

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Konstruování strojů a technických zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh konzoly sedadla

Autor: Evžen KUBA
Vedoucí práce: Ing. Václav KRAUS, Ph.D.

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Evžen KUBA**
Osobní číslo: **S19B0125K**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Konstruování strojů a technických zařízení**
Téma práce: **Návrh konzoly sedadla**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Navrhnout řešení konzoly nesoucí dvojici sedadel. Tato konzola je upevněna pouze do boční stěny vozidla bez opory v podlaze (tzv. kantilever). Návrh musí s minimálními úpravami umožnit montáž více typů sedadel/různých dodavatelů. Konstrukce musí být navržena s důrazem na nízkou hmotnost a nesmí příliš omezovat prostor pro nohy cestujících. Součástí práce bude základní pevnostní posouzení navrženého řešení.

Základní technické údaje:

- poloha upevňovacích C-drážek na hrubé stavbě vozidla,
- rozteče šroubů pro připevnění sedadla pro sedadla různých typů,
- uvažované sílové zatížení sedadel od cestujících,
- pevnostní kategorie vozidel PII podle ČSN EN 12663-1.

Osnova práce:

1. Stručný popis možných přístupů k upevnění sedadel pro cestující v interiéru železničních vozidel.
2. Popis současných řešení upevnění sedadel do bočnice u vozidel různých výrobců.
3. Návrh nejméně 3 variant provedení konzoly pro sedadla (náčrt + popis). Zhodnocení variant (hmotnost, předpokládané výrobní náklady, prostorová náročnost) a výběr nejvhodnější varianty, která bude rozpracována v další části práce.
4. Konstruktivní návrh nosné konzoly sedadel ve formě 3D modelu, sestavného výkresu a výrobních výkresů vybraného dílu.
5. Základní pevnostní posouzení buď metodou konečných prvků, nebo zjednodušeným analytickým výpočtem.

Konzultant: Ing. J. Tížek (ŠKODA TRANSPORTATION A.S.)

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

HELLER, Petr. *Kolejová vozidla I.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2017. ISBN 978-80-261-0693-7.
HELLER, Petr. *Kolejová vozidla II.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2017. ISBN 978-80-261-0773-6
UIC 566, UIC 567, ČSN EN 12663-1
Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Kraus, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **30. listopadu 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

LS.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

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

V Plzni dne 30. listopadu 2022

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kuba	Jméno Evžen	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kraus, Ph.D.	Jméno Václav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh konzoly sedadla		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM		TEXTOVÁ ČÁST		GRAFICKÁ ČÁST	
---------------	--	---------------------	--	----------------------	--

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh konzoly bočního zavěšení sedadel kolejové soupravy, řešení výztuhy vyložení pomocí počítačové simulace. Výpočet statického i dynamického zatížení pomocí programu NX.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>kolejová vozidla, sedadlo, kantilever, statické a dynamické zatížení, setrvačná síla, počítačová simulace</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Kuba	Name Evžen	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kraus, Ph.D.	Name Václav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of seat console		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	49	TEXT PART	37	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor's thesis discusses the structural design of the side suspension bracket of the rail set seats, the solution of the overhang reinforcement using computer simulation and the calculation of static and dynamic loads using the NX program
KEY WORDS	rolling stock, seat, cantilever, static and dynamic loading, inertial force, computer simulation

Obsah

Poděkování	9
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
1 Úvod.....	13
2 Základní technické požadavky na upevnění sedadel pro cestující železničních vozidel .	14
2.1 ČSN EN 15663+A1 – Užitečná zatížení	14
2.2 ČSN EN 12663-1+A1 – Pevnostní požadavky	14
2.3 Vyhláška UIC 566 specifikace základních rozměrů pro dimenzování a pevnostní zkoušky.....	14
2.4 UIC 567	16
2.5 GulaSi.....	16
3 Upevnění prvků se skříní vozu.....	18
3.1 Upevnění méně namáhaných prvků	18
3.2 Upevnění více namáhaných prvků, C – drážky.....	18
4 Rozbor možností upevnění sedadel ve vozidle	18
4.1 Upevnění sedadel do podlahy.....	19
4.2 Upevnění sedadel do stropu.....	20
4.3 Upevnění sedadel „na skřín“	21
4.4 Upevnění sedadel do bočnice	21
5 Návrh a výběr konstrukčního řešení konzoly sedadel.....	23
5.1 Silové účinky	23
5.1.1 Výpočtový model v osách XZ.....	24
5.1.2 Výpočtový model v osách Z.....	24
5.2 Návrh variant	25
5.2.1 Svařovaná konstrukce	25
5.2.2 Výlisek	30
5.2.3 Odlitek.....	33
5.3 Vyhodnocení konstrukčních návrhů.....	37
6 Pevnostní výpočet vybrané konzoly metodou MKP	39
6.1 Dovolené maximální napětí pro materiál	39
6.2 Nastavení modelů pro pevnostní výpočet.....	40
6.3 Zátěžový stav v rovině Z	41
6.4 Zátěžový stav v rovině XZ	42

6.5	Kontrolní výpočet pro jiné dodavatele sedadel	43
6.6	Vyhodnocení výsledků	45
7	Závěr.....	48
	Seznam použitých zdrojů	49
	PŘÍLOHA č. 1	i

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Krausovi, Ph.D., Ing. Jakubu Tížkovy a Ing. Petrovi Jandovi, Ph.D. za odborné rady, vědecké směřování a konzultace, které mi poskytli v průběhu zpracování bakalářské práce.

Přehled použitých zkratk a symbolů

ČSN	Česká státní norma, chráněné označení českých technických norem
EN	Evropská norma, převzatá do národního systému norem ČR (ČSN EN)
GrulaSi	GrundlagenSicherheits (oborový standard Deutsche Bahn AG)
UIC	Oborový standard Mezinárodní železniční unie (vyhláška)
UIC 566	Vyhláška pro specifikaci základních rozměrů pro dimenzování a pevnostních zkoušek
UIC 567	Vyhláška pro specifikaci základního uspořádání běžného interiéru a o TSI PRM

Seznam obrázků

Obr. 1: Síly působící na sedadlo [1].....	15
Obr. 2 Hlavní rozměry sedadla [12].....	16
Obr. 3 Hlavní rozměry sedadla [2].....	17
Obr. 4 Drážka se šroubovým spojem [3].....	18
Obr. 5 Upevnění do podlahy [4].....	19
Obr. 6 Upevnění do podlahy [5].....	19
Obr. 7 Upevnění sedadel do stropu v motorové voze řady 842 dopravce České dráhy [6]....	20
Obr. 8 Upevnění sedadel na bednu [7].....	21
Obr. 9 Upevnění sedadel do bočnice [8].....	22
Obr. 10 Ocelová konzola upevněna do bočnice [8].....	22
Obr. 11 Schéma sil působících na sedadlo (vlastní zpracování).....	23
Obr. 12 Schéma sil působících na sedadlo (vlastní zpracování).....	24
Obr. 13 Schéma sil působících na sedadlo Z (vlastní zpracování).....	25
Obr. 14 Svařovaný návrh profil.....	26
Obr. 15 Svařovaný návrh s jednou nosnou trubkou.....	26
Obr. 16 Svařovaný návrh s dvěma nosnými trubkami.....	27
Obr. 17 Svařovaný návrh s dvěma nosnými trubkami a vyztužením.....	27
Obr. 18 Výsledky napětí osa Z.....	28
Obr. 19 Výsledky posunutí osa Z.....	29
Obr. 20 Výsledky napětí osa XZ.....	29
Obr. 21 Výsledky posunutí osa XZ.....	30
Obr. 22 Výlisek 14,5 Kg.....	30
Obr. 23 Optimalizovaný výlisek 9,6 Kg.....	31
Obr. 24 Výsledky napětí osa Z.....	31
Obr. 25 Výsledky posunutí osa Z.....	32
Obr. 26 Výsledky napětí osa XZ.....	32
Obr. 27 Výsledky posunutí osa XZ.....	33
Obr. 28 Odlitek první verze 7,3 kg.....	34
Obr. 29 Odlitek váha 4,53 kg.....	35
Obr. 30 Napětí v ose Z.....	35
Obr. 31 Posunutí v ose Z.....	36
Obr. 32 napětí v ose XZ.....	36
Obr. 33 Posunutí v ose XZ.....	37
Obr. 34 Porovnání prostoru pro nohy.....	38

Obr. 35 kopie z normy ČSN [9]	39
Obr. 36 umístění ploch pro podložky na model	40
Obr. 37 umístění otvorů pro připojení konzoly do stěny	41
Obr. 38 Rozdíl výsledného zrychlení mezi zátěžovým stavem Z a XZ	41
Obr. 39 Vizualizace napjatosti	42
Obr. 40 Vizualizace napjatosti v porovnání	42
Obr. 41 Vizualizace napjatosti – XZ druhý dodavatel	43
Obr. 42 Vizualizace napjatosti – Z druhý dodavatel	43
Obr. 43 Vizualizace napjatosti – XZ třetí dodavatel	44
Obr. 44 Vizualizace napjatosti – Z třetí dodavatel	44
Obr. 45 Kritické zatížení konzole	45
Obr. 46 Kritické zatížení nohy konzole	45
Obr. 47 Kritické zatížení v okolí šroubového spoje, napravo do stěny, vlevo sedačka	46
Obr. 48 Kritické zatížení v okolí šroubového spoje u druhého dodavatele sedadel	46
Obr. 49 Zatížení na únosné hranici – oblouk konzole	47

Seznam tabulek

Tab. 1 Tabulka hodnoty testovacích sil [1]	15
Tab. 2 Základní rozměry sedadel [2]	17
Tab. 3 Hodnoty mezí pevnosti, kluzu, únavy a dovolených napětí pro ocel [10]	28
Tab. 4 Vysokopevnostní IF ocel HC180Y - HC260Y [13]	33
Tab. 5 Mechanické vlastnosti pro samostatně lité zkušební tyče [14]	34
Tab. 6 porovnávací tabulka vhodnosti návrhu výrobku konzoly	38
Tab. 7 Mechanické vlastnosti materiálu	39

1 Úvod

Cílem bakalářské práce je návrh konzoly sedadla v kolejovém vozidle. Návrh zpracovává zadání navrhnout konzoly nesoucí dvojici sedadel pro cestující. Tato konzola je upevněna pouze do boční stěny vozidla bez opory v podlaze (tzv. kantilever). Návrh má umožňovat s minimálními úpravami montáž více typů sedadel od různých dodavatelů. Konstrukce musí být navržena s důrazem na nízkou hmotnost a nesmí příliš omezovat prostor pro nohy cestujících. Součástí práce bude základní pevnostní posouzení navrženého řešení.

Konkrétní zadání vzniklo ve spolupráci se společností Škoda Transportation a.s. (dále jen ŠT), a zpracovává požadavek na návrh konzole sedadla v kolejovém vozidle pro kategorii vozidla M-II určeno normou:

ČSN EN 15663+A1 (280360) Železniční aplikace – Referenční hmotnosti vozidel, norma s platností do 11/2010 - 06/2015.

ČSN EN 12663-1+A1 (280320) Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel - Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metoda pro nákladní vozy), norma s platností 07/2015 - doposud. Tato norma je českou verzí evropské normy EN 12663-1:2010+A1:2014. Překlad byl zajištěn Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Má stejný status jako oficiální verze.

2 Základní technické požadavky na upevnění sedadel pro cestující železničních vozidel

Elektrické trakční jednotky musí splňovat řadu technických požadavků. Pro potřeby této práce jsem se zaměřil pouze na ty, které se přímo týkají sedadel, a tedy i jejich upevnění.

Většina norem týkajících se sedadel, které je přepravce ze zákona povinen splnit, se zabývá pouze bezpečností či specifikací požadavků na vyhrazená sedadla. Uspořádání běžných, nevyhrazených sedadel nebo jeho samotné rozměry jsou čistě na výrobci (pokud si zákazník nepřeje splnění některých ze zákona nepovinných vyhlášek). To však klade na výrobce vyšší míru zodpovědnosti.

Několik norem (především EN 45545-2) se zabývá požární bezpečností sedadel, ty však nejsou k tématu této bakalářské práce relevantní, a tak v této kapitole již nebudou zmíněny.

Tato bakalářská práce se věnuje návrhu upevnění sedadel pro vozy druhé třídy, a tak i veškeré požadavky na sedadla, zmíněná v této kapitole, jsou určena vozům druhé třídy.

2.1 ČSN EN 15663+A1 – Užitečná zatížení

Tato norma specifikuje základní konstrukční podmínky a užitečná zatížení. Tato evropská norma definuje soubor referenčních hmotností pro určení požadavků na konstrukci, zkoušení, schválení, označení, odeslání a provoz železničních vozidel. Vypisuji zde vše, co se týká zatížení sedadel – normální konstrukční užitečné zatížení:

- a) Hmotnost cestujícího – 70 kg
- b) Sedící cestující: individuální těžiště je 200 mm nad sedákem s hmotností cestujícího, která je rozložena podle tvaru sedadla

2.2 ČSN EN 12663-1+A1 – Pevnostní požadavky

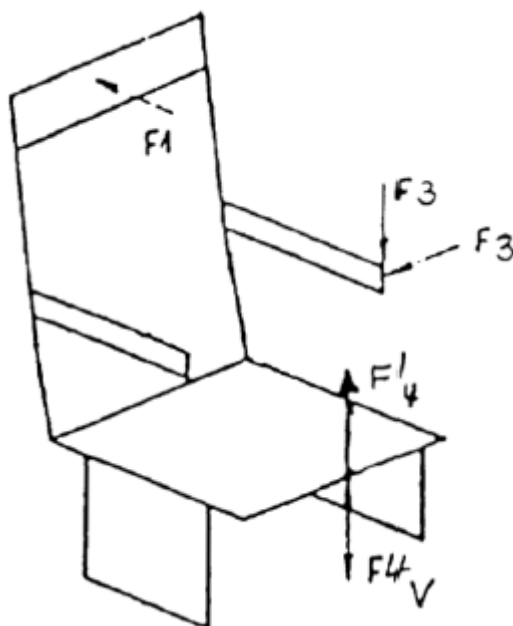
- a) Druhy mezních zatížení v místech uchycení vybavení:
 - zrychlení ve směru os x a y pro kolejová vozidla osobní dopravy kategorie P-II +/- 3 g
 - zrychlení ve směru osy z pro kolejová vozidla osobní dopravy kategorie P-II (1+/- c) * g. Koeficient c= 2 na konci vozidla a lineárně klesá na 0,5 ve středu vozidla
- b) Pro ekvivalentní dynamické zatížení lze při analýze kumulativního poškození použít příslušné úrovně zrychlení v osách $y=+/-0,15g$ a $z= (1+/- 0,15) * g$ a v obou případech zvolit jejich působení po dobu 10^7 cyklů. (ČSN EN 15663, 2019)

2.3 Vyhláška UIC 566 specifikace základních rozměrů pro dimenzování a pevnostní zkoušky

Vyhláška 566 se zabývá dimenzováním kolejových vozidel, která nám udává maximální zátěžné stavy na dané vybavení uchycené v hrubé stavbě vozidla. Sedadla pro cestující a jejich části pro upevnění do hrubé stavby musí odolat bez trvalých deformací zátěžným stavům, které uvádí norma a v této práci budou míněny.

Zároveň norma definuje, jak by se měli provádět pevnostní zkoušky vozů a jeho komponent, jako jsou například sedadla. Dále pak stanovuje přesné hodnoty zkušebních zátěžných sil a jejich směr. Komponenty takto testované by měly vydržet pevnostní zkoušku bez stálých deformací a bez překročení povolených napětí. Existují zákazníci, kteří při výrobě kolejových požadují splnění vozidel jiných norem, které jsou platné pro cílovou destinaci. Při

uvedení používaných kolejových vozidel do provozu, pak není výrobce ze zákona povinen tuto vyhlášku v České republice dodržet.



Obr. 1: Síly působící na sedadlo [1]

Obrázek 1 určuje síly, a jejich směr, působící na sedadlo při pevnostní zkoušce. Tyto síly se přenáší na upevnění sedadla. Hodnoty jednotlivých sil jsou zřejmé z tabulky č. 1.

