

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



Ústav automobilů, spalovacích
motorů a kolejových vozidel

Upevnění sedadel v elektrických trakčních jednotkách

Seats fastening in railway electric traction units

Bakalářská práce

Vypracoval:

David Eliáš

Studijní program:

Strojírenství

Obor:

Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce:

doc. Ing. Josef Kolář, CSc.

Konzultant:

Ing. Otomar Vincik

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Eliáš** Jméno: **David** Osobní číslo: **466497**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Upevnění sedadel v elektrických trakčních jednotkách

Název bakalářské práce anglicky:

Seats fastening in railway electric traction units

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte:

1. Řešení na téma: Řešení interiéru elektrických trakčních jednotek pro regionální, dálkovou a vysokorychlostní dopravu.
2. Přehled základních technických požadavků kladených na sedadla železničních vozidel.
3. Analýzu způsobu upevnění sedadel ve vozidle.
4. Návrh a výběr vhodného konstrukčního řešení konzoly sedadel.
5. Průvodní technickou zprávu a sestavný výkres upevnění konzoly sedadel do skříně vozidla.

Seznam doporučené literatury:

Odborné časopisy, firemní literatura, patentová literatura, normy.

Skripta ČVUT:

KOLÁŘ, J.: Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel

ŠÍBA, J.: Kolejová vozidla II,

ŠÍBA, J.: Kolejová vozidla II - pojezd

MARUNA, Z., HOFFMANN, V., KOULA, J. KROUPOVÁ, Z.: Metodika konstruování kolejových vozidel - osobní a nákladní podvozky

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Josef Kolář, CSc., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Otomar Vincik, Siemens Mobility

Datum zadání bakalářské práce: **28.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

doc. Ing. Josef Kolář, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Oldřich Vitek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

4.5. 2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci, s názvem: Upevnění sedadel v elektrických trakčních jednotkách, vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Josefa Koláře CSc., po konzultacích s ing. Otomarem Vincikem a s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze, dne 1. 6. 2020

David Eliáš

.....

Anotační list

Jméno autora:	David Eliáš
Název BP:	Upevnění sedadel v elektrických trakčních jednotkách
Anglický název BP:	Seats fastening in railway electric traction units
Rok:	2020
Studijní program:	Strojírenství
Obor studia:	Konstruování podporované počítačem
Ústav:	Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Vedoucí BP:	doc. Ing. Josef Kolář, CSc.
Konzultant BP:	Ing. Otomar Vincik
Bibliografické údaje:	počet stran: 61
	počet obrázků: 67
	počet tabulek: 9
	počet grafů: 4
	počet příloh: 1
Klíčová slova:	elektrická trakční jednotka, konzola, upevnění
Keywords:	electric traction units, cantilever, fastening

Anotace:

Cílem této bakalářské práce je navrhnout konzolu pro upevnění sedadel do moderních elektrických trakčních jednotek.

Abstrakt:

The aim of this bachelor thesis is to design a seat fastening for modern electric traction units.

Obsah

1	Rešerše na téma: řešení interiéru elektrických trakčních jednotek pro regionální, dálkovou a vysokorychlostní dopravu	2
1.1	Rozdíl v interiéru u vozů pro regionální a dálkovou dopravu	2
1.2	Kupé.....	2
1.3	Velkoprostorový vůz se sedadly uspořádanými proti sobě	3
1.4	Velkoprostorový vůz se sedadly uspořádanými za sebou a proti sobě	4
1.5	Výhody velkoprostorových uspořádání	4
1.6	Výhody sedadel uspořádaných za sebou v porovnání se sedadly uspořádanými proti sobě	5
1.7	Výběr nejvhodnějšího uspořádání pro moderní elektrické trakční jednotky.....	8
2	Přehled základních technických požadavků kladených na sedadla železničních vozidel	9
2.1	TSI (Technické specifikace pro interoperabilitu).....	9
2.2	UIC (Mezinárodní unie železniční)	9
2.3	TSI PRM.....	10
2.4	UIC 566	12
2.5	UIC 567	13
2.6	GulaSi	15
3	Analýza způsobů upevnění sedadel ve vozidle	20
3.1	C – drážka a skříň vozu	20
3.2	Upevnění sedadel do podlahy.....	20
3.3	Upevnění sedadel do stropu	22
3.4	Upevnění sedadel „na bednu“	22
3.5	Upevnění sedadel do bočnice	23
4	Návrh a výběr konstrukčního řešení konzoly sedadel	25
4.1	Přepočítání silových účinků.....	25
4.2	První zátěžný stav.....	26
4.3	Druhý zátěžný stav	26
4.4	Třetí zátěžný stav.....	27
4.5	Souhrn reakčních sil pro jednotlivé zátěžné stavy	28
4.6	Konstrukční řešení se dvěma nosnými profily (konzola č. 1)	28
4.7	Konstrukční řešení s jedním nosným profilem (konzola č. 2).....	29
4.8	Provedení polohovatelné vzpěry	30
4.9	Způsob upevnění konzoly do bočnice	31
4.10	Způsob upevnění sedadel ke konzoly.....	32
4.11	Výběr materiálů.....	33
4.12	Nastavení modelů pro pevnostní výpočet MKP.....	34



4.13	<i>Znázornění vypočtených napjatostí při prvním zátěžném stavu</i>	<i>36</i>
4.14	<i>Znázornění vypočtených napjatostí při druhém zátěžném stavu</i>	<i>37</i>
4.15	<i>Vyhodnocení výsledků výpočtů uvedených v kapitolách 4.13 a 4.14</i>	<i>39</i>
4.16	<i>Změna konstrukčního provedení polohovatelné vzpěry</i>	<i>40</i>
4.17	<i>Nastavení upraveného modelu pro výpočet MKP</i>	<i>40</i>
4.18	<i>Znázornění vypočtených napjatostí pro upravenou konzolu</i>	<i>41</i>
4.19	<i>Vyhodnocení výsledku výpočtu uvedeného v kapitole 4.18</i>	<i>42</i>
4.20	<i>Kontrola výsledků výpočtů MKP analytickou metodou</i>	<i>43</i>
4.21	<i>Ohyb v rovině YZ</i>	<i>44</i>
4.22	<i>Ohyb v rovině XZ</i>	<i>45</i>
4.23	<i>Kroutící moment podle osy kruhové trubky konzoly</i>	<i>47</i>
4.24	<i>Výpočet redukovaného napětí</i>	<i>48</i>
Závěr		51
Citovaná literatura		52
Seznam obrázků		53
Seznam tabulek		54
Seznam grafů		55
Seznam příloh		55

Úvod

Železniční doprava, zejména regionální a vysokorychlostní, patří mezi jedny z nejperspektivnějších oblastí hromadné přepravy osob na střední i delší vzdálenosti. Aby vlak mohl konkurovat osobním automobilům, je třeba neustálých inovací pojezdové části i interiéru vozidla.

Interiér vozu hraje zásadní roli v tom, jak cestující vnímá dobu strávenou ve vlaku. Řešení interiéru ovlivňuje cestovní pohodu a spokojenost cestujícího. Mezi hlavní prvky interiérů patří bezesporu sedadla, na kterých cestující tráví velkou část z cestovní doby. Z pohledu projektanta vozidel je třeba hledat co nejvhodnější způsob upevnění sedadel do skříně vozidla. Se zvyšujícími se požadavky na bezpečí a komfort cestujících prošlo i upevnění sedadel (dále jen „upevnění“) v průběhu let řadou změn.

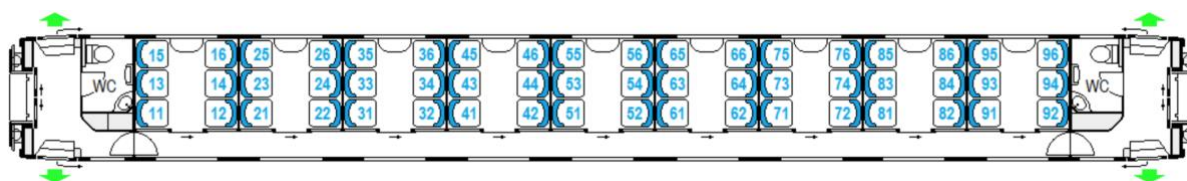
Cílem této bakalářské práce je navrhnout vhodný způsob upevnění, který vyhoví řadě požadavků na něj kladených. První kapitola bakalářské práce popisuje výhody a nevýhody jednotlivých uspořádání sedadel v interiéru moderních elektrických trakčních jednotek. Druhá kapitola se zaměřuje na technické požadavky, kterými se výrobce musí/nemusí řídit při návrhu sedadel a jejich uspořádání. Ve třetí kapitole jsou popsány jednotlivé způsoby upevnění konzol do skříně vozu. Ve čtvrté kapitole je, s přihlédnutím k poznatkům získaným z prvních tří kapitol, navržena konzola upevnění sedadel.

V této bakalářské práci se budu zabývat pouze druhou vozovou třídou.

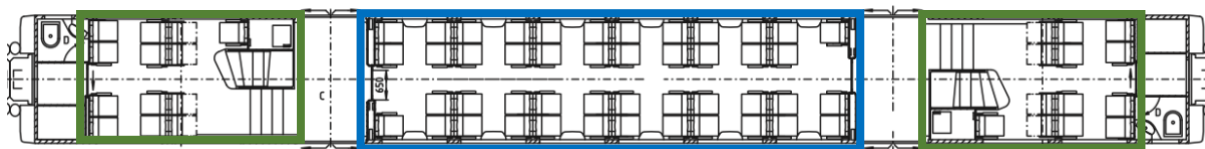
Tato bakalářská práce vznikla za podpory společnosti Siemens Mobility. Za věcné připomínky a cenné rady děkuji ing. Otomaru Vincikovi a ing. Ondřeji Cvrčkovi. Za odborné vedení, cenné rady na pravidelných konzultacích a ochotu děkuji docentovi Josefu Kolářovi.

1 Rešerše na téma: řešení interiéru elektrických trakčních jednotek pro regionální, dálkovou a vysokorychlostní dopravu

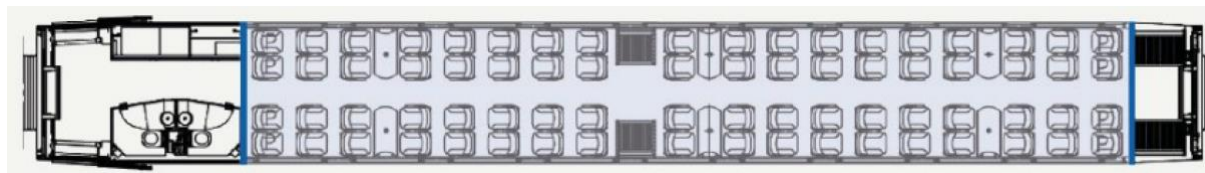
V průběhu let vznikla z pohledu uspořádání sedadel celá řada různých řešení interiérů železničních vozidel. Mezi hlavní zástupce můžeme považovat vozy s kupé (Obrázek 1.1.1), velkoprostorové vozy s uspořádáním sedadel proti sobě (Obrázek 1.1.2), velkoprostorové vozy s uspořádáním sedadel za sebou a proti sobě (Obrázek 1.1.3). Uspořádání sedadel je závislé na podmínkách zadavatele a na požadované obsaditelnosti.



Obrázek 1.1.1 – Uspořádání sedadel do kupé osobního vozu dopravce České dráhy [1]



Obrázek 1.1.2 – Uspořádání sedadel proti sobě elektrické jednotky řady 471 Cityelefant společnosti Škoda Transportation [2]



Obrázek 1.1.3 - Uspořádání sedadel za sebou a proti sobě trakční jednotky platformy Velaro společnosti Siemens [3]

1.1 Rozdíl v interiéru u vozů pro regionální a dálkovou dopravu

Tato problematika by mohla dát vzniknout samostatné bakalářské práci. Já však zmíním hlavní rozdíl, který přímo souvisí s uspořádáním sedadel ve vozech.

Regionální vlaky se vyznačují krátkou dobou mezi zastávkami, a tedy i nízkou střední dobou cestování. Z tohoto důvodu je hlavním požadavkem při návrhu interiéru maximalizace kapacity, a to i na úkor komfortu cestujících. Proto jsou sedadla v těchto vlacích umísťována s menší roztečí a obecně je kladen větší důraz na praktičnost, tzn. odolnost a jednoduchost sedadel nežli na pohodlí cestujících.

1.2 Kupé

Tento koncept byl populární zejména v minulosti, avšak u Českých drah se stále běžně využívá. Jedná se o vůz, který je s pomocí příček rozdělen do několika kupé (Obrázek 1.1.1). Tato konfigurace je typická pro dálkové vlaky. Ve starších vozech jsou kupé uspořádány

s osmi sedadly v druhé třídě a s šesti sedadly v první třídě (osobní vozy typu UIC Y). V modernějších vozech je pouze šest sedadel na kupé, a to jak pro první, tak pro druhou třídu (osobní vozy typu UIC Z).



Obrázek 1.2.1 – Vůz Bmz dopravce České dráhy [4]

Hlavní výhody tohoto uspořádání jsou

- možnost změny teploty nebo hlasitosti rozhlasu v rámci jednoho kupé,
- uspořádání s oddělenou postranní uličkou a shodnou polohou oken se sedadly,
- kupé poskytující soukromí skupině známých osob.

Hlavní nevýhody tohoto uspořádání jsou

- příčky tvořící jednotlivá kupé představují určitou hmotnost a zabírají určitý prostor,
- komplikovaný upgrade vozu v době jeho životnosti,
- znesnadněné cateringové služby z důvodu uzavřených kupé, [5]
- Prodloužení nástupů a výstupů z důvodu uzavřených kupé. [5]
- Prodloužení času na kontrolu jedné jízdenky průvodčím. Cestující nevidí průvodčího přicházet, a tak si včas nepřipraví jízdenku.

1.3 Velkoprostorový vůz se sedadly uspořádanými proti sobě

Velkoprostorové vozy se sedadly uspořádanými proti sobě (Obrázek 1.1.2) jsou typické pro vlaky regionální dopravy.

Hlavní výhoda této organizace je shodná poloha oken s polohou sedadel. Všichni cestující mají tedy zaručený výhled ze svého sedadla.



Obrázek 1.3.1 – Řešení vozu Regio plus společnosti Borcad [6]

1.4 Velkoprostorový vůz se sedadly uspořádanými za sebou a proti sobě

Velkoprostorový vůz se sedadly uspořádanými za sebou a proti sobě (Obrázek 1.1.3) se v posledních letech ukazuje jako nejvýhodnější, a to jak pro dálkové, tak pro regionální jednotky. Přednosti tohoto uspořádání si probereme níže.

Nevýhoda těchto vozů je dána nezávislostí polohy oken na poloze sedadel. Každý cestující tedy nemá zaručený výhled ze svého sedadla.



Obrázek 1.4.1 – Interiér vlaku Viaggio Comfort (Railjet) společnosti Siemens [7]

1.5 Výhody velkoprostorových uspořádání

HVAC (heating, ventilating, air-conditioning) – Ve velkoprostorovém uspořádání (dále jen „VU“) lze dokonaleji a jednodušeji dosáhnout rovnoměrného rozložení teploty a proudění vzduchu než v malých prostorách kupé. [5]

Osvětlení – Ve VU lze dokonaleji a jednodušeji dosáhnout rovnoměrného rozložení osvětlenosti než v malých prostorách. [5]

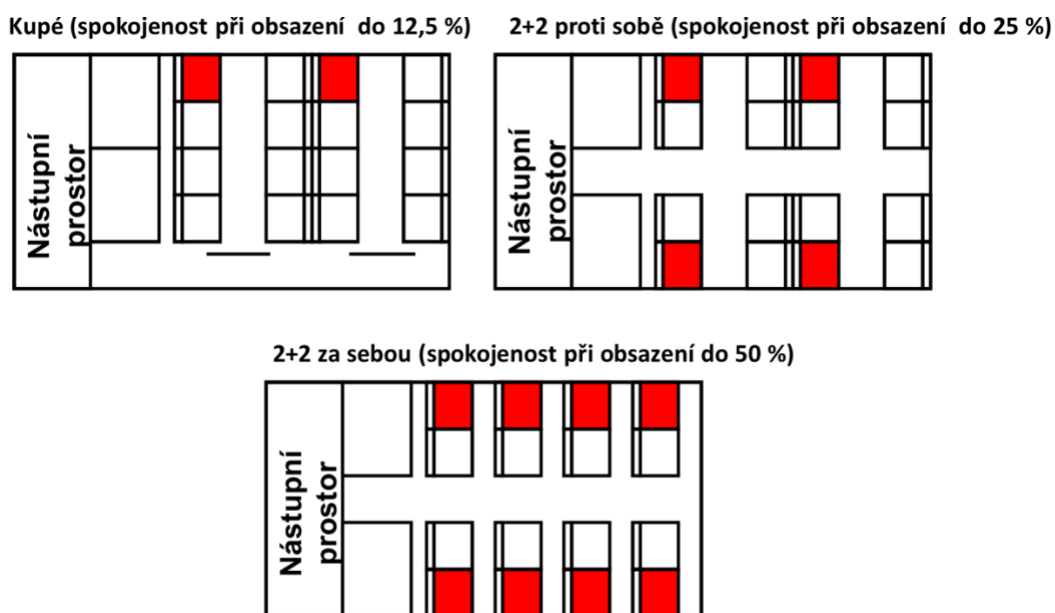
Informační systémy – Ve VU lze dokonaleji a jednodušeji zajistit optické a akustické informace než v malých prostorách. [5]

Občanská bezpečnost – Velké, přehledné, dobře osvětlené a kontrolované prostory pod dohledem spolucestujících a personálu znemožňují páchaní trestných činů, a tak napomáhají ke zvýšení občanské bezpečnosti ve veřejné dopravě. [5]

Rychlost kontroly jízdenek – Cestující vidí, že průvodčí se blíží k jeho sedadlu, a tak má dostatek času si připravit jízdenku.

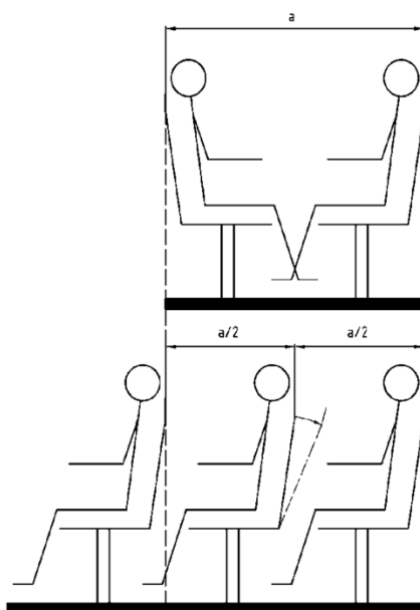
1.6 Výhody sedadel uspořádaných za sebou v porovnání se sedadly uspořádanými proti sobě

Při jízdě veřejnou dopravou většina populace preferuje soukromí. Je proto žádoucí zvolit takovou konfiguraci vozu, při které cestující nebudou mít přímého souseda. Z tohoto hlediska vychází nejlépe rozmístění sedadel za sebou, kde pocit soukromí lze u každého cestujícího docílit i při padesátiprocentní zaplněnosti.



Obrázek 1.6.1 – Spokojenost cestujícího při jízdě bez přímého souseda [5]

Prostor pro nohy – Konfigurace sedadel za sebou, oproti sedadlům proti sobě, má tu výhodu, že využívá prostor pod sedadly. Lze tak dosáhnout většího komfortu při stejné rozteči sedadel, nebo stejného komfortu při rozdílné rozteči sedadel.



Obrázek 1.6.2 - Prostorové výhody uspořádání za sebou [5]

Stolky – cestující mnohdy využívají cestu strávenou ve vlaku pro činnosti, ke kterým je potřeba vhodný stolek (občerstvení, čtení si, práce na notebooku a další). Každá ze zmíněných konfigurací má odlišně řešené stolky. Z hlediska bezpečnosti by však bylo nejvýhodnější, kdyby cestující žádný stolek nevyužívali, při nehodě může stolek zachytit kinetickou energii člověka a poranit ho v oblasti břicha.

Kupé – nejhůře řešené stolky jsou v kupé, kde je pouze malý, spíše odkládací, stolek u okna a je tedy přístupný jen dvěma cestujícími. V některých vozech mají lidé cestující u uličky možnost využít malý vysouvací stolek, který je svou velikostí vhodný pouze pro odložení drobností.



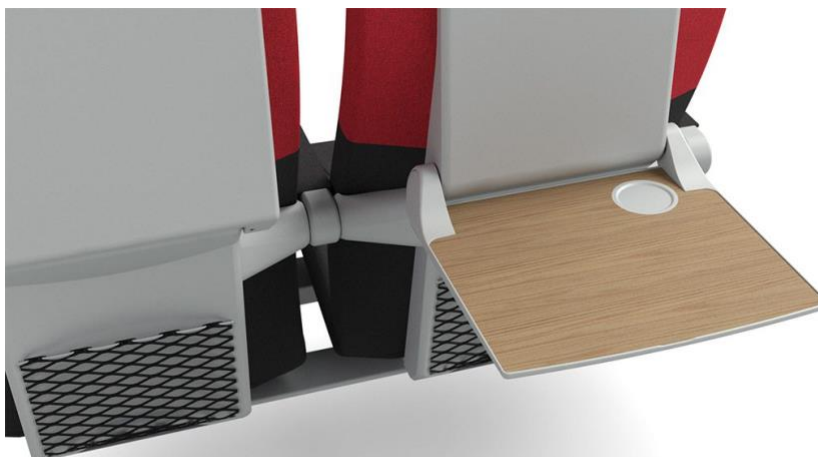
Obrázek 1.6.3 – Stolky v kupé vozu Bmz od dopravce České dráhy [4]

Velkoprostorový vůz s uspořádáním sedadel proti sobě – U VU je rozdíl, zda se jedná o dálkové, či regionální vlaky. U dálkových vlaků mají cestující k dispozici velký, společný stolek pro čtyři osoby. Nevýhodou je nedostatek soukromí, velká vzdálenost hrany stolu od těla a zhoršené podmínky pro vystupování a nastupování. U regionálních vlaků jsou stolky řešené stejně jako u kupé.



