



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

PEVNOSTNÍ POSOUZENÍ OCELOVÉ KONSTRUKCE MANIPULAČNÍ TRAVERZY 186 T

STRENGTH ANALYSIS OF STEEL CONSTRUCTION GIRDERS HANDLING 186 T

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MIROSLAV KORENKO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PŘEMYSL POKORNÝ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miroslav Korenko

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:

Pevnostní posouzení ocelové konstrukce manipulační traverzy 186 t

v anglickém jazyce:

Strength analysis of steel construction girders handling 186 t

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracujte pevnostní posouzení stávající ocelové konstrukce manipulační traverzy 186t, která je zavěšena na dvou lamelových hácích mostového jeřábu 200/40t-21m. Ocelovou konstrukci traverzy

posuďte dle normy ČSN 27 0103 z hlediska základní prosté pevnosti.

Základní technické parametry:

Ocelová konstrukce - materiál S235J2+N.

Zařazení jeřábu dle ČSN 27 0103:

Zdvihová třída jeřábu: H3

Druh provozu: D1

Cíle diplomové práce:

Vypracujte technickou zprávu obsahující zejména:

- pevnostní kontrolu stávajícího stavu dle ČSN 270103 a případně jiné normy,
- určení poddimenzovaných a předimenzovaných částí a návrh vhodných úprav,
- veškeré další nezbytné výpočty dle pokynů vedoucího DP.

Seznam odborné literatury:

1. SHIGLEY, J.E. - MISCHKE, Ch.R. - BUDYNAS R.G.: Konstruování strojních součástí, Vydalo VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM 2010, ISBN 978-80-214-2629-0
2. ČSN 270103 - Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů. Výpočet podle mezních stavů
3. Hoffmann, K., Krenn, E., Tanker, G.: Fördertechnik 2, ed. Oldenbourg Industrieverla, 2006, s. 320, ISBN-10: 3-8356-3060-1, ISBN-13: 978-3-8356-3060-4
4. Firemní literatura

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 9.11.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá pevnostnou analýzou manipulačnej traverzy 186 t. Hlavnou náplňou práce je vykonať pevnostnú kontrolu pomocou metódy konečných prvkov. Pre výpočet bol použitý program NX I-DEAS. Súčasťou práce je tiež návrh konštrukčných zmien v prípade poddimenzovaných častí.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

manipulačná traverza, oceľová konštrukcia, vyváženie, pevnostná analýza, metóda konečných prvkov

ABSTRACT

This thesis deals with the strength analysis of girders handling 186 t. The main objective of this thesis is to perform strength control using the Finite Element Method. NX I-DEAS software was used to perform all the necessary calculations. Possible design changes for undersized components are also presented.

KEYWORDS

girders handling, steel construction, balance, strength analysis, finite element method



BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KORENKO, M. *Pevnostní posouzení ocelové konstrukce manipulační traverzy 186 t.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 54 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D..



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Přemysla Pokorného, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brně dňa 24. mája 2013

.....

Miroslav Korenko



POĎAKOVANIE

Týmto by som rád poďakoval vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D. za jeho ochotu, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní tejto záverečnej práce. Tiež by som chcel vyjadriť vďaku Ing. Pavlu Kolářovi z firmy Královopolská, a.s. za odborné rady a pomoc. Poďakovanie patrí aj mojej rodine za podporu počas celého môjho štúdia.



OBSAH

Úvod	10
1 Základný popis traverz	11
1.1 Rozdelenie traverz	11
1.1.1 Jednoduché žeriavové traverzy	12
1.1.2 Nastaviteľné žeriavové traverzy	12
1.1.3 Viacbodové žeriavové traverzy	12
1.1.4 Vyvažovacie žeriavové traverzy	13
1.1.5 Otáčacie žeriavové traverzy	13
1.1.6 Magnetické žeriavové traverzy	14
1.1.7 Špeciálne žeriavové traverzy	14
2 Popis riešenej manipulačnej traverzy	15
2.1 Popis konštrukcie manipulačnej traverzy	15
2.1.1 Konštrukčné riešenie vyváženia manipulačnej traverzy	16
2.1.2 Konštrukčné riešenie závesov pre manipuláciu	17
3 Tvorba výpočtového modelu	18
3.1 Metóda konečných prvkov	18
3.2 Škrupinový model	18
3.3 Náhrada závesných prvkov	23
3.4 Riešenie vyváženia traverzy	24
3.5 Tvorba zaťaženia a okrajové podmienky	28
3.5.1 Druhy zaťažení	30
4 Pevnostný výpočet manipulačnej traverzy	31
4.1 Výpočet zaťaženia podľa ČSN 27 0103	31
4.1.1 Stále zaťaženia	31
Náhodné zaťaženia	32
4.1.2 Mimoriadne zaťaženia	32
4.2 Kombinácie zaťaženia podľa ČSN 27 0103	32
4.2.1 Základné kombinácie zaťažení	32
4.2.2 Mimoriadne kombinácie zaťažení	34
4.3 Zaťažujúce stavy	35
4.4 Vlastnosti materiálu	36
4.5 Posúdenie na vydúvanie stien	37
4.6 Výsledky z programu NX I-DEAS	37
4.6.1 Výsledky ZS1	38
4.6.2 Výsledky ZS2	39



4.6.3	Výsledky ZS3	40
4.6.4	Výsledky ZS4	41
5	Návrh konštrukčnej zmeny poddimenzovaných častí	43
5.1	Vlastnosti nového materiálu	44
5.2	Výsledky z programu NX I-DEAS po konštrukčných úpravách.....	44
5.2.1	Výsledky ZS1 po úprave	44
5.2.2	Výsledky ZS2 po úprave	45
5.2.3	Výsledky ZS3 po úprave	46
5.2.4	Výsledky ZS4 po úprave	47
	Záver	50
	Zoznam použitých skratiek a symbolov	52
	Zoznam príloh	54



ÚVOD

Táto práca sa zaoberá pevnostnou analýzou manipulačnej traverzy 186 t podľa normy ČSN 27 0103. Manipulačná traverza o ktorej práca pojednáva je navrhnutá pre minioceliareň na prepravu nisteje a plášťa pece firmou Královopolská, a.s.

Úvod tejto práce je venovaný stručnému popisu a rozdeleniu traverz. Po stručnom rozdelení nasleduje popis riešenej manipulačnej traverzy. Pevnostná analýza je vykonaná v programe NX I-DEAS. Pretože je potrebné pre vypracovanie pevnostnej analýzy zhotoviť FEM model, súčasťou je kapitola venovaná jeho tvorbe. Za touto kapitolou nasleduje časť venovaná zaťaženiu a okrajovým podmienkam. Nasledujúca kapitola pojednáva o pevnostnom výpočte podľa normy ČSN 27 0103. V závere práce sú popísané jednotlivé zaťažovacie stavy. Po pevnostnej kontrole manipulačnej traverzy nasleduje návrh konštrukčných zmien poddimenzovaných častí a opätovné vyhodnotenie jednotlivých zaťažovacích stavov.



1 ZÁKLADNÝ POPIS TRAVERZ

Žeriavové traverzy sa používajú hlavne v podmienkach, v ktorých nie je možné použiť pre uchopenie bremena klasické viazacie prostriedky. Využitie majú hlavne u bremien väčších hmotností a rozmerov. Traverzy sa používajú v rôznorodých odvetviach. Ako príklad by som uviedol stavebný, strojársky a hutnícky priemysel, kde by sa s bremenami veľkých hmotností a rozmerov nedalo bez tohto zariadenia manipulovať. Nosnosť traverzy sa môže pohybovať od niekoľko desiatok až po stovky ton. Traverzy sú konštruované z rôznych profilov, záleží na type uchytenia traverzy, bremena, prevádzkových podmienkach, spôsobu manipulácie a charakteristike bremena. Pri navrhovaní traverz sa často využívajú skriňové nosníky a tiež nosníky s I profilom, vďaka odolnosti voči ohybovému namáhaniu. Ďalšie charakteristiky traverzy závisia hlavne na prevádzke, v ktorej sa bude daná traverza používať. Napríklad traverza používaná v hutníckom priemysle musí pri svojej prevádzke odolávať vysokým teplotám a preto zvykne byť vybavená tepelnými štítlami.



Obr. 1 Žeriavová traverza [1]

1.1 ROZDELENIE TRAVERZ

Začlenenie traverz do jednotlivých skupín nie je popísané normou. Existuje veľa firiem, ktoré rozdeľujú traverzy podľa svojich vlastných firemných kritérií. Ak sa zameriame na spôsob zavesenia, tak môžeme traverzy rozčleniť na:

- *Odoberateľné traverzy*- zavesené na hák kladnice (viď Obr. 1).
- *Neodoberateľné traverzy*- zavesené priamo na nosných lanách. Takto zavesené sú napríklad liace traverzy, ktoré slúžia v hutníckom priemysle k manipulácii s liacou panvou.

Ďalším kritériom môže byť spôsob použitia. Takto rozdeliť traverzy môžeme na:

- *Jednoduché*
- *Nastaviteľné*
- *Viacbodové*
- *Vyvažovacie*
- *Otáčacie*



- *Magnetické*
- *Špeciálne*

1.1.1 JEDNODUCHÉ ŽERIAVOVÉ TRAVERZY

Už z názvu tejto skupiny traverz plynie, že sa jedná o základné prevedenie. Tieto traverzy sa používajú pre manipuláciu s bremenami, ktorých ťažisko sa nachádza v ich strede. Konštrukcia týchto traverz pozostáva obvykle z nosníka, na ktorom je úchyt pre zavesenie a závesných prvkov umiestnených na koncoch tejto traverzy.



Obr. 2 Jednoduchá žeriavová traverza [1]

1.1.2 NASTAVITELNÉ ŽERIAVOVÉ TRAVERZY

Tento druh traverzy umožňuje uchytenie bremena, ktoré má ťažisko posunuté od stredu. Konštrukcia ja veľmi obdobná ako u jednoduchých traverz. Líšia sa tým, že u tejto skupiny je možné meniť polohu závesných prvkov.



Obr. 3 Nastaviteľná žeriavová traverza [1]

1.1.3 VIACBODOVÉ ŽERIAVOVÉ TRAVERZY

Tieto traverzy sú určené pre manipuláciu s rozmernejšími bremenami. Môžu byť konštruované ako pevné alebo nastaviteľné. Zväčša sú osadené štyrmi závesnými prvkami. V špeciálnych prevedeniach týchto traverz môžu byť použité aj viac než štyri závesné prvky. Navrhujú sa rôzne typy týchto traverz. Podľa tvaru je možné rozdeliť traverzy na:

- *traverzy v tvare písmena "H"*- sú zložené z dvoch priečnych a jedného pozdĺžneho nosníka. V prípade, že ide o nastaviteľnú traverzu, tak je možné meniť vzdialenosť závesných prvkov v oboch smeroch.
- *traverzy v tvare písmena "Y"*- výhoda tejto traverzy spočíva v tom, že je možné ju sklopiť do rôznych polôh. Môže byť vyrobená ako prestaviteľná alebo teleskopická.
- *traverzy v tvare kríža*- podobne ako v predchádzajúcom prípade táto traverza môže byť zhotovená ako prestaviteľná alebo teleskopická.



Obr. 4 Viacbodová žeriavová traverza v tvare písmena "H" [1]

1.1.4 VYVAŽOVACIE ŽERIAVOVÉ TRAVERZY

Táto skupina traverz umožňuje presun závesného oka a tým uchytenie bremena, ktoré má ťažisko mimo svojho stredu. Zvlášť výhodné je použitie tejto metódy u traverz v tvare písmená "H", kde je možné vyváženie v oboch smeroch. Túto zmenu je možné vykonať manuálne alebo pomocou pohonu.



Obr. 5 Vyvažovacia traverza s ručným pohonom [1]

1.1.5 OTÁČACIE ŽERIAVOVÉ TRAVERZY

Otáčacie traverzy sa rozdeľujú podľa zmyslu otáčania na:

- *Traverzy otáčajúce sa okolo horizontálnej osi-* takéto traverzy sa najčastejšie používajú pre presun valcových telies. Ako viazací prvok sa používajú reťaze alebo textilné pásy.
- *Traverzy otáčajúce sa okolo vertikálnej osi-* umožňujú otáčanie bremena okolo vertikálnej osi pomocou elektromotora, ktorý dokáže riadiť plynule pohyb otáčania.



Obr. 6 Otáčacia žeriavová traverza okolo horizontálnej osi [1]



1.1.6 MAGNETICKÉ ŽERIAVOVÉ TRAVERZY

Použitie magnetických žeriavových traverz sa uplatňuje hlavne pri manipulácii s plechmi. Tieto zariadenia by sa ďalej dali rozčleniť na dve podskupiny [2]:

- *Elektromagnety*- používajú sa častejšie vďaka tomu, že dokážu meniť hĺbku magnetického poľa, podľa počtu plechov s ktorými máme v pláne manipulovať. Toto zariadenie musí byť opatrené záložným zdrojom elektrickej energie v prípade, že by došlo k jej výpadku.
- *Elektropermanentné magnety*- výhodou týchto magnetov je, že nepotrebujú záložný zdroj elektrickej energie, ako je to u elektromagnetov v prípade prerušenia dodávky. Nevýhodou je, že tieto magnety nedokážu manipulovať s viacerými plechmi naraz.



Obr. 7 Elektropermanentná magnetická traverza [3]

1.1.7 ŠPECIÁLNE ŽERIAVOVÉ TRAVERZY

Špeciálne žeriavové traverzy sú spravidla jednoúčelové zariadenia pre konkrétny typ manipulácie. Slúžia pre manipuláciu s bremenom, ktoré má zväčša zložitý tvar a je potrebné zabezpečiť jeho bezpečné zavesenie, vyváženie, vyrovnanie a preklopenie, prípadne otočenie pri manipulácii alebo ukladaní s daným bremenom. Medzi takéto traverzy sa často radia také, ktoré sa vešajú na dva žeriavy, pretože hmotnosť bremena presahuje nosnosť týchto žeriavov [4].



Obr. 8 Příklad špeciálnej žeriavovej traverzy [5]



2 POPIS RIEŠENEJ MANIPULAČNEJ TRAVERZY

Zadaná manipulačná traverza je navrhnutá firmou Královopolská, a.s. pre firmu SLOVAKIA STEEL MILLS, a.s. sídliacu v Strážskom. Táto „minioceliareň“ túto traverzu využíva na opravu pece. Podľa rozdelenia, ktoré som uviedol v predchádzajúcej kapitole, by sme túto traverzu mohli zaradiť do skupiny špeciálne žeriavové traverzy. Táto traverza je navrhnutá na jediný účel a to manipuláciu s nistejou. Požadovaná nosnosť traverzy je 186 t. Rovnakou traverzou sa prenáša aj samotný plášť, ktorý váži približne 40 t. Traverzou manipuluje mostový sádzací žeriav s označením 200/40t-21m. Technický život tejto traverzy, je stanovený na 25 rokov a 650 použití. Jedno použitie predstavuje 2 cykly a to prevoz na miesto opravy pece, kde bude nistej nanovo opravená žiaruvzdornou vymurovkou a spätný prevoz na miesto prevádzky. Počas technického života táto traverza vykoná 1300 cyklov a preto podľa normy ČSN 27 0103 nie je potrebné túto traverzu kontrolovať z hľadiska únavy.

2.1 POPIS KONŠTRUKCIE MANIPULAČNEJ TRAVERZY

Manipulačná traverza je konštruovaná zo skriňových nosníkov rôznych hrúbok. Tieto plechy sú vzájomne pozvárané. Plechy sú vyrobené z materiálu S235J2+N. Použité sú často zvary polovičné „V“ prevýšené s podvarením a kútové zvary. Traverza je zavesená na dvoch lamelových hákoch sádzacieho mostového žeriavu. Čapy na lamelových hákoch majú priemer 225 mm. Nesymetrickosť manipulačnej traverzy spôsobuje, že jej ťažisko je od osi hákov posunuté. Požiadavka od zákazníka je, aby manipulačná traverza bola vyvážená aj v nezaťaženom stave. Ťažisko bremena (nisteje a tiež plášťa) je v osi lamelových hákoch. Pre lepšiu predstavu som si zhotovil geometrický model v programe Autodesk Inventor podľa poskytnutej výkresovej dokumentácie firmou Královopolská, a.s..

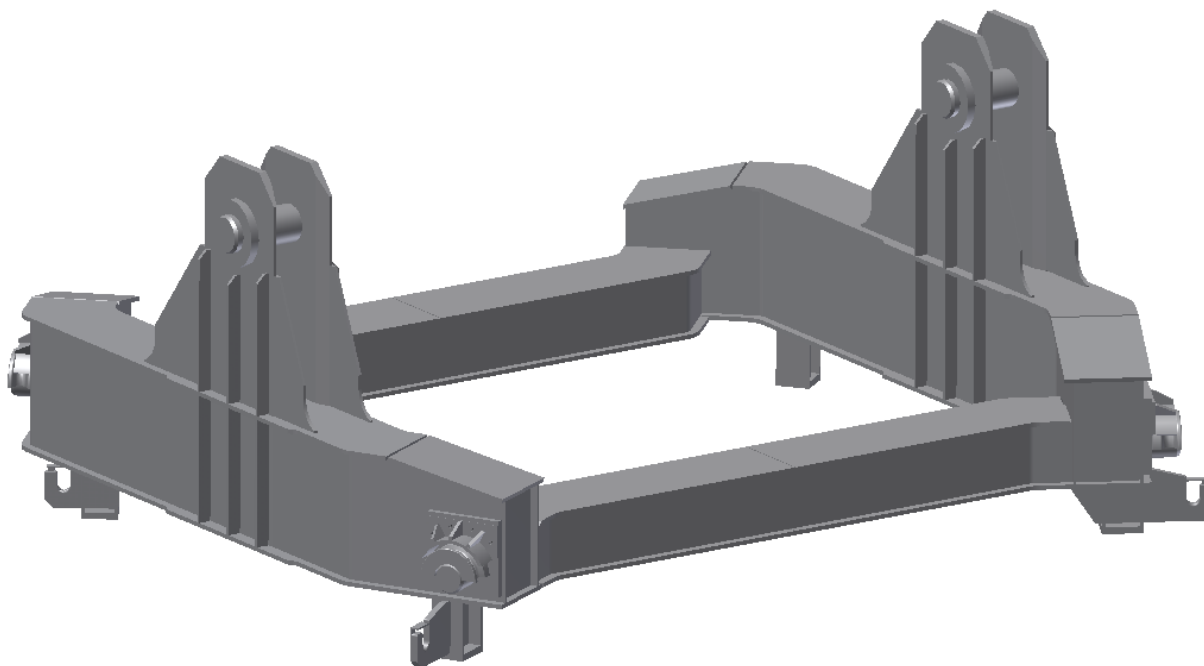
ZÁKLADNÉ TECHNICKÉ PARAMETRE:

- | | | |
|---------------------|---------|------------------------------|
| • Rýchlosť pojazdu: | žeriav: | 7 až 70 m.min ⁻¹ |
| | mačka: | 3 až 30 m.min ⁻¹ |
| • Rýchlosť zdvihu : | 200t: | 0,4 až 4 m.min ⁻¹ |
| | 40t: | 0,8 až 8 m.min ⁻¹ |
| • Výška zdvihu: | 200t: | 19,13 m |
| | 40t: | 21,5 m |

Prevádzka vo vnútri, teplota okolia -15 až +60°C

ZARADENIE ŽERIAVU PODĽA NORMY ČSN 27 0103:

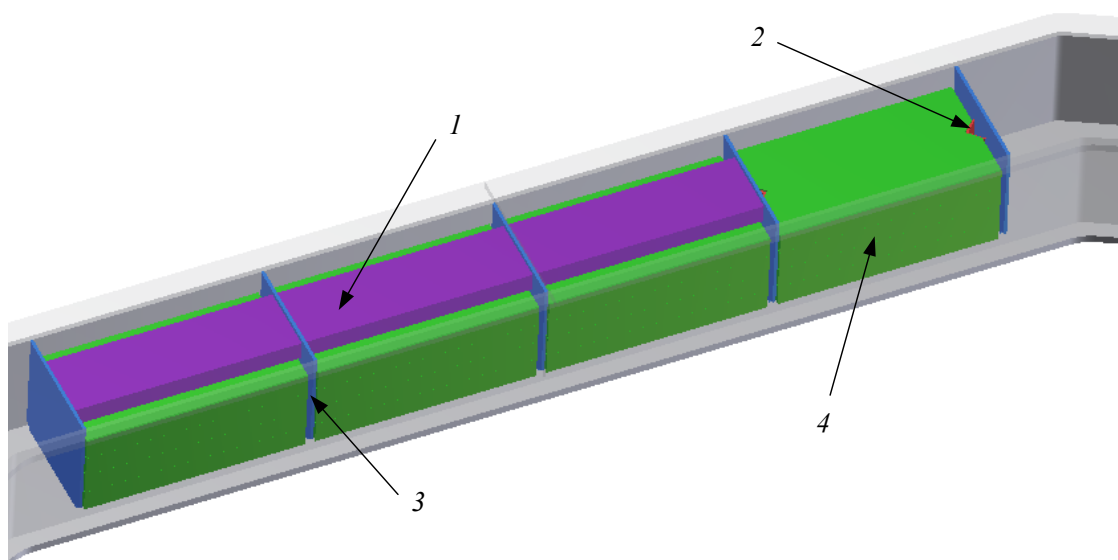
- | | |
|----------------------------|--|
| • Zdvihovú triedu žeriavu: | H3 |
| • Druh prevádzky: | D1 (na žeriave je použité zariadenie proti preťaženiu) |



Obr. 9 Manipulačná traverza

2.1.1 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE VYVÁŽENIA MANIPULAČNEJ TRAVERZY

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole je potrebné, aby bola traverza vyvážená v nezaťaženom stave. To je vyriešené pridaním vývažkov do pozdĺžneho skriňového nosníka nachádzajúceho sa bližšie k osi lamelových hákov. Vývažky sú vyrobené z plechu o hrúbke 70 mm a naskladané medzi priečnikmi znázornených na Obr. 10. Tieto vývažky sú proti horizontálnemu pohybu zabezpečené vybraním v tvare písmena V. Proti vertikálnemu pohybu sú vývažky poistené plechom o hrúbke 60 mm vyznačený fialovou farbou na obrázku.