„Zkouška sedadla spočívá v postupném zatěžování sedadla od 0 N po zkušební hodnoty sil (Tabulka 1). Sedadlo by mělo být zatíženo zkušební silou na nejméně 1 sekundu. Zatížení by měla být aplikována postupně, třikrát na jedno sedadlo“ (UIC 566, 1990)

Tab. 1 Tabulka hodnoty testovacích sil [1]¹

Síla	Velikost síly [N]	Orientace síly
F_1	1 500	Horizontálně, v kterémkoliv bodě horní části podpůrné konstrukce na oblasti 380 x 380 mm
F_2	750	Vertikálně i horizontálně na samostatném sedadle. Pokud se nejedná o samostatné sedadlo, pouze vertikálně ¹ .
F_3	1 000	Dolů, aplikováno na povrch sedadla v oblasti 380 x 220 mm, nebo
F_4	1 200	nahoru ¹ na přední okraji sedadla.

Skládací stolek

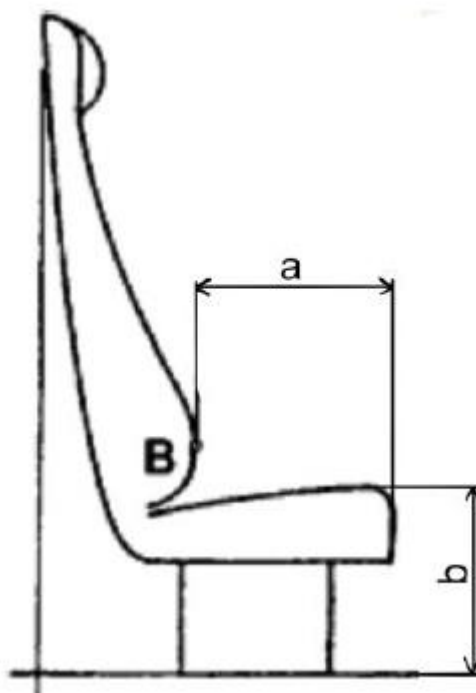
750 N vertikálně do středu

Sklápěcí sedadlo

1 000 N vertikálně ve středu sedací plochy (UIC 566, 1990)

¹ Testovací předmět by měl mít průměr 250 mm a okraj se zaoblením 25 mm.

2.4 UIC 567



Obr. 2 Hlavní rozměry sedadla [12]

Vyhláška UIC 567 upravuje rozměrové uzpůsobení pro uspořádání sedadel „za sebou“, prostor pro kolena, vzdálenosti mezi opěradly a dále také vzdálenostmi zadních stran zádových opěrek. Na obrázku č. 2 (UIC 567, 2004) jsou uvedené hlavní rozměry sedadla:

$a = 450 \text{ mm}$

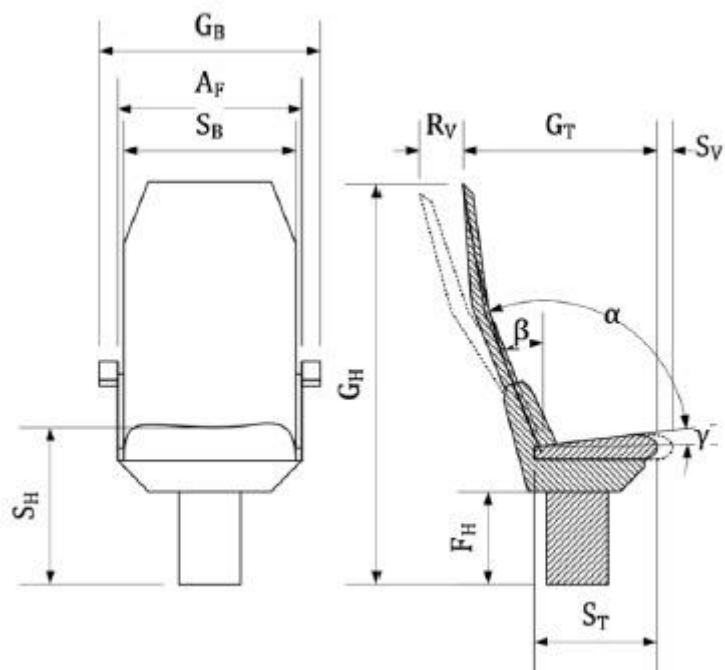
$b = 430 \text{ mm}$

2.5 GrulaSi

Vyhlášky UIC jsou platné pro železniční osobní vozy v mezinárodním provozu. Pro elektrické trakční jednotky jsou proto nerelevantní, avšak některé části se dodnes používají (například pevnostní zkoušky sedadel). Z tohoto důvodu vytvořil německý železniční dopravce Deutsche Bahn AG tuto vyhlášku, která vychází z UIC.

GrulaSi uvádí základy pro návrh a testování sedadel pro cestující v železničních vozidlech. Sami výrobci tuto normu využívají pro návrh základních rozměrů a pro dimenzování sedadel a jejich komponent. Jednotky vyrobené dle směrnice GrulaSi jsou prodejné na celém trhu.

V tabulce č. 2 jsou rozměry sedadel, které GrulaSi předepisuje. Rozměry jsou rozlišovány průměrnou délkou jízdy, což také souvisí s komfortem cestujícího, a to je propisáno do vozové třídy. V tabulce jsou ale uvedeny pouze hodnoty pro druhou vozovou třídu.



Obr. 3 Hlavní rozměry sedadla [2]

Tab. 2 Základní rozměry sedadel [2]²

Rozměr	Ø doba jízdy do 2 h [mm]	Ø doba jízdy nad 2 h [mm]
G_H	n.s. ²	1220 – 1260
α	n.s.	110° - 115°
S_T	430 - 450	450
S_H	450	450
A_F	≥ 480	≥ 480

² Není specifikováno

3 Upevnění prvků se skříní vozu

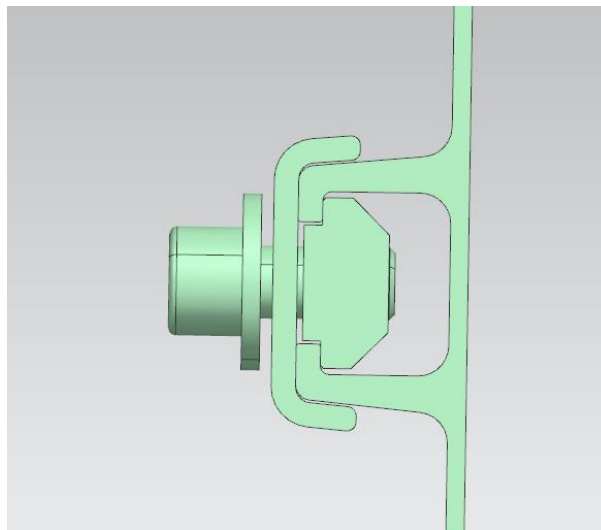
Konstrukční rozhraní, které slouží pro připevňování různých prvků např. lehčích komponent a vybavení interiéru, sedadel, polic, vedení kabeláže a další.

3.1 Upevnění méně namáhaných prvků

Pro lehčí komponenty a vybavení např. odpadkové koše, vedení kabeláže apod. je často použito pro montáž nejsnadnějších konstrukčních rozhraní. Standardně se používají samořezné šrouby a dle materiálu úchytné plochy nýtů ocelových nebo hliníkových.

3.2 Upevnění více namáhaných prvků, C – drážky

Více namáhané konstrukční prvky, které nesou větší hmotnosti, jako například sedadla, police pro zavazadla, jsou většinou připevňovány šroubovým spojem. Dnešní moderní vozy jsou postaveny v kombinaci součástí z oceli a hliníku. Dříve se často používaly nýtovací matice, ale z hlediska pevností a snadné montáže se osvědčilo využití tzv. C-drážky. Tyto C-drážky (Obrázek 4) jsou součástí hliníkových skříní moderních elektrických trakčních jednotek, které se vyrábí z hliníkových, za tepla tlačených profilů, které jsou následně svařovány do požadovaných konstrukčních celků.



Obr. 4 Drážka se šroubovým spojem [3]

4 Rozbor možností upevnění sedadel ve vozidle

Upevnění sedadel ve vozech hraje důležitou roli, nejen designovou, ale především bezpečnostní a konstrukčně funkční. Rozdělujeme je dle typických vizuálních rozdílů a hlavních funkčních parametrů. Důležité jsou především ohledy na dimenzování pro co největší mechanické namáhání, které může vzniknout při vlakových nehodách. Samozřejmostí je využívání vhodných ocelových konstrukčních materiálů, jejichž vlastnosti umožňují dostupné a příznivé mechanické vlastnosti. Existují tři druhy upevnění, a to do podlahy, do bočnice a do stropu.

4.1 Upevnění sedadel do podlahy

Klasickým způsobem je upevnění sedadel do podlahy. Takové upevnění je považováno za nejjednodušší, avšak má své nevýhody, které budou dále rozebrány. Jedna část konzoly je upevněná do bočnice pomocí C – drážek a druhá část je opatřena „nohou“ (sloupek nebo trubka), která je pomocí šroubového spoje připevněna ke spodku vozu (Obrázek 5).



Obr. 5 Upevnění do podlahy [4]

Můžeme se setkat s provedením kombinovaným, upevnění ke stěně i do podlahy, pomocí ocelových trubek nebo sloupků, anebo konzoly mohou mít provedení ze dvou stran (Obrázek 6). Od řešení tohoto typu se již však ustupuje. Stále se ale vyskytuje v autobusové dopravě.



Obr. 6 Upevnění do podlahy [5]

Toto řešení se nejvíce používá pro svou jednoduchost, která je velkou výhodou, avšak jak již bylo zmíněno, má řešení do spodku vozu spoustu nevýhod

Jak již bylo zmíněno, velkou výhodou této konstrukce je jednoduchost. Na druhou stranu, konstrukce s ukotvením do spodku vozu má řadu nevýhod.

Šroubové spoje ve spodku podlahy se skládají ze šroubů a matek, a vždy se jedná o otvor do podlahy. I přes použité těsnění s nedá zabránit průniku vody, která je jednak z čištění vozu, a dále také nanošená na obuvi cestujících, skrze tyto otvory do hrubé stavby vozu podvozku, kde tato voda způsobuje problémy například podporuje vznik koroze této hrubé stavební konstrukce. Při rekonstrukcích je snaha vyměnit těsnění, ale třeba i kompletně celá sedadla, avšak ty mohou mít jiné zástavbové připojovací rozměry a pak se vrtají otvory nové a vznikají další náklady s utěsněním původních otvorů.

Velkým problémem je řádný úklid vozu kolem nohou. Kolem nohou vzniká oblast, kde se udržují nečistoty. Takový prostor poté zhoršuje estetiku interiéru vozu.

Ukotvením nohou do spodku vozu se zmenšuje prostor pod sedadly, který by se jinak dal využít například na uschování zavazadel.

4.2 Upevnění sedadel do stropu

Nejen z důvodu snahy zachovat celistvost podlahové plochy se ještě do nedávna užívalo upevnění sedadel do stropu. Třebaže bylo toto konstrukční řešení v minulosti velmi běžné, v současnosti se používá pouze ojediněle. Ocelová konzole sedadel je z jedné strany upevněna do bočnice a druhá strana se pak pomocí ocelové nosné trubky a šroubového spoje ukotvuje do stropu (Obrázek 7).



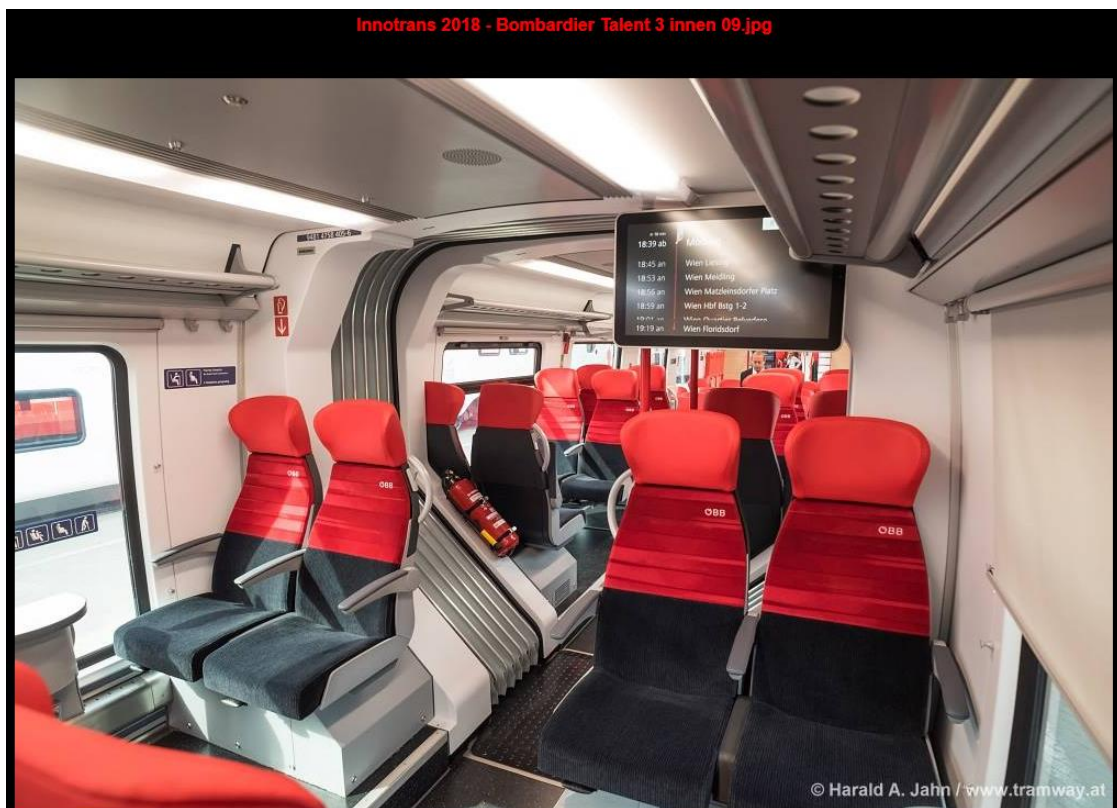
Obr. 7 Upevnění sedadel do stropu v motorové voze řady 842 dopravce České dráhy [6]

Výhodou tohoto řešení je zachování celistvosti podlahy. Do podlahy nejsou vyvrtány otvory, a tak se snižuje riziko koroze hrubé konstrukce. Pro upevnění sedadel i polic se používá stejná nosná trubka, která navíc plní funkci madel. Nevýhodou realizace tohoto provedení jsou zvýšené náklady na výrobu střešní konstrukce.

Tato konstrukční varianta zvyšuje požadavky na pevnost střechy (střecha je navíc zatěžována tíhou sedadel a tíhou cestujících). Zvýšené požadavky na pevnost střechy jsou příčinou zvýšených nákladů na výrobu i provoz takovýchto vozů. Již dříve zmíněný problém s vrtáním nových otvorů pro rekonstruované osazování novými sedadly však zůstává, protože při rekonstrukci nemusí sedět otvory pro šroubové spoje ve stropu a je nutno vrtat otvory nové.

4.3 Upevnění sedadel „na skříň“

Upevnění na bednu = „na skříň“ (Obrázek 8) se používá v případech, kdy je potřeba některé komponenty exteriéru umístit do interiéru z důvodu nedostatku místa. Prostor pod zamýšleným sedadlem se tak vyplní například nutnou technickou výbavou vozu. Děje se tak v případech nízkopodlažních jednotek, kdy se do beden umísťuje například výstroj brzd, které jsou konstrukčně navrženy tak, aby svou velikostí pasovaly do zamýšleného prostoru pod sedadly.



Obr. 8 Upevnění sedadel na bednu [7]

Nevýhodou tohoto řešení je stejně jako u dříve popsaných způsobů upevnění narušení celistvosti podlahy a zvýšené riziko koroze hrubé stavby (otvory v podlaze). Dále také není ideální, že se prostor pro nohy a zavazadla zmenšuje o objem strojové výbavy umístěné v prostoru pro pasažéry.

4.4 Upevnění sedadel do bočnice

V současné výrobě moderních vozidel je upevnění sedadel do bočnice v elektrických trakčních jednotkách velice rozšířené. Zaužívaným řešením je ocelová konzola – například svařenec, který může být kombinací normovaných materiálů jako trubky s ohýbanými výpalky

z plechu, jež slouží jako výstužná žebra. Tato konzola je upevněna pouze z jedné strany, a to do bočnice pomocí C–drážek (Obrázek 9).



Obr. 9 Upevnění sedadel do bočnice [8]

Velkou výhodou tohoto řešení je zachování celistvosti podlahy, stejně jako u řešení s upevněním do stropu.

Nevýhodou je požadavek na zvýšené mechanické nároky na ocelovou konzolu a na bočnici, a to z důvodu chybějící podpěry (konzola-podlaha). Z důvodu absence jedné podpěry vznikají u konzoly vyšší ohybové momenty. Pro zachycení zvýšených ohybových momentů se používá vzpěra, která spojuje rozhraní bočnice-podlaha se středem konzoly (Obrázek 10).



