VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DVOUNÁPRAVOVÝ TRAKTOROVÝ NÁVĚS

TWO-AXLE TRACTOR SEMITRAILER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. MARTIN KRAFKA**

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D.**

SUPERVISOR

BRNO 2023

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**Bc. Martin Krafka**
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	**Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.**
Akademický rok:	2022/23

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

Dvounápravový traktorový návěs

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Koncepční návrh konstrukce dvounápravového tandemového přípojného vozidla typu návěs se sklápěným valníkem. Konstrukce nástavby uzpůsobena pro třístranné sklápění. Bočnice dvojité výšky s možností spodního odjištění bočnic.
Technické parametry a požadavky:
Maximální nosnost traktorového návěsu 8 000 kg.
Maximální rychlost 40/60 km/h.
Rozměry ložné plochy 2180/2280 mm šířka (kónicky se rozšiřující dozadu) x 4450 mm délka.
Typ pružení: mechanické pružiny.
Typ brzdové soustavy – vzduchová.
Výška dvojitých bočnic 500 mm + 500 mm.
Typ připojení k traktoru: oko (primárně) s možností výškového stavění a vyměnitelnost za jiný typ připojení.

Cíle diplomové práce:

Rešeršní rozbor obdobných návěsů hmotnostní kategorie.
Rešeršní rozbor legislativních předpisů.
Koncepční návrh návěsu.
Funkční, rozměrové a silové výpočty.
Upřesnění konstrukce návěsu s návrhem komponent.
Pevnostní FEM výpočet vybraných konstrukčních uzlů při různých provozních režimech.
Výkres sestavy návěsu.
Podsestava svařence rámu.
Dílenské výrobní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

SYROVÝ, Otakar. Doprava v zemědělství. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 9788086726304.

VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 8023900242.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

VANĚK, Antonín. Strojní zařízení pro stavební práce. 2., přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 1999. ISBN 8085920611.

JEŘÁBEK, Karel. Stroje pro zemní práce: Silniční stroje. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 8070783893.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce jednoúčelového návěsu s tandemovou nápravou pro převoz komoditních surovin a materiálů. Úvodní část práce se zabývá definováním legislativních požadavků a zařazením návěsu do kategorií vozidel. Následující část je věnována způsobům konstrukčního provedení jednotlivých částí návěsu. Dále je proveden průzkum trhu u návěsů s tandemovou nápravou o podobné jmenovité nosnosti jako navrhovaný návěs. Konstrukční část se věnuje návrhu návěsu s volbou kupovaných součástí návěsu. Analýza napěťových stavů metodou konečných prvků je zhotovena ze skořepinového modelu s náhradami konstrukčních uzlů pro přiblížení reálného stavu zatěžování. Součástí práce je výkresová dokumentace.

Summary

This diploma thesis deals with the design of a specialized trailer with a tandem axle for transporting commodity raw materials and materials. The introductory section of the thesis deals with defining legislative requirements and classifying the trailer into vehicle categories. The following section is dedicated to the methods of constructing individual parts of the trailer. A market survey of trailers with a tandem axle and similar nominal load capacity to the proposed trailer is conducted. The design section focuses on the trailer design with a choice of purchased trailer components. A finite element analysis of stress states is created from a shell model with replacements of structural nodes to approximate the real state of loading. The thesis also includes drawing documentation.

Klíčová slova

Jednoúčelový návěs, zemědělská technika, nástavba, tandemový návěs, metoda konečných prvků.

Keywords

Single-purpose trailer, agricultural equipment, superstructure, tandem trailer, Finite element method.

KRAFKA, M.*Dvounápravový traktorový návěs*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2023. 77 s. Vedoucí Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Kašpárka, Ph.D. a společnosti FAMAMONT s.r.o. s použitím svých znalostí a literatury uvedené v seznamu.

Bc. Martin Krafka

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Pavlu Fajkusovi z konstrukčního oddělení společnosti FAMAMONT s.r.o. za poskytnutí příležitosti vypracování diplomové práce, podkladů a informací. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, kterými mně pomáhal při tvorbě této práce.

Bc. Martin Krafka

Obsah

1 Rozbor zadání diplomové práce **4**
1.1 Charakteristika problematiky . . . 4
1.2 Cíle diplomové práce . . . 4
1.3 Technické parametry . . . 4

2 Legislativní požadavky **5**
2.1 Základní pojmy . . . 5
2.2 Kategorie silničních vozidel . . . 7
2.3 Největší povolené hmotnosti vozidel a rozdělení hmotnosti na nápravy . . . 8
2.4 Největší povolené rozměry vozidel a jízdních souprav . . . 9
2.5 Ustanovení o hmotnostech potřebných pro provoz na pozemních komunikacích . . . 9
2.6 Spojitelnost z pohledu hmotnosti přípojného vozidla a souprav . . . 10
2.7 Spojitelnost vozidel v jízdní soupravu . . . 11
2.8 Povinná výbava návěsu . . . 12
2.9 Shrnutí legislativních požadavků . . . 13

3 Koncepční možnosti návěsů **14**
3.1 Jednoúčelové návěsy . . . 14
3.2 Víceúčelové návěsy . . . 15
3.3 Podvozek . . . 16
3.4 Rám podvozku . . . 17
3.5 Nápravy . . . 18
3.5.1 Natáčení náprav . . . 18
3.5.2 Odpružení náprav . . . 20
3.5.3 Pohon náprav . . . 24
3.6 Brzdný systém . . . 25
3.7 Kola a pneumatiky . . . 27
3.8 Oje . . . 28
3.8.1 Pevná oj . . . 28
3.8.2 Odpružení parabolickými pery . . . 28
3.8.3 Hydraulicky odpružená oj . . . 29
3.8.4 Odpružení listovými pery . . . 29
3.8.5 Odpružení silentbloky . . . 29
3.9 Připojení k traktoru . . . 31

4 Návěsy s tandemovou nápravou na trhu **33**
4.1 Strautmann . . . 33
4.2 WTC Písečná . . . 34
4.3 Farmtech . . . 34
4.4 Joskin . . . 35
4.5 Fliegl . . . 35
4.6 Pronar . . . 37
4.7 Pühringer . . . 37

4.8 Shrnutí základních parametrů výrobců 38

5 Koncepční návrh návěsu **39**
5.1 Rám návěsu 39
5.1.1 Přední část rámu návěsu 39
5.1.2 Hlavní rám návěsu 40
5.1.3 Zadní část rámu návěsu 41
5.1.4 Nakupované prvky rámu návěsu 42
5.2 Oj 48
5.3 Korba návěsu 48

6 Rozbor sil působících na návěs **51**
6.1 Statická poloha 51
6.2 Brzdění traktoru 52
6.3 Brzdění návěsu 52
6.4 Průjezd zatáčkou 53
6.5 Akcelerace 54

7 Náhrady pro MKP analýzu **55**
7.1 Tuhost náhrady parabolického odpružení nápravy 55
7.2 Náhrada pneumatik 55
7.2.1 Výpočet tuhosti pro boční a směrové vedení 56

8 Výpočet mezního stavu únosnosti **57**
8.1 Hodnota návrhové pevnosti 57
8.2 Dovolené napětí obsahující dynamický součinitel 57

9 MKP analýza konstrukce **58**
9.1 Způsob nahrazení jednotlivých prvků 58
9.2 Výsledky zatěžovacích stavů 60
9.2.1 Stav prostého stání 61
9.2.2 Akcelerace 61
9.2.3 Brzdění 62
9.2.4 Průjezd zatáčkou 64
9.3 Kombinace zatěžovacích stavů 66
9.4 Vyklápění korby do boku 67
9.5 Vyklápění korby vzad 68

Úvod

Přeprava komodit je základním pilířem pro zachování funkce různých průmyslových odvětví. Pohyb komodit lze kategorizovat podle vzdálenosti přesunů na dlouhé přesuny po dopravní infrastruktuře, přepravu od sklízecích, výrobních a těžebních strojů ke skladům, nebo přepravu mezi sklady v rámci podniku. Pro tyto účely se ve většině případů využívá přípojných vozidel za trakční prostředek traktor. Diplomová práce je zaměřena na přípojné vozidlo typu návěs, konkrétně dvounápravový traktorový návěs.
Všechna přípojná vozidla a nástavby pohybující se po pozemní komunikaci musí splňovat aktuální legislativní požadavky. Uvedené dvounápravové návěsy s tandemovou nápravou musí splňovat tyto požadavky a až poté se uzpůsobují na přání zákazníka. Nedílnou součástí je výbava, která pomáhá obsluze v lepším přístupu ke komoditám a s uchycením přepravovaného materiálu, popřípadě ochraňuje přepravované komodity před deštěm.
Diplomová práce vzniká ve spolupráci s firmou FAMAMONT s. r. o.. Firma poskytuje kompletní montážní, výrobní a konstruktérské služby od návrhu až po realizaci na přání zákazníka.
Předmětem diplomové práce je koncepční návrh konstrukce dvounápravového tandemového přípojného vozidla typu návěs se sklápěným valníkem - přípojné vozidlo kategorie R3a/R3b pro dané využití na pozemních komunikacích dle aktuálních platných legislativních požadavků.