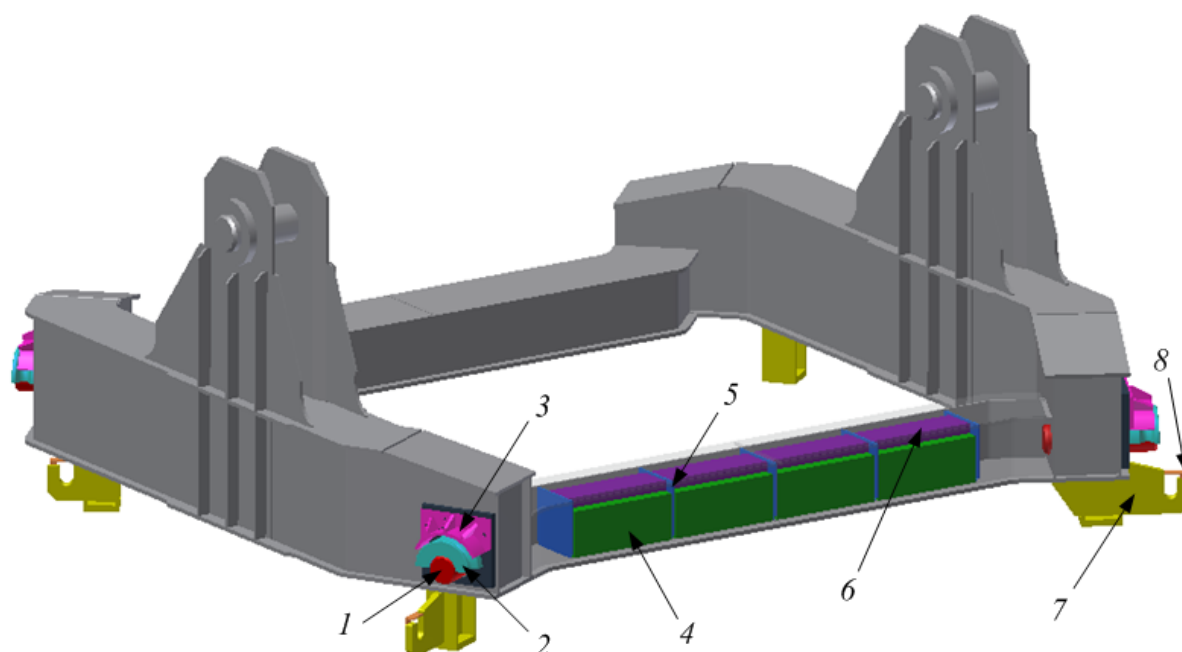


1-vertikálne poistenie vývažkov, 2- horizontálne poistenie vývažkov, 3- priečna výztuha v nosníku, 4- vývažky

Obr. 10 Vyváženie traverzy

2.1.2 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE ZÁVESOV PRE MANIPULÁCIU

Pre manipuláciu s nistejou pece vážiacou 186 t sú na manipulačnej traverze, ktorej model je na Obr. 11, použité čapy s priemerom 180 mm (vyznačené červenou farbou). Nistej je uchytená pomocou lanových úväzkov. Vedenie pre tieto lanové úväzky je nasadené a prizvárané na týchto čapoch (vyznačené tyrkysovou farbou). Poistenie proti vyskočeniu lana zobrazené ružovou farbou je prichytené k bočnej stene skriňového nosníka skrutkami M20. Pre zavesenie plášťa pece sa využívajú háky vyznačené žltou farbou, prizvárané k spodnej pásnici skriňových nosníkov. Laná zavesené na týchto hákoch sú poistené proti vyskočeniu poistkou, vyznačenou oranžovou farbou, ktorá je upevnená skrutkami M12.



1- čap, 2- vedenie pre lanové úväzky, 3- poistenie lana, 4- vývažky, 5- priečna výstuha v nosníku, 6- poistenie vývažkov, 7- hák, 8- poistenie lana

Obr. 11 Závěsy pro lana



3 TVORBA VÝPOČTOVÉHO MODELU

Manipulačná traverza u ktorej je zadané vykonať pevnostnú analýzu je zložená z plechov rôznych hrúbok. Pre tvorbu FEM (finite element method) modelu som použil škupinový model.

3.1 METÓDA KONEČNÝCH PRVKOV

Metoda konečných prvkov (MKP) v dnešnej dobe výrazne dominuje medzi modernými metódami napäťovo-deformačnej analýzy. Používaná je tiež v oblastiach prúdenia kvapalín, vedenia tepla, elektriny a magnetizmu. V oblasti mechaniky telies, táto metóda umožňuje riešiť nasledujúce typy úloh [6]:

- Napäťovo-deformačnú analýzu pri statickom aj dynamickom zaťažovaní, vrátane rôznych nelineárnych úloh
- Vlastné i vynútené kmitanie sústav s tlmením i bez tlmenia
- Kontaktné úlohy (rozloženie kontaktného tlaku)
- Stabilitu (stratu tvarovej stability konštrukcií)
- Analýzu stacionárneho i nestacionárneho vedenia tepla a určením teplotnej napätosti

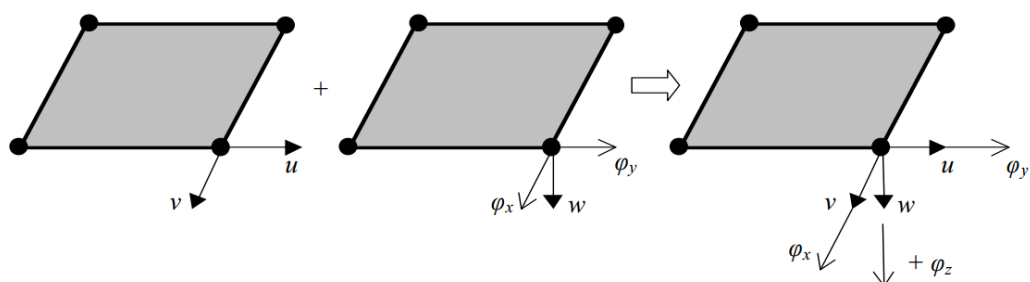
Už z názvu plynie, že základným kameňom tejto metódy je prvok konečných rozmerov na rozdiel od analytického prístupu. U MKP ako numerickej metódy jednoznačne prevláda variačná formulácia. Je založená na hľadaní minima funkcionálu. Ten predstavuje u napäťovo-deformačnej analýzy energiu napätosti. Táto energia predstavuje spotrebovanú prácu na deformáciu telesa a prípade pružnej deformácie sa dá naspäť získať pri návrate do nedeformovaného stavu. Funkcionál predstavuje číselnú hodnotu priradenú funkciám, predstavujúcim napríklad posuvy jednotlivých uzlov. Pre rôzne deformácie telesa sa dá táto hodnota energie napätosti určiť z napätí a deformácií. Deformovaný tvar je jednoznačne určený zaťažením a väzbami, preto z rôznych deformovaných tvarov je to ten najmenej energeticky náročný stav. Minimum tohto funkcionálu, ktorý určuje deformovaný tvar telesa je celková potenciálna energia telesa. Tá sa dá vypočítať ako rozdiel energie napätosti telesa a potenciálu vonkajšieho zaťaženia [6].

$$\Pi = W - P$$

Celková potenciálna energia je funkciou posuvov jednotlivých bodov a variačnou metódou je možné nájsť, kde bude mať funkcionál minimum. Po spočítaní posuvov jednotlivých uzlov sa dajú určiť pretvorenia a napätie [6].

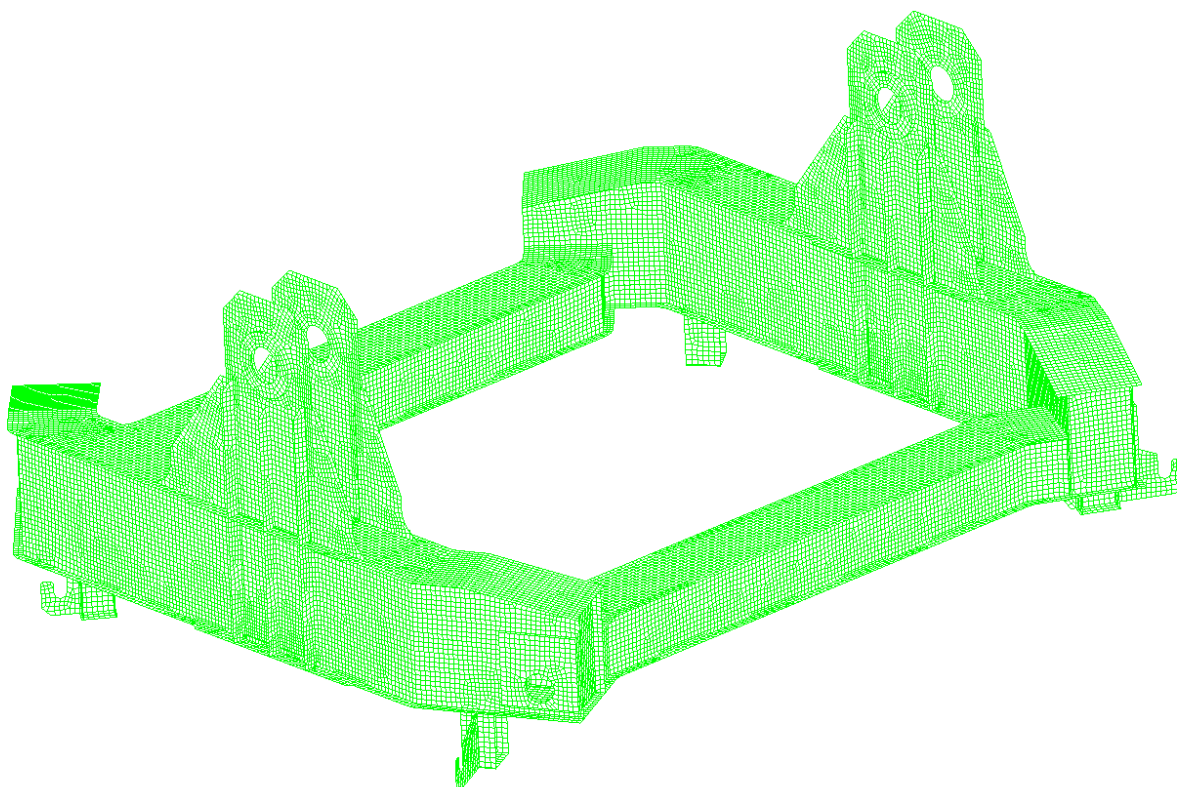
3.2 ŠKRUPINOVÝ MODEL

Škrupinový model kombinuje vlastnosti stenového a doskového prvku. Stenový (membránový) prvok má v každom uzle dva deformačné parametre. Napríklad rovinný trojuholník má tri uzly a v každom uzle dva parametre. U doskových prvkov poznáme na rozdiel od stenových tri deformačné parametre v každom uzle a to priehyby a natočenia. Kombináciu týchto dvoch prvkov, je možné vidieť na Obr. 12 [7]. Škrupinový model je model strednicových plôch. Sieti vytvorenej na tomto škrupinovom modeli sa priradzuje vo vlastnostiach hrúbka materiálu.



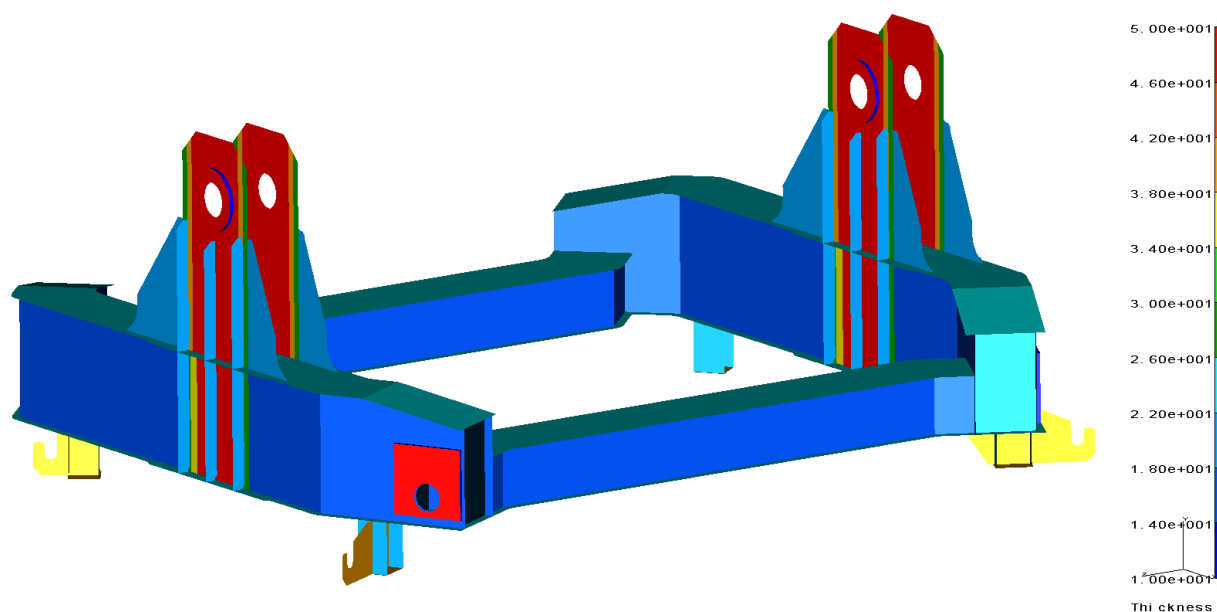
Obr. 12 Zloženie škrupinového prvku [7]

Model som si vytvoril v programe NX I-DEAS pomocou poskytnutej výkresovej dokumentácie od firmy Královopolská, a.s.. Vytvorený model plôch som následne previedol na FEM model.



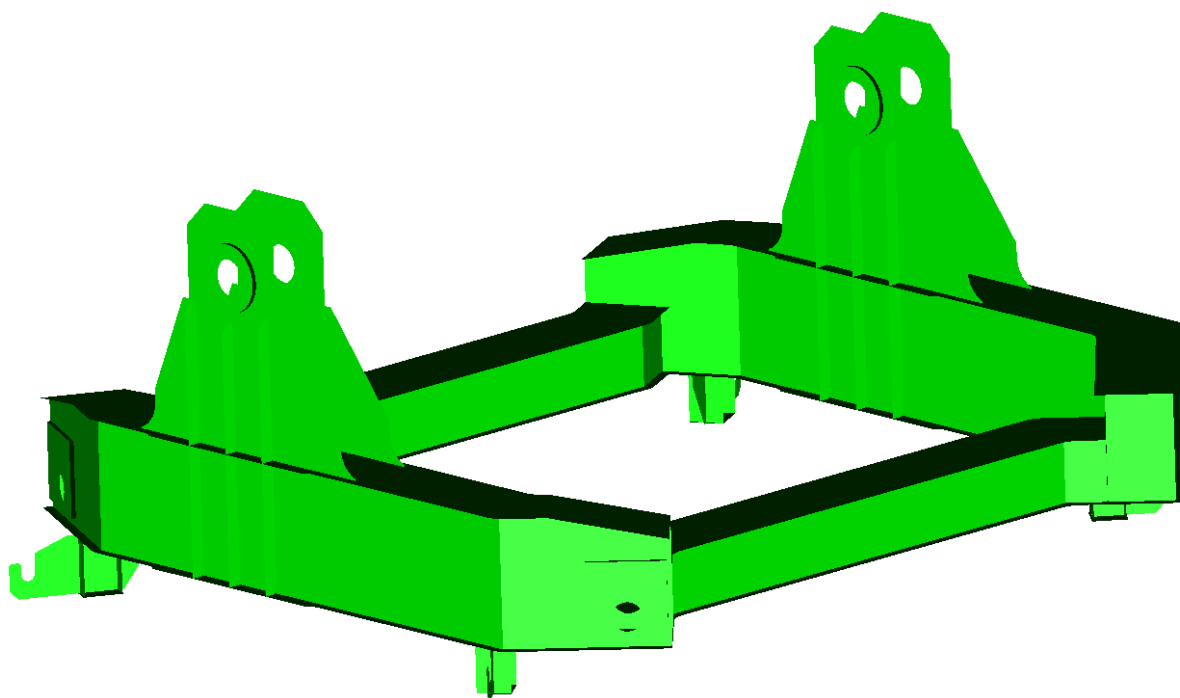
Obr. 13 Ukážka škrupinového modelu

Škrupinový FEM model je zložený zo strednicových plôch, ktorým je priradená hrúbka plechu podľa poskytnutej výkresovej dokumentácie. Na Obr. 14 pod textom je možné vidieť plochy odlíšené farbou, podľa ktorej je možné na bočnej palette farieb zistiť hrúbku plechu. Na modeli sú použité plechy od hrúbky 10 mm až po hrúbku 50 mm.



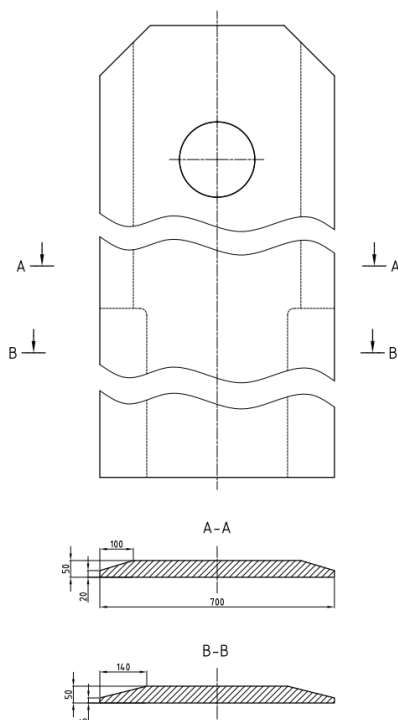
Obr. 14 Zobrazenie hrúbky jednotlivých plechov na FEM modeli

Je potrebné uviesť si, že táto sieť má svoju vrchnú a spodnú stranu. Preto je dobré, aby boli plochy orientované rovnakým smerom a mohli sme určiť nie len priemerované napätie, ale tiež napätie na vonkajšej a vnútornej strane plechu. Pre kontrolu nám v programe NX I- DEAS slúži nástroj shell element orientation. Svetlé plochy reprezentujú spodnú stranu a tmavé vrchnú.



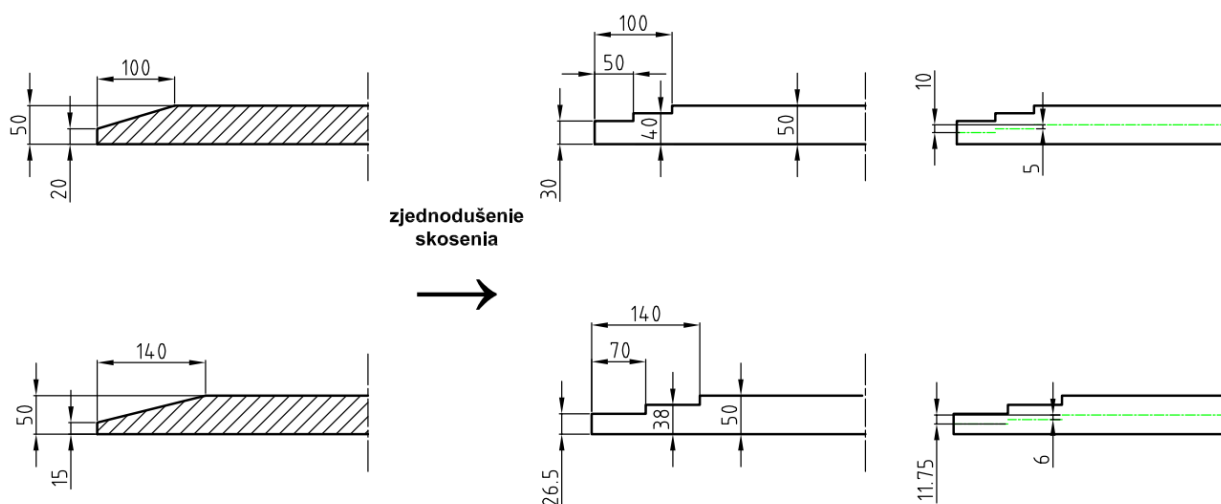
Obr. 15 Kontrola orientácie plôch

Čelné plechy v ktorých sú umiestnené čapy na zavesenie traverzy majú bočné hrany skosené, kvôli plynulému prechodu z hrúbky 50 mm na hrúbku bočných plechov 15 mm. Na týchto plechoch je použité ešte jedno skosenie, ktoré umožní vytvorenie dosadacej plochy na hornú pásnicu.



Obr. 16 Čelný plech so skosením

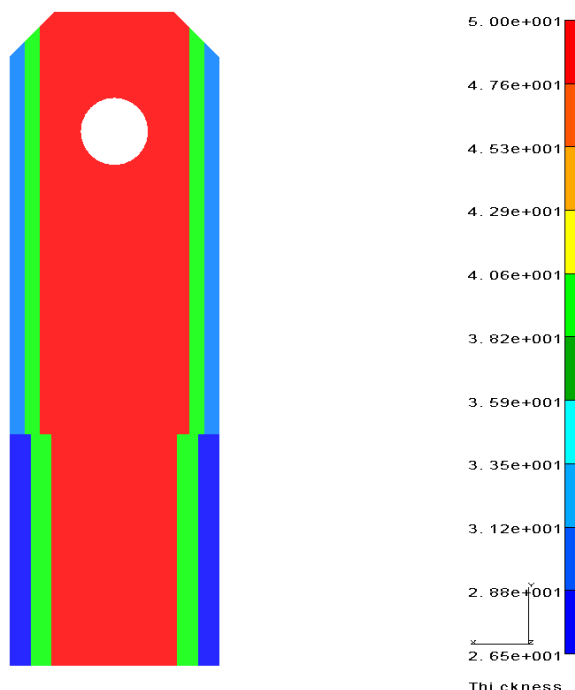
Spomínané skosenie som na škupinovom modeli nahradil plechmi rôznej hrúbky. FEM model je vytvorený zo strednicových plôch. Strednicové plochy tejto náhrady skosenia, nie sú v jednej rovine vid' Obr. 17 Náhrada skosenia tretí stĺpec, znázornené zelenou farbou. Jednotlivé strednicové plochy musia byť vzájomne spojené, čo v tomto prípade nie sú. Aby som dosiahol ekvivalentný stav aj na mojom modeli, ktorý ma strednicové plochy v jednej rovine, použil som funkciu zoffset. Tá vytvorí posun elementu smerom k vrchnej (tmavej) strane o hodnoty uvedené v treťom stĺpci na Obr. 17 Náhrada skosenia.



Obr. 17 Náhrada skosenia

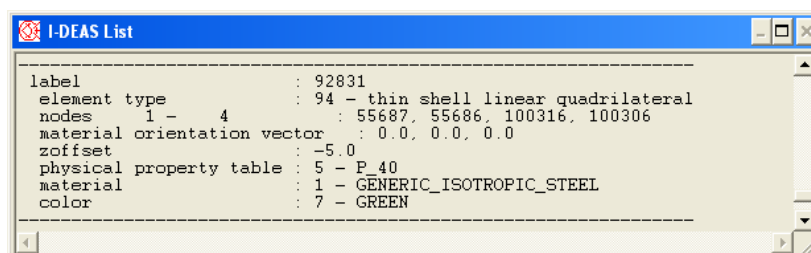


Pre lepšiu predstavu som použil Obr. 18 na ktorom je lepšie vidieť rozdelenie hrúbky podľa farby. Touto úpravou som v konečnom dôsledku docielil to, že strednicové plochy sú v jednej rovine a potrebné posunutie som vytvoril posunutím samotných elementov.