Obr. 10 Ocelová konzola upevněna do bočnice [8]

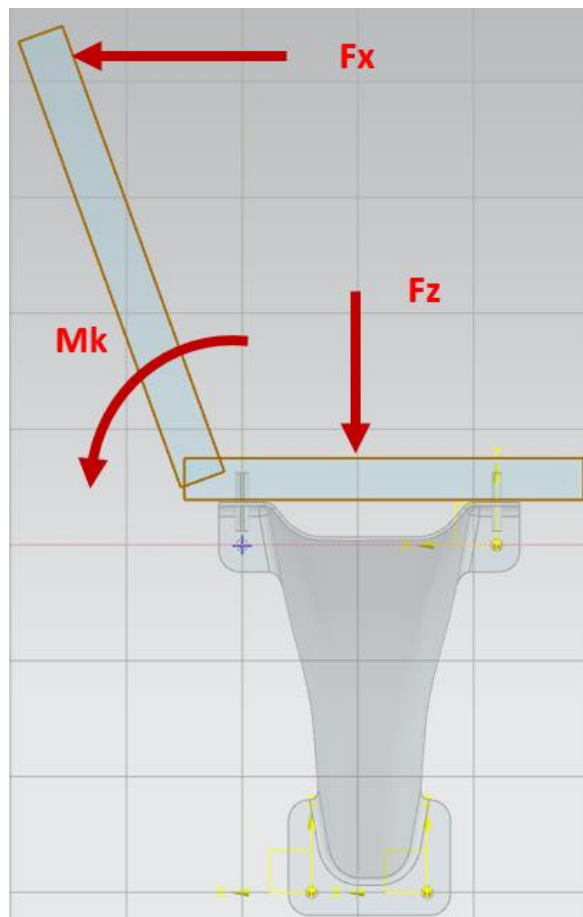
5 Návrh a výběr konstrukčního řešení konzoly sedadel

Tato kapitola se zabývá rozбором sil působících skrze sedadlo na konzolu a výpočtem a ověřením výsledného napětí pro posouzení, zda je navrhovaná varianta řešení vhodná. Podle výsledků bude navržena konzola doporučená k použití do dalšího kritického prověřování před spuštěním do výroby.

V této kapitole budou stanoveny síly, které jsou vyvozeny pasažérem přes sedadlo na konzolu. Poté budou představeny tři varianty provedení konzoly a dle kritérií technologičnosti a hmotnosti bude vybráno nejvhodnější konstrukční provedení.

5.1 Silové účinky

V předešlých kapitolách jsem uvedl možné přístupy k výpočtu sil, které působí na konzoly. Pro náš výpočet se budu řídit dle českých norem uvedených v bodech 2.1 a 2.2. K výpočtu budu používat metodu konečných prvků (MKP) SIEMENS NX – Nastran. Díky této metodě je možno optimalizovat konstrukci jak z hlediska váhy, tak ve směrech zatíženích.



Obr. 11 Schéma sil působících na sedadlo (vlastní zpracování)

Díky zádové opěrce sedadla působí na konzoly kroučící moment M_k způsobený silou F_x . Dále působí síla F_z , ve které se promítá váha sedadla a cestujícího (obrázek č. 11). Síla F_y způsobená vahou cestujícího, která je směřována buď na stěnu vozu nebo do uličky, je minimální, a proto ji ve výpočtu zanedbáváme. Při výpočtu je bráno v potaz chování cestujícího při běžné jízdě – sezením je zatěžována konzola pouze v ose Z , zatímco ve spací poloze se váha cestujícího promítne do os X a Z .

V bodě 2.1 jsou uvedena užitečná zatížení, která budou při výpočtu použita - váha pasažéra a jeho těžiště. K váze pasažéra bude připočítána váha sedadla a těžiště sedadla bude promítnuto do těžiště pasažéra.

- Váha pasažéra je 70 kg
- Váhu průměrného sedla je stanovena na 10 kg
- Těžiště pasažéra je 200 mm od sedáku, proto zvýšení o 100 mm (výška konstrukce a výška sedáku)
- V bodě 2.2 je uvedeno zrychlení g
 - o Do osy X a Y se jedná o +/- 3 g
 - o Do osy Z je definováno vztahem $(1 +/- c) * g$. Koeficient $c = 2$ zvolíme nejnáročnější způsob namáhání

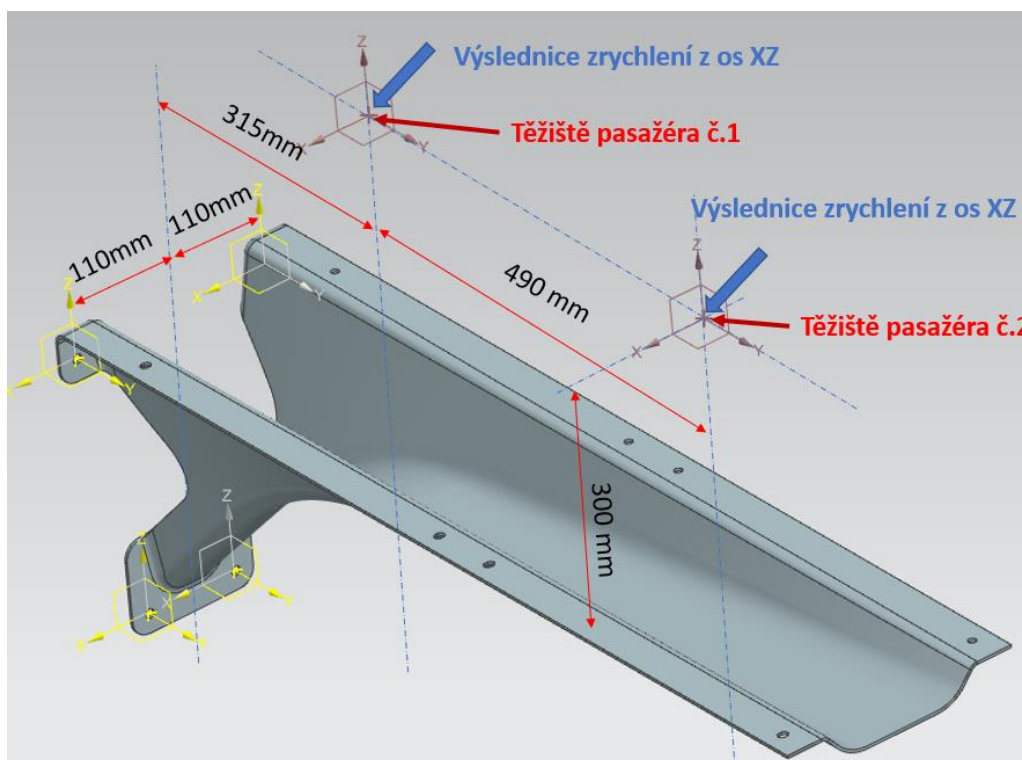
5.1.1 Výpočtový model v osách XZ

Jedná se o variantu (obrázek č. 12) spícího cestujícího, proto budeme volit zátěž v osách pro můj souřadnicový systém:

X: -3 g

Z: -1 g

Váha zavedená do těžiště pasažéra č.1 a č.2: 80 kg



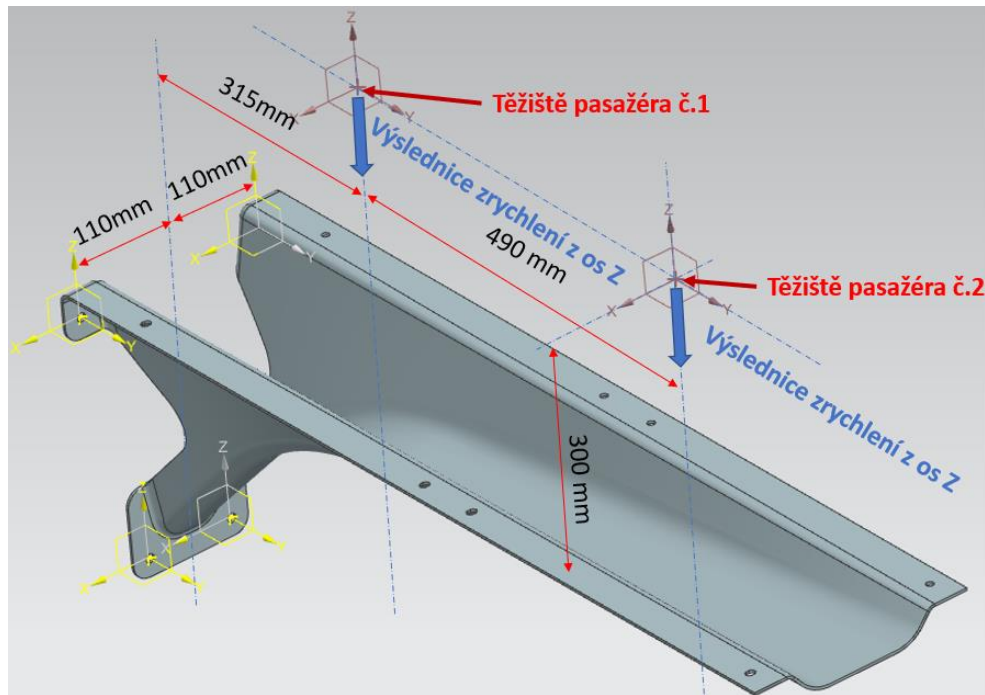
Obr. 12 Schéma sil působících na sedadlo (vlastní zpracování)

5.1.2 Výpočtový model v osách Z

Jedná se o variantu (obrázek č. 13) sedícího cestujícího, proto budeme volit zátěž v osách pro můj souřadnicový systém:

Z: -3 g

Váha zavedená do těžiště pasažéra č.1 a č.2: 80 kg



Obr. 13 Schéma sil působících na sedadlo Z (vlastní zpracování)

5.2 Návrh variant

Konzoly pro sedadla se nejčastěji vyrábějí z oceli (z ocelových profilů), které jsou přirýznuty nebo ohnuty a poté svařeny ve svařovacím přípravku k sobě. Tato volba konstrukce je výhodná, pokud je konzola řešena velkými profily. Stává se tak modulární pro zástavbu a je osvědčená. Za dlouhou dobu užívání této konstrukce byly nevýhody (např. deformace po svaření, vnitřní pnutí) identifikovány a minimalizovány. Při vyšším počtu se stává toto řešení neefektivním.

Je také možno použít litinu, avšak toto řešení je váhově stejné s předchozím, a navíc je problematická křehkost litin a nebezpečí ostrých lomů při havárii.

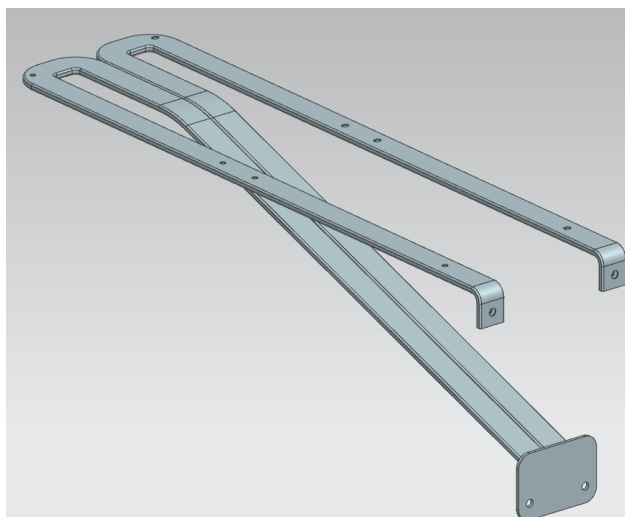
Exponenciální inovace na poli technologie a materiálů za posledních 30 let umožňují efektivní řešení, která by z důvodů ceny nebo pevnosti materiálů byla dříve nemyslitelná. Tímto směrem se vydala i tato práce, s cílem porovnat možná řešení, které se v dnešní době aplikují v leteckém a automobilovém průmyslu.

Byly vybrány tyto možnosti:

- 1- **Svařovaná konstrukce** – využito maximální hranici pevnosti, pro úsporu materiálu čili hmotnosti.
- 2- **Výlisek** – jelikož se jedná o velkou konzolu, předpokládám alespoň dvou krokový nástroj
- 3- **Odlitek** – Hliníkový odlitek

5.2.1 Svařovaná konstrukce

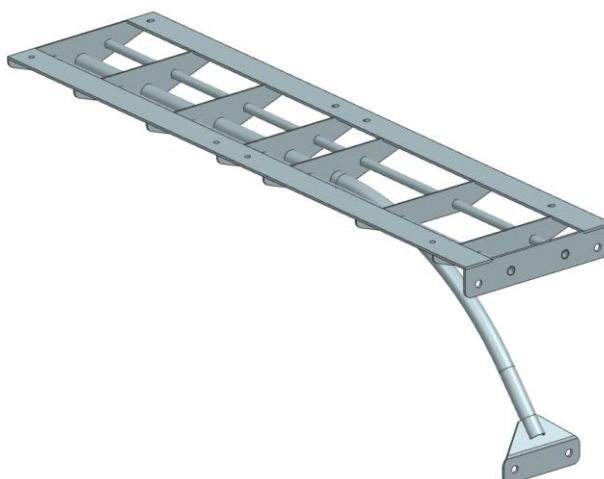
Pro prvotní návrh jsem zvolen profil 44,5x10x1,5 (Obrázek 14).



Obr. 14 Svařovaný návrh profil

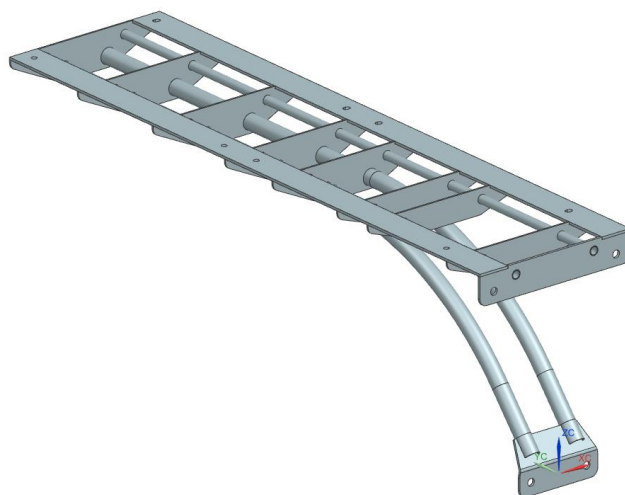
Váha konstrukce 5,6 kg. Konstrukce byla sice lehká, ale také ne dostatečně tuhá, její vzpěra zasahovala značně do prostoru nohou pasažéra.

Přepracováno za použití jedné nosné trubky, která byla ohnuta tak, aby bylo dosaženo maximálního volného místa pod konzolí. (Obrázek 15).



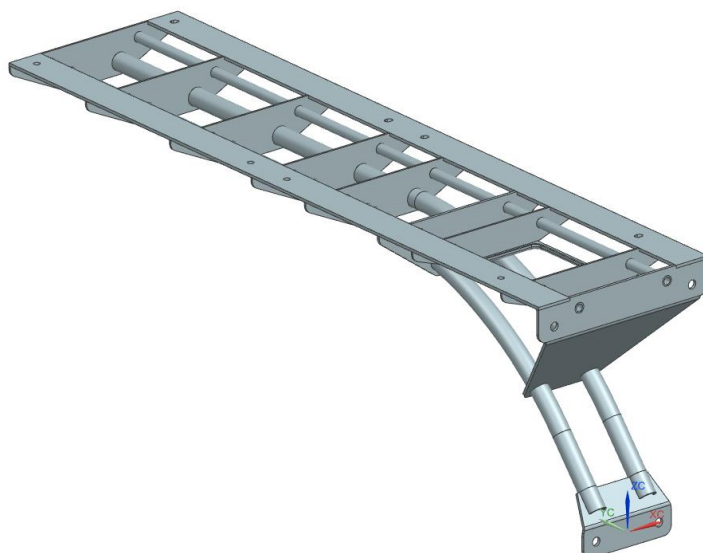
Obr. 15 Svařovaný návrh s jednou nosnou trubkou

Startovní váha nového řešení 7,2 kg. Konstrukce nebyla dostatečně tuhá v krutu. Vyztužení bylo provedeno pomocí druhé nosné trubky. Váha 8,7 kg. (Obrázek 16).



Obr. 16 Svařovaný návrh s dvěma nosnými trubkami

Konstrukci bylo nutno dále vyztužit, viz obrázek 17.