Obrázek 1: Třístranně sklopný návěs s tandemovou nápravou [11]

1. Rozbor zadání diplomové práce

Diplomová práce se zabývá konstrukcí dvounápravového traktorového návěsu určeného především pro přepravu komoditních surovin a materiálů. V následujících bodech je stručně shrnuta problematika úkolu počínaje cíli a základními technickými parametry.

1.1. Charakteristika problematiky

Klíčovou problematikou této diplomové práce je návrh konstrukčního řešení dvounápravového traktorového návěsu s pevnostní analýzou rámu a korbou návěsu. Pro požadavek svařování rámu robotem je pro jednoduchost rám navržen s zámkovými spoji. Zámkový spoj zároveň slouží pro jednoznačnost usazení dílčích částí rámu. Návrh koncepčního řešení musí splňovat náležitosti legislativních požadavků, které jsou klíčovým prvkem návrhu tohoto charakteru.

1.2. Cíle diplomové práce

Cíle diplomové práce jsou shrnuty do následujících bodů:

- Kritická rešerše obdobných řešení návěsů obdobné hmotnostní kategorie, rešeršní rozbor legislativních předpisů.
- Funkční, rozměrové a silové výpočty, koncepční návrh s upřesněním konstrukce návěsu s návrhem komponent.
- Pevnostní analýza konstrukce rámu a korby návěsu.
- Výkres sestavy, podsestavy návěsu a dílenské výkresy.

1.3. Technické parametry

Návrh konstrukce musí být v souladu se základními technickými parametry, které jsou dány zadáním diplomové práce a jsou shrnuty v následujících bodech:

- Maximální nosnost traktorového návěsu $8000\,kg$.
- Maximální rychlost $40/60\,km/h$.
- Šířka ložné plochy kónicky se rozšiřující dozadu $2180/2280\,mm$, délka ložné plochy $4450\,mm$, výška dvojitých bočnic $500\,mm + 500\,mm$.

2. Legislativní požadavky

Navržený dvounápravový návěs musí splňovat určité legislativní požadavky kvůli legálnímu a především bezpečnému pohybu po veřejných i soukromých pozemních komunikacích. Pro stanovení požadavků dané kategorie vozidel je nutné znát základní rozměry vozidla, celkovou hmotnost a účel pro který je vozidlo využíváno.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady Evropské unie (EU) č. 167/2013 ze dne 5. února 2013, který je o schvalování zemědělských a lesnických vozidel a dozoru nad trhem s těmito vozidly [1]. Za účelem definice „schválením typu“, oblasti působení zemědělských a lesnických vozidel, předmětu administrativních a technických požadavků na schvalování typu nových vozidel, systémů, konstrukčních částí a technických celků [1].

Vyhláška č. 314/2014 Sb. [2] vypovídá o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Dále upravuje základní rysy schvalování druhu a kategorie vozidel, funkce technických zkušeben a zkušebních stanic, povinné výbavy a požadavky na zvláštní vozidla, podmínky výroby a přestavby silničního vozidla.
Vyhláška č. 209/2018 Sb. [3] upravuje hmotnosti, rozměry a spojitelnost vozidel a nahrazuje zrušenou devátou část vyhlášky 314/2014 Sb. [2]. Vyhláška je zpracována na základě předpisů Evropské unie a to směrnicí Rady 96/53/ES [5] a směrnicí Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/719 [4], kterou se mění směrnice Rady 96/53/ES a kterou se pro určitá silniční vozidla provozovaná v rámci Evropského společenství stanoví maximální příslušné rozměry pro vnitrostátní a mezinárodní provoz a maximální přípustné hmotnosti pro mezinárodní provoz. Vyhláška upravuje:

a) hodnoty hmotnostních a rozměrových vlastností vozidel a souprav, poměr hmotností vozidel v jízdní soupravě a rozmístění hmotnosti na jednotlivé nápravy, soubor náprav, kola a soubory kol, a to za účelem udržitelnosti bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích, popřípadě zachování stavu pozemní komunikace,

b) podmíněné situace spojitelnosti vozidel v jízdní soupravu za účelem zachování bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích,

c) podmíněné užití sklopných a odnímatelných zařízení pro účel snížení aerodynamického odporu, jejichž nesplnění ohrožuje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích,

d) uváděné náležitosti v dokladu o rozměrech vozidla. [3]

2.1. Základní pojmy

Zněním vyhlášky č.314/2014 Sb. [2] se rozumí:

a) tažným vozidlem motorové vozidlo spojené s přípojným vozidlem,

b) jízdní soupravou spojení tažného vozidla s jedním nebo s více přípojnými vozidly,

c) výměnnou nástavbou samostatný technický celek, který je se základním vozidlem, nosičem výměnných nástaveb, v rozebíratelném spojení,

d) schvalováním harmonizovaného typu schvalování typu silničního vozidla, jeho systému, konstrukční části nebo samostatného technického celku, na který se použijí příslušné předpisy Evropské unie,

e) schvalováním mezinárodního typu postup schválení systému vozidla, konstrukční části nebo samostatného technického celku stanovený dle rozhodnutí přijatých na základě Dohody o přijetí jednotných technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat a/nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání schválení udělených na základě těchto pravidel, uzavřené v Ženevě dne 20. března 1958 ve znění Dohody z 16. října 1995,

f) schvalováním neharmonizovaného typu schvalování typu silničního vozidla, jeho systému, konstrukční části nebo samostatného technického celku, na který se nepoužijí příslušné předpisy Evropské unie ani mezinárodní smlouva v oblasti technické způsobilosti, kterou je Česká republika vázána,

g) identifikačním číslem vozidla určitý počet znaků, čísel a písmen, které jsou specifické pro dané vozidlo, jejichž skladba a použití je stanovena příslušnými předpisy Evropské unie,

h) technickým protokolem doklad vypracovaný technickou zkušebnou nebo zkušební stanicí, kterým se potvrzuje, že vozidlo, jeho systémy, konstrukční části nebo samostatné technické celky, které byly předány těmto subjektům ke zkouškám nebo ověřením, se shodují s údaji uvedenými v příslušném dokumentu obsahujícím technické údaje nebo ve schvalovací dokumentaci, a splňuje příslušné technické, harmonizované nebo mezinárodní požadavky; v technickém protokolu se dále uvádí naměřené hodnoty,

i) největší povolenou hmotností největší hmotnost, se kterou smí být vozidlo užíváno v provozu na pozemních komunikacích v České republice,

j) největší povolenou hmotností na nápravu největší hmotnost na nápravu, se kterou smí být vozidlo užíváno v provozu na pozemních komunikacích v České republice,

k) maximální technicky přípustnou hmotností na nápravu hmotnost odpovídající největšímu technicky přípustnému statickému svislému zatížení, kterým působí náprava vozidla na povrch vozovky,

l) maximální technicky přípustnou hmotností naloženého vozidla maximální hmotnost stanovená pro vozidlo na základě jeho konstrukčních vlastností a provedení; největší technicky přípustná hmotnost přívěsu nebo návěsu zahrnuje statickou hmotnost přenesenou na tažné vozidlo, je-li přívěs nebo návěs připojen,

m) maximální technicky přípustnou hmotností naložené jízdní soupravy maximální hmotnost stanovená pro kombinaci motorového vozidla a jednoho nebo více přípojných vozidel na základě jeho konstrukčních vlastností a provedení nebo maximální hmotnost určená pro jízdní soupravu složenou z tahače návěsu a návěsu,

n) okamžitou hmotností vozidla nebo jízdní soupravy hmotnost zjištěná v určitém okamžiku při jejich provozu na pozemních komunikacích,

o) hmotnosti v provozním stavu pro přípojná vozidla: hmotnost vozidla, včetně paliva a kapalin, vybaveného standardním vybavením podle specifikací výrobce, a jsou-li součástí vybavení, i hmotnost karosérie, dalšího spojovacího zařízení a náhradního kola a nářadí. [2]

2.2. Kategorie silničních vozidel

Podkapitola se věnuje kategorii zemědělských a lesnických vozidel, do které zasahuje navrhovaný stroj, a dále zahrnuje informace o hmotnostech daných vozidel a jízdních souprav.