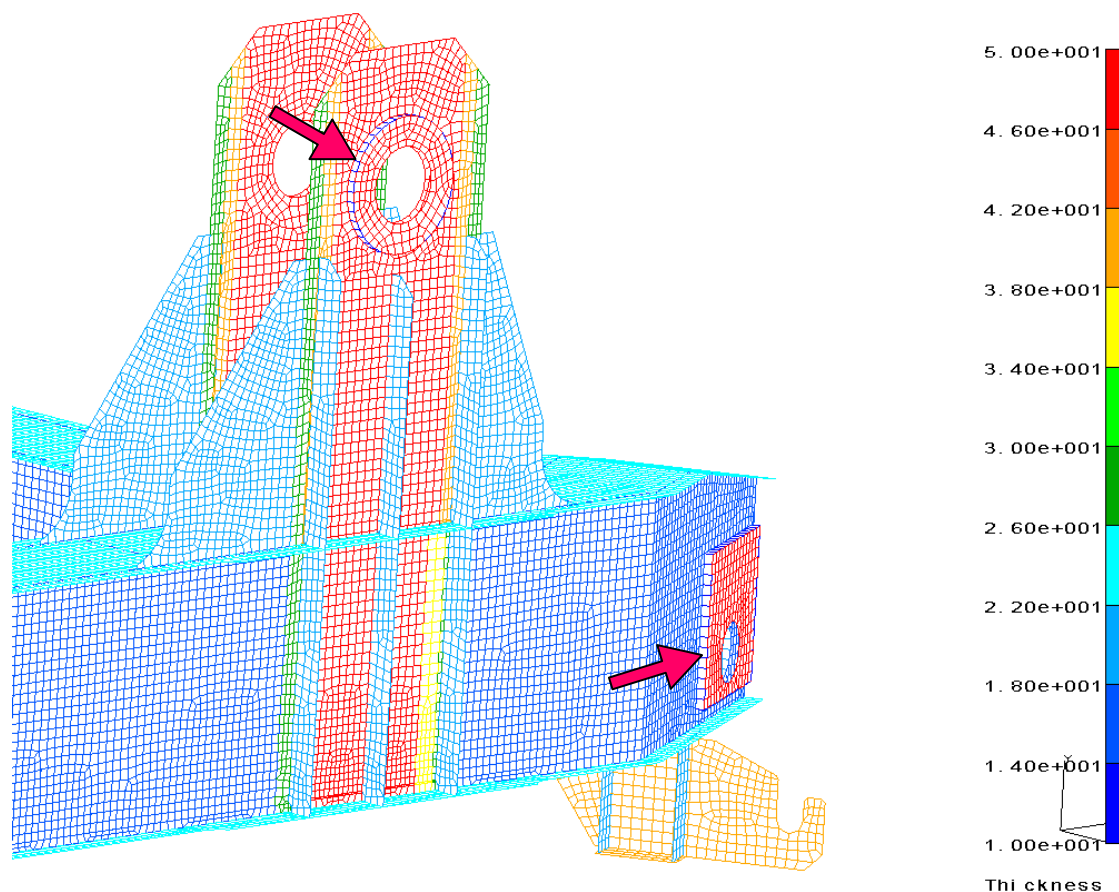
Obr. 18 Zobrazenie náhrady skosenia FEM modeli

Kontrolu správnosti posunutia elementov je možné vykonať pomocou nástroja info, ktorý vypíše údaje o vybranom elemente. Týmto spôsobom som si overoval správnosť posunutia elementu. Na Obr. 20 môžeme vidieť posun modrého elementu na spodnom skosení o 5 mm.



Obr. 19 Kontrola posunutia elementu

Jednou z ďalších vecí, ktoré som potreboval ekvivalentne nahradiť, boli prizvárané plechy okolo čapov pre lanové úväzky a tiež čapov na ktorých je traverza zavesená. Mal som dve možnosti, ako tento stav docieľiť. Prvou možnosťou by bolo priradenie elementom v tejto oblasti hrúbku oboch plechov prizváraných k sebe. Táto možnosť, ale nezohľadňuje nijako zvar. Preto som sa rozhodol pre druhú možnosť, ktorá podľa môjho názoru lepšie reprezentuje realitu. Druhou možnosťou je vytvorenie oboch strednicových plôch, ktoré sú spojené plochou reprezentujúcou zvar. Elementom na tejto ploche som priradil rovnakú hrúbku, ako je veľkosť zvaru. Konkrétne v tomto prípade ide o výšku zvaru 10 mm u oboch plechov, ako je možné vidieť na Obr. 20.



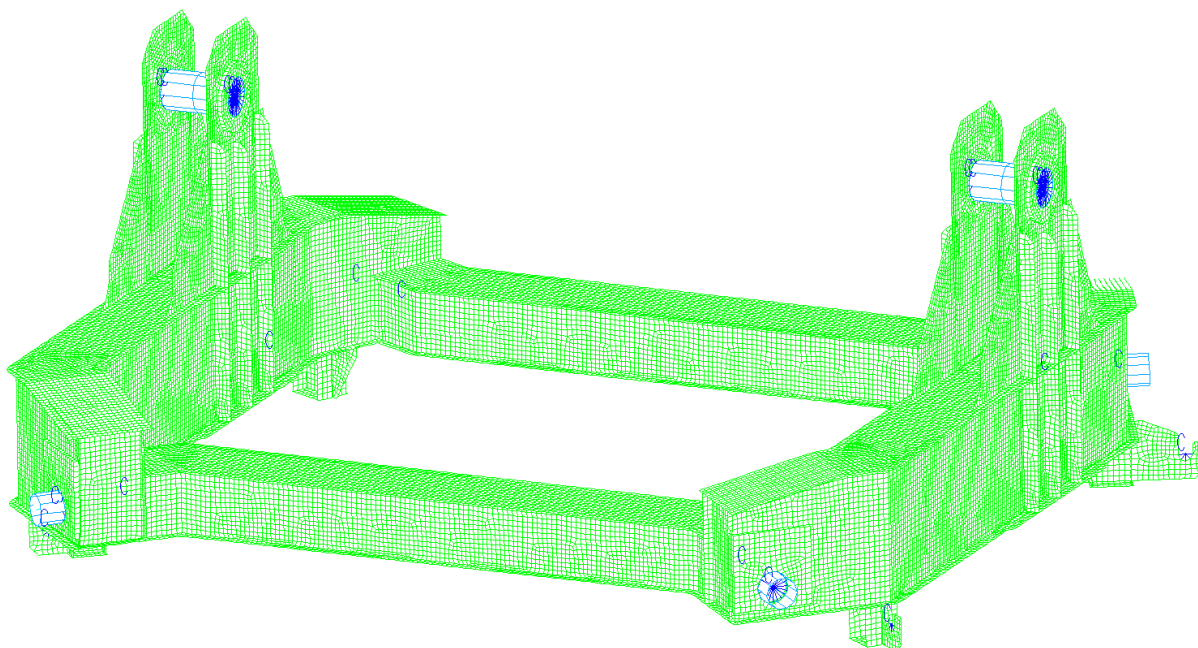
Obr. 20 Náhrada zvarov

3.3 NÁHRADA ZÁVESNÝCH PRVKOV

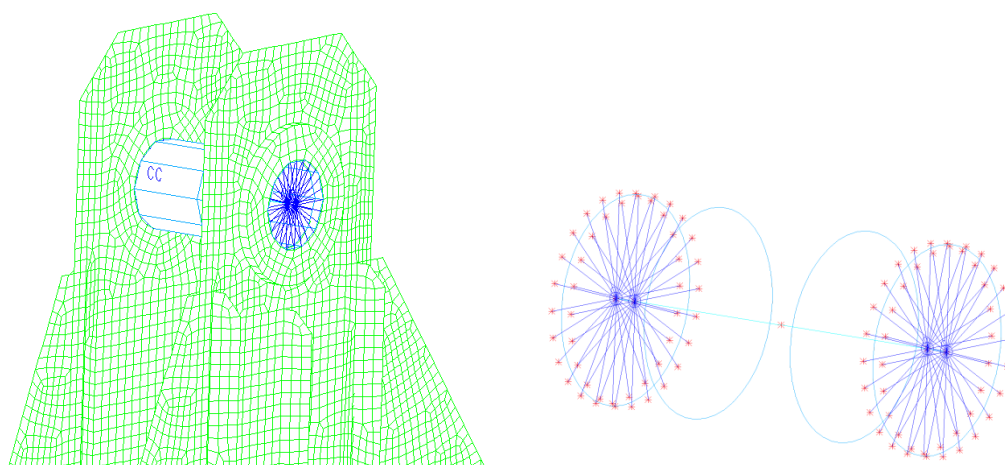
Bremeno je zavesené na lanách, ktoré sú pripevnené na závesné prvky. V tomto prípade konkrétne buď na hákoch alebo čapoch traverzy. Tieto závesné prvky bolo potrebné nahradiť a spojiť so sieťou FEM modelu. Pre náhradu závesných čapov som použil prvok beam a so sieťou som ho spojil pomocou prvku constraint. Zavesenie bremena na háky som vytvoril priamo pomocou prvku constraint.

Constraint reprezentuje nehmotný prvok, ktorý má konečnú tuhosť preto umožňuje čiastočnú deformáciu v závislosti na zaťažení modelu. Tento prvok spája dva uzly alebo viacero uzlov do jedného bodu. Na Obr. 22 je prvok constraint zobrazený modrou farbou.

Beam je hmotný prvok určený geometriou profilu. Prvok beam sa správa ako prút. Tento prvok spája dva uzly. Na Obr. 22 je beam vyznačený tyrkysovou farbou.



Obr. 21 Ukážka náhrady závesných prvkov



Obr. 22 Detail náhrady horného čapu

3.4 RIEŠENIE VYVÁŽENIA TRAVERZY

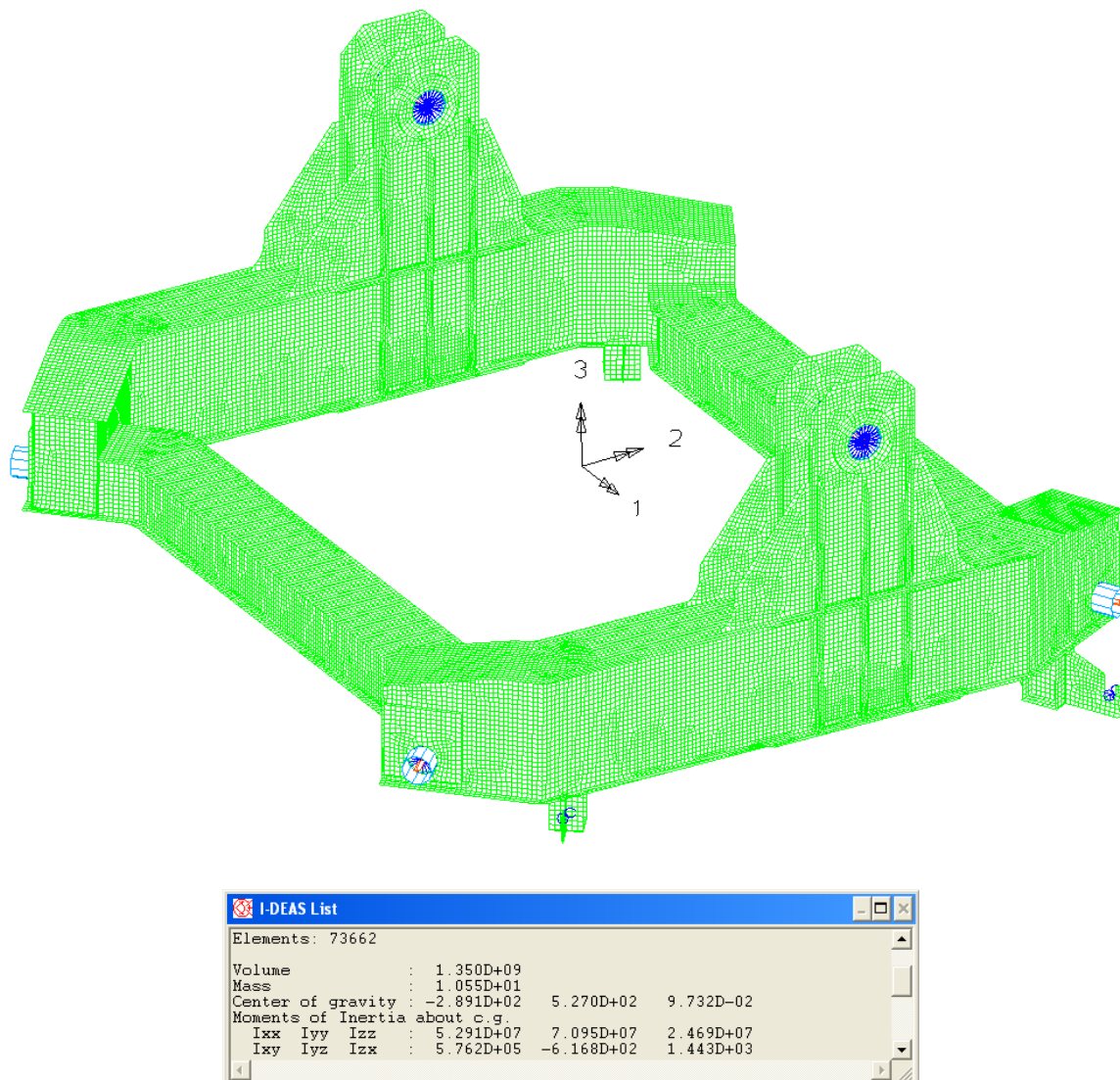
Požiadavka na traverzu bola, aby bola vyvážená v nezaťaženom stave. Ako bolo toto vyváženie realizované je uvedené v kapitole 2.1.1. V tejto kapitole sa budem zaoberať spôsobom, akým toto zaťaženie vypočítať a vytvoriť vo FEM modeli. Tak ako v predchádzajúcich kapitolách aj tu je viacero možností, ako toho dosiahnuť. Aby bolo možné toto vyváženie traverzy zhotoviť, je potrebné najskôr zistiť polohu súčasného ťažiska, vypočítať hmotnosť vývažkov a plochy, do ktorej budú vývažky umiestnené.

POLOHA SÚČASNÉHO ŤAŽISKA

Pre výpočet hmotnosti vývažkov je potrebné zistiť polohu súčasného ťažiska a hmotnosť nevyváženej traverzy. Polohu súčasného ťažiska a hmotnosť nevyváženej traverzy som určil pomocou funkcie solid properties, ktorá mi vykreslila a zároveň vypísala hodnoty, o ktoré je ťažisko posunuté voči súradnicovému systému, ktorého os z je umiestnená v rovine s osou



lamelových hákov, viď Obr. 23. Je snaha posunúť súčasné ťažisko do tejto osi hákov. Z NX I-DEAS listu som zistil hodnotu posunutia ťažiska v ose x. Poloha súčasného ťažiska je vyznačená čiernou farbou.



Obr. 23 Zobrazenie pôvodného ťažiska

SILOVÁ ROVNOVÁHA TIAŽOVÝCH SÍL

Hodnoty zistené v programe NX I-DEAS:

$$m_p = 10550 \text{ kg}$$

Výpočet tiažovej sily nevyváženej traverzy:

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$F_p = m_p \cdot g \tag{1}$$

$$F_p = 10550 \cdot 9,81$$

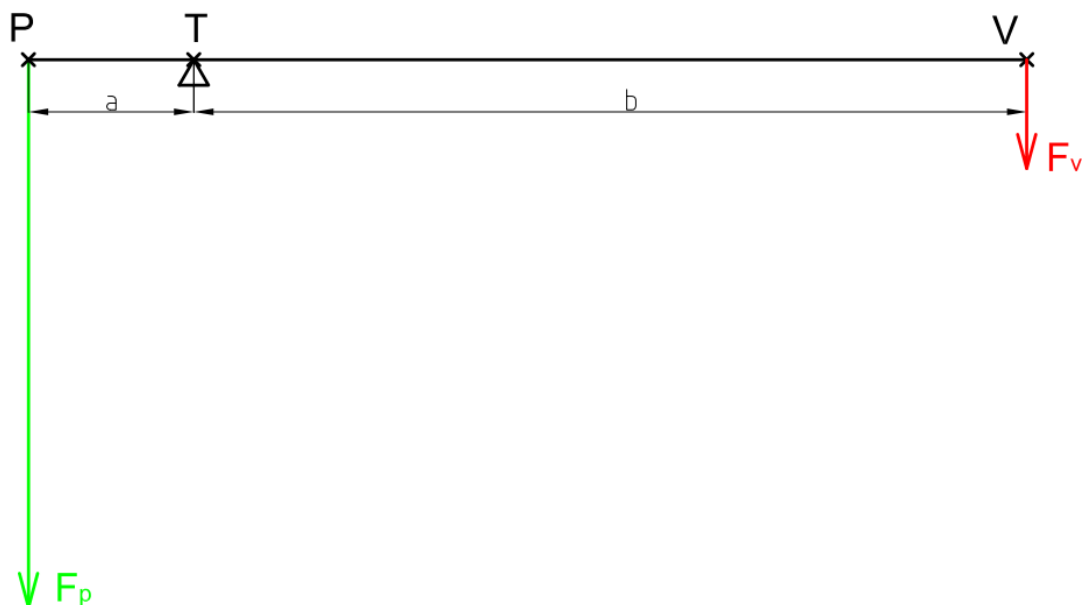


$$F_p = 103495,5 \text{ N}$$

kde:

m_p ... hmotnosť nevyváženej traverzy

g ... gravitačné zrýchlenie



Obr. 24 Silové pomery pre výpočet hmotnosti vývažkov

Hodnoty zistené v programe NX I-DEAS:

$$a = 289,1 \text{ mm}$$

$$b = 1470 \text{ mm}$$

Výpočet tiažovej sily vývažkov z momentovej podmienky

$$\sum M_{OT} = 0 \qquad F_p \cdot a - F_v \cdot b = 0 \qquad (2)$$

$$F_v = \frac{F_p \cdot a}{b}$$

$$F_v = \frac{103495,5 \cdot 289,1}{1470}$$

$$F_v = 20354,12 \text{ N}$$

kde:

a ... je vzdialenosť pôvodného ťažiska nevyváženej traverzy od osi lamelových hákov

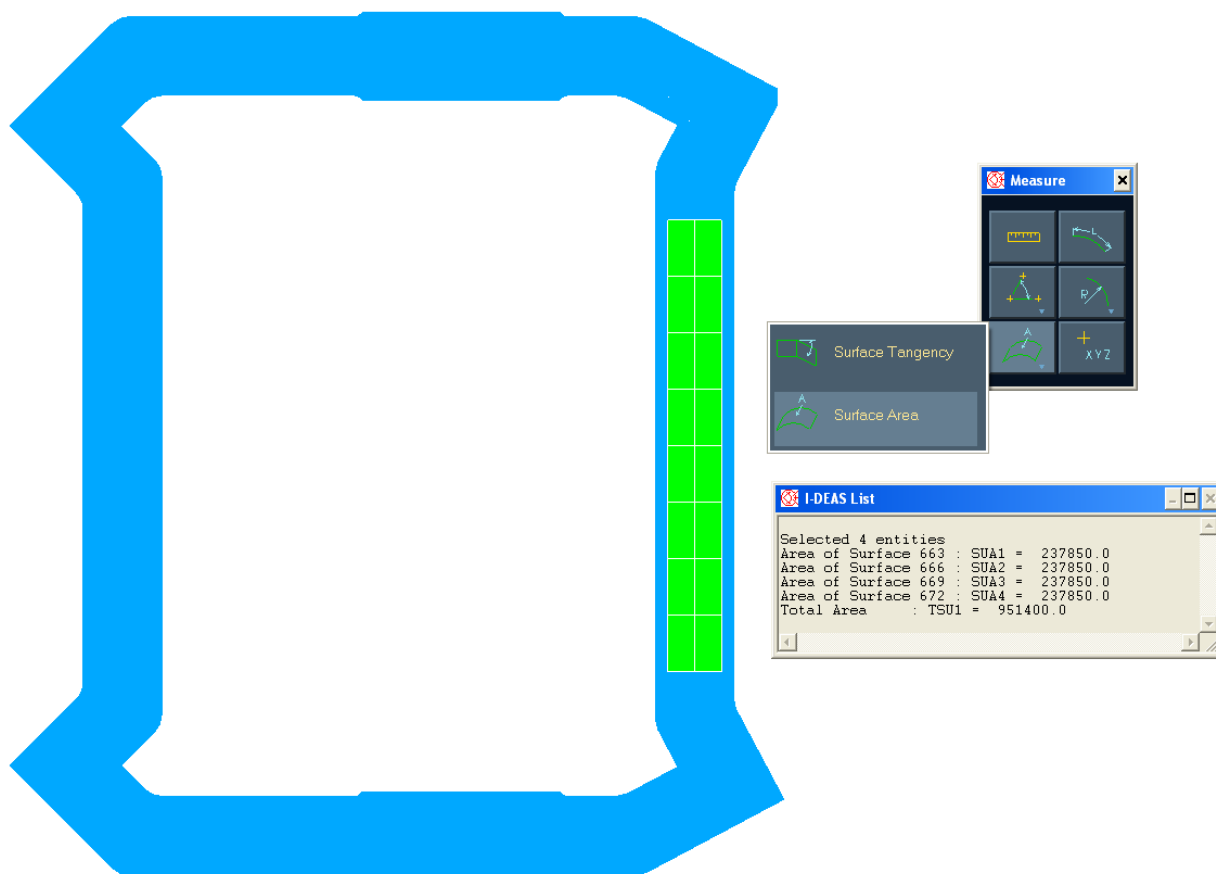
b ... je vzdialenosť od osi lamelových hákov k ťažisku vývažkov

**VÝPOČET HMOTNOSTI VÝVAŽKOV**

$$m_v = \frac{F_v}{g} \quad (3)$$

$$m_v = \frac{20354,12}{9,81}$$

$$m_v = 2074,83 \text{ kg}$$

VÝPOČET PLOCHY POD VÝVAŽKAMI

Obr. 25 Výpočet plochy pod vývažkami

Jednou z možností ako túto hmotnosť zadať do programu NX I-DEAS je priradenie FEM modelu v tejto oblasti neštruktúrálnu hmotu. Táto hmota sa zadáva ako pomer hmotnosti k ploche. Obsah tejto plochy som si nechal spočítať programom NX I-DEAS pomocou nástroja surface area. Táto plocha je na Obr. 25 vyznačená zelenou farbou.

$$A_v = 951400 \text{ mm}^2$$



Výpočet neštruktúrálnej hmoty

$$n_m = \frac{m_v}{A_v} \quad (4)$$

$$n_m = \frac{2074,83}{951400}$$

$$n_m = 2,18 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-2}$$

kde:

A_v ... je plocha pod vývačkami

n_m ... je neštruktúrna hmotnosť

Túto vypočítanú hodnotu som zadal do programu a overil či je posunutie ťažiska v ose x nulové.