Obrázek 1.6.4 – Společný stolek vlaku Viaggio Comfort (Railet) společnosti Siemens [8]

Velkoprostorový vůz s uspořádáním sedadel za sebou – Stolky u sedadel v konfiguraci „za sebou“ jsou z mnoha hledisek nejvýhodnější. Bývají umístěny na opěradlech. Jsou sklopné, a tedy nebrání při posazování a odcházení. Svou polohou jsou vhodné pro řady činností a zajišťují soukromí, protože každý cestující má k dispozici svůj vlastní.



Obrázek 1.6.5 – Stolek na opěradle sedadla Genio společnosti Borcad [9]

1.7 Výběr nejvhodnějšího uspořádání pro moderní elektrické trakční jednotky

Z výše zmíněných vlastností jednotlivých variant je zřejmé, že jako nejvhodnější konfigurace se v současné době pro moderní elektrické trakční jednotky, a to pro regionální i dálkové, používá velkoprostorové uspořádání se sedadly za sebou i proti sobě (Obrázek 1.1.3). Sedadla organizována za sebou převládají a 50 % jich je otočeno jedním směrem a 50 % druhým směrem. Sedadla proti sobě jsou v jednotkách přítomny kvůli vytvoření symetrie a kvůli rodinám s dětmi či skupinám osob, kteří si přejí cestovat společně na jedné „čtyřce“. Navíc, na metr délky vozu má toto uspořádání nejvyšší počet sedadel.

2 Přehled základních technických požadavků kladených na sedadla železničních vozidel

Elektrické trakční jednotky musí splňovat řadu technických požadavků, já 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 je v této kapitole již nebudu zmiňovat.

Jak jsem již dříve zmiňoval, 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 TSI (Technické specifikace pro interoperabilitu)

„TSI neboli Technické specifikace pro interoperabilitu definují technické a provozní standardy, které musí dodržet každý subsystém nebo část subsystému za účelem dosažení nezbytných požadavků a musí zaručit interoperabilitu železničních systémů Evropské unie.“ [10] TSI jsou závazné pro transevropskou železniční síť. To znamená, že každé vozidlo provozované na transevropské železniční síti musí v době svého uvedení do provozu tyto specifikace splňovat. Jednotlivé požadavky ve specifikacích se mohou lišit například v závislosti na délce vlaku, maximální konstrukční rychlosti vlaku nebo typu kolejového vozidla.

2.2 UIC (Mezinárodní unie železniční)

Cíl UIC [11]

- Podporovat železniční dopravu na světové úrovni s cílem vyřešit současné a budoucí výzvy dopravy a udržitelného vývoje.
- Podporovat interoperabilitu a SSO (Standard-Setting Organization neboli organizace nastavující standardy), vytvořit nový světový IRS (International Railway solution neboli mezinárodní železniční řešení) pro železnice
- Podporovat rozvoj všech forem mezinárodní spolupráce mezi členy, podporovat sdílení nejlepších řešení.
- Podporovat členy v jejich snahách vyvinout nové činnosti a nové oblasti aktivity.
- Navrhnout nové způsoby na vylepšení technických a environmentálních provedení železniční dopravy, zvýšit konkurenci, snížit náklady

2.3 TSI PRM

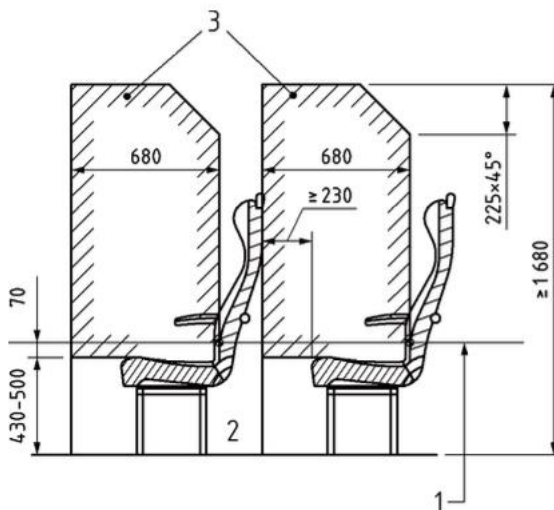
„Cílem této TSI je zvýšit přístupnost železniční dopravy pro osoby se zdravotním postižením a osoby s omezenou schopností pohybu a orientace.“ [12]



Obrázek 2.3.1 - Označení vyhrazených sedadel [12]

V této bakalářské práci zmíním pouze ty informace z TSI PRM, které se přímo týkají sedadel.

„Nejméně 10 % sedadel v rámci fixní vlakové soupravy nebo v rámci jednotlivého kolejového vozidla či jednotlivé třídy musí tvořit sedadla vyhrazená pro osoby se zdravotním postižením a osoby s omezenou schopností pohybu a orientace.“ [12]

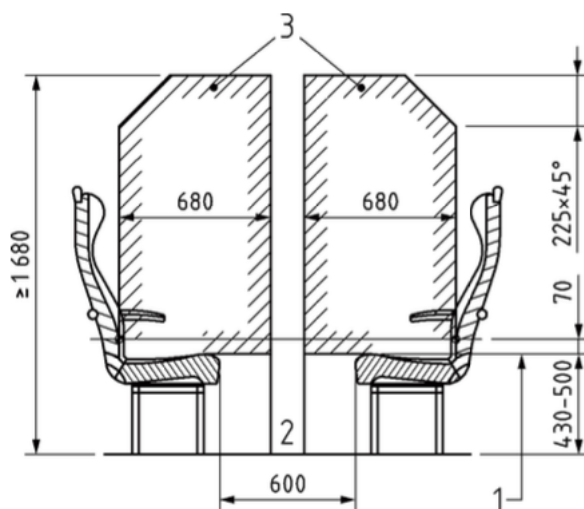


Obrázek 2.3.2 – Vyhrazená sedadla v uspořádání za sebou [12]

V případě, že vyhrazená sedadla v rámci fixní vlakové soupravy nebo v rámci jednotlivého vozidla či jednotlivé třídy tvoří sedadla v uspořádání za sebou, musí tato sedadla splňovat požadavky dle obrázku (Obrázek 2.3.2).

„Vzdálenost mezi předním povrchem opěradla sedadla a svislou rovinou procházející nejzadnější částí předcházejícího sedadla musí být nejméně 680 mm, přičemž požadovaný prostor mezi sedadly se měří od středu sedadla 70 mm nad místem, kde čalounění

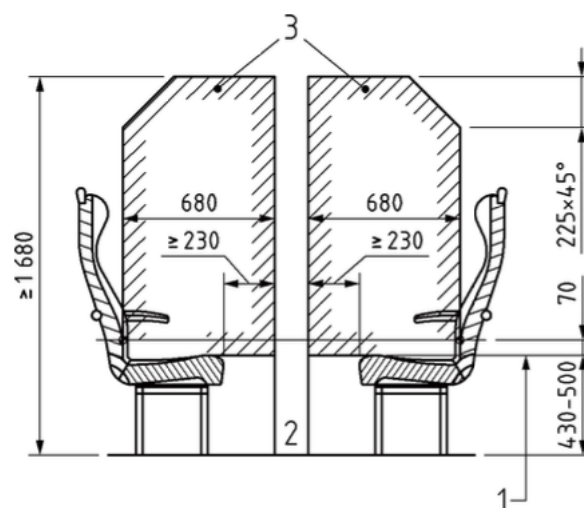
navazuje na opěradlo zad. Rovněž mezi předním okrajem čalounění sedadla a uvedenou svislou rovinou předcházejícího sedadla musí být volný prostor nejméně 230 mm.“ [12]



Obrázek 2.3.3 – Vyhrazená sedadla v uspořádání proti sobě [12]

V případě uspořádání sedadel proti sobě je nutno pro vyhrazená sedadla dodržet požadavky dle obrázku (Obrázek 2.3.3).

„Vzdálenost mezi předními okraji čalounění každého sedadla musí být nejméně 600 mm. Tuto vzdálenost je třeba dodržet i v případě, kdy jedno ze sedadel uspořádaných proti sobě není sedadlem vyhrazeným.

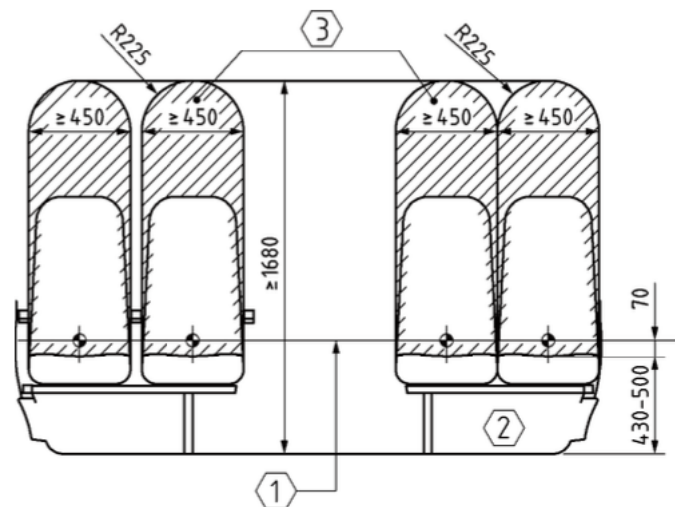


Obrázek 2.3.4 – Vyhrazená sedadla v uspořádání proti sobě se sklopným stolem [12]

Pokud vyhrazená sedadla v uspořádání za sebou jsou vybavena sklopným stolem, musí tato sedadla splňovat požadavky vyplývající z obrázku (Obrázek 2.3.4).

„Vodorovná světlá vzdálenost mezi předním okrajem čalounění sedadla a okrajem stolu musí být nejméně 230 mm. Pokud jedno ze sedadel uspořádaných proti sobě není vyhrazeným sedadlem, lze vzdálenost mezi ním a stolem snížit, a to za předpokladu, že zůstane zachována vzdálenost mezi předními okraji čalounění sedadel 600 mm. U stolků

upevněných na boční stěně, jež nezasahují nad středovou osu sedadla u okna, není třeba shodu s tímto podbodem ověřovat.“ [12]



Obrázek 2.3.5 – Výška nad vyhrazeným sedadlem [12]

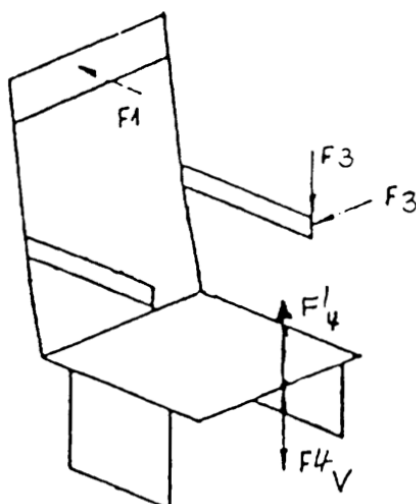
Prostor nad vyhrazeným sedadlem musí splňovat požadavky dle obrázku (Obrázek 2.3.5.), který mimo jiné specifikuje minimální šířku sedací plochy tohoto sedadla.

„Celá užitečná sedací plocha vyhrazeného sedadla musí být široká nejméně 450 mm. Svršek čalounění všech vyhrazených sedadel musí být na předním okraji sedadla mezi 430 mm a 500 mm nad úrovní podlahy. Světlá výška nad každým sedadlem musí být nejméně 1 680 mm od úrovně podlahy, kromě dvoupodlažních vlaků, u nichž jsou nad sedadly k dispozici police na zavazadla. V takovém případě je pro vyhrazená sedadla pod policemi na zavazadla přípustná snížená světlá výška 1 520 mm, a to za předpokladu, že nejméně 50 % vyhrazených sedadel má stále světlou výšku 1 680 mm.“

Aby interiér vozu pôsobil celistvým dojmom, je žiadoucí mať sedadla v celom voze se stejnými rozměry. Pro návrh sedadel ve vozu lze tedy využít rozměry uvedené v TSI PRM, a to jak pro vyhrazená sedadla, tak pro nevyhrazená sedadla.

2.4 UIC 566

Tato vyhláška definuje, jak by se měli provádět pevnostní zkoušky vozů a jeho komponent. 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. Pokud si zákazník nepřeje splnění této vyhlášky, není výrobce ze zákona povinen tuto vyhlášku v České republice dodržet.



Obrázek 2.4.1 – Síly působící na sedadlo [13]

Obrázek 2.4.1 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 (Tabulka 2.4.1).

„Zkouška sedadla spočívá v postupném zatěžování sedadla od 0 N po zkušební hodnoty sil (Tabulka 2.4.1). Sedadlo by mělo být zatíženo zkušební silou na nejméně 1 sekundu. Zatížení by měla být aplikována postupně, třikrát na jedno sedadlo.“ [13]

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_3	750	Vertikálně a horizontálně na samostatném sedadle. Pokud se nejedná o samostatné sedadlo pouze vertikálně ¹ .
F_4	1 000	Dolů, aplikováno na povrch sedla v oblasti 380 X 220 mm nebo
F'_4	1 200	nahoru ¹ na předním okraji sedadla.

Tabulka 2.4.1 – Hodnoty testovacích sil [13]

Skládací stolek

750 N vertikálně do středu

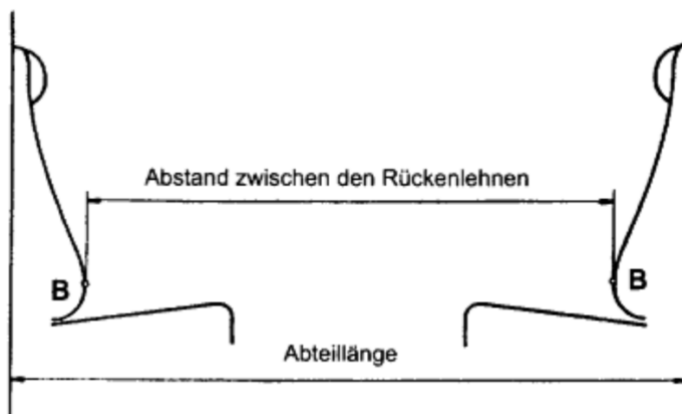
Sklápěcí sedadlo

1 000 N vertikálně ve středu sedací plochy [13]

2.5 UIC 567

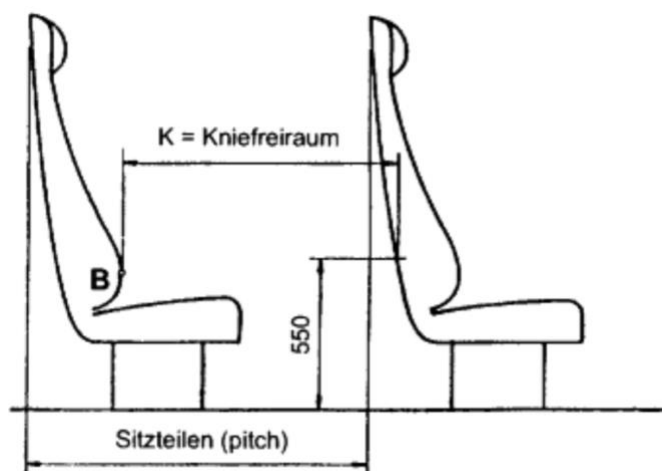
Pokud si zákazník nepřeje splnění této vyhlášky, není výrobce ze zákona povinen tuto vyhlášku v České republice dodržet. UIC 567 zaručuje cestujícím určitou míru komfortu, který se docílí dodržáním rozměrových požadavků, které tato vyhláška doporučuje. Rozměrové požadavky na sedadla se zde liší v závislosti na tom, jestli se jedná o vozy první, nebo druhé třídy.

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



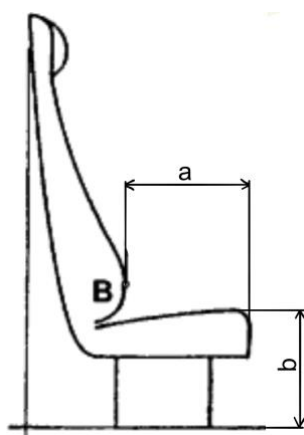
Obrázek 2.5.1 – Uspořádání sedadel proti sobě [14]

Pro uspořádání sedadel proti sobě jsou v normě předepsané rozměry, které jsou zřejmé z obrázku (Obrázek 2.5.1). „Vzdálenost mezi opěradly (kóta označovaná jako „Abstand zwischen den Rückenlehnen“) by měla být 1 450 mm. Vzdálenost zadních stran zádočných opěrek (kóta označovaná jako „Abteillänge“) vyhláška stanovuje na 1 850 mm.“ [14]



Obrázek 2.5.2 – Uspořádání sedadel za sebou [14]

Pro uspořádání sedadel za sebou jsou v normě předepsané rozměry, které jsou zřejmé z obrázku (Obrázek 2.5.2). „Rozteč sedadel „za sebou“ (kóta označovaná jako „Sitzteilen“) vyhláška stanovuje na 940 mm. Prostor pro kolena, který se určuje ve výšce 550 mm nad povrchem podlahy (kóta označovaná jako „Kniefreiraum“) je doporučen na 550 mm.“ [14]



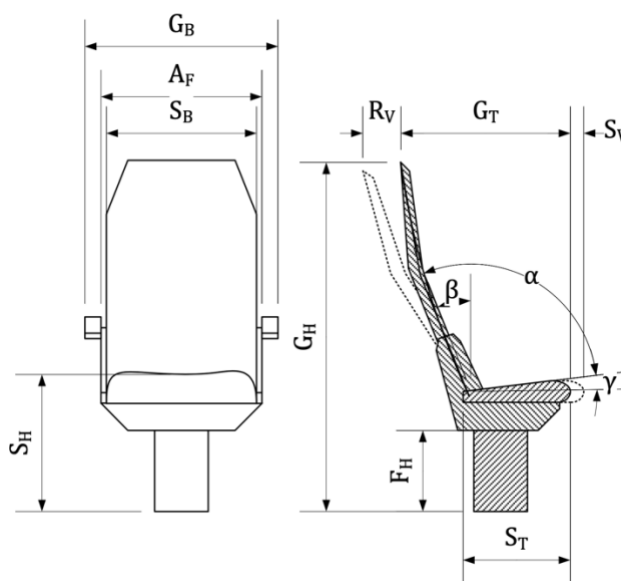
Obrázek 2.5.3 – Základní rozměr sedadla [14]

Rozměry jednotlivých sedadel jsou ve vyhlášce UIC 567 celkem přesně stanoveny. Já zde však zmíním pouze ty nejdůležitější z nich. “Výška sedáku (rozměr „b“ z obrázku Obrázek 2.5.3) po stlačení tíhou cestujícího, měřená od podlahy, by měla být v rozmezí od 390 mm do 430 mm. Hloubka sedáku, měřeno od kraje sedáku, (rozměr „a“ z obrázku Obrázek 2.5.3) je ve vyhlášce stanovena na 430 mm a šířka sedáku je zde 450 mm.” [14]

2.6 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 prodejně na celém trhu.

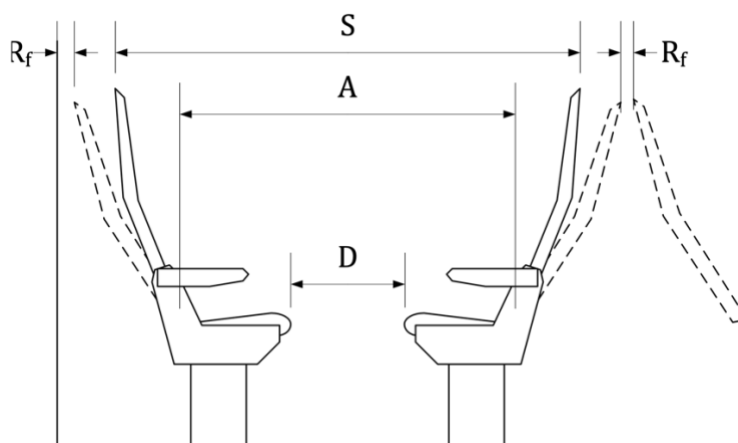


Obrázek 2.6.1 – Základní rozměr sedadla [15]

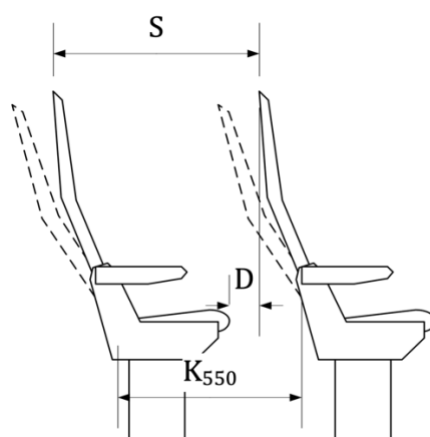
Rozměr	Ø doba jízdy do 2h [mm]	Ø doba jízdy nad 2h [mm]
G_H	n.s. ²	1220 - 1260
α	n.s.	110° - 115°
S_T	430 - 450	450
S_H	450	450
A_F	≥450	≥480

Tabulka 2.6.1 – Základní rozměry sedadel [15]

Obrázek 2.6.1 ukazuje, jaké rozměry sedadel jsou v GrulaSi předepisovány. Jednotlivé rozměry se liší v závislosti na průměrné délce jízdy a na vozové třídě (uvedu pouze rozměry pro druhou vozovou třídu), vybrané hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 2.6.1). Některé rozměry v určitých vozech nejsou vůbec specifikovány.



