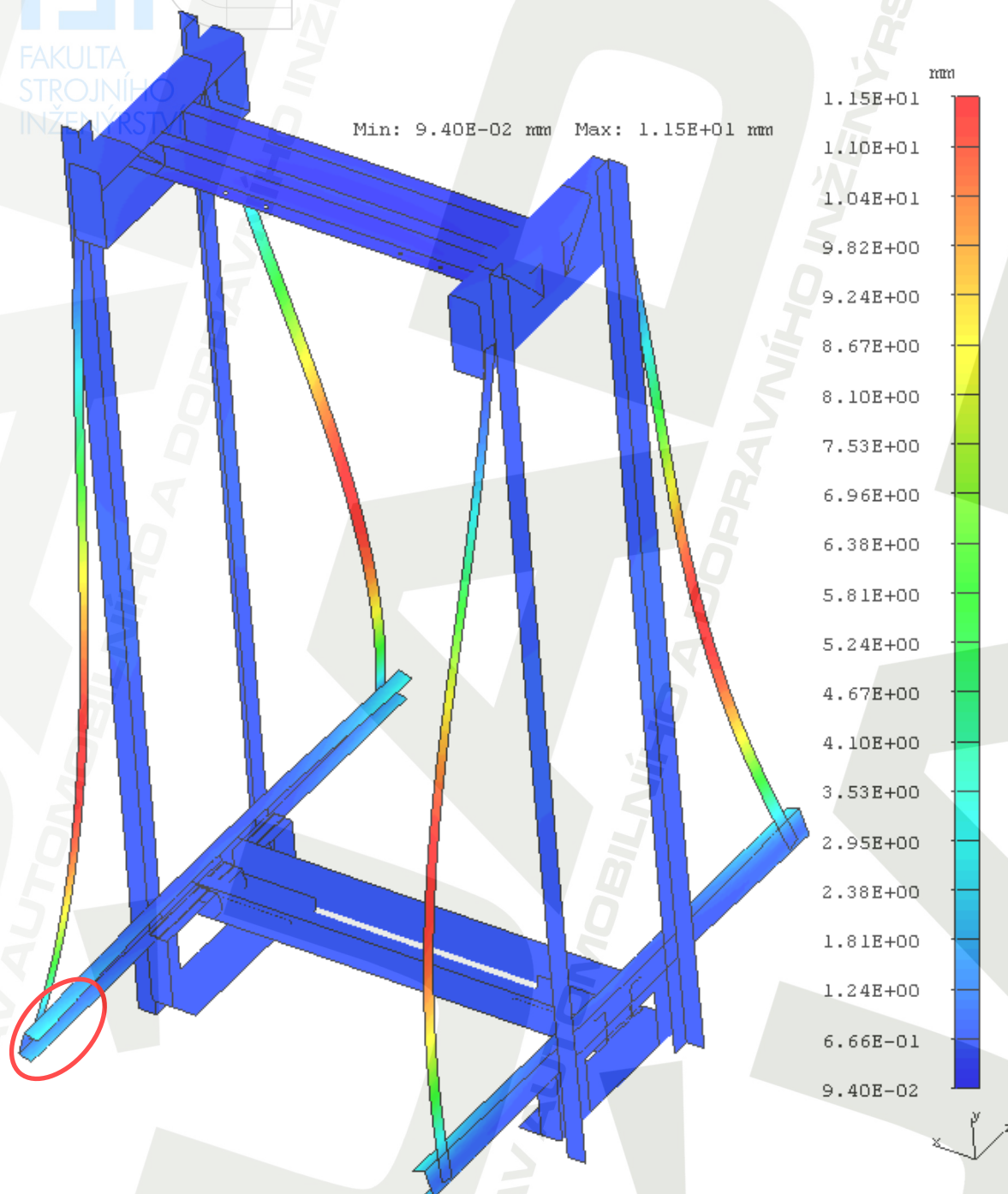
Příloha 3

Napětí symetricky zatíženého rámu pro stav Normální jízda. V detailu místo maximálního napětí v dolní části rámu. Měřítko deformace 1:10. Maximální napětí 129 MPa < R (210 MPa). Vyhovující. Druhé místo největší koncentrace napětí u konců přírub nosných kladek 124 MPa. Protože je zatížení symetrické, tyto místa výskytu koncentrace napětí jsou taktéž symetricky rozmístěna.