Na základě nařízení Evropského parlamentu a Rady EU č. 167/2013 [1] ze dne 5. února 2013 o schvalování zemědělských a lesnických vozidel a dozoru nad trhem s těmito vozidly lze vozidla rozdělit do těchto kategorií:

a) přípojná vozidla (kategorie R) a výměnná tažná zařízení (kategorie S),

b) pásové traktory (kategorie C),

c) kolové traktory zvláštního určení (kategorie T4.1 a T4.2). [1]

Navrhovaný návěs spadá do kategorie R - přípojná vozidla, tudíž bude věnována pozornost této kategorii. Podle rychlosti, která je vhodná ke konstrukčnímu řešení přípojného vozidla kategorie R, je můžeme rozdělit do dvou rychlostních kategorií pod písmenem „a“ nebo „b“.[1]

- „a“ platí pro přípojná vozidla s maximální konstrukční rychlostí rovnou $40\,km \cdot h^{-1}$ nebo nižší,
- „b“ platí pro přípojná vozidla s maximální konstrukční rychlostí vyšší než $40\,km \cdot h^{-1}$,

Kategorie přípojných vozidel podle součtu technicky přípustných hmotností na nápravu,

a) kategorie R1a/R1b: přípojná vozidla, u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu nepřevyšuje $1500\,kg$,

b) kategorie R2a/R2b: přípojná vozidla, u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu převyšuje $1500\,kg$, ale nepřevyšuje $3500\,kg$,

c) kategorie R3a/R3b: přípojná vozidla, u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu převyšuje $3500\,kg$, ale nepřevyšuje $21000\,kg$,

d) kategorie R4a/R4b: přípojná vozidla, u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu převyšuje $21000\,kg$. [1]

Kategorie silničních a zvláštních vozidel dle přílohy č. 2 vyhlášky č.341/2014 Sb. [2] „kategorie O“, neboli přípojná vozidla konstruovaná a vyrobená pro dopravu nákladů nebo osob a pro ubytování osob, kdy se nejedná o zemědělská ani lesní vozidla.

- Kategorie O1: vozidla kategorie O s maximální hmotností nepřevyšující 750 kg.
- Kategorie O2: vozidla kategorie O s maximální hmotností převyšující 750 kg, ale nepřevyšující 3500 kg.
- Kategorie O3: vozidla kategorie O s maximální hmotností převyšující 3500 kg, ale nepřevyšující 10000 kg.
- Kategorie O4: vozidla kategorie O s maximální hmotností převyšující 10000 kg.

Zvláštní vozidla podkategorie SS jsou pracovní stroje samojízdné s vlastním zdrojem pohonu, konstrukčně a svým vybavením určené pouze pro vykonávání určitých pracovních činností. Pracovní stroje samojízdné nejsou zpravidla určeny pro přepravní činnost.

2.3. Největší povolené hmotnosti vozidel a rozdělení hmotnosti na nápravy

Dle vyhlášky č. 209/2018 Sb. §5 [3] hodnoty hmotností na nápravu, skupinu náprav vozidla a jízdních souprav včetně nákladu, jejichž překročení ohrožuje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích nebo stav pozemní komunikace, činí:

a) u jednotlivé nápravy
   - 10000 kg,

b) u dvounápravových přípojných vozidel součet zatížení obou náprav při jejím dílčím rozvoru
   - méně než 1,0 m - 11000 kg,
   - od 1,0 m a méně než 1,3 m - 16000 kg,
   - od 1,3 m a méně než 1,8 m - 18000 kg,

c) u trojnápravy přípojných vozidel součet zatížení všech náprav trojnápravy při jejím dílčím rozvoru
   - do 1,3 m včetně - 21000 kg,
   - nad 1,3 m do 1,4 m včetně - 24000 kg,
   - nad 1,4 m do 1,8 m včetně - 27000 kg.

Nad hodnotu dílčího rozvoru náprav 1,8 m, respektive 3,6 m jsou náprava či nápravy považovány za samostatnou.
Hmotnost připadající na jednu nápravu dvojnápravy a trojnápravy přípojných vozidel nesmí překročit 10000 kg.
Hodnoty hmotností vozidel a jízdních souprav včetně nákladu, jejichž překročení ohrožuje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích nebo stav pozemní komunikace, činí:

a) u přívěsů se dvěma nápravami - 18000 kg,

b) u přívěsů se třemi nápravami - 24000 kg,

c) u přívěsů se čtyřmi a více nápravami - 32000 kg,

d) u jízdních souprav - 48000 kg.

U vozidel kategorie R nebo S, s výjimkou tažených vozidel s ojí, může být nejvyšší povolená hmotnost vyšší než hmotnosti stanovené u přívěsů uvedené v a) a b) v závislosti na počtu náprav o hmotnost připadající na spojovací zařízení v závislosti na typu tohoto spojovacího zařízení a jeho povoleném zatížení, pokud nebylo při schválení technické způsobilosti vozidla stanoveno jinak. [2]

2.4. Největší povolené rozměry vozidel a jízdních souprav

Dle vyhlášky č. 209/2018 Sb. §7 [3] rozměry vozidel a jízdních souprav včetně nákladu, jejichž překročení ohrožuje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích, a jejich hodnoty jsou:

a) šířka, která činí u:

- vozidel kategorií M, N, O, R, T nebo C, není-li v této vyhlášce stanoveno jinak - 2, 55 m,
- u zvláštních vozidel podkategorie SS při jízdě na silnicích II. a III. třídy, místních komunikacích a účelových komunikacích; pokud překračují šíři vozidla uvedenou v bodě 1 až do celkové šíře 3, 50 m, lze je provozovat pouze za užití zvláštního výstražného světla oranžové barvy nebo za použití vozidla technického doprovodu vybaveného zvláštním výstražným světlem oranžové barvy - 3, 50 m,

b) výška, která činí u:

- vozidel kategorií N nebo O určených pro přepravu vozidel - 4, 20 m,
- jízdní soupravy tažného vozidla s návěsem - 4, 08 m,

c) délka, která činí u:

- jízdní soupravy motorového vozidla s návěsem - 16, 50 m,
- jízdní soupravy traktoru s jedním přípojným vozidlem - 18, 00 m,
- jízdní soupravy traktoru se dvěma přípojnými vozidly - 22, 00 m,
- jízdní soupravy se dvěma přívěsy nebo s kombinací návěsu a jednoho přívěsu - 22, 00 m.

2.5. Ustanovení o hmotnostech potřebných pro provoz na pozemních komunikacích

a) Bezpečnost provozu na pozemních komunikacích a stav pozemní komunikace dle vyhlášky č. 209/2018 Sb. §6 [3] je ohrožen, je-li:

- hmotnost vozidla vyšší než hodnota největší technicky přípustné hmotnosti vozidla,
- hmotnost jízdní soupravy vyšší než hodnota největší technicky přípustné hmotnosti jízdní soupravy,
- hmotnost na nápravu vyšší než hodnota největší technicky přípustné hmotnosti na nápravu.

b) Hmotnost vozidla nebo jízdní soupravy nesmí překročit největší povolenou hmotnost vozidla nebo jízdní soupravy uvedenou v osvědčení o registraci vozidla část II (technický průkaz) a část I. V případě znečištění například blátem nebo zanesení sněhem se připouští překročení největší povolené hmotnosti vozidla nebo jízdní soupravy maximálně o 3 %.

c) U vozidel kategorií M, N, O nebo L v provozu se připouští nerovnoměrnost rozložení hmotnosti vozidla na kola jednotlivých náprav mezi pravou a levou polovinou, pokud to dovoluje únosnost pneumatiky, nejvýše však 15 % hmotnosti připadající na nápravu. Tato hodnota však může být překročena, pokud výrobce stanoví pro vozidlo a jeho určitou hmotnost rozmezí přípustných poloh těžiště nákladu a uvede tyto údaje v příručce pro uživatele vozidla.

d) U vozidel kategorií T, C, R, S nebo u zvláštních vozidel podkategorie SS se připouští nerovnoměrnost rozložení hmotnosti vozidla na kola jednotlivých náprav mezi pravou a levou polovinou, pokud to dovoluje únosnost pneumatik,

- u vozidel kategorií T, C nebo R nejvýše 15 % hmotnosti připadající na nápravu,
- u vozidel kategorie S nebo u zvláštních vozidel podkategorie SS nejvýše 20 % hmotnosti připadající na nápravu,
- u traktoru po namontování nástavby nebo připojení pracovního stroje nejvýše 20 % hmotnosti připadající na nápravu.