Obrázek 2.6.2 – Uspořádání sedadel proti sobě



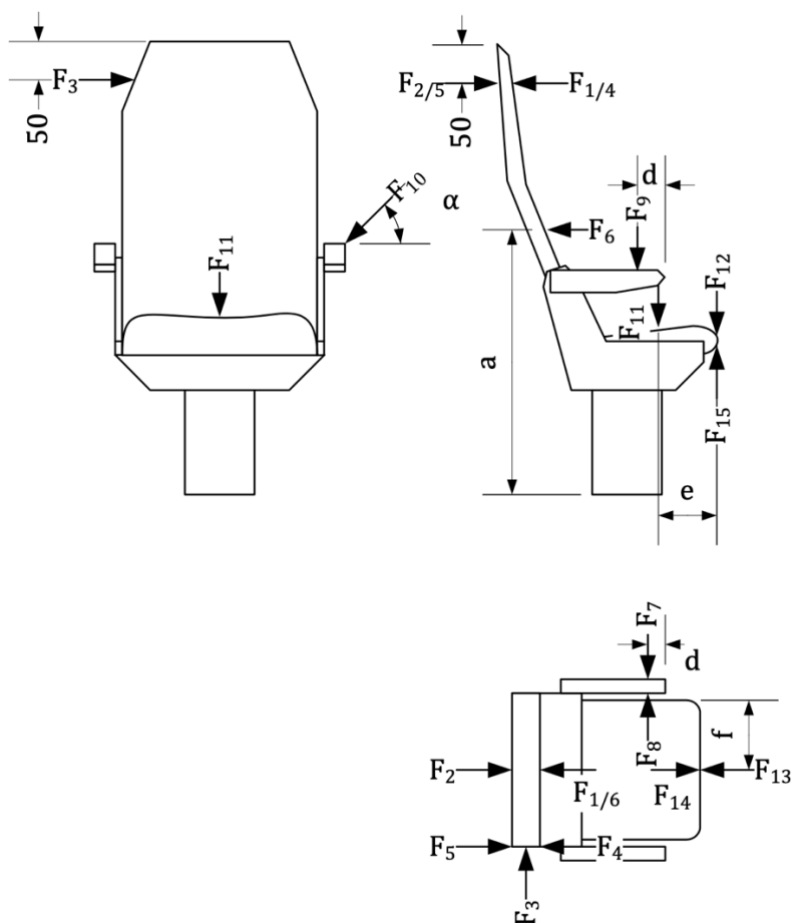
Obrázek 2.6.3 – Uspořádání sedadel za sebou

² Není specifikováno

Rozměr	Uspořádání za sebou		Uspořádání proti sobě	
	Ø doba jízdy do 2h [mm]	Ø doba jízdy nad 2h [mm]	Ø doba jízdy do 2h [mm]	Ø doba jízdy nad 2h [mm]
A	n.s.	n.s.	n.s.	≥1450
D	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
S	≥ 940	≥ 940	n.s.	n.s.
K ₅₅₀	≥700	≥700	n.s.	n.s.
R _f	n.s.	n.s.	≥25	≥25

Tabulka 2.6.2 – Hodnoty pro jednotlivá uspořádání [15]

GruLaSi specifikuje vzdálenosti mezi sedadly pro dvě uspořádání. Jednotlivé rozměry pro uspořádání proti sobě (Obrázek 2.6.2) a za sebou (Obrázek 2.6.3) jsou zřejmé z tabulky (Tabulka 2.4.1).



Obrázek 2.6.4 – Síly působící na sedadlo [15]

Síla	Velikost síly [kN]	
	Pružná deformace	Plastická deformace
F1x/F2x	1,5	1,5 ³
F3x	0,5	1,5
F4x/F5x	0,5	1,5
F6x	n.s.	5
F7x-F10x	1 [2] ⁴	1,5
F11x	n.s.	2
F12x	1	n.s.
F13x	2	n.s.
F14x	n.s.	1,5
F15x	1,2	n.s.
F16x	1,2	n.s.
F17x	1,2	n.s.

Tabulka 2.6.3 – Hodnoty namáhání sedadel [15]

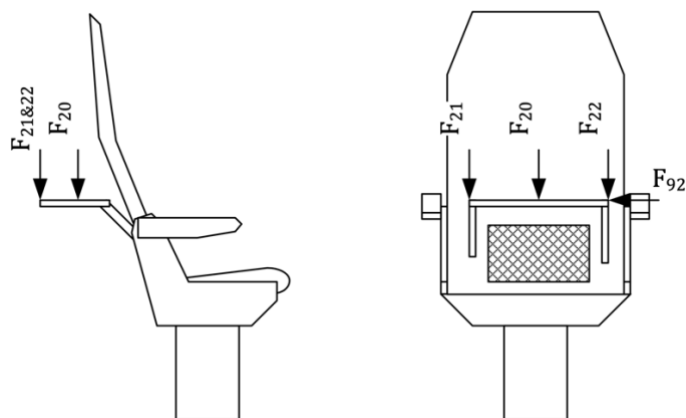
Na obrázku (Obrázek 2.6.4) jsou vidět síly a jejich působišť, které sedadlo namáhají při pevnostních zkouškách. Hodnoty jednotlivých sil jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 2.6.3). Rozlišujeme zde síly, které nezpůsobí plastickou deformaci a síly, které ji způsobí, avšak nepřesáhnou mez pevnosti materiálu.

Síla	Velikost síly [kN]	
	Pružná deformace	Plastická deformace
F20x	0,75	1
F21x/F22x	0,75	1
F23x	0,1	n.s.
F24x	n.s.	0,5
F30x/F31x	1	2
F32x	1	2
F40x – F44x	0,5	1
F50x/F51x F54x/F55x	0,5	1
F52x/F53x	0,5	1
F60x	0,1	n.s.
F61x	0,75	1
F71x	0,75	1
F81x	0,3	n.s.
F82x	0,25	n.s.
F91x	0,5	n.s.
F92x	0,5	n.s.

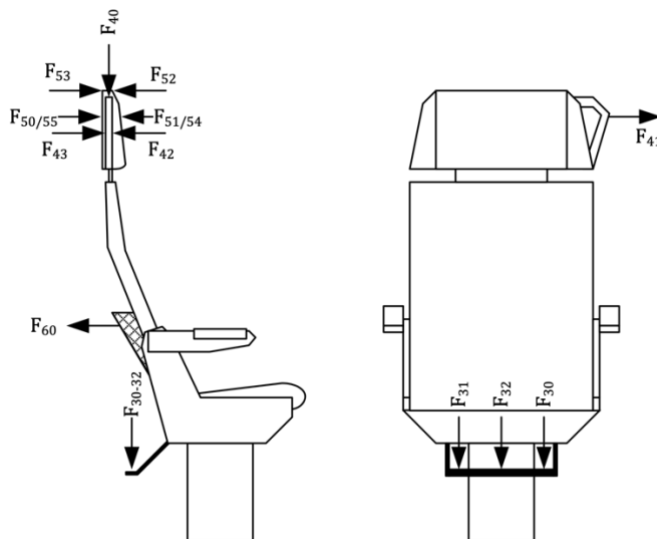
Tabulka 2.6.4 - Hodnoty namáhání příslušenství sedadel [15]

³ S více sedadly na každé sedadlo současně

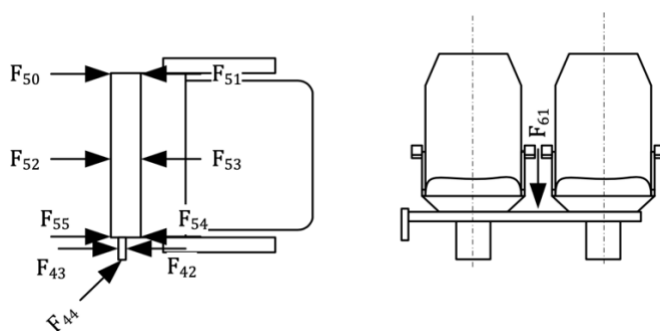
⁴ Pro městské nebo příměstské železnice



Obrázek 2.6.5 - Síly působící na stolec [15]



Obrázek 2.6.6 - Síly působící na opěrku hlavy, opěrku nohou a na síťku pro ukládání věcí [15]



Obrázek 2.6.7 - Síly působící na opěradlo a konzolu sedadla [15]

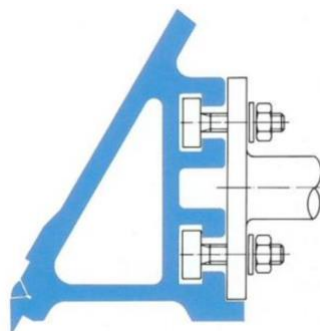
Stejně tak i pro příslušenství sedadel jsou specifikovány působíště sil (Obrázek 2.6.7 - Obrázek 2.6.7) a velikosti těchto sil (Tabulka 2.6.4).

3 Analýza způsobů upevnění sedadel ve vozidle

Způsob, jakým se sedadla upevní ve vozech, hraje zásadní roli v mnoha ohledech. Z hlediska bezpečnosti je třeba, aby sedadla i upevnění byla dimenzována na co největší mechanické namáhání, které může vznikat například při vlakových nehodách. V současné době se pro takové účely nejvíce používá ocel, která je finančně dostupná a má příznivé mechanické vlastnosti. Jednotlivé varianty upevnění se liší i z hlediska životnosti nebo praktičnosti. Existují tři základní druhy upevnění, do podlahy, do bočnice a do stropu. Všechny tři varianty mají ocelovou, svařovanou konzolu, ke které jsou pomocí šroubových spojů přichycena sedadla.

3.1 C – drážka a skříň vozu

Skříň moderních elektrických trakčních jednotek se vyrábí z hliníkových, za tepla protlačovaných profilů, které jsou svařovány do požadovaných tvarů. Součástí hliníkové skříňe jsou i takzvané C – drážky (Obrázek 3.1.1). Jedná se o konstrukční prvky, které slouží k připevnění lehčích komponent interiéru (sedadla, police, vedení kabeláže a další).



Obrázek 3.1.1 - C – drážka se šroubovým spojem [16]

3.2 Upevnění sedadel do podlahy

Tento způsob upevnění je ze všech tří nejjednodušší. Jedna část svařované konzoly je upevněná do bočnice⁵, pomocí C – drážek, a druhá část je opatřena „nohou“ (ocelový sloupek nebo ocelová trubka), která je pomocí šroubového spoje připevněna ke spodku vozu (Obrázek 3.2.1).

⁵ Bočnice je boční stěna skříňe vozu



Obrázek 3.2.1 – Upevnění do podlahy sedadel Regio společnosti Borcad [17]

Existují i provedení, ve kterých je konzola sedadel ukotven z obou stran, pomocí ocelových trubek nebo sloupků, do spodku vozu (Obrázek 3.2.2). Tyto dva sloupky nebo trubky jsou umístěny zhruba ve středu každého sedadla.



Obrázek 3.2.2 – Upevnění do podlahy sedadel Flexio společnosti Borcad [18]

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

- Kvůli šroubovému spoji, který spojuje spodek vozu s nohou konzoly sedadla, se musí v podlaze vrtat otvory. Cestující do prostoru vozu nanosí na svých botách vodu. Voda zateče otvorem pro šroubové spoje do hrubé stavby vozu a způsobí její korozi. Aby se zamezilo vniknutí vody do hrubé stavby, používá se těsnění. Nelze však nikdy zaručit, že těsnění po celou dobu životnosti vozu bude plnit svou funkci. Při rekonstrukci vozu navíc nemusí sedět otvory pro šroubové spoje a je nutno vrtat otvory nové.

- Nohy překážejí a znemožňují rychlý úklid vozu. Kolem nohou vzniká oblast, kde se udržují nečistoty. Takový prostor poté zhoršuje estetiku interiéru vozu.
- V případě oboustranného ukotvení nohou do spodku vozu se zmenšuje prostor pod sedadly, který by se jinak dal využít například na uschování zavazadel.

3.3 Upevnění sedadel do stropu

Způsob upevnění sedadel do stropu se v současné době u elektrických trakčních jednotek téměř nepoužívá. V minulosti se však toto konstrukční řešení využívalo. Ocelová konzola sedadel je z jedné strany upevněna do bočnice, a druhá strana je, pomocí ocelové nosné trubky a šroubového spoje, ukotvena do stropu (Obrázek 3.3.1).



Obrázek 3.3.1 – Upevnění sedadel do stropu v motorové voze řady 842 dopravce České dráhy [19]

Výhodou tohoto řešení je zachování celistvosti podlahy. Do podlahy nejsou vyvrtány otvory, a tak se sníží riziko koroze hrubé stavby. Pro upevnění sedadel i polic se používá stejná nosná trubka, která navíc plní funkci madel.

Nevýhodou této konstrukční varianty jsou zvýšené požadavky na pevnost střechy (střecha je navíc zatěžována tíhou sedadel a tíhou cestujících). Zvýšené požadavky na pevnost střechy zapříčiní zvýšené náklady na provoz i výrobu takovýchto vozů. Při rekonstrukci vozu navíc nemusí sedět otvory pro šroubové spoje ve stropu a je nutno vrtat otvory nové.

3.4 Upevnění sedadel „na bednu“

Upevnění na bednu se používá v případech, kdy je potřeba některé komponenty exteriéru umístit do interiéru, z důvodu nedostatku místa. Děje se tak především u nízkopodlažních jednotek, kdy se do beden umísťuje například výstroj brzd.



Obrázek 3.4.1 – Upevnění sedadel na bednu elektrické jednotky Stadler Flirt dopravce Leo Express

Nevýhodou tohoto řešení je narušení celistvosti podlahy, zvýšené riziko koroze hrubé stavby (otvory v podlaze) a zmenšení prostoru pro nohy a zavazadla.

3.5 Upevnění sedadel do bočnice

Upevnění sedadel do bočnice je v moderních elektrických trakčních jednotkách velice rozšířené. Ocelová konzola sedadel je upevněna pouze z jedné strany, a to do bočnice, pomocí C – drážek (Obrázek 3.5.1).



Obrázek 3.5.1 – Upevnění sedadel do bočnice v elektrické trakční jednotce Desiro HC od společnosti Siemens [20]

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

Nevýhodou tohoto řešení je fakt, že jsou zvýšeny mechanické požadavky na ocelovou konzolu a na bočnici, a to z důvodu chybějící podpěry (konzola - podlaha). Z důvodu absence jedné podpěry vznikají v konzole vyšší ohybové momenty. Pro zachycení zvýšených ohybových momentů se používá vzpěra, která spojuje rozhraní bočnice-podlaha se středem konzoly.



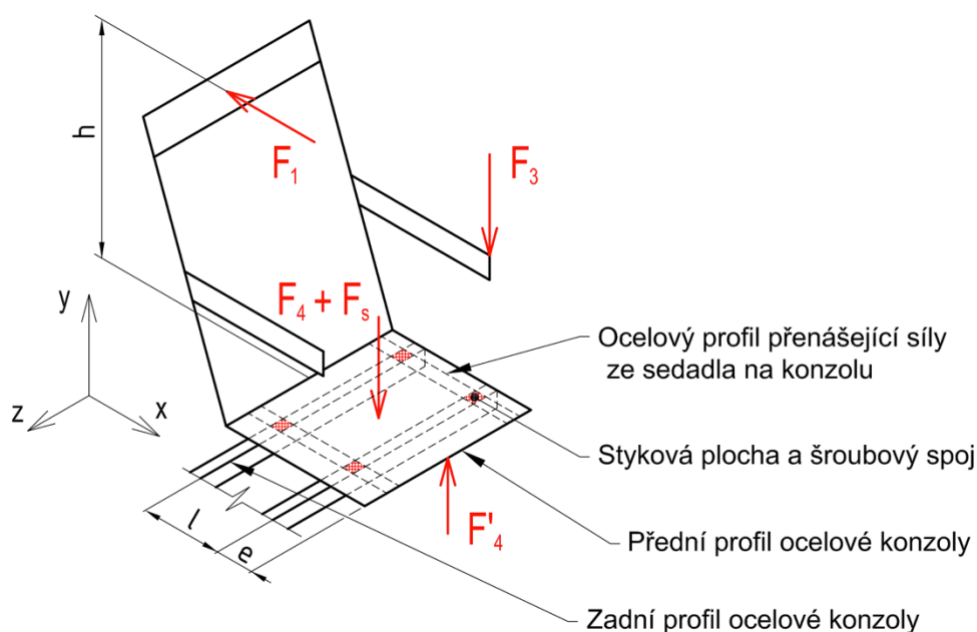
Obrázek 3.5.2 – Ocelová konzola upevněna do bočnice v elektrické jednotce
Stadler Flirt dopravce Leo Express

4 Návrh a výběr konstrukčního řešení konzoly sedadel

V této kapitole budou stanoveny síly, které jsou vyvozeny sedadlem na konzolu při zkoušce dle UIC 566. Poté budou představeny dvě varianty provedení ocelové konzoly a dle kritérií bezpečnosti, technologičnosti a hmotnosti bude vybráno nejvhodnější konstrukční provedení. V posledních podkapitolách této bakalářské práce je proveden návrh konstrukčních spojů, spoje konzola - sedadlo, konzola - bočnice, konzola - ocelová vzpěra, ocelová vzpěra - bočnice.

4.1 Přepočítání silových účinků

Pro určení sil, podle kterých jsem dimenzoval ocelovou konzolu sedadel, jsem vycházel z normy UIC 566 (kap. 2.4). Zkušební síly, definované podle UIC 566, které působí na sedadla jsem přepočítal na síly působící na konzolu sedadel.



Obrázek 4.1.1 – Schéma sil působících na sedadlo

Při přepočítávání sil jsem zvolil hmotnost jednoho sedadla 10 kg. Uvažoval jsem, že síla F_4 a síla od tíhy sedadla F_s působí v ose, která vznikne protnutím roviny symetrie konzoly a roviny symetrie sedadla. Sílu F'_4 jsem umístil na přední okraj sedadla, do roviny symetrie sedadla. Síly by dle UIC 566 měly být aplikovány postupně, třikrát na jedno sedadlo. Síla F_3 zkouší pevnost opěrky a v porovnání se silou F_4 , která má stejný směr, je příliš mála. Z těchto důvodů jsem sílu F_3 nepřepočítával na reakční síly na konzolu.

Výchozí parametry

$$m_s = 10 \text{ kg} \rightarrow F_s = m_s \cdot g = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ N}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$l = 220 \text{ mm}$$

$$e = 100 \text{ mm}$$

4.2 První zátěžný stav

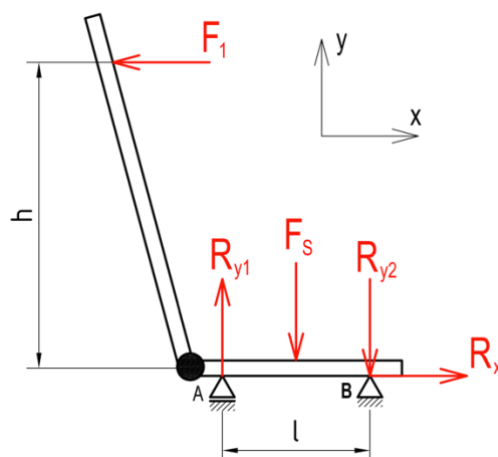
Při prvním zátěžném stavu je aplikována síla F_1 . Aby úloha byla staticky určitá musel jsem zavést reakci do osy x pouze do jedné podpěry. Výsledné, mnou uvažované, rozložení reakčních sil je vidět na obrázku (Obrázek 4.5.1).

Rovnice rovnováhy pro první zátěžný stav

$$\sum F_x: R_x - F_1 = 0 \quad (4.2.1)$$

$$\sum F_y: R_{y1} - R_{y2} - F_S = 0 \quad (4.2.2)$$

$$\sum M_B: F_1 \cdot h + F_S \cdot \frac{l}{2} - R_{y1} \cdot l = 0 \quad (4.2.3)$$



Obrázek 4.2.1 - První zátěžný stav

Z těchto rovnic vyplývá

$$R_x = F_1 = 1\,500\text{ N} \quad (4.2.4)$$

$$R_{y1} = \frac{F_1 \cdot h}{l} + \frac{F_S}{2} = \frac{1\,500 \cdot 0,6}{0,22} + \frac{98,1}{2} = 4\,140\text{ N} \quad (4.2.5)$$

$$R_{y2} = R_{y1} - F_S = 4\,140 - 98,1 = 4\,042\text{ N} \quad (4.2.6)$$

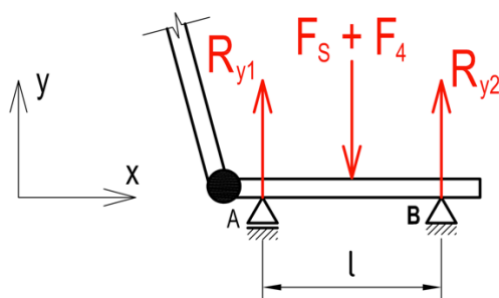
4.3 Druhý zátěžný stav

Při druhém zátěžném stavu je aplikována síla F_4 .

Rovnice rovnováhy pro druhý zátěžný stav

$$\sum F_y: R_{y1} + R_{y2} - F_S - F_4 = 0 \quad (4.3.1)$$

$$\sum M_B: (F_4 + F_S) \cdot \frac{l}{2} - R_{y1} \cdot l = 0 \quad (4.3.2)$$



Obrázek 4.3.1 - Druhý zátěžný stav

Z těchto rovnic vyplývá

$$R_{y1} = \frac{F_4 + F_S}{2} = \frac{1\,000 + 98,1}{2} = 549\,N \quad (4.3.3)$$

$$R_{y2} = F_S + F_4 - R_{y1} = R_{y1} = 549\,N \quad (4.3.4)$$

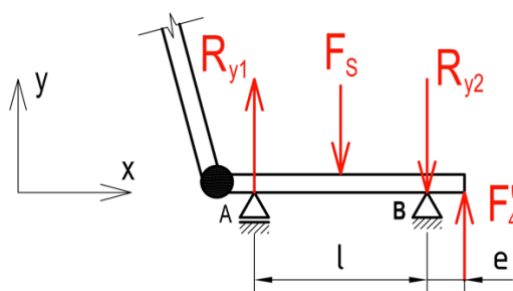
4.4 Třetí zátěžný stav

Při třetím zátěžném stavu je aplikována síla F'_4 .

