

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování



Návrh přístupu do vozu pro cestujícího na invalidním vozíku

Design of Wheelchair Access to a Railway Carriage

Student: Alexandr Skotnica
Osobní číslo: SKO0152
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Alexandr Skotnica**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: **Návrh přístupu do vozu pro cestujícího na invalidním vozíku**
Design of Wheelchair Access to a Railway Carriage
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce zpracujte rešerši/analýzu dané problematiky. Dále navrhnete nízkopodlažní vstup do vozidla osobního vozu z nástupiště o výšce 230 mm až 550 mm nad temenem kolejnice při dodržení evropské legislativy. Podlaha vstupu do vozu se nachází ve výšce 550 mm nad temenem kolejnice. Součástí práce je návrh zabudování plošiny pro zvedání invalidního vozíku, která je součástí vozidla. Konstruktivní řešení podložíte potřebnými pevnostními, kinematickými nebo provozními výpočty a vypracujte technickou dokumentaci v požadovaném rozsahu. Bližší specifikace provozních podmínek a parametrů určí zadavatel - ŠKODA TRANSPORTATION a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:


PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy. Díl 2, Řídicí prvky hydrostatických systémů, příslušenství hydrostatických obvodů*. Ostrava: VŠB-TUO, 2008. ISBN 978-80-248-1827-6.
JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře - části spojovací*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8
BOLEK, A. a kol. *Části strojů*. Praha: SNTL Praha, 1990.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: ČNI, srpen 1996. 32s

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

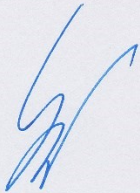
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020


doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020.

.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020

.....

Podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SKOTNICA, A. *Návrh přístupu do vozu pro cestujícího na invalidním vozíku: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 67 s. Vedoucí práce: Doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce sloužící k upevnění plošiny pro cestující na invalidním vozíku do železničního vozu. Úvodní část se zabývá především problematikou cestování osob na invalidním vozíku. Praktická část řeší variantní řešení konstrukce, různé případy namáhání konstrukce, pevnostní kontrolu a výpočet šroubového spoje. V závěru práce jsou vyhodnoceny výsledky výpočtů a splnění cílů práce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SKOTNICA, A. *Design of Wheelchair Access to a Railway Carriage: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020, 67 p. Thesis head: Doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

This bachelor thesis deals with the design of a structure used to attach a trainlift to a railway car. The introductory part deals mainly with the difficulties disabled people face when travelling in a wheelchairs. The practical part deals with a variant solution of the structure, solves several cases of stress in the structure, strength analysis and calculation of a bolted joint. In the final part of the thesis, the results of calculations and a completion of objectives are evaluated.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za podporu a motivaci při studiu. Velké díky patří doc. Ing. Jiřímu Friesovi, Ph.D. za vedení, odbornou pomoc a cenné rady. Zároveň děkuji firmě Škoda Transportation a.s. za poskytnuté podklady a konzultace.

Obsah

1	ŠKODA VAGONKA A.S.	13
2	CESTOVÁNÍ INVALIDŮ VLAKEM	14
2.1	BEZBARIÉROVOST NÁSTUPIŠTĚ.....	14
2.2	DOSTUPNOST BEZBARIÉROVÉ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY V ČR.....	15
3	TYPY POMŮCEK PRO OSOBY NA INVALIDNÍM VOZÍKU	17
3.1	INTEGROVANÁ RAMPA	17
3.2	INTEGROVANÁ PLOŠINA	18
3.3	EXTERNÍ POJÍZDNÁ PLOŠINA	18
3.4	PŘENOSNÁ RAMPA.....	19
3.5	KOLEJNICE.....	20
4	BEZBARIÉROVÉ VOZY V ČR	21
4.1	ČD RAILJET	21
4.2	ŘÍDÍCÍ VOZY ABFBRDTN ⁷⁹⁵ ČD	21
4.3	OSOBNÍ VOZY BBDGMEE ²³⁶	22
4.4	ELEKTRICKÁ JEDNOTKA ŘADY 471 – CITYELEFANT	23
4.5	ELEKTRICKÁ JEDNOTKA REGIOPANTER.....	23
5	PLOŠINA PALFINGER TRAINLIFT TRP 600	24
6	NÁVRHY PROVEDENÍ UCHYCENÍ PLOŠINY DO VOZU	25
6.1	NÁVRHY PROVEDENÍ	26
6.2	VÝBĚR FINÁLNÍHO PROVEDENÍ	28
7	KONSTRUKČNÍ NÁVRH	29
7.1	VNITŘNÍ ROZMĚRY SKŘÍNĚ	29
7.2	ŠROUBOVÉ SPOJE	29
7.3	SESTAVA KONSTRUKCE	30
8	VOLBA MATERIÁLU	31
9	PEVNOSTNÍ KONTROLA KONSTRUKCE	32
9.1	NORMA ČSN EN 12 663-1+A1	32
9.2	SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM	32
10	KONTOLOVANÉ PŘÍPADY ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE	33
10.1	PŘÍPADY ZATÍŽENÍ DLE ČSN EN 12 663-1+A1	33
10.2	ZATÍŽENÍ PŘI POUŽÍVÁNÍ PLOŠINY	33
10.3	ZATÍŽENÍ PŘI OTÁČENÍ PLOŠINY	34
11	VÝPOČET SIL ZATĚŽUJÍCÍCH KONSTRUKCI	35

11.1	VÝPOČET REAKCÍ DO KULOVÝCH ČEPŮ	36
11.2	ZATÍŽENÍ PŘI JÍZDĚ DLE ČSN EN 12 663-1+A1	36
11.3	ZATÍŽENÍ PŘI JÍZDĚ SE ZRYCHLENÍM -1G V OSE Z	39
11.4	ZATÍŽENÍ PŘI VYTOČENÍ PLOŠINY O 90°	40
11.5	ZATÍŽENÍ PŘI POUŽÍVÁNÍ PLOŠINY	42
12	VÝPOČET REAKCÍ V DOTYKOVÝCH PLOCHÁCH	45
12.1	REAKCE V HORNÍM SPOJI	45
12.2	REAKCE V DOLNÍM SPOJI	47
13	VÝPOČET HORNÍHO ŠROUBOVÉHO SPOJE	50
13.1	PEVNOSTNÍ KONTROLA ŠROUBU	53
14	ANALÝZA METODOU KONEČNÝCH PRVKŮ	56
14.1	SÍŤ	56
14.2	MATERIÁL	56
14.3	VAZBY	57
14.4	DOTYKY	59
14.5	ZATÍŽENÍ	59
14.6	VÝSLEDKY	60
14.7	KONTROLA BEZPEČNOSTI	62
15	ZÁVĚR	63
16	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64
17	SEZNAM PŘÍLOH	67

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
b_{1y}	Vzdálenost prvního šroubu od hrany osy y	mm
b_{1z}	Vzdálenost prvního šroubu od hrany osy z	mm
b_{2y}	Vzdálenost druhého šroubu od hrany osy y	mm
b_{2z}	Vzdálenost prvního šroubu od hrany osy z	mm
ČSN	Česká technická norma	
d_2	Střední průměr závitu	mm
d_3	Malý průměr závitu	mm
D_d	Průměr díry podložky	mm
D_{SK}	Průměr vepsané kružnice hlavy šroubu	mm
f	Součinitel tření mezi plochami spoje	-
F_0	Předpětí ve šroubu	N
F_{0min}	Minimální předpětí ve šroubu	N
F_{1gy}	Zatížení -1g v ose y	$m \cdot s^{-2}$
F_{-1gy}	Zatížení -1g v ose y	$m \cdot s^{-2}$
F_{-1gz}	Zatížení -1g v ose z	$m \cdot s^{-2}$
F_{1x}	Reakce horního kulového čepu v ose x	N
F_{1y}	Reakce horního kulového čepu v ose y	N
F_{1z}	Reakce horního kulového čepu v ose z	N
F_{2x}	Reakce dolního kulového čepu v ose x	N
F_{2y}	Reakce dolního kulového čepu v ose y	N
F_{2z}	Reakce dolního kulového čepu v ose z	N
F_{3gx}	Zatížení 3g v ose x	$m \cdot s^{-2}$
F_{-3gx}	Zatížení -3g v ose x	$m \cdot s^{-2}$
F_{3gz}	Zatížení 3g v ose z	$m \cdot s^{-2}$
F_{3x}	Reakce pojistky v ose x	N

F_{3y}	Reakce pojistky v ose y	N
F_{Dx}	Silová reakce dolního spoje v ose x	N
F_{Dy}	Silová reakce dolního spoje v ose y	N
F_{Dz}	Silová reakce dolního spoje v ose z	N
F_G	Zatížení plošiny	N
F_{Gx}	Zatížení plošiny v ose x	N
F_{Gy}	Zatížení plošiny v ose y	N
F_{Gz}	Zatížení plošiny v ose z	N
F_{Hx}	Silová reakce horního spoje v ose x	N
F_{Hy}	Silová reakce horního spoje v ose y	N
F_{Hz}	Silová reakce horního spoje v ose z	N
F_M	Výsledná ohybová síla	N
F_{M1y}	Ohybová síla v prvním šroubu od síly v ose y	N
F_{M1z}	Ohybová síla v prvním šroubu od síly v ose z	N
F_{M2y}	Ohybová síla v druhém šroubu od síly v ose y	N
F_{M2z}	Ohybová síla v druhém šroubu od síly v ose z	N
F_N	Síla k zachycení síly F_{pk}	N
F_P	Zatížení od hmotnosti cestujícího na vozíku	N
F_{pk}	Síla v rovině spoje	N
F_{pz}	Tíhová síla od hmotnosti plošiny	N
F_s	Síla ve šroubu	N
F_{xmax}	Největší tahová síla	N
f_z	třecí součinitel	-
g	Gravitační zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
ISO	Mezinárodní technická norma	
k	Bezpečnost	-
k_{min}	Minimální přijatelná bezpečnost	-

k_p	Součinitel bezpečnosti proti prokluzu	-
k_s	Statická bezpečnost	-
M_{Dx}	Momentová reakce dolního spoje kolem osy x	$N \cdot m$
M_{Dy}	Momentová reakce dolního spoje kolem osy y	$N \cdot m$
M_{Dz}	Momentová reakce dolního spoje kolem osy z	$N \cdot m$
M_{Hx}	Momentová reakce horního spoje kolem osy x	$N \cdot m$
M_{Hy}	Momentová reakce horního spoje kolem osy y	$N \cdot m$
M_{Hz}	Momentová reakce horního spoje kolem osy z	$N \cdot m$
m_p	Hmotnost zařízení	kg
M_T	Utahovací moment	$N \cdot m$
M_{TM}	Moment tření pod hlavou šroubu	$N \cdot m$
M_{TZ}	Moment tření v závitech	$N \cdot m$
n	Počet šroubů	-
P	Rozteč závitu	mm
R_e	Mez kluzu	MPa
α	Úhel profilu	°
σ_{RED}	Redukované napětí	MPa
σ_t	Tahové napětí	MPa
τ	Smykové napětí	MPa
φ'	Redukovaný třecí úhel	°
ψ	Úhel stoupání	°

Úvod

V bakalářské práci se věnuji návrhu konstrukce pro uchycení plošiny pro cestující na invalidním vozíku do vozu. Je kladen důraz na jednoduchost, nízkou hmotnost a snadnou vyrobiteľnost. V teoretické části práce se zabývám současným stavem cestování lidí na invalidním vozíku, možnými pomůckami pro nástup a několika bezbariérovými vozy na českých železnicích. Zadavatelem bakalářské práce je ŠKODA TRANSPORTATION a.s.

V praktické části řeším několik návrhů variant konstrukcí, uvažuji jejich klady a zápory. Dále vypočítávám statické zatížení konstrukce za využití případů zatížení plošiny dle normy ČSN EN 12 663-1+A a jiných vybraných případů namáhání. Vybranou variantu konstrukce za pomoci vypočteného zatížení pevnostně kontroluji metodou konečných prvků. Zároveň vypočítávám šroubový spoj plošiny a řešené konstrukce. V příloze předkládám výkresovou dokumentaci vybrané varianty konstrukce.

1 Škoda Vagonka a.s.

Firma Škoda Vagonka a.s. je jedním z předních evropských výrobců osobních kolejových vozidel. Škoda vagonka se zaměřuje na vývoj, výrobu, modernizaci, servis a opravy jednopodlažních a dvoupodlažních elektrických jednotek pro příměstskou dopravu, motorových vozů a push-pull souprav. Jedním z produktů firmy je elektrická jednotka RegioPanter, kterou můžeme vidět na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1 – Elektrická jednotka RegioPanter[1]

Prvním předchůdcem firmy byla **Staudinger Waggonfabrik A.G.** založená roku 1900 Adolfem Šustalou v Butovicích u Studénky. Roku 1928 byla firma odkoupena a název firmy změněn na Moravskoslezská vozovka, a. s. Po druhé světové válce byla firma znárodněna a zařazena do národního podniku Tatra. Po revoluci prošla firma několika změnami majitelů. V roce 2001 se přestěhovala do zmodernizovaného pracoviště Vítkovických železáren v Ostravě-Vítkovicích které můžeme vidět na obrázku 1.2. V roce 2009 přešla pod skupinu Škoda Transportation a.s.



Obrázek 1.2 – Budova firmy v Ostravě – Vítkovicích [2]

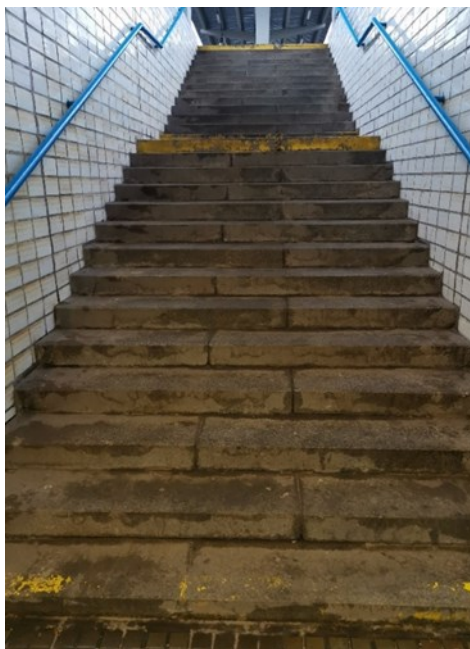
2 Cestování invalidů vlakem

Cesta vlakem se pro běžného člověka může zdát jako triviální záležitost. Jinak ji však vnímají lidé na vozíku, lidé staří či matky s kočárky. V minulosti museli tito lidé vyhledat jiné alternativy cestování, nebo se vypořádat s množstvím problémů, které jim cestování znepříjemňovaly. Dnes se situace zlepšuje, nové vozy jsou bezbariérové, nástupiště jsou vybavena plošinami. Ovšem k plné dostupnosti vlakové dopravy je ještě daleko.

2.1 Bezbariérovost nástupiště

Hned prvním problémem může být samotná doprava k nástupišti. Bezbariérovým přístupem k nástupišti disponuje jen 54 % nádraží a zastávek. Přístupnost pro vozíčkáře chybí nejen v menších obcích, ale i ve městech.

Hlavním problémem jsou zde schody, které invalidní člověk sám nepřekoná, s pomocí ostatních je tato situace stále obtížná. Situaci částečně pomáhají řešit nájezdy, které jsou však pro méně zdatné vozíčkáře obtížně sjízdné. Výtahy jsou lepší možností, bohužel v menších obcích jsou raritou. Na obrázku 2.1 můžeme vidět nedostačující stav nádraží v Havířově.



Obrázek 2.1 – Jediný přístup k nástupišti na nádraží v Havířově

2.2 Dostupnost bezbariérové železniční dopravy v ČR

Většina národních a mezinárodních dopravců umožňuje přepravu invalidů, ať už po předchozí domluvě s dopravcem nebo nikoliv. U regionálních dopravců je tato možnost již méně častá. Důvodem mohou být technické možnosti nebo finanční stránka věci.

České dráhy

Největší český železniční dopravce České dráhy umožňuje dopravu na invalidním vozíku po objednání 24 hodin předem, a to jen u vlaků, které mají integrované řešení bezbariérovosti. V případě cesty do zahraničí nebo pokud není vlak bezbariérový a je nutno zařadit bezbariérový vůz je nutná objednávka nejméně 48 hodin předem. Objednávka musí být poté schválena, v závislosti na technických možnostech dopravce. Bohužel ani po domluvě není jisté, že cesta bude bez potíží. Bohužel se stává, že jsou plošiny nefunkční nebo s nimi personál neumí zacházet.