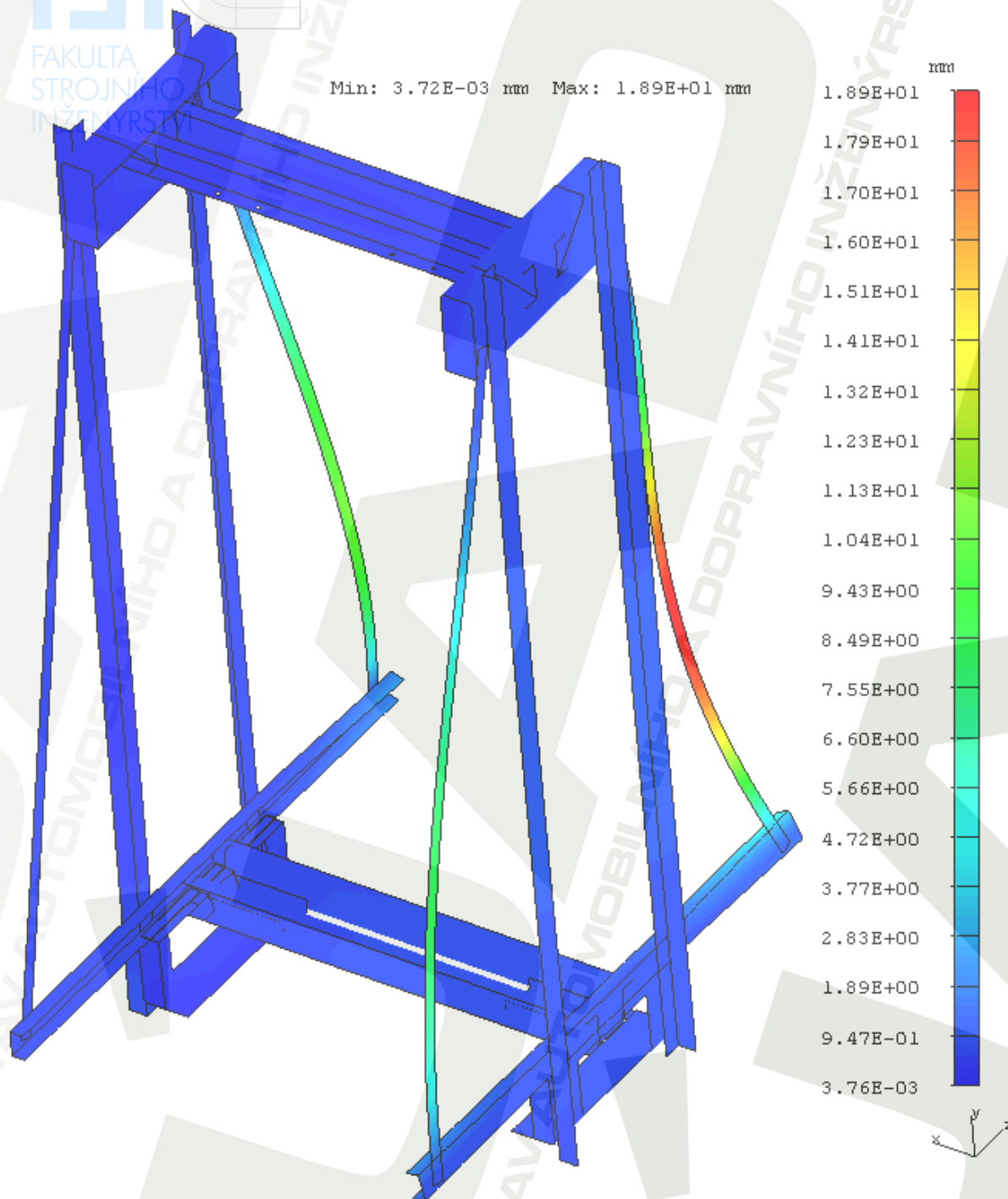
Příloha 4

Maximální deformace symetricky zatíženého rámu pro stav Normální jízda. Měřítko deformace 1:10. Maximální deformace 11,5 mm. V dolní části rámu na koncích profilů U-100 (na obrázku zvýrazněno) je průhyb 3 mm. Při symetrickém zatížení se shodují symetricky i místa deformací.