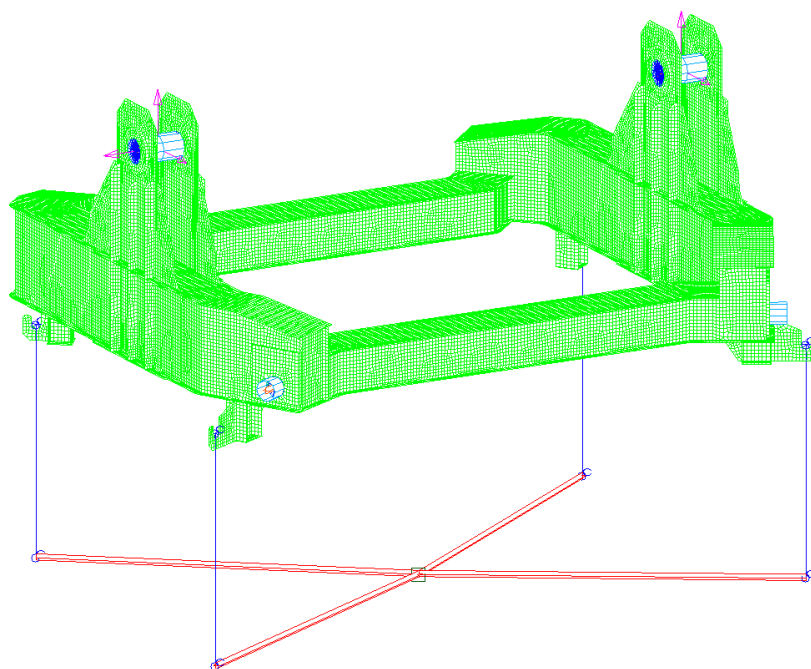
3.5 TVORBA ZAŤAŽENIA A OKRAJOVÉ PODMIENKY

Zaťaženie som do FEM modelu mohol zadať priamo silou v lanách pôsobiacu na čapy v mieste, kde laná pôsobia na závesné čapy. Tiež je tu možnosť vytvoriť zjednodušený model celého bremena vrátane lán. Z dôvodu jednoduchosti a lepšej predstavy tohto zaťaženia, som si vybral druhú možnosť. Zároveň tým, že som si vytvoril náhradu celého modelu nebolo potrebné vykonávať výpočet rozloženia síl v lanách zo silovej rovnováhy a prepočítavať tieto veľkosti pri zmene zaťaženia. Predpokladal som, že nistej je dokonale tuhá. V jej ťažisku a závesných bodoch som si vytvoril uzly. Tieto uzly som spojil prvkom rigid zobrazeným červenou farbou.

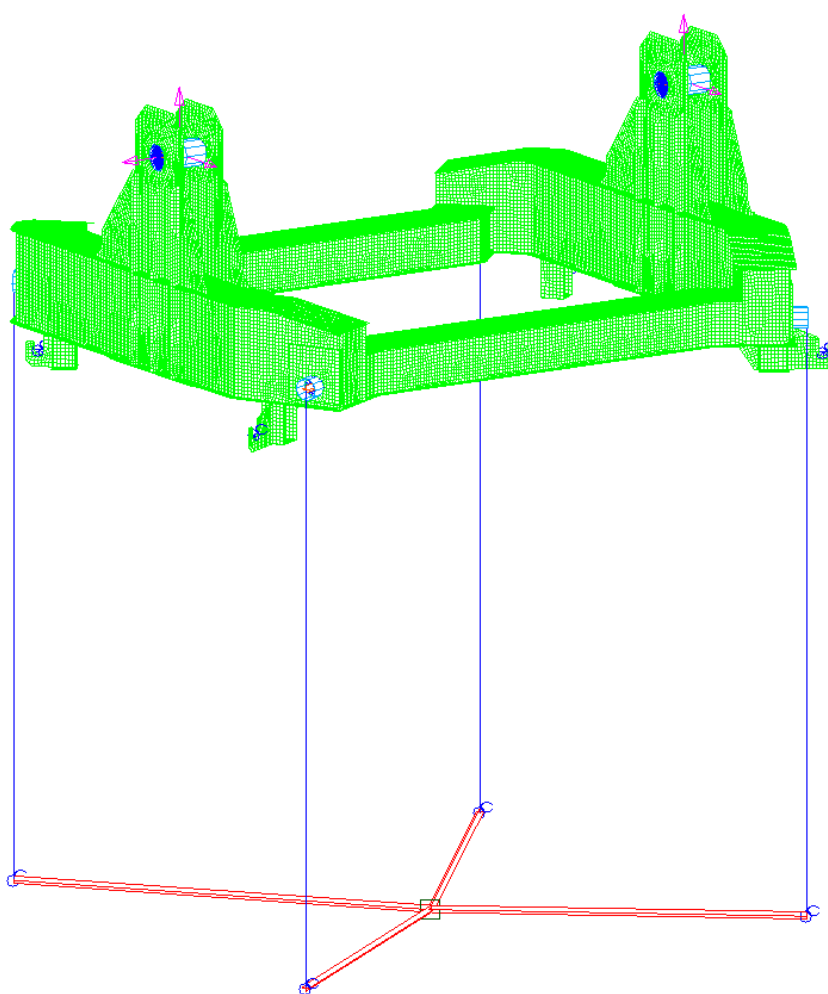
Rigid sa správa ako absolútne tuhý prvok a neumožňuje žiaden posuv ani natočenie uzlov, ktoré spája a je nehmotný.

Do uzlu vytvorenom v ťažisku som umiestnil prvok lumped mass. Tento prvok predstavuje hmotnosť menovitého bremena znázornený tmavozelenou farbou. Hmotnosť bremena sa tak rozloží na každý závesný čap pomocou prvkov rigid do uzlov, ktoré predstavujú úchyty na bremene. Z týchto uzlov sa zaťaženie od bremena prenesie pomocou väzby constraint vyznačenou modrou farbou. Tieto väzby constraint si môžeme predstaviť ako náhrady lán.

Pri určovaní okrajových podmienok, som sa snažil vychádzať z toho, čo traverze bráni v skutočnosti v pohybe. Traverza visí na lamelových hákoch. Preto som v strede čapov na, ktorých je zavesená, vytvoril uzly, na ktoré som aplikoval okrajové podmienky. Traverza zavesená na spomenutých lamelových hákoch môže rotovať okolo osi čapov a tiež rozteč lamelových hákov sa môže mierne meniť. Z toho dôvodu som uzlom v strede týchto čapov zamedzil všetky rotácie, okrem rotácie v osi čapov. Posuvy uzlov som zakázal jednom uzle všetky a druhému uzlu som umožnil posuv v ose čapov, aby sa čo najviac zhodoval s realitou. Umožniť tento posuv obidvom uzlom nie je možné, pretože úloha by nebola staticky určitá.



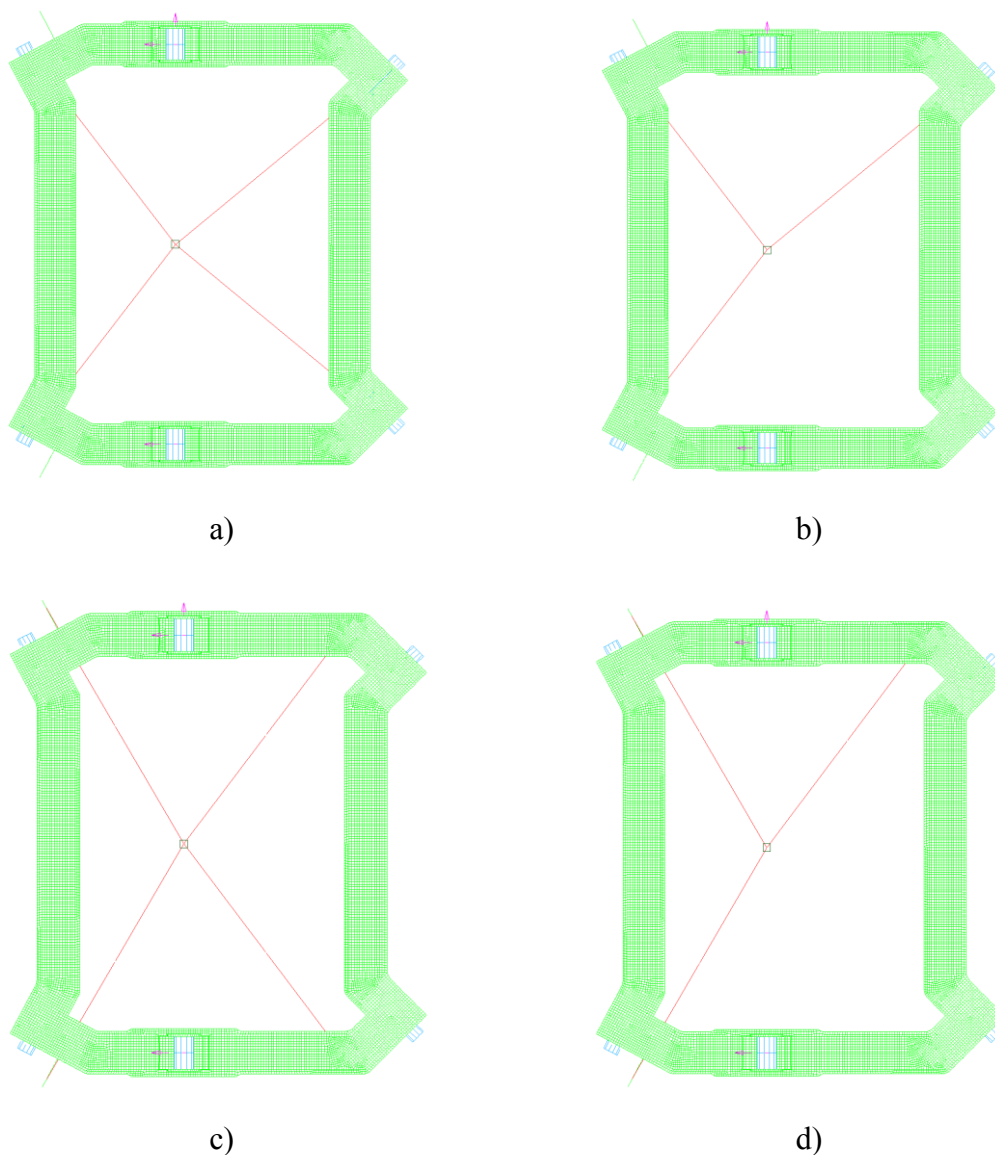
Obr. 26 Zatiaženie zavesené na hákoch



Obr. 27 Zatiaženie zavesené na čapoch

3.5.1 DRUHY ZAŤAŽENÍ

Nistej pece a tiež samotný plášť sú zavesené na štyroch lanových úväzkoch. V prípade, ak by sme predpokladali, že nistej je dokonale tuhá a geometricky presná, mohli by sme mohli uvažovať rovnomerné rozloženie zaťaženia. Tento predpoklad, ale úplne nezodpovedá realite. Skutočnosti skôr odpovedá situácia pri ktorej, budeme predpokladať, že nistej nebude konštantnej tuhosti, geometricky presná a ani lanové úväzky nebudú mať úplne presné rozmery. V takomto prípade sa hmotnosť bremena nerozloží rovnomerne. Aby bolo možné zohľadniť aj tento nepriaznivý stav uvažoval som prípad, kedy bremeno visí len na troch lanách. Hlavná časť zaťaženia sa rozloží do dvoch lán, ktoré sú oproti sebe a tretie lano ponesie zvyšok zaťaženia. Stav kedy by bremeno viselo len na dvoch lanách nemôže nastať z toho dôvodu, že ťažisko neleží na priamke medzi týmito dvoma závesnými bodmi. Rovnaký stav môže nastať, ak bude bremeno zavesené na spodných hákoch. Dá sa predpokladať, že reálny stav bude odpovedať prípadu nachádzajúcim sa niekde medzi týmito dvoma vyššie spomenutými prípadmi.



Obr. 28 Typy zavesenie bremena a) bremeno visí na štyroch čapoch, b) bremeno visí na troch čapoch, c) bremeno visí na štyroch hákoch, d) bremeno visí na troch hákoch



4 PEVNOSTNÝ VÝPOČET MANIPULAČNEJ TRAVERZY

Pri výpočte pevnostnej analýzy som sa riadil normou ČSN 27 0103. Táto norma sa používa pre návrh oceľových konštrukcií žeriavov. Na začiatku bolo potrebné určiť čo jednotlivé názvoslovie predstavujú pre môj prípad. Konkrétne pojem menovité a stále bremeno [8]. Za menovité bremeno sa pokladá v mojom prípade nistej alebo plášť pece. Stále bremeno predstavuje traverza vrátane viazacích prostriedkov.

4.1 VÝPOČET ZAŤAŽENIA PODĽA ČSN 27 0103

Táto norma slúži pre návrh oceľových konštrukcií žeriavov v rôznych prevádzkových podmienkach. Preto rozdeľuje aj zaťaženia podľa druhu prevádzky a ďalších faktorov, ktoré ovplyvňujú návrh oceľovej konštrukcie.

ROZDELENIE ZAŤAŽENÍ:

- stále
- náhodné
- mimoriadne

4.1.1 STÁLE ZAŤAŽENIA

Za stále zaťaženia sa vo tomto prípade uvažujú zaťaženia od nosnej konštrukcie a častí nachádzajúcich sa na konštrukcii. Ďalej sa tu radiá zaťaženia od trvalých predpätí [8].

Za stále zaťaženia v tomto prípade sa považuje hmotnosť traverzy m_{tr} a hmotnosť viazacích prostriedkov s označením m_{v1} a m_{v2} .

$$m_{tr} = 13\,728\text{ kg} \quad (5)$$

$$m_{v1} = 48\text{ kg}$$

$$m_{v2} = 733\text{ kg}$$

Hmotnosť stáleho bremena pri zdvíhaní plášťa sa vypočíta:

$$m_{s1} = m_{tr} + m_{v1} \quad (6)$$

$$m_{s1} = 13\,728 + 48$$

$$m_{s1} = 13\,776\text{ kg}$$

Hmotnosť stáleho bremena pri zdvíhaní plášťa sa vypočíta:

$$m_{s2} = m_{tr} + m_{v2} \quad (7)$$

$$m_{s2} = 13\,728 + 733$$

$$m_{s2} = 14\,461\text{ kg}$$



NÁHODNÉ ZAŤAŽENIA

Do tejto skupiny zaťaženie patria zaťaženia od menovitého bremena, stáleho bremena, vlastných hmotností pohyblivých častí, ktoré sa pohybujú v závislosti na pohybe bremena a zotrvačných síl. Tiež je potreba vziať do úvahy aj zaťaženia od bočných síl, priečenia žeriavu na jeho dráhe, zaťaženia vetrom, snehom, námrazou, ľadom, účinku teplotných zmien, zaťaženia od schodov, plošín, rebríkov a zábradlí [8].

Náhodné zaťaženie predstavuje hmotnosť bremena (nisteje alebo plášť). Hmotnosť plášťa som označil ako m_{q1} a hmotnosť nisteje m_{q2} . Keďže s traverzou sa manipuluje v hale, zvyšné vyššie spomenuté zaťaženia neuvažujem, pretože na traverzu nepôsobia.

$$m_{q1} = 40000 \text{ kg}$$

$$m_{q2} = 186000 \text{ kg}$$

4.1.2 MIMORIADNE ZAŤAŽENIA

Medzi mimoriadne zaťaženia sa považujú zaťaženia od nárazu žeriava alebo mačky na narážky. Zaťaženia vzniknuté pri doprave, montáži, poruche zdvíhacieho zariadenia, odpadnutie bremena, seizmické účinky a technické otrasy [8].

S tejto skupiny som uvažoval iba zaťaženie od odpadnutia bremena.

4.2 KOMBINÁCIE ZAŤAŽENIA PODĽA ČSN 27 0103

Pri výpočte ocelevej konštrukcie sa vykonáva aj kontrola na kombináciu týchto zaťažení (stálych, náhodných a mimoriadnych). Zaťaženie sa určí pri súčasnom pôsobení viacerých druhov kombinácií zaťažení [8].

PODĽA TYPU KOMBINÁCIE ZAŤAŽENIA SA ROZDEĽUJÚ DO TROCH SKUPÍN

- základne kombinácie
- mimoriadne kombinácie
- kombinácie pre posúdenie ocelevej konštrukcie pri únave

4.2.1 ZÁKLADNÉ KOMBINÁCIE ZAŤAŽENÍ

Základné kombinácie sa skladajú zo stálych a náhodných zaťažení. Pre výpočet základných kombinácií je potreba určiť rôzne súčinitele. Na určenie zaťaženia od stáleho bremena je potrebný súčiniteľ zaťaženia od vlastných hmotností γ_g a tiež dynamický zdvihový súčiniteľ δ_h . Súčiniteľ zaťaženia sa pre zaťaženia vyvolané vlastnou hmotnosťou podľa [8] str.8, volí 1,1.

Dynamický zdvihový súčiniteľ pre žeriavy mostového typu sa vypočíta podľa [8], zo vzťahu:

$$\delta_h = 1 + H_i(0,1 + 0,13v_h) \quad (8)$$

kde:

H_i ... je súčiniteľ zdvihovej triedy

v_h ... je rýchlosť zdvihu



Hodnota Hi sa určí z [8], str.10 podľa zadanej zdvihovej triedy žeriavu.

Traverza sa používa v dvoch prevádzkových stavoch. Preto aj tieto súčinitele sú dva.

Dynamický zdvihový súčiniteľ pre rýchlosť zdvihu $v_{h1} = 0,133 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$:

$$\delta_{h1} = 1 + Hi(0,1 + 0,13 \cdot v_{h1}) \quad (9)$$

$$\delta_{h1} = 1 + 3(0,1 + 0,13 \cdot 0,133)$$

$$\delta_{h1} = 1,35$$

Dynamický zdvihový súčiniteľ pre rýchlosť zdvihu $v_{h2} = 0,067 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$:

$$\delta_{h2} = 1 + Hi(0,1 + 0,13 \cdot v_{h2}) \quad (10)$$

$$\delta_{h2} = 1 + 3(0,1 + 0,13 \cdot 0,067)$$

$$\delta_{h2} = 1,33$$

Za náhodné zaťaženie sa v tomto prípade považuje menovité bremeno. Pre určenie zaťaženia od menovitého bremena je potrebný súčiniteľ zaťaženia od menovitého bremena γ_{l0} , ktorý sa určí z [8] str.9 podľa druhu prevádzky. Na mostovom žeriave je použité zariadenie proti preťaženiu, preto sa pri výpočtoch uvažuje so súčiniteľom zaťaženia od menovitého bremena $\gamma_{l0} = 1,2$.

ZAŤAŽENIE SPÔSOBENÉ KOMBINÁCIOU MENOVITÉHO A STÁLEHO BREMENA PRE BREMENO O HMOTNOSTI 40 000 KG SA VYPOČÍTA ZO VZŤAHU:

$$ZK1 = m_{Q1} \cdot g \cdot \gamma_{l0} \cdot \delta_{h1} + m_{s1} \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_{h1} \quad (11)$$

$$ZK1 = 40000 \cdot 9,81 \cdot 1,2 \cdot 1,35 + 13776 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,35$$

$$ZK1 = 838 \text{ kN}$$

ZAŤAŽENIE SPÔSOBENÉ KOMBINÁCIOU MENOVITÉHO A STÁLEHO BREMENA PRE BREMENO O HMOTNOSTI 186 000 KG SA VYPOČÍTA ZO VZŤAHU:

$$ZK2 = m_{Q2} \cdot g \cdot \gamma_{l0} \cdot \delta_{h2} + m_{s1} \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_{h2} \quad (12)$$

$$ZK2 = 186000 \cdot 9,81 \cdot 1,2 \cdot 1,33 + 14461 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,33$$

$$ZK2 = 3111 \text{ kN}$$

ZAŤAŽENIE SPÔSOBENÉ ODPADNUTÍM BREMENA PRE BREMENO O HMOTNOSTI 40 000 KG SA VYPOČÍTA ZO VZŤAHU:

$$ZK3 = -0,25 \cdot (m_{Q1} + m_{s1}) \cdot g \cdot \gamma_{l0} \cdot \delta_{h1} \quad (13)$$

$$ZK3 = -0,25 \cdot (40000 + 13776) \cdot 9,81 \cdot 1,2 \cdot 1,35$$



$$ZK3 = -214 \text{ kN}$$

ZAŤAŽENIE SPÔSOBENÉ ODPADNUTÍM BREMENA PRE BREMENO O HMOTNOSTI 186 000 KG SA VYPOČÍTA ZO VZŤAHU:

$$ZK4 = -0,25 \cdot (m_{Q2} + m_{s2}) \cdot g \cdot \gamma_{10} \cdot \delta_{h2} \quad (14)$$

$$ZK4 = -0,25 \cdot (186000 + 14461) \cdot 9,81 \cdot 1,2 \cdot 1,33$$

$$ZK4 = -782 \text{ kN}$$

4.2.2 MIMORIADNE KOMBINÁCIE ZAŤAŽENÍ

Mimoriadne kombinácie účinkov sú zostavené zo stálych, náhodných a účinkov nejakého mimoriadneho zaťaženia, ktoré zodpovedá podmienkam prevádzky. Na zariadeniach sa vykonáva statická a dynamická skúška so skúšobným bremenom. Pri statickej skúške je skúšobne bremeno podľa [9] 1,1 násobok hmotnosti menovitého bremena. Pri dynamickej skúške je hmotnosť skúšobného bremena zväčšená o 1,2 násobok menovitého bremena.

$$m_{zs} = 1,1 \cdot m_Q \quad (15)$$

$$m_{zd} = 1,2 \cdot m_Q \quad (16)$$

MIMORIADNE KOMBINÁCIE ZAŤAŽENÍ ZO SKÚŠOBNÝM BREMENOM O HMOTNOSTI 40000 KG PRI DYNAMICKEJ SKÚŠKE SA VYPOČÍTA PODĽA VZŤAHU:

$$MK5 = \frac{1 + \delta_{h1}}{2} \cdot m_{zd1} \cdot g \quad (17)$$

$$MK5 = \frac{1 + \delta_{h1}}{2} \cdot 1,2 \cdot m_{Q1} \cdot g$$

$$MK5 = \frac{1 + 1,35}{2} \cdot 1,2 \cdot 40000 \cdot 9,81$$

$$MK5 = 554 \text{ kN}$$

MIMORIADNE KOMBINÁCIE ZAŤAŽENÍ ZO SKÚŠOBNÝM BREMENOM O HMOTNOSTI 186000 KG PRI DYNAMICKEJ SKÚŠKE SA VYPOČÍTA PODĽA VZŤAHU:

$$MK6 = \frac{1 + \delta_{h2}}{2} \cdot m_{zd2} \cdot g \quad (18)$$

$$MK6 = \frac{1 + \delta_{h2}}{2} \cdot 1,2 \cdot m_{Q2} \cdot g$$

$$MK6 = \frac{1 + 1,33}{2} \cdot 1,2 \cdot 186000 \cdot 9,81$$

$$MK6 = 2547 \text{ kN}$$



MIMORIADNE KOMBINÁCIE ZAŤAŽENÍ ZO SKÚŠOBNÝM BREMENOM O HMOTNOSTI 40000 KG PRI STATICKEJ SKÚŠKE SA VYPOČÍTA PODĽA VZŤAHU:

$$MK7 = m_{zs1} \cdot g \quad (19)$$

$$MK7 = 1,1 \cdot m_{Q1} \cdot g$$

$$MK7 = 1,1 \cdot 40000 \cdot 9,81$$

$$MK7 = 432 \text{ kN}$$

MIMORIADNE KOMBINÁCIE ZAŤAŽENÍ ZO SKÚŠOBNÝM BREMENOM O HMOTNOSTI 186000 KG PRI STATICKEJ SKÚŠKE SA VYPOČÍTA PODĽA VZŤAHU:

$$MK8 = m_{zs2} \cdot g \quad (20)$$

$$MK8 = 1,1 \cdot m_{Q2} \cdot g$$

$$MK8 = 1,1 \cdot 186000 \cdot 9,81$$

$$MK8 = 2007 \text{ kN}$$

4.3 ZAŤAŽUJÚCE STAVY

Aby som vzal do úvahy všetky možné situácie, ktoré môžu nastať pri prevádzke manipulačnej traverzy, určil som štyri zaťažujúce stavy.