Rovnice rovnováhy pro třetí zátěžný stav

$$\sum F_y: R_{y1} - R_{y2} - F_S + F'_4 = 0 \quad (4.4.1)$$

$$\sum M_B: F'_4 \cdot e + F_S \cdot \frac{l}{2} - R_{y1} \cdot l = 0 \quad (4.4.2)$$



Obrázek 4.4.1 - Třetí zátěžný stav

Z těchto rovnic vyplývá

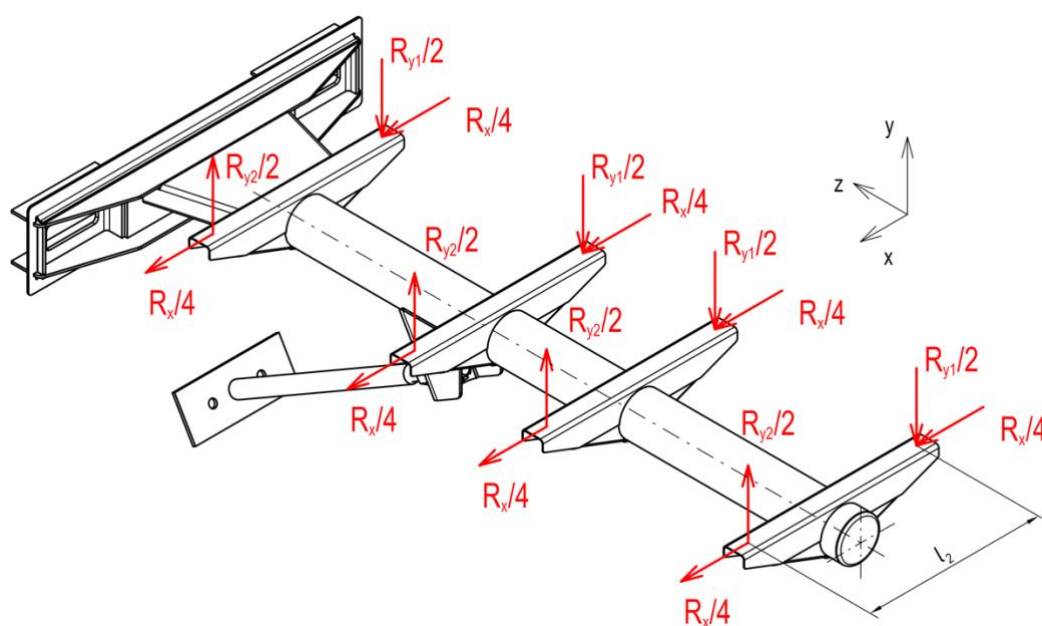
$$R_{y1} = \frac{F'_4 \cdot e}{l} + \frac{F_S}{2} = \frac{1\,200 \cdot 0,1}{0,22} + \frac{98,1}{2} = 595\,N \quad (4.4.3)$$

$$R_{y2} = R_{y1} + F'_4 - F_S = 594,5 + 1\,200 - 98,1 = 1\,696\,N \quad (4.4.4)$$

4.5 Souhrn reakčních sil pro jednotlivé zátěžné stavy

Reakce	První zátěžný stav [N]	Druhý zátěžný stav [N]	Třetí zátěžný stav [N]
R_x	1 500	0	0
R_{y1}	4 140	549	595
R_{y2}	4 042	-549	1696

Tabulka 4.5.1 – Výsledné reakční síly

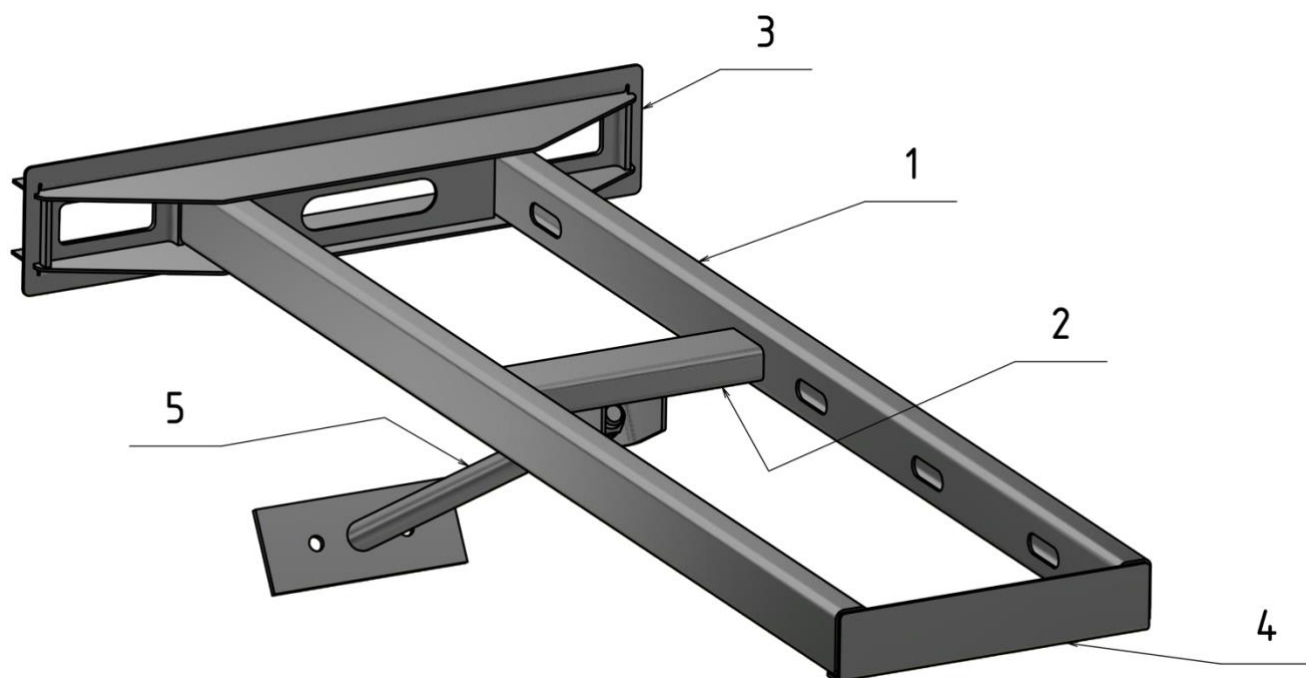


Obrázek 4.5.1 – Výsledné síly vyvozené z dvojice sedadel na ocelovou konzolu č. 2

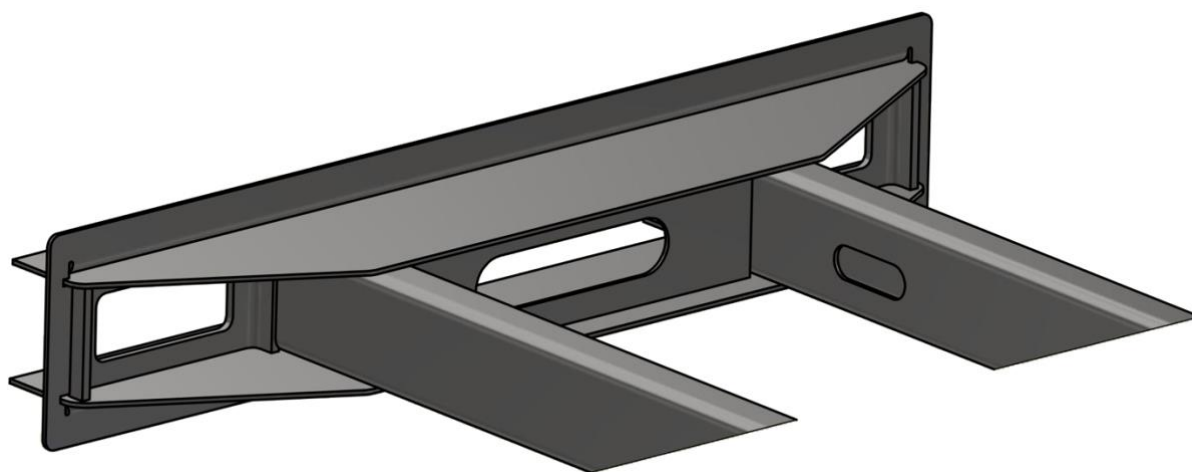
Vypočtené reakční síly jsem podle zákona akce a reakce přenesl na konzolu. Předpokládal jsem rovnoměrné rozdělení reakčních sil mezi jednotlivé stykové plochy.

4.6 Konstrukční řešení se dvěma nosnými profily (konzola č. 1)

První konstrukční variantou je ocelový svařenec, viz obrázek (Obrázek 4.6.1), skládající se ze tří profilů čtvercového průřezu (1, 2). Profily (1) mají po své délce několik technologických otvorů a jsou zhruba uprostřed své délky vzájemně spojeny profilem (2). Konstrukce je uzavřena na jedné straně ohýbaným plechem (4) a na druhé straně svařovanou konstrukcí (3), která zajišťuje možnost upevnění ocelové konzoly do bočnice pomocí c-drážky, kamene a šroubového spoje. Profil (2) a s ním i celá konzola je podepřena za pomoci polohovatelné vzpěry (5), která se připevňuje do c-drážky za pomoci kamene a šroubového spoje.



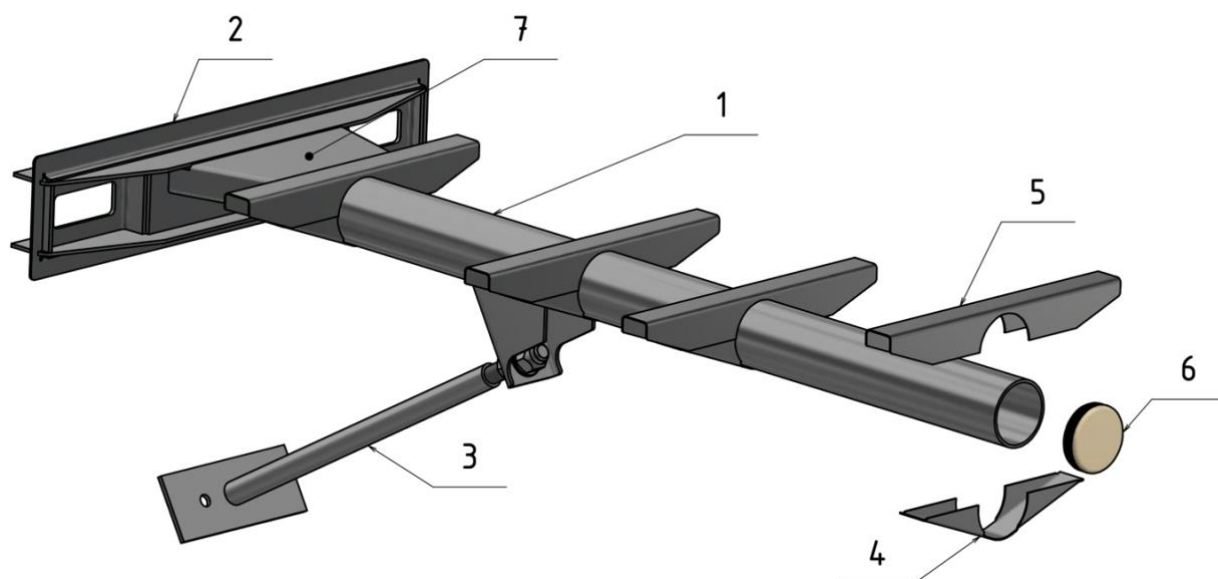
Obrázek 4.6.1 – První varianta ocelové konzoly



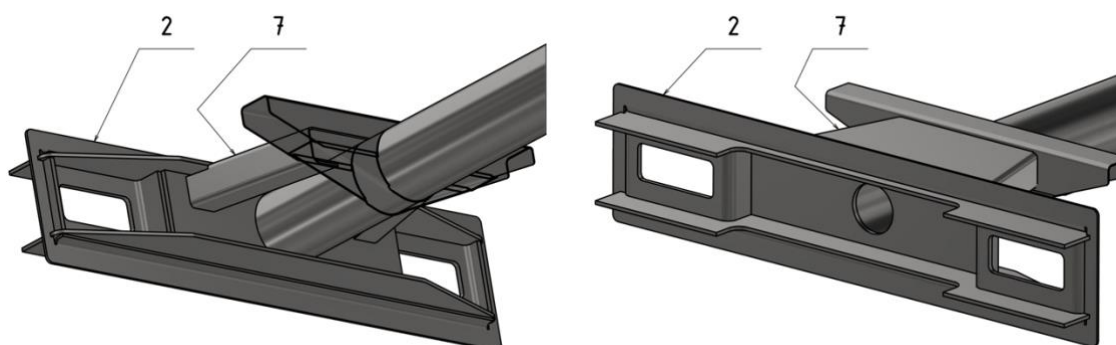
Obrázek 4.6.2 - Detailní pohled pozice č. 3

4.7 Konstrukční řešení s jedním nosným profilem (konzola č. 2)

Druhou konstrukční variantou je taktéž ocelový svařenec, viz obrázek (Obrázek 4.7.1). Hlavní nosný prvek je kruhová trubka (1), která je přivařena k ocelové konstrukci (2) zajišťující upevnění do bočnice pomocí c-drážky, kamene a šroubového spoje. Konzola je podepřena polohovatelnou vzpěrou (3), která se taktéž připevňuje do bočnice pomocí c-drážky, kamene a šroubového spoje. Konstrukce sedadel se umísťuje na tvarový plech (5), který je uzavřen plechovým víkem (4). Torzní tuhost celé konstrukce zvyšuje tvarový plech (7). Plastová zátka (6) zabraňuje vniknutí nečistot do kruhové trubky (1).



Obrázek 4.7.1 – Druhá varianta ocelové konzoly

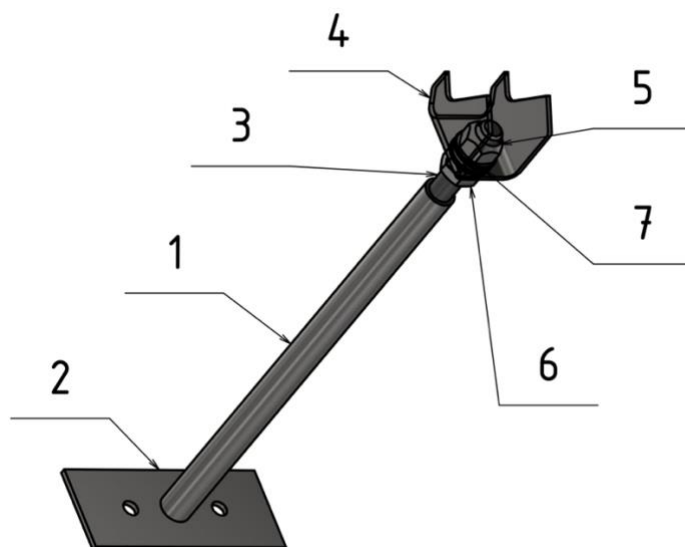


Obrázek 4.7.2 - Detailní pohled na pozice č. 2 a 7

4.8 Provedení polohovatelné vzpěry

Vzpěra, viz obrázek (Obrázek 4.8.1), se skládá z několika dílů. K trubce (1) je z jedné strany přivařen plech (2), ve kterém jsou otvory pro šrouby, spojující vzpěru s bočnicí. Závitová tyč (3) je nabodována k trubce (1). Pro spojení vzpěry s konzolou je použit tvarovaný plech (4), přivařen ke konzole. Z důvodů nepřesností při výrobě nebo montáži se může stát, že konzola bude upevněna do vozu nakřivo. Z tohoto důvodu je třeba mít vzpěru, jejíž délku je možno měnit. K tomuto účelu slouží závitová tyč (3) s dvojicí podložek (6) a šestihranných matic (7).

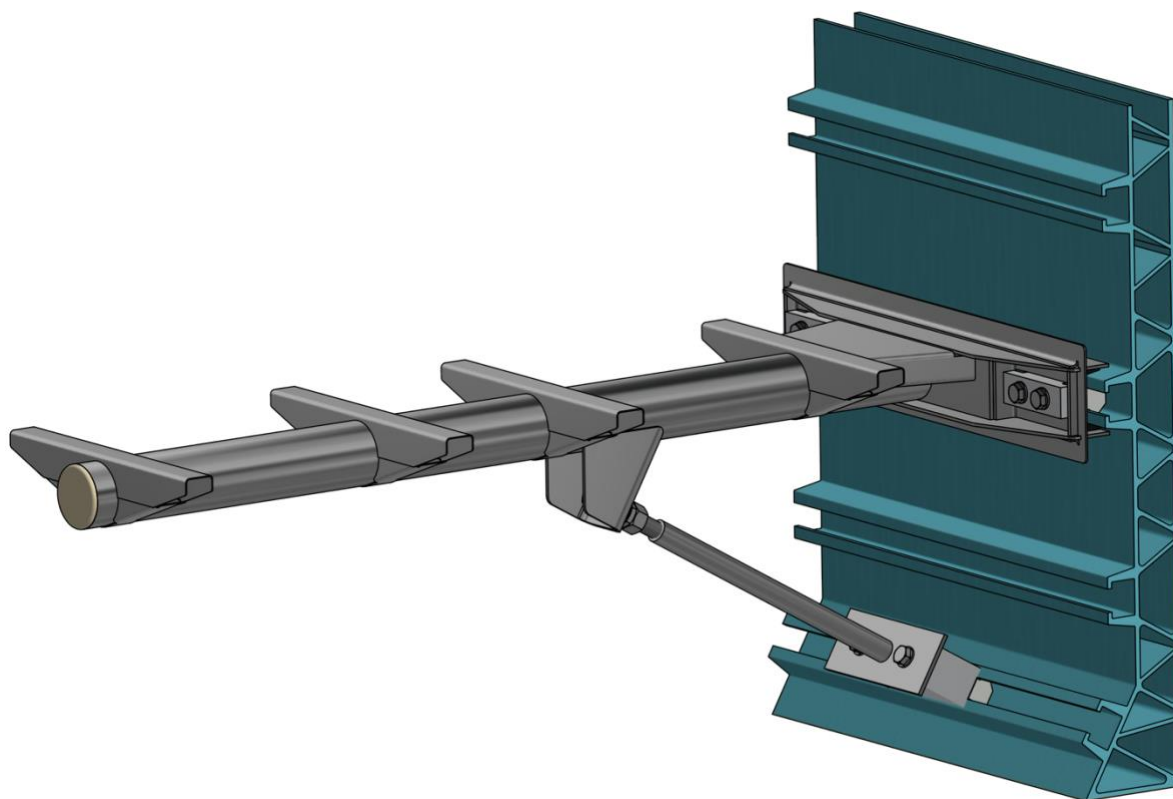
Konstrukční provedení zmíněné v této kapitole jsem musel upravit, v závislosti na výpočtu z kapitoly (4.14), provedená změna je ukázána v kapitole (4.16).



Obrázek 4.8.1 - Polohovatelná vzpěra

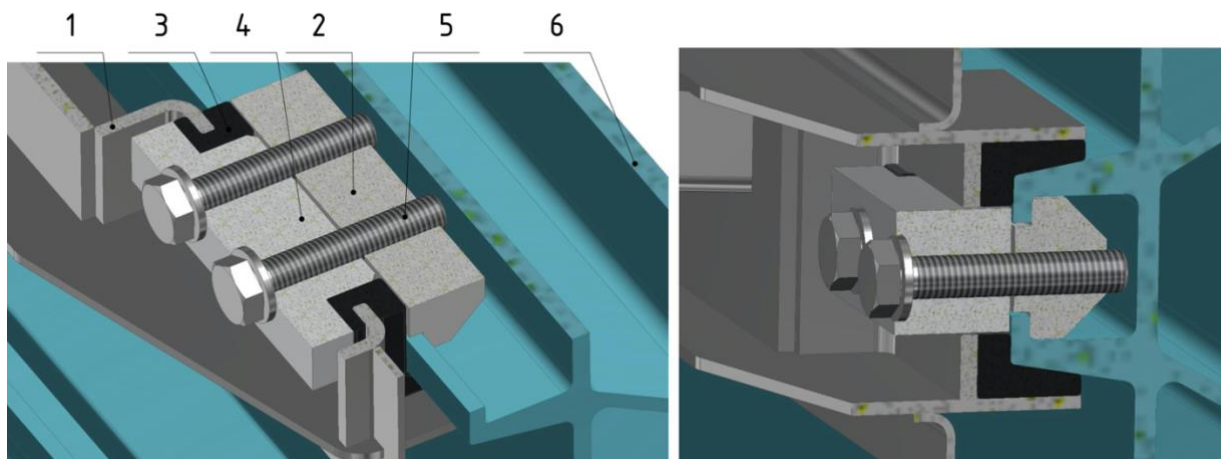
4.9 Způsob upevnění konzoly do bočnice

Jak jsem již zmínil v kapitole 3.1, pro upevňování lehčích komponent interiéru se v moderních elektrických trakčních jednotkách používají c – drážky.



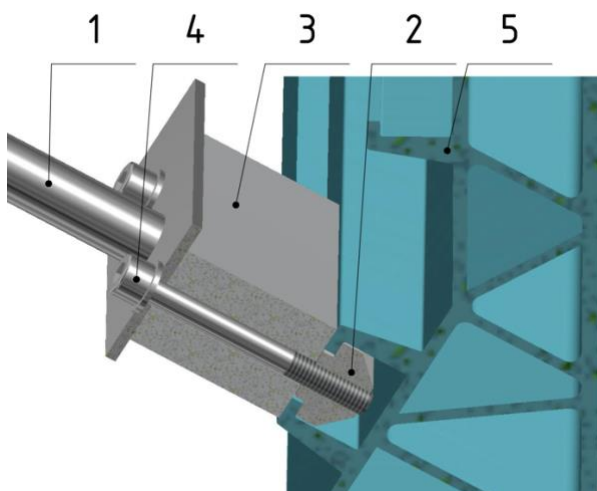
Obrázek 4.9.1 - Konzola upevněná do bočnice pomocí c - drážky

Do hliníkové, integrální bočnice (6) je vložen kámen (2) ze slitiny hliníku. Konzola (1) je za pomoci pryžového elementu (3), přitlačného T – kusu (4), ze slitiny hliníku a šroubů (5) spojena s kamenem (2). Pryžový element (3) mechanicky a tepelně izoluje konzolu od skříňě vozu.