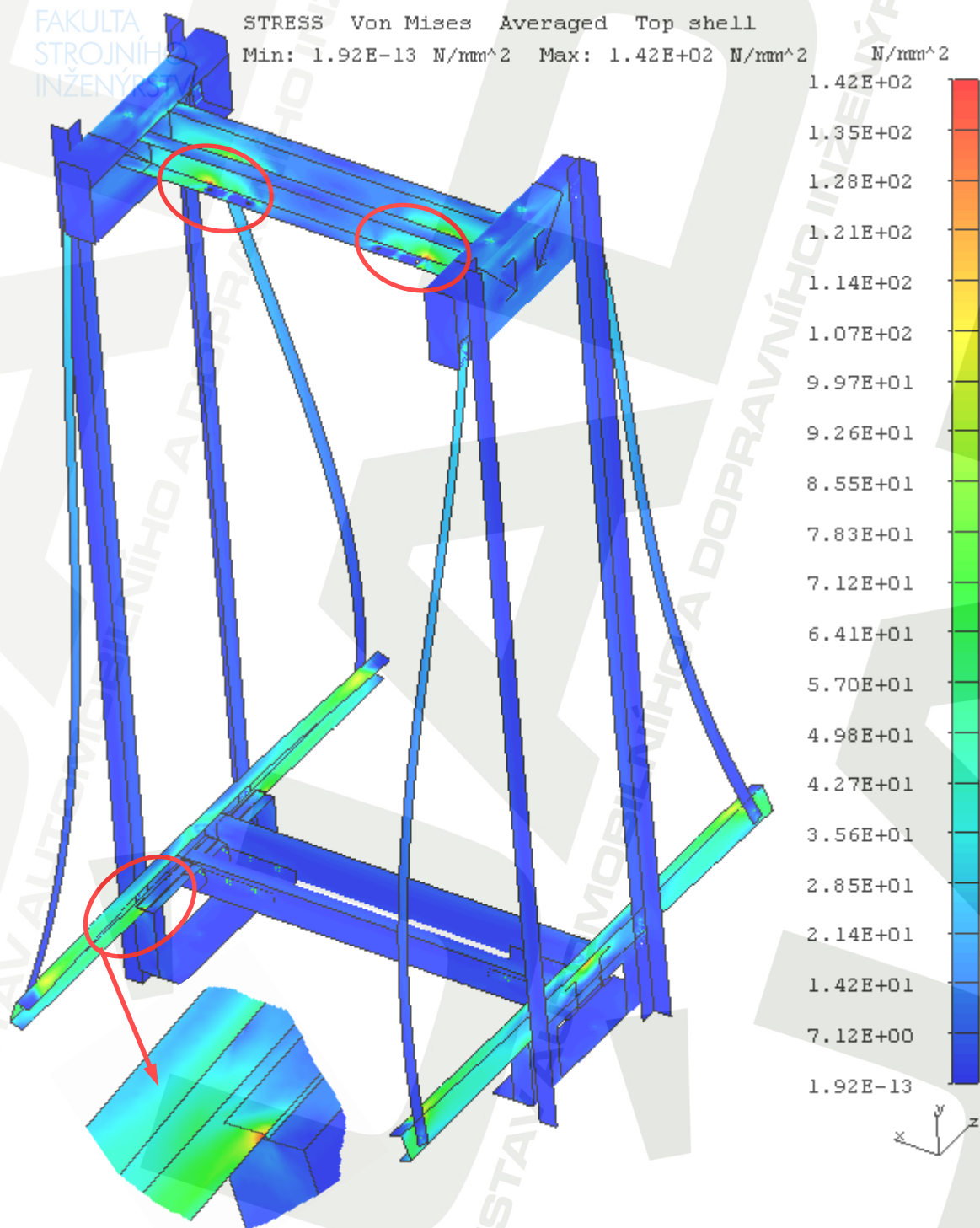
Příloha 5

Maximální deformace asymetricky zatíženého rámu pro stav Normální jízda. Měřítko deformace 1:10. Maximální deformace 18,9 mm na táhlu, které je nejbližže zatěžující hmotě M2.