Tieto zaťažujúce stavy je možné rozdeliť do dvoch skupín:

➤ **podľa druhu zavesenia bremena:**

- zavesenie bremena na hákoch
- zavesenie bremena na závesných čapoch

➤ **podľa počtu zaťažených lán, na ktorých visí bremeno:**

- bremeno zavesené na troch lanách
- bremeno zavesené na štyroch lanách

V predchádzajúcej kapitole sú uvedené rôzne zaťažujúce stavy, ktoré podľa normy ČSN 27 0103 môžu nastať. S týchto stavov som vybral tie najhoršie a použil pre výpočet v programe NX I-DEAS. Zaťažujúce stavy som označil skratkou ZS.

ZS1- zaťažujúci stav predstavuje situáciu, kedy je na manipulačnej traverze zavesené bremeno na štyroch hákoch. Hmotnosť tohto bremena je určená z najnepriaznivejších stavov vypočítaných podľa [8] pre bremeno o hmotnosti 40 000 kg.

ZS2- zaťažujúci stav predstavuje obdobnú situáciu ako predchádzajúci. Hmotnosť bremena je tiež určená z najnepriaznivejších stavov vypočítaných podľa [8] pre bremeno o hmotnosti 40 000 kg. Rozdiel spočíva v zavesení. V tomto prípade je zohľadnená



možnosť bremena visieť len na troch hákoch. Tento zaťažujúci stav reprezentuje tú najnepriaznivejšiu skutočnosť a to, ak by boli úchyty na nisteji poprípade traverzy geometricky nepresné, poprípade dĺžka lán by nebola rovnaká.

ZS3- zaťažujúci stav predstavuje situáciu, keď je na manipulačnej traverze bremeno uchytené na štyroch čapoch. Hmotnosť bremena je určená z najnepriaznivejších stavov vypočítaných podľa [8] pre bremeno o hmotnosti 186 000 kg.

ZS4- zaťažujúci stav predstavuje situáciu, ak rovnaká hmotnosť bremena ako v predchádzajúcom zaťažujúcom stave ZS3 bola uchytená na manipulačnej traverze len na troch čapoch.

Pre lepšiu prehľadnosť som tieto jednotlivé zaťažujúce stavy zapísal do tabuľky.

Tab. 1 Rozdelenie zaťažujúcich stavov vzniknutých pri prevádzke

Spôsob zavesenia bremena	4 laná	3 laná
Háky	ZS1	ZS2
Čapy	ZS3	ZS4

4.4 VLASTNOSTI MATERIÁLU

Manipulačná traverza je vyrobená z materiálu S235J2+N. Pre výpočet je potreba vedieť vlastnosti tohto materiálu. Vlastnosti použitého materiálu som zistil z normy [10] str.16.

Modul pružnosti: 210 000 MPa

Modul pružnosti v šmyku: 81 000 MPa

Medza klzu: 235 MPa

Medza pevnosti: 360 MPa

Hustota: 7 850 kg.m⁻³

Podľa materiálu sa tiež určujú hodnoty návrhovej pevnosti, s ktorou sa následne porovnávajú hodnoty vypočítaných napätí. Hodnotu návrhovej pevnosti som určil podľa [10] str.25.

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (21)$$

$$f_{yd} = \frac{235}{1,15}$$

$$f_{yd} = 204,35 \text{ MPa}$$

kde:



f_y ... je hodnota medze klzu

γ_M ... je súčiniteľ spoľahlivosti materiálu (volí sa podľa ČSN 73 1401 tabuľka 6.1)

4.5 POSÚDENIE NA VYDÚVANIE STIEN

Posúdenie na vydúvanie stien som uskutočnil podľa normy ČSN 73 1401, keďže pre pevnostný výpočet som použil normu ČSN 27 0103 a tá sa ohľadne vydúvania odvoláva práve na ňu.

Táto norma klasifikuje prierez podľa štihlosti a únosnosti jeho časti namáhaných ohybom a tlakom. Podľa toho, do ktorej skupiny prierez patrí sa použije v ďalšom výpočte plasticitný alebo pružnostný výpočet. Podľa tabuľky 6.2 na str. 28 sú v tejto norme uvedené a vysvetlené jednotlivé triedy. V tejto tabuľke sú uvedené vzťahy, podľa ktorých sa klasifikuje trieda, do ktorej riešený prierez patrí [10].

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 \cdot \varepsilon \quad (22)$$

$$\frac{750}{15} \leq 72 \cdot 1$$

$$50 \leq 72$$

kde:

d ... je výška stojiny

t_w ... hrúbka tlačenej časti

$$\varepsilon \dots \text{pomerné pretvorenie sa vypočíta zo vzťahu } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

Tento prierez splňuje požiadavky prvej triedy, preto sa považuje za kompaktný.

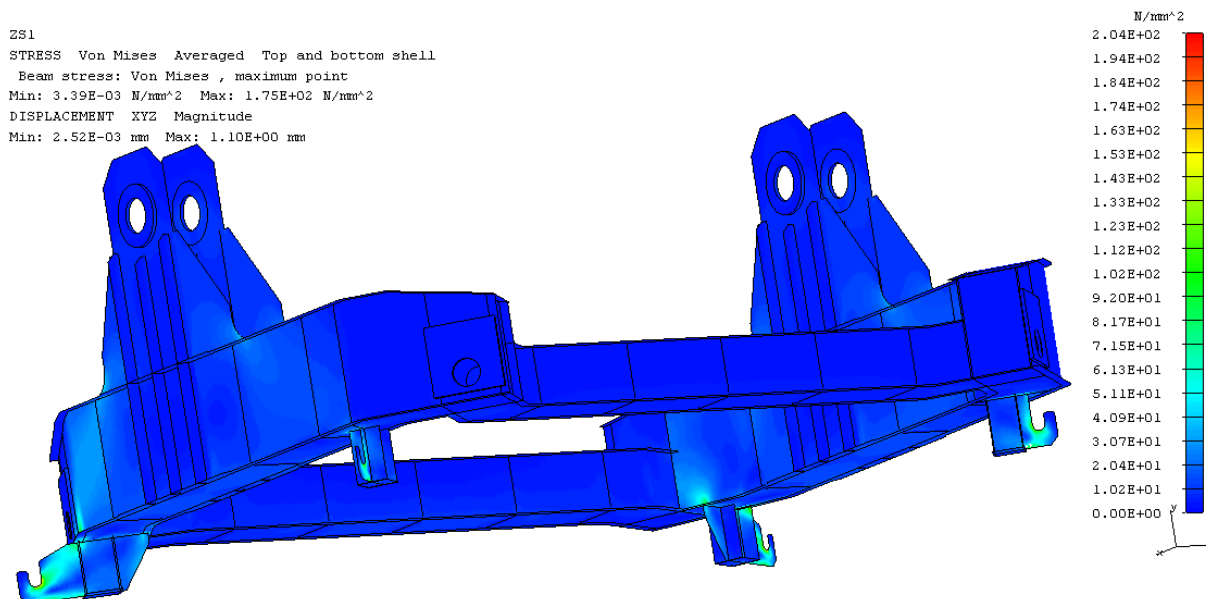
4.6 VÝSLEDKY Z PROGRAMU NX I-DEAS

V tejto kapitole a jej podkapitolách sú zobrazené výsledky jednotlivých zaťažovacích stavov. Redukované napätie je určené podľa podmienky HMH. Výsledky v tejto kapitole sú zobrazené v deformovanom stave v mierke 1:1 (scale factor 1). Hodnoty sú porovnávané s hodnotou návrhovej pevnosti 204 MPa. V prvej hornej časti obrázku je uvedený jeho stručný popis, ktorý obsahuje minimálne a maximálne hodnoty napätia a deformácie. Pre zobrazenie lepšieho a plynulejšieho rozloženia napätia je použitá funkcia average, ktorá určuje spriemerovanú hodnotu napätia. Ako už bolo spomenuté v kapitole 3.2, každá stena tohto škrupinového modelu má svoju vrchnú a spodnú stranu. Vo výsledkoch je použitá funkcia top and bottom shell, čo predstavuje rozdiel napätia na vrchnej a spodnej strane.

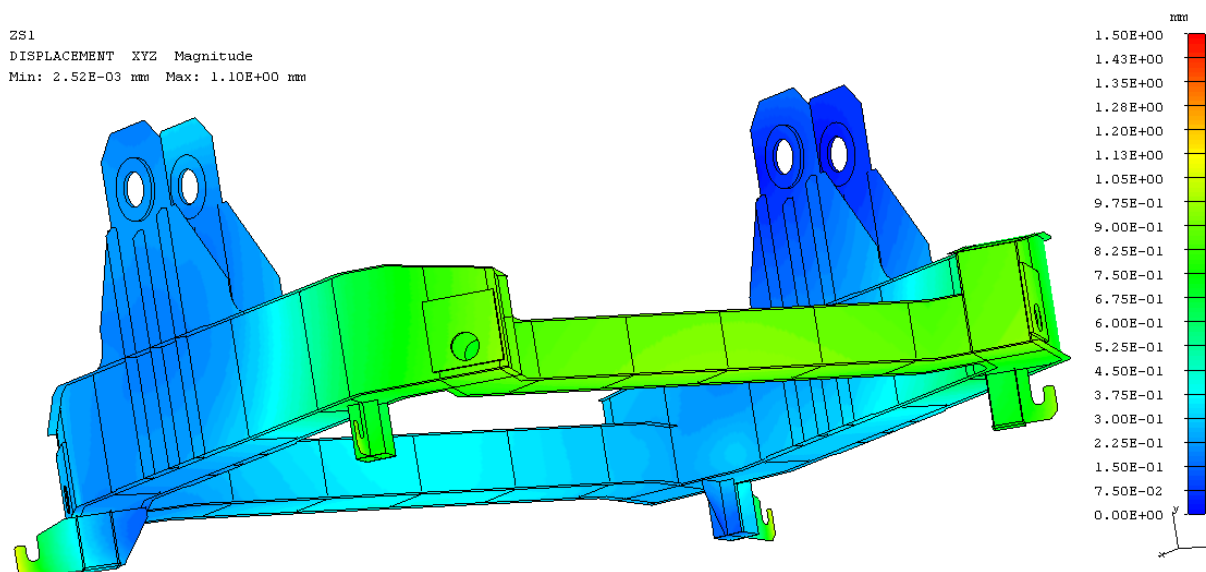


4.6.1 VÝSLEDKY ZS1

Prvý zaťažovací stav predstavuje ideálnu situáciu pri ktorej je bremeno zavedené na štyroch hákoch umiestnených na spodnej časti traverzy. Tento stav nastane ak bude traverza a tiež bremeno geometricky presné a vyrobené z materiálu, ktorý má konštantnú tuhosť. Detailnejší popis tohto zaťažovacieho stavu je možné nájsť v kapitole 4.3. Na obrázku Obr. 29 je zobrazený priebeh napätia a na Obr. 30 deformácia. Je vidieť, že najviac namáhanou časťou pri tomto zaťažovaní sú háky. Hodnoty tohto napätia sú nižšie než hodnoty návrhovej pevnosti. Hodnoty deformácie sú tiež pomerne nízke preto je možné konštatovať, že manipulačná traverza pri tomto zaťažovaní stave vyhovuje.



Obr. 29 ZS1- zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 175 MPa, max. deformácia 1,1 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 204 MPa

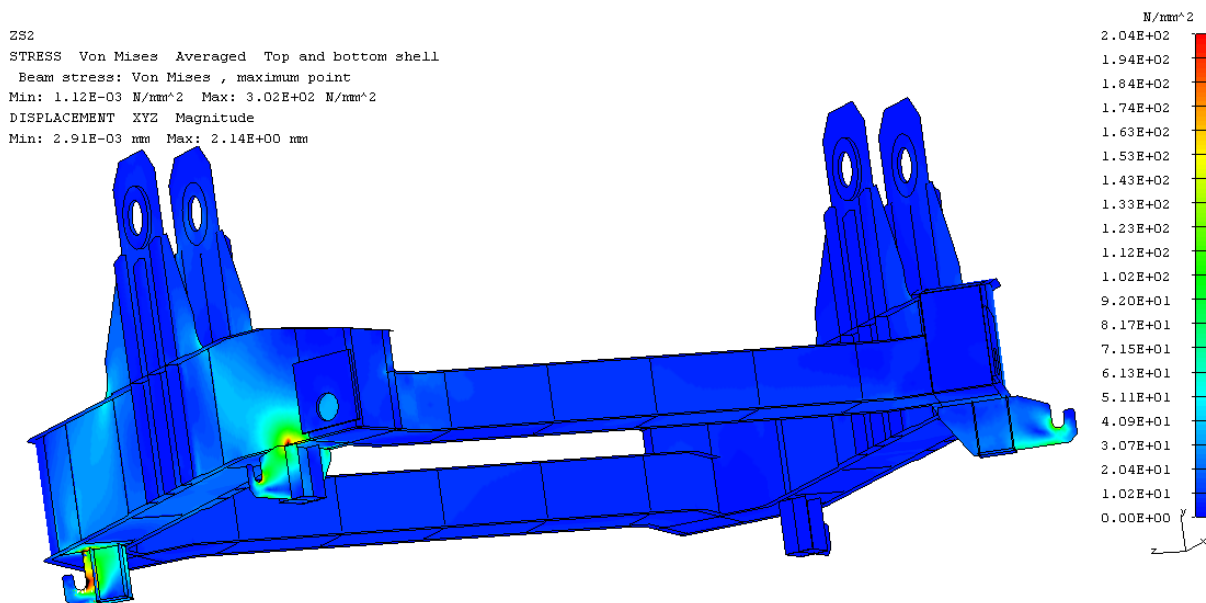


Obr. 30 ZS1- zobrazenie deformácie, max. deformácia 1,1 mm, scale factor 1, rozsah deformácie 0 - 1,5 mm

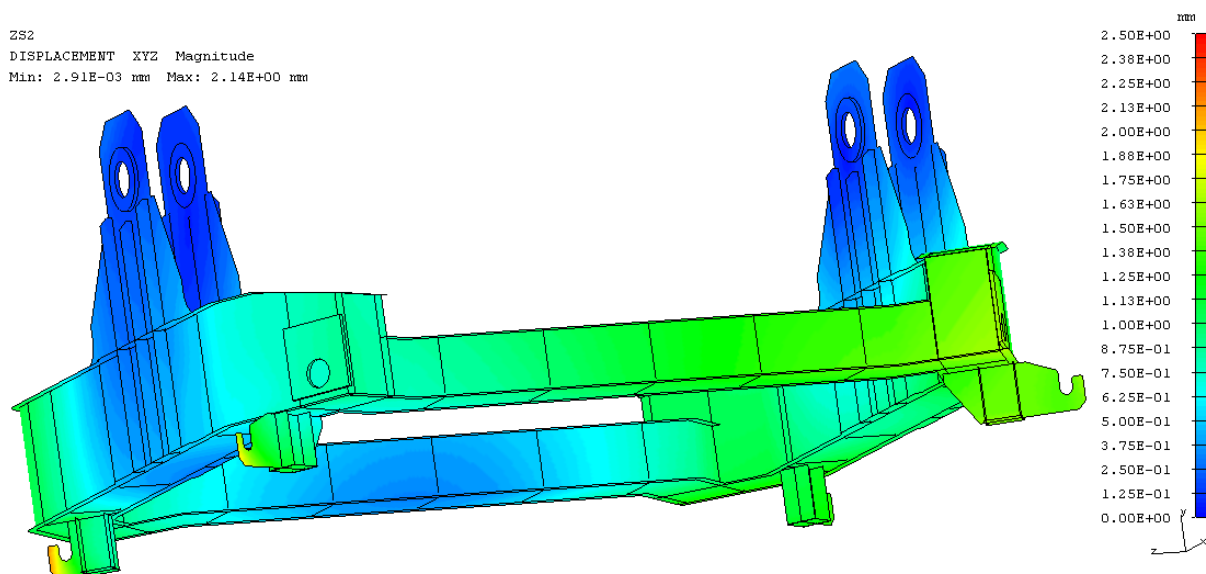


4.6.2 VÝSLEDKY ZS2

Tento zaťažujúci stav predstavuje možnosť, že bremeno visí len na troch hákoch. Druhý zaťažujúci stav sa dá pokladať za najnepriaznivejší pri zavesení bremena na spodných hákoch traverzy. To, na ktorých hákoch je zavesené bremeno je možné rozoznať podľa zvýšeného napätia v ich okolí. Je možné vidieť, že zvýšené napätie už nie je len na samotných hákoch, ale tiež prechádza do stojiny nosníka. Maximálne napätie pri tomto zaťažovacom stave je vyššie než hodnota návrhovej pevnosti. Deformácia síce veľká nie je, ale manipulačná traverza pre tento zaťažovací stav nevyhovuje.



Obr. 31 ZS2- zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 302 MPa, max. deformácia 2,1 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 204 MPa

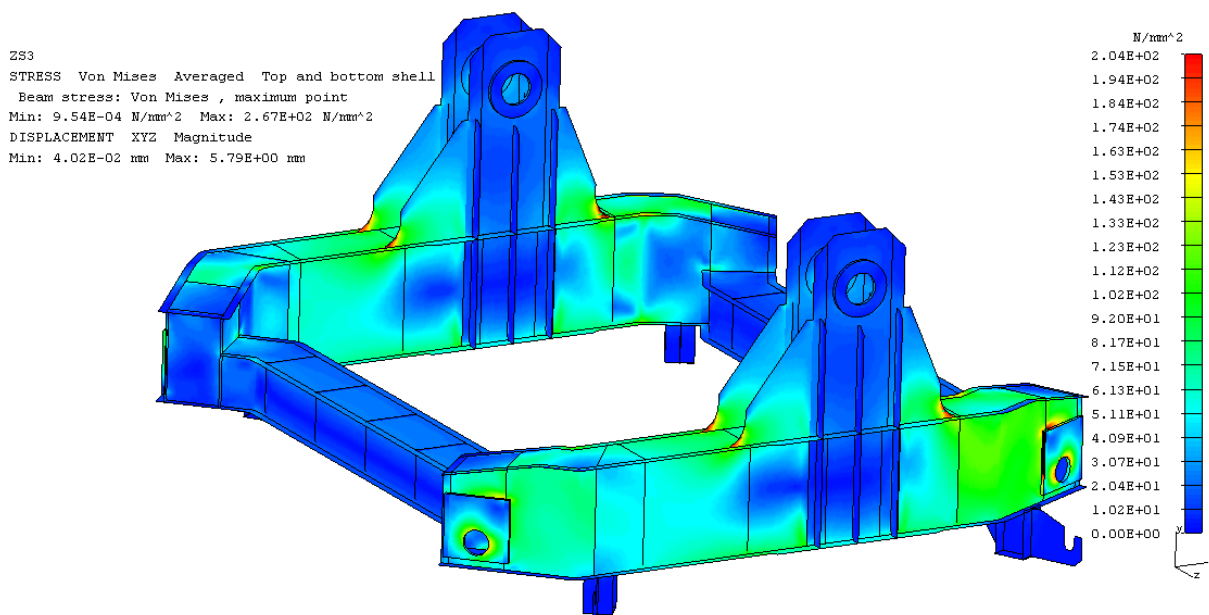


Obr. 32 ZS2- zobrazenie deformácie, max. deformácia 2,1 mm, scale factor 1, rozsah deformácie 0 - 2,5 mm

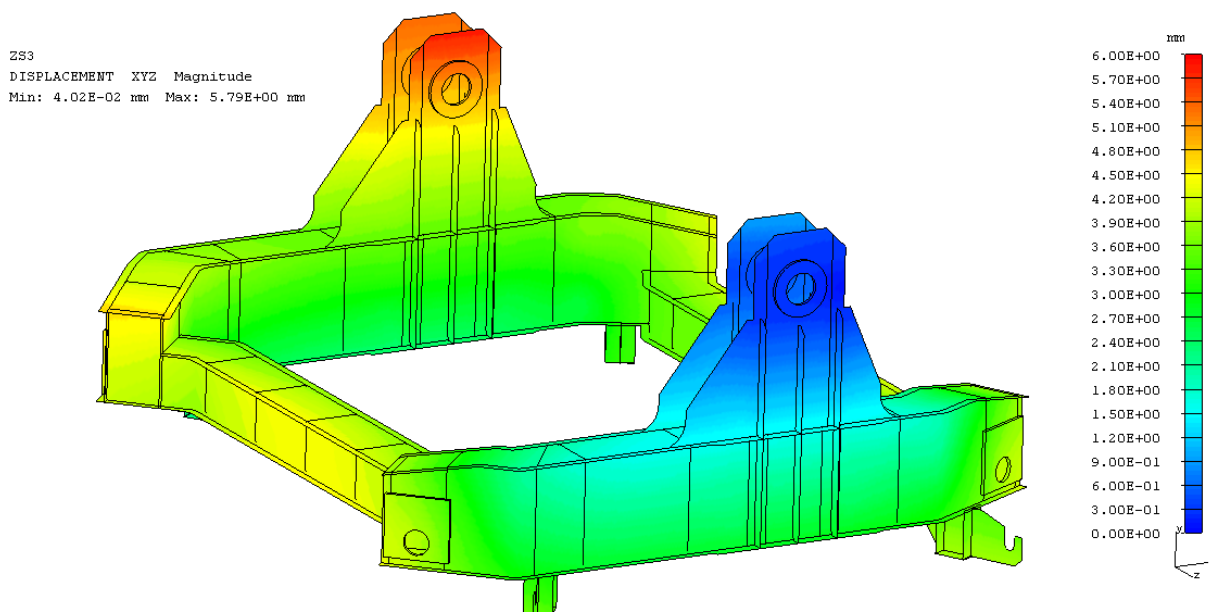


4.6.3 VÝSLEDKY ZS3

V tomto zaťažovacom stave je bremeno zavesené na štyroch čapoch. To by predstavovalo znovu ideálny stav, ktorý v skutočnosti s veľkou pravdepodobnosťou nenastane. Skutočnosť sa tomuto stavu, ale bude veľmi blížiť. Maximálne napätie je o niečo vyššie než hodnota návrhovej pevnosti hlavne v okolí zvarov na doskách pri čapoch a tiež trochu na rebrách. Hodnota maximálnej deformácie je pomerne nízka, ale traverza tomuto zaťažovaciemu stavu nevyhovuje pretože hodnota napätia v zvaroch presiahla hodnotu návrhovej pevnosti.