Obrázek 4.9.2 – Detail upevnění konzoly do c - drážky

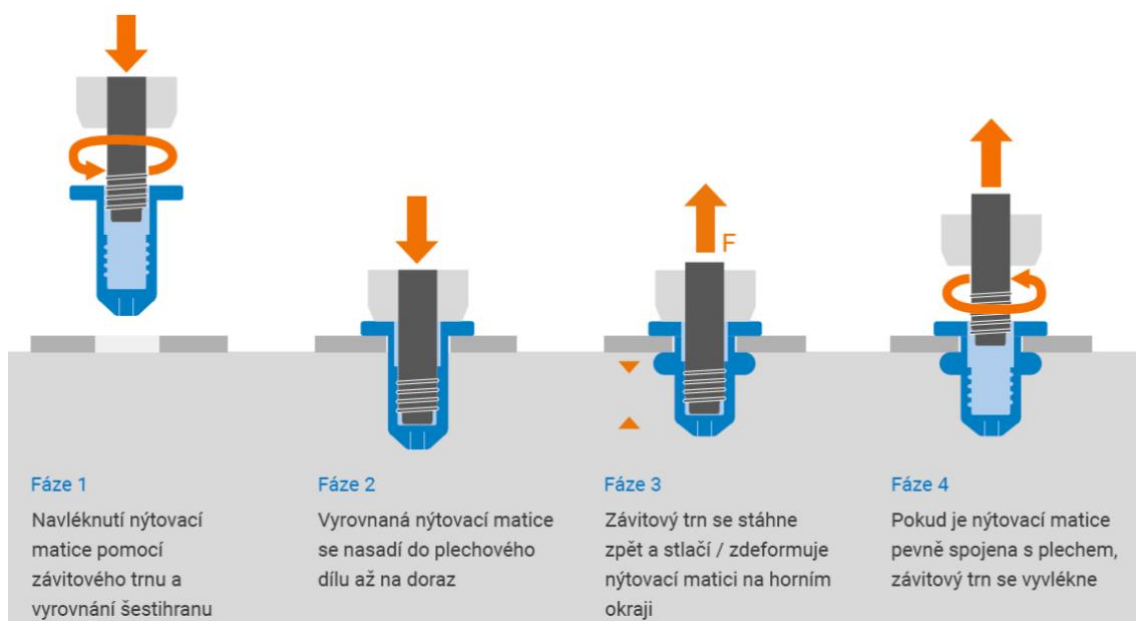
Podobným způsobem jako je provedeno upevnění konzoly, viz Obrázek 4.9.2, je provedeno i upevnění vzpěry pro konzolu (Obrázek 4.9.3). Do hliníkové, integrální bočnice (5) je vložen kámen (2) ze slitiny hliníku. Vzpěra (1) je šrouby (4) spojena s kamenem (2), mezi kámen a vzpěru je vložena vymezovací kostka ze slitiny hliníku.



Obrázek 4.9.3 – Detail upevnění vzpěry do bočnice

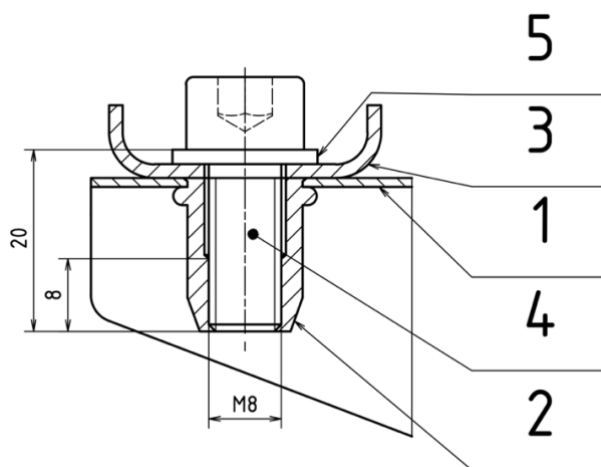
4.10 Způsob upevnění sedadel ke konzoly

Způsob upevnění sedadel ke konzoly je znázorněn na obrázku (Obrázek 4.1.1). Pro spojení ocelového profilu sedadla s konzolí se používá šroubové spojení s nýtovací maticí. Princip aplikace nýtovacích matic je znázorněn na obrázku (Obrázek 4.10.1).



Obrázek 4.10.1 - Princip nýtovacích matic [21]

Spojení rámu sedadla s konzolou je na obrázku (Obrázek 4.10.2). Nýtovací matice (2) je vložena do šestihránného otvoru v části konzoly (1) a je s ní snýtována. Šroub s vnitřním šestihranem (4) poté přes podložku (5) spojuje rám sedadla (3) s konzolou (1).



Obrázek 4.10.2 – Šroubové spojení sedadla konzolou

4.11 Výběr materiálů

Materiál pro výrobu konzol jsem zvolil nelegovanou jakostní konstrukční ocel S355J2, značení dle ČSN je 11 503. „Konstrukční ocel S355J2 je vhodná ke svařování všemi obvyklými způsoby svařování. Minimální mez kluzu R_{emin} je, pro výrobky do jmenovité tloušťky 16 mm, 355 MPa“ [22]. Právě vysoká zaručená mez kluzu je největší výhodou této ocele. Díky tomu jsem mohl snížit tloušťky jednotlivých dílů, ze kterých se skládají konzoly a tím snížit jejich celkovou hmotnost. Je žádoucí docílit co nejnižších hmotností elektrických jednotek, hlavně z důvodu snížení spotřeby energií.

„Dle UIC 566 musí bezpečnost proti mezi kluzu, pro svařované součásti, pro zkušební síly, být minimálně $k = 1,1$ “ [13]. Dovolené maximální napětí se vypočte následovně.

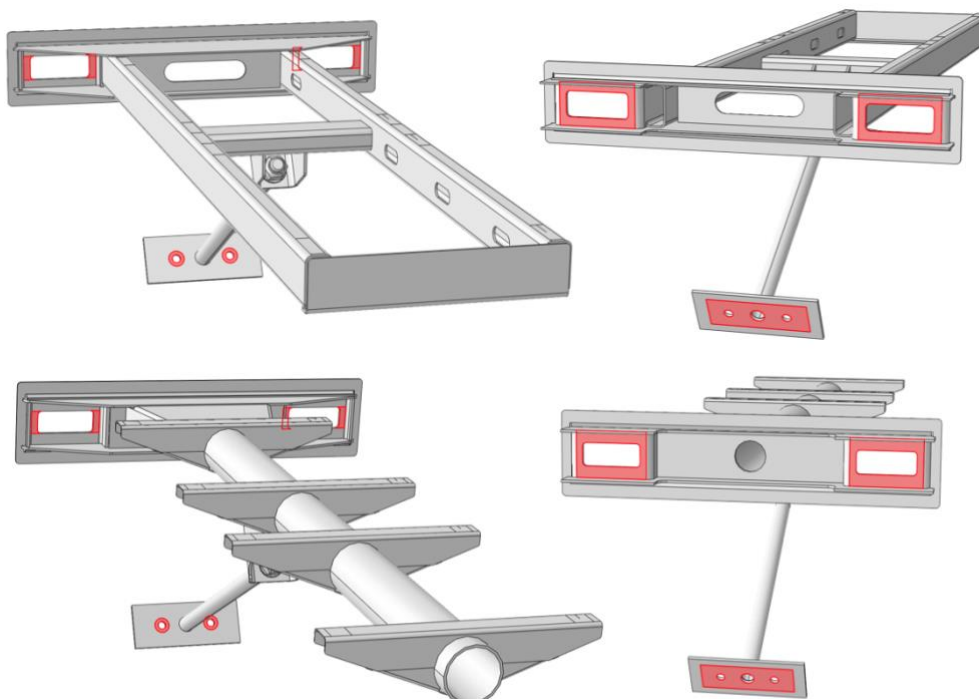
$$\sigma_D = \frac{R_{emin}}{k} = \frac{355}{1,1} = 322,727 \doteq 322 \text{ MPa} \quad (4.11.1)$$

Hodnota dovoleného napětí vypočtena ve vztahu (4.2.1) se nevztahuje na oblasti, ve kterých jsou svarové spoje. Dovolené napětí ve svarových spojkách by se mělo ještě ponížít převodním součinitelem α , který se liší v závislosti na způsobu namáhání, tvaru svaru a použití svařovacího postupu. Návrh svarových spojů jsem do této práce nezařadil z důvodu malého doporučeného rozsahu bakalářské práce.

4.12 Nastavení modelů pro pevnostní výpočet MKP

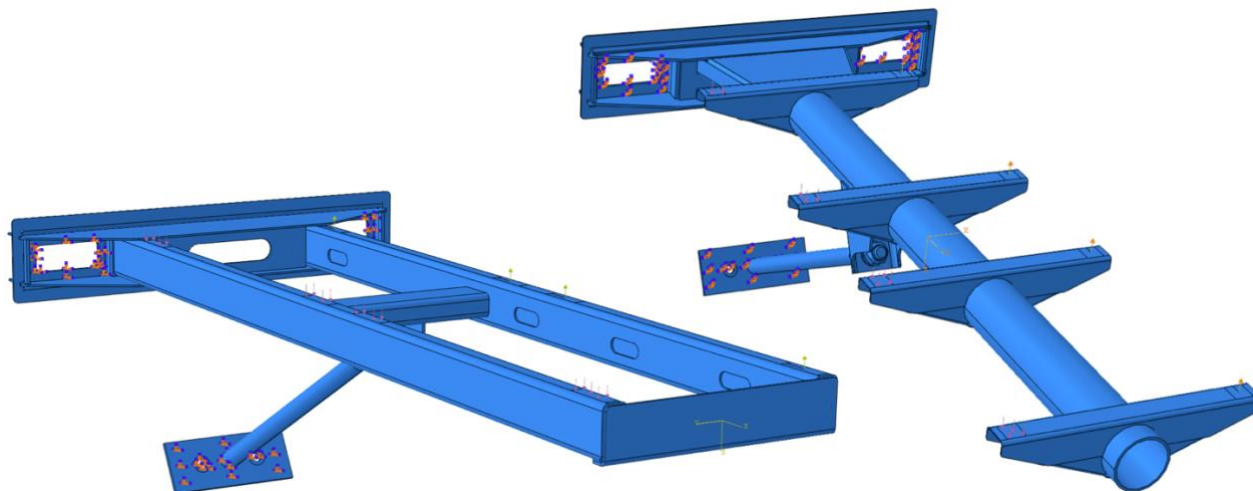
Pomocí metody konečných prvků jsem provedl pevnostní výpočet pro dva zátěžné stavy, první zátěžný stav (dle kapitoly 4.2) a druhý zátěžný stav (dle kapitoly 4.3). Reakční síly prvního zátěžného stavu byly zdaleka nejvyšší, z tohoto důvodu vycházely bezpečnosti k mezi kluzu u tohoto výpočtu nejnížší. Výpočet podle druhého zátěžného stavu slouží pouze pro informaci, jakých napjatostí dosahují konzoly při zatížení, které se nejvíce blíží skutečným provozním zatížením, vyvozeným od tíhy cestujícího. Provádět pevnostní výpočet dle třetího zátěžného stavu (kapitola 4.4) by bylo zbytečné. Reakční síly zde mají stejný směr jako u prvního zátěžného stavu, ale jsou podstatně nižší.

Modely ve formátu step jsem importoval do programu Abaqus 6.14. Modelům jsem přiřadil materiálové vlastnosti ocele, nastavil, v plochách znázorněných na obrázku (Obrázek 4.12.1), okrajovou podmínku vetknutí a zavedl zatěžující síly do stykových ploch sedadla s konzolou.



Obrázek 4.12.1 – Plochy vetknutí

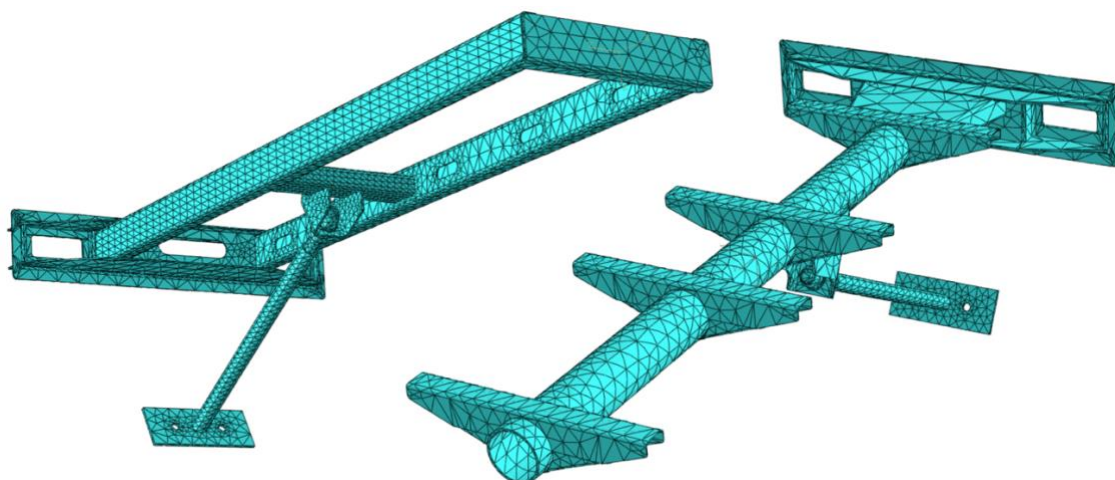
Plochy, kterým jsem odebral všechny stupně volnosti (Obrázek 4.12.1) jsou funkční plochy konzoly, které jsou pomocí konstrukčních prvků spojeny s bočnicí vozu, více v kapitole 4.9.



Obrázek 4.12.2 - Okrajové podmínky a zatěžující síly

Na obrázku (Obrázek 4.12.2) jsou vidět zavedené okrajové podmínky a zatěžující síly. Velikosti a umístění zavedených sil a spojitých zatížení jsou zřejmé z kapitoly 4.1.

Je důležité říci, že skutečná konzola nebude v žádném místě vetknutá, bude pomocí šroubových spojů a pružných elementů spojena s bočnicí, viz obrázek (Obrázek 4.9.2). Část deformační energie bude tedy při pevnostní zkoušce na reálném tělese přenesena právě do bočnice. Tato skutečnost zvyšuje nároky na konstrukci při výpočtu MKP.

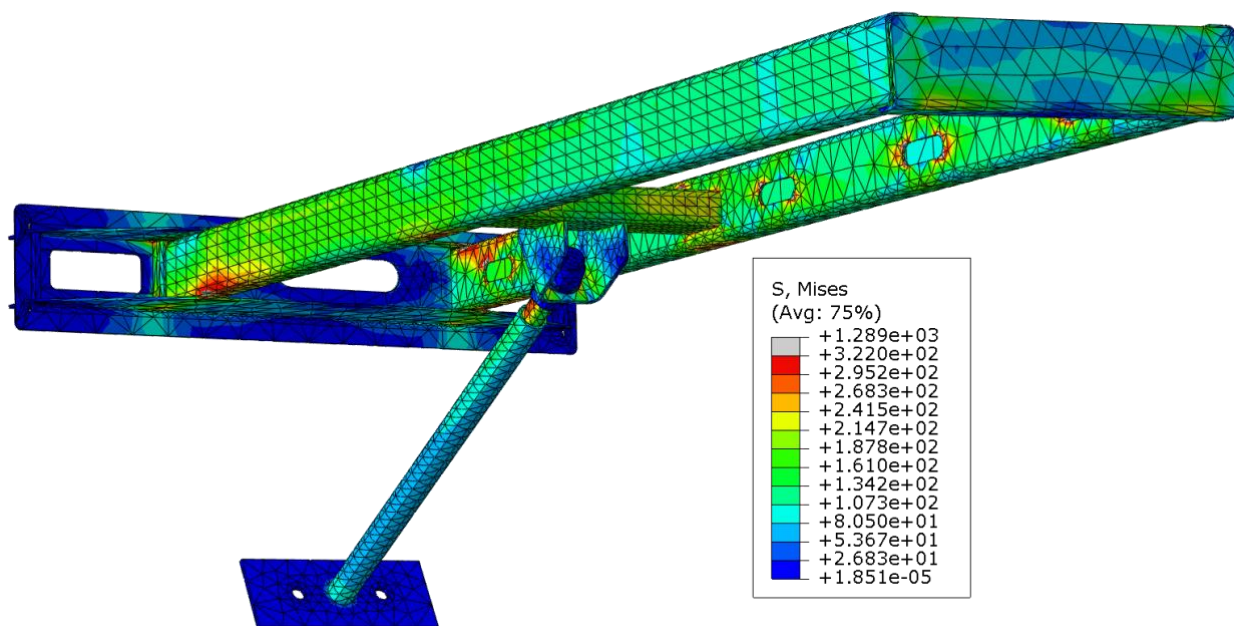


Obrázek 4.12.3 - Vysíťované modely

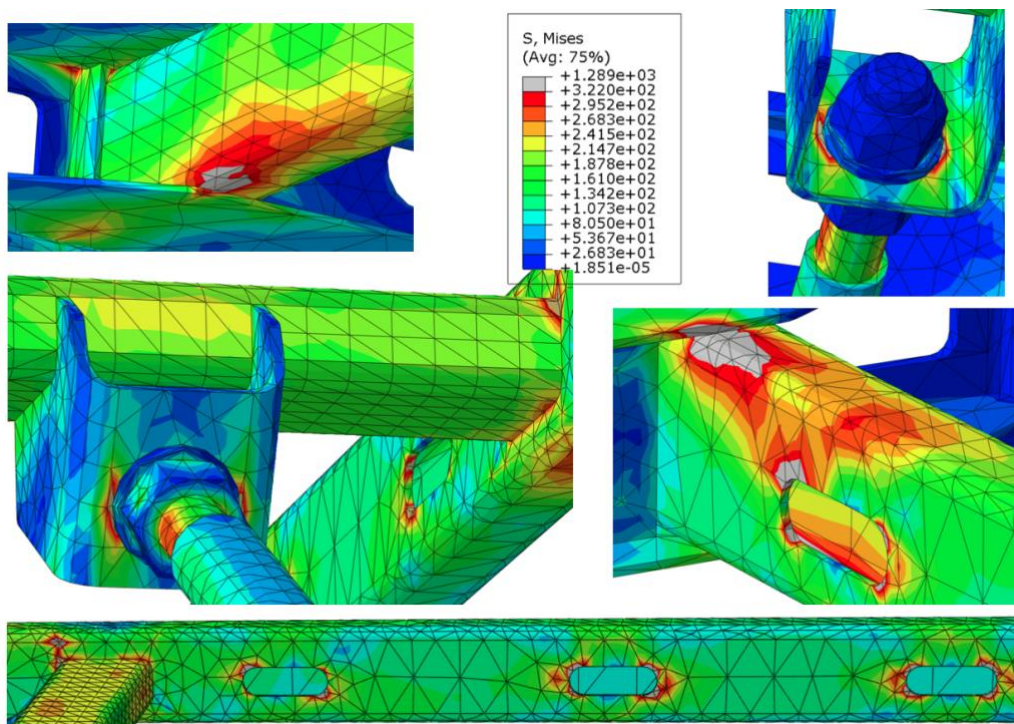
Na obrázku (Obrázek 4.12.3) lze vidět, jakým způsobem se mi povedly vysíťovat modely. Použil jsem globální velikost elementů 25 mm. V místech, kde síť nebyla dostatečně hustá, nebo jsem předpokládal zvýšená napětí, jsem lokálně změnil velikost elementů.

4.13 Znázornění vypočtených napjatostí při prvním zátěžném stavu

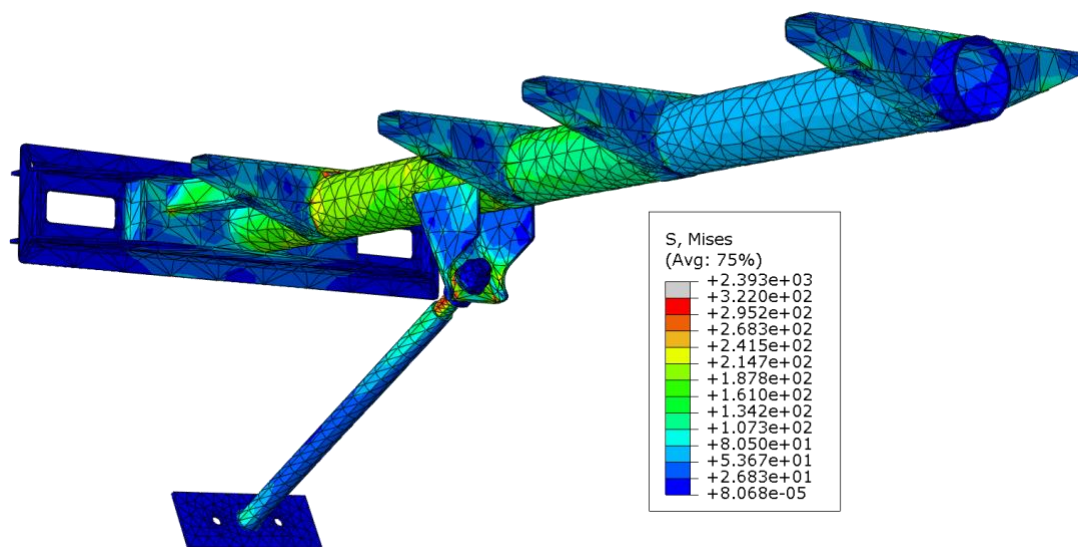
Velikosti sil působících na konzolu při prvním zátěžném stavu jsou vypsány v tabulce (Tabulka 4.5.1), ve druhém sloupci. Jednotky v legendě na obrázcích v této kapitole jsou MPa, maximální hodnota napjatosti je nastavena na 322 MPa, všechny vyšší hodnoty se v modelu zbarvily na šedo.