Obr. 17 Svařovaný návrh s dvěma nosnými trubkami a vyztužením

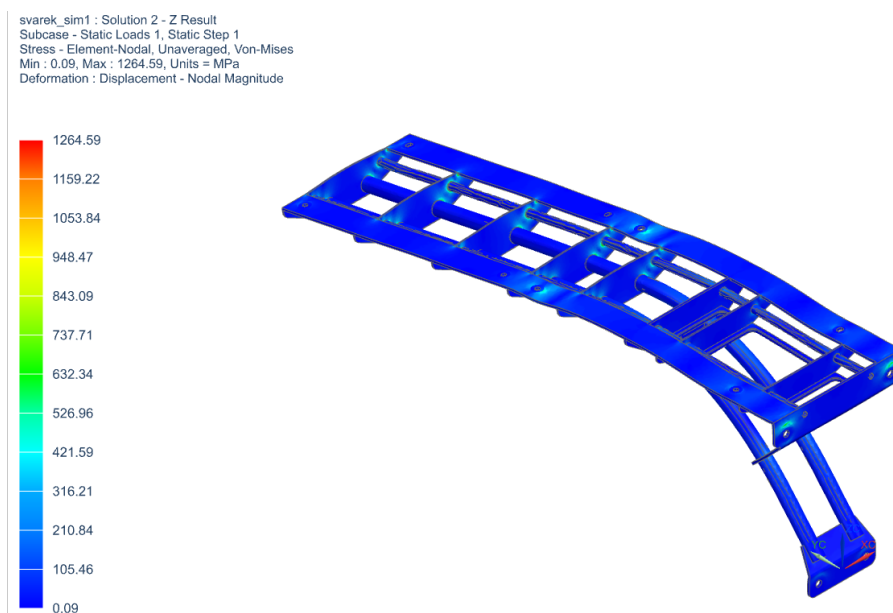
Váha této finální konstrukce je cca. 12,3 kg.

Výsledné napětí bylo v normě použité oceli třídy 11, viz tabulka č. 3.

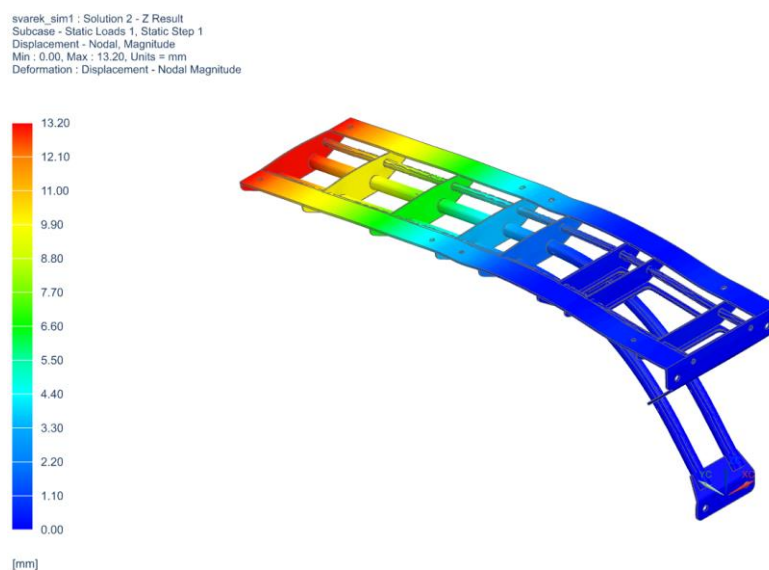
Tab. 3 Hodnoty mezí pevnosti, kluzu, únavy a dovolených napětí pro ocel [10]

hodnoty (MPa)	ČSN EN ISO	11 370 1.0036	11 420 1.0077	11 500 1.0050	11 600 1.0060	11 700 1.0070
Mez kluzu v tahu σ_{kt}		200 -> 250	230 -> 260	260 -> 290	300 -> 340	350 -> 390
Mez pevnosti v tahu σ_{pt}		370 -> 450	420 -> 520	500 -> 620	600 -> 720	700 -> 850
Mez únavy v ohybu σ_{oc} (0,43 opt)		160 -> 195	180 -> 230	215 -> 265	260 -> 310	300 -> 370
Mez únavy v tahu σ_{tc} (0,32 opt)		120 -> 145	135 -> 165	160 -> 200	190 -> 235	235 -> 270
Mez únavy v krutu τ_{kc} (0,25 opt)		95 -> 110	105 -> 130	125 -> 155	150 -> 180	175 -> 210
Hodnoty dovolených napětí (MPa)						
Tah/tlak statický σ_{Dt}		100 - 140	115 - 170	140 - 210	150 - 230	115 - 135
Tah/tlak mĭjivý σ_{Dt}		85 - 120	75 - 105	90 - 135	110 - 165	95 - 115
Tah/tlak střídavý σ_{Dt}		65 - 90	55 - 80	65 - 95	75 - 115	75 - 87
Ohyb statický σ_{Do}		110 - 155	120 - 175	150 - 220	170 - 250	125 - 150
Ohyb mĭjivý σ_{Do}		95 - 120	80 - 125	100 - 150	125 - 180	105 - 125
Ohyb střídavý σ_{Do}		70 - 100	60 - 85	70 - 105	85 - 115	80 - 95
Krut statický τ_{Dk}		65 - 90	70 - 105	85 - 125	105 - 145	70 - 85
Krut mĭjivý τ_{Dk}		55 - 75	45 - 70	55 - 85	65 - 105	45 - 55
Krut střídavý τ_{Dk}		40 - 60	35 - 50	40 - 60	50 - 70	33 - 40
Tlak v stykových plochách		30 - 110	80 - 200	35 - 200	40 - 180	-

Výsledky v ose Z. Napětí znázorněno svislou barevnou škálou viz obrázek 18. Posunutí znázorněno svislou barevnou škálou viz obrázek 19.

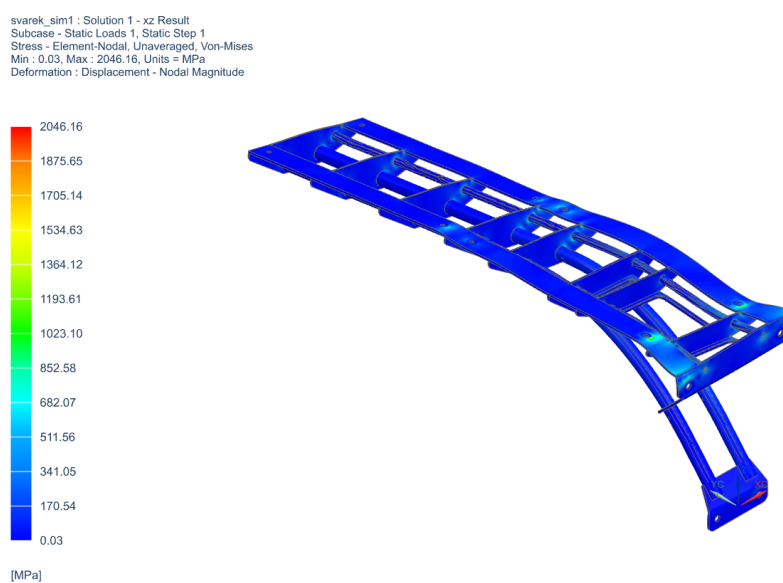


Obr. 18 Výsledky napětí osa Z



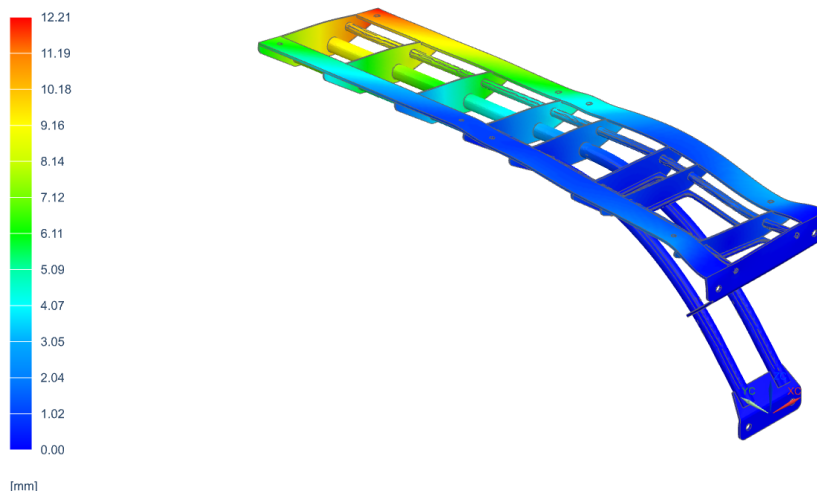
Obr. 19 Výsledky posunutí osa Z

Výsledky v ose XZ. Napětí znázorněno svislou barevnou škálou viz obrázek 20. Posunutí znázorněno svislou barevnou škálou viz obrázek 21.



Obr. 20 Výsledky napětí osa XZ

svarek_sim1 : Solution 1 - xz Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.00, Max : 12.21, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

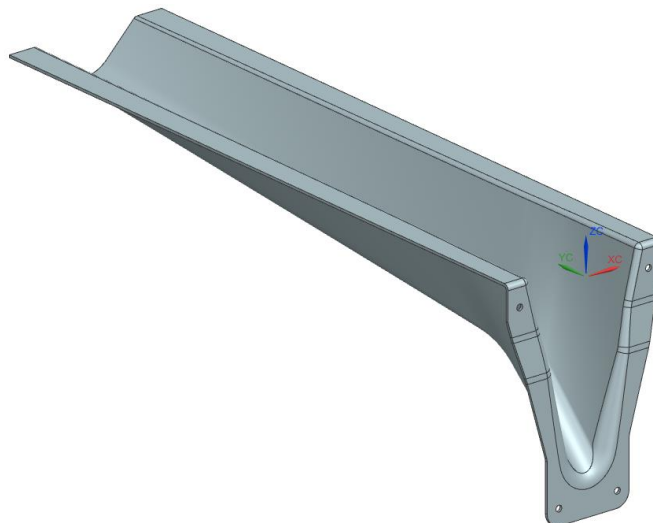


Obr. 21 Výsledky posunutí osa XZ

Konstrukce bude nejvíce zatěžována v místech svarů a šroubových spojů, kde dosahujeme bodových hranic deformačních napětí. Krajiní mez ohybu je 13,2mm. Konzola bude sice zpevněna i nosnou kostrou sedaček, které nebylo ve výpočtu zohledněno.

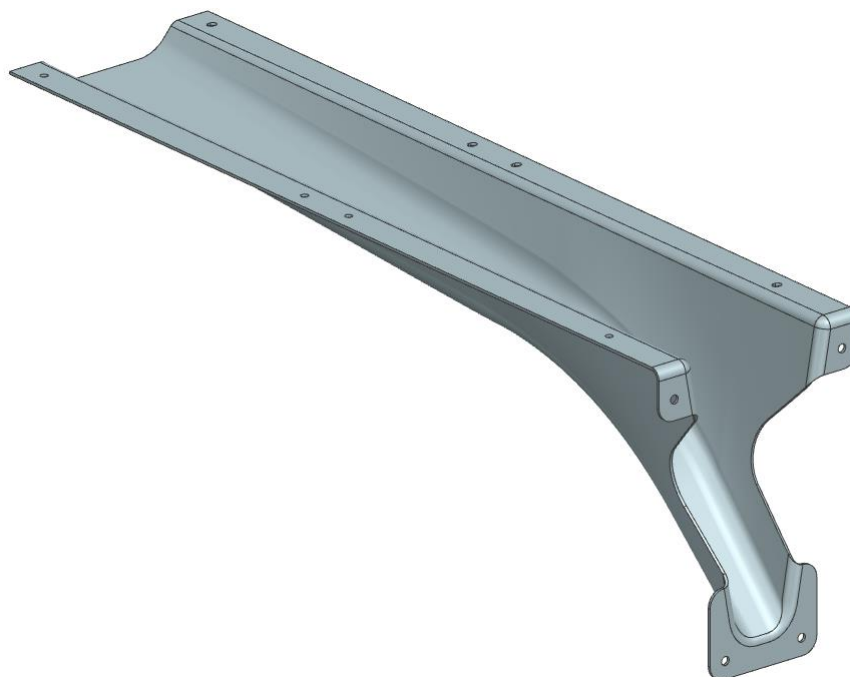
5.2.2 Výlisek

Pro prvotní návrh uvažován plech o tloušťce 8 mm. Z hlediska deformačních sil jsem se snažil, aby docházelo více k ohybům než k deformačnímu tváření. (Obrázek 22).



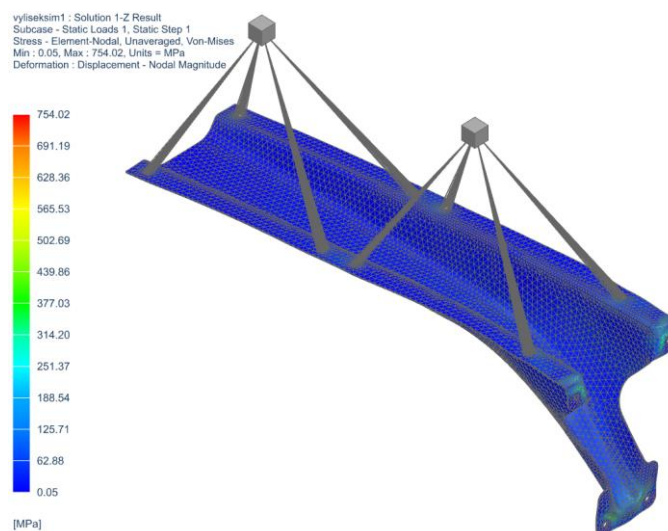
Obr. 22 Výlisek 14,5 Kg

Byl optimalizován tvar i tloušťka. Dosaženo váhy 9,54 kg při použití plechu o síle stěny 3mm. (Obrázek 23)

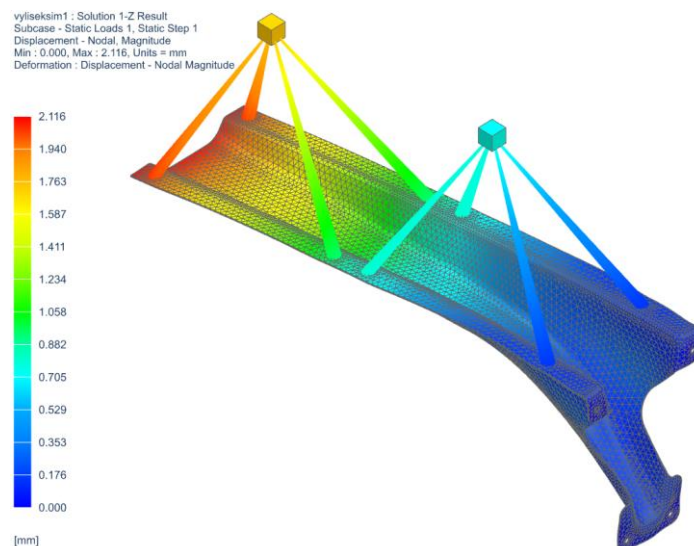


Obr. 23 Optimalizovaný výlisek 9,6 Kg

Vyhodnocení výsledků v ose Z. Napětí znázorněno svislou barevnou škálou viz obrázek 24. Posunutí znázorněno svislou barevnou škálou viz obrázek 25.