2.6. Spojitelnost z pohledu hmotnosti přípojného vozidla a souprav

Bezpečnost provozu na pozemních komunikacích dle vyhlášky č. 209/2018 Sb. §3 [3] je ohrožena, pokud není splněna některá z následujících podmínek:

a) hmotnost přípojného vozidla nebo přípojných vozidel nesmí být u jízdních souprav s tažným vozidlem, jehož nejvyšší konstrukční rychlost je do $40\,km \cdot h^{-1}$, vyšší než dva a půl násobek hmotnosti tažného vozidla. U jízdní soupravy traktoru a traktorového návěsu se hmotností každého z vozidel jízdní soupravy rozumí součet hmotností připadajících na jednotlivé nápravy traktoru a návěsu. Část hmotnosti připadající na nápravy traktorového návěsu nesmí převyšovat největší povolenou hmotnost přípojného vozidla uvedenou v technickém průkazu traktoru,

b) hmotnost přípojného vozidla nebo přípojných vozidel nesmí být u jízdních souprav s tažným vozidlem, jehož nejvyšší konstrukční rychlost je vyšší než $40\,km \cdot h^{-1}$,

vyšší než jeden a půl násobek hmotnosti tažného vozidla; toto ustanovení neplatí pro přípojná vozidla kategorií O1 a O2,

c) hmotnost jízdní soupravy nesmí být větší než největší technicky přípustná hmotnost jízdní soupravy stanovená při schválení technické způsobilosti tažného vozidla,

d) hmotnost přívěsů kategorií O3 nebo O4 v jízdní soupravě nesmí být větší než největší povolená hmotnost brzděného přípojného vozidla stanovená pro tažné vozidlo, která je uvedena v technickém průkazu a osvědčení o registraci tažného vozidla. V případě více přípojných vozidel se jedná o součet jejich hmotností,

e) prostřední vozidlo jízdní soupravy musí mít vyšší nebo stejnou hmotnost, jakou má poslední vozidlo jízdní soupravy. Kombinace pomocného vozíku ve spojení s návěsem se pro tyto účely pokládá za jedno vozidlo za předpokladu, že vozík je vybaven pouze jednou nápravou, dvojnápravou nebo trojnápravou. Pomocným vozíkem pro výše uvedené účely se rozumí jednonápravové nebo vícenápravové přípojné vozidlo kategorie O nebo R svojí konstrukcí určené k připojení návěsu příslušné kategorie za použití točnice pro připojení návěsového čepu.

2.7. Spojitelnost vozidel v jízdní soupravu

Vyhláška č. 209/2018 Sb. §4 [3] říká, že bezpečnost provozu na pozemních komunikacích je dále ohrožena, pokud není splněna některá z následujících podmínek:

a) za vozidla kategorií M, N, L nebo Z lze připojit pouze vozidla kategorie S, pokud tak bylo stanoveno při schválení technické způsobilosti obou vozidel, nebo vozidla kategorie O,

b) za vozidla kategorií T, C nebo Z lze připojit pouze vozidla kategorie R nebo S, pokud není v [3] § 3 odst. 1 písm. f) stanoveno jinak,

c) vozidla kategorií R nebo S, která nejsou vybavena brzdovým zařízením, a vozidla kategorií R nebo S, která jsou vybavena nájezdovou brzdovou soustavou, mohou být zapojována jen za tažná vozidla, jejichž provozní hmotnost je shodná nebo vyšší než hmotnost připojovaného vozidla, pokud nebylo při schválení technické způsobilosti tažného vozidla stanoveno jinak; u vozidel výše uvedených kategorií s největší povolenou hmotností nad 3000 kg zapojených do jízdní soupravy musí být kromě toho účinek parkovací brzdy tažného vozidla schopen ubrzdit jízdní soupravu s tímto vozidlem na pozemní komunikaci se sklonem 12 %, pokud nebylo při schválení technické způsobilosti tažného vozidla stanoveno jinak,

d) v případě spojení tažného vozidla s přívěsem nebo dalším přívěsem musí být dále splněny tyto podmínky:

- svislé statické zatížení pevné oje, svisle nevýkyvné, u přívěsů s nápravou uprostřed, musí mít vždy kladnou hodnotu, aby se zabránilo odlehčování zadních náprav tažného vozidla,

- svisle výkyvná oj přívěsu nesmí mít v zapojeném stavu úhlovou odchylku od vodorovné roviny větší jak 10°, přitom poloha oje je dána spojnicí os čepů umožňujících kývání oje a bodu vlastního spojení s tažným vozidlem,

e) zapojení vozidel do jízdních souprav, s výjimkou tažení přívěsů kategorií O1 nebo O2 s nájezdovou brzdou, je možné v těchto kombinacích:

- tažné vozidlo s ABS a přípojné vozidlo s ABS,
- tažné vozidlo bez ABS a přípojné vozidlo bez ABS,
- tažné vozidlo bez ABS a přípojné vozidlo s ABS za podmínky, že tažné vozidlo je vybaveno zařízením umožňujícím napájet a kontrolovat bezchybnou funkci ABS přípojného vozidla,
- tažné vozidlo kategorie T s ABS a přípojné vozidlo bez ABS, jehož nejvyšší konstrukční rychlost je do $40\,km \cdot h^{-1}$,

f) každé pohybující se motorové vozidlo nebo pohybující se souprava vozidel musí být schopné otočit se v kruhu, ve kterém nejsou překážky, o vnějším poloměru $12,50\,m$ a vnitřním poloměru $5,30\,m$.

2.8. Povinná výbava návěsu

Zařízení proti bočnímu zajetí pod návěs
Zařízení je nutné montovat na vozidla kategorií N a O, konkrétně N2, N3, O3, O4, kde je výrazná vzdálenost mezi nápravami a prvky umístěnými mezi nimi.
Ochranné prvky proti bočnímu zajetí pod návěs jsou v souladu s předpisem Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 73.. [63]

Blatníky
Blatníky jsou povinnou výbavou návěsů dle nařízení komise EU č. 109/2011 ze dne 27. ledna 2011, kterým se provádí nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 661/2009, pokud jde o požadavky na schválení typu určitých kategorií M a N a jejich přípojná vozidla kategorie O, jež jsou určena k používání na veřejných komunikacích.
Toto nařízení se nepoužije na:
Zemědělská nebo lesnická vozidla ve smyslu nařízení Evropského parlamentu a Rady EU č. 167/2013 (1) [49];
Parametry blatníků jsou zvoleny na základě NAŘÍZENÍ KOMISE EU č. 109/2011 ze dne 27. ledna 2011. [50]

Osvětlení návěsu
Zadní světla podléhají předpisu ECE R48, zadní odrazka §6.15 a R3, zadní blikače §6.5 a R6, zadní obrysové světlo §6.10 a R7 a brzdové světlo §6.7 a R7. viz. obr. 5.16. [56]
Boční odrazky jsou povinné pro všechny přívěsy dle předpisu ECE R48 §6.17. [56]
Přední obrysová světla jsou povinná pro všechny přívěsy pro šířku větší než $1,6\,m$, dle předpisu ECE R48 §6.9 a R7, povinná přední odrazka §6.16 a R3. [56]

Štítek maximální povolené rychlosti

Přesnou definici označení nejvyšší povolené rychlosti vozidla v České republice udává vyhláška 341/2002 Sb. upravená vyhláškou 283/2009 Sb. § 11 [2]:

(1) Vozidla kategorií M2, M3, N2, N3, O, OT, S s výjimkou čelně nesených strojů kategorie SN a jednonápravové traktory s přívěsy a speciální nosiče pracovních adaptérů musí mít na zádi karoserie, a to pokud to konstrukce vozidla dovoluje, v levé polovině vyznačenu nejvyšší povolenou rychlost zaokrouhlenou:

a) u vozidel s konstrukční rychlostí nepřevyšující 45 km/h na nejbližší nižší celé číslo,

b) u ostatních vozidel na nižší celé číslo dělitelné pěti.

(2) Označení nejvyšší povolené rychlosti musí být vždy čitelné a při provozu nesmí být zakryto. Označení se vyžaduje z retroreflexního materiálu třídy 1 podle ČSN EN 12899-1 (červená a bílá), písmena a číslice jsou nereflexní. Retroreflexní materiál se nevyžaduje u vozidel, u kterých je provoz za snížené viditelnosti zakázán, u zvláštních vozidel a nesených strojů.

2.9. Shrnutí legislativních požadavků

Diplomová práce se bude zabývat vozidlem kategorie R3a/R3b (přípojná vozidla, u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu převyšuje 3500 kg, ale nepřevyšuje 21000 kg) v souladu s legislativními požadavky a zadanými technickými parametry. Práce se bude především zaměřovat na tuto kategorii vozidel, nicméně zahrne také rozdíly v homologaci pro nezemědělské využití návěsu, konkrétně pro vozidlo kategorie O4 vozidlo s maximální hmotností převyšující 10000 kg (nosnost 8000 kg + hmotnost návěsu přes 2000 kg včetně hmotnosti všech komponent).

3. Koncepční možnosti návěsů

Z hlediska konstrukce můžeme návěsy rozdělit na dvě základní skupiny:[8]

a) návěsy jednoúčelové,

b) návěsy víceúčelové - návěsy se zaměnitelným systémem nástaveb.