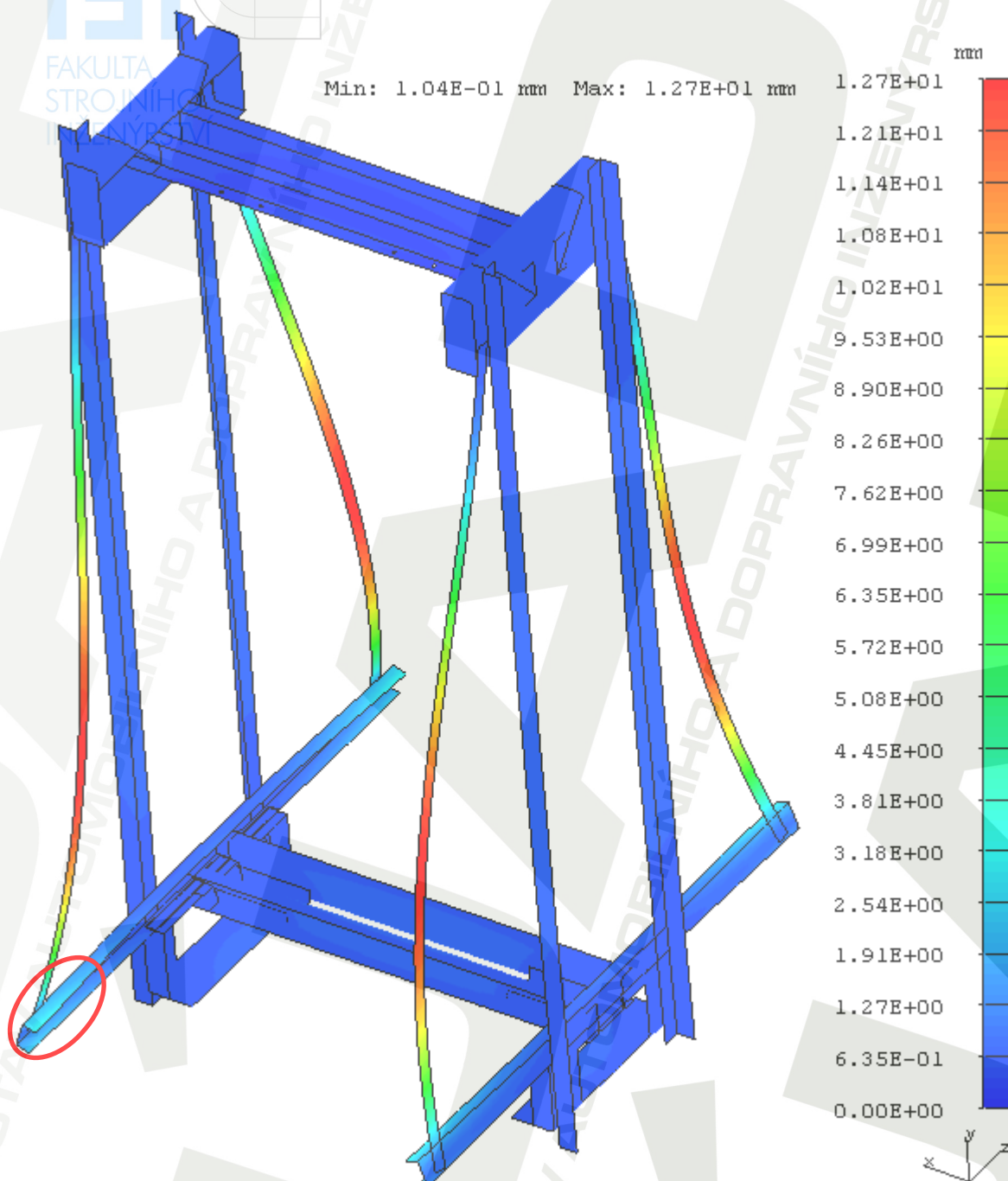
Příloha 6

Napětí symetricky zatíženého rámu pro stav Rozjezd výtahu. V detailu místo maximálního napětí v dolní části rámu. Měřítko deformace 1:10. Maximální napětí $142 \text{ MPa} < R$ (210 MPa). Vyhovující. Druhé místo největší koncentrace napětí u konců přírub nosných kladek 137 MPa . Protože je zatížení symetrické, tyto místa výskytu koncentrace napětí jsou taktéž symetricky rozmístěna.