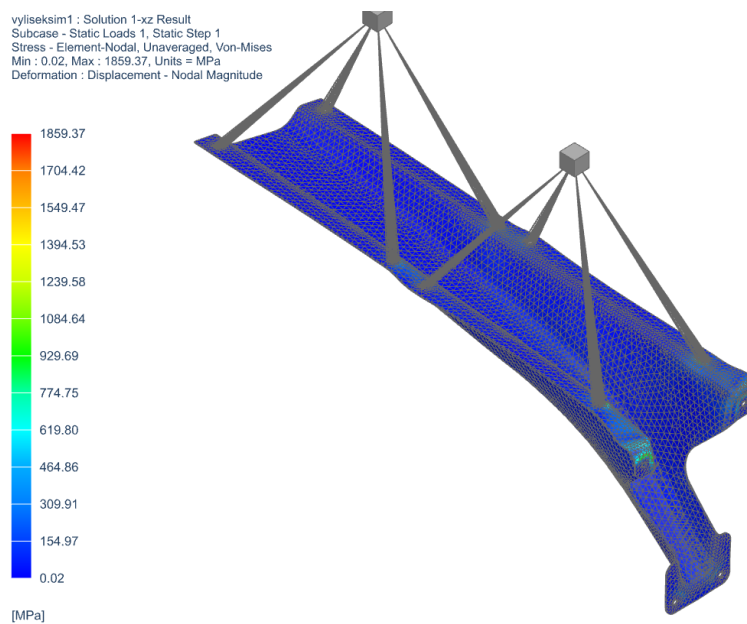


Obr. 24 Výsledky napětí osa Z

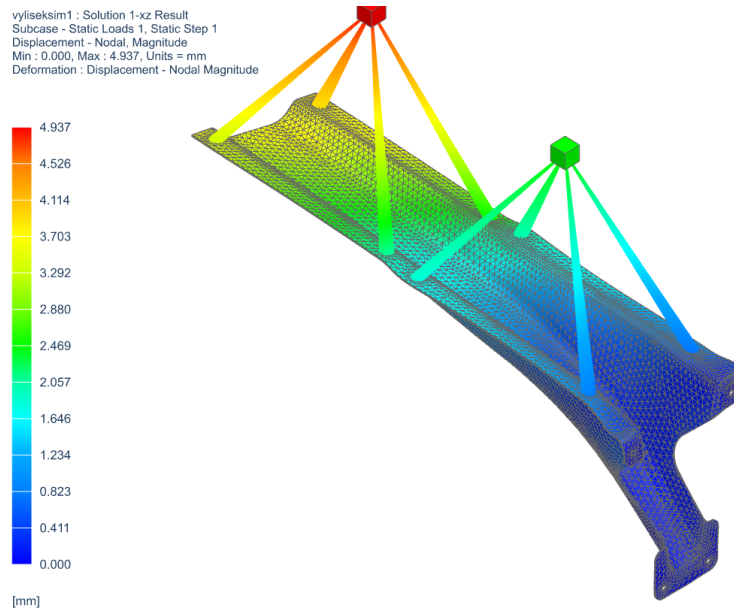


Obr. 25 Výsledky posunutí osa Z

Vyhodnocení výsledků v ose XZ. Napětí znázorněno svislou barevnou škálou viz obrázek 26. Posunutí znázorněno svislou barevnou škálou viz obrázek 27.



Obr. 26 Výsledky napětí osa XZ



Obr. 27 Výsledky posunutí osa XZ

Materiál byl použit IF 180 (HC180Y) z automobilového průmyslu – vysokopevnostní oceli (HSS – High Strength Steel), (Workswel, 2020).

Tab. 4 Vysokopevnostní IF ocel | HC180Y - HC260Y [13]

High and higher strength steel for cold forming · DIN EN 10 268

Steel type		Mechanical properties, transverse						
Short designation	VDA239-100*	Material number	Proof stress $R_{p0.2}^{0.01}$ MPa	Tensile strength R_m MPa	Elongation at fracture $A_{w0.2}^{0.01}$ % min.	Anisotropy $r_{90}^{0.01}$	Strain hardening exponent $n_{w0.2}^{0.01}$ min.	Bake hardening index $BH_{150}^{0.01}$ min.
High-strength IF steel								
HC180Y	CR180IF	1.0922	180-230	330-400	35	1.7	0.19	–

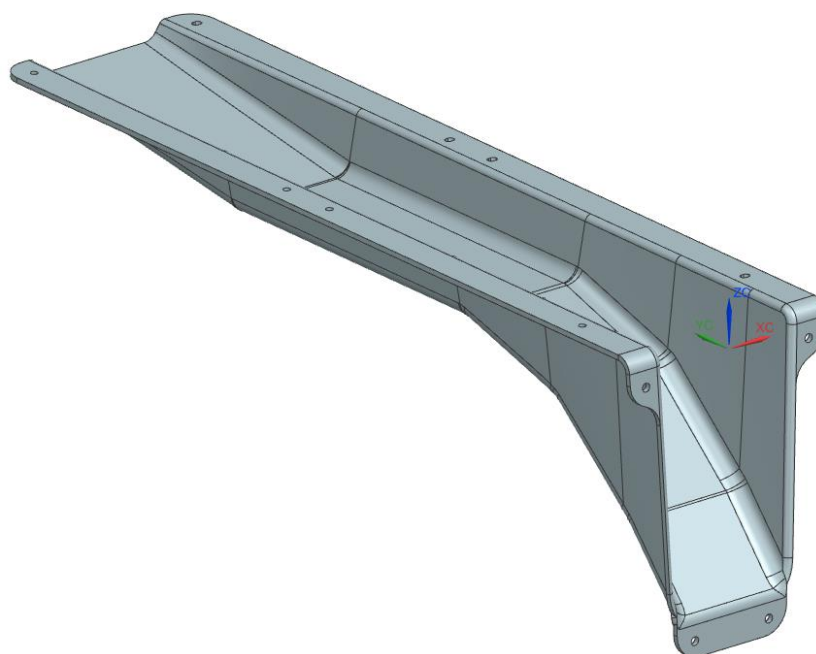
Konstrukce bude nejvíce zatěžována v místech šroubových spojů ke stěně, kde dosahujeme bodových hranic deformačních napětí. Krajní mez ohybu je 3,7mm. Konzola bude sice zpevněna i nosnou kostrou sedaček, které nebylo ve výpočtu uvažováno.

5.2.3 Odlitek

Pro počáteční návrh byla zvolena stěna o tloušťce 8 mm. Zvoleným materiálem byla hliníková slitina AL-LEG. EN AC-44300 EN AC-Al Si12(Fe). Váha 7,3 kg. Viz obrázek č. 28.

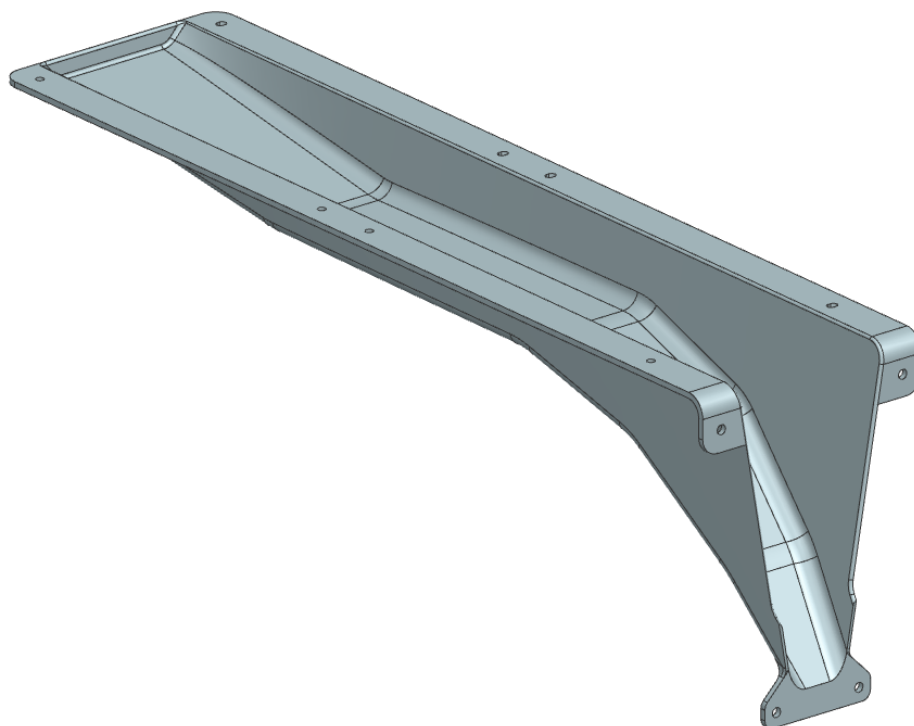
Tab. 5 Mechanické vlastnosti pro samostatně lité zkušební tyče [14]

VAR Legierung	Legierungsbezeichnung entsprechend »Euro-Norm«		Mechanische Eigenschaften für getrennt gegossene				
	numerisch	chemisch	Gießzustand ¹⁾ Werkstoff- zustand	Zugfestigkeit R _m MPa ²⁾ min.	Dehngrenze R _{p0,2} MPa min.	Bruch- dehnung A ₅₀ % min.	Brinellhärte HBS min.
239 D	EN AC-43400	EN AC-Al Si10Mg(Fe)	D F	240	140	1	70
230 D	EN AC-44300	EN AC-Al Si12(Fe)	D F	240	130	1	60
226 D	EN AC-46000	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)	D F	240	140	<1	80
226/3	EN AC-46500	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)(Zn)	D F	240	140	<1	80
231 D	EN AC-47100	EN AC-Al Si12Cu1(Fe)	D F	240	140	1	70
349	EN AC-51200	EN AC-Al Mg9	D F	200	130	1	70



Obr. 28 Odlitek první verze 7,3 kg

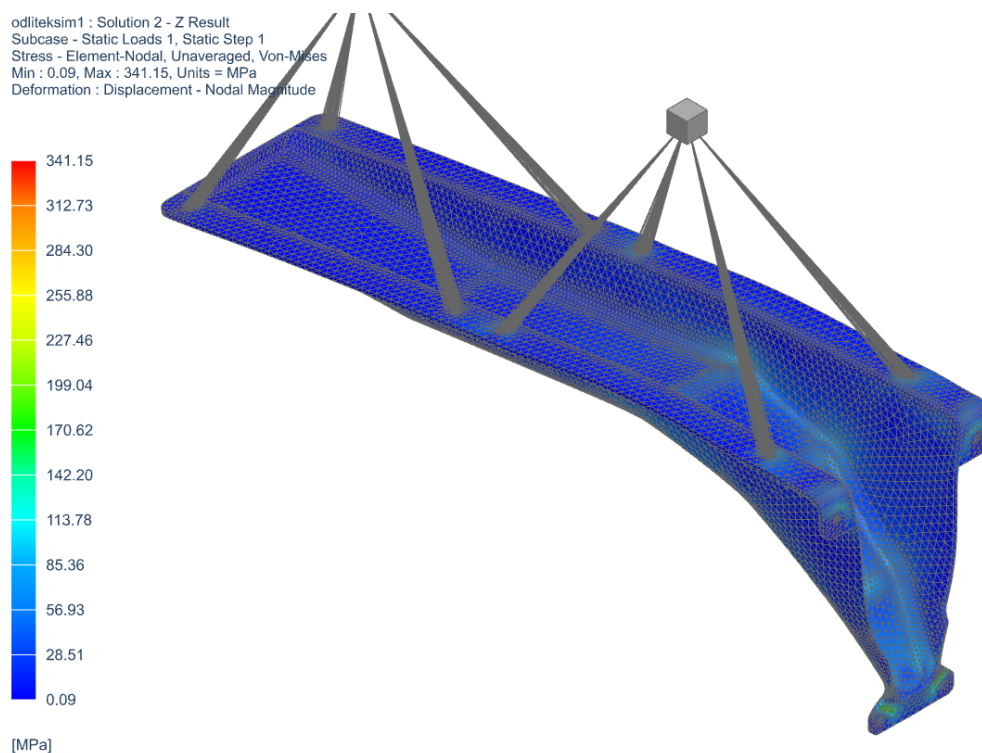
Po optimalizaci tvaru a tloušťky bylo dosaženo váhy 4,53 kg při síle stěny 3 mm. Viz obrázek č. 29.



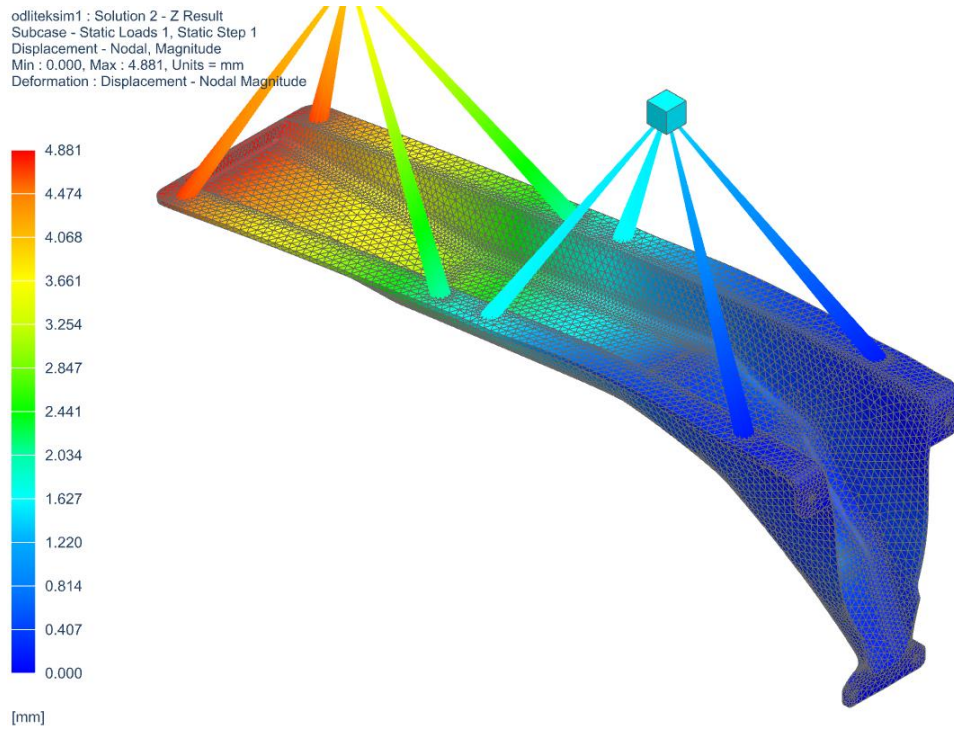
Obr. 29 Odlitek váha 4,53 kg

Následují výpočty v uvedeném programu v různých osách.

Napětí v ose Z viz obrázek č. 30. Posunutí v ose Z viz obrázek č. 31.

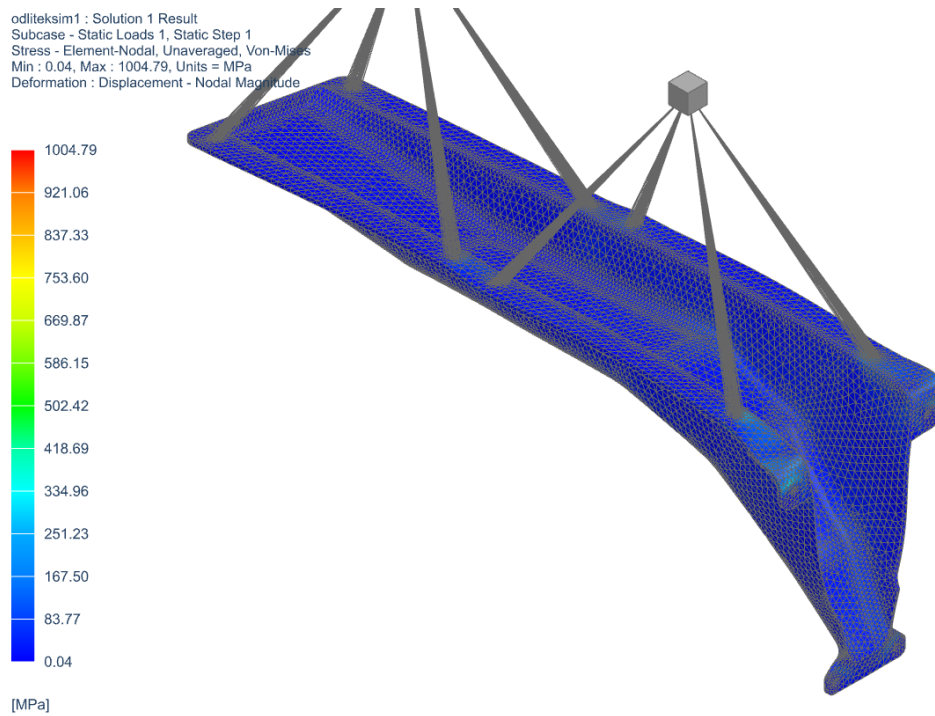


Obr. 30 Napětí v ose Z

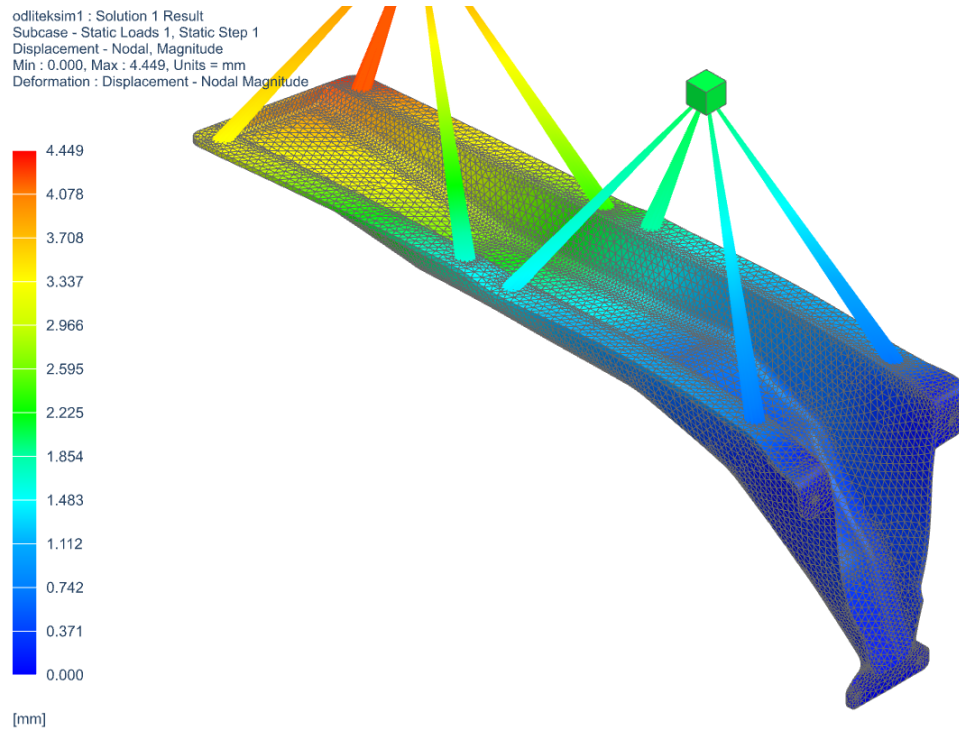


Obr. 31 Posunutí v ose Z

Výsledky výpočtů v ose XZ, napětí v ose XZ viz obrázek č. 32. Posunutí v ose XZ viz obrázek č. 33.