Jednotlivé koncepce návěsů lze porovnávat dle různých konstrukčních i technických parametrů. V této kapitole je provedeno koncepční rozdělení jednotlivých návěsů různých výrobců s podobnou nosností návěsů.
V současnosti se zemědělské traktory pohybují většinou ve výkonové kategorii od 110 kW (150 kW) a více. V některých zemích Evropské unie je povolena rychlost pro kolové traktory až 60 $km \cdot h^{-1}$, což umožňuje výkonnou zemědělskou dopravu s širokou škálou přípojných vozidel, v případě této diplomové práce je pozornost věnována návěsům. [8]
Při použití návěsů je možné připojit je k traktoru buď pomocí horního nebo spodního závěsu, což zajišťuje, že se hmotnost návěsu přenáší na zadní nápravu traktoru. Tím se zvyšuje schopnost udržení trakce traktoru. [8]
Pro připojení návěsu k trakčnímu prostředku lze použít oj s klasickým tažným okem nebo kulový čep o průměru 80 mm (K-80). Oje mohou být vybaveny odpružením pomocí listových per nebo hydraulickým systémem. [9]

3.1. Jednoúčelové návěsy

Mezi jednoúčelové návěsy řadíme takové zařízení, kde není možné zaměňovat jednotlivé druhy nástaveb a rám podvozku není určen pro jiný typ nástavby. Příkladem jednoúčelového návěsu je návěs s vícestranně sklápěnou korbou viz obr. 3.1. [8]

Obrázek 3.1: Jednoúčelový návěs Joskin [31]

3.2. Víceúčelové návěsy

Mezi víceúčelové návěsy viz obr. 3.2 se řadí takové zařízení, kde je možnost výměny nástavby pro rozšíření využitelnosti daného návěsu a zlepšení ekonomičnosti investice do takového zařízení. Smyslem víceúčelové dopravní techniky je využití více druhů nástaveb pro dopravu různých druhů materiálů, které se liší nejen strukturou a objemovou hmotností, ale i soudržností materiálu. Víceúčelovou dopravní techniku představují zejména dvounápravové, třínápravové ale i čtyřnápravové návěsy s různým systémem možností připojení k dopravnímu prostředku. [9]

Víceúčelové traktorové dopravní návěsy umožňují časově nenáročné odpojení a zapojení nástavby k rámu podvozku. Součástí podvozku jsou nejčastěji čtyři přímočaré hydromotory, které jsou určeny pro nadzvednutí nástavby kvůli výměně viz obr. 3.3. Po nadzvednutí nástavby se k ní připevní podpěry kvůli uvolnění podvozku pro případnou jinou nástavbu. [9]
V případě zvolení zvláštního typu nápravy, jako jsou třeba hydraulicky nebo pneumaticky odpružené, je možné podvozek uvolňovat pomocí výškového nastavení podvozku. [9]

Obrázek 3.2: Výměnný systém MultiLand Plus společnosti Annaburger [32]

Obrázek 3.3: Přímočarý dvojčinný hydromotor na podvozku návěsu ZDT MEGA [33]

3.3. Podvozek

Podvozek zachytává veškeré síly a momenty působící na vozidlo od vozovky. Zásadně ovlivňuje řiditelnost a jeho naladění ovlivňuje velikost a frekvenci vibrací přenášených na rám.
Existuje několik druhů podvozku v závislosti na počtu náprav: podvozky jako konstrukční celky s jednou, dvěma, nebo třemi nápravami v závislosti na požadované nosnosti a také dle legislativních požadavků zatížení na jednu nápravu, jak je uvedeno v kapitole 2. Podvozek návěsů je definován jako nosný prvek pro různé typy nástaveb. Mezi základní části podvozku patří: rám, nápravy s brzdným systémem, oj (přípojné zařízení) opatřená kulovou pánví nebo tažným okem pro připojení k traktoru a hydraulický válec viz obr. 3.4 v případě sklopného návěsu. [20]

Základní požadavky na konstrukční řešení podvozku jsou: [20]:

a) rychlé a spolehlivé připojení k tažnému prostředku (traktor),

b) maximalizace styčné plochy pneumatik se zemí za účelem snížení tlaku na půdu s ohledem na přepravu po silnici,

c) dostatečné pohlcování rázů při jízdě po nerovném a členitém povrchu,

d) výbava předepsaných doplňků pro jízdu na komunikaci (světla apod.).

Obrázek 3.4: Podvozek Joskin trans-cap [34]

3.4. Rám podvozku

Rám podvozku je jednou z nejvíce namáhaných součástí přípojného vozidla. Rám musí být stabilní a odolný proti kroucení. Jako konstrukční profily rámů se používají tvarované profily nosníků. [20]

Rám je tvořen dvěma podélnými nosníky profilovaných tvarů a je spojenými příčnými profilovanými nosníky. Podélné a příčné nosníky jsou svařeny v jeden celek. Jako nosníky bývají použity I-profily, které používá na návěsech firma Fliegl viz. obr. 3.5. U-profily jsou použity jako podélné nosníky, kdy jsou dva U-profily svařeny do sebe jako jeden podélný nosník, například u návěsu od firmy Ursus. Jedním z nejrozšířenějších typů profilu je obdélníkový tažený profil oblíbený výrobci ZDT Nové Veselí nebo Joskin viz obr. 3.4.

Obrázek 3.5: I-profil návěsu Fliegl [35]

Povrchové úpravě rámu většinou předchází otryskání konstrukce. Technologie otryskání se uplatňuje k odstranění oxidací, ostatních mechanických nečistot a zdrsnění povrchu. [22] Otryskání povrchu probíhá nejčastěji před finální povrchovou úpravou, jako je například lakování. Poměrně rozšířená povrchová úprava vhodná do zemědělství je metoda žárového zinkování. Metoda žárového zinkování nebo lakování se využívá zejména z důvodu zajištění dostatečné ochrany proti korozi a působení agresivních látek, které jsou obsaženy například u průmyslových hnojiv.

3.5. Nápravy

Náprava by měla být zároveň lehká a dostatečně pevná viz obr. 3.6. Vliv těžké nápravy lze snížit účinným odpružením. Jako materiál náprav se používá ocel. Průřez náprav bývá kruhový nebo čtvercový. Zakončení tvoří čepy pro uchycení nábojů kol. Pro vyšší užitečné zatížení se používají vícenápravové podvozky a pro vyšší přepravní rychlost se využívá odpružení náprav. [20]
Správná instalace náprav je důležitá pro zajištění maximální spolehlivosti, životnosti a bezpečnosti všech součástí vozidla. Podvozek musí být vyrovnán vůči ose a rámu návěsu. Nápravy podvozku musí být rovnoběžné mezi sebou a s traktorem. To zaručuje dobré ovládání vozidla a delší životnost pneumatik. [23]

Obrázek 3.6: Náprava firmy ADR [36]

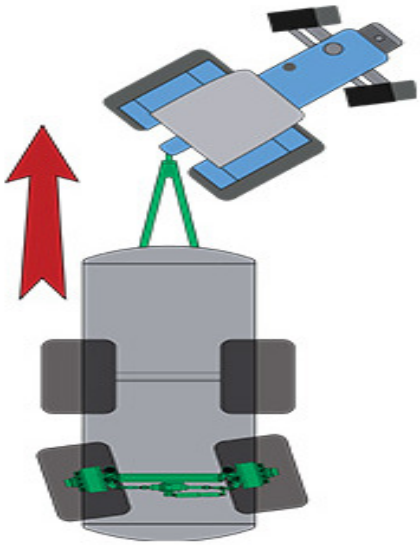
3.5.1. Natáčení náprav

V současné době bývají vícenápravové podvozky vybaveny řiditelnými nápravami. Nutnost řízení náprav vzniká v závislosti na rozteči jednotlivých náprav za účelem zvyšování užitečné hmotnosti návěsu a tím i užitečné hmotnosti. Snižuje se tak tahový odpor v zatáčkách, poškozování porostu na plochách určených pro zemědělské využití a opotřebení pneumatik při zatáčení. Zároveň se zmenšuje poloměr zatáčení celé soupravy. V případě tandemového návěsu je přední náprava pevná a zadní náprava natáčecí, ovšem obě nápravy mohou být i pevné. Řízené nápravy se rozdělují z hlediska toho, zdali je náprava vlečená (obr. 3.8) nebo nuceně řízená (obr. 3.9). Natáčecí náprava může mít negativní dopady na stabilitu při jízdě ve vyšších rychlostech, ve svahu, a při couvání, kdy se náprava z hlediska dynamiky jízdy nechová tak, jak je požadováno, ale přesně opačně, proto je nutné v těchto případech nápravu uzamknout.