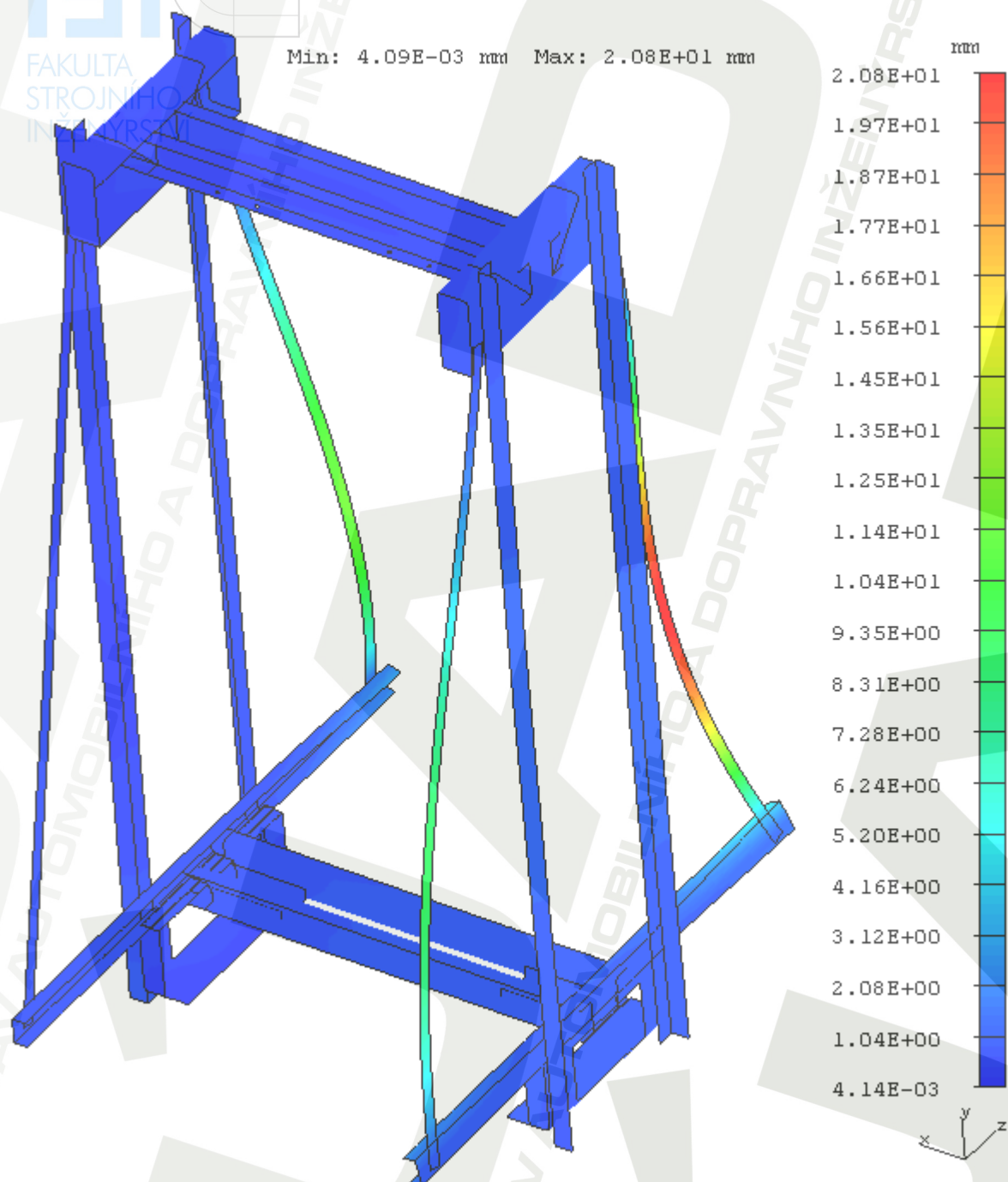
Příloha 7

Maximální deformace symetricky zatíženého rámu pro stav Rozjezd výtahu. Měřítko deformace 1:10. Maximální deformace 12,7 mm. V dolní části rámu na koncích profilů U-100 (na obrázku zvýrazněno) je průhyb 3,31 mm. Při symetrickém zatížení se shodují symetricky i místa deformací.