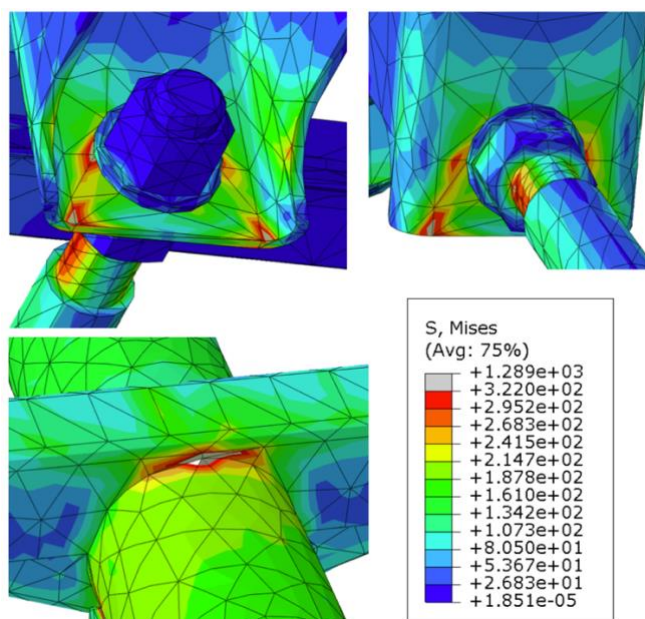
Obrázek 4.13.1 - Vizualizace napjatostí při prvním zátěžném stavu pro konzolu č. 1



Obrázek 4.13.2 - Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při prvním zátěžném stavu pro konzolu č. 1



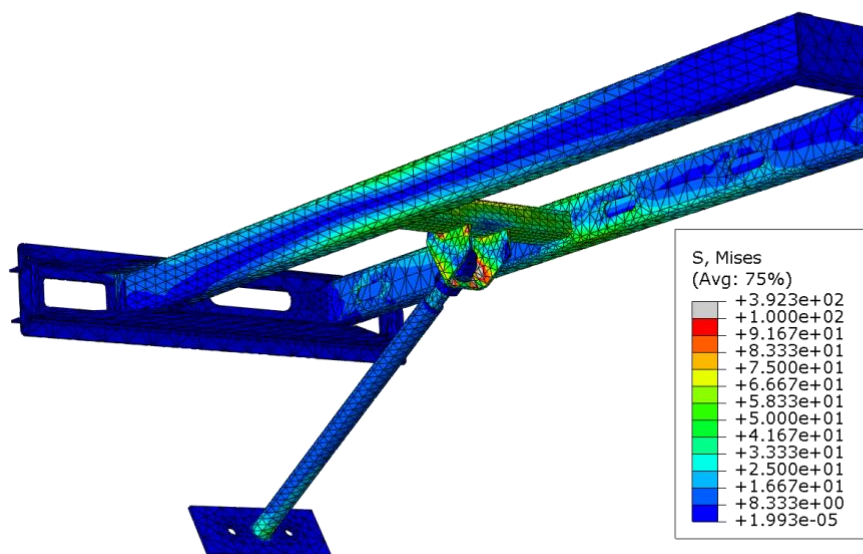
Obrázek 4.13.3 - Vizualizace napjatostí při prvním zátěžném stavu pro konsolu č. 2



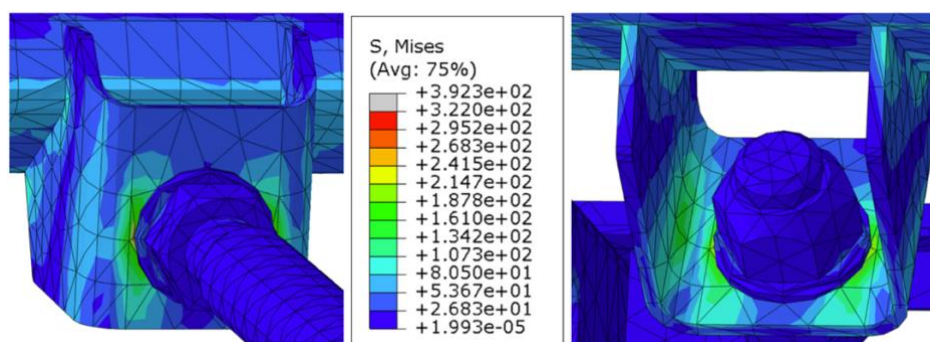
Obrázek 4.13.4 - Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při prvním zátěžném stavu pro konsolu č. 2

4.14 Znázornění vypočtených napjatostí při druhém zátěžném stavu

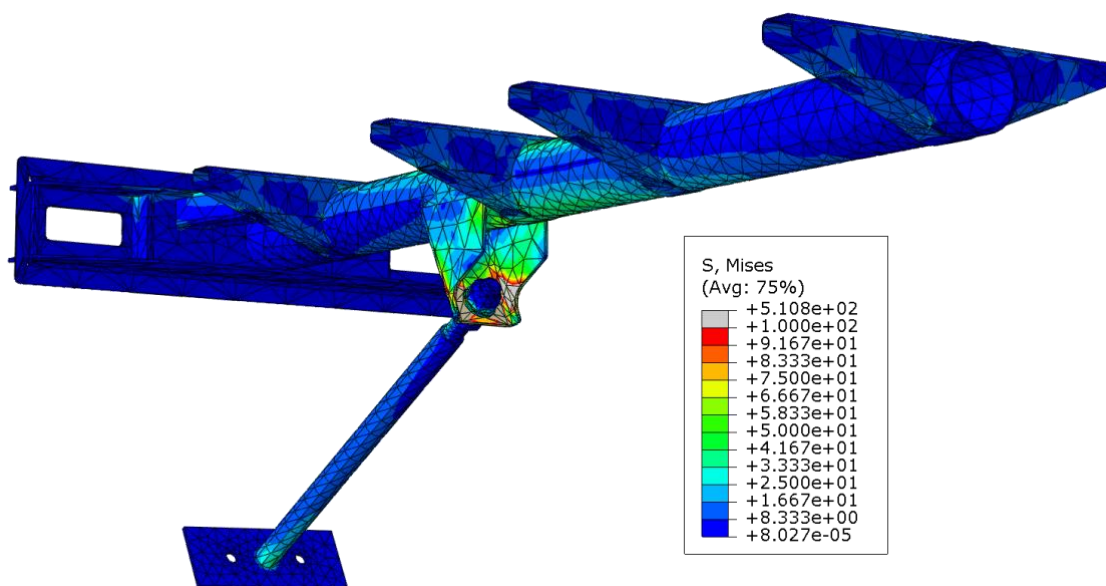
Velikosti sil působících na konsolu při druhém zátěžném stavu jsou vypsány v tabulce (Tabulka 4.5.1), ve třetím sloupci. Jednotky v legendě na obrázcích v této kapitole jsou MPa, maximální hodnota napjatosti je nastavena na 100 MPa, respektive na 322 MPa, všechny vyšší hodnoty se v modelu zbarvily na šedo.



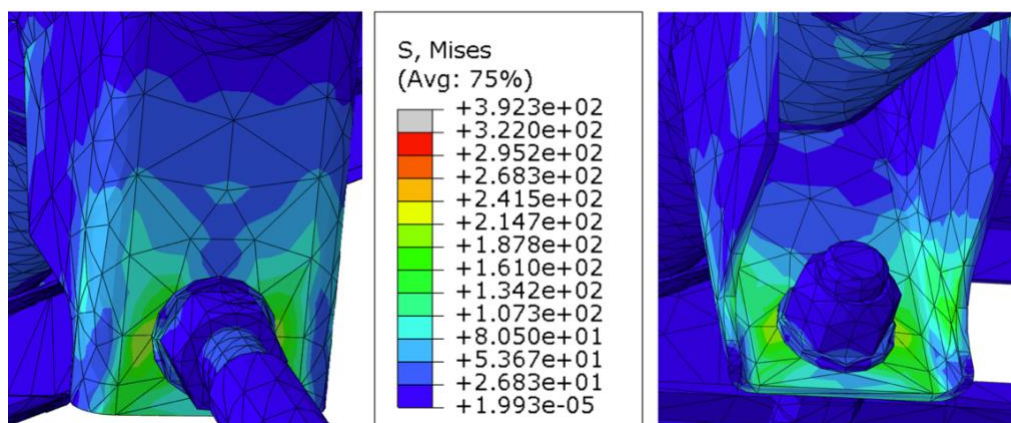
Obrázek 4.14.1 - Vizualizace napjatostí při druhém zátěžném stavu pro konsolu č. 1



Obrázek 4.14.2 – Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při druhém zátěžném stavu pro konsolu č. 1



Obrázek 4.14.3 - Vizualizace napjatostí při druhém zátěžném stavu pro konsolu č. 2



Obrázek 4.14.4 - Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při druhém zátěžném stavu pro konzolu č. 2

4.15 Vyhodnocení výsledků výpočtů uvedených v kapitolách 4.13 a 4.14

Znázorněné napjatosti v předešlých dvou kapitolách jsou počítány dle metody H.M.H. Maximální dovolené napětí jsem, dle kapitoly 4.11, zvolil 322 MPa. Některé oblasti modelů nejsou dostatečně hustě vysítované, to může způsobovat nepřesnosti výpočtů. Dalším faktorem, který snižuje přesnost výpočtů je absence modelů svarů. V oblastech, kde by měly být svarové spoje, vznikají koncentrátoři napětí.

Obě konstrukční varianty konzol jsem navrhoval tak, aby jejich výroba byla srovnatelně technologicky náročná a aby hmotnosti konzol byly podobné, v obou případech hmotnost činí zhruba 8 kg. Při srovnatelné hmotnosti a technologičnosti konstrukcí jsem vybral za vhodnější tu variantu, která má lepší mechanické vlastnosti, a tedy lépe odolává účinkům sil dle UIC 566.

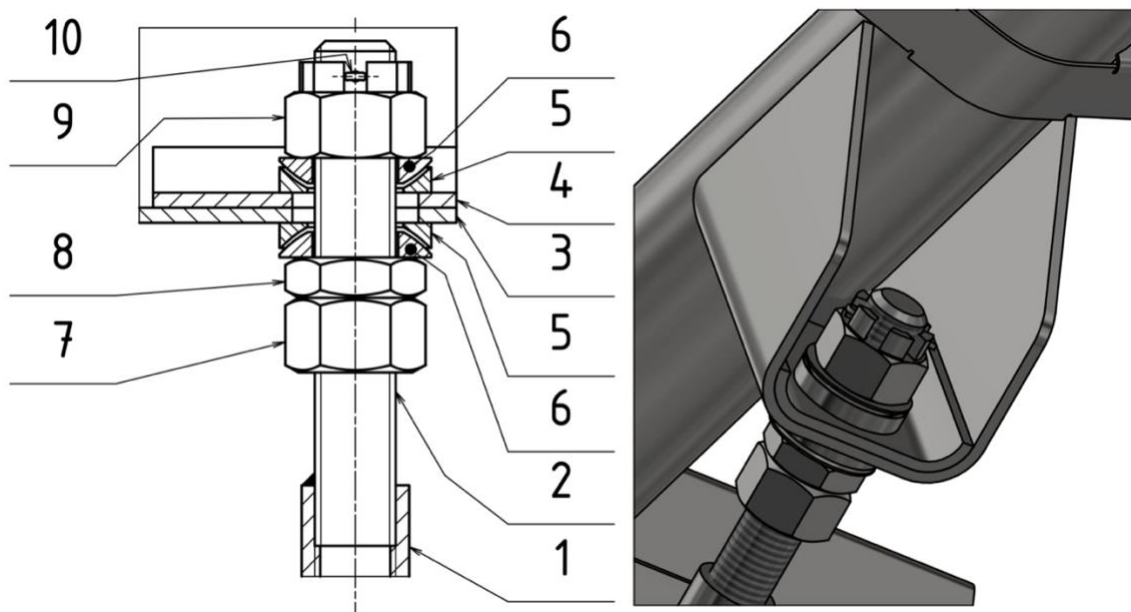
Na obrázcích (Obrázek 4.13.1 - Obrázek 4.14.4) je jasně vidět, že první zátěžný stav je pro konstrukce méně příznivý.

Při zběžném pohledu na obrázky (Obrázek 4.13.1 - Obrázek 4.14.4) si lze všimnout, že konstrukční varianta konzoly s jedním nosným profilem je zbarvena chladnějšími barvami, to znamená, že průměrná povrchová napjatost je u tohoto provedení podstatně nižší. Navíc kritické oblasti z obrázků (Obrázek 4.13.2, Obrázek 4.13.4, Obrázek 4.14.2 a Obrázek 4.14.4) mají v případě konzole č. 1 mnohem větší plochu a dosahují mnohem vyšších hodnot.

S přihlédnutím k výše zmíněným faktům jsem **vybral konzolu č. 2 jako vhodnější**. V následujících podkapitolách této bakalářské práce jsem se snažil konzolu č. 2 upravit tak, aby pevnostní zkouška vyšla co možná nejlépe. Při konstrukčních změnách jsem se zaměřil na oblasti z obrázku (Obrázek 4.13.4).

4.16 Změna konstrukčního provedení polohovatelné vzpěry

Konstrukčními úpravami bylo třeba snížit napjatost v místech z obrázku (Obrázek 4.13.4).



Obrázek 4.16.1 – Úprava šroubového spoje konzola - vzpěra

V provedení spoje konzola – vzpěra jsem udělal, oproti řešení z kapitoly 4.8, hned několik úprav. Změnil jsem podobu tvarového plechu (3), do kterého jsem přidal výztužnou vložku (4). Dále bylo potřeba zajistit, aby více deformační energie zachytil rám, a ne tvarový plech (3). Toho jsem docílil vytvořením kloubu s použitím dvojice soustružených ocelových součástí, podložkou (5) a pouzdrem (6). Kruhový otvor v plechových dílech (3 a 4) jsem změnil na oválný otvor, který kompenzuje výrobní nepřesnosti. Kloub a oválný otvor, viz obrázek (Obrázek 4.16.1), zajistí to, že při montáži bude možné nastavit požadovanou polohu konzoly a nemělo by tedy dojít při montáži k nežádoucímu předepnutí konstrukce a k následné plastické deformaci. Pro správnou funkci kloubu je třeba, aby mezi součástmi (5 a 6) byla požadovaná vůle a kontaktní plochy byly namazány. Vůli lze vymezit šestihrannou maticí nízkou (8), šestihrannou maticí vysokou (7) a korunovou maticí (9) se závlačkou (10). Závíťová tyč (2) je zašroubovaná do trubky s vnitřním závitem (1). Závíťová tyč je k trubce nabodována, tím se zabrání protočení závitu. Ve zbytku konstrukce jsem žádné změny neprováděl.

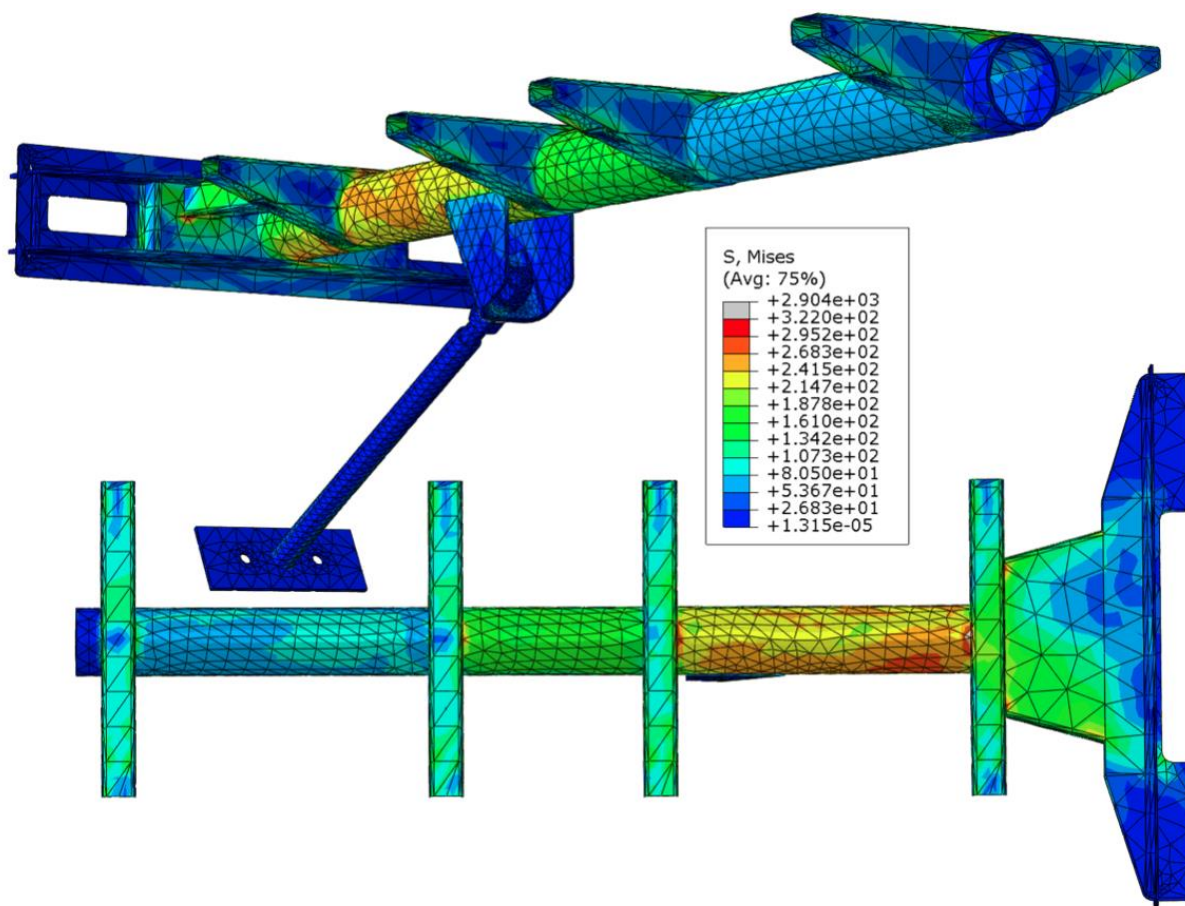
4.17 Nastavení upraveného modelu pro výpočet MKP

Do programu Abaqus 6.14 jsem importoval model rámu a model vzpěry. Součástí jsem přiřadil materiálové vlastnosti ocele, sestavil jsem je a nastavil jsem vlastnosti kontaktních ploch v kloubu (normálové a tečné chování kontaktu). Okrajové podmínky i síťování bylo totožné jako v kapitole 4.12. Drobnou změnu jsem provedl v zavedených

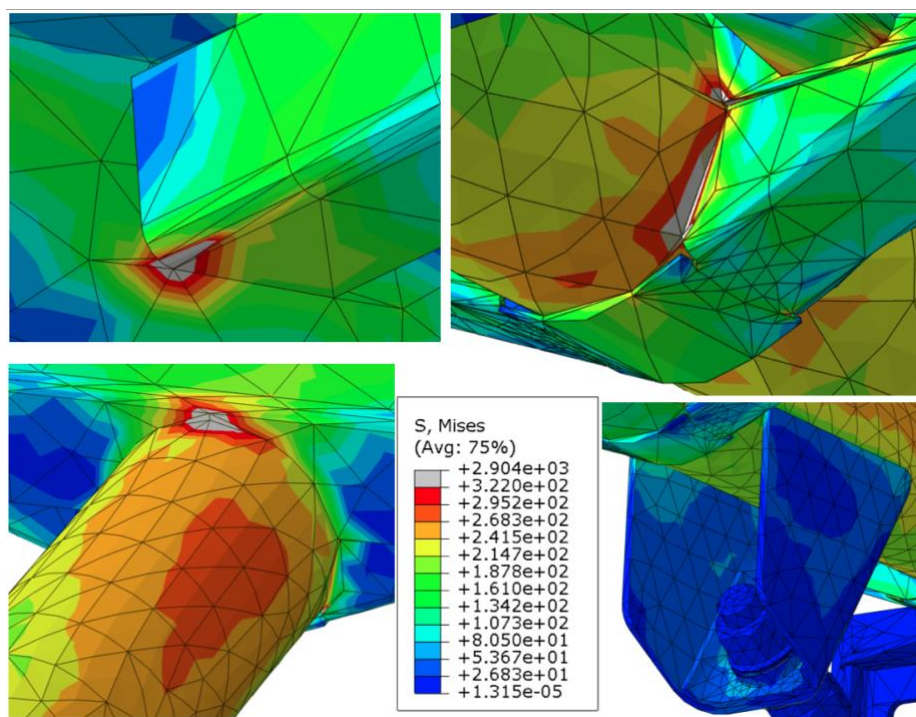
silových účincích. Reakční síly jsem převedl na spojité zatížení působící ve stykových plochách sedadla s konzolou. Tímto způsobem by mělo dojít ke zpřesnění simulace.