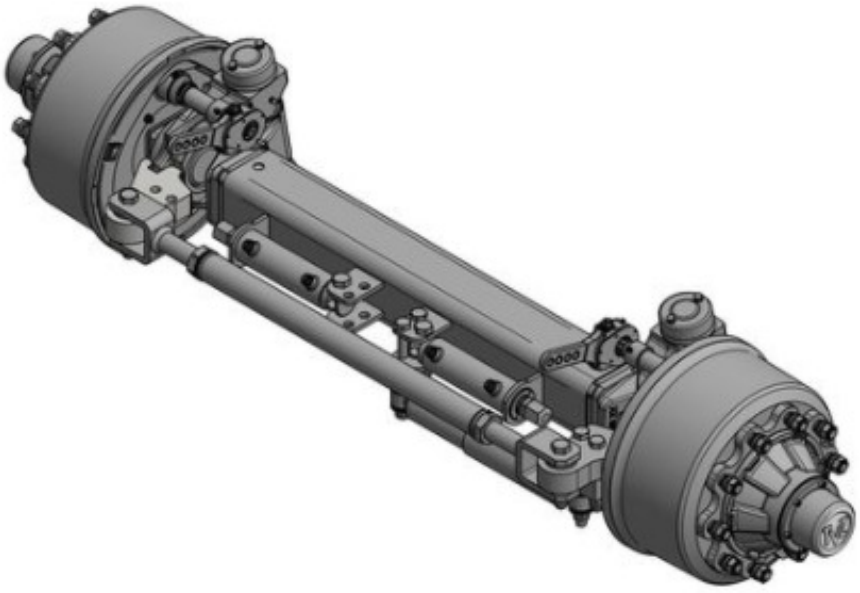
U **vlečné řiditelné nápravy** je potřeba možnosti blokování natáčecích náprav, čímž se zatáčení s návěsem stává obtížnější. Po zablokování se náprava chová jako pevná náprava. Jedná se o levnější alternativu k nuceně řízeným nápravám.

Nuceně řiditelné nápravy spočívají v použití pístů připojených do hydraulického okruhu, kdy je nutné k traktoru připojit aretační tyče (písty) u oje návěsu. Aretační tyče jsou upevněny na traktor vedle hlavního připojení závěsu pomocí koulí. V případě zatočení

traktoru se změní úhel mezi osou traktoru vůči oji. Změnou úhlu se jeden píst zkracuje a druhý prodlužuje. Zkracováním nebo natahováním pístu vzniká v hydraulickém okruhu tlak o kladné či záporné hodnotě, čímž dochází k ovládání pístů na řízených nápravách a k natáčení kol. Oproti vlečné nápravě není potřeba uzamknutí natáčení, protože natočení řídíme nuceně. Uzamknutí natáčení není nutné, ale v případě potřeby je tato možnost k dispozici. Tento typ náprav je využitelný zejména na úzkých a klikatých cestách. [21]



Obrázek 3.7: Schéma natáčení nápravy při zatáčení [38]



Obrázek 3.8: Vlečná řiditelná náprava [37]

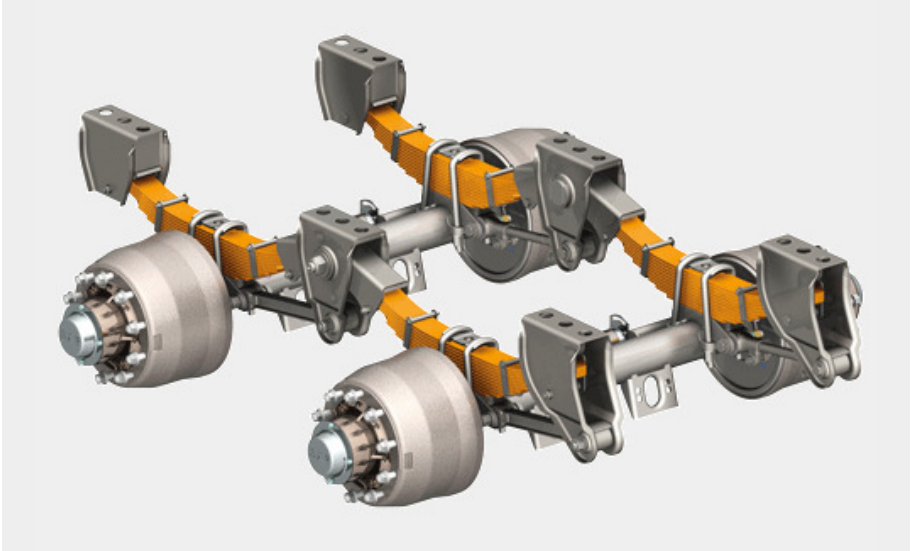
Obrázek 3.9: Nucená řiditelná náprava [12]

3.5.2. Odpružení náprav

Mechanické odpružení

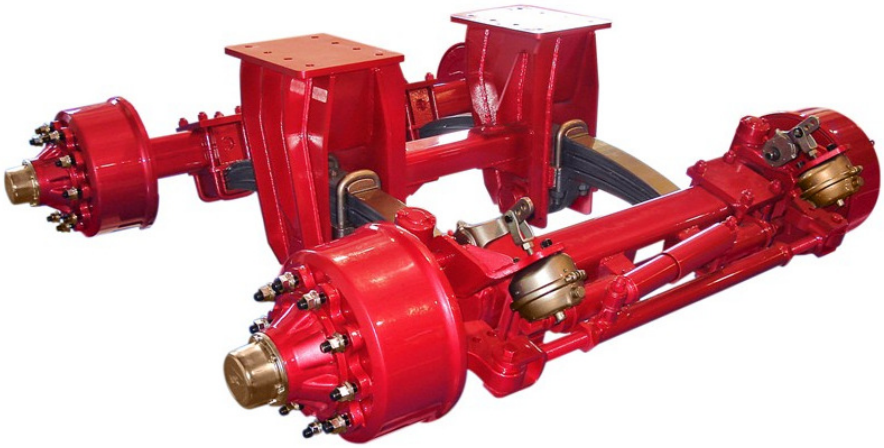
Základem je soubor listových pružin o stejné tloušťce a různých parametrech, které jsou spolu v neustálém kontaktu. Z důvodu změny délky pružiny při zatížení je jeden konec hlavního listu uložen do závěsného oka upevněného k rámu a druhá strana listu je uložena pomocí výkyvného závěsu, popřípadě je uložena kluzně. Náprava je upevněna k listové pružině pomocí třmenů.

Sdružené mechanické odpružení parabolickými listovými pery představuje nejlepší řešení v oblasti mechanických odpružení s vlastnostmi vysoké odolnosti a nízké hmotnosti pro aplikace s pevným rámem. Tento systém je možno použít u vícenápravových podvozků viz obr. 3.10. [24]



Obrázek 3.10: Tandemová mechanická náprava [39]

„Boogie“ odpružení podvozku je typ oscilačního mechanického odpružení na základě parabolického složení listových pružin viz obr. 3.11. Oproti listovým pružinám u sdruženého mechanického odpružení má menší zdvih, což se projevuje vysokou stabilitou. V zemědělství má využití zejména při vysokém zatížení tandemových vozidel. Jeho hlavní výhodou je, že vozidla mohou cestovat po obzvláště nerovném terénu díky širokým oscilačním pohybům, které se přizpůsobují drsnosti terénu. Ovšem při jízdě s nezatíženým vozidlem je znatelná vysoká tuhost nápravy. [23]



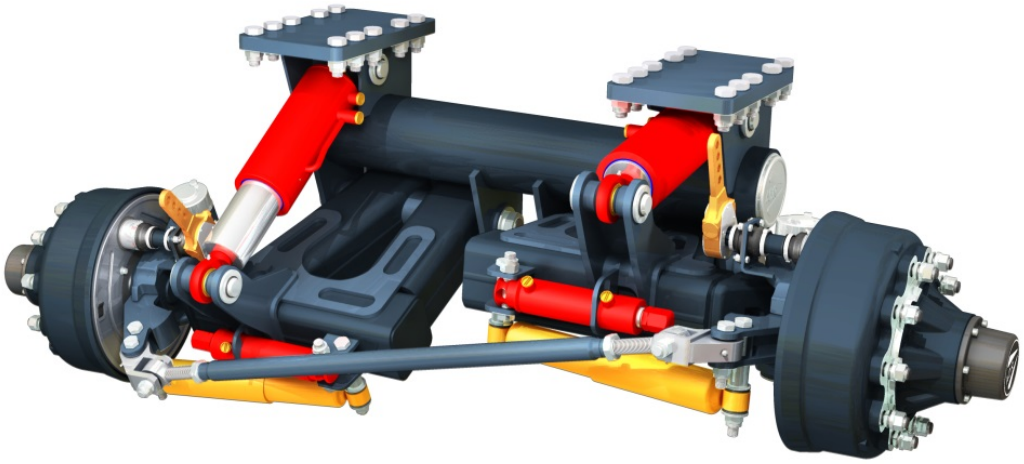
Obrázek 3.11: Tandemová mechanická náprava typu **„Boogie“** [39]

Hydropneumatické odpružení náprav

Hydropneumatické odpružení náprav se považuje za jedno z nejlepších řešení odpružení náprav přípojných vozidel. Jako tlumící médium je zde z důvodů stlačitelnosti využit dusík. Pro změnu nebo udržení světlosti výšky v závislosti na zatížení je zde z důvodů nestlačitelnosti využit olej. Tento systém odpružení umožňuje neustálé vyrovnávání zatěžovaných náprav, a tím zvýšení stability návěsu a komfortnosti jízdy. Při jízdě po vrstevnici svahu je možné do určitého rozsahu vyrovnat podlahu nástavby, čímž se zmenšuje riziko překlopení, neboť těžiště je udržováno nad středem náprav. Díky hydropneumatickému pérování lze využít samostatné zavěšení kol, které zvyšuje stabilitu návěsu viz obr. 3.12. Všechna kola působí rovnoměrně rozloženými silami na podložku. Toto odpružení je vhodné zejména pro použití v terénu, kde jsou velké nerovnosti. [20] Při jízdě s prázdným návěsem je možné zvednout přední nápravu, a tím snížit celkový valivý odpor, opotřebení pneumatik a zvýšit ekonomiku jízdy. Nevýhody tohoto systému spočívají ve vyšších požadavcích na údržbu, cena se pohybuje v závislosti na složitosti hydropneumatického odpružení.

Pneumatické odpružení náprav

Základ vzduchového odpružení tvoří pružina se vzduchovým pružícím médiem viz obr. 3.13. Pneumatické odpružení má při jízdě v zatíženém stavu stejné vlastnosti jako mechanické pružení, ovšem v nezatíženém stavu se oproti němu chová klidněji. Pneumatické odpružení lépe vyrovnává zatížení jednotlivých náprav z důvodů propojení jednotlivých

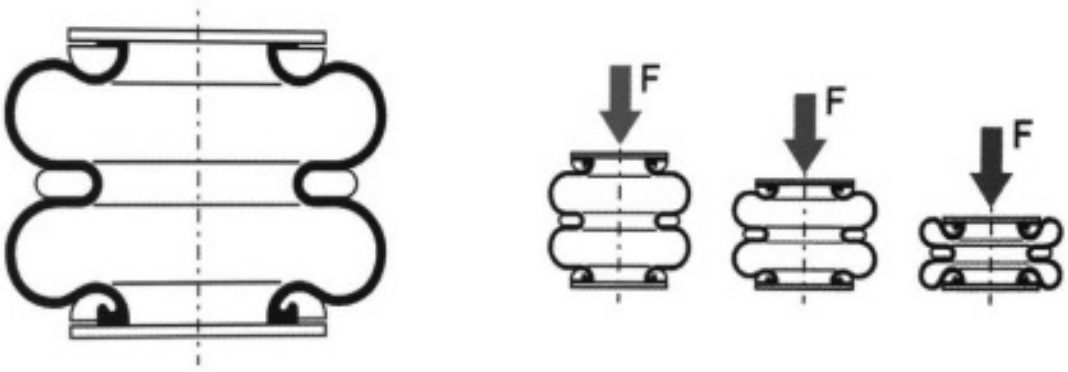


Obrázek 3.12: Hydropneumatické odpružení s nezávislými rameny ADR HydroEvo [39]

vzduchových pružin.
Pneumatický systém je napojen na zásobníky vzduchových brzd. Z důvodů udržení bezpečnosti je přednostní potřeba použití vzduchových brzd. Ve srovnání pořizovací ceny je pneumatické odpružení o desítky procent dražší než mechanické pružení. Pneumatické odpružení náprav zajišťuje přesné kopírování terénu a stabilní jízdu. [40] U pneumatického odpružení lze nastavovat potřebnou výšku návěsu. Při sklápění se měchy umístěné na zadní nápravě vyprazdňují pro větší stabilitu. Výhodou pneumatického odpružení je nízká hmotnost agregátu a vysoký jízdní komfort a možnost zvednutí přední nápravy při jízdě s nezatíženým návěsem. Druhy použití vzduchové pružiny mohou být vlnovcové (obr. 3.14) nebo vakové (obr.3.15). [20]

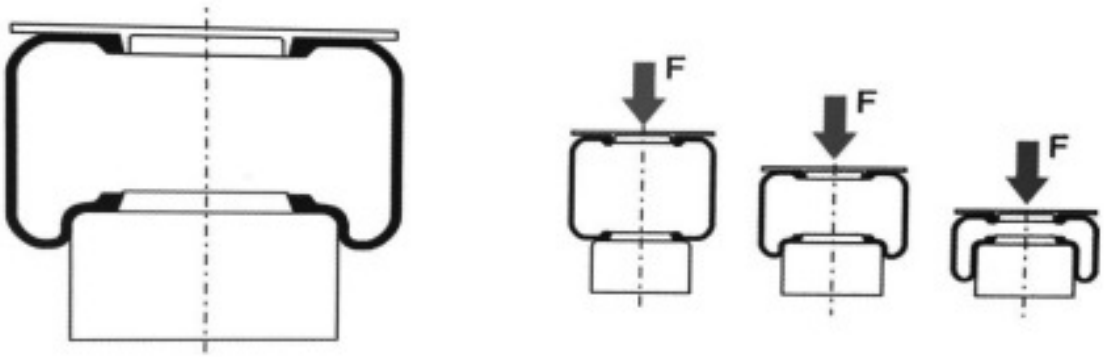
Obrázek 3.13: Pneumatické odpružení s nezávislými rameny [17]

Vlnovcové pružiny se vyznačují dlouhou životností a obvodovou tuhostí. Ve většině případů se používají se dvěma nebo třemi vlnovci. [20]



Obrázek 3.14: Schéma vlnovcové pružiny [20]

Vakové pružiny patří mezi nejpoužívanější vzduchové pružení. Jejich princip spočívá v navalování na píst. Píst je ve většině případů válcový nebo kónický. Uvnitř pružiny může být přídatná progresivní spirálová pružina. [20]



Obrázek 3.15: Schéma vakové pružiny [20]

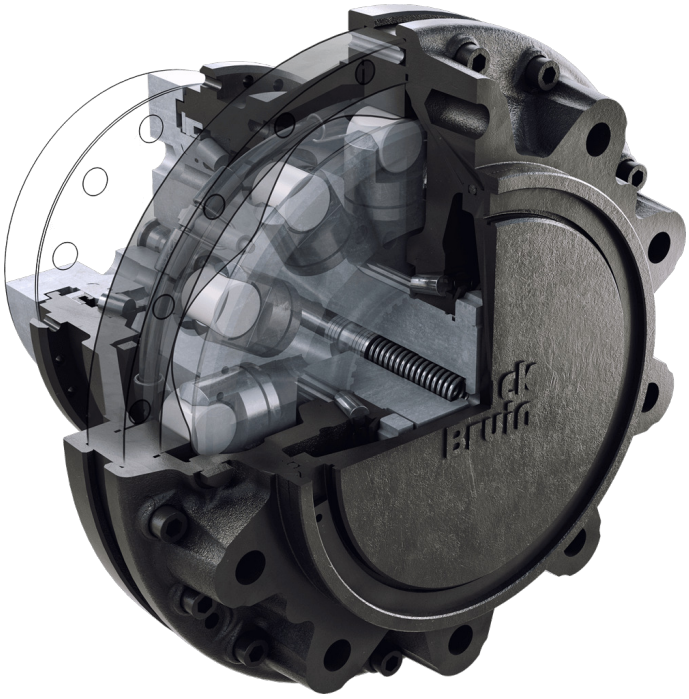
Kloubové zavěšení náprav

Způsob kloubového zavěšení náprav spočívá v principu vahadla bez mechanismu pohlcujícího nerovnosti, pruží zde jen pneumatiky. Uprostřed vahadla je kloub, který spojuje vahadlo s rámem, a umožňuje tak výkyv vahadla. Na koncích vahadla jsou umístěny náboje kol viz obr. 3.16. Kloubové zavěšení je konstruováno pro čtyřkolovou nápravu. Případné doladění podvozku může obsahovat hydraulický píst spojující rám s koncem vahadla, který v případě potřeby umožňuje zvednutí předních kol umístěných na vahadlech. Zvednutí přední nápravy je možné pouze s prázdným návěsem, kdy dojde ke snížení valivého odporu, a vede ke snížení opotřebení pneumatik a zvýšení ekonomiky jízdy. Výhodou kloubového zavěšení je rovnoměrné rozložení sil působících na každý náboj kola stejnou silou, dobrá prostupnost terénem a dlouhá životnost. Je vhodné pouze pro rychlosti do 30 km/h.

Obrázek 3.16: „Bogie“ neodpružená, tlumená náprava Annaburger [41]

3.5.3. Pohon náprav

Doplňkovou možností náprav je poháněná náprava, která se využívá v těžkých terénních podmínkách, jako třeba u lesních vyvážecích souprav. Pro pohon kol se využívá kolových hydromotorů. Hnací náprava od firmy Black Bruin viz obr. 3.17 využívá hydrostatický pohon kol. Náprava je poháněna hydraulickými radiálními pístovými motory, které jsou určeny pro pokrytí širokého rozsahu otáček. Na silnici pracují radiální pístové hydromotory v režimu volnoběhu bez aktivního řízení.



Obrázek 3.17: Hnaná náprava Black Bruin [42]

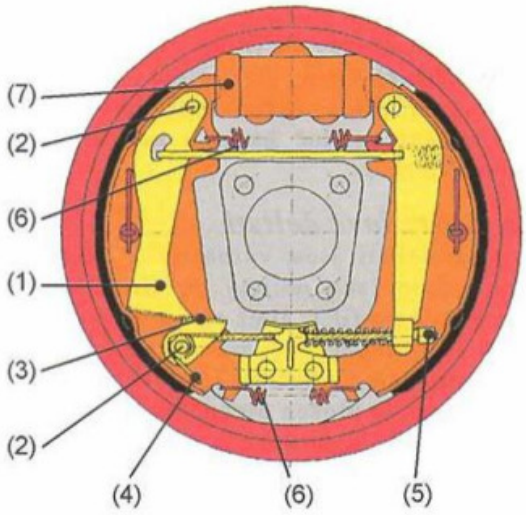
3.6. Brzdný systém

Při jízdě s návěsy o vyšších hmotnostech by traktor nemusel zvládnout celou soustavu včas ubrzdit, proto je nedílnou součástí přípojných vozidel brzdný systém. Dle vyhlášky musí být všechny návěsy brzděné.
Existuje několik druhů brzdných systémů, ale pro účely brzdění návěsů bereme v potaz pouze dva typy, kterými jsou brzdy bubnové a brzdy kotoučové. Kotoučové brzdy vynikají vysokou účinností z důvodu dobrého odvodu tepla brzdným kotoučem, pro udržení dobrých brzdných vlastností však nesmí být povrch kotouče mastný nebo jinak znečištěný. Při použití návěsů v zemědělství by docházelo k častému znečištění brzdných ploch a ke snižování účinnosti brzdění, a proto se u návěsů pro zemědělské účely ve většině případů používají brzdy bubnové viz obr. 3.18, které jsou uzavřené a více chráněné od okolního prostředí. Bubnová brzda se vyznačuje dlouhou životností, nižší cenou a nenáročnou údržbou. Velikost brzd je daná velikostí zatížení vozidla.
Základní princip brzd spočívá v přeměně kinetické energie rotující součásti, tedy většinou kola, na teplo. Toto teplo vzniká díky tlaku brzdových čelistí na rotující součást. Tímto způsobem dochází k zastavení vozidla. Bubnové a kotoučové brzdy fungují na stejném principu. Hlavní rozdíl spočívá v konstrukci, umístění brzdových způsobu ovládání součástek.
Bubnové brzdy mají brzdové součásti uložené uvnitř bubnu, zatímco kotoučové brzdy mají brzdové destičky přitlačené na kotouč, který je pevně spojen s kolem. Kotoučové brzdy mají obvykle lepší chladicí schopnost a jsou méně náchylné k úbytku účinnosti brzd při delším používání. Požadavkem na brzdy je také vysoká účinnost, životnost, spolehlivost. Brzdy musí být nenáročné na běžnou údržbu a obsluhu. [20]

Obrázek 3.18: Náprava ADR s bubnovou brzdou [39]

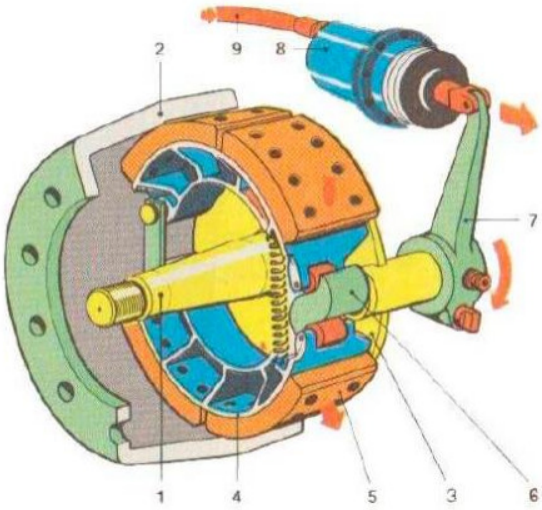
Hydraulická brzda viz obr. 3.19 funguje na principu Pascalova zákona. Užitím brzdového pedálu dle potřeby decelerace se zvýší tlak v soustavě hydraulického systému, a dochází tak k přitlačování čelistí na brzdný buben nebo kotouč, tím i ke zpomalování či úplnému zastavení vozidla. Riziko hydraulických brzd je ztráta brzdné kapaliny z důvodu poškození obvodu. Pro snížení rizika ztráty brzdného výkonu se využívá tzv. dvouokru-

hový brzdný systém, kdy jsou například jednotlivé okruhy napojeny na jednotlivé nápravy. [43]



Obrázek 3.19: Bubnová brzda kapalinová. 1-rozpěrná páka, 2-ozubený segment, 4-pružina, 5-ovládání parkovací brzdy, 6-vratná pružina, 7-kolový brzdný váleček [43]

Pneumatická brzda viz obr 3.20 se využívá ve většině případů u přípojných vozidel. Pneumatický brzdový systém pro přípojná vozidla může mít jedno- nebo dvouhadicový systém, což znamená, že přípojné vozidlo je s traktorem spojeno příslušným počtem hadic. Jednookruhové brzdy spočívají v natlakování vzduchojemu přívěsu, v případě sešlápnutí brzdového pedálu pak vzduchový brzdič přívěsu zajistí snížení tlaku vzduchu ze spojovacího potrubí a brzdový systém zabrzdí jeho kola.
Dvouokruhový brzdný systém spočívá v neustálém doplňování tlaku vzduchu z pneumatické soustavy traktoru. Druhá hadice slouží k řízení brzdového systému přípojného vozidla. [20]



Obrázek 3.20: Bubnová brzda vzduchotlaká. 1-čep kola, 2-brzdový buben, 3-štít brzdy, 4-brzdová čelist, 5-brzdové obložení, 6-brzdný "S"klíč, 7-brzdová páka, 8-pístový brzdný válec, 9-přívod tlakového vzduchu [43]

Mechanická brzda se využívá zejména pro zajištění kol k parkovacím účelům. Pro využití v provozu je nevhodná, protože nesplňuje požadavek na okamžitou reakci brzdného systému v případě náhlého zpomalení nebo zastavení. [43]

3.7. Kola a pneumatiky

Pneumatika je vzduchem plněná pružná součást kol dopravních prostředků. Pneumatika je nasazena na vnějším obvodu ráfku. Zajišťuje primární odpružení mezi vozovkou a daným vozidlem a přenos sil mezi koly a vozovkou. U návěsů pro zemědělskou dopravu jde především o správný tlak v pneumatikách a průjezdnost terénem za všech podmínek, které mohou nastat. Při potřebě zvyšování hmotnosti převáženého nákladu je vhodné použít kola na větších a širších discích pro lepší rozložení tlaku, kterým působí kola na podložku. S většími disky pak ale stoupá valivý odpor a tím i spotřeba pohonných hmot. Pro použití při vyšší rychlosti je vhodnější vyšší tlak, proto se dnes využívá automatického zvyšování tlaku v pneumatikách. Konstrukce pneumatik můžeme rozdělit na radiální a diagonální. [26]
V kostře **radiální** pneumatiky jsou jednotlivé kordy položeny rovnoběžně od patky k patce a svírají s obvodovou kružnicí úhel 90°. Kostra je vyztužena ocelovými nárazníkovými pásy a tyto korunní vrstvy jsou uloženy tak, aby se překrývaly v různých úhlech. Vrstvy jsou různým způsobem poskládány na bočnicích a na koruně. Konstrukce tak umožňuje pružnost bočnic a tuhost koruny. I když radiální pneumatika není zatížena, je ve styku s vozovkou téměř celou plochou. [27]

V kostře **diagonální** pneumatiky se kordy v jednotlivých vrstvách vzájemně kříží a svírají s obvodovou kružnicí úhel 30° až 40°. Mezi bočnicí a korunou diagonální pneumatiky není rozdíl, bočnice i koruna jsou složeny ze stejných vrstev. Při jízdě v zatíženém stavu je styčná plocha velká, ale při odlehčení se zmenšuje. Dále styčná plocha závisí také na nerovnostech vozovky. Výhodou diagonální pneumatiky je vyšší odolnost vůči proražení, nižší pravděpodobnost deformace a nižší cena. [27]

Obrázek 3.21: Diagonální a radiální konstrukce pláště [44]

3.8. Oje

Vlastnost oje jakožto přípojného zařízení návěsu je částečný přenos hmotnosti přípojného zařízení a daného přepravovaného nákladu na traktor. Výsledkem toho je výrazné zlepšení trakčních vlastností zařízení, ke kterému je návěs připojen. Neodlučitelnou součástí oje je odstavná noha sloužící k odstavení nebo ke změně výšky připojení návěsu. Mohou být ovládány hydraulicky nebo mechanicky. U přívěsů používaných v zemědělství se používá pevná nebo odpružená oj. Pro zvýšení komfortu a bezpečnosti jízdy je často užito odpružené oje zejména pro návěsy o vyšších hmotnostech. Klidný průběh jízdy umožňuje vyšší provozní rychlosti na nerovném povrchu. [30]