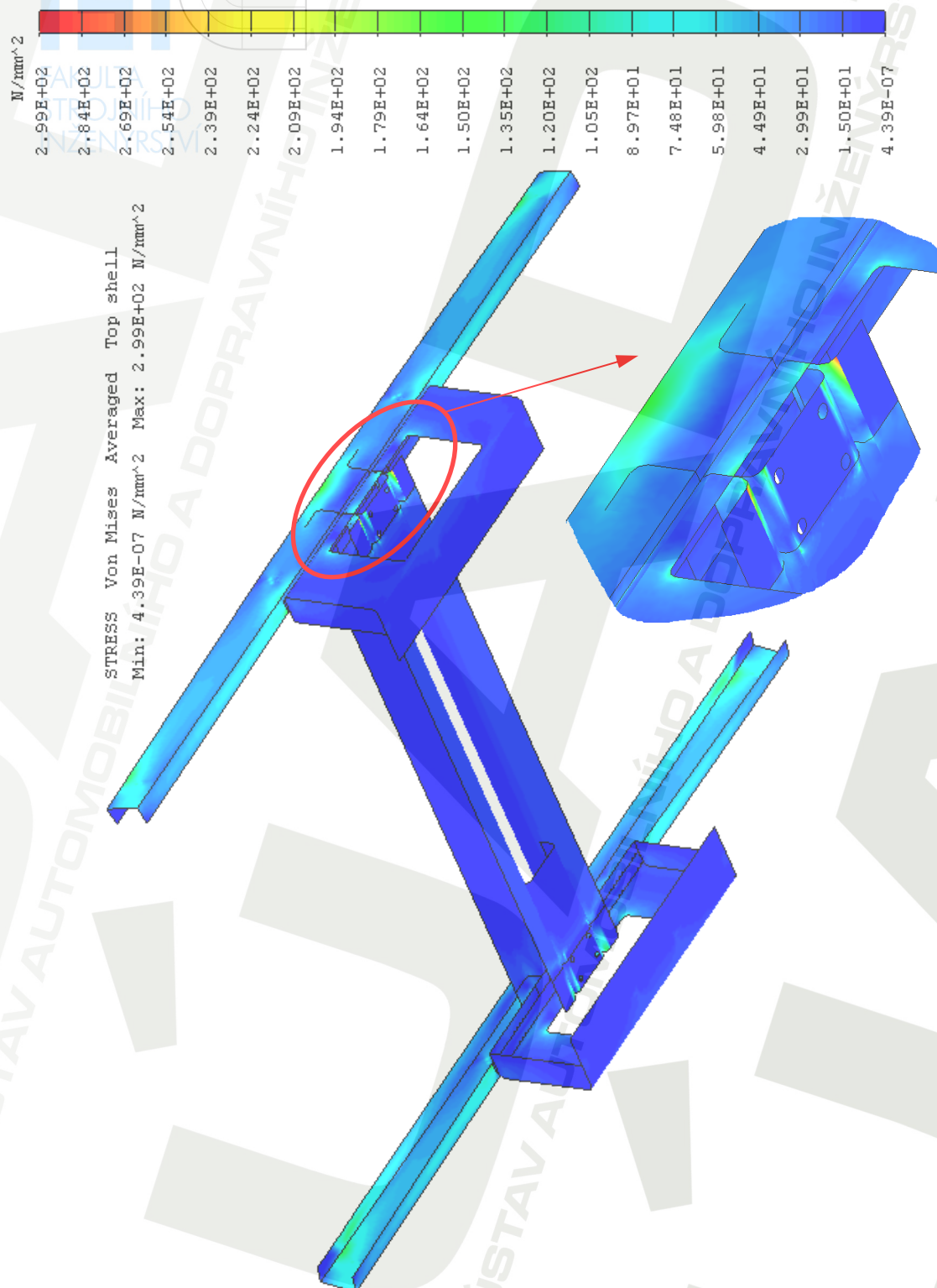
Příloha 8

Maximální deformace asymetricky zatíženého rámu pro stav Rozjezd výtahu. Měřítko deformace 1:10. Maximální deformace 20,8 mm na táhlu, které je nejbližší zatěžující hmotě M2.