Obr. 32 napětí v ose XZ



Obr. 33 Posunutí v ose XZ

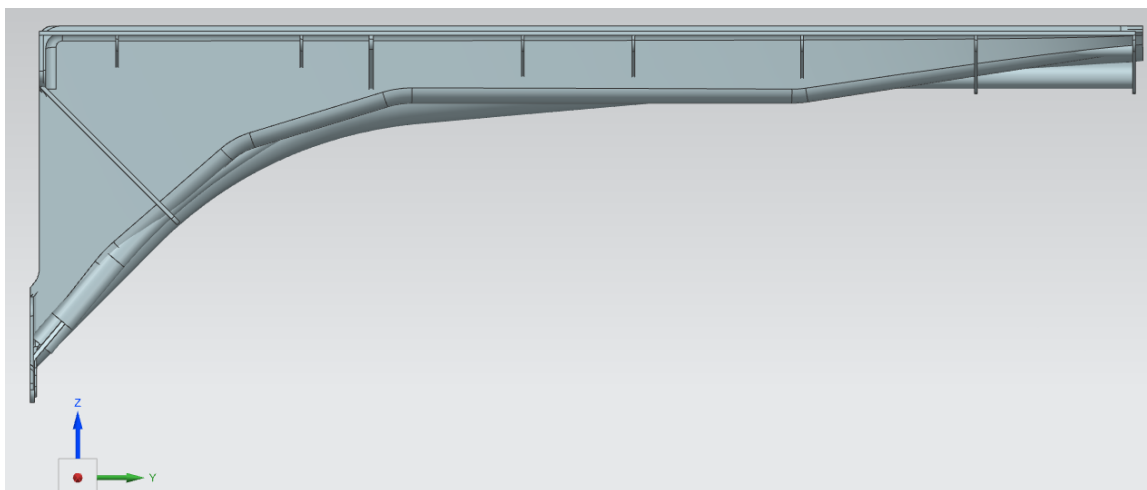
Konstrukce bude nejvíce zatěžována v místech šroubových spojů ke stěně, kde dosahujeme bodových hranic deformačních napětí. Krajní mez ohybu je 4,8 mm. Konzola bude sice zpevněna i nosnou kostrou sedaček, které nebylo ve výpočtu uvažováno.

5.3 Vyhodnocení konstrukčních návrhů

V předešlém bodě jsem zpracoval konstrukční návrhy, které jsem upravil na základě předběžných MKP výpočtů. Znáám optimalizovanou váhu a přibližnou tuhost. Dále je potřeba porovnat další vlastnosti návrhů, a to z hlediska výrobního, montážního a životního cyklu.

Počet kusů pro sérii byla stanovena na 3000 kusů. Jsme nad hranicí svařovaných výrobků, a to z hlediska pracnosti. Pro rozhodnutí, zda je výhodnější odlitek či výlisek při tomto počtu kusů, potřebuje přesnou kalkulaci nákladů, tj. návratnost investice do nástrojů, cena výchozích materiálů. Protože neznám možnosti zadavatele, jak v nákupu surovin, polotovarů ani řetězec subdodavatelů, nebudu hodnotit ceny, pouze všeobecně známé vlastnosti například ve výrobě a montáži.

V porovnávací tabulce (tabulka č. 6) jsem použil bodový systém, kde vyšší hodnota znamená lepší vhodnost. Pro posuzování prostoru pro nohy byl zvolen pohled viz obrázek č. 34.



Obr. 34 Porovnání prostoru pro nohy

V porovnávací tabulce (tabulka č. 6) jsem použil bodový systém, kde vyšší hodnota znamená lepší vhodnost.

Tab. 6 porovnávací tabulka vhodnosti návrhu výrobku konzoly

bod č.	Vlastnost	hodnocení		
		svarek	výlisek	odlitek
1.0	Výrobku			
1.1	Váha	1	2	5
1.2	Tuhost	1	4	4
1.3	Korozivzdornost	3	4	5
1.4	Modularita - el. zásuvky apd.	5	3	3
1.5	Prostor pro nohy	4	4	4
2.0	Výroba			
2.1	Polotovary - příprava	4	2	3
2.2	Přípravky a nástroje	3	3	3
2.3	Pracnost	2	4	5
2.4	Manipulace	3	4	4
2.5	Finální opracování	3	3	3
3.0	Montáž			
3.1	Manipulační prostředek	1	2	5
3.2	Skladování	2	3	4
4.0	Životní cyklus			
4.1	Demontáž	3	3	3
4.2	Recyklace	4	4	4
	CELKEM	39	45	55

Výsledek z porovnávací tabulky (tabulka č. 6) nám potvrdilo, že se svarek s nejnižším počtem 39 bodů umístil na posledním místě. S odstupem 6 bodů se umístil výlisek. Nejvíce bodů získal odlitek.

Při srovnání se projeví přednost odlitku, a to především co se týče váhy. Díky malé váze umožňuje snazší manipulaci a je možné, aby byl přenášen pouze jednou osobou. Pro svarek potřebujeme manipulační prostředek a u výlisku alespoň dvě osoby. Dále je vhodné zdůraznit, že při použití vstřikovací technologie nemusíme na odlitek nanášet antikorozi úpravu.

6 Pevností výpočet vybrané konzoly metodou MKP

Tato část práce se detailně zabývá výpočtem pro odlitou konzoli a jejími variantami. Konzole má usnadnit montáž sedaček od tří různých dodavatelů. Tyto se budou lišit pouze ve vyvrtání jiných děr pro upevnění sedadel.

Pro úvodní výpočet bylo zvoleno vrtání děr, které jsou umístěny do stran v maximální možné vzdálenosti od středu těžiště.

6.1 Dovolené maximální napětí pro materiál

Materiál jsem uvedl v bodě 5.2.3. Jedná se o AL-LEG. EN AC-44300 (EN AC-Al Si12(Fe)). Jeho specifikace jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tab. 7 Mechanické vlastnosti materiálu

Mechanické vlastnosti	
Smluvní mez kluzu Rp02 minimální	130 MPa
Brinell hardness (HBW):	60
Tažnost při přetržení A50 %	1

Z normy ČSN EN 12663-1+A1 máme stanovené napětí, viz kopie z normy obrázek č. 35.

Analytická řešení místních koncentrací napětí

Pro přejímku může být použita některá z následujících metod:

a) Lineární analýza pružnosti

U tažných materiálů analýza lineárního pružného přetváření prokáže, zda rozsah napětí v každém místě koncentrace napětí splňuje následující kritérium:

$$|\sigma_{\max} - \sigma_{\min}| \leq 2 \cdot \frac{R}{S_1}$$

kde je

σ_{\max} maximální vypočítané napětí všech druhů statických zatížení;

σ_{\min} minimální vypočítané napětí všech druhů statických zatížení;

σ_{\max} a σ_{\min} mají orientaci ve stejném směru;

R mez pružnosti materiálu (R_{eH}) nebo 0,2% smluvní mez kluzu ($R_{p0,2}$), v N/mm² (podle definice v EN 10002-1), při respektování všech příslušných vlivů popsanych v 5.3.3;

S_1 bezpečnostní součinitel podle definice v 5.4.2.

Obr. 35 kopie z normy ČSN [9]

Pro zjednodušení výpočtu pro bakalářskou práci spočítáme dovolené maximální napětí:

Bezpečnostní součinitel S_1 – zvolíme 1,3

$$\sigma_D = \frac{R_{p02}}{S_1} = \frac{130}{1,3} = 100 \text{ [MPa]}$$

Tento materiál jsem zvolil jako průměrný. Jsou slitiny hliníku, které dvojnásobně převyšují pevnost tohoto materiálu.

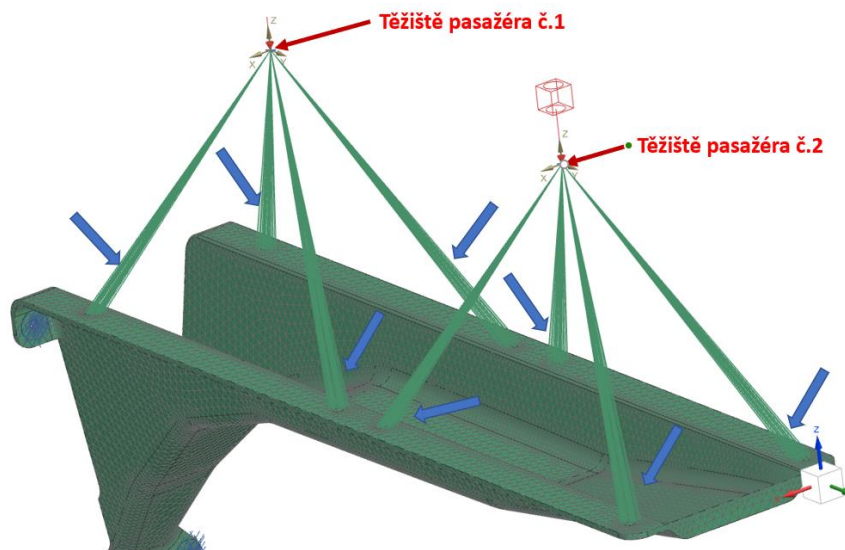
6.2 Nastavení modelů pro pevnostní výpočet

Pomocí metody konečných prvků jsem provedl pevnostní výpočet pro dva zátěžové stavy, které jsem popsal detailně v bodech 5.1.1 – výpočtový model v osách XZ a 4.1.2 - výpočtový model v ose Z.

První výpočtový model zatěžuje konstrukci i momentem a druhý výpočtový model zatěžuje konstrukci pouze maximálním ohybem. Každý model zatěžoval jinou část konzoly, a proto je potřeba vyhodnotit oba.

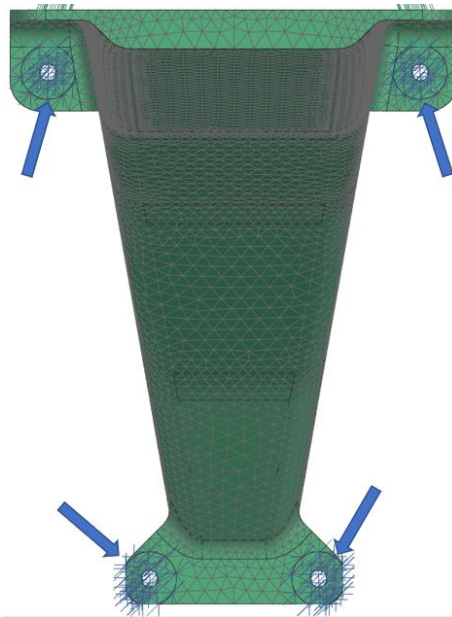
Model ve formátu STEP jsem importoval do programu SIEMENS NX - Nastran. Na modelu byla vygenerována 3D síť s maximální vzdáleností elementů 11,6 mm. Byly vytvořeny plochy, které budou simulovat podložky šroubů. 3D síti byly navoleny vlastnosti slitiny hliníku (obrázek č. 36).

Body, které jsou těžišti, byly nastaveny na hmotnost 80 kg. Tyto body propojeny pevným spojením se s plochami podložek šroubového spojení v místech sedačky a konzoly.



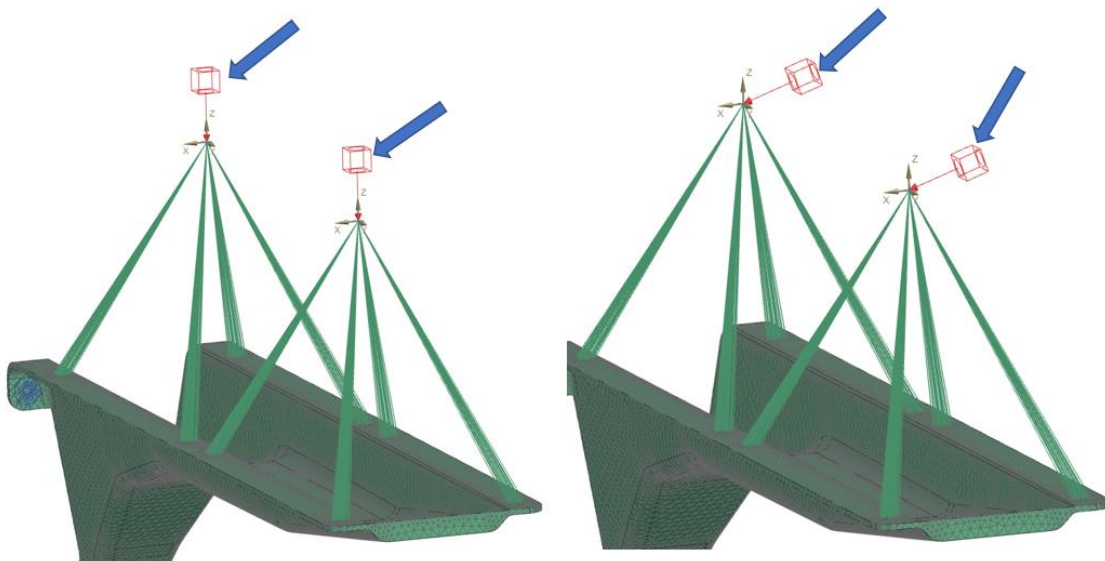
Obr. 36 umístění ploch pro podložky na model

Dále bylo zavedeno pevné spojení v místech, kde je konzola spojena šroubovým spojením do stěny (viz obrázek č. 37).



Obr. 37 umístění otvorů pro připojení konzoly do stěny

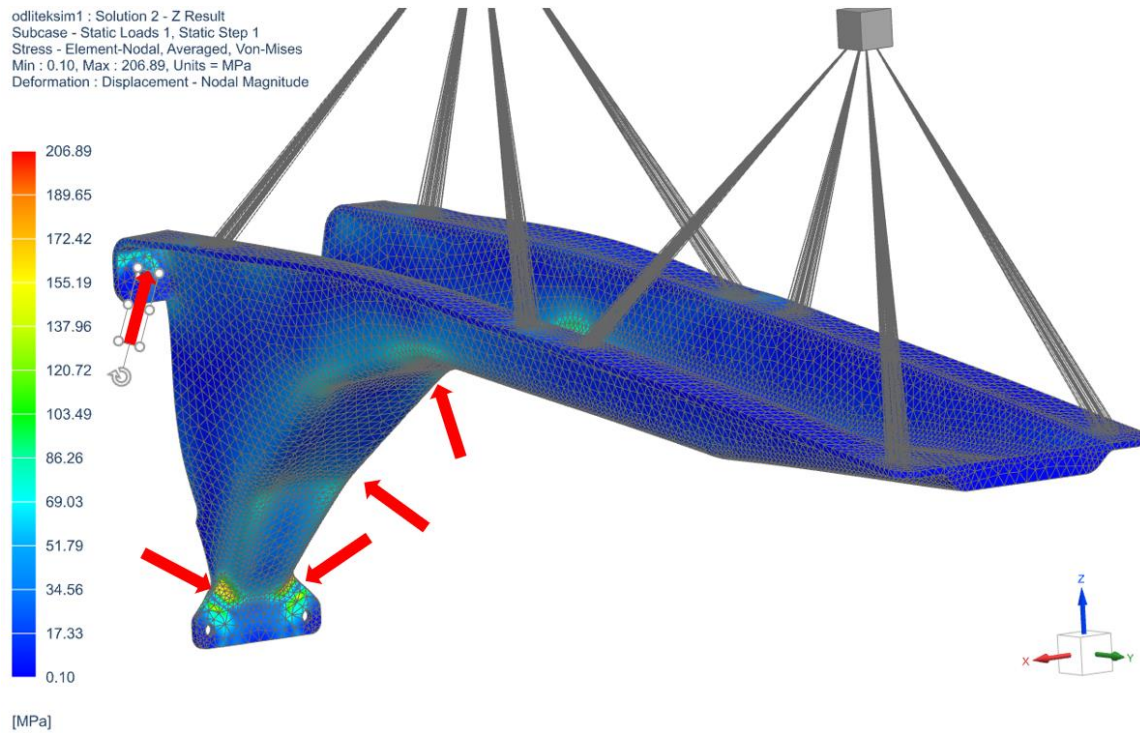
Pro zátěžový stav XZ bylo zavedeno gravitační zrychlení pro celou simulaci a zrychlení v osách X a Z. V tomto bodě se liší od zátěžového stavu Z. Zde bylo zavedeno pouze zrychlení v bodech těžišť, viz obrázek č. 38.