Obr. 33 ZS3- zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 267 MPa, max. deformácia 5,8 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 204 MPa

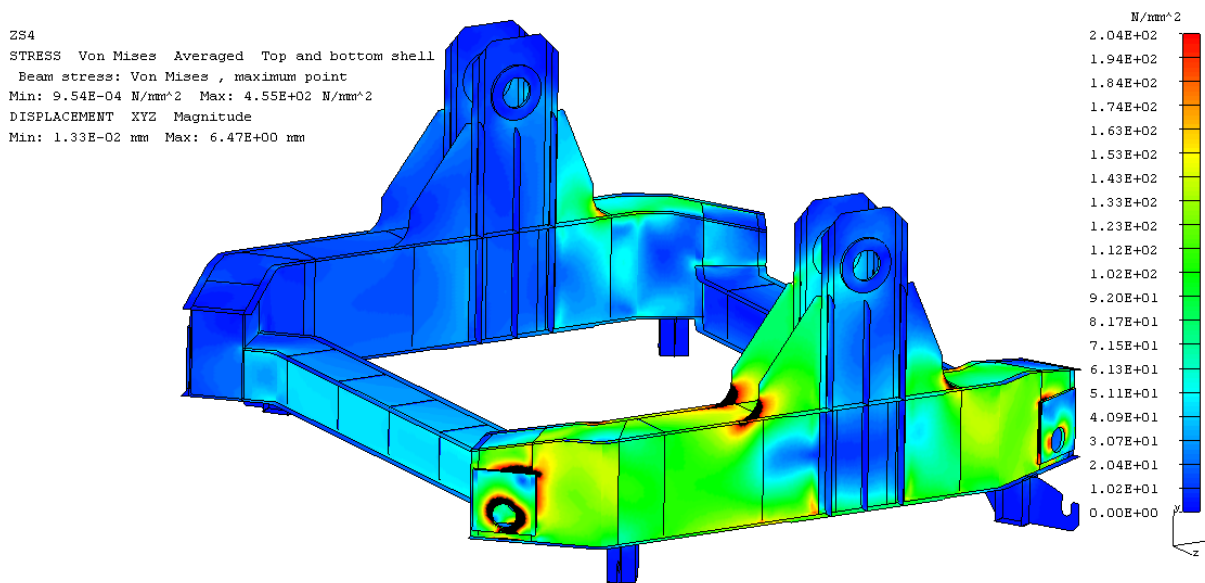


Obr. 34 ZS3- zobrazenie deformácie, max. deformácia 5,8 mm, scale factor 1, rozsah deformácie 0 - 6 mm

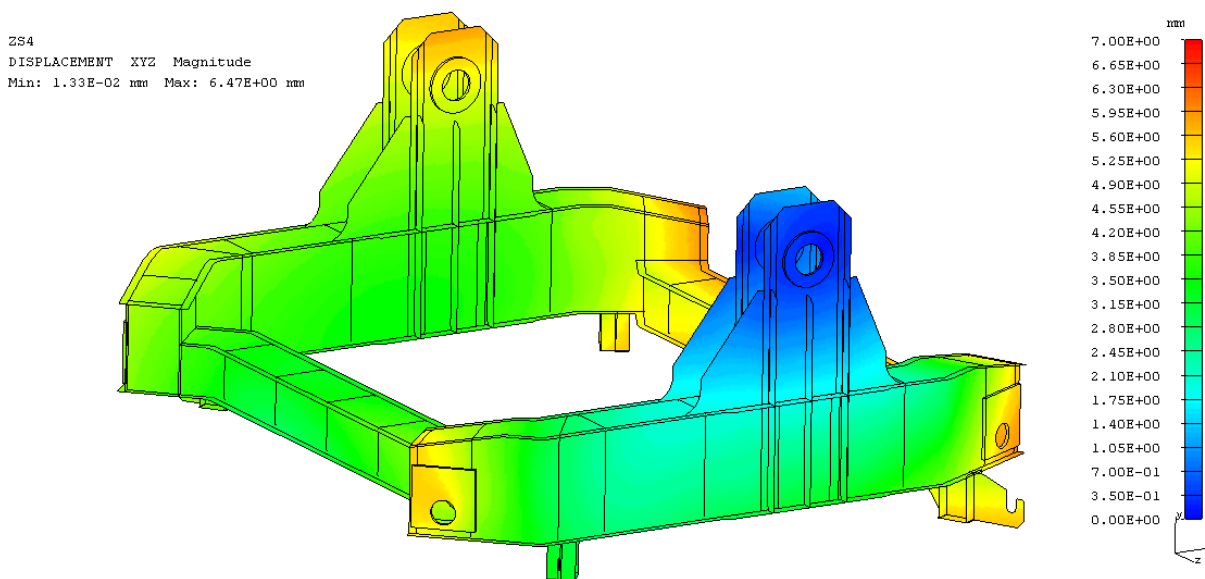


4.6.4 VÝSLEDKY ZS4

Štvrtý zaťažovací stav reprezentuje situáciu pri ktorej by bremeno viselo na troch čapoch. V skutočnosti tento stav s pomerne veľkou pravdepodobnosťou tiež nenastane, ale aby som bol na strane bezpečnosti a vzal v úvahu aj to, že k takémuto stavu môže dôjsť, uvažoval som aj tento stav. Maximálne napätie v tomto stave približne dvojnásobne presahuje návrhovú pevnosť hlavne v okolí čapov a tiež na rebrách. Maximálna deformácia nie je pri takomto zaťažení veľká. Manipulačná traverza pri tomto zaťažovacom stave nevyhovuje z dôvodu prekročenia návrhovej pevnosti.



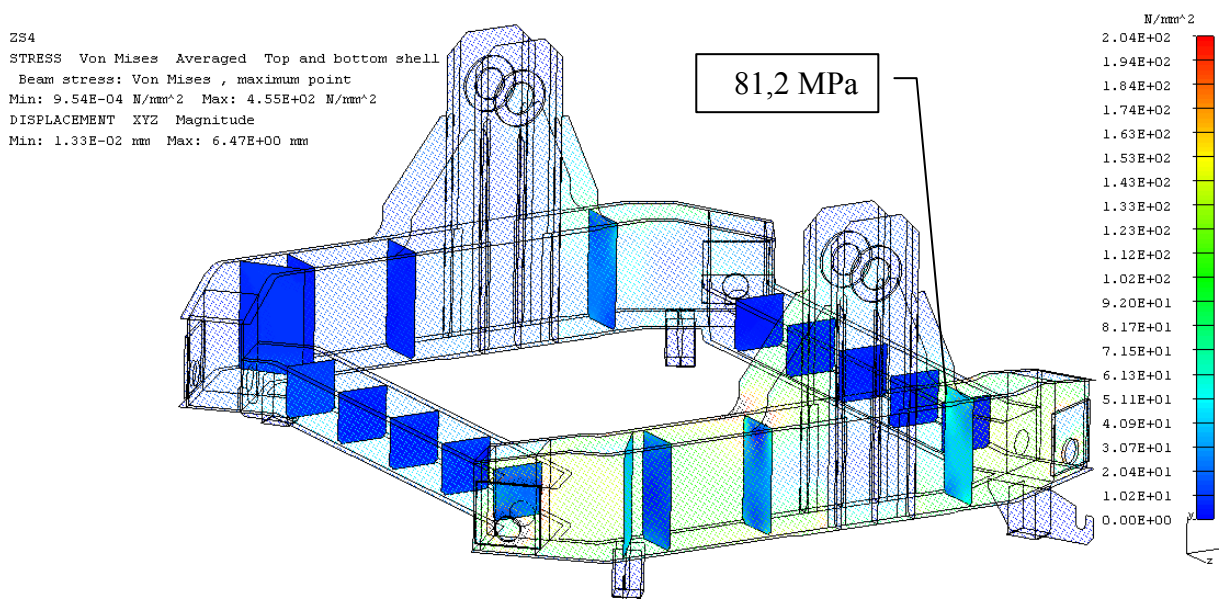
Obr. 35 ZS4- zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 455 MPa, max. deformácia 6,5 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 204 MPa



Obr. 36 ZS4- zobrazenie deformácie, max. deformácia 6,5 mm, scale factor 1, rozsah deformácie 0 - 7 mm

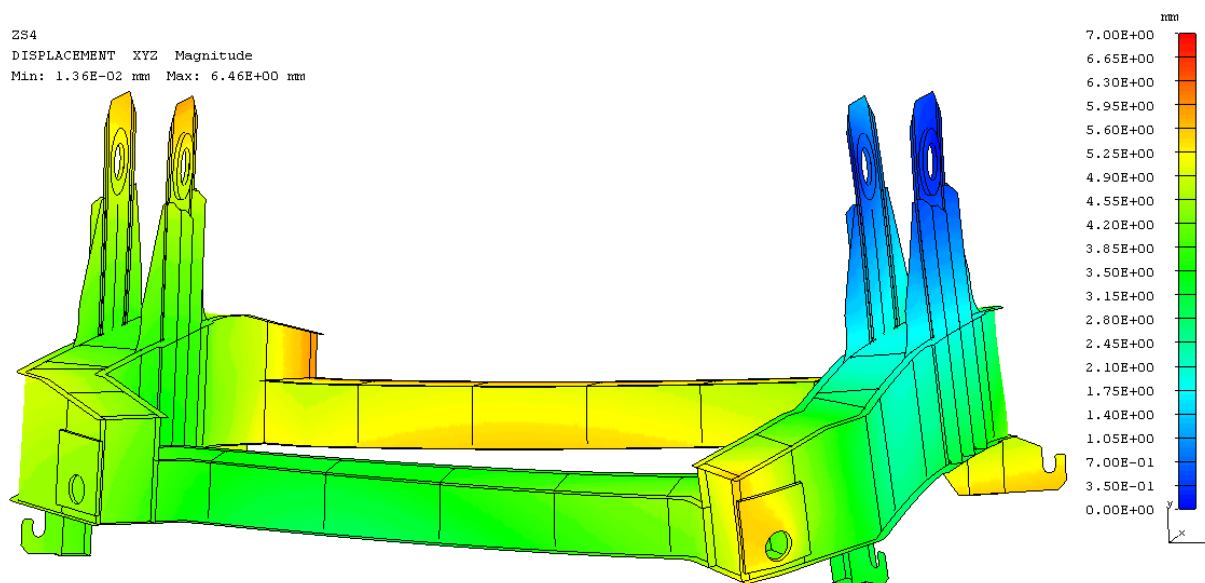


Tento zaťažujúci stav sa dá pokladať za najviac nevyhovujúci a preto pre úplnú kontrolu som pri tomto stave pridal aj obrázok, na ktorom je zobrazenie vnútorných častí, ktoré nebolo možné na predošlých obrázkoch vidieť.



Obr. 37 ZS4 - zobrazenie napätia na vnútorných priečkach, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 81,2 MPa, max. deformácia 6,5 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 204 MPa

Tiež som pre overenie pridal obrázok so scale factorom 50, v ktorom je možné zväčšene vidieť ako sa FEM model deformuje a porovnať ho s očakávaným predpokladom.



Obr. 38 ZS4 - zobrazenie deformácie, max. deformácia 6,5 mm, scale factor 50, rozsah deformácie 0 – 7 mm

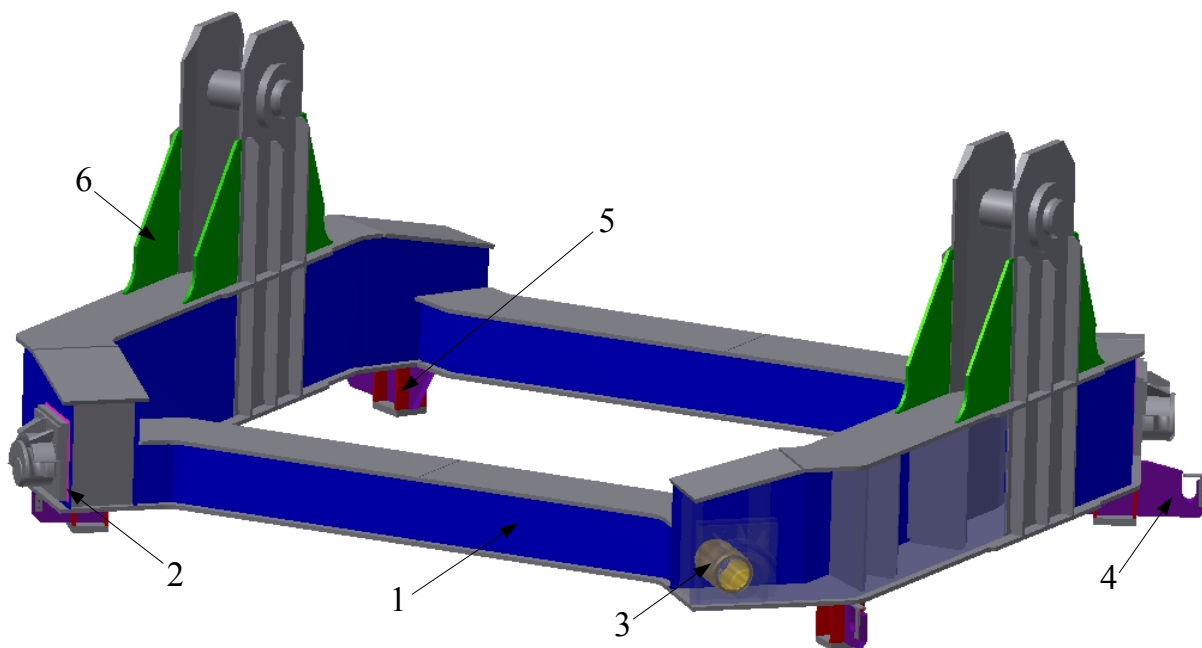


5 NÁVRH KONŠTRUKČNEJ ZMENY PODDIMENZOVANÝCH ČASTÍ

Ako je možné vidieť v kapitolách 4.6.2, 4.6.3 a 4.6.4 pôvodná manipulačná traverza nevyhovuje z dôvodu prekročenia návrhovej pevnosti. Aby táto manipulačná traverza vyhovela, je potrebné zaviesť určité úpravy.

SÚ NAVRHNUTÉ TIETO ZMENY:

- zmena pôvodného materiálu S235J2+N na S355J2+N
- zmena hrúbky stojín z 15 mm na 20 mm znázornených modrou farbou na Obr. 39 pod pozíciou 1
- zmena výšky zvarov z 10 mm na 20 mm znázornených ružovou farbou na Obr. 39 pod pozíciou 2
- pridanie rúry o hrúbke 30 mm pre vystuženie stojín v okolí čapov znázornených žltou farbou na Obr. 39 pod pozíciou 3
- zmena hrúbky plechu zo 40 mm na 50 mm pre háky znázornených fialovou farbou na Obr. 39 pod pozíciou 4
- zmena hrúbky plechov pre bočné vystuženie hákov z 20 mm na 30 mm znázornených červenou farbou na Obr. 39 pod pozíciou 5
- zmena hrúbky rebier z 15 mm na 30 mm znázornených zelenou farbou na Obr. 39 pod pozíciou 6



Obr. 39 Zobrazenie konštrukčných úprav poddimenzovaných častí

Je potrebné si uvedomiť, že po takto vykonaných zmenách došlo ako k zmene hmotnosti manipulačnej traverzy tak i k zmene polohy ťažiska. Preto bolo potrebné novú manipulačnú traverzu znovu vyvážiť rovnakým spôsobom aký je popísaný v kapitole 3.4. Hmotnosť manipulačnej traverzy po úpravách vzrástla o 1,53 t.



5.1 VLASTNOSTI NOVÉHO MATERIÁLU

Vlastnosti nového materiálu sa líšia od vlastností pôvodného materiálu medzou klzu a medzou pevnosti. Tieto vlastnosti som určil podľa [10] str.16.

Medza klzu: 355 MPa

Medza pevnosti: 510 MPa

Podľa materiálu sa tiež určujú hodnoty návrhovej pevnosti, s ktorou sa následne porovnávajú hodnoty vypočítaných napätí. Pre určenie hodnoty návrhovej pevnosti som znovu použil [10] str.25.

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (23)$$

$$f_{yd} = \frac{355}{1,15}$$

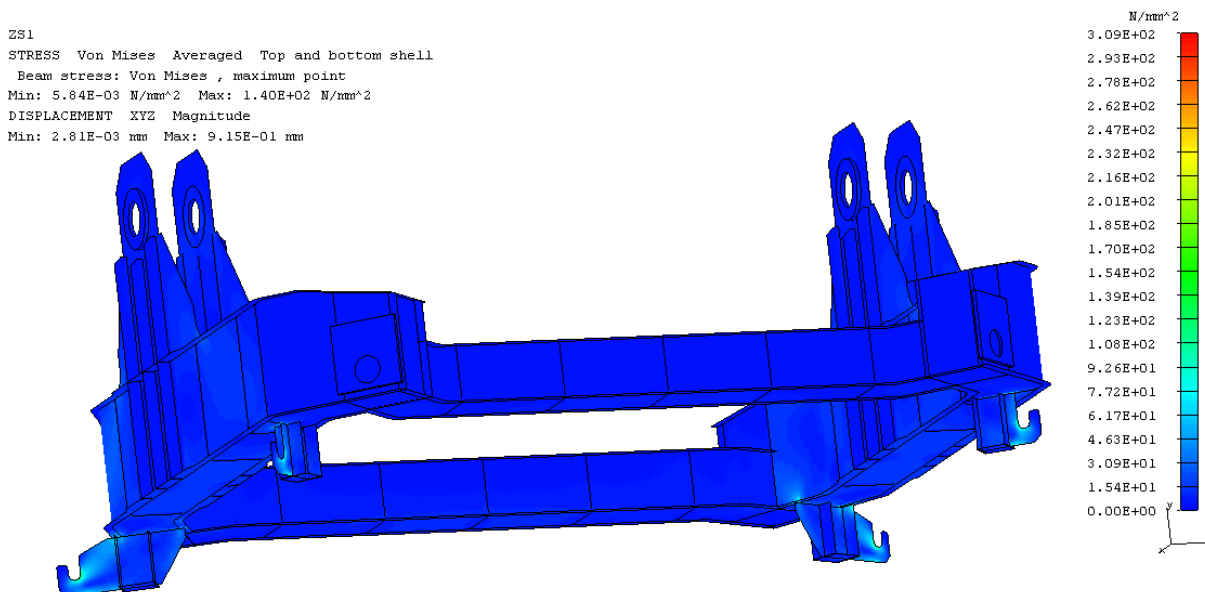
$$f_{yd} = 308,7 \text{ MPa}$$

5.2 VÝSLEDKY Z PROGRAMU NX I-DEAS PO KONŠTRUKČNÝCH ÚPRAVÁCH

Po zavedení úprav som opätovne preveril všetky zaťažujúce stavy a výsledky týchto stavov zobrazil v nasledujúcich kapitolách. Keďže došlo k zmene materiálu zmenila sa hodnota návrhovej pevnosti z pôvodných 204 MPa na 309 MPa.

5.2.1 VÝSLEDKY ZS1 PO ÚPRAVE

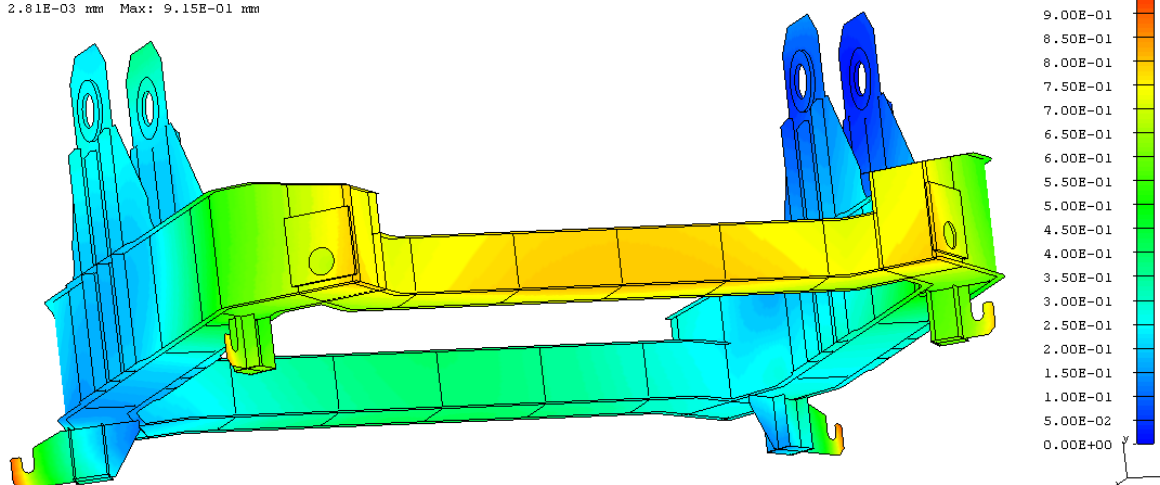
Pri zaťažení po úpravách prvým zaťažovacím stavom je možné vidieť, že hodnota návrhovej pevnosti, je ďaleko vyššia než hodnota maximálneho napätia.