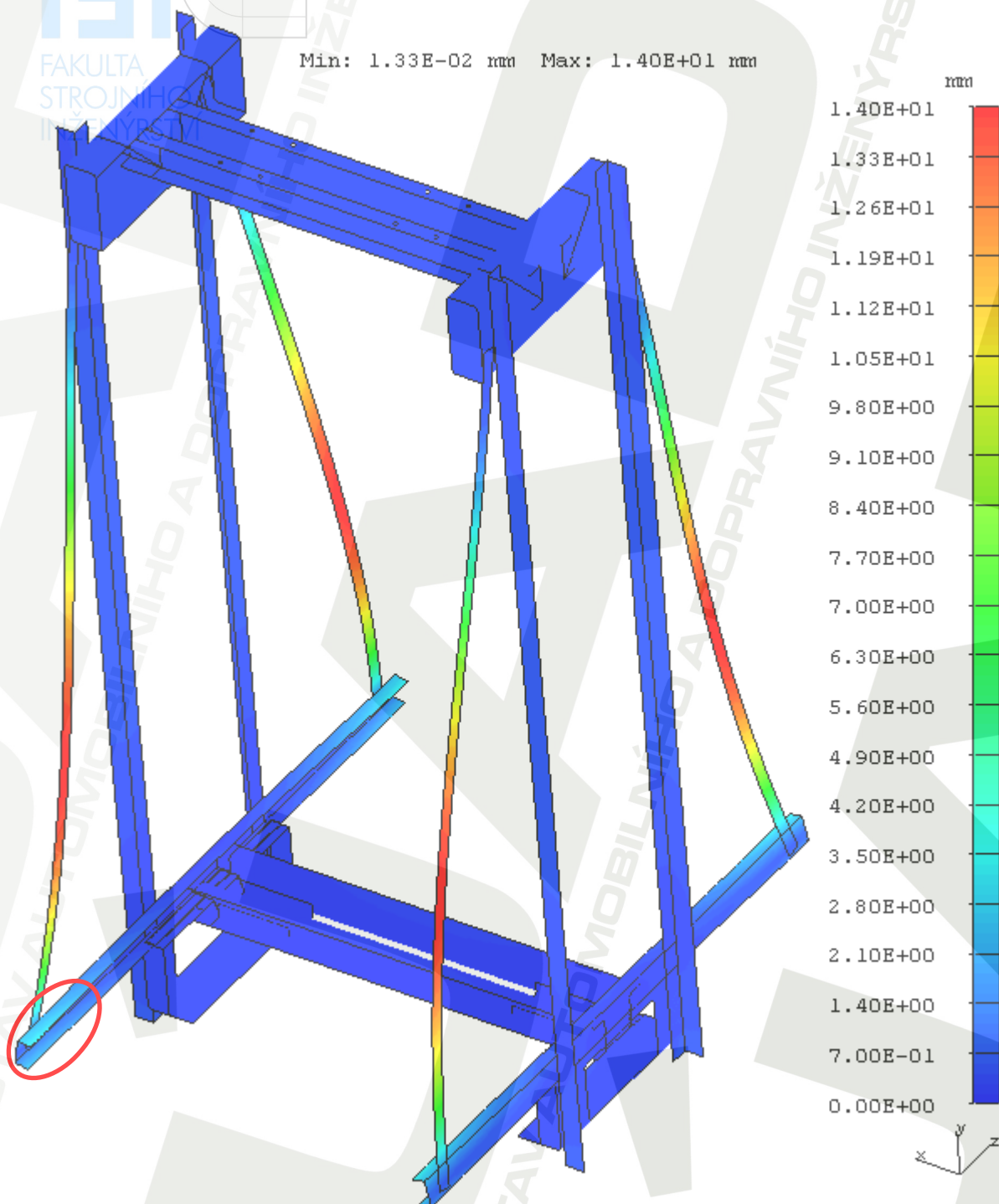
Příloha 9

Napětí symetricky zatíženého rámu pro stav Vybavení zachycovačů. V detailu místo maximálního napětí v dolní části rámu. Měřítko deformace 1:5. Maximální napětí 299 MPa < R (210 MPa). Nevyhovující. Protože je zatížení symetrické, tyto místa výskytu koncentrace napětí jsou taktéž symetricky rozmístěna.



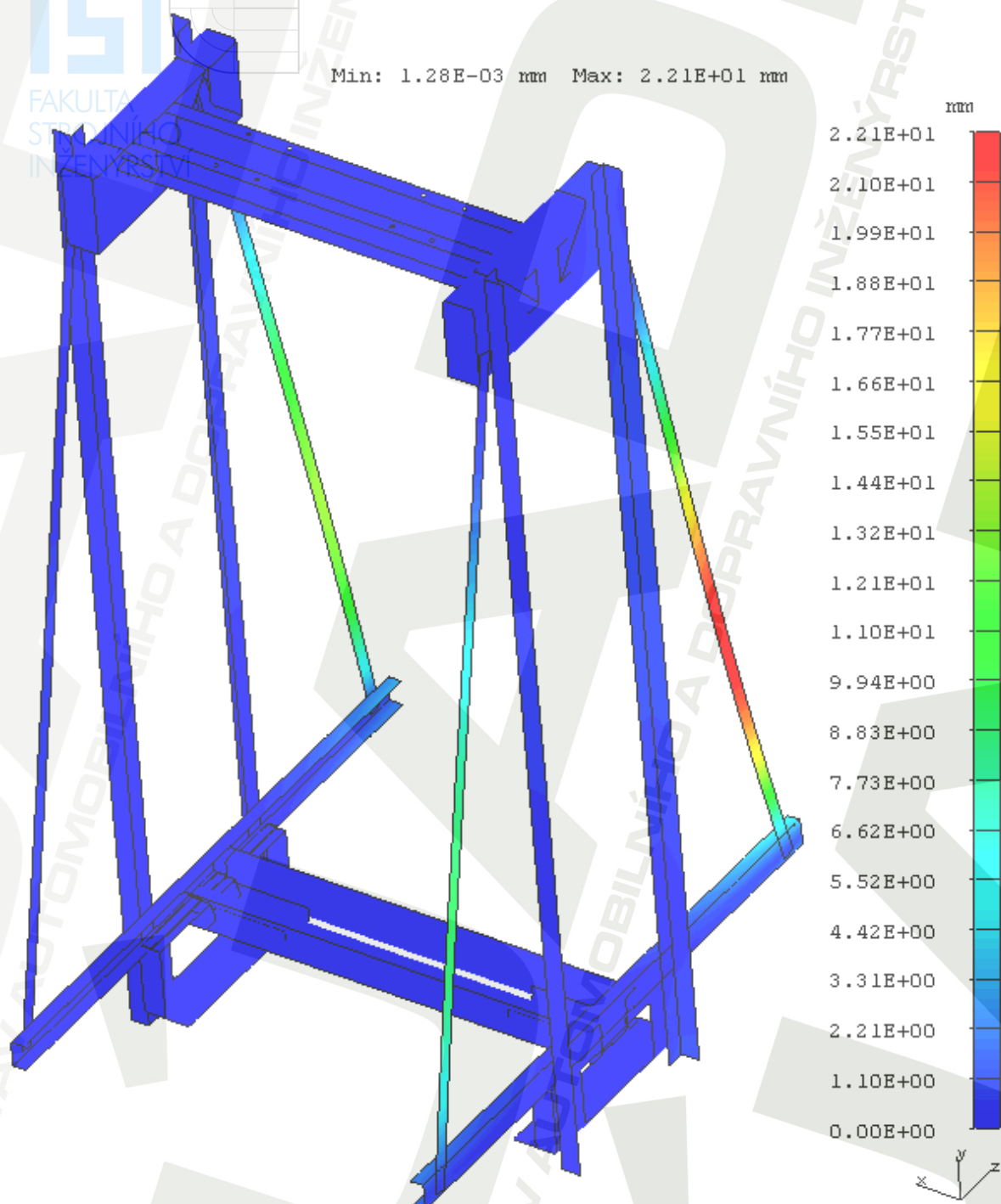
Příloha 10

Maximální deformace symetricky zatíženého rámu pro stav Vybavení zachycovačů. Měřítko deformace 1:5. Maximální deformace 14 mm. V dolní části rámu na koncích profilů U-100 (na obrázku zvýrazněno) je max. průhyb 3,53 mm. Při symetrickém zatížení se shodují symetricky i místa deformací.