Obr. 38 Rozdíl výsledného zrychlení mezi zátěžovým stavem Z a XZ

6.3 Zátěžový stav v rovině Z

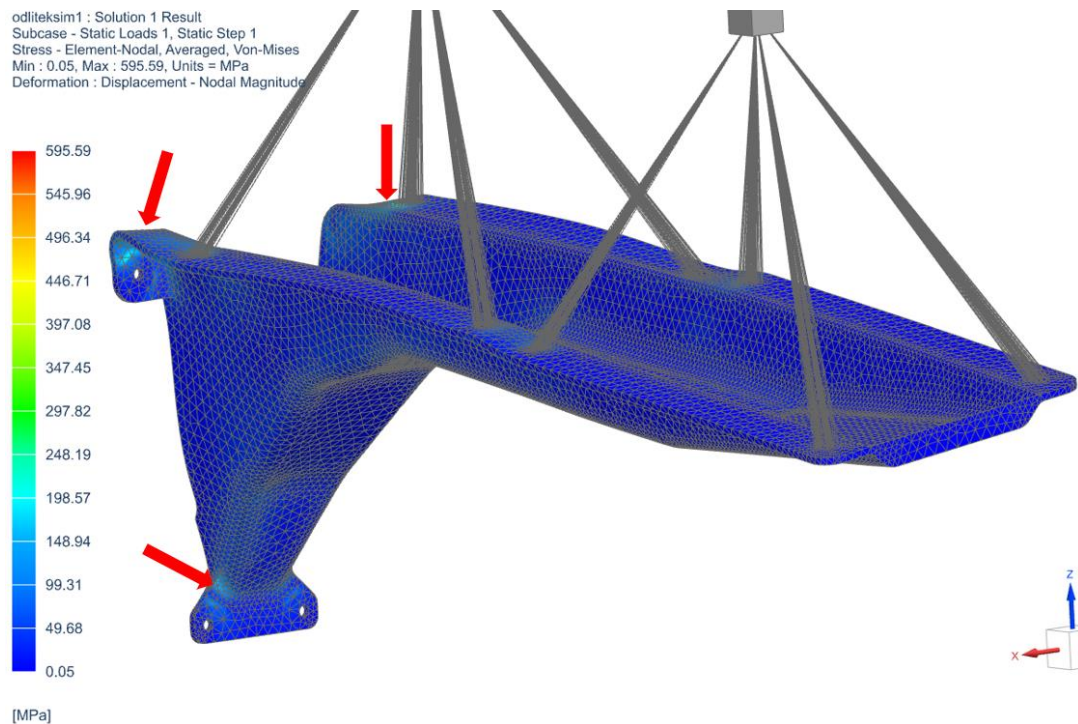
Z obrázku (obrázek č. 39) napjatosti je zřejmé, že některých místech dosahuje maximálního dovoleného napětí. Bodově jej i přesahuje. Tyto body by mohly být základem prvních rysů. Maximální hodnoty jsou v místech přechodu mezi rozdílnými tloušťkami stěn.



Obr. 39 Vizualizace napjatosti

6.4 Zátěžový stav v rovině XZ

Tento stav v porovnání s předchozím jasně poukazuje, že nejvíce riziková místa jsou v okolí šroubových spojů, viz obrázek č. 40.

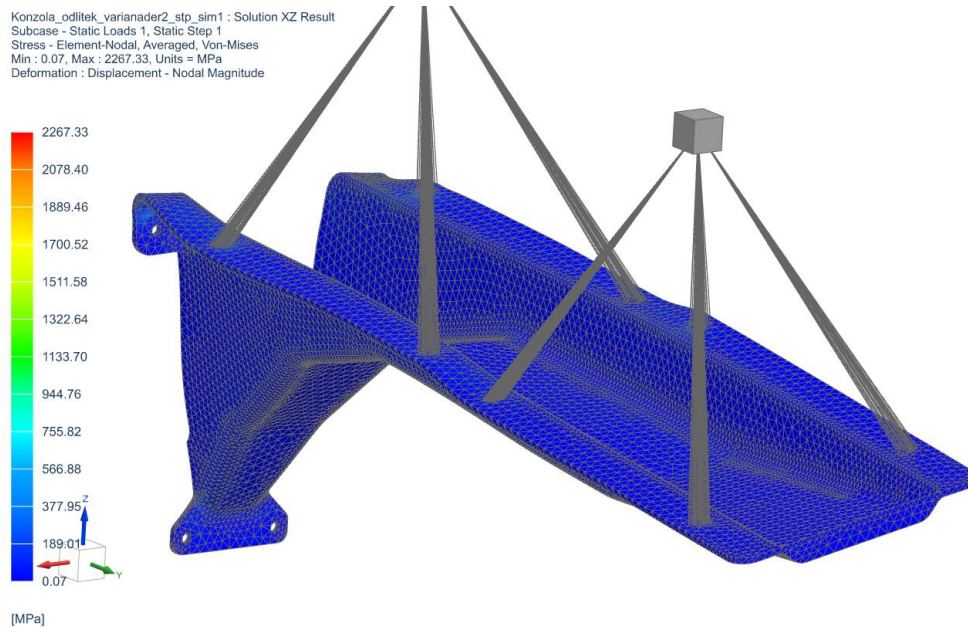


Obr. 40 Vizualizace napjatosti v porovnání

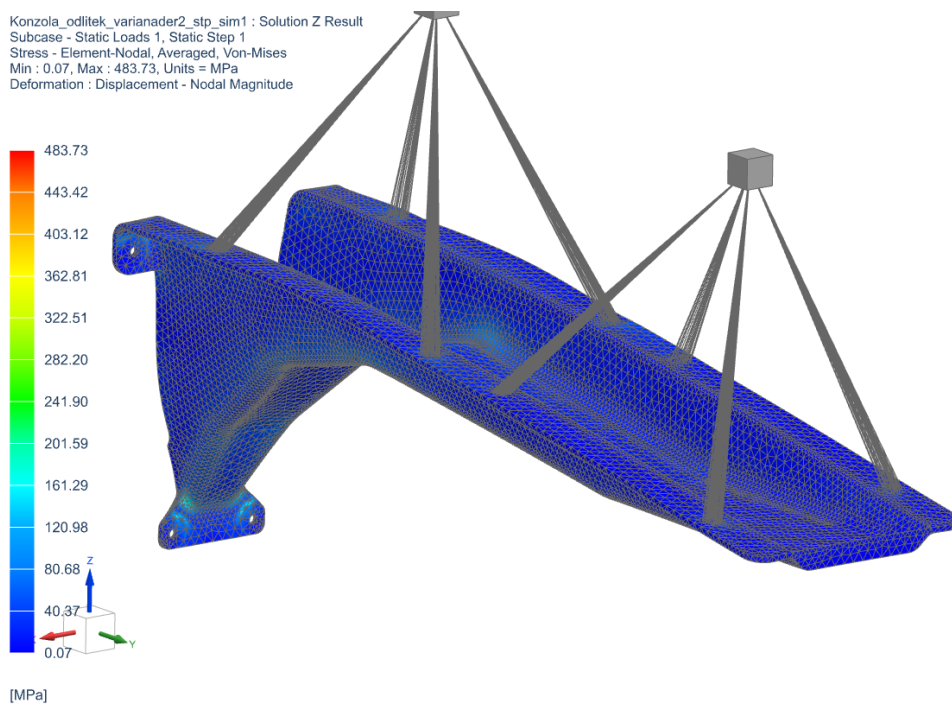
6.5 Kontrolní výpočet pro jiné dodavatele sedadel

Zde je viditelný rozdíl mezi upevněním – vzdáleností děr, velikostí děr a velikostí podložek. Zatímco první dodavatel měl pouze na jedné straně podélné díry, zbývající dodavatelé využívají podélné díry pootočené o devadesát stupňů. Liší se také průměry.

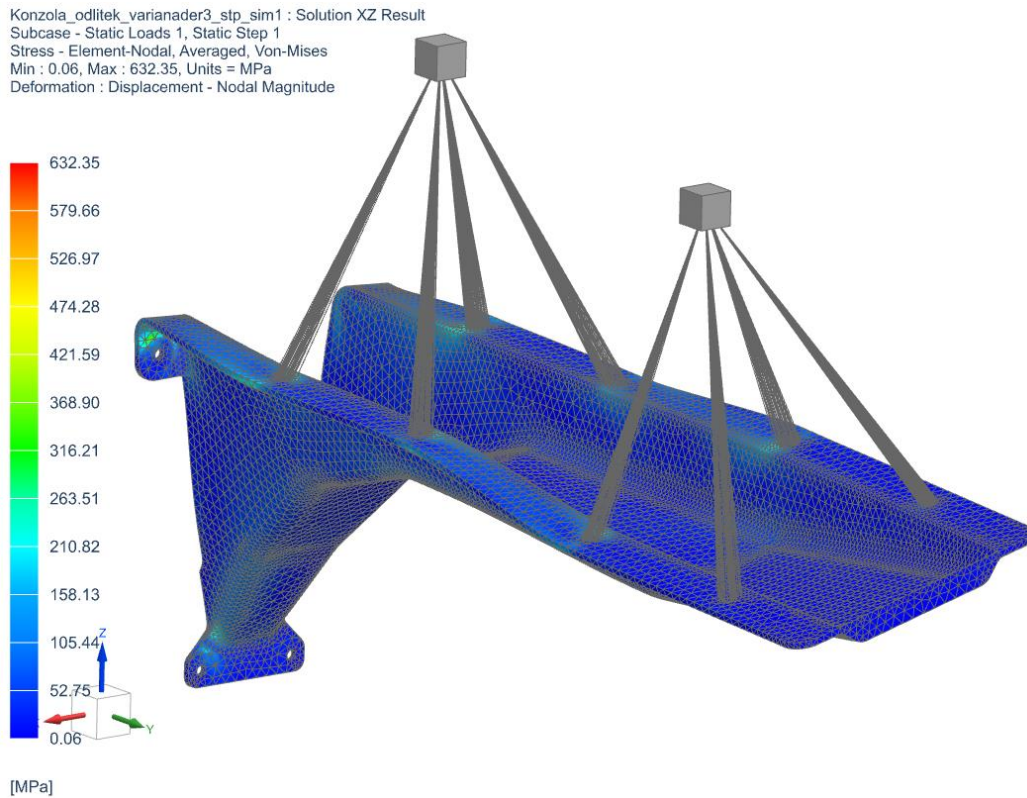
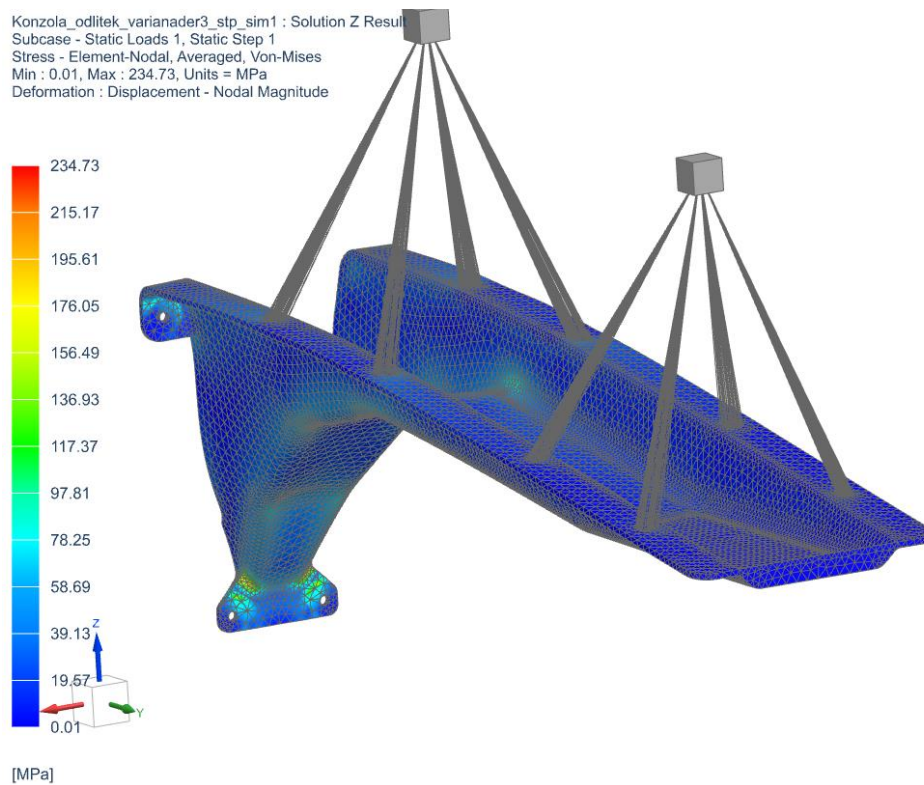
V principu vidíme, že se potvrdila úvaha, že čím blíže k těžišti jsou upevňovací prvky, tím menší vliv mají na průběh sil u konzoly. Rozdíly jsou ale minimální, viz obrázek č. 41, 42, 43, 44.



Obr. 41 Vizualizace napjatosti – XZ druhý dodavatel

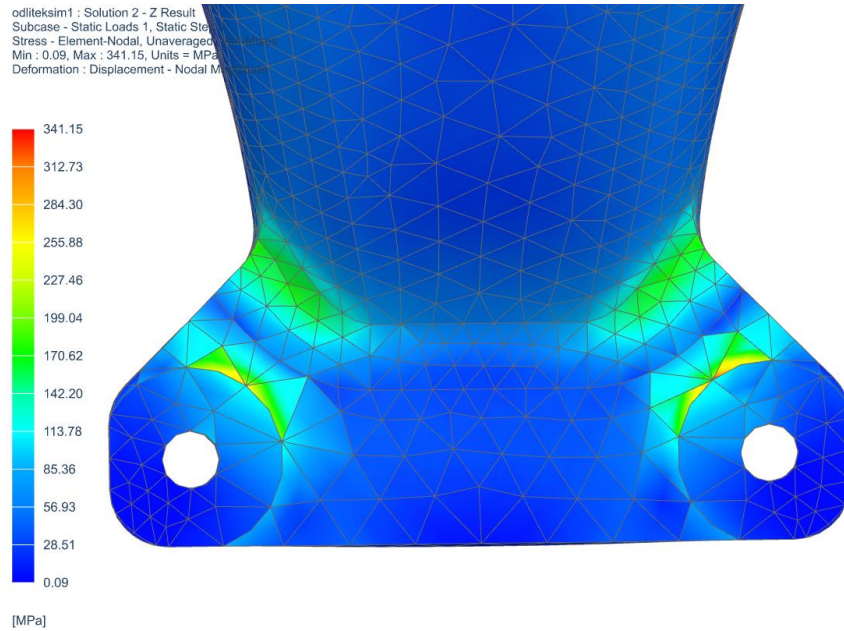


Obr. 42 Vizualizace napjatosti – Z druhý dodavatel

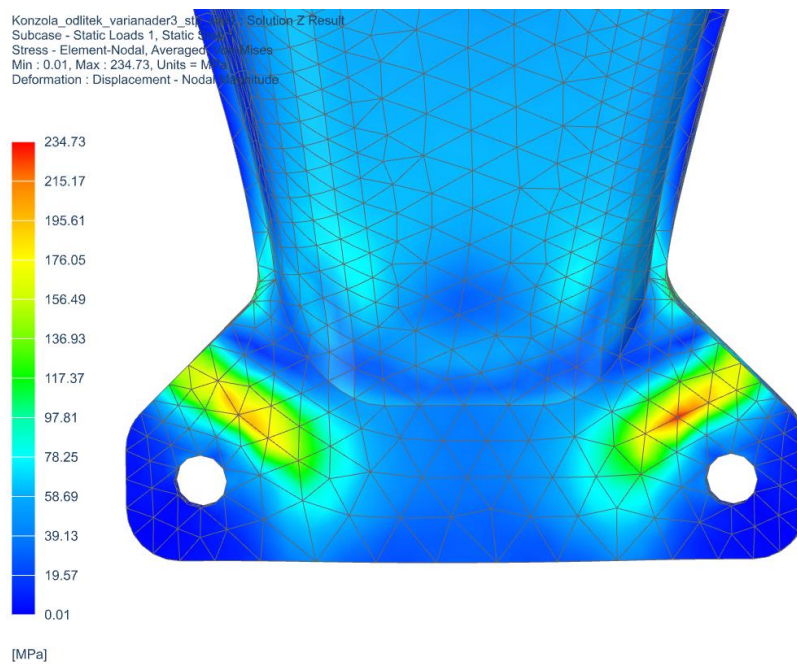
**Obr. 43 Vizualizace napjatosti – XZ třetí dodavatel****Obr. 44 Vizualizace napjatosti – Z třetí dodavatel**

6.6 Vyhodnocení výsledků

Konzola splňuje. Napětí se standartně pohybuje kolem 50 Mpa. Jsou ale body a bodové zatížení, které můžeme považovat jako možná rizika, viz obrázek č. 45, 46, 47, 48, 49.