Obr. 40 ZS2- zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 140 MPa, max. deformácia 0,9 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 309 MPa



ZS1
DISPLACEMENT XYZ Magnitude
Min: 2.81E-03 mm Max: 9.15E-01 mm

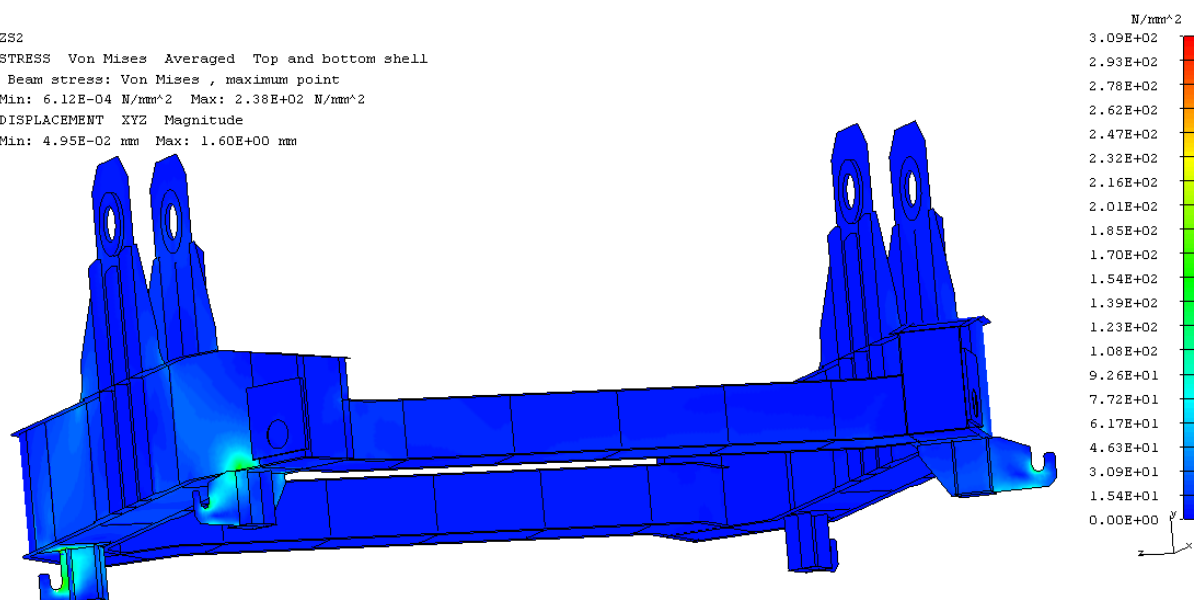


Obr. 41 ZS1- zobrazenie deformácie, max. deformácia 0,9 mm, scale factor 1, rozsah deformácie 0 - 1 mm

5.2.2 VÝSLEDKY ZS2 PO ÚPRAVE

Manipulačná traverza zaťažená druhým zaťažovacím stavom pred úpravou nevyhovovala. V tejto kapitole je možné vidieť, že použité úpravy majú svoje opodstatnenie. Hodnota maximálneho napätia je nižšia približne než je hodnota návrhovej pevnosti. Pomohla tomu hlavne zmena hrúbky plechu hákov a stojín.

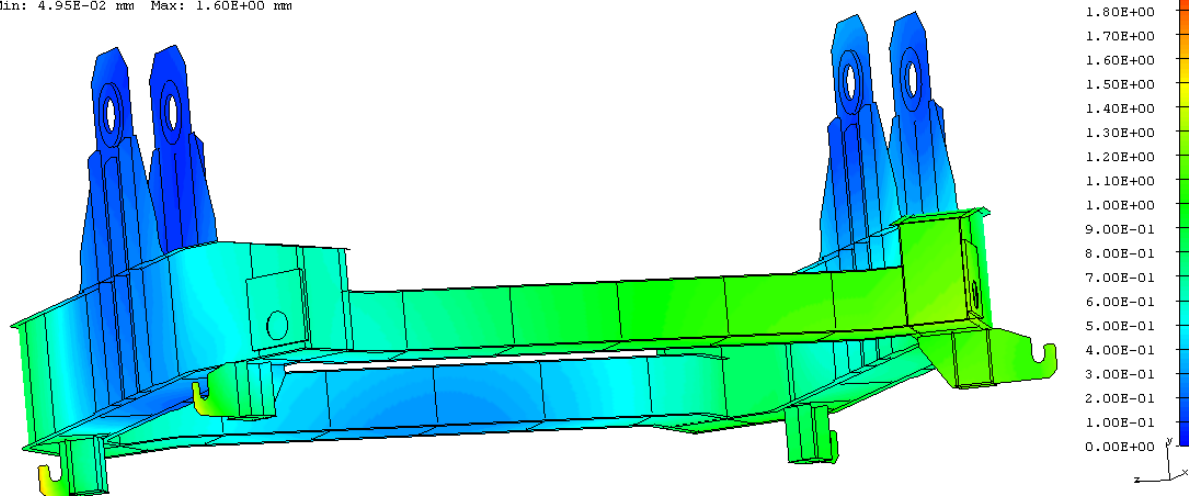
ZS2
STRESS Von Mises Averaged Top and bottom shell
Beam stress: Von Mises , maximum point
Min: 6.12E-04 N/mm² Max: 2.38E+02 N/mm²
DISPLACEMENT XYZ Magnitude
Min: 4.95E-02 mm Max: 1.60E+00 mm



Obr. 42 ZS2- zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 238 MPa, max. deformácia 1,6 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 309 MPa



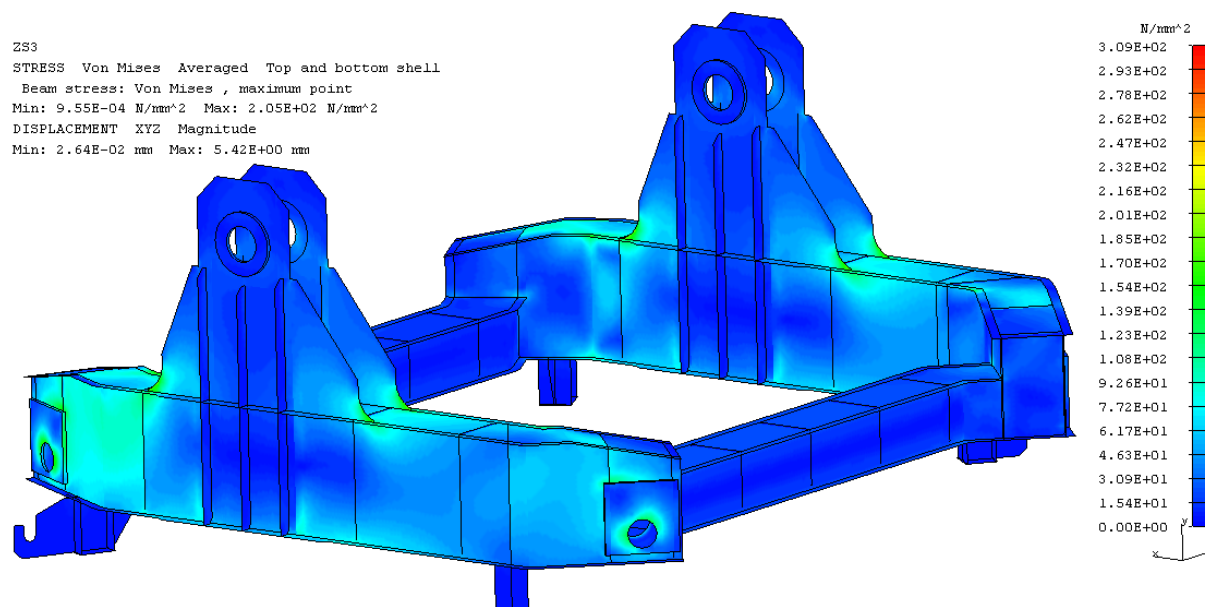
ZS2
DISPLACEMENT XYZ Magnitude
Min: 4.95E-02 mm Max: 1.60E+00 mm



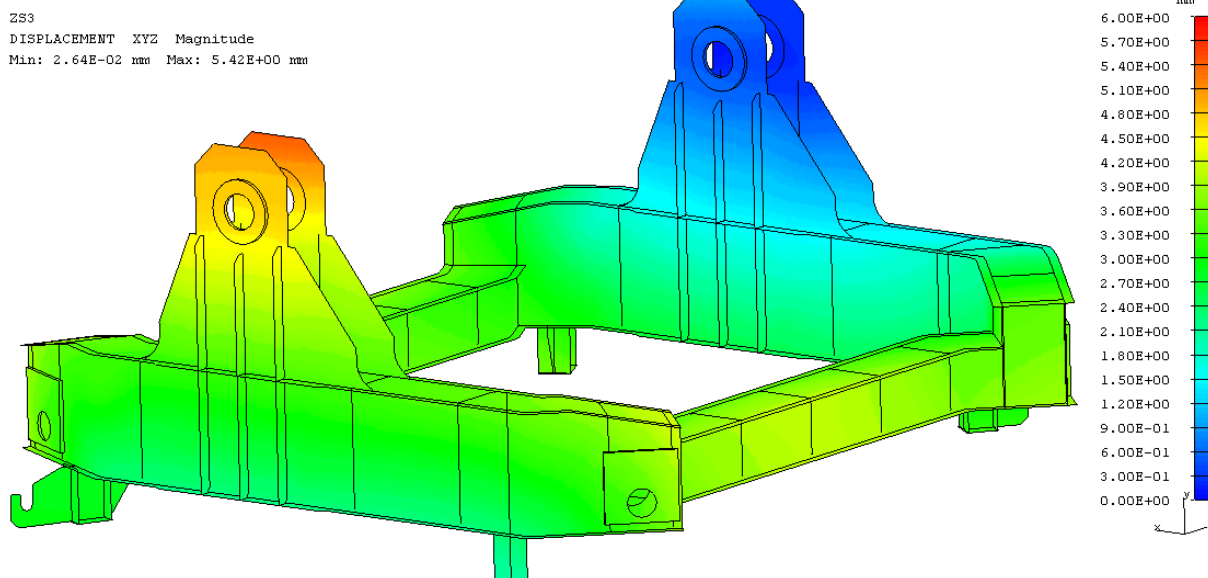
Obr. 43 ZS2- zobrazenie deformácie, max. deformácia 1,6 mm, scale factor 1, rozsah deformácie 0 - 2 mm

5.2.3 VÝSLEDKY ZS3 PO ÚPRAVE

Na pôvodnej manipulačnej traverze zaťaženej týmto zaťažovacím stavom nevyhovovala hlavne hodnota napätia v zvaroch okolo dosky prizvárané na stojiny. V tomto prípade je možné vidieť, že úpravy pomohli a hodnota maximálneho napätia je približne o 100 MPa nižšia než hodnota návrhovej pevnosti.



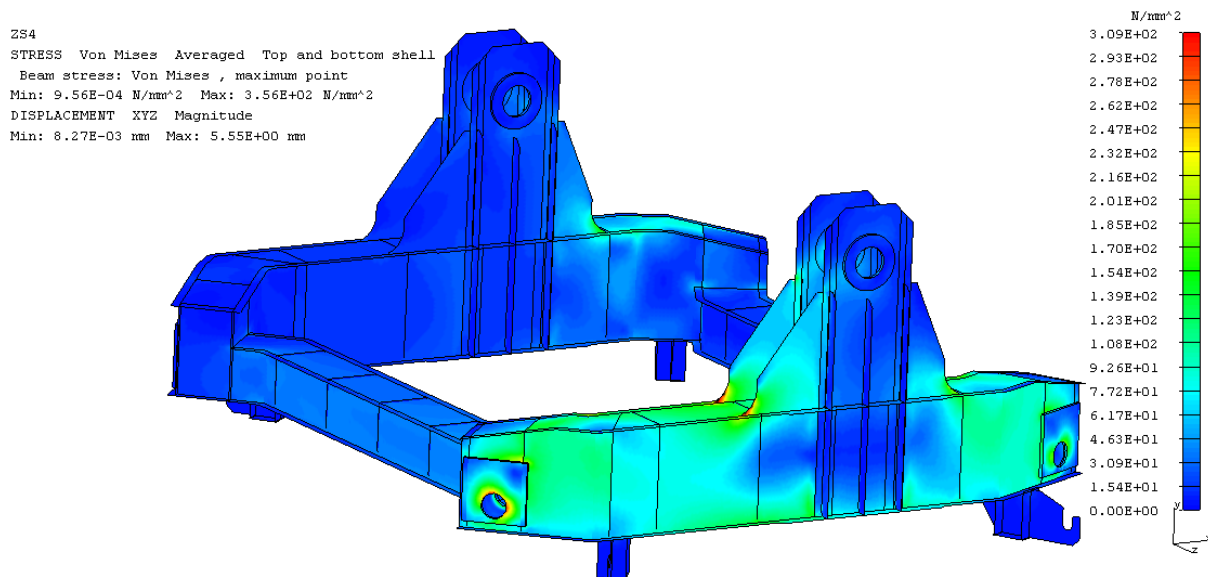
Obr. 44 ZS3- zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 205 MPa, max. deformácia 5,4 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 309 MPa



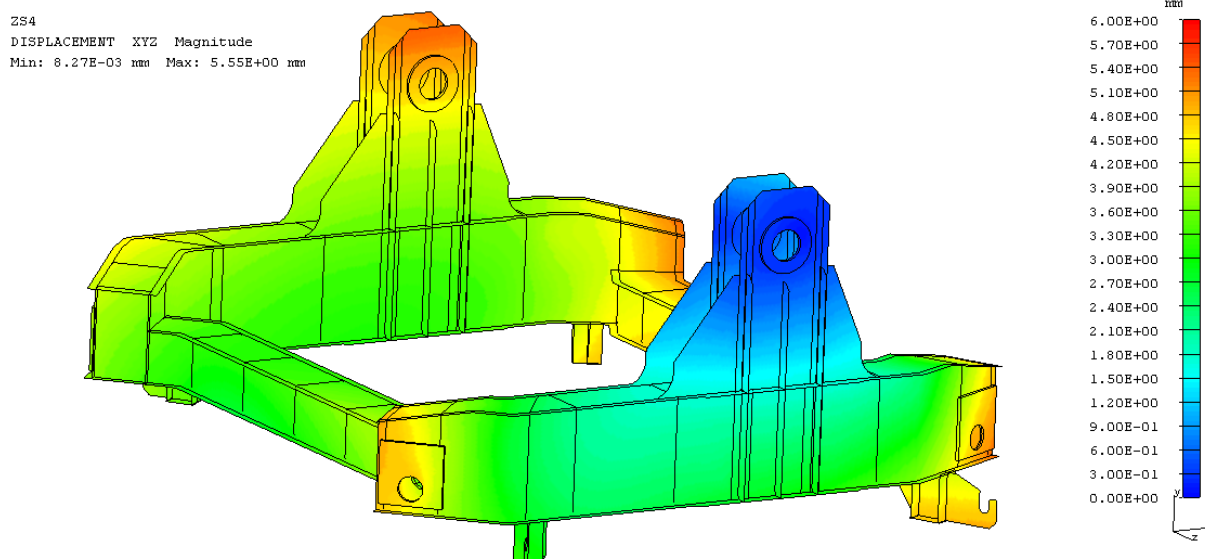
Obr. 45 ZS3- zobrazenie deformácie, max. deformácia 5,4 mm, scale factor 1, rozsah deformácie 0 - 6 mm

5.2.4 VÝSLEDKY ZS4 PO ÚPRAVE

Tomuto zaťažujúcemu stavu pred úpravou nevyhovovala traverza najviac. Napätie sa podarilo znížiť vďaka zvýšeniu hrúbky stien, výšky zvaru okolo dosky pri čapoch a tiež pridaním rúry okolo čapov. Najvyššie napätie je okolo čapov a na rebrách. Na rebrách napätie mierne presahuje návrhovú pevnosť, ale účelom týchto rebier je aby absorbovali napätie z konštrukcie. Tieto rebra je dobré kontrolovať nedeštruktívnou skúškou a v prípade zistenia trhliny by sa malo poškodené rebro vymeniť.

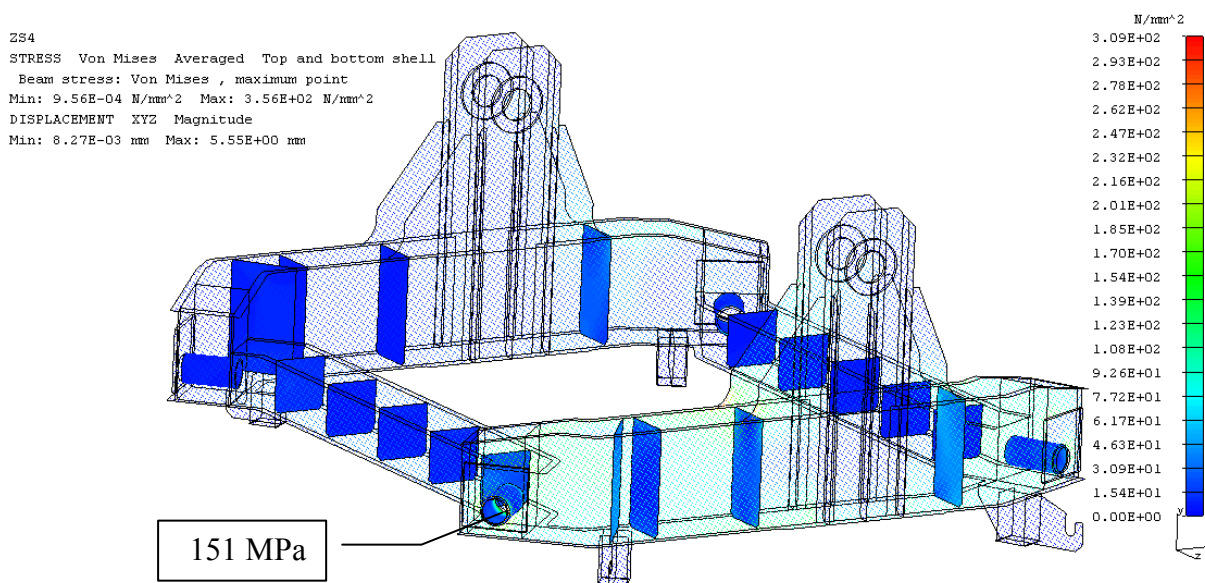


Obr. 46 ZS4- zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 356 MPa, max. deformácia 5,6 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 309 MPa



Obr. 47 ZS4- zobrazenie deformácie, max. deformácia 5,6 mm, scale factor 1, rozsah deformácie 0 - 6 mm

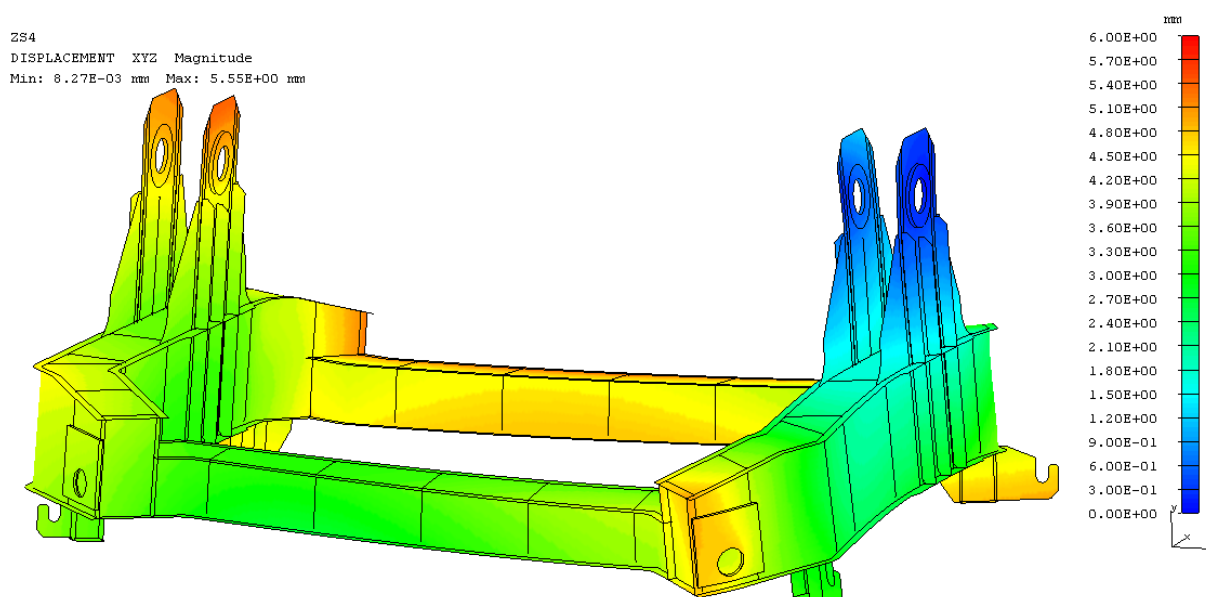
U tohto zaťažovacieho stavu som doplnil obrázok, na ktorom je znázornené namáhanie vnútorných častí manipulačnej traverzy. Je vidieť, že napätie je na vnútorných častiach malé a všetky časti tomuto zaťažujúcemu stavu vyhovujú.



Obr. 48 ZS4 - zobrazenie napätia na vnútorných priečkach, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 151 MPa, max. deformácia 5,6 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 309 MPa



Pridal som aj obrázok so scale factorom 50, na ktorom je vidieť, že sa v deformovanom stave model zhoduje s predpokladom deformácie.



Obr. 49 ZS4- zobrazenie deformácie, max. deformácia 5,6 mm, scale factor 50, rozsah deformácie 0 - 6 mm



ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo vypracovať pevnostnú analýzu manipulačnej traverzy 186 t. Súčasťou zadania bol tiež návrh vhodných úprav poddimenzovaných častí.

Pred samotným pevnostným výpočtom bolo na požiadavku od zákazníka potrebné vykonať vyváženie traverzy pomocou vývažkov. Pre pevnostnú analýzu bol použitý škupinový model. V tomto modeli bolo potrebné priložiť dôraz na správne nahradenie závesných prvkov a správne zavedenie okrajových podmienok. Pevnostný výpočet sa riadi normou ČSN 27 0103. V práci sa uvažujú štyri zaťažovacie stavy. Pevnostná analýza metódou konečných prvkov bola vykonaná v prostredí NX I-DEAS.

V prvom zaťažovacom stave je bremeno zavesené na štyroch hákoch a z toho dôvodu sú najviac namáhanou súčasťou. Hodnota maximálneho napätia pri tomto zaťažovacom stave však nepresahuje návrhovú pevnosť. Druhý zaťažujúci stav bol zavedený preto, aby bola vzata v úvahu aj možnosť nerovnomerne zaťaženej traverzy. Najhorší prípad, ktorý tento stav reprezentoval predstavuje zavesenie bremena na troch hákoch. V takomto prípade hodnota maximálneho napätia presahuje hodnotu návrhovej pevnosti. Tretí zaťažujúci stav predstavuje situáciu, v ktorej je na traverze zavesená nistej na štyroch čapoch. Napätie zistené v tomto zaťažujúcom stave, tiež prekročilo návrhovú pevnosť. Štvrtým zaťažujúcim stavom je prípad, keď je na traverze zavesená nistej na troch čapoch. V tomto stave hodnota maximálneho napätia presahuje hodnotu návrhovej pevnosti približne o 250 MPa. Po zhrnutí výsledkov všetkých zaťažovacích stavov je možné konštatovať, že pôvodná traverza je poddimenzovaná.

Nasledujúca kapitola popisuje zavedené úpravy poddimenzovaných častí. Bola doporučená zmena pôvodného materiálu S235J2+N na materiál S355J2+N a tiež zmena hrúbky stien nevyhovujúcich častí. Medzi stojiny v okolí čapov bola doplnená rúra, ktorá prispela k zvýšeniu tuhosti v tejto oblasti. Po zavedených úpravách bola znovu prepočítaná hmotnosť vývažkov. Hmotnosť traverzy po úpravách vzrástla o 1,53 t. Je potreba preto znovu prepočítať žeriav podľa novej hmotnosti traverzy. Napätie po zavedení konštrukčných zmien sa znížilo pod hodnotu návrhovej pevnosti. V treťom zaťažujúcom stave síce napätie v oblasti rebier mierne presahuje hodnotu návrhovej pevnosti, ale to je úlohou týchto súčastí. Tieto súčasti je preto potrebné kontrolovať nedeštruktívnou skúškou v miestach, kde presahujú návrhovú pevnosť. V prípade zistenia trhliny sa poškodené rebrá vymenia. V závere je možné konštatovať, že po pevnostnej kontrole boli navrhnuté úpravy, ktoré prispeli k zníženiu napätia pod hodnotu návrhovej pevnosti.



POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] Jeřábové traverzy JT. *Jeřábové traverzy JT | TEDOX s.r.o.* [online]. [cit. 2013-01-26]. Dostupné z: <http://www.tedox.cz/jerabove-traverzy-jt>
- [2] Magnetické traverzy. *Magnetické traverzy - Agri Fair s.r.o.* [online]. [cit. 2013-01-26]. Dostupné z: <http://www.agrifair.cz/component.php?cocode=catalogue&itid=243&icid=97>
- [3] Elektropermanentní do 5t. *Elektropermanentní do 5t | MAG Centrum s.r.o.* [online]. [cit. 2013-01-26]. Dostupné z: <http://magcentrum.cz/elektropermanentni-do-5t.html>
- [4] Jeřábové traverzy. *Jeřábové traverzy* [online]. [cit. 2013-01-26]. Dostupné z: <http://www2.kpc.cz/cs/produkty/jerabove-traverzy.aspx>
- [5] JEŘÁBOVÁ TRAVERZA SPECIÁLNÍ. *JEŘÁBOVÁ TRAVERZA SPECIÁLNÍ | UNIMAN Engliš s.r.o.* [online]. [cit. 2013-01-26]. Dostupné z: <http://www.uniman.cz/produkty/uchopovaci-technika/jerabove-traverzy/jerabova-traverza-specialni/>
- [6] BURŠA, Jiří. UMT FSI VUT V BRNĚ. *Metoda konečných prvků*. Brno, 2005. Dostupné z: <http://www.umt.fme.vutbr.cz/~jbursa/MKP4.doc>
- [7] PERUŠKA, Jindřich. *MKP v inženýrských výpočtech*. Brno, 2011. Dostupné z: <http://www.umt.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/RIV/MKP2011.pdf>
- [8] ČSN 27 0103. *NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ JEŘÁBŮ: Výpočet podle mezních stavů*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1989.
- [9] ČSN 27 0142. *JEŘÁBY A ZDVIHADLA: Zkoušení*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1989.
- [10] ČSN 73 1401. *Navrhování ocelových konstrukcí*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1998.



Zoznam Použitých Skratiek a Symbolov

a	[mm]	vzdialenosť pôvodného ťažiska nevyváženej traverzy od osi lamelových hákov
A_v	[mm ²]	plocha vývažkov
b	[mm]	vzdialenosť od osi lamelových hákov k ťažisku vývažkov
d	[mm]	výška stojiny
FEM	[-]	Finite Element Method
F_p	[N]	tiažová sila nevyváženej traverzy
F_v	[N]	tiažová sila vývažkov
f_y	[MPa]	medza klzu
f_{yd}	[MPa]	návrhová pevnosť
g	[ms ⁻¹]	gravitačné zrýchlenie
H_i	[-]	zdvihová trieda
MK5	[N]	mimoriadne kombinácie zaťaženia
MK6	[N]	mimoriadne kombinácie zaťaženia
MK7	[N]	mimoriadne kombinácie zaťaženia
MK8	[N]	mimoriadne kombinácie zaťaženia
MKP	[-]	metóda konečných prvkov
M_{OT}	[Nmm]	moment k ťažisku T
m_p	[kg]	hmotnosť nevyváženej traverzy
m_{Q1}	[kg]	hmotnosť nisteje pece
m_{Q2}	[kg]	hmotnosť plášťa pece
m_{s1}	[kg]	hmotnosť stáleho bremena pri zavesených 2m lanových úväzkov
m_{s2}	[kg]	hmotnosť stáleho bremena pri zavesených 5m lanových úväzkov
m_{tr}	[mm]	hmotnosť traverzy
m_v	[kg]	hmotnosť vývažkov
m_{v1}	[kg]	hmotnosť 2m lanových úväzkov
m_{v2}	[kg]	hmotnosť 5m lanových úväzkov
m_{zd}	[kg]	hmotnosť skúšobného bremena pri dynamickej skúške
m_{zs}	[kg]	hmotnosť skúšobného bremena pri statickej skúške
n_m	[-]	neštruktúrálna hmotnosť
P	[MPa]	vonkajšie zaťaženie
t_w	[mm]	hrúbka tlačenej časti
v_{h1}	[ms ⁻¹]	rýchlosť zdvihu pri zaťažení bremenom o hmotnosti 40 t



v_{h2}	$[\text{ms}^{-1}]$	rýchlosť zdvihu pri zaťažení bremenom o hmotnosti 200 t
W	$[\text{MPa}]$	energia napätosti telesa
ZK1	$[\text{N}]$	základné kombinácie zaťaženia
ZK2	$[\text{N}]$	základné kombinácie zaťaženia
ZK3	$[\text{N}]$	základné kombinácie zaťaženia
ZK4	$[\text{N}]$	základné kombinácie zaťaženia
ZS1	$[-]$	prvý zaťažujúci stav
ZS2	$[-]$	druhý zaťažujúci stav
ZS3	$[-]$	tretí zaťažujúci stav
ZS4	$[-]$	štvrtý zaťažujúci stav
γ_g	$[-]$	súčiniteľ zaťaženia od vlastných hmotností
γ_{l0}	$[-]$	súčiniteľ zaťaženia od menovitého bremena
γ_M	$[-]$	súčiniteľ spoľahlivosti materiálu
δ_{h1}	$[-]$	dynamický zdvihový súčiniteľ pre rýchlosť zdvihu v_{h1}
δ_{h1}	$[-]$	dynamický zdvihový súčiniteľ pre rýchlosť zdvihu v_{h2}
ε	$[-]$	pomerné pretvorenie
Π	$[\text{MPa}]$	celková energia telesa



ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 ZS2 (pred úpravou)

Príloha 2 ZS2 (po úprave)

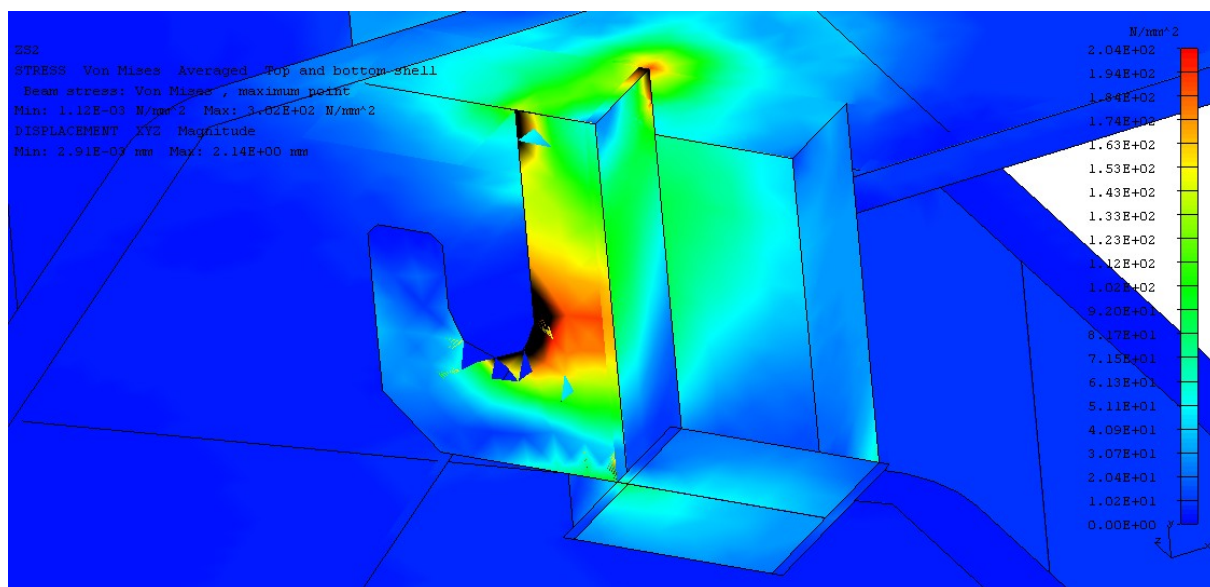
Príloha 3 ZS2 (pred úpravou)

Príloha 4 ZS2 (po úprave)

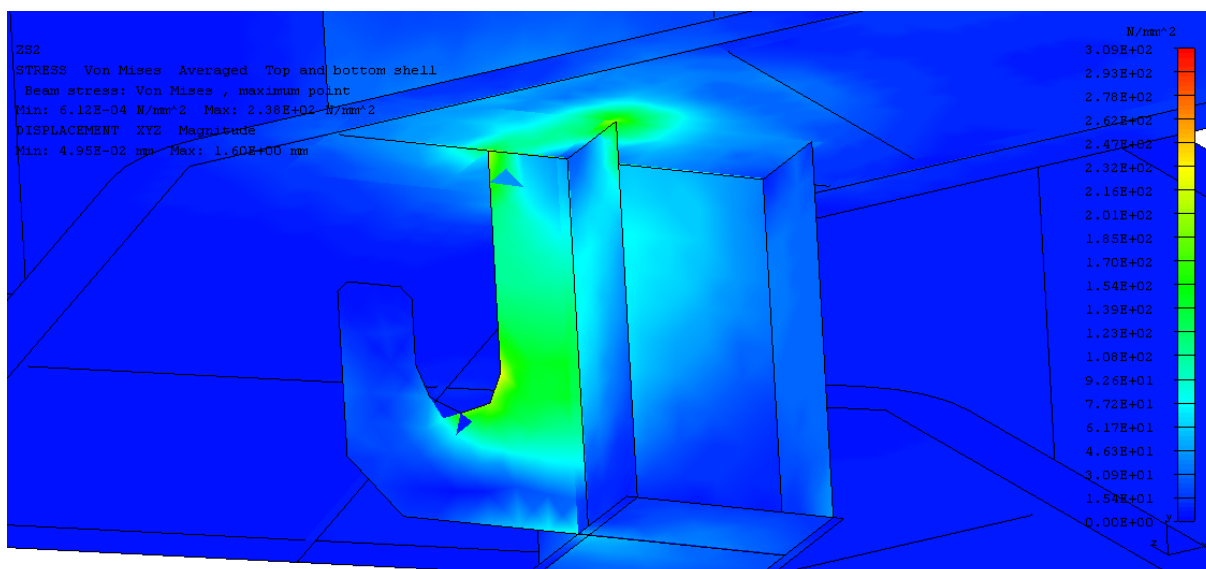
Príloha 5 ZS4 (pred úpravou)

Príloha 6 ZS4 (po úprave)

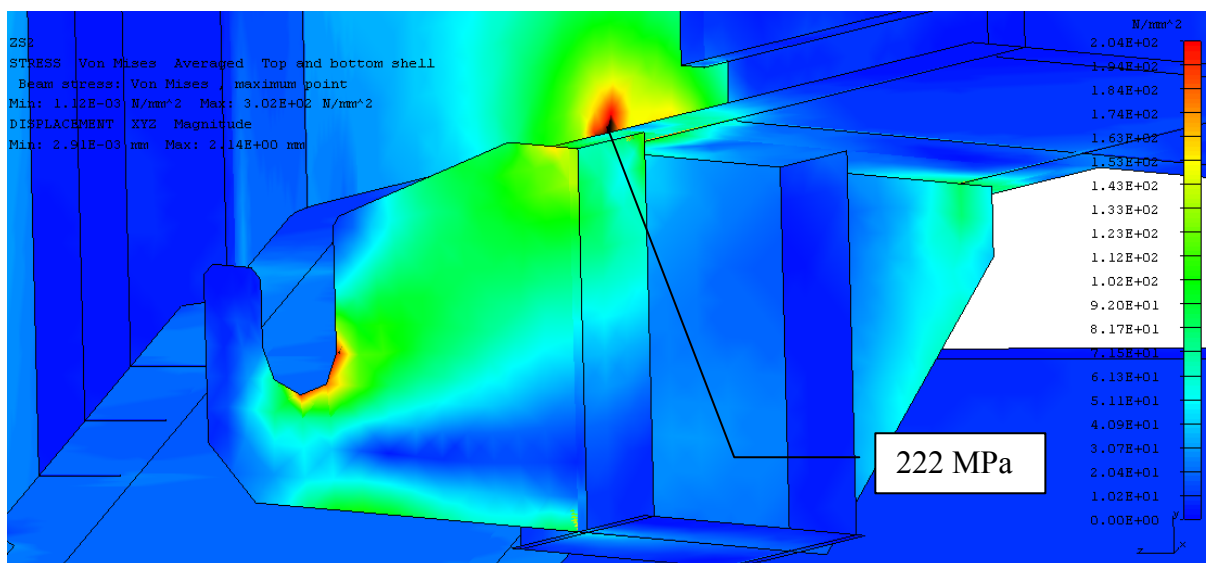
Príloha 7 ZS4 (po úprave)



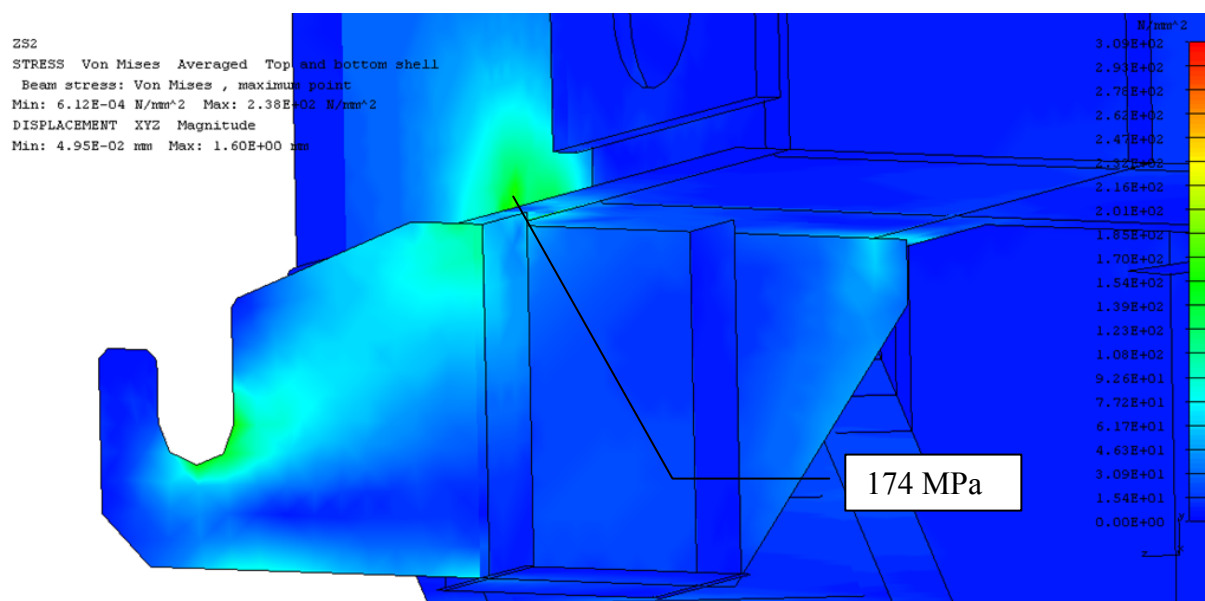
Príloha 1 ZS2 (pred úpravou) - zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 302 MPa, max. deformácia 2,1 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 204 MPa



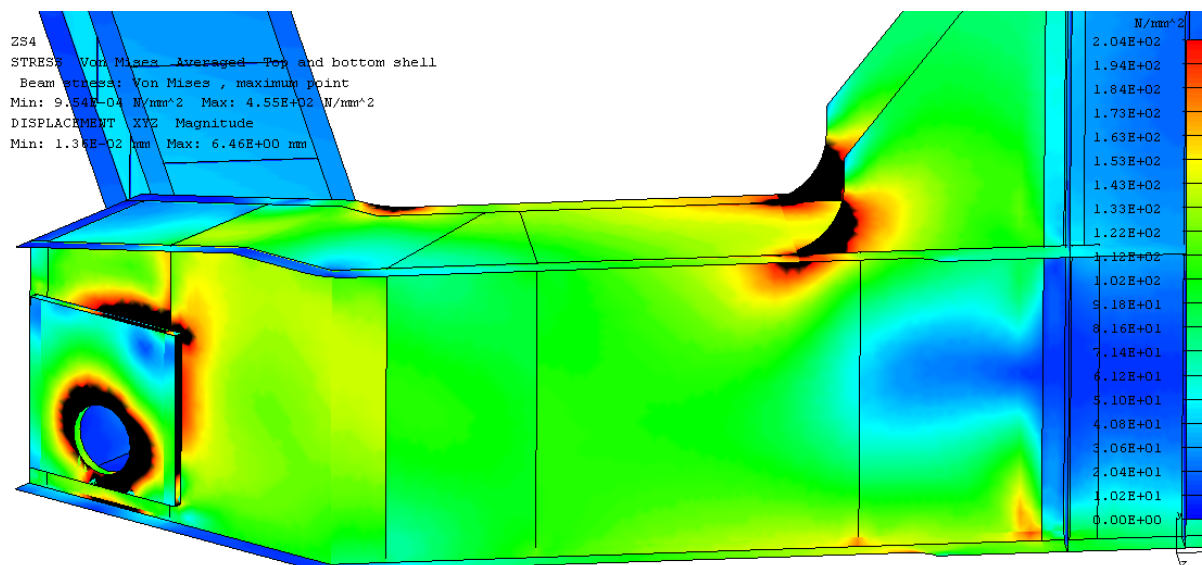
Príloha 2 ZS2 (po úprave) - zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 238 MPa, max. deformácia 1,6 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 309 MPa



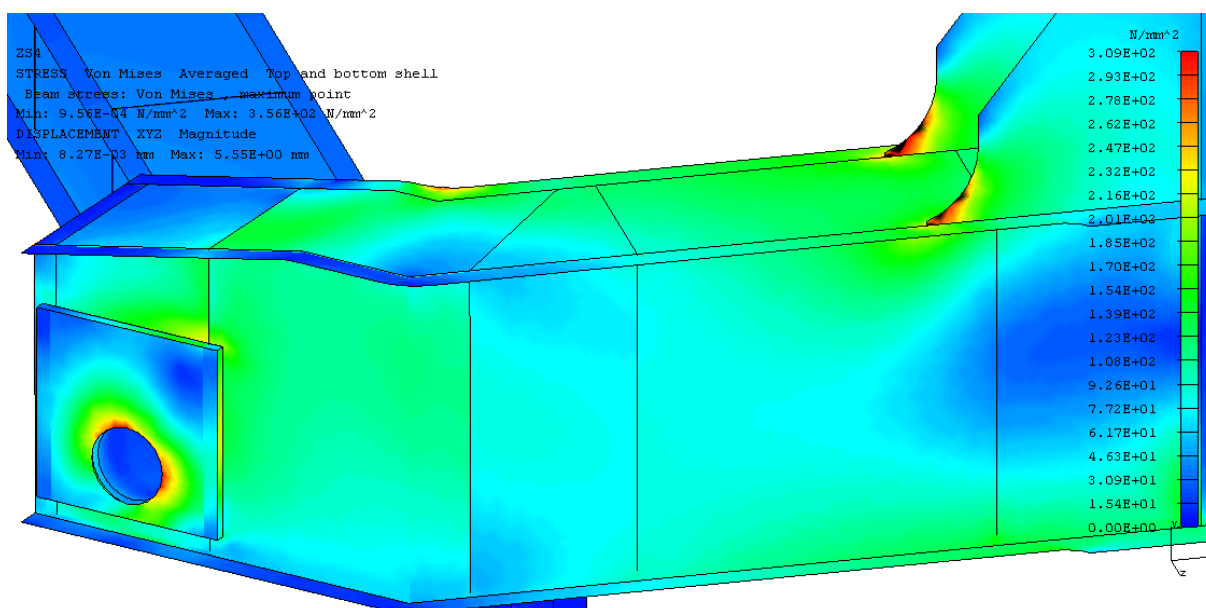
Príloha 2 ZS2 (pred úpravou) - zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 222 MPa, max. deformácia 2,1 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 204 MPa



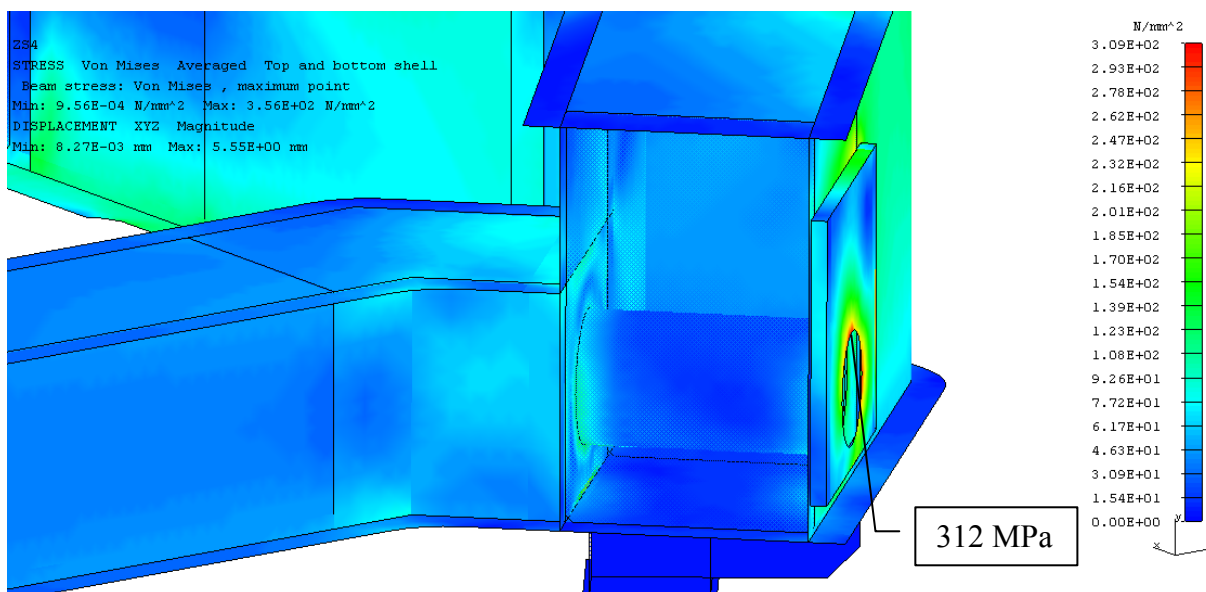
Príloha 4 ZS2 (po úprave) - zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 174 MPa, max. deformácia 1,6 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 309 MPa



Príloha 5 ZS4 (pred úpravou) - zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 455 MPa, max. deformácia 6,5 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 204 MPa



Príloha 6 ZS4 (po úprave) - zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 356 MPa, max. deformácia 5,6 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 309 MPa



Príloha 7 ZS4 (po úprave) - zobrazenie napätia, HMH Averaged, Top and bottom shell, max. napätie 312 MPa, max. deformácia 5,6 mm, scale factor 1, rozsah napätia 0 - 309 MPa