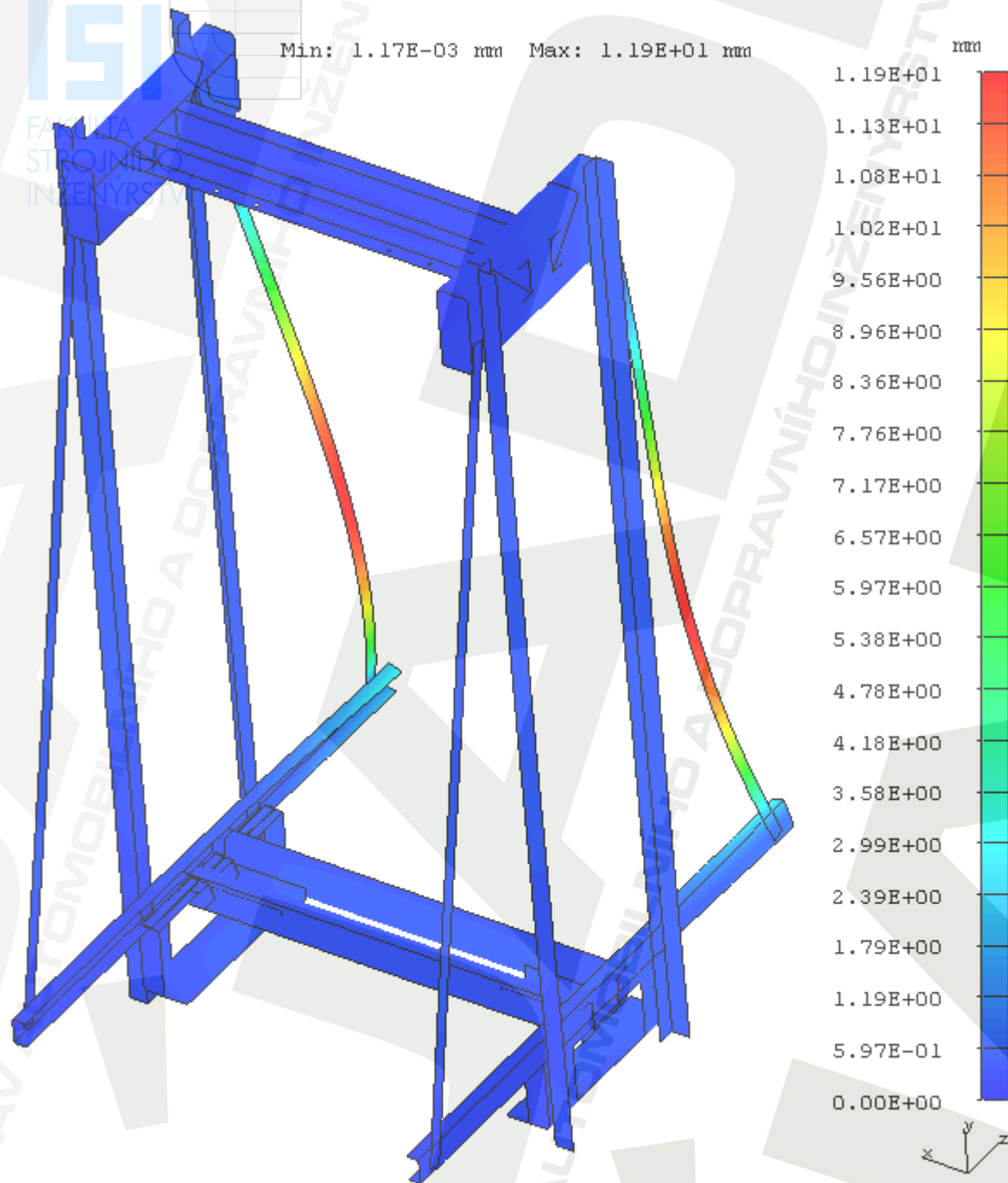
Příloha 11

Maximální deformace asymetricky zatíženého rámu pro stav Vybavení zachycovačů. Měřítko deformace 1:1. Maximální deformace 22,1 mm na táhlu, které je nejbližze zatěžující hmotě M2.



Příloha 12

Maximální deformace zatíženého rámu pro stav Nakládání. Měřítko deformace 1:10.
Maximální deformace 11,9 mm na táhlech, které jsou blíže k zatěžující hmotě M3.



Příloha 13

Maximální deformace asymetricky zatíženého rámu pro stav Rozjezd výtahu při změně v konstrukci. Měřítko deformace 1:10. Maximální deformace 9,34 mm na táhlu, které je nejbližší zatěžující hmotě M2.