4.18 Znázornění vypočtených napjatostí pro upravenou konzolu

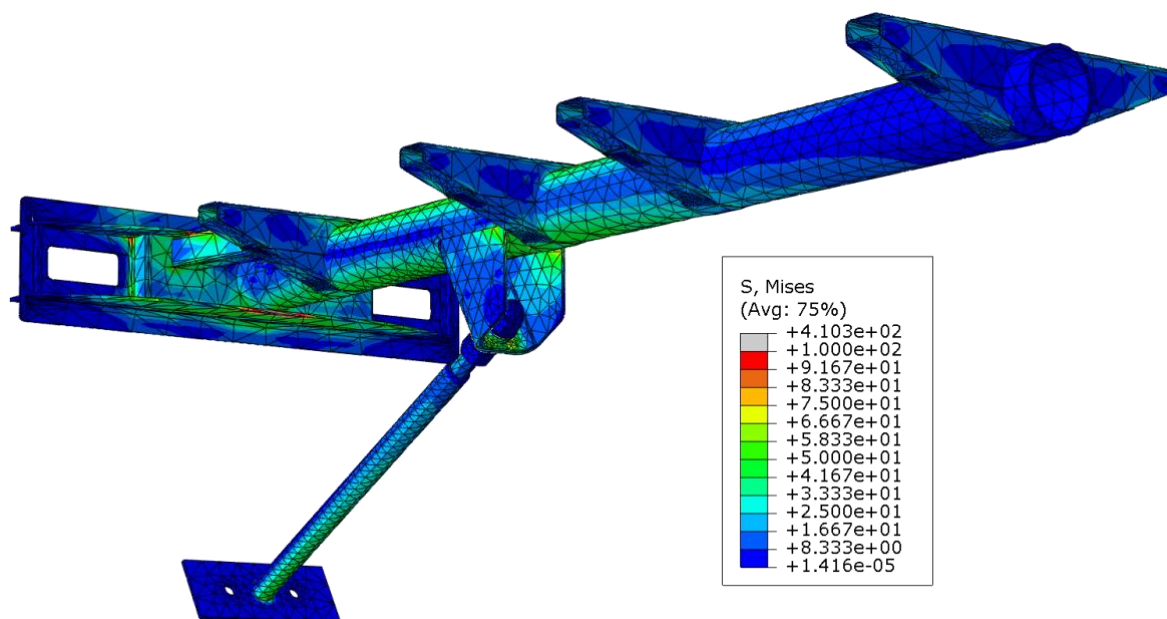
Velikosti sil působících na konzolu při prvním, respektive druhém zátěžném stavu jsou vypsány v tabulce (Tabulka 4.5.1), ve druhém, respektive třetím sloupci. Jednotky v legendě na obrázcích v této kapitole jsou MPa, maximální hodnota napjatosti je nastavena na 213 MPa, respektive 100 MPa, všechny vyšší hodnoty se v modelu zbarvily na šedo.



Obrázek 4.18.1 - Vizualizace napjatostí při prvním zátěžném stavu pro upravenou konzolu



Obrázek 4.18.2 - Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při druhém zátěžném stavu pro upravenou konzolu



Obrázek 4.18.3 - Vizualizace napjatostí při druhém zátěžném stavu pro upravenou konzolu

4.19 Vyhodnocení výsledku výpočtu uvedeného v kapitole 4.18

Znázorněné napjatosti v předešlých kapitolách jsou počítány dle metody H.M.H. Maximální dovolené napětí jsem, dle kapitoly 4.11, zvolil 322 MPa. Některé oblasti modelů nejsou dostatečně hustě vysítované, to může způsobovat nepřesnosti výpočtů. Dalším

faktorem, který snižuje přesnost výpočtů je absence modelů svarů. V oblastech, kde by měly být svarové spoje, vznikají koncentrátoři napětí.

Díky provedeným změnám, z kapitoly 4.16, se mi povedlo na téměř celém povrchu modelu snížit napjatost dle HMM pod hodnotu maximálního dovoleného napětí ocele S355J2. Výjimku tvořily malé oblasti, ve kterých by ve skutečnosti byly svarové spoje. S největší pravděpodobností by i tyto oblasti splnily podmínku bezpečnosti. Maximální hodnoty napětí v těchto koncentrátorech napětí se pohybují kolem 360 MPa. Bylo by vhodné vymodelovat konzolu i se svarovými spoji. S tímto modelem provést pevnostní výpočet a porovnat napětí ve svarových spojích s poníženou hodnotou dovoleného napětí (více v kapitole 4.11). To by však zabralo podstatně více času a pro potřeby bakalářské práce je mnou provedený výpočet dostačující.

4.20 Kontrola výsledků výpočtů MKP analytickou metodou

Správnost výpočtu MKP, pro první zátěžný stav, pro konzolu č. 2 jsem porovnal s analytickým výpočtem. Spočítal jsem redukováná napětí ve třech místech, uprostřed oblasti 1 a 2 a v oblasti 3 (Obrázek 4.21.1). Bylo by možné spočítat redukováná napětí i ve zbylých oblastech konzoly, to by ale vyžadovalo mnohem zdoluhavější výpočty a pro kontrolu správnosti výpočtu MKP je dostačující mnou zvolený postup. Konzola z obrázků (Obrázek 4.21.1, Obrázek 4.22.1 a Obrázek 4.23.1) je stejně jako model v Abaqusu vetknutá ve třech místech, to vede ke staticky neurčité úloze. Já jsem však počítal v oblastech, pro které nebylo třeba převádět konzolu na staticky určitou úlohu, takže vetknutí jsem na obrázcích mohl nechat. Konzola je kombinovaně namáhána, konkrétně je namáhána ve dvou rovinách na ohyb a v ose z na krut.

Nejprve jsem musel reakční síly, z obrázku (Obrázek 4.5.1), přepočítat na silové účinky, které zatěžují hlavní nosný profil (trubku kruhovou) konzoly č. 2. V tabulce (Tabulka 4.20.1) jsou vypsány potřebné délkové rozměry. Tíhu konzoly jsem zanedbal.

Rozměr	[mm]
l_2	246
a	290
b	190
c	24
k	19,5
m	5,5
$\varnothing d$	60,3
$\varnothing D$	55,1

Tabulka 4.20.1 - Délkové rozměry

Přepočet silových účinků

$$F_y = \frac{R_{y1}}{2} + \frac{R_{y2}}{2} = \frac{4140}{2} + \frac{4042}{2} = 49 \text{ N} \quad (4.20.1)$$

$$M_k = \frac{R_{y1}}{2} \cdot \frac{l_2}{2} + \frac{R_{y2}}{2} \cdot \frac{l_2}{2} - \left(\frac{d}{2} + m \right) \cdot \frac{R_x}{2} =$$

$$= \frac{4\,140}{2} \cdot \frac{0,246}{2} + \frac{4\,042}{2} \cdot \frac{0,246}{2} - \left(\frac{0,0603}{2} + 0,0055 \right) \cdot \frac{1\,500}{2} = \quad (4.20.3)$$

$$= 476,5 \text{ Nm}$$

$$F_x = \frac{R_x}{2} = \frac{1\,500}{2} = 750 \text{ N} \quad (4.20.2)$$

F_y	49 N
F_x	750 N
M_k	476,5 Nm

Tabulka 4.20.2 - Silové účinky

4.21 Ohyb v rovině YZ

Ohybový moment v oblasti 1

$$M_{oyz}(z) = -F_y \cdot z \quad (4.21.1)$$

$$M_{oyz}(a/2) = -49 \cdot \frac{0,29}{2} = -7,1 \text{ Nm} \quad (4.21.2)$$

Ohybový moment v oblasti 2

$$M_{oyz}(z) = -F_y \cdot z - F_y \cdot (z - a) \quad (4.21.3)$$

$$M_{oyz}(a + b/2) = -49 \cdot \left(0,29 + \frac{0,19}{2} \right) - 49 \cdot \left(\frac{0,19}{2} \right) = -23,5 \text{ Nm} \quad (4.21.4)$$

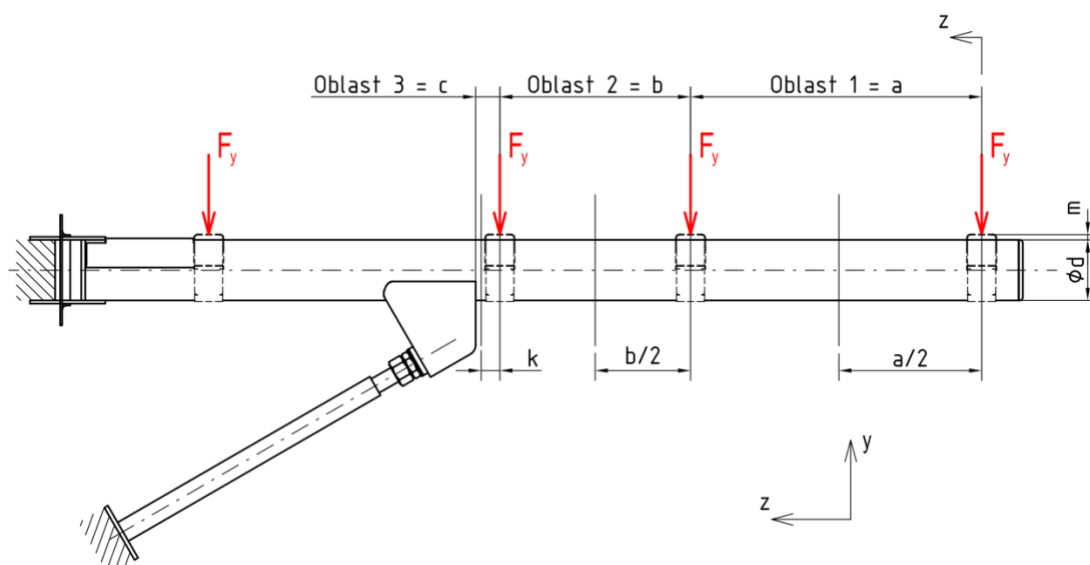
Ohybový moment v oblasti 3

$$M_{oyz}(z) = -F_y \cdot z - F_y \cdot (z - a) - F_y \cdot (z - a - b) = \quad (4.21.5)$$

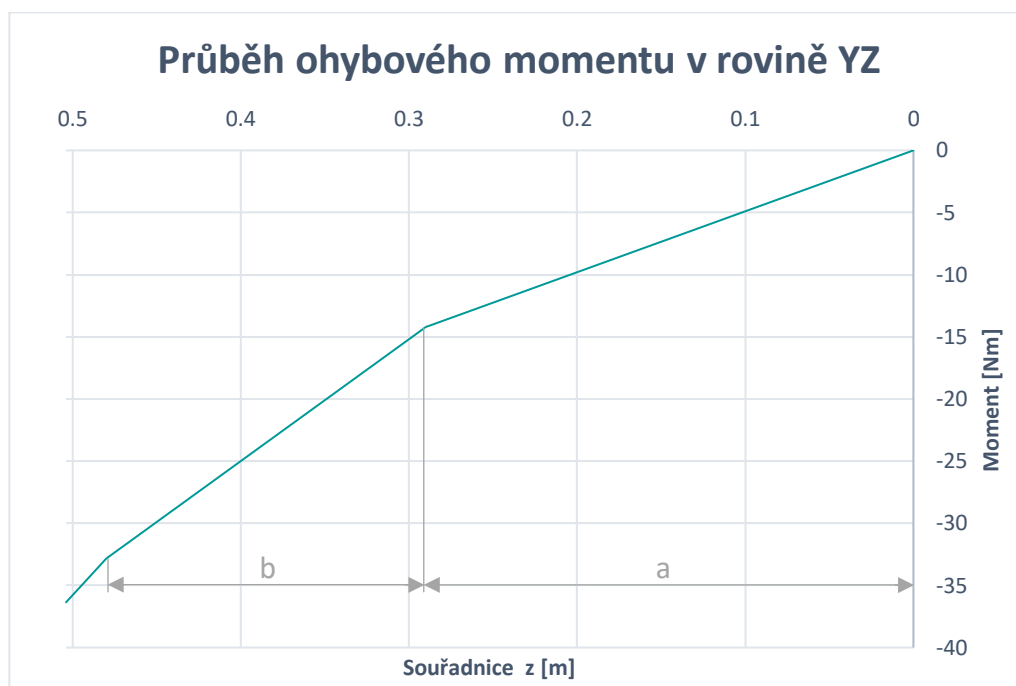
$$M_{oyz}(a + b + k) =$$

$$= -49 \cdot (0,29 + 0,19 + 0,02) - 49 \cdot (0,19 + 0,02) - 49 \cdot 0,02 = \quad (4.21.6)$$

$$= -35,8 \text{ Nm}$$



Obrázek 4.21.1 – Ohyb konzoly v rovině yz



Graf 4.21-1 - Ohybový moment v rovině YZ, v oblasti a, b

4.22 Ohyb v rovině XZ

Ohybový moment v oblasti 1

$$M_{o_{xz}}(z) = -F_x \cdot z \quad (4.22.1)$$

$$M_{o_{xz}}(a/2) = -750 \cdot \frac{0,29}{2} = -108,8 \text{ Nm} \quad (4.22.2)$$

Ohybový moment v oblasti 2

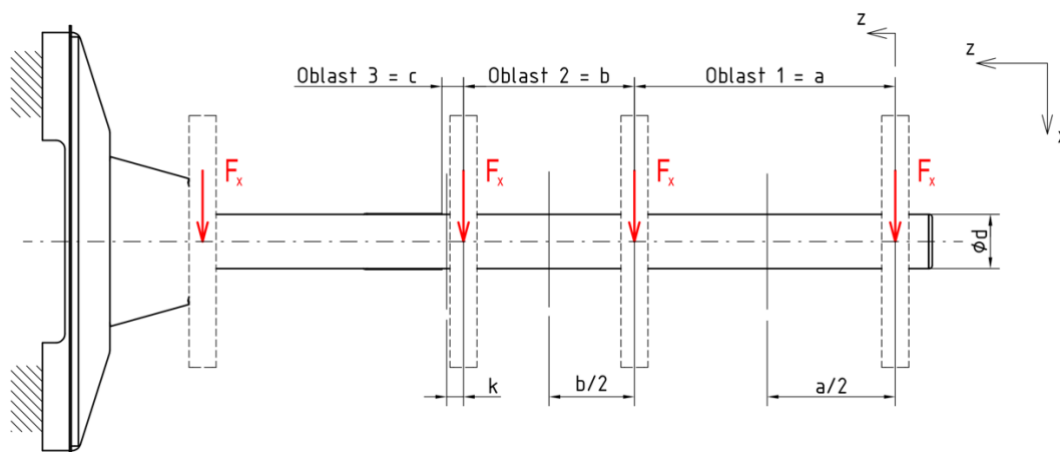
$$M_{oxz}(z) = -F_x \cdot z - F_x \cdot (z - a) \quad (4.22.3)$$

$$M_{oxz}(a + b/2) = -750 \cdot \left(0,29 + \frac{0,19}{2}\right) - 750 \cdot \left(\frac{0,19}{2}\right) = -397,5 \text{ Nm} \quad (4.22.4)$$

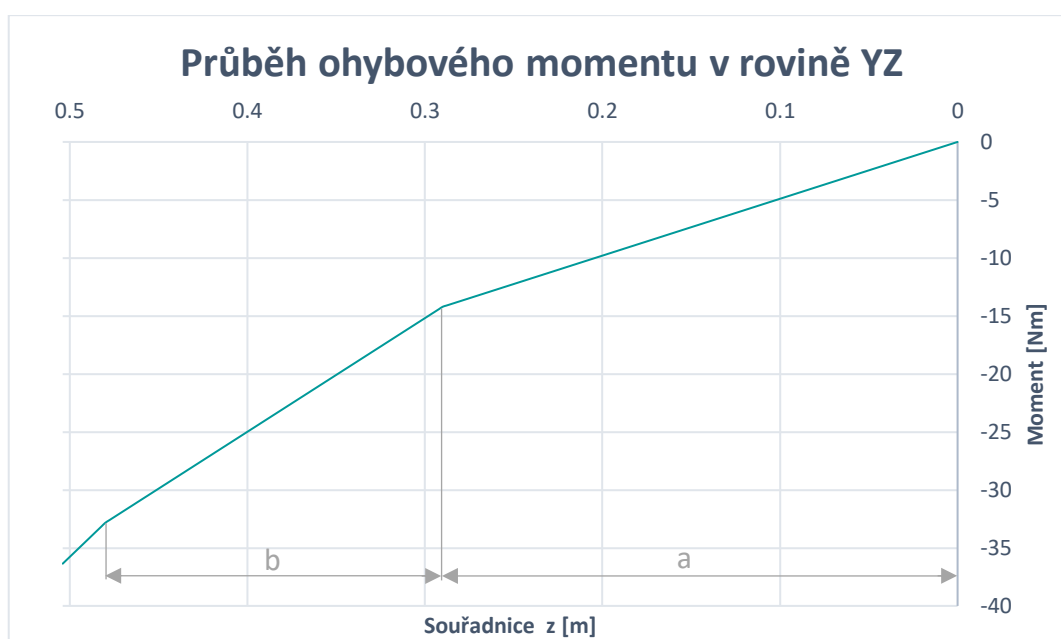
Ohybový moment v oblasti 3

$$M_{oxz}(z) = -F_x \cdot z - F_x \cdot (z - a) - F_x \cdot (z - a - b) = \quad (4.22.5)$$

$$\begin{aligned} M_{oxz}(a + b + k) &= \\ &= -750 \cdot (0,29 + 0,19 + 0,02) - 750 \cdot (0,19 + 0,02) - 750 \cdot 0,02 = \quad (4.22.6) \\ &= -547,5 \text{ Nm} \end{aligned}$$



Obrázek 4.22.1 – Ohyb konzoly v rovině xz



Graf 4.22-1 - Ohybový moment v rovině XZ, v oblasti a, b

4.23 Krutící moment podle osy kruhové trubky konzoly

Krutící moment v oblasti 1

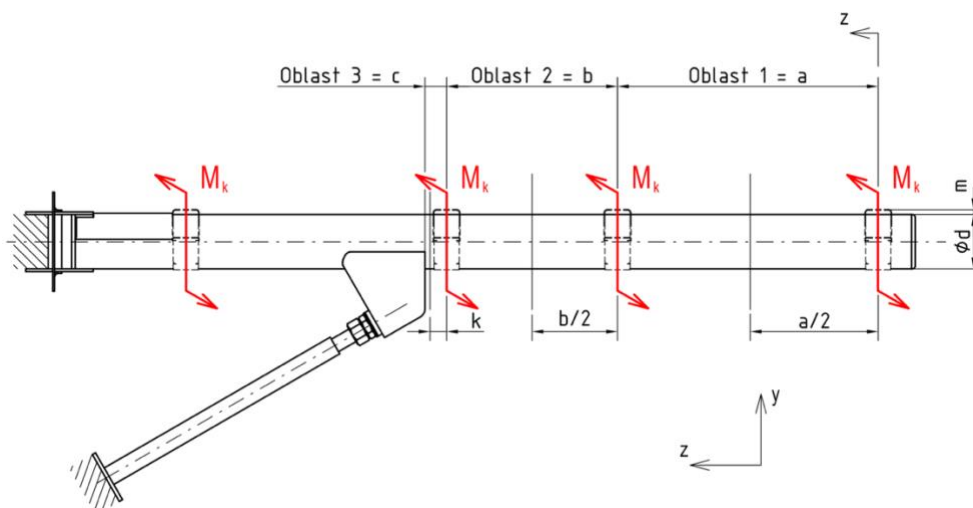
$$M_k(z) = -M_k = -476,5 \text{ Nm} \quad (4.23.1)$$

Krutící moment v oblasti 2

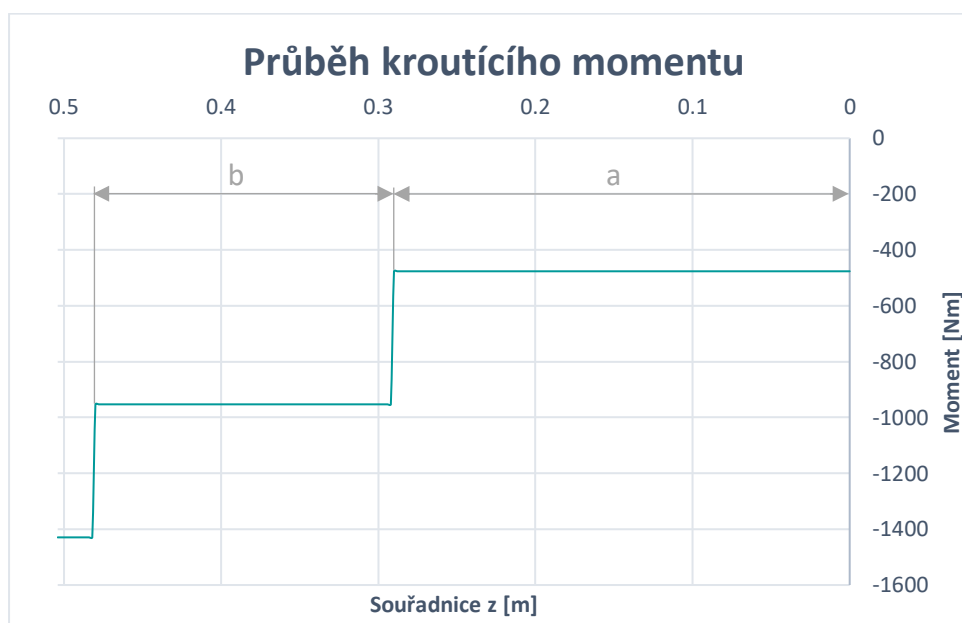
$$M_k(z) = -2 \cdot M_k = -2 \cdot 476,6 = -952,9 \text{ Nm} \quad (4.23.2)$$

Krutící moment v oblasti 3

$$M_k(z) = -3 \cdot M_k = -3 \cdot 476,5 = -1\,429,4 \text{ Nm} \quad (4.23.3)$$



Obrázek 4.23.1 – Krut konzoly v ose z



Graf 4.23-1 – Krutící moment podle osy trubky, v oblasti a, b

4.24 Výpočet redukovaného napětí

Pro výpočet redukovaného napětí v určitých místech konzoly jsem si nejprve potřeboval vypočítat průřezové moduly v ohybu a v kroucení pro trubku.

Výpočet modulů průřezu

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \cdot \left[1 - \left(\frac{D}{d} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 60,3^3}{32} \cdot \left[1 - \left(\frac{55,1}{60,3} \right)^4 \right] = 6\,518,6 \text{ mm}^3 \quad (4.24.1)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \cdot \left[1 - \left(\frac{D}{d} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 60,3^3}{16} \cdot \left[1 - \left(\frac{55,1}{60,3} \right)^4 \right] = 13\,037,2 \text{ mm}^3 \quad (4.24.2)$$

Kde d je vnější průměr a D je vnitřní průměr hlavní nosné trubky konzoly.