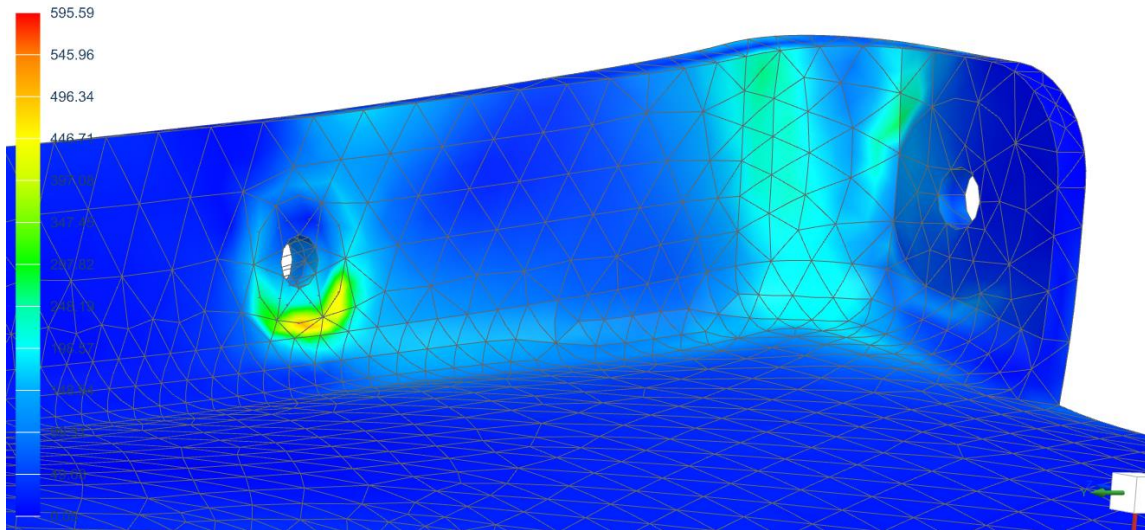


Obr. 45 Kritické zatížení konzole



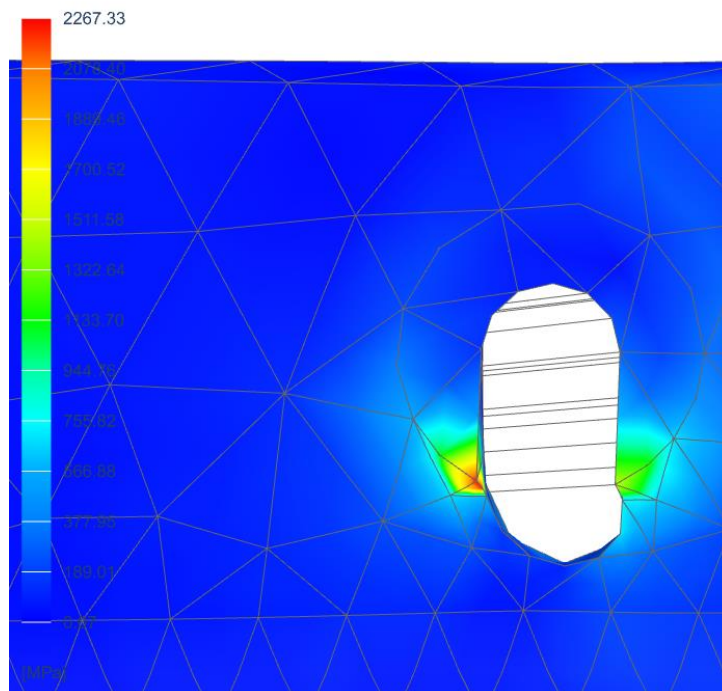
Obr. 46 Kritické zatížení nohy konzole

odlíteksim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Min : 0.05, Max : 595.59, Units = MPa
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

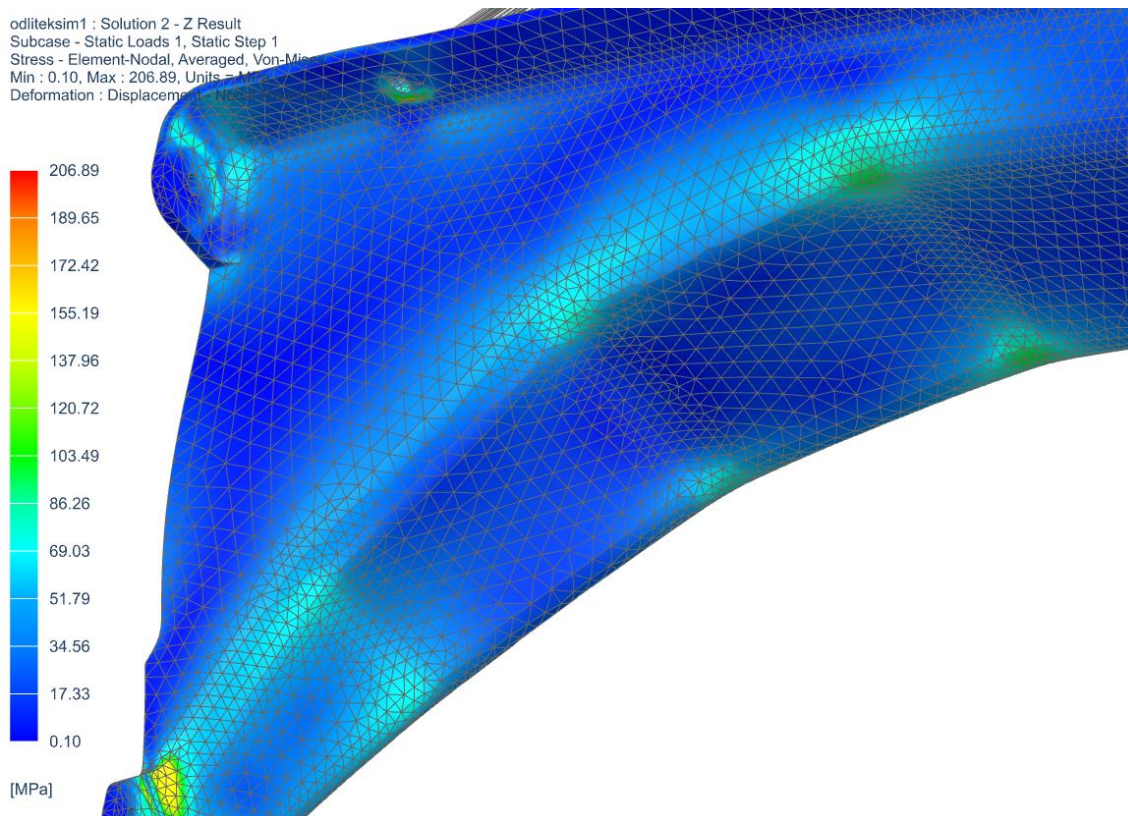


Obr. 47 Kritické zatížení v okolí šroubového spoje, napravo do stěny, vlevo sedačka.

Konzola_odlitek_varianader2_stp_sim1 : Solution XZ Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Min : 0.07, Max : 2267.33, Units = MPa
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obr. 48 Kritické zatížení v okolí šroubového spoje u druhého dodavatele sedadel



Obr. 49 Zatížení na únosné hranici – oblouk konzole.

Tak jako u svařků jsou nebezpečné svary a okolí, tak u odlitků z hliníkových slitin jsou problematické šroubové spoje včetně jejich okolí. Šroubový spoj může hliník při překročení dovoleného utahovacího momentu poškodit. Jako prevence se používají podložky větších rozměrů.

Noha konzoly je na hranici poškození. Jeden způsob, jak toto minimalizovat je přidat masu nebo vzít o třídu lepší materiál.

Pro další optimalizaci, by byla vhodná kombinace se simulací dynamického zatížení, ale toto už není obsahem této bakalářské práce.

7 Závěr

V první kapitole této bakalářské práce jsem objasnil zadání specifikace od zadavatele společností Škoda Transportation, a.s

Ve druhé kapitole jsem se zaměřil na normy, jež specifikují, které požadavky jsou při konstrukci vozů nutné a které naopak volitelné. Některé normy byly zaměřeny pouze na bezpečnost konstrukce sedadel.

Ve třetí jsem uvedl jak, pomocí jakého spoje jsou upevněny prvky ve voze.

Ve čtvrté kapitole jsem uvedl nejčastěji používané způsoby upevnění sedadel v interiéru vlaků a elektrických trakčních jednotek. Popsal jsem, jaké jsou možnosti jejich připevnění ke stěně – ať už v kombinaci do stropu nebo do podlahy či upevnění na bednu. Vyjmenoval jsem klady a zápory těchto uchycení.

V páté kapitole jsem definoval dva základní zátěžové stavy konzoly, dle nejčastějšího užívání cestujícími. Dle těchto stavů jsem definoval zatížení pro základní výpočet pomocí MKP, které jsem používal pro optimalizaci konstrukčních návrhů.

V souladu se současnými technologickými a výrobními trendy jsem navrhl tři konstrukční varianty: svařovanou – ocel, vylisovanou – vysokotahovou ocel a odlitou – hliníková slitina. Po optimalizaci konstrukčních řešení vznikly největší rozdíly ve váze. U svařované jsem dosáhl hmotnosti 12,3 kg, u lisované 9,54 kg a u odlitku 4,53kg.

Domnívám se, že u lisované varianty by se dalo dosáhnout úspory na hmotnosti ještě cca 1,5 kg. Ubíral bych se směrem k plechu o tloušťce 1,5 nebo 2 mm, kde bych ztracenou pevnost nahradil tvarovými výztuhami - prolisy, lemování okrajů apod.

V šesté kapitole jsem detailně popsal nastavení pro pevnostní výpočet MKP v programu Siemens NX Nastran a provedl jsem detailní vyhodnocení zátěžových stavů. Dále jsem prověřil, že při posunutí děr konzola stále vyhovuje.

Zjištěné bodové kritické zatížení v některých částech konzoly, zejména v okolí šroubových spojů, se standardně nebere jako kritické. Uvedl jsem také standardní opatření k minimalizaci těchto bodových extrémů.

Je třeba si uvědomit, že ve výpočtech nebylo bráno v potaz vliv vyztužení rámu konzoly. Konzola se částečně v dolní části opírá o stěnu vozu, a tím omezuje její pohyby. Sedačka svým rámem nahrazuje příčné výztuhy v horní části konzoly a tím se z otevřeného profilu U mezi šroubovými spoji stává pevnější profil O.

Cílem této bakalářské práce bylo porovnat tři možnosti konstrukce, které se lišily způsobem výroby. Hlavním porovnávacím argumentem se stala hmotnost návrhů. Návrh z hliníkového odlitku byl jeden až jeden a půl krát lehčí než ostatní návrhy. Je zřejmé, že návrh by měl být ještě dále optimalizován jak materiálově, tak konstrukčně. Tento vývoj by měl být proveden s výrobcem, na základě dynamických výpočtů.

Z hlediska ceny jsme na hranici, kdy přesná kalkulace nákladů by rozhodla, zda je výhodnější konzola z odlitku či z výlisku. Při odlitku máme jen jednu fázi opracování, která je spojená s vrtáním děr viz výkresová dokumentace. Ale u výlisku musí následovat alespoň dvě, ohranění s ořezem na laseru a následné vyvrtání děr.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *UIC 566 1990-01-01 en*, Paříž: International Union of Railways, 1990.
- [2] Deutsche Bahn AG, *Grundlagen für die Konstruktion und Prüfung von Fahrgastsitzen in Schienenfahrzeugen GulaSi*. Leipzig, 2017.
- [3] ŠIROKÝ, J., MULLER, J., ZAPLETAL, S. Stavba železničních kolejových vozidel, Ostrava: Vysoká škola Baňská - Technická univerzita Ostrava/Univerzita Pardubice, 2013.
- [4] Rupf, Stephan. Sitze in den neuen ICE-4-Zügen [foto]. In: *Süddeutsche zeitung* [online]. [Cit. 10.5.2022]. Dostupné z: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/deutsche-bahn-sitze-komfort-1.4652549>.
- [5] C.I.E.B. Kahovec spol. s r.o.. Sedadla cestujících - typ GAZ [foto]. In: *Produkty* [online]. [Cit. 10.5.2022]. Dostupné z: <https://www.cieb.cz/produkty-sedadla-cestujicich-typ-gaz-detail-8>.
- [6] MADĚRA, M. 842 ČD [foto]. In: vagonWEB. [Online]. [Cit. 10.5.2022]. Dostupné z: https://www.vagonweb.cz/fotogalerie/CZ/CD_842.php.
- [7] HARALD A. Jahn, Innotrans 2018 [foto]. In: viennaslide.com. [Online]. [Cit. 10.5.2022]. Dostupné z: <https://www.viennaslide.com/p/0641-berlin/Innotrans%202018%20-%20Bombardier%20Talent%203%20innen%2009.html>.
- [8] SIEMENS. Desiro HC [foto]. In: siemensWEB. [Online]. [Cit. 10.5.2022]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/rolling-stock/commuter-and-regional-trains/desiro.html#DesiroHC>.
- [9] ČSN EN 15663+A1 (280360); 09/2019 cz, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [10] E-konstruktor. *Portál pro strojní konstruktéry*. [Online]. [Cit. 10.5.2022]. Dostupné z: [Hodnoty mezi pevnosti, kluzu, únavy a dovolených napětí pro ocel - Portál pro strojní konstruktéry \(e-konstruktor.cz\)](https://www.e-konstruktor.cz/Hodnoty%20mezi%20pevnosti%20kluzu%20u%C4%9Bavy%20a%20dovolen%C3%BDch%20nap%C4%9Bt%C3%BD%20pro%20ocel%20-%20Port%C3%A1l%20pro%20strojn%C3%BD%20konstrukt%C3%A9ry%20(e-konstruktor.cz))
- [11] Workswel, 2020. *Rozdělení ocelí pro automobilový průmysl*. [Online]. [Cit. 10.5.2022]. Dostupné z: <https://workswell.cz/rozdeleni-oceli-pro-automobilovy-prumysl/>
- [12] *UIC 567 de 2004-11-01*, Paris: Internationaler Eisenbahnverband, 2004.
- [13] Thyssenkrupp, 2022. *High-strength IF steel | HC180Y - HC260Y*. [Online]. [Cit. 10.5.2022]. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp-materials-processing-europe.com/en/c-steel/cold-rolled-sheet/high-and-higher-strength-steel/high-strength-if-steel-or-hc180y-hc260y>
- [14] VAR Verband der Aluminiumrecycling-Industrie, 2020. *Aluminium-Gusslegierungen*. [Online]. [Cit. 10.5.2022]. Dostupné z: <https://www.schoett-druckguss.de/assets/Uploads/pdf/legierungen.pdf>

PŘÍLOHA č. 1

Výkresová příloha bakalářské práce.

Výrobní výkres odlitku

Opracování odlitku