RegioJet

RegioJet donedávna nedoporučoval invalidním cestujícím jejich vlaky používat. Důvodem bylo zpoplatněné vypůjčení plošiny Českých drah, kdy za přistavení plošiny společnost platila až 3000 Kč. K nastoupení invalidů tedy měli být využiti členové posádky, kteří měli vozík s cestujícím ručně vynést. S touto službou jsem měl osobní zkušenost na trase Havířov - Olomouc, kdy se průvodčí nabídla v okamžiku, kdy jsme měli již invalidu vynesného svépomocí a vozík vynášeli ručně. Na zpáteční cestě jsme již nabídku pomoci nedostali. Nově však RegioJet zavádí ve vlacích využití přenosné rampy, bez nutnosti nahlášení předem Obrázek 2.2 znázorňuje ikonický vlak žluté barvy společnosti.



Obrázek 2.2 – Vlak společnosti RegioJet [3]

Leo Express

Vlaky Leo Express jsou nízkopodlažní, vybavené integrovanou rampou, kterou po rezervaci obsluhuje personál. Prostory vozů jsou kompletně bezbariérové, včetně WC. Pro cestujícího na vozíku je to nejlepší řešení. Vlaky Leo Express bohužel jezdí jen na trasách Praha – Přerov – Ostrava – Katowice, Praha – Přerov – Ostrava – Košice a několika regionálních trasách. Na obrázku 2.3 můžeme vidět vlakovou soupravu společnosti na trati Praha – Katowice.



Obrázek 2.3 – Jednotka Stadler Flirt společnosti Leo Express [4]

3 Typy pomůcek pro osoby na invalidním vozíku

V dnešní době se na trhu vyskytuje množství pomůcek pro nástup invalidů. Může se jednat jak o zařízení integrované v samotném voze, přenosná řešení nebo pomůcky externí, nacházející se na nástupišti a přivezené k vozu.

3.1 Integrovaná rampa

Prvním z řešení je využití nakloněné rampy pro překonání horizontální a vertikální mezery mezi nástupištěm a podlahou vozu. Toto řešení má výhodu v jednoduché konstrukci a nízké hmotnosti. Nevýhodou může být obtížnost nájezdu a sjezdu vozíčkáře v případě, že cestuje na ručním invalidním vozíku a větší potřeba místa na nástupišti k plnému rozložení rampy. Konstrukce rampy je zpravidla otočná, upevněna ke skříni vozu a skladována kolmo nebo rovnoběžně na směr jízdy pro snadnější manipulaci a lepší skladnost. Toto řešení je používáno například v motorové jednotce RegioShark nebo v elektrických jednotkách InterPanter a RegioPanter, jejíž plošina je zobrazena na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1 – Integrovaná rampa soupravy RegioPanter [5]

3.2 Integrovaná plošina

Dalším řešením je zabudovaná elektrická plošina. Plošina umožňuje překonání vertikální překážky bez nutnosti přičinění cestujícího, který po celou dobu nástupu zůstává ve vodorovné poloze. Obsluha plošiny je obstarána vyškoleným personálem vlaku. Pomocí plošiny lze překonávat vyšší rozdíly mezi nástupištěm a podlahou vozu, je proto vhodná k montáži také do vysokopodlažních vozů. Podobně jako rampy jsou konstrukce plošin připevněny ke skříni vozu a skladovány ve složeném stavu kolmo na směr nebo po směru jízdy. Typů konstrukčních řešení plošiny je několik, v České republice je nejrozšířenější řešení s mechanismem, který se vytočí ven z vozu a poté se přepravní plocha pohybuje pouze vertikálně. Vzhledem k hmotnosti plošiny a charakteru zatížení je montáž do vlaku komplikovanější. Plošiny můžeme najít v elektrických jednotkách CityElefant, ČD Railjet nebo ve vlcích s vozem Bbdgmee²³⁶. Příklad konstrukce plošiny můžeme vidět na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2 – Integrovaná plošina [6]

3.3 Externí pojízdná plošina

Pokud vozy nejsou vybaveny integrovaným řešením bezbariérového nástupu, je možno využití řešení externích. Jedním z těchto řešení může být externí pojízdná plošina. Ta se v případě použití přistaví ke dveřím vozu a umožní překonání bariéry mezi podlahou vozu a nástupištěm. Manipulaci a obsluhu plošiny zajišťuje personál nádraží. V České republice plošiny umístěné na nástupištích vlastní České dráhy, ostatní dopravci za využívání plošiny musí platit. Obrázek 3.3 ukazuje pojízdnou plošinu na hlavním nádraží v Ostravě.



Obrázek 3.3 – Pojízdná plošina na hlavním nádraží v Ostravě

3.4 Přenosná rampa

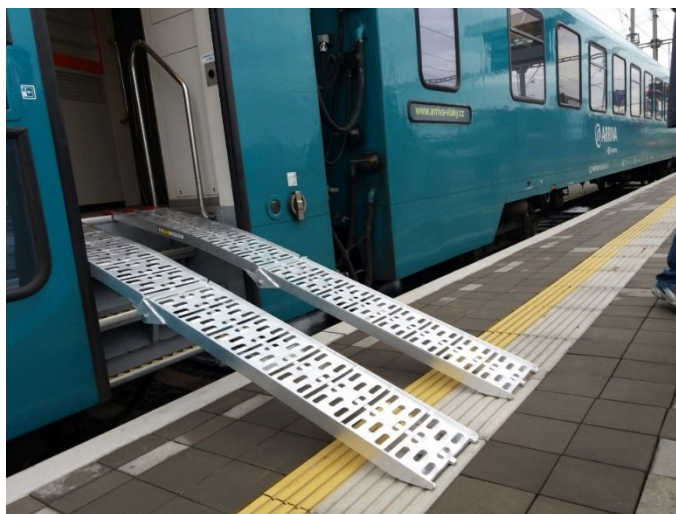
Přenosné rampy jsou využívány, pokud vlak samotný nedisponuje integrovaným řešením bezbariérovosti. Rampa se převáží ve voze, v případě potřeby je přenesena ke dveřím a rozložena. O rozložení se stará personál vlaku. Problémem může být potřeba prostoru na nástupišti, případně značný sklon plošiny v případě velkého rozdílu výšek mezi podlahou vozu a nástupištěm. Krajním případem může být situace na obrázku 3.4, kdy je výstup takřka nemožný z důvodu nedostatku místa na nástupišti.



Obrázek 3.4 – Nevhodné použití přenosné rampy [7]

3.5 Kolejnice

Řešení pomocí dvou kolejnic je variací na přenosnou rampu. V České republice toto řešení používá u svých vlaků např. firma Arriva vlaky s.r.o, jak lze vidět na obrázku 3.5.



Obrázek 3.5 – Kolejnice u vlaku Arriva [8]

4 Bezbariérové vozy v ČR

Na českých železnicích můžeme potkat množství bezbariérových vozů. Bezbariérovost se řeší individuálně, v závislosti na technickém řešení vozu, zda je s pomůckami počítáno již při projekci vozu nebo jestli je vůz dovybaven později, například po rekonstrukci.

4.1 ČD Railjet

Elektrické sedmivozové jednotky Viaggio Comfort firmy Siemens jsou provozovány Českými drahami pod označením ČD RailJet na trasách Praha – Brno – Vídeň – Štýrský Hradec a Praha – Brno – Bratislava. V Rakousku jezdí tyto jednotky pod označením ÖBB RailJet na sedmi trasách, převážně z a do Vídně. Disponují jedním bezbariérovým vstupem s plošinou, situovaným v kombinovaném voze bistra/1. třídy. Plošinu ve voze můžeme vidět na obrázku 4.1. Ve voze se také nacházejí 2 místa vyhrazená pro vozíčkáře.



Obrázek 4.1 – Jednotka RailJet [9]

4.2 Řídící vozy ABfbrdtn⁷⁹⁵ ČD

Modernizací mezi lety 2007-2010 byly poštovní vozy Postw zrekonstruovány na řídicí vozy ABfbrdtn⁷⁹⁵. Vůz je rozdělen na oddíly první a druhé třídy, invalidní cestující pak mají vyhrazena 2 místa. Vůz je provozován ČD v mnoha Osobních a Spěšných vlacích. Celkem bylo takto zmodernizováno 26 vozů. Plošinu vozu lze vidět na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2 – Plošina ve voze ABfbrdtn795 [10]

4.3 Osobní vozy Bbdgmee²³⁶

Modernizované vozy Bbdgmee²³⁶ provozují České Dráhy od roku 2012 ve vlacích EuroCity, InterCity, linkách rychlíků a expresů. Vůz je vybaven plošinou uchycenou rovnoběžně na směr jízdy vlaku (rotace 270°) a speciálním oddílem vyhrazeným vozíčkářům. Použití plošiny vozu Bbdgmee²³⁶ je možno vidět na obrázku 4.3.



Obrázek 4.3 – Plošina vozu Bbdgmee²³⁶ [11]

4.4 Elektrická jednotka řady 471 – CityElefant

Spodní podlaží elektrické jednotky 471 jsou nízkopodlažní, nástup je proto z rekonstruovaných nástupišť proveditelný bez další pomoci. V případě nižšího nástupiště jsou jednotky dodávané od srpna 2004 vybaveny integrovanými plošinami, jak vidíme na obrázku 4.4. Pro invalidy je ve vozech vyhrazen samostatný oddíl pro 2 cestující.



Obrázek 4.4 – Plošina jednotky CityElefant [12]

4.5 Elektrická jednotka RegioPanter

Částečně nízkopodlažní jednotky řady 440, provozované ČD pod označením RegioPanter disponují zabudovanou rozložitelnou rampou. Rampa se nachází ve voze s bezbariérovým záchodem. V případě, že je nástupiště ve výšce podlahy vozu, jsou vozy vybaveny i automatickým schůdkem, který překlene horizontální mezeru mezi nástupištěm a podlahou vozu. Na obrázku 4.5 je vidět vysunutý schůdek.



Obrázek 4.5 – Výsuvný schůdek jednotky RegioPanter

5 Plošina Palfinger Trainlift TRP 600

Do vozu bude montována plošina rakouské společnosti Palfinger, model Trainlift TRP 600. Tento model využívá osy, kolem které se mechanismus vytočí z vozu. Vertikální pohyb plošiny s cestujícím zajišťuje hydraulický píst. Existuje levotočivá i pravotočivá verze plošiny. Konstrukci plošiny vidíme na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1 – Plošina Palfinger Trainlift TRP 600 [13]

Tabulka 5.1 – Parametry plošiny Palfinger Trainlift TRP 600 Seznam použité literatury

Nosnost	350 kg
Výška zdvihu	Max. 600 mm
Rychlost zdvihu	cca 0,15 m/s (s maximální zátěží)
Rychlost klesání	cca 0,15 m/s (s maximální zátěží)
Šířka nástupní plošiny	800 mm
Délka nástupní plošiny	1200 mm
Výška krytu plošiny	1200 mm
Šířka krytu plošiny	1000 mm
Hloubka krytu plošiny	300 mm
Úhel vytočení	180°
Rádus vytočení	1000 mm
Hmotnost plošiny	230 kg
Délka cyklu	cca 60 s

6 Návrhy provedení uchycení plošiny do vozu

Součástí mé práce je konstrukční návrh uchycení plošiny pro invalidy do skříně vozu. Skříň vozu sestává z ocelových profilů, na které je z vnější strany přivařen plech. Prostor mezi profily je vyplněn izolací (Obrázek 6.1)



Obrázek 6.1 – Konstrukce skříně vozu

Konstrukce musí odolávat zatížení od samotné hmotnosti plošiny, od maximálního zatížení při použití a od zrychlení působících na plošinu od pohybu vozu. Z finančního hlediska by konstrukce měla být levně vyrobitelná. Důležitá je i co nejnižší hmotnost, v návaznosti na provozní náklady vlaku.

6.1 Návrhy provedení

Dveřní portál

Prvním variantou návrhu je zabudování spojení plošiny a vozu pomocí dveřního portálu. Tento portál se běžně využívá k montáži dveřního mechanismu. Samotný portál je ohýbaný plechový svařenec. (Obrázek 6.2) Ke skříni vozu je portál přivařen po bocích pomocí plechových žebrových. (Obrázek 6.3)



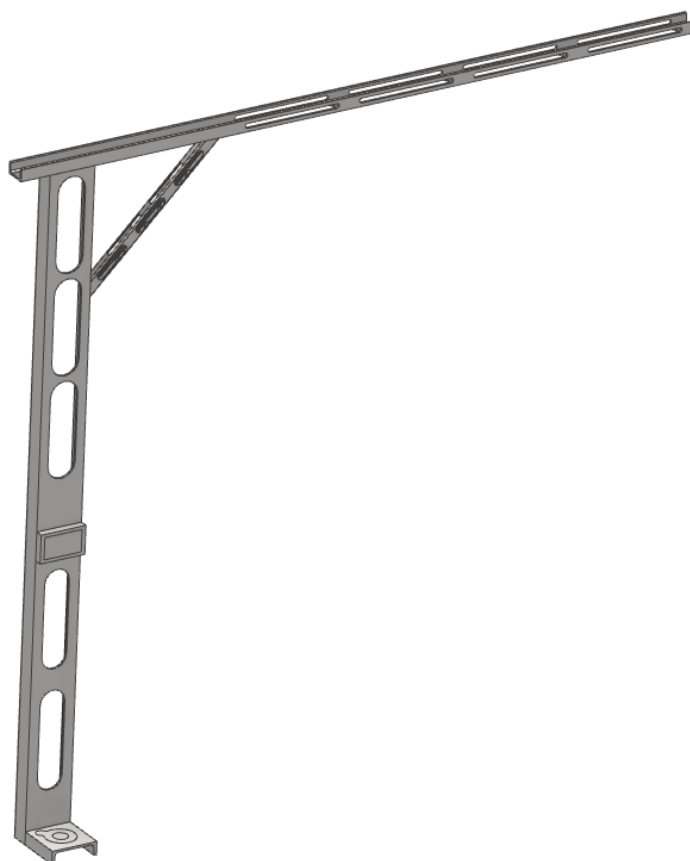
Obrázek 6.2 – Dveřní portál



Obrázek 6.3 – Žebroví dveřního portálu

Samostatná svařovaná konstrukce z U profilů.

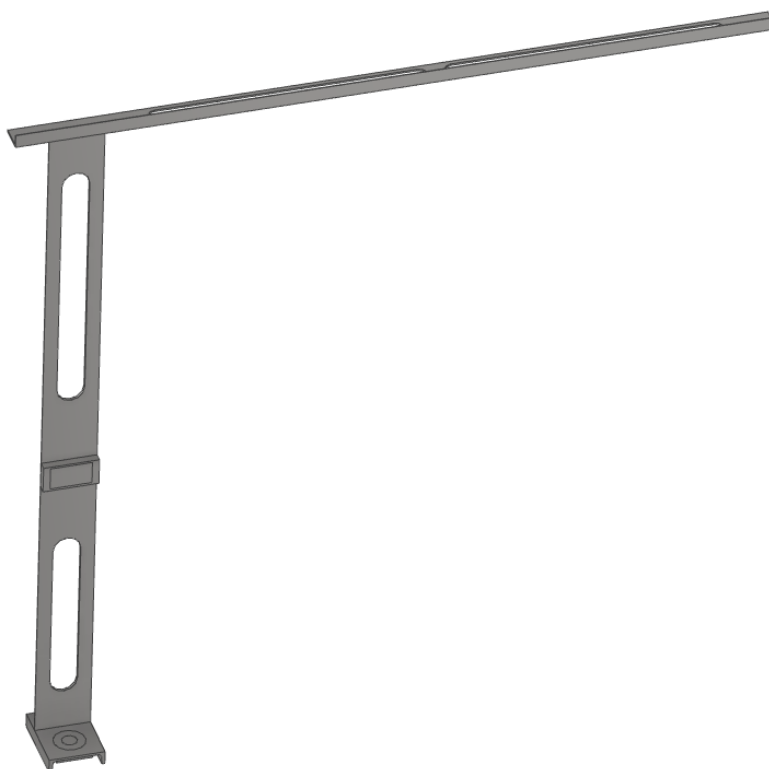
Další možností je vytvoření samostatné konstrukce přivařené ke skříni vozu. Pro úsporu je tato konstrukce složena z profilů, převážně z U profilů. Konstrukce se skládá z patky, která je přivařena na podlahu skříně vozu. Na patku je dále přivařena stojna. Na stojnu navazuje vodorovná příčka, která je sváry uchycena na boky skříně. Pro větší stabilitu je mezi stojnou a příčkou navařený diagonálně obdélníkový dutý profil. Profily jsou v zájmu odlehčení frézovány. (Obrázek 6.4)



Obrázek 6.4 – Konstrukce z U profilů

Samostatná konstrukce z L profilů

Poslední možností bylo svaření samostatné konstrukce z L profilů. Řešení je podobné jako u varianty z U profilů. Jednou ze změn bylo odstranění diagonální podpory, která při zátěži zachycovala pouze malou část sil, a proto byla odstraněna. Patka je stále vyrobená z U profilu, L profil není pro toto použití vhodný. V zájmu snadnější výrobitelnosti byla také zjednodušena frézovaná odlehčení profilů. (Obrázek 6.5)



Obrázek 6.5 – Konstrukce z L profilů

6.2 Výběr finálního provedení

Výběr nejvhodnější varianty závisel zejména na nízké hmotnosti a na snadné vyrobitelnosti.

Řešení pomocí dveřního portálu bylo vyřazeno jako první. Důvodem je značné svázání se skříní vozu. Množství faktorů způsobuje zatížení skříně a následné zatížení portálu, které nelze popsat jednoduchým modelem. Výpočty by se tak značně odchylovaly od skutečnosti.

Konstrukce z U profilů je jednodušší, se skříní vozu je spojena pouze na třech místech. Proto je méně náchylná k vnějším vlivům. Nevýhodou tohoto řešení je zvýšení hmotnosti v důsledku použití větších profilů. Konstrukce byla proto odlehčena, avšak tato odlehčení byla značně složitá, což znesnadňovalo vyrobitelnost.

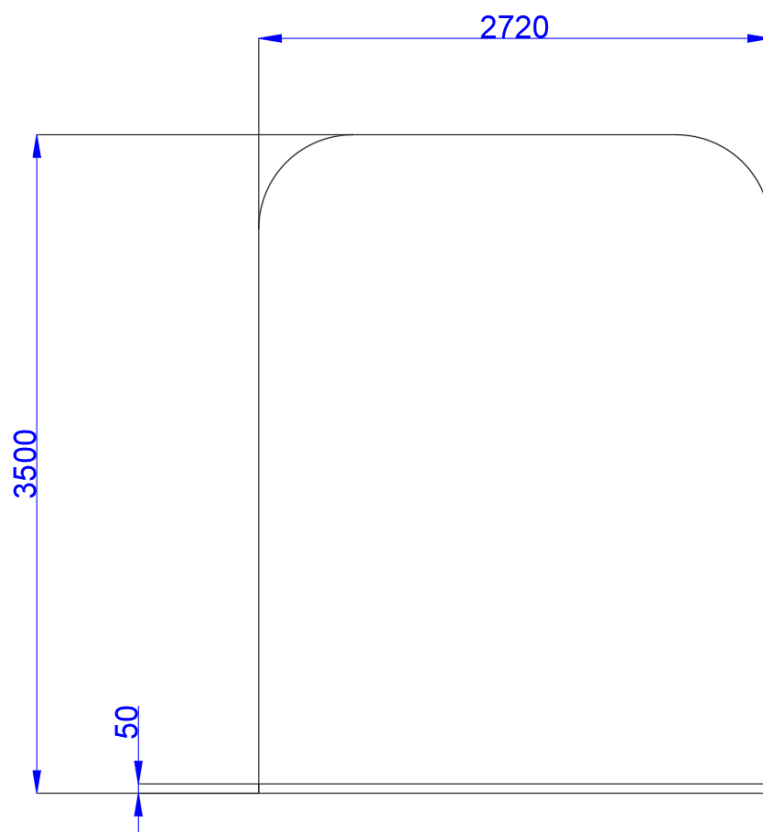
Konstrukce z L profilů se vyvarovala nedostatků předchozích řešení. Použitím lehčích L profilů a odstraněním diagonální podpory se výrazně snížila hmotnost bez snížení nosnosti konstrukce. Zjednodušena byla také odlehčení. To umožňuje snadnější a levnější výrobu. Vzhledem k nejmenšímu počtu nedostatků volím toto řešení.

7 Konstrukční návrh

K detailní analýze byla zvolena konstrukce převážně z L profilů. Ta se skládá z několika částí, které jsou k sobě svařeny. Samotná konstrukce je přivařena ke skříni vozu. Spojení plošiny a konstrukce je realizováno pomocí dvou šroubových spojů. Celková hmotnost svařené konstrukce činí 72,6 kg.

7.1 Vnitřní rozměry skříně

Vnitřní rozměry skříně můžeme vidět na obrázku 7.1. Rozměry poskytl Škoda Vagonka a.s. Vnitřní šířka vozu činí 2720 mm, vnitřní výška 3500 mm. Podlaha se nachází 50 mm nad dolní hranou skříně.



Obrázek 7.1 – Vnitřní rozměry skříně vozu

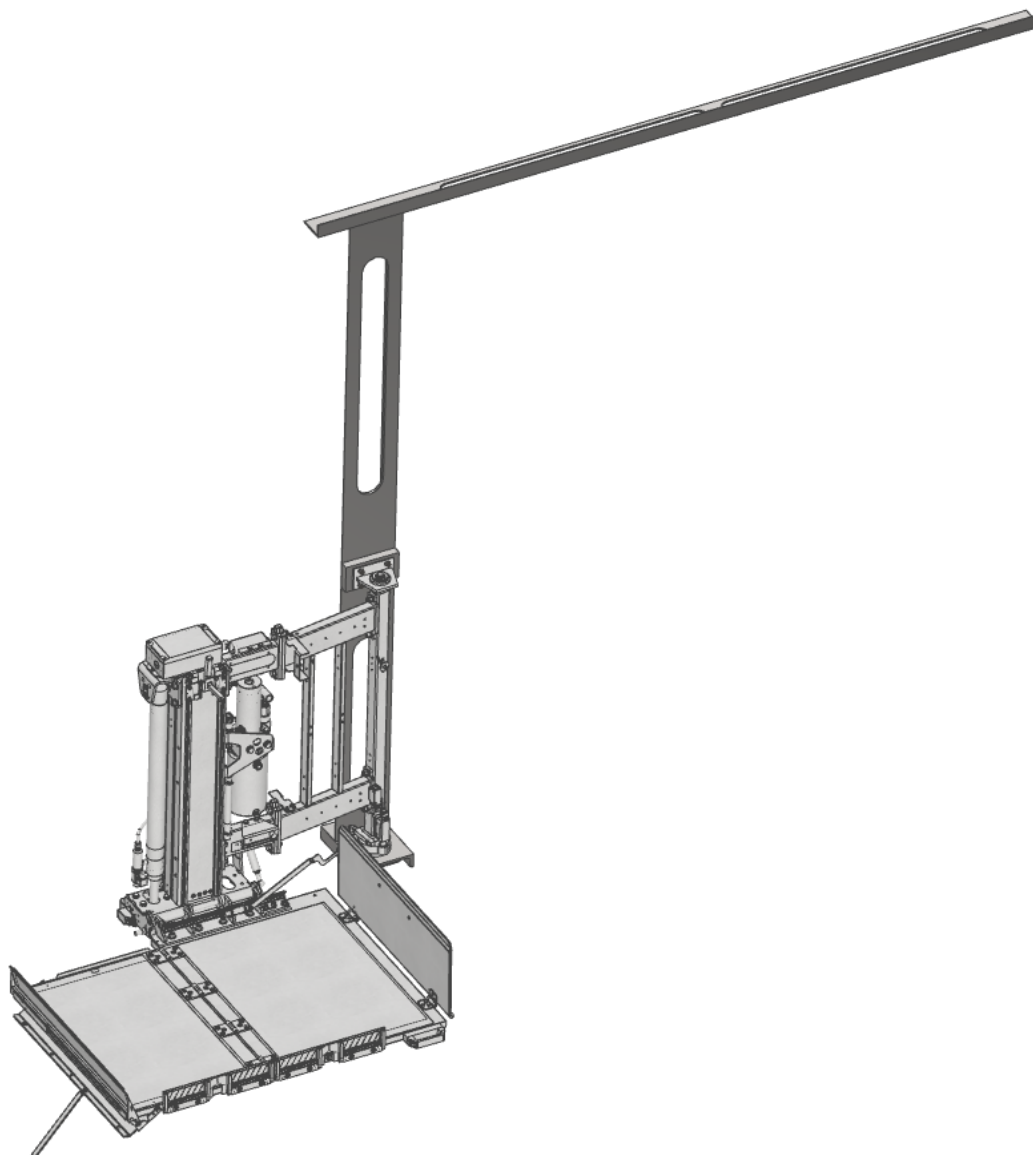
7.2 Šroubové spoje

Šroubové spoje jsou řešeny pomocí šroubů s vnitřním šestihranem, podložek Nord-Lock a závitových vložek Helicoil SCREWLOCK. Podložky Nord-Lock byly vybrány z důvodu

značného působení vibrací, které by mohly zapříčinit uvolnění šroubu. Závitové vložky byly vybrány z důvodu rovnoměrného rozložení sil v závitě a snížení rizika vytržení.

7.3 Sestava konstrukce

Na obrázku 7.2 můžeme vidět sestavu konstrukce s plošinou.



Obrázek 7.2 – Sestava konstrukce s plošinou

8 Volba materiálu

Materiál částí z konstrukčních profilů

Volba materiálu konstrukce vychází z pevnostních požadavků a z dostupnosti. Vzhledem k tomu, že je velká část konstrukce vyrobena z konstrukčních profilů, je volba omezená na materiály, ze kterých se tyto profily vyrábí. Vzhledem k tomu, že je konstrukce svařována, je zásadní dobrá svařitelnost. Těmto podmínkám vyhovuje konstrukční ocel ČSN 11 373. Z této oceli se běžně vyrábí všechny potřebné profily. Ocel má také zaručenou svařitelnost a potřebnou pevnost. Z této oceli budou vyrobeny všechny části, jejichž polotovary jsou konstrukční profily.

Tabulka 8.1 – Mechanické vlastnosti oceli 11 373

Mez pevnosti v tahu	min. 340 MPa
Mez kluzu	235 MPa

Tabulka 8.2 – Chemické složení oceli 11 373

C	max. 0,170 %
P	max. 0,045 %
S	max. 0,045 %
N	max. 0,007 %

Materiál kostek pro šroubové spoje

Kostky, které jsou ke konstrukci přivařeny a slouží k poskytnutí závitu pro šroubové spoje jsou vyrobeny z nerezové oceli. Použitím nerezové oceli zamezíme korozi na spojích s plošinou. Byla vybrána nerezová ocel DIN 1.4016. Tato ocel je svařitelná a poskytuje dostatečnou pevnost.

Tabulka 8.3 – Mechanické vlastnosti oceli 1.4016

Mez pevnosti v tahu	min. 430 MPa
Mez kluzu	240 MPa

Tabulka 8.4 – Chemické složení oceli 1.4016

C	max. 0,170 %
---	--------------

9 Pevnostní kontrola konstrukce

9.1 Norma ČSN EN 12 663-1+A1

Pevnostní kontrola konstrukce se řídí dle požadavků uvedených v normě ČSN EN 12663-1+A1. Norma stanovuje minimální konstrukční požadavky na skříňě kolejových vozidel. Zároveň také definuje zatížení, kterým musí skříňě vozidel odolat. [27]

Dle normy jsou kolejová vozidla rozdělena do kategorií. Vozidla osobní dopravy a lokomotivy se dále dělá na pět podkategorií.

P-I např. Osobní vozy a lokomotivy;

P-II např. Ucelené jednotky;

P-III např. Vozidla metra a vozidla rychlé městské dopravy;

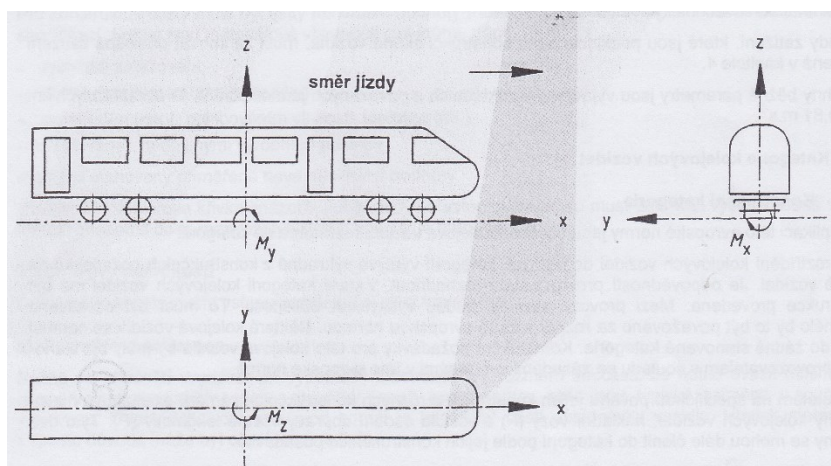
P-IV např. Vozidla lehkého metra a tramvajové rychlodráhy;

P-V např. Tramvajová vozidla

Své konstrukční řešení koncipuji pro použití v ucelené jednotce. Při výpočtu zatížení se tedy budu řídit kategorií P-II.

9.2 Souřadnicový systém

Norma ČSN EN 12 663-1+A1 specifikuje souřadnicový systém skříňě vozu. Znázornění systému můžeme vidět na obrázku 9.1. Kladný směr osy x (odpovídá podélné ose vozidla) je ve směru jízdy. Osa y (odpovídá příčné ose vozidla) je ve vodorovné rovině. Kladný směr osy z (odpovídá svislé ose vozidla) směřuje vzhůru.



10 Kontrolované případy zatížení konstrukce

10.1 Případy zatížení dle ČSN EN 12 663-1+A1

Norma ČSN EN 12 663-1+A1 definuje případy osového zrychlení, kterým musí odolat úchyty pro zařízení vozidla. Toto zrychlení znázorňují stavy, které mohou nastat při jízdě vozidla. Úchytem je v tomto případě myšlena navrhovaná konstrukce.

Zrychlení musí být vždy násobena hmotností zařízení vozidla. Těmito silami je poté konstrukce namáhána. Případy zatížení jsou posuzovány jednotlivě. Případy zatížení v osách x a y musí být dále kombinovány se zatížením od tíhového zrychlení 1g.

Pro vozidla spadající do kategorie P-II norma stanovuje osová zrychlení, která můžeme vidět v tabulce 10.1.

Výpočet sil od zrychlení dle tabulky 10.1

Hmotnost zařízení (plošiny)	$m_p = 230\text{kg}$
Gravitační zrychlení	$g = -9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
Osová zatížení	viz tabulka 10.1

Tabulka 10.1 – Případy zrychlení působící na zařízení vozidla

Jednotlivá osová zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]		
x	y	z
min. $\pm 3 \text{ g}$	$\pm 1 \text{ g}$	$(1\pm 2)\text{g}$

10.2 Zatížení při používání plošiny

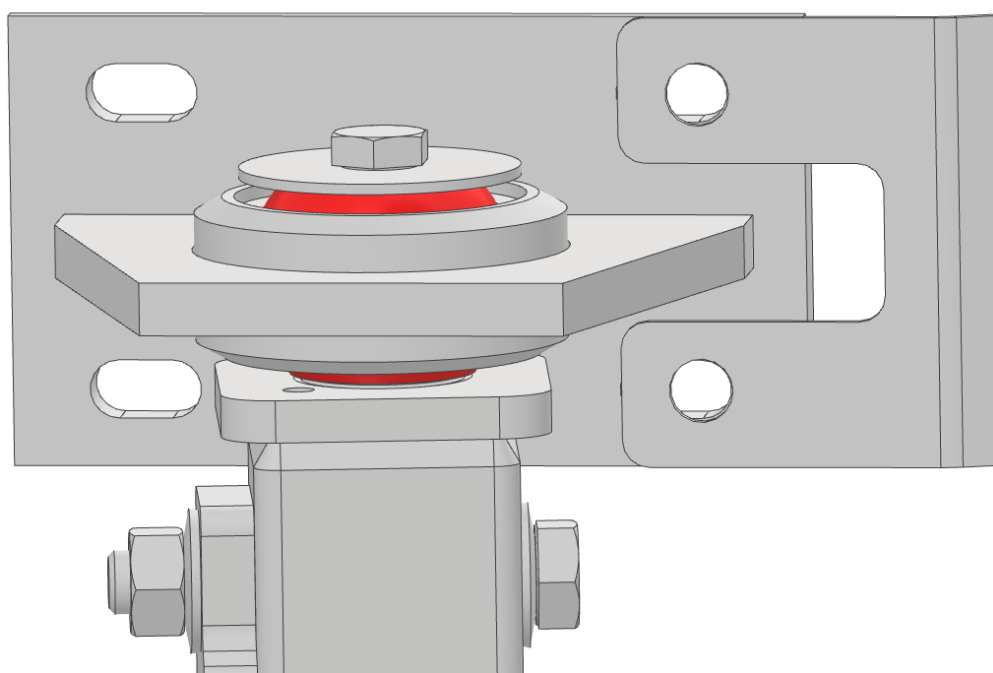
Mimo zatížení definovaná v normě je nutno konstrukci zkontrolovat při samotném používání plošiny cestujícím na invalidním vozíku. V tomto případě na plošinu působí dodatečná síla od hmotnosti přepravovaného vozíku s cestujícím. Evropská směrnice TSI PRM 1300/2014 určuje maximální hmotnost cestujícího s invalidním vozíkem. Tato hmotnost činí 300 kg. Konstrukce je kontrolována ve dvou polohách plošiny, v dolní poloze po nájezdu vozíku a v horní poloze před výjezdem vozíku.

10.3 Zatížení při otáčení plošiny

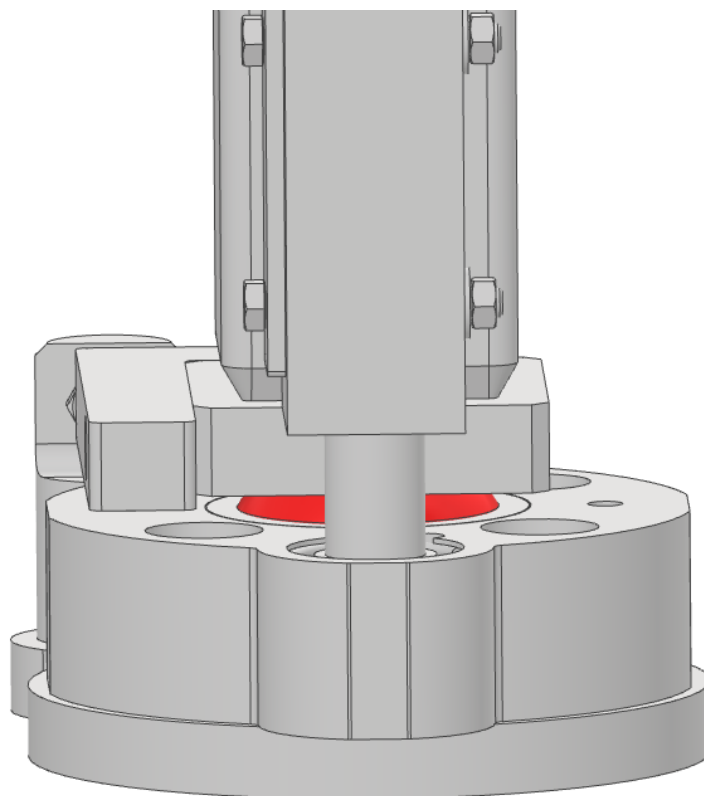
Poslední případ zatížení, který kontroluji, je zatížení při otáčení plošiny z přepravní do provozní polohy. V tomto případě kontroluji případ, kdy je plošina vytočena o 90° a to z důvodu největšího kroutícího momentu kolem osy y , vůči kterému je konstrukce náchylná. V tomto případě je zatížení pouze od samotné tíhy plošiny.

11 Výpočet sil zatěžujících konstrukci

Síly působící v těžišti plošiny se přenáší a namáhají konstrukci. Rotace plošiny je realizována pomocí dvou kulových čepů, které společně tvoří osu rotace. Pozice těchto kulových čepů lze vidět na obrázcích 11.1 a 11.2. Z kulových čepů se síly přenáší na místa spojů s konstrukcí. Výpočet jsem proto zvolil rozdělení plošiny na 3 části. Hlavní část plošiny, na kterou působí síly vyvolané zrychlením, část od horního kulového čepu po šroubový spoj a část od dolního kulového čepu po šroubový spoj. Tento model nejlépe vystihuje reálné přenosy sil.



Obrázek 11.1 – Horní kulový čep



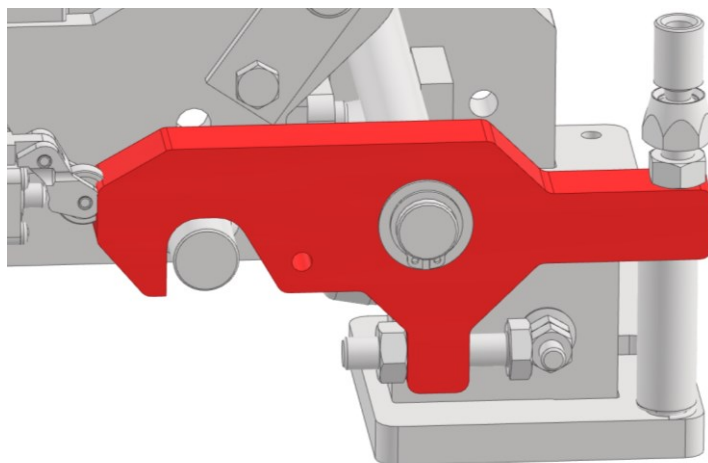
Obrázek 11.2 – Dolní kulový čep

11.1 Výpočet reakcí do kulových čepů

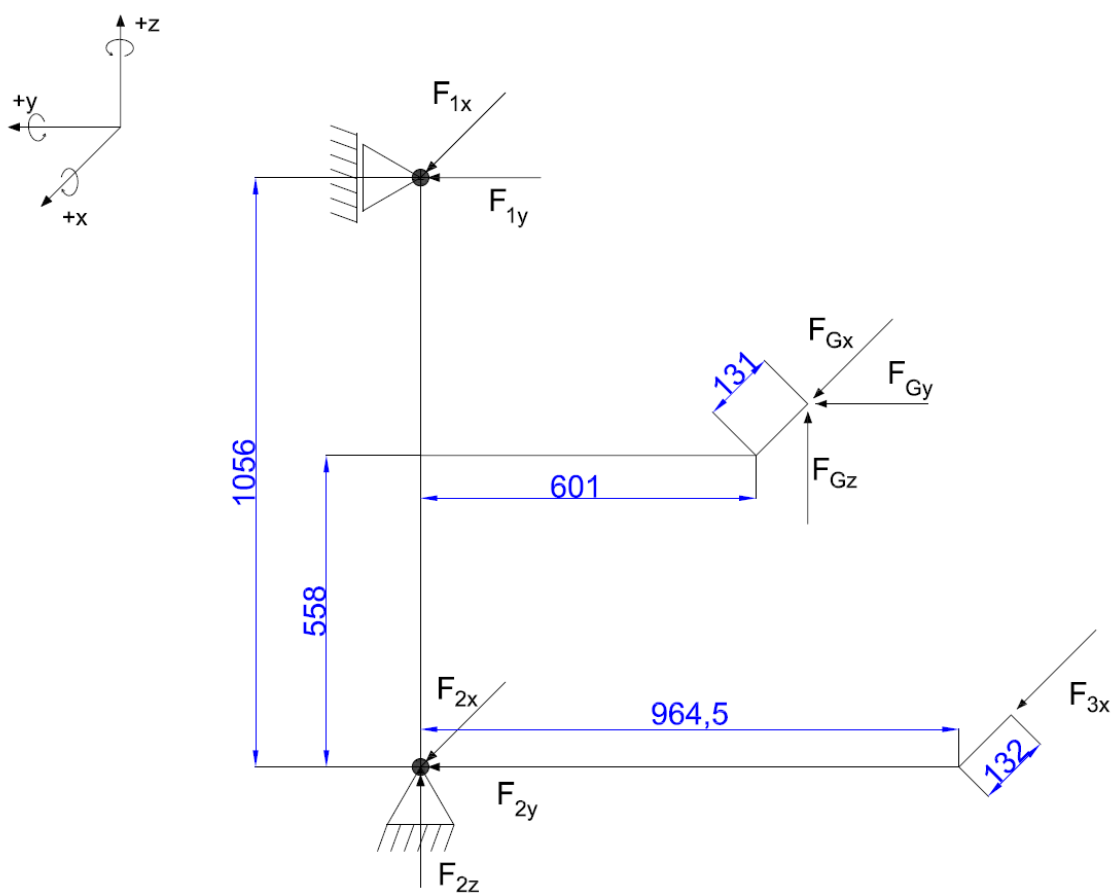
Výpočet reakcí do kulových čepů řeším pomocí statických úloh, kdy plošinu modeluji jako nosník a kulové čepy jako kulové vazby. Síly od zrychlení působí na plošinu v těžišti. Polohy těžiště jsem získal pomocí programu Autodesk Inventor 2020, s využitím modelu plošiny. Pro zlepšení čitelnosti jsem všechny síly nasměroval do kladných směrů os. Některá zatížení proto mohou mít negativní hodnotu a ve skutečnosti působí opačným směrem.

11.2 Zatížení při jízdě dle ČSN EN 12 663-1+A1

Vzhledem v množství případů zatížení používám výpočtový model s víceosým zatížením. Nosník je tvořen dvěma kulovými vazbami. Ty zaručují zadržení sil v ose x a y. Horní vazba je navíc posuvná v ose z. Toto znamená, že síly v ose z zachycuje spodní kulová vazba. Tento model nejvíce odpovídá reálnému zatížení obou vazeb. Plošina je opatřena pojistkou, kterou můžeme vidět na obrázku 11.3. Ve výpočtovém modelu je nahrazena silou F_{3x} .



Obrázek 11.3 – Pojistka proti rotaci



Obrázek 11.4 – Statická úloha při jízdě vozu

Síly vyvolané zatížením v ose x

$$F_{-3gx} = m_p \cdot (-3) \cdot g = 230 \cdot (-3) \cdot (-9,81) = 6768,9N \quad (11.1)$$

$$F_{3gx} = m_p \cdot 3 \cdot g = 230 \cdot 3 \cdot (-9,81) = -6768,9N \quad (11.2)$$

Síly vyvolané zatížením v ose y

$$F_{-1gy} = m_p \cdot (-1) \cdot g = 230 \cdot (-1) \cdot (-9,81) = 2256,3N \quad (11.3)$$

$$F_{1gy} = m_p \cdot 1 \cdot g = 230 \cdot 1 \cdot (-9,81) = -2256,3N \quad (11.4)$$

Síla vyvolaná zatížením v ose z

$$F_{3gz} = m_p \cdot 3 \cdot g = 230 \cdot 3 \cdot (-9,81) = -6768,9N \quad (11.5)$$

Ze statické úlohy můžeme vytvořit 6 rovnic rovnováhy

Zobrazený výpočet provádím pro zatížení při zatížení $-3g_x$.

$$\sum F_x = 0 = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{Gx} \quad (11.6)$$

$$\sum F_y = 0 = F_{1y} + F_{2y} + F_{Gy} \quad (11.7)$$

$$\sum F_z = 0 = F_{2z} + F_{Gz} \quad (11.8)$$

$$\sum M_{x2} = 0 = -F_{1y} \cdot 1056 - F_{Gy} \cdot 558 - F_{Gz} \cdot 601 \quad (11.9)$$

$$\sum M_{y2} = 0 = F_{1x} \cdot 1056 + F_{Gz} \cdot 131 + F_{Gx} \cdot 558 \quad (11.10)$$

$$\sum M_{z2} = 0 = -F_{Gx} \cdot 601 + F_{Gy} \cdot 131 - F_{3x} \cdot 965 \quad (11.11)$$

Z rovnic 11.6 až 11.11 vyjádříme reakce:

$$F_{2z} = -F_{Gz} = 0$$

$$F_{1x} = \frac{-F_{Gx} \cdot 558 - F_{Gz} \cdot 131}{1056} = \frac{-6768,9 \cdot 558 - 0 \cdot 131}{1056} = -3577 N$$

$$F_{1y} = \frac{-F_{Gy} \cdot 558 - F_{Gz} \cdot 601}{1056} = \frac{-0 \cdot 558 - 0 \cdot 601}{1056} = 0 N$$

$$F_{2y} = -F_{Gy} - F_{1y} = 0 - 0 = 0 N$$

$$F_{3x} = \frac{-F_{Gx} \cdot 601 - F_{Gy} \cdot 131}{965} = \frac{-6768,9 \cdot 601 - 0 \cdot 131}{965} = -4216 N$$

$$F_{2x} = -F_{Gx} - F_{1x} - F_{3x} = -6768,9 + 3577 + 4216 = 1024 N$$

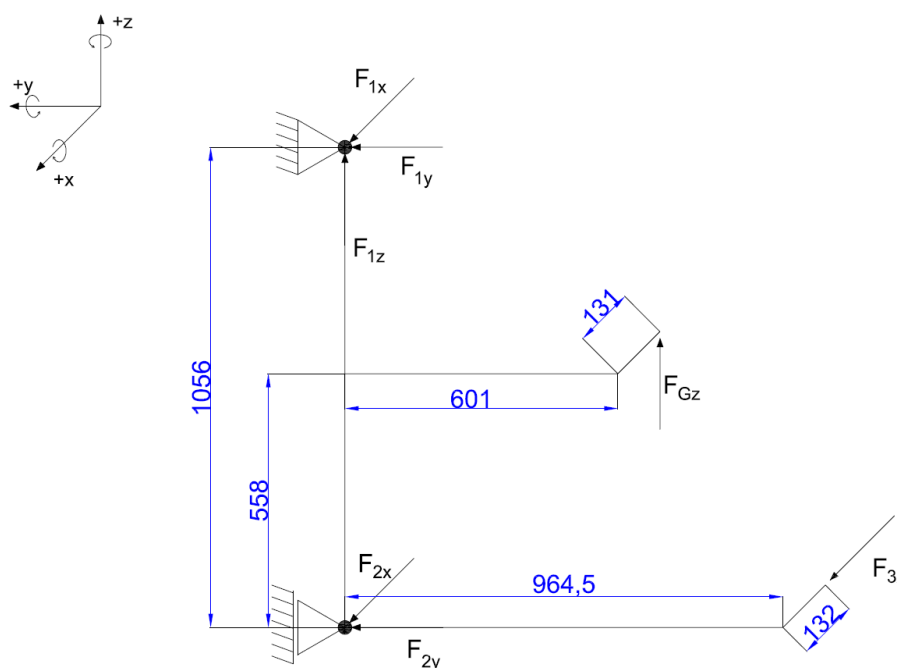
Na tyto rovnice aplikují případy zatížení dle ČSN EN 12 663-1+A1. Výsledné hodnoty reakcí můžeme vidět v tabulce 11.1.

Tabulka 11.1 – Hodnoty reakcí pro zatížení dle ČSN EN 12 663-1+A1

Zatížení	Hodnoty reakcí [N]						
	F_{1x}	F_{1y}	F_{1z}	F_{2x}	F_{2y}	F_{2z}	F_{3x}
$-3g_x$	-3577	0	0	1024	0	0	-4216
$+3g_x$	3577	0	0	-1024	0	0	4216
$-1g_y$	0	-1192	0	-306	-1064	0	306
$+1g_y$	0	1192	0	306	1064	0	-306
$+3g_z$	840	3852	0	-840	-3852	6769	0
$-3g_x+1g_z$	-3297	1284	0	744	-1284	2256	-4216
$+3g_x+1g_z$	3857	1284	0	-1303	-1284	2256	4216
$-1g_y+1g_z$	280	91	0	-586	-2348	2256	306
$+1g_y+1g_z$	280	2476	0	26	-220	2256	-306

11.3 Zatížení při jízdě se zrychlením $-1g$ v ose z

Tento případ zatížení je podobný s případy minulými. Jedinou změnou je přesunutí reakce F_{2z} z dolního kulového čepu do čepu horního, v důsledku změny směru působení zrychlení v ose z. Úloha je znázorněna na obrázku 11.5.



Obrázek 11.5 – Statická úloha při jízdě vozu

Síla vyvolaná zatížením v ose z

$$F_{-1gz} = F_{Gz} = m_p \cdot (-1) \cdot g = 230 \cdot (-1) \cdot (-9,81) = 2256,3N \quad (11.12)$$

Ze statické úlohy získáme 6 rovnic rovnováhy.

$$\sum F_x = 0 = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} \quad (11.13)$$

$$\sum F_y = 0 = F_{1y} + F_{2y} \quad (11.14)$$

$$\sum F_z = 0 = F_{1z} + F_{Gz} \quad (11.15)$$

$$\sum M_{x1} = 0 = F_{2y} \cdot 1056 - F_{Gz} \cdot 601 \quad (11.16)$$

$$\sum M_{y1} = 0 = -F_{2x} \cdot 1056 - F_{3x} \cdot 1056 + F_{Gz} \cdot 131 \quad (11.17)$$

$$\sum M_{z1} = 0 = -F_{3x} \cdot 965 \quad (11.18)$$

Z rovnic 11.13 až 11.18 vyjádříme reakce:

$$F_{1z} = -F_{Gz} = -2256 N$$

$$F_{2y} = \frac{F_{Gz} \cdot 601}{1056} = \frac{2256,3 \cdot 601}{1056} = 1284N$$

$$F_{3x} = 0$$

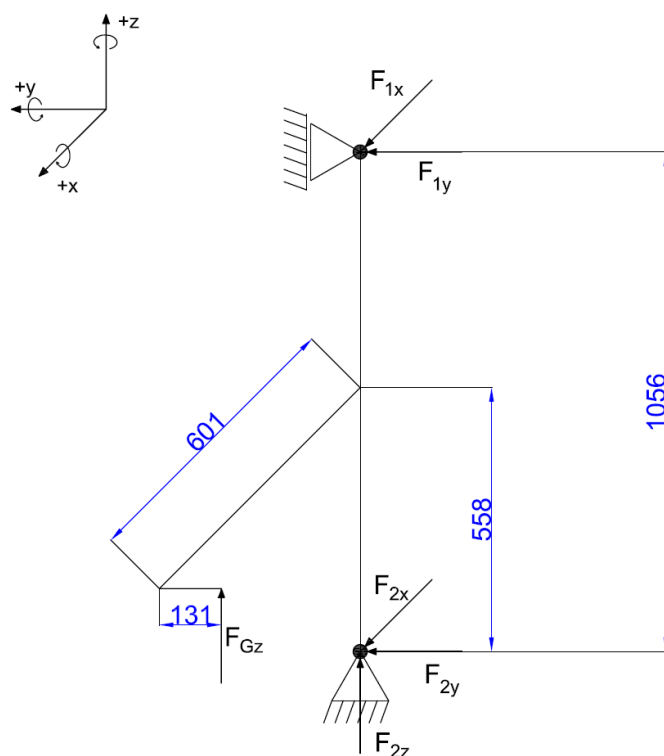
$$F_{2x} = \frac{F_{Gz} \cdot 131}{1056} = \frac{2256,3 \cdot 131}{1056} = 280N$$

$$F_{1y} = -F_{2y} = -1284N$$

$$F_{1x} = -F_{2x} = -280N$$

11.4 Zatížení při vytočení plošiny o 90°

Při tomto případě zatížení není plošina zabezpečena proti rotaci kolem osy z. Vzhledem k tomu, že plošinu uvažujeme za nehybnou a je zatížena pouze tíhovou silou, tak plošina rotovat nebude a úlohu tedy můžeme řešit jako statickou. Úloha je znázorněna na obrázku 11.5.



Obrázek 11.5 – Statická úloha při vytočení plošiny o 90°

Tíhová síla od hmotnosti plošiny

$$F_{pz} = F_{Gz} = m_p \cdot 1 \cdot g = 230 \cdot 1 \cdot (-9,81) = -2256,3N \quad (11.19)$$

m_p – hmotnost plošiny

Ze statické úlohy získáme 6 rovnic rovnováhy.

$$\sum F_x = 0 = F_{1x} + F_{2x} \quad (11.20)$$

$$\sum F_y = 0 = F_{1y} + F_{2y} \quad (11.21)$$

$$\sum F_z = 0 = F_{2z} + F_{Gz} \quad (11.22)$$

$$\sum M_{x2} = 0 = -F_{1y} \cdot 1056 - F_{Gz} \cdot 131 \quad (11.23)$$

$$\sum M_{y2} = 0 = F_{1x} \cdot 1056 - F_{Gz} \cdot 601 \quad (11.24)$$

$$\sum M_{z2} = 0 \quad (11.25)$$

Z rovnic 11.20 až 11.25 vyjádříme reakce.

$$F_{2z} = -F_{Gz} = 2256 N$$

$$F_{1y} = \frac{-F_{Gz} \cdot 131}{1056} = \frac{2256,3 \cdot 131}{1056} = 280N$$

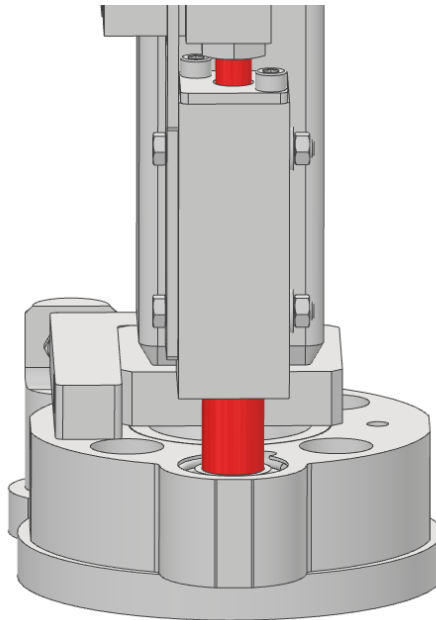
$$F_{2y} = -F_{1y} = -280N$$

$$F_{1x} = \frac{F_{Gz} \cdot 601}{1056} = \frac{-2256,3 \cdot 601}{1056} = -1284N$$

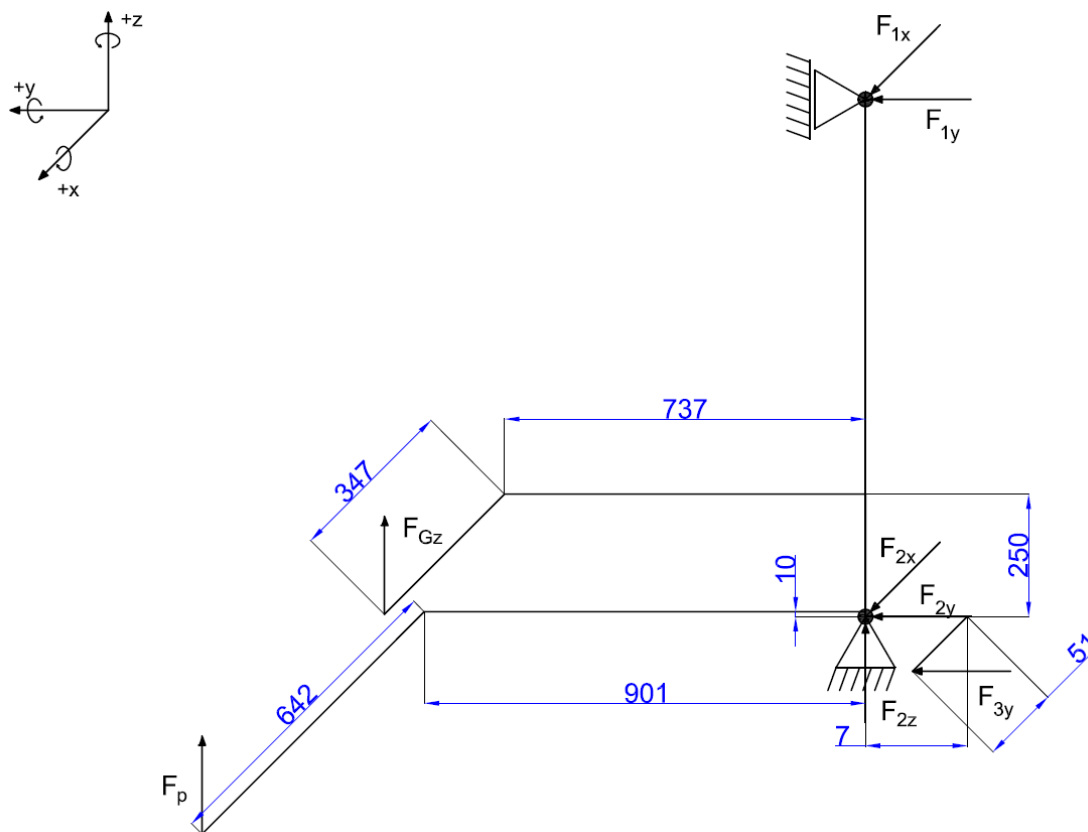
$$F_{2x} = -F_{1x} = -1284N$$

11.5 Zatížení při používání plošiny

V tomto případě je plošina kromě své tíhové síly zatěžována také tíhovou silou z maximálního zatížení od cestujícího na invalidním vozíku. Poloha těžiště plošiny i poloha zatěžující síly se při chodu plošiny mění. Tato změna je, ale zanedbatelná, neboť je plošina zatěžována silami pouze v ose z a rozdíl reakcí v celém chodu je minimální. Proto počítám pouze jeden případ zatížení v okamžiku, kdy je nájezdová plocha v úrovni podlahy vozu. Plošina je proti rotaci zajištěna pojistkou u nohy plošiny, jak můžeme vidět na obrázku 11.6. Pojistka je ve výpočtovém modelu nahrazena silou F_{3y} . Úloha je znázorněna na obrázku 11.7.



Obrázek 11.6 – Pojistka u nohy plošiny



Obrázek 11.7 – Statická úloha při používání plošiny°

Tíhová síla od hmotnosti plošiny F_{pz}

$$F_{pz} = F_{Gz} = m_p \cdot 1 \cdot g = 230 \cdot 1 \cdot (-9,81) = -2256,3N \quad (11.26)$$

Zatížení od hmotnosti cestujícího na vozíku

$$F_p = m_v \cdot 1 \cdot g = 300 \cdot 1 \cdot (-9,81) = -2943N \quad (11.27)$$

Z této statické úlohy získáme 6 rovnic rovnováhy.

$$\sum F_y = 0 = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} \quad (11.28)$$

$$\sum F_y = 0 = F_{2z} + F_{Gz} + F_p \quad (11.29)$$

$$\sum M_{x2} = 0 = F_{Gz} \cdot 737 + F_p \cdot 901 - F_{1y} \cdot 1056 \quad (11.30)$$

$$\sum M_{x2} = 0 = F_{Gz} \cdot 737 + F_p \cdot 901 - F_{1y} \cdot 1056 \quad (11.31)$$

$$\sum M_{y2} = 0 = -F_{Gz} \cdot 347 - F_p \cdot 642 + F_{1x} \cdot 1056 \quad (11.32)$$

$$\sum M_{z2} = 0 = F_{3y} \quad (11.33)$$

Z rovnic 11.28 až 11.33 vyjádříme reakce

$$F_{2z} = -F_{Gz} - F_p = 2256 + 2943 = 5199 \text{ N}$$

$$F_{1y} = \frac{F_{Gz} \cdot 737 + F_p \cdot 901}{1056} = \frac{-2256 \cdot 737 - 2943 \cdot 901}{1056} = -4086 \text{ N}$$

$$F_{1x} = \frac{F_{Gz} \cdot 347 + F_p \cdot 642}{1056} = \frac{-2256 \cdot 347 - 2943 \cdot 642}{1056} = -2531 \text{ N}$$

$$F_{3y} = 0$$

$$F_{2x} = -F_{1x} = 2531 \text{ N}$$

$$F_{2y} = -F_{1y} = 4086 \text{ N}$$

Výsledné reakce

V tabulce 11.2 můžeme vidět kompletní výčet sil působících na kulové čepy ve všech případech zatížení.

Tabulka 11.2 – Výčet reakcí do kulových čepů

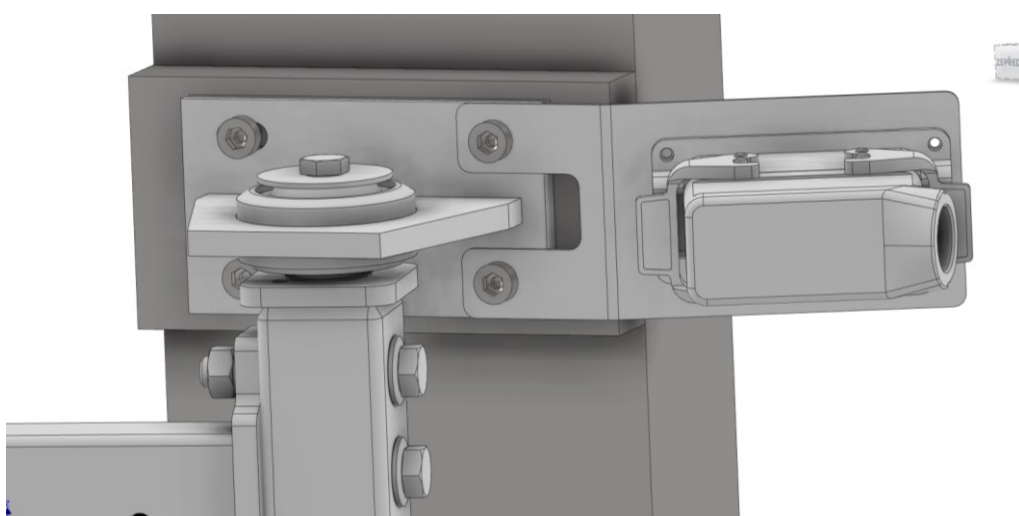
Případy zatížení	Reakční síly [N]					
	F1x	F1y	F1z	F2x	F2y	F2z
-3g _x	-3577	0	0	1024	0	0
+3g _x	3577	0	0	-1024	0	0
-1g _y	0	-1192	0	-306	-1064	0
+1g _y	0	1192	0	306	1064	0
-1g _z	-280	-1284	-2256	280	1284	0
+3g _z	840	3852	0	-840	-3852	6769
-3g _x +1g _z	-3297	1284	0	744	-1284	2256
+3g _x +1g _z	3857	1284	0	-1303	-1284	2256
-1g _y +1g _z	280	91	0	-586	-2348	2256
+1g _y +1g _z	280	2476	0	26	-220	2256
Používání	-2531	-4086	0	2531	4086	5199
Vytočení o 90°	-1284	280	0	1284	-280	2256

12 Výpočet reakcí v dotykových plochách

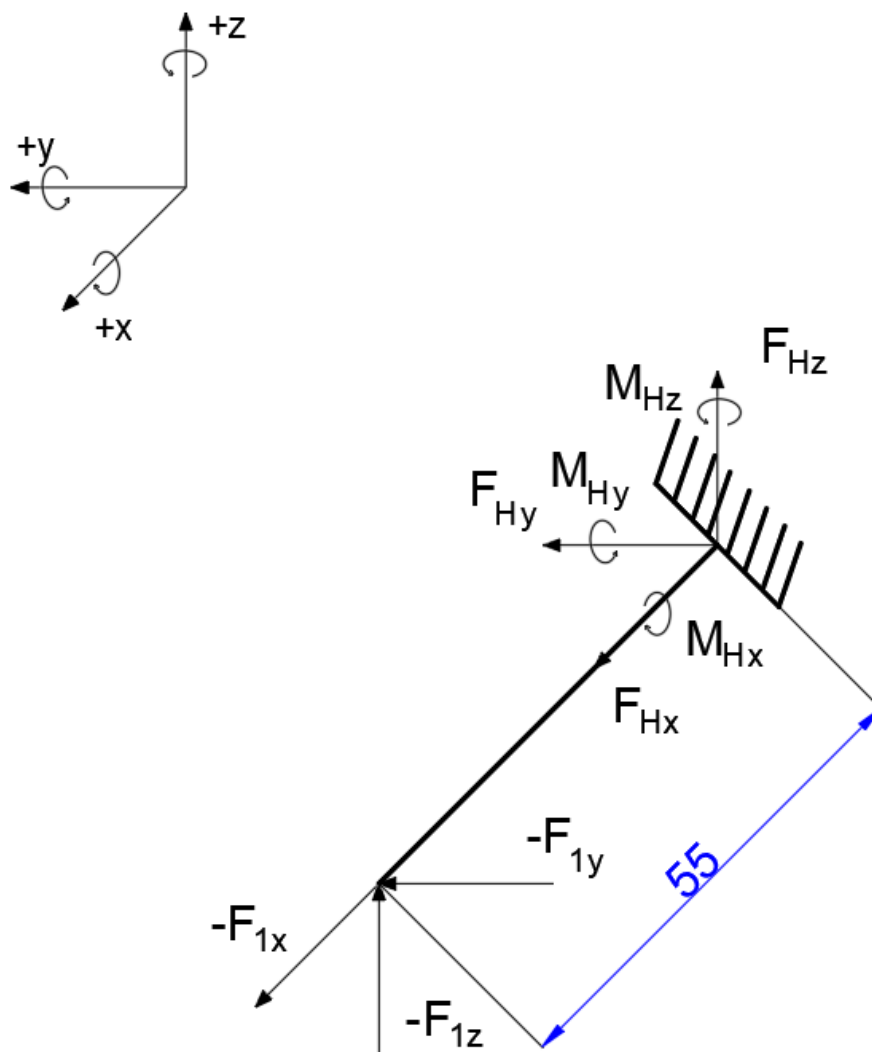
Pro analýzu metodou MKP potřebujeme znát reakce působící na spoj plošiny a konstrukce. Hodnoty reakcí vypočteme ze statických úloh. Vzhledem k tomu, že je plošina spojena s konstrukcí pomocí šroubových spojů, budeme vazby hodnotit jako vetknutí. K výpočtu použijeme negativní hodnoty reakcí v kulových šroubech.

12.1 Reakce v horním spoji

Horní spoj se hlavního těla plošiny dotýká v kulovém čepu a s konstrukcí je spojen pomocí šroubového spoje, jak můžeme vidět na obrázku 12.1. Úloha je znázorněna na obrázku 11.5.



Obrázek 12.1 – Horní spoj plošiny s konstrukcí



Obrázek 12.2 – Statická úloha horního spoje

Z této statické úlohy získáme 6 rovnic rovnováhy.

Zobrazený výpočet provádím pro zatížení při používání plošiny.

$$\sum F_{xH} = 0 = -F_{1x} + F_{Hx} \quad (12.1)$$

$$\sum F_{yH} = 0 = -F_{1y} + F_{Hy} \quad (12.2)$$

$$\sum F_{zH} = 0 = -F_{1z} + F_{Hz} \quad (12.3)$$

$$\sum M_{xH} = 0 = M_{Hx} \quad (12.4)$$

$$\sum M_{zH} = 0 = M_{Hy} + F_{1z} \cdot 55 \quad (12.5)$$

$$\sum M_{zH} = 0 = M_{Hz} + F_{1y} \cdot 55 \quad (12.6)$$

Z rovnic 12.1 až 12.6 vyjádříme reakce:

$$F_{Hx} = F_{1x} = -2531 \text{ N}$$

$$F_{Hy} = F_{1y} = -4086$$

$$F_{Hz} = F_{1z} = 0 \text{ N}$$

$$M_{Hx} = 0 \text{ N}$$

$$M_{Hy} = -F_{1z} \cdot 55 = -0 \cdot 55 = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Hz} = -F_{1y} \cdot 55 = -4086 \cdot 55 = 224730 \text{ N} \cdot \text{mm} = 225 \text{ N} \cdot \text{m}$$

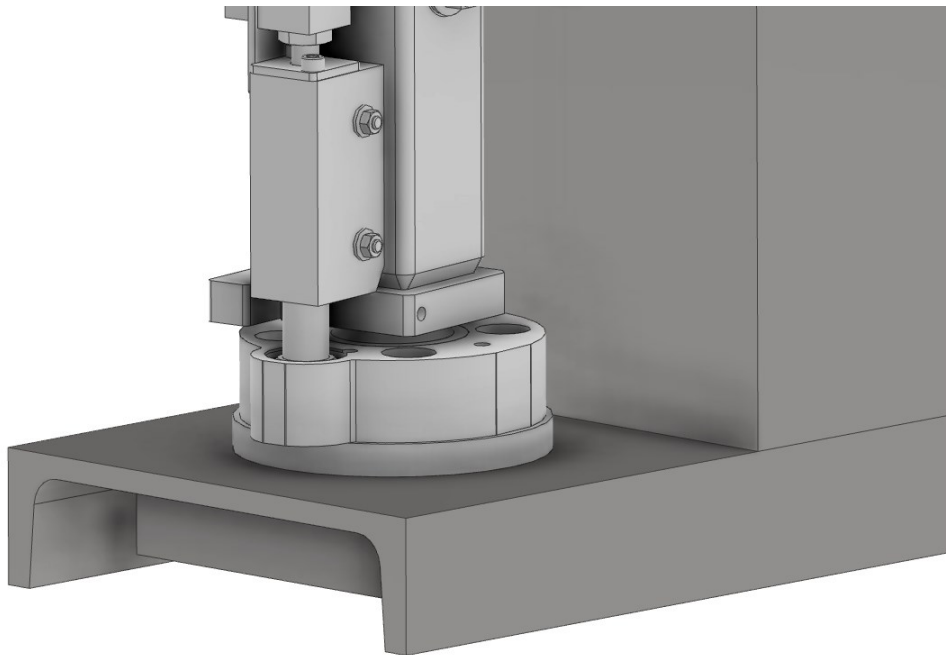
Tabulka 12.1 zobrazuje reakce pro všechny případy namáhání

Tabulka 12.1 – Výčet reakcí pro všechny případy namáhání

Případy zatížení	Silové reakce [N]			Momentové reakce [N·m]		
	F_{Hx}	F_{Hy}	F_{Hz}	M_{Hx}	M_{Hy}	M_{Hz}
-3g _x	-3577	0	0	0	0	0
+3g _x	3577	0	0	0	0	0
-1g _y	0	-1192	0	0	0	66
+1g _y	0	1192	0	0	0	-66
-1g _z	-280	-1284	-2256	0	124	70
+3g _z	840	3852	0	0	0	-212
-3g _x +1g _z	-3297	1284	0	0	0	-71
+3g _x +1g _z	3857	1284	0	0	0	-71
-1g _y +1g _z	280	91	0	0	0	-5
+1g _y +1g _z	280	2476	0	0	0	-136
Používání	-2531	-4086	0	0	0	225
Vytočení o 90°	-1284	280	0	0	0	-15

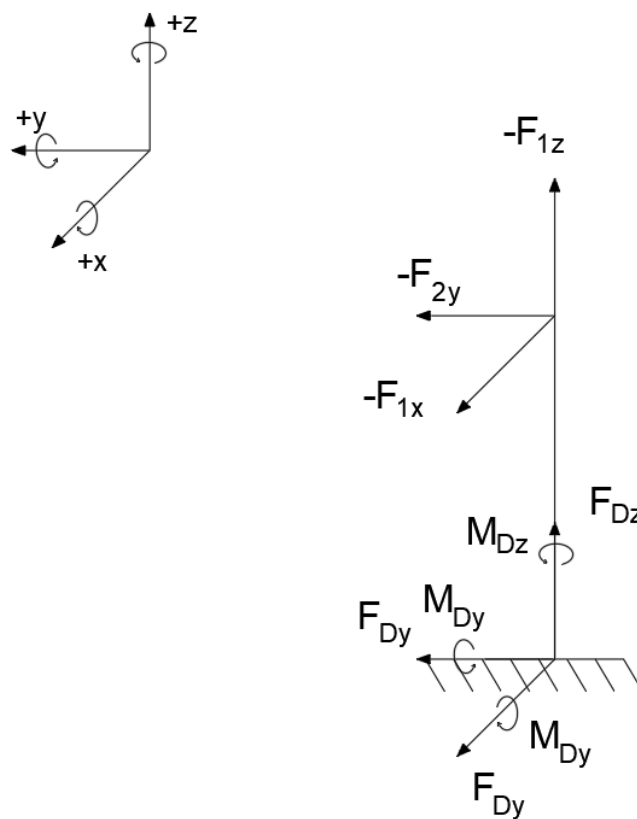
12.2 Reakce v dolním spoji

Dolní spoj je stejně jako horní spojen s konstrukcí pomocí šroubů, jak můžeme vidět na obrázku 12.3.



Obrázek 12.3 - Dolní spoj plošiny s konstrukcí

Obrázek 12.4 znázorňuje statickou úlohu výpočtu reakcí v dolním úchytu.



Obrázek 12.4 - Statická úloha horního spoje

Z této statické úlohy získáme 6 rovnic rovnováhy.

Zobrazený výpočet provádím pro zatížení při používání plošiny.

$$\sum F_x = 0 = -F_{2x} + F_{Dx} \quad (12.7)$$

$$\sum F_y = 0 = -F_{2y} + F_{Dy} \quad (12.8)$$

$$\sum F_z = 0 = -F_{1z} + F_{Dz} \quad (12.9)$$

$$\sum M_{xD} = 0 = M_{Dx} + F_{2y} \cdot 29,5 \quad (12.10)$$

$$\sum M_{yD} = 0 = M_{Dy} - F_{2x} \cdot 29,5 \quad (12.11)$$

$$\sum M_{zD} = 0 = M_{Dz} \quad (12.12)$$

Z rovnic 12.7 až 12.12 vyjádříme reakce:

$$F_{Dx} = F_{2x} = 2531 \text{ N}$$

$$F_{Dy} = F_{2y} = 4086 \text{ N}$$

$$F_{Dz} = F_{2z} = 5199 \text{ N}$$

$$M_{Dx} = -F_{2y} \cdot 29,5 = -4086 \cdot 29,5 = -116,4561 \text{ N} \cdot \text{mm} = -116 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{Dy} = F_{2x} \cdot 29,5 = 2531 \cdot 29,5 = 74,664 \text{ N} \cdot \text{mm} = 75 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{Dz} = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

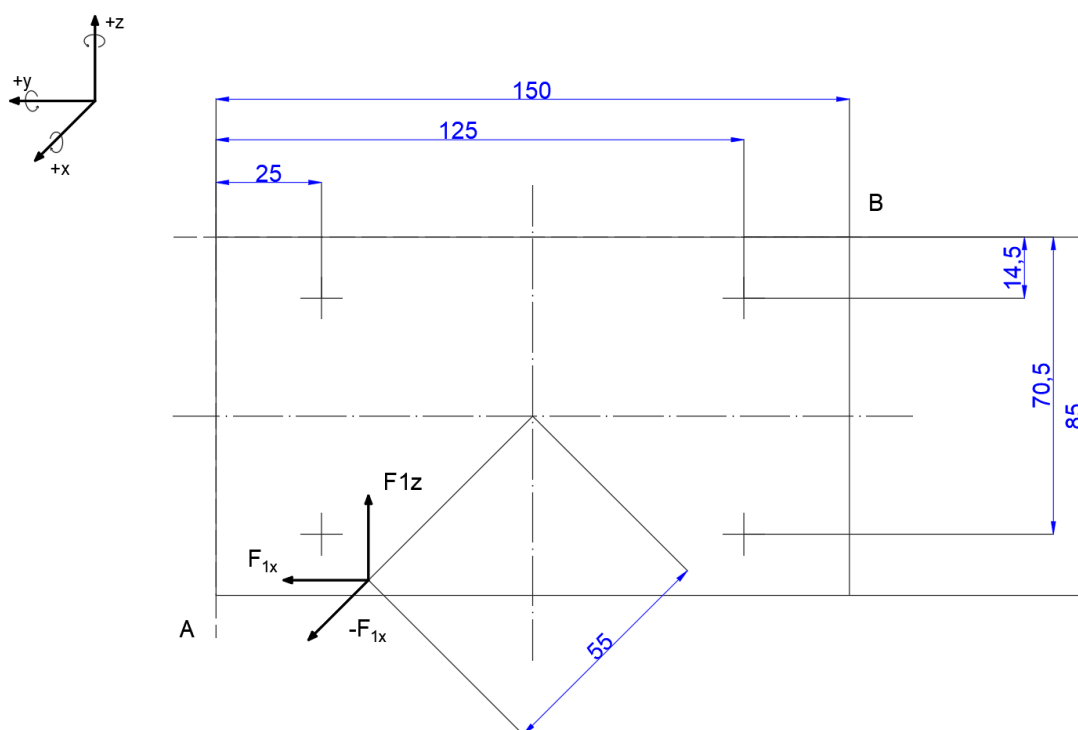
Tabulka 12.2 – Výčet reakcí pro všechny případy namáhání

Případy zatížení	Silové reakce [N]			Momentové reakce [N·m]		
	F _{Dx}	F _{Dy}	F _{Dz}	M _{Dx}	M _{Dy}	M _{Dz}
-3g _x	1024	0	0	0	30	0
+3g _x	-1024	0	0	0	-30	0
-1g _y	-306	-1064	0	31	-9	0
+1g _y	306	1064	0	-31	9	0
-1g _z	280	1284	0	-38	8	0
+3g _z	-840	-3852	6769	114	-24	0
-3g _x +1g _z	744	-1284	2256	38	22	0
+3g _x +1g _z	-1303	-1284	2256	38	-38	0
-1g _y +1g _z	-586	-2348	2256	69	-17	0
+1g _y +1g _z	26	-220	2256	6	1	0
Používání	2531	4086	5199	-116	75	0
Vytočení o 90°	3540	-280	2256	8	104	0

13 Výpočet horního šroubového spoje

Horní část plošiny je s konstrukcí spojena pomocí čtyř šroubů. Tyto šrouby procházejí drážkou v destičce a pokračují do ocelové kostky. V této kostce jsou upevněny závitové vložky sloužící jako matice. Tento spoj je namáhán silami ve všech třech osách. Při výpočtu nejprve vypočtu předpětí ve šroubu k zachycení sil v osách y a z pro všechny případy zatížení. Poté navrhnu předpětí šroubu tak, aby síly mezi stykovými plochami zůstaly dostatečně vysoké k přenosu sil a vyloučí se pokles napětí ve šroubu na nulu. Nakonec provedu pevnostní kontrolu šroubů.

Na obrázku 13.1 můžeme vidět schéma šroubového spoje a síly působící na spoj.



Obrázek 13.1 – Schéma šroubového spoje

Síly působící na šroubový spoj jsou opačné k silám působícím na kulový čep. Vzhledem k souměrnosti šroubového spoje však nemusíme uvažovat kladný a záporný směr, uvažujeme pouze velikost, která je totožná, kromě síly F_x , kde je nutno rozlišovat tlakový a tahový účinek síly.

První silou namáhající šrouby je přídavná ohybová síla F_M od sil F_y a F_z . Tyto síly působí mimo plochu spoje, a proto ji naklápí. Síla F_y naklápí spojovaný díl kolem hrany A, síla F_z naklápí kolem hrany B

Přídavné ohybové síly F_{My} ve šroubech získáme z momentové rovnováhy, jak můžeme vidět v rovnici 13.1. Vzdálenosti šroubů od naklápěcí hrany jsou $b_{1y}=25$ mm, $b_{2y}=125$ mm, vzdálenost působíště síly od roviny spoje $h=55$ mm.

Zobrazený výpočet provádím pro zatížení při používání plošiny

$$F_{1y} \cdot h = 2 \cdot (F_{M1y} \cdot b_{1y} + F_{M2y} \cdot b_{2y}) \quad (13.1)$$

Zároveň můžeme vyjádřit ze vztahu 13.2 sílu F_{M1y} .

$$\frac{F_{M1y}}{b_{1y}} = \frac{F_{M2y}}{b_{2y}} \quad (13.2)$$

$$F_{M1y} = b_{1y} \cdot \frac{F_{M2y}}{b_{2y}}$$

Dosazením do předchozí rovnice dostaneme vztah:

$$F_{1y} \cdot h = 2 \cdot \left(b_{1y} \cdot \frac{F_{M2y}}{b_{2y}} \cdot b_{1y} + F_{M2y} \cdot b_{2y} \right) \quad (13.3)$$

$$F_{M2y} = \frac{F_{1y} \cdot h}{2 \cdot \left(\frac{b_{1y}^2}{b_{2y}} + b_{2y} \right)} = \frac{4086 \cdot 55}{2 \cdot \left(\frac{25^2}{125} + 125 \right)} = 864 \text{ N}$$

Síla F_z vyvozuje ohybovou sílu F_{Mz} , kterou získáme stejně jako F_{My} z momentové rovnováhy. Vzdálenost šroubů od naklápěcí hrany jsou $b_{1z}=14,5$ mm, $b_{2z}=70,5$ mm, vzdálenost působíště síly od roviny spoje $h=55$ mm.

$$F_{1z} \cdot h = 2 \cdot (F_{M1z} \cdot b_{1z} + F_{M2z} \cdot b_{2z}) \quad (13.4)$$

Ze vztahu 13.5 vyjádřím sílu F_{M1z} .

$$\frac{F_{M1z}}{b_{1z}} = \frac{F_{M2z}}{b_{2z}} \quad (13.5)$$

$$F_{M1z} = b_{1z} \cdot \frac{F_{M2z}}{b_{2z}}$$

Dosazením dostaneme vztah 13.6

$$F_{1z} \cdot h = 2 \cdot \left(b_{1z} \cdot \frac{F_{M2z}}{b_{2z}} \cdot b_{1z} + F_{M2z} \cdot b_{2z} \right) \quad (13.6)$$

$$F_{M2z} = \frac{F_{1z} \cdot h}{2 \cdot \left(\frac{b_{1z}^2}{b_{2z}} + b_{2z} \right)} = \frac{0 \cdot 55}{2 \cdot \left(\frac{14,5^2}{70,5} + 70,5 \right)} = 0 \text{ N}$$

Výsledná ohybová síla

$$F_M = F_{M2y} + F_{M2z} \quad (13.7)$$

V tabulce 13.1 můžeme vidět hodnoty F_M pro všechny případy zatížení

Tabulka 13.1 – Hodnoty F_M

Síla F_M [N]											
-3x	+3x	-1y	+1y	-1z	+3z	-3x+z	+3x+z	-1y+z	+1y+z	Používání	90°
0	0	266	266	892	858	286	286	20	552	911	62

Šrouby musí styčné plochy zajistit proti pohybu. Toho docílíme pomocí třecí síly, která bude vyvolána předpětím. Nejdříve musíme zjistit velikost síly v rovině spoje F_{pk} . Tu zjistíme vektorovým součtem sil F_y a F_z , které v této rovině působí.

$$F_{pk} = \sqrt{F_y^2 + F_z^2} = \sqrt{4086^2 + 0^2} = 4086 \text{ N} \quad (13.8)$$

Síla k zachycení síly F_{pk} je vyjádřena ve vztahu 14.9.

$$F_N = \frac{k_p \cdot F_{pk}}{n \cdot f} = \frac{1,3 \cdot 4086}{4 \cdot 0,15} \quad (13.9)$$

f – součinitel tření mezi plochami spoje[28]

k_p – součinitel bezpečnosti proti prokluzu [29]

Síla F_N [N]											
-3g _x	+3g _x	-1g _y	+1g _y	-1g _z	+3g _z	-3g _x +g _z	+3g _x +g _z	-1g _y +g _z	+1g _y +g _z	Používání	90°
0	0	2583	2583	5624	8346	2782	2782	199	5367	8853	607

n – počet šroubů

V tabulce 13.2 můžeme vidět hodnoty F_N pro všechny případy zatížení.

Tabulka 13.2 – Hodnoty F_N

Další silou, která na spoj působí, je síla $-F_x$. V případě, že tato síla působí v kladném směru, snižují se síly mezi styčnými plochami a tím se snižují třecí schopnosti. Je proto nutné tuto sílu zahrnout do předpětí šroubu tak, aby v případě tahu nedošlo k poklesu sil mezi styčnými plochami pod stanovenou mez. Stejně tak nesmí dojít k poklesu předpětí ve šroubu na nulu v případě, že síla $-F_x$ působí v záporném směru osy. Proto je nutno předpětí ve šroubu volit tak, aby stav nenastal. V obou případech tedy přičtu absolutní hodnotu síly $-F_x$ rozdělenou

mezi 4 šrouby k silám F_M a F_N . Minimální předpětí ve šroubu F_{0min} vypočítám dle rovnice 13.10.

$$F_{0min} = F_N + F_M + \frac{|-F_x|}{4} = 911 + 8853 + \frac{2531}{4} = 10397 \text{ N} \quad (13.10)$$

V tabulce 13.3 jsou hodnoty F_{0min} pro všechny případy zatížení.

Tabulka 13.3 – Hodnoty F_N

Síla F_{0min} [N]											
-3x	+3x	-1y	+1y	-1z	+3z	-3x+z	+3x+z	-1y+z	+1y+z	Použití	90°
894	894	2849	2849	6796	9414	3892	4032	289	5987	10397	990

Z tabulky 13.3 můžeme vyčíst, že maximální $F_{0min}=10397$ N. Předpětí ve šroubu proto volím $F_0=10500$ N.

Pro výpočet maximální síly ve šroubu F_s sečtu předpětí F_0 s největší tahovou silou F_{xmax} , rozdělenou do čtyř šroubů. Ta se vyskytuje při zatížení -3g v ose x,

$$F_s = F_0 + \frac{F_{xmax}}{4} = 10500 + \frac{3577}{4} = 11394 \text{ N} \quad (13.11)$$

F_{xmax} – největší tahová síla působící na spoj

13.1 Pevnostní kontrola šroubu

Volím šrouby s vnitřním šestihranem M10 × 1 ×35 DIN 912 - 8.8. Zvolený jemný závit zvyšuje pevnost šroubu a zároveň zlepšuje samosvornost. Šrouby jsou vyráběny z oceli třídy 8.8, mez kluzu materiálu je tedy $R_e=640$ MPa. V tabulce 13.4 jsou zobrazeny rozměry závitu.

Tabulka 13.3 – Rozměry závitu M10x1

Rozteč	P [mm]	1
Střední průměr závitu	d_2 [mm]	9,350
Malý průměr závitu	d_3 [mm]	8,773
Úhel profilu	α [°]	60

Výpočet tahového napětí

$$\sigma_t = \frac{F_s}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{11394}{\pi \cdot \left(\frac{8,773}{2}\right)^2} = 188 \text{ MPa} \quad (13.12)$$

Výpočet redukovaného třecího úhlu

$$\varphi' = \tan^{-1}\left(\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0,15}{\cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right)}\right) = 9,826^\circ \quad (13.13)$$

f_z – třecí součinitel pro šroub bez povrchové úpravy mazaný pastou MoS₂ [29]

Výpočet úhlu stoupání

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) = 1,95^\circ \quad (13.14)$$

Výpočet smykového napětí

$$\tau = \frac{F_0 \cdot \tan(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3^3} = \frac{10500 \cdot \tan(1,95 + 9,826) \cdot \frac{9,350}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot 8,773^3} = 77,189 \text{ MPa} \quad (13.15)$$

Výpočet redukovaného napětí dle Guestovy hypotézy

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{188^2 + 4 \cdot 77,189^2} = 243,642 \text{ MPa} \quad (13.16)$$

Kontrola bezpečnosti

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{RED}} = \frac{640}{243,642} = 2,627 > 1,5 \quad (13.17)$$

k_s – statická bezpečnost šroubu

Získaná bezpečnost šroubu vyhovuje.

Výpočet utahovacího momentu

$$M_{TZ} = F_0 \cdot \tan(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} = 10500 \cdot \tan(1,95 + 9,826) \cdot \frac{9,350}{2} = 10,234 \text{ Nm} \quad (13.18)$$

M_{TZ} – moment tření v závitech

$$M_{TM} = F_0 \cdot f_M \cdot \frac{D_d + D_{SK}}{4} = 10500 \cdot 0,15 \cdot \frac{13 + 17,73}{4} = 12,1 \text{ Nm} \quad (13.19)$$

M_{TM} – moment tření pod hlavou šroubu

D_d – průměr díry podložky

D_{SK} – průměr vepsané kružnice hlavy šroubu

$$M_T = M_{TZ} + M_{TM} = 10,234 + 12,1 = 22,334 \text{ Nm} \quad (13.20)$$

M_T – utahovací moment

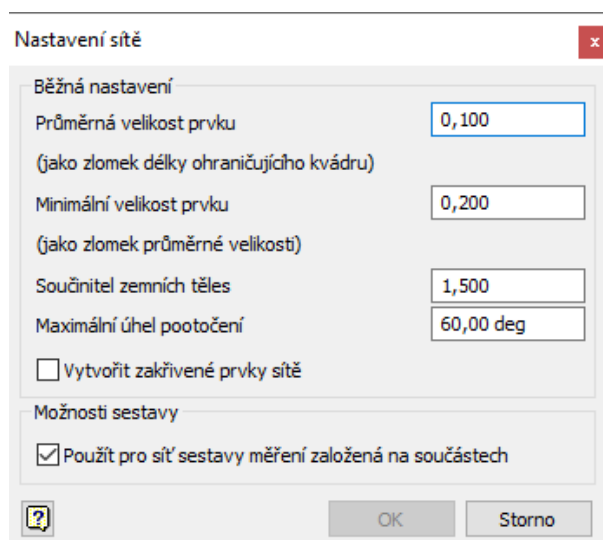
14 Analýza metodou konečných prvků

K pevnostní kontrole konstrukce jsem použil Pevnostní analýzu v programu Autodesk Inventor 2020.

Model jsem připravil a poté namáhal všemi vypočtenými případy zatížení.

14.1 Sítě

Globální nastavení sítě jsem ponechal defaultní, síť byla zhuštěna pouze v kritických místech na značně namáhaných hranách. Na obrázku 14.1 vidíme defaultní nastavení sítě.



Obrázek 14.1 – Nastavení globální sítě

14.2 Materiál

Použité materiálové vlastnosti můžeme vidět v tabulce 14.4 a 14.2

Tabulka 14.1 – Mechanické vlastnosti oceli 11 373

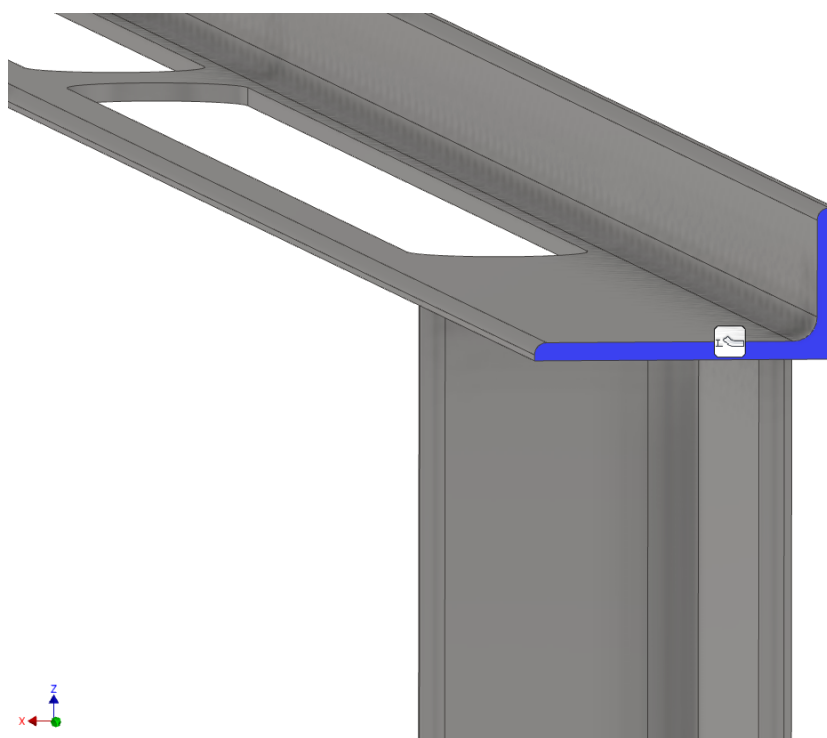
Mez pevnosti v tahu	340 MPa
Mez kluzu	235 MPa
Poissonova konstanta	0,3
Modul pružnosti v tahu	210 000 MPa

Tabulka 14.2 – Mechanické vlastnosti oceli 1.4016

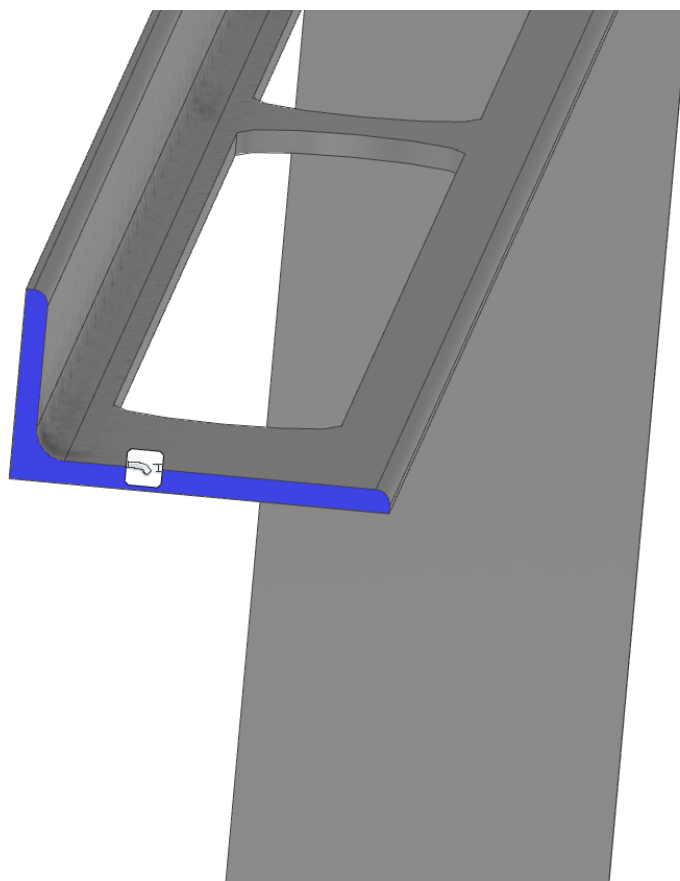
Mez pevnosti v tahu	430 MPa
Mez kluzu	240 MPa
Poissonova konstanta	0,3
Modul pružnosti v tahu	210 000 MPa

14.3 Vazby

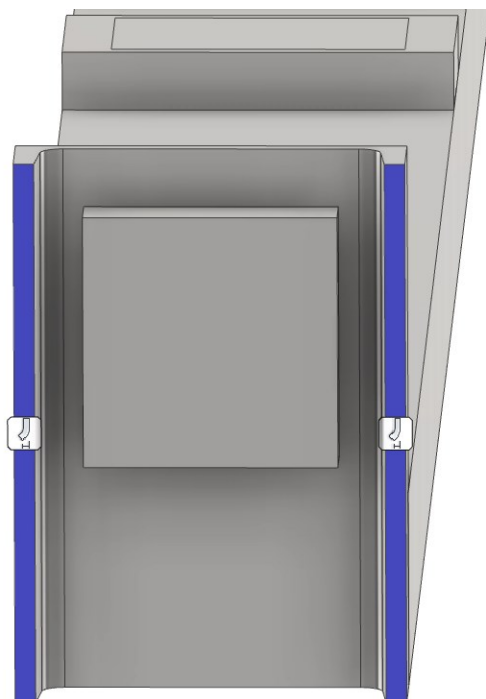
Vazby byly použity na plochách svarů konstrukce se skříní vozu. Jedná se o svary příčky se stěnami skříně vozu (obrázek 14.2 a obrázek 14.3) a svary patky s podlahou skříně vozu (obrázek 14.4). Svary znemožňují pohyb a natočení ve všech osách. Proto volím vazby pevné.



Obrázek 14.2 – Levá vazba se stěnou skříně vozu



Obrázek 14.3 – Pravá vazba se stěnou skříně vozu



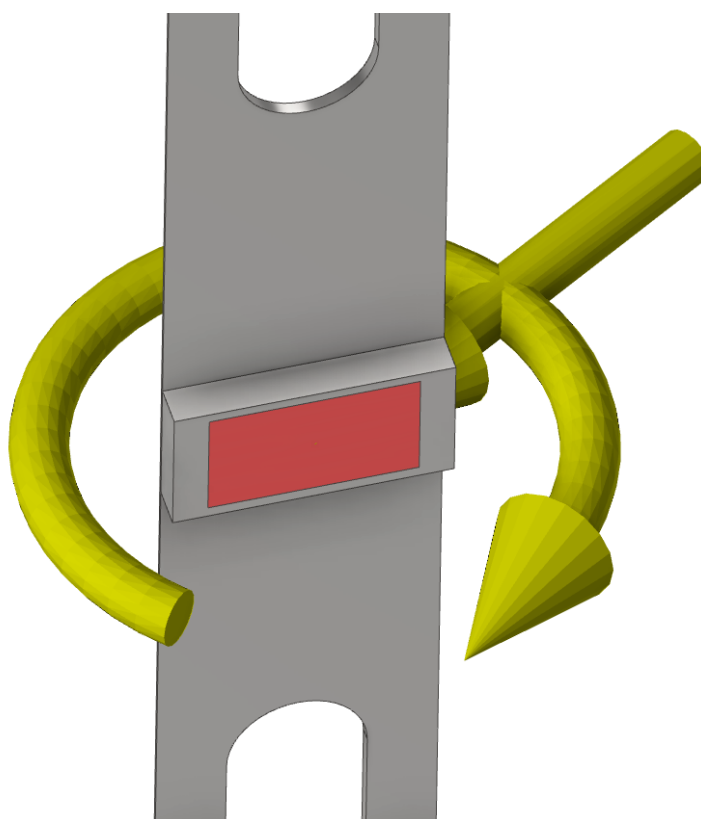
Obrázek 14.4 – Vazba s podlahou skříně vozu

14.4 Dotyky

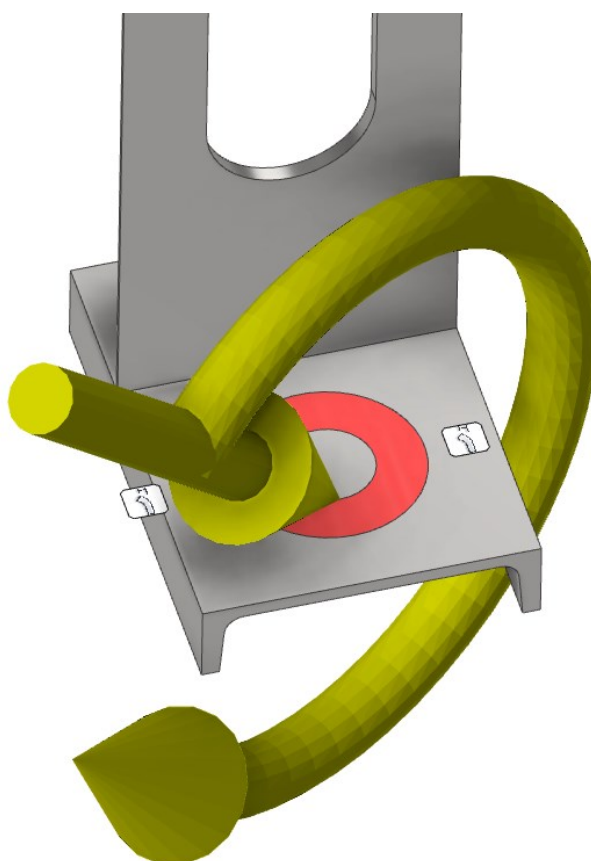
Jednotlivé díly konstrukce jsou svařeny. Není mezi nimi tudíž možný žádný posun ani natočení. Tomuto stavu odpovídá typ doteku Vázaný, který jsem aplikoval pro všechny dotyky.

14.5 Zatížení

Model jsem zatížil v dotykových plochách spojů s plošinou. Byla použita zatížení v dotykových plochách z tabulky 12.1 pro horní spoj (obrázek 14.5) a z tabulky 12.2 pro dolní spoj (obrázek 14.6). Konstrukce je také zatížena gravitací. Takto byly všechny případy analyzovány.



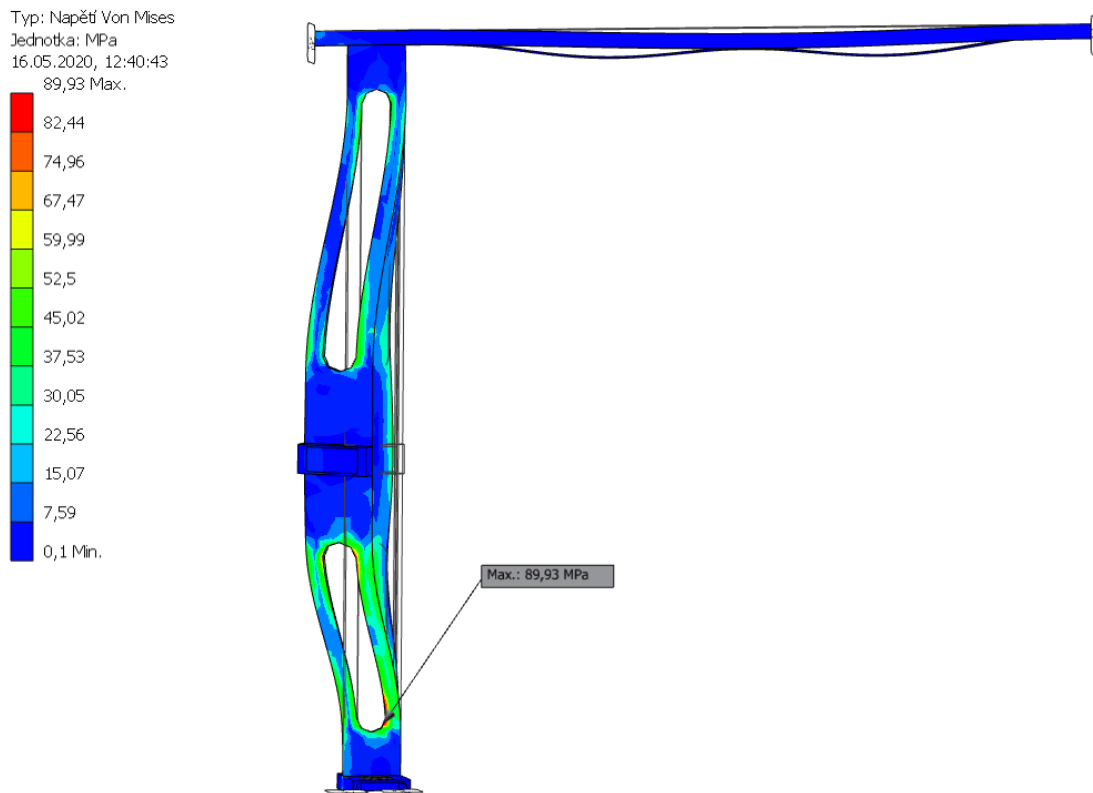
Obrázek 14.5 – Zatížení horní dotykové plochy



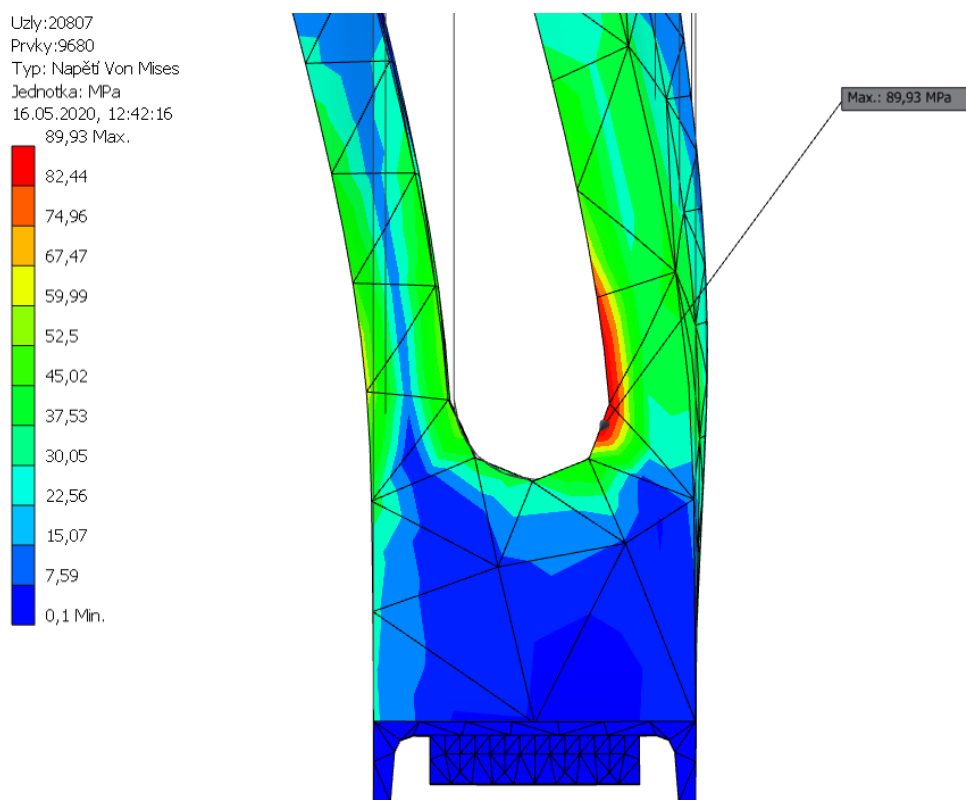
Obrázek 14.5 – Zatížení dolní dotykové plochy

14.6 Výsledky

Největší napětí bylo vyhodnoceno v případě používání plošiny cestujícím, jak můžeme vidět na obrázku 14.6. Hodnota napětí v tomto případě činí 89,93 MPa, a to v hraně odlehčení stojny, jak můžeme vidět na obrázku 14.7. V ostatních případech zatížení vykazovala konstrukce menší nebo velmi malé napětí.

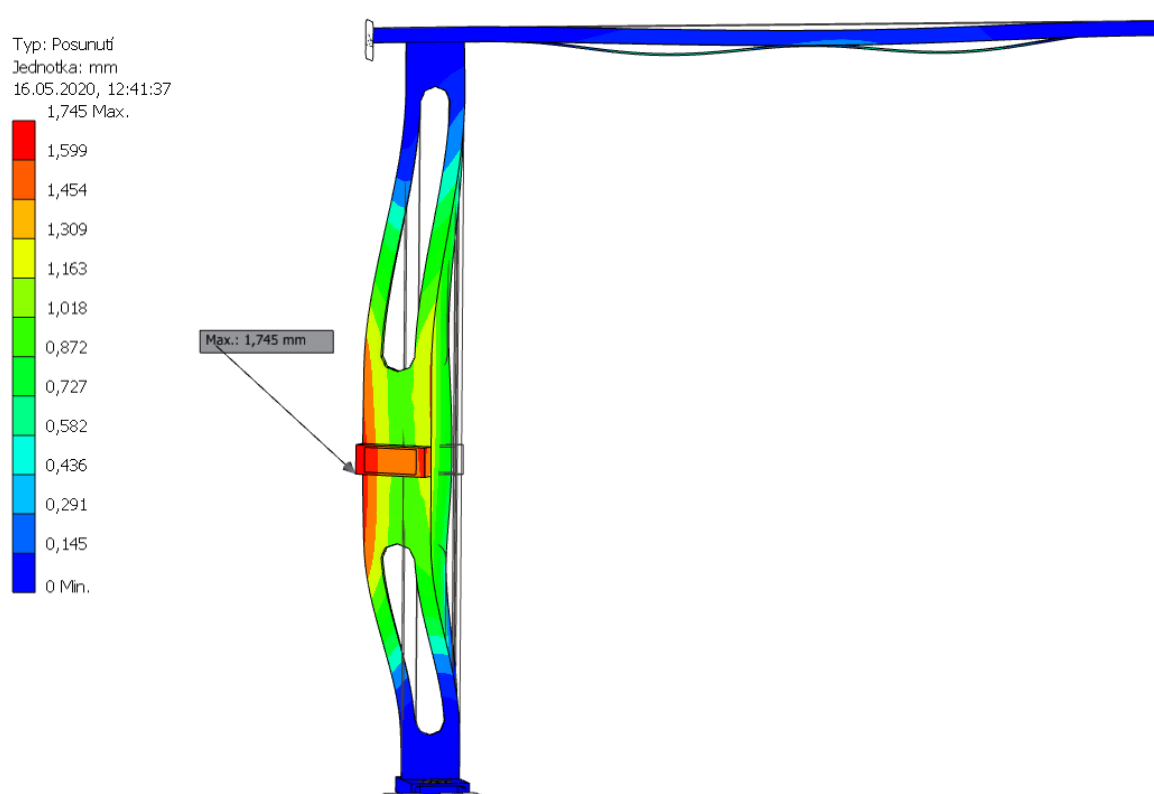


Obrázek 14.6 – Napětí v konstrukci při zatížení plošiny cestujícím na vozíku



Obrázek 14.7 – Napětí v kritickém místě konstrukce

Největší posunutí vykazuje oblast kolem horního spoje s plošinou, jak můžeme vidět na obrázku 14.8. Tato hodnota se ovšem odchyluje od reality, neboť ve skutečnosti jsou plochy spojů spojeny plošinou, která konstrukci vyztužuje.



Obrázek 14.8 – Posunutí při zatížení plošiny cestujícím na vozíku

14.7 Kontrola bezpečnosti

Kontrolu bezpečnosti provádím pro největší napětí v konstrukci $\sigma_{MAX}=89,93$ MPa. Maximum se nachází v části z oceli 11 373, $R_e=235$ MPa. Minimální bezpečnost stanovuje norma ČSN EN 12 663-1+A1[27].

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{MAX}} = \frac{235}{89,93} = 2,61 \quad (14.1)$$

$$k > k_{min}$$

$$2,61 > 1,15$$

k_{min} – nejnižší přijatelná bezpečnost [27]

Konstrukce vyhovuje podmínce bezpečnosti dle ČSN EN 12 663-1+A1.

15 Závěr

V úvodní části bakalářské práce jsem popsal situaci cestujících na invalidním vozíku, druhy pomůcek pro nástup do železničního vozu a některé bezbariérové vozy používané v ČR.

V praktické části jsem navrhl několik možných variant provedení konstrukce, rozebral jsem jejich výhody a nevýhody. Zásadními kritérii výběru byly nízká hmotnost, jednoduchost a snadná vyrobiteľnosť. Ke zpracování jsem vybral konstrukci z L profilů, neboť má z možných variant nejvíce výhod, nevýhody jsou odstraněny nebo redukovány.

Poté jsem vypočítal velikosti namáhání pro několik případů zatížení z ČSN EN 12663-1+A1, zatížení při používání plošiny cestujícím a zatížení při vytočení plošiny o 90°.

V dalším kapitole práce jsem provedl návrh a kontrolu horního šroubového spoje mezi konstrukcí a plošinou, včetně výpočtu utahovacího momentu šroubu.

Nakonec jsem provedl pevnostní analýzu konstrukce metodou konečných prvků a výsledky jsem zhodnotil a výslednou bezpečnost konstrukce zkontroloval.

K vybrané variantě konstrukce jsem zpracoval výkresovou dokumentaci.

16 Seznam použité literatury

- [1] Elektrická jednotka RegioPanter. In: Škoda Transportation [online]. ©2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/photo-ct-2399-760-546-.jpg>
- [2] Budova firmy v Ostravě - Vítkovicích. In: Vlaky.net [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.vlaky.net/upload/images/reports/002582/130.jpg>
- [3] Vlak společnosti RegioJet. In: Student Agency [online]. ©2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.studentagency.cz/opencms/export/sites/studentagency.cz/onas/promedia/2016/Fotografie_2016/Vlaky_RegioJet/Expresy/RegioJet_Vectron_v_lakova_suprava.JPG_649655898.jpg
- [4] Jednotka Stadler Flirt společnosti Leo Express. In: E15 [online]. ©2001-2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://img.cncenter.cz/img/11/normal690/3458618-img-leo-express-v0.jpg?v=0>
- [5] Integrovaná rampa soupravy RegioPanter. In: Škoda [online]. ©2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/photo-ct-302-1200-.jpg>
- [6] Integrovaná plošina. In: Wall Street Journal [online]. ©2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://si.wsj.net/public/resources/images/DE-BC924_bahn18_P_20140218104859.jpg
- [7] Nevhodné použití přenosné rampy. In: Idnes.cz [online]. 2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/doprava/uzkokolejky-nizkopodlazni-rampa-dotace-eu.A151023_214205_eko-doprava_suj/foto/BER5ecd69_090717_2294573.jpg
- [8] Kolejnice u vlaku Arriva. In: Zdopravy.cz [online]. ©2017-2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://zdopravy.cz/wp-content/uploads/2018/12/Arriva_rampa.jpg
- [9] Jednotka RailJet. In: ÖBB [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.oebb.at/en/reiseplanung-services/im-zug/unsere-zuege/railjet>
- [10] Plošina ve voze ABfbrdtn795. In: České dráhy [online]. ©2016 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/assets/nase-vlaky/rychlik/motorove-rychliky-854/4-nastup-854a954.jpg>

- [11] Plošina vozu Bbdgmee 236. Železničář [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://zeleznicar.cd.cz/assets/zeleznicar/zpravodajstvi/img_2644.jpg
- [12] Plošina jednotky CityElefant. In: Škoda Transportation [online]. ©2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/photo-ct-307-1200-.jpg>
- [13] Plošina Palfinger Trainlift TRP 600 [online]. In: . 2016 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://static.palfinger.com/medias/sys_master/8797186883614/passengerlift_trb600_title_usp.jpg
- [14] RailJet. České dráhy [online]. ©2016 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/nase-vlakly/railjet/railjet/-25858/>
- [15] Motorové rychlíky 854. České dráhy [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/nase-vlakly/rychlik/motorove-rychliky-854/-26936/#kotva>
- [16] České dráhy zahájily testování modernizovaného bezbariérového vozu pro dálkovou dopravu. Izdoprava.cz [online]. ©2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.izdoprava.cz/zeleznicni-doprava/2012/ceske-drahy-zahajily-testovani-modernizovaneho-bezbarieroveho-vozu-pro-dalkovou-dopravu/>
- [17] 471. Atlas lokomotiv [online]. 2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-471.html>
- [18] ŘÍDICÍ VOZY NA NAŠICH KOLEJÍCH: ŘADA 954.0/954.2. Vlaky.net [online]. 2008 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/001768-Ridici-vozy-na-nasich-kolejich-rada-954.asp>
- [19] PASSENGER LIFT. Palfinger [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://www.palfinger.com/en/products/passenger-lifts/models/mbb-trainlift_p_1921#downloads
- [20] TRB 600. HLS Palfinger [online]. ©2016 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://hls-mbb.pl/content/trb-600>
- [21] Se soukromými železničními dopravci si vozíčkáři pohoršili. Novinky.cz [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/domaci/clanek/se-soukromymi-dopravci-si-vozickari-pohorsili-40309595>

- [22] Vlakové jízdní řády. Leo Express [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.leoexpress.com/cs/kam-jezdime/jizdni-rady/vlak>
- [23] Vlakem bez bariér. Vlakembezbarier.cz [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://vlakembezbarier.cz/>
- [24] Objednávka přepravy cestujícího na vozíku nebo asistence. České dráhy [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/objednavka-cesty-vozickaru/>
- [25] Služby pro cestující na vozíku. České dráhy [online]. ©2016 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/cestovani-zdravotne-hendikepovanych/-29456/>
- [26] Přeprava imobilních cestujících [online]. ©2014 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://jizdenky.regiojet.cz/web/dulezite-informace/preprava-imobilnich-cestujicich.html?0>
- [27] ČSN EN 12663-1+A1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [28] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [29] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře - části spojovací*. Ostrava: Ediční středisko VŠBTUO, Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8
- [30] ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: ČNI, srpen 1996. 32s
- [31] DORŇÁKOVÁ L. Návrh nosné konzoly sedadel: diplomová práce Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, Vedoucí práce: Ing. Tomáš Hapla

17 Seznam příloh

SKO0152_BP_001 – SVAŘENEC KONSTRUKCE

SKO0152_BP_001.1 -PATKA

SKO0152_BP_001.2 – STOJNA

SKO0152_BP_001.3 - PŘÍČKA

SKO0152_BP_001.4 – KOSTKA HORNÍ

SKO0152_BP_001.5 – KOSTKA DOLNÍ

SKO0152_BP_002 – SESTAVA S PLOŠINOU