Celkový ohybový moment

Protože je konzola ohýbána ve dvou, na sebe kolmých, rovinách, můžeme ohybové momenty sečíst pomocí Pythagorovy věty.

$$M_o(z) = \sqrt{M_{o_{yz}}(z)^2 + M_{o_{xz}}(z)^2} \quad (4.24.3)$$

$$M_o(a/2) = \sqrt{(-7,1)^2 + (-108,8)^2} = 109 \text{ Nm} \quad (4.24.4)$$

$$M_o(a + b/2) = \sqrt{(-23,5)^2 + (-397,5)^2} = 398,2 \text{ Nm} \quad (4.24.5)$$

$$M_o(a + b + k) = \sqrt{(-35,8)^2 + (-547,5)^2} = 548,7 \text{ Nm} \quad (4.24.6)$$

Napětí v ohybu

$$\sigma_o(z) = \frac{M_o(z)}{W_o} \quad (4.24.7)$$

$$\sigma_o(a/2) = \frac{109 \cdot 10^3}{6\,518,6} = 16,7 \text{ MPa} \quad (4.24.8)$$

$$\sigma_o(a + b/2) = \frac{398,2 \cdot 10^3}{6\,518,6} = 61,1 \text{ MPa} \quad (4.24.9)$$

$$\sigma_o(a + b + k) = \frac{548,7 \cdot 10^3}{6\,518,6} = 84,2 \text{ MPa} \quad (4.24.10)$$

Napětí v krutu

$$\tau_k(z) = \left| \frac{M_k(z)}{W_k} \right| \quad (4.24.11)$$

$$\tau_k(a/2) = \left| \frac{-476,5 \cdot 10^3}{13\,037,2} \right| = 36,5 \text{ MPa} \quad (4.24.12)$$

$$\tau_k(a + b/2) = \left| \frac{-952,9 \cdot 10^3}{13\,037,2} \right| = 73,1 \text{ MPa} \quad (4.24.13)$$

$$\tau_k(a + b + k) = \left| \frac{-1\,429,4 \cdot 10^3}{13\,037,2} \right| = 109,6 \text{ MPa} \quad (4.24.14)$$

Redukované napětí

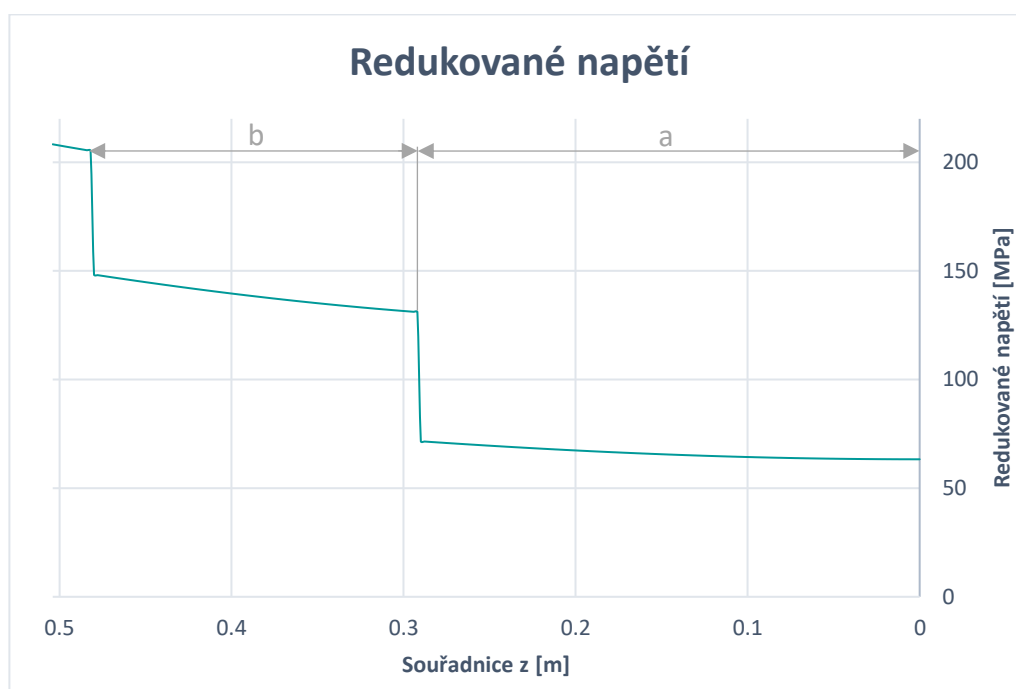
$$\sigma_{red}(z) = \sqrt{\sigma_o(z)^2 + [\alpha \cdot \tau_k(z)]^2} \quad (4.24.15)$$

Pro houževnatý materiál si lze vybrat buď z metody τ_{max} , nebo H.M.H. Já si vybral metodu H.M.H., pro kterou platí, že $\alpha = \sqrt{3}$.

$$\sigma_{red}(a/2) = \sqrt{16,7^2 + (\sqrt{3} \cdot 36,5)^2} = 65,5 \text{ MPa} \quad (4.24.16)$$

$$\sigma_{red}(a + b/2) = \sqrt{61,1^2 + (\sqrt{3} \cdot 73,1)^2} = 140,6 \text{ MPa} \quad (4.24.17)$$

$$\sigma_{red}(a + b + k) = \sqrt{84,2^2 + (\sqrt{3} \cdot 109,6)^2} = 207,7 \text{ MPa} \quad (4.24.18)$$



Graf 4.24-1 - Průběh redukovaného napětí, v oblasti a, b

Souřadnice z	$\frac{a}{2}$	$a + \frac{b}{2}$	$a + b + k$
Namáhání			
Ohybové [MPa]	16,7	61,1	84,2
Krutové [MPa]	36,5	73,1	109,6
Redukované [MPa]	65,5	140,6	207,7

Tabulka 4.24.1 - Výsledné hodnoty napětí pro vybraná místa

Při porovnání hodnot redukovaných napětí, z tabulky (Tabulka 4.24.1), a hodnot napětí, z obrázku (Obrázek 4.18.1), ve vybraných místech, lze dojít k závěru, že se tyto hodnoty přibližně rovnají. To znamená, že výpočet metodou konečných prvků by měl být správný. Napjatost na obrázku (Obrázek 4.18.1) je o něco vyšší než vypočtená hodnota redukovaného napětí, z důvodu působícího namáhání. Konzola je namáhána na ohyb a krut, přičemž hodnoty redukovaného napětí u těchto namáhání jsou nejvyšší na vnějším povrchu namáhané součásti. Výsledky spočítané analytickou metodou jsou v dobré shodě s rozložením redukovaného napětí vypočtených pomocí MKP, viz obrázek (Obrázek 4.18.1).

Závěr

V této bakalářské práci jsem nejprve, v první kapitole, shrnul nejčastěji používané způsoby uspořádání sedadel v interiéru vlaků a elektrických trakčních jednotek. Mezi které patří kupé, velkoprostorové vozy s uspořádáním sedadel proti sobě a velkoprostorové vozy s uspořádáním sedadel proti sobě a za sebou. Zkoumal jsem jednotlivé způsoby uspořádání a na základě zmíněných kritérií jsem vybral jako nejvhodnější uspořádání pro regionální dopravu velkoprostorové uspořádání se sedadly za sebou a proti sobě. Ve druhé kapitole jsem se zaměřil na legislativní požadavky, které musí/nemusí sedadla v interiéru vozů splnit. Zaměřil jsem se především na Nařízení Komise EU TSI PRM, vyhlášky UIC 566 a UIC 567 a dále na interní předpis německého dopravce Deutsche Bahn GrulaSi, která předkládá mnohem větší spektrum zatížení konstrukce sedadel a musí být respektována firmou Siemens Mobility při dodávkách pro Deutsche Bahn.

Ve třetí kapitole jsem se věnoval způsobům upevnění konzole sedadel do skříně vozu. Mezi základní způsoby patří upevnění do podlahy částečné, nebo úplné, upevnění sedadel do stropu, upevnění sedadel do bočnice a upevnění sedadel na bednu. Kvůli mnoha zmíněným výhodám upevnění sedadel do bočnice jsem právě tento způsob vybral jako nejvhodnější. Ve čtvrté kapitole jsem definoval tři základní zátěžné stavy konzoly, přepočítané z účinků sil z vyhlášky UIC 566. Představil jsem dva základní konstrukční návrhy. Jeden sestávající z obdélníkových profilů a druhý z jedné centrální nosné kruhové trubky. Popsal jsem konstrukci polohovatelné vzpěry. Navrhl jsem způsob upevnění konzoly do bočnice a způsob upevnění sedadel na konzolu. Vybral jsem materiál konzoly, a to konstrukční ocel S355J2 s ohledem na její vysokou mez kluzu a spočetl jsem dovolené napětí konzoly. Provedl jsem pevnostní výpočet metodou konečných prvků, pro obě konstrukční varianty, pro dva zátěžné stavy, viz 4.2. a 4.3. Podle výsledků výpočtů MKP jsem konzolu s jednou centrální nosnou kruhovou trubkou vybral jako vhodnější pro mou aplikaci, a to s ohledem na podobnou hmotnost a technologičnost konstrukcí obou konzol. Kritická místa, zjištěná výpočtem MKP, jsem konstrukčně upravil a provedl jsem znovu pevnostní výpočet MKP zvolené konzoly. Upravená konzola vyhověla pevnostní podmínce maximálního dovoleného napětí. V poslední podkapitole této bakalářské práce jsem porovnal výsledky z pevnostního výpočtu MKP s výsledky získanými, ve vybraných řezech, analytickou metodou. Vypočtená napětí analytickou metodou se přibližně shodovala s napětími získanými MKP.

Tato bakalářská práce by se mohla dále rozpracovat v diplomovou práci. Bylo by potřeba se dále zaměřit na návrh předepjatých šroubových spojů, návrh svarových spojů a popřípadě návrh povrchových úprav konzoly. V diplomové práci by se dále mohl rozpracovat vzhled sedadel a upřesnit upevnění sedadel na konzolu. Konzola by se mohla rozšířit o nezbytnosti dnešní doby, jako jsou zásuvky na 220 V a zásuvky na USB nabíječky. Dále bych mohl navrhnout interiér elektrické trakční jednotky pro regionální dopravu s použitím mnou navržené konzoly a sedadel.

Citovaná literatura

- [1] rysmichala, „vagonweb,“ [Online]. Available: <https://www.vagonweb.cz/razeni/vlak.php?zeme=OeBB&kategorie=&cislo=100&nazev=Moravia&rok=2019>. [Přístup získán 3 Listopad 2019].
- [2] „Skoda,“ [Online]. Available: <https://www.skoda.cz/reference/elektricka-jednotka-rady-471-cityelefant/?from=cmp>. [Přístup získán 3 Listopad 2019].
- [3] „Velaro,“ [Online]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/mobility/rail-solutions/rolling-stock/high-speed-and-intercity-trains/velaro.html>. [Přístup získán 7 Listopad 2019].
- [4] pd, „Bmz226 ČD,“ 2017. [Online]. Available: https://www.vagonweb.cz/fotogalerie/CZ/CD_Bmz226.php. [Přístup získán 27 10 2019].
- [5] Pohl, Jiří, *Řešení vozidel DF JP 171011*, 2017.
- [6] „Regio plus,“ [Online]. Available: <https://www.borcad.cz/portfolio/regioplus/>. [Přístup získán 7 Listopad 2019].
- [7] M. Nölb, „File:ČD-Railjet Economy Class.jpg,“ 2 6 2014. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ČD-Railjet_Economy_Class.jpg. [Přístup získán 26 10 2019].
- [8] M. Maděra, „Bmpz891 ČD railjet,“ 2014. [Online]. Available: https://www.vagonweb.cz/fotogalerie/CZ/CD_Bmpz891.php. [Přístup získán 28 10 2019].
- [9] „Genio,“ [Online]. Available: <https://www.borcad.cz/portfolio/genio/>. [Přístup získán 7 Listopad 2019].
- [10] „European Union Agency for Railways,“ [Online]. Available: https://www.era.europa.eu/activities/technical-specifications-interoperability_en. [Přístup získán 30 Říjen 2019].
- [11] „About UIC,“ [Online]. Available: <https://uic.org/about/about-uic/>. [Přístup získán 7 Listopad 2019].
- [12] *TSI PRM. NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1300/2014: o technických specifikacích pro interoperabilitu týkajících se přístupnosti železničního systému Unie pro osoby se zdravotním postižením a osoby s omezenou schopností pohybu a orientace*, Brusel , 2014.
- [13] *UIC 566 1990-01-01 en*, Paříž: International Union of Railways, 1990.
- [14] *UIC 567 de 2004-11-01*, Paris: Internationaler Eisenbahnverband, 2004.
- [15] Deutsche Bahn AG, *Grundlagen für die Konstruktion und Prüfung von Fahrgastsitzen in Schienenfahrzeugen GrulaSi*, Leipzig, 2017.
- [16] J. Šíroky, J. Müller a S. Zapletal, *Stavba železničních kolejových vozidel*, Ostrava: Vysoká škola Baňská - Technická univerzita Ostrava/Univerzita Pardubice, 2013.
- [17] „Regio,“ [Online]. Available: <https://www.borcad.cz/portfolio/regio/>. [Přístup získán 12 Listopad 2019].

- [18] „Flexio,“ [Online]. Available: <https://www.borcad.cz/portfolio/sedadlo-flexio/>. [Přístup získán 13 Listopad 2019].
- [19] M. Maděra, „842 ČD,“ 2013. [Online]. Available: https://www.vagonweb.cz/fotogalerie/CZ/CD_842.php. [Přístup získán 13 Listopad 2019].
- [20] „Desiro,“ [Online]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/mobility/rail-solutions/rolling-stock/commuter-and-regional-trains/desiro.html#DesiroHC>. [Přístup získán 13 Listopad 2019].
- [21] „Weber-online,“ [Online]. Available: <https://www.weber-online.com/cs/osazovaci-system-pro-nytovaci-matice-sbm/>. [Přístup získán 26 3 2020].
- [22] EN 10025: 1990 + A1: 1993, Český normalizační institut, 1990 + 1993.
- [23] EC117, „Řazení vlaků 2019,“ 18 11 2018. [Online]. Available: <https://www.vagonweb.cz/razeni/vlak.php?zeme=CD&kategorie=RJ&cislo=70&nazev=Vindobona&rok=2019>. [Přístup získán 29 10 2019].
- [24] L. Häfliger, „File:SBB-RABe514-inside.jpg,“ 28 7 2006. [Online]. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SBB-RABe514-inside.jpg>. [Přístup získán 26 10 2019].

Seznam obrázků

Obrázek 1.1.1 – Uspořádání sedadel do kupé osobního vlaku Os 14545 dopravce České dráhy [1]	2
Obrázek 1.1.2 – Uspořádání sedadel proti sobě elektrické jednotky řady 471 Cityelefant společnosti Škoda Transportation [2].....	2
Obrázek 1.1.3 - Uspořádání sedadel za sebou a proti sobě trakční jednotky platformy Velaro společnosti Siemens [3].....	2
Obrázek 1.2.1 – Vůz Bmz provozovatele České dráhy [4].....	3
Obrázek 1.3.1 – Řešení vozu Regio plus společnosti Borcad [6].....	4
Obrázek 1.4.1 – Interiér vlaku Viaggio Comfort (Railjet) společnosti Siemens [7].....	4
Obrázek 1.6.1 – Spokojenost cestujícího při jízdě bez přímého souseda [5]	5
Obrázek 1.6.2 - Prostorové výhody uspořádání za sebou [5]	6
Obrázek 1.6.3 – Stolký v kupé vozu BMZ od provozovatele České dráhy [4].....	6
Obrázek 1.6.4 – Společný stůl vlaku Viaggio Comfort (Railjet) společnosti Siemens [8]	7
Obrázek 1.6.5 – Stůl na opěradle sedadla Genio společnosti Borcad [9]	7
Obrázek 2.3.1 - Označení vyhrazených sedadel [12]	10
Obrázek 2.3.2 – Vyhrazená sedadla v uspořádání za sebou [12]	10
Obrázek 2.3.3 – Vyhrazená sedadla v uspořádání proti sobě [12]	11
Obrázek 2.3.4 – Vyhrazená sedadla v uspořádání proti sobě se sklopným stolkem [12].....	11
Obrázek 2.3.5 – Výška nad vyhrazeným sedadlem [12]	12
Obrázek 2.4.1 – Síly působící na sedadlo [13]	13
Obrázek 2.5.1 – Uspořádání sedadel proti sobě [14]	14
Obrázek 2.5.2 – Uspořádání sedadel za sebou [14]	14
Obrázek 2.5.3 – Základní rozměr sedadla [14]	15
Obrázek 2.6.1 – Základní rozměr sedadla [15]	15
Obrázek 2.6.2 – Uspořádání sedadel proti sobě.....	16
Obrázek 2.6.3 – Uspořádání sedadel za sebou.....	16
Obrázek 2.6.4 – Síly působící na sedadlo [15]	17
Obrázek 2.6.5 -Síly působící na stůl [15]	19

Obrázek 2.6.6 - Síly působící na opěrku hlavy, opěrku nohou a na síťku pro ukládání věcí [15]	19
Obrázek 2.6.7 - Síly působící na opěradlo a konzolu sedadla [15]	19
Obrázek 3.1.1 - C – drážka se šroubovým spojem [16]	20
Obrázek 3.2.1 – Upevnění do podlahy sedadel Regio společnosti Borcad [17]	21
Obrázek 3.2.2 – Upevnění do podlahy sedadel Flexio společnosti Borcad [18]	21
Obrázek 3.3.1 – Upevnění sedadel do stropu v motorové voze řady 842 dopravce České dráhy [19]	22
Obrázek 3.4.1 – Upevnění sedadel na bednu elektrické jednotky Stadler Flirt dopravce Leo Express	23
Obrázek 3.5.1 – Upevnění sedadel do bočnice v elektrické trakční jednotce Desiro HC od společnosti Siemens [20]	23
Obrázek 3.5.2 – Ocelová konzola upevněná do bočnice v elektrické jednotce Stadler Flirt dopravce Leo Express	24
Obrázek 4.1.1 – Schéma sil působících na sedadlo	25
Obrázek 4.2.1 - První zátěžný stav	26
Obrázek 4.3.1 - Druhý zátěžný stav	27
Obrázek 4.4.1 - Třetí zátěžný stav	27
Obrázek 4.5.1 – Výsledné síly vyvozené z dvojice sedadel na ocelovou konzolu č. 2	28
Obrázek 4.6.1 – První varianta ocelové konzoly	29
Obrázek 4.6.2 - Detailní pohled pozice č. 3	29
Obrázek 4.7.1 – Druhá varianta ocelové konzoly	30
Obrázek 4.7.2 - Detailní pohled na pozice č. 2 a 7	30
Obrázek 4.8.1 - Polohovatelná vzpěra	31
Obrázek 4.9.1 - Konzola upevněná do bočnice pomocí c - drážky	31
Obrázek 4.9.2 – Detail upevnění konzoly do c - drážky	32
Obrázek 4.9.3 – Detail upevnění vzpěry do bočnice	32
Obrázek 4.10.1 - Princip nýtovacích matic [21]	33
Obrázek 4.10.2 – Šroubové spojení sedadla konzolou	33
Obrázek 4.12.1 – Plochy vetknutí	34
Obrázek 4.12.2 - Okrajové podmínky a zatěžující síly	35
Obrázek 4.12.3 - Vysíťované modely	35
Obrázek 4.13.1 - Vizualizace napjatostí při prvním zátěžném stavu pro konzolu č. 1	36
Obrázek 4.13.2 - Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při prvním zátěžném stavu pro konzolu č. 1	36
Obrázek 4.13.3 - Vizualizace napjatostí při prvním zátěžném stavu pro konzolu č. 2	37
Obrázek 4.13.4 - Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při prvním zátěžném stavu pro konzolu č. 2	37
Obrázek 4.14.1 - Vizualizace napjatostí při druhém zátěžném stavu pro konzolu č. 1	38
Obrázek 4.14.2 – Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při druhém zátěžném stavu pro konzolu č. 1	38
Obrázek 4.14.3 - Vizualizace napjatostí při druhém zátěžném stavu pro konzolu č. 2	38
Obrázek 4.14.4 - Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při druhém zátěžném stavu pro konzolu č. 2	39
Obrázek 4.16.1 – Úprava šroubového spoje konzola - vzpěra	40
Obrázek 4.18.1 - Vizualizace napjatostí při prvním zátěžném stavu pro upravenou konzolu	41
Obrázek 4.18.2 - Vizualizace napjatostí v kritických oblastech při druhém zátěžném stavu pro upravenou konzolu	42
Obrázek 4.18.3 - Vizualizace napjatostí při druhém zátěžném stavu pro upravenou konzolu	42
Obrázek 4.21.1 – Ohyb konzoly v rovině yz	45
Obrázek 4.22.1 – Ohyb konzoly v rovině xz	46
Obrázek 4.23.1 – Krut konzoly v ose z	47

Seznam tabulek

Tabulka 2.4.1 – hodnoty testovacích sil [13]	13
Tabulka 2.6.1 – Základní rozměry sedadel [15]	16
Tabulka 2.6.2 – Hodnoty pro jednotlivá uspořádání [15]	17
Tabulka 2.6.3 – Hodnoty namáhání sedadel [15]	18
Tabulka 2.6.4 - Hodnoty namáhání příslušenství sedadel [15]	18
Tabulka 4.5.1 – výsledné reakční síly	28



Tabulka 4.20.1 - Délkové rozměry	43
Tabulka 4.20.2 - Silové účinky.....	44
Tabulka 4.24.1 - Výsledné hodnoty napětí pro vybraná místa	50

Seznam grafů

Graf 4.21-1 - Ohybový moment v rovině YZ, v oblasti a, b	45
Graf 4.22-1 - Ohybový moment v rovině XZ, v oblasti a, b	46
Graf 4.23-1 – Kroutící moment podle osy trubky, v oblasti a, b	47
Graf 4.24-1 - Průběh redukovaného napětí, v oblasti a, b.....	50

Seznam příloh

Sestavný výkres

Název: Upevnění konzoly do skříně vozidla

Číslo výkresu: BP – 02 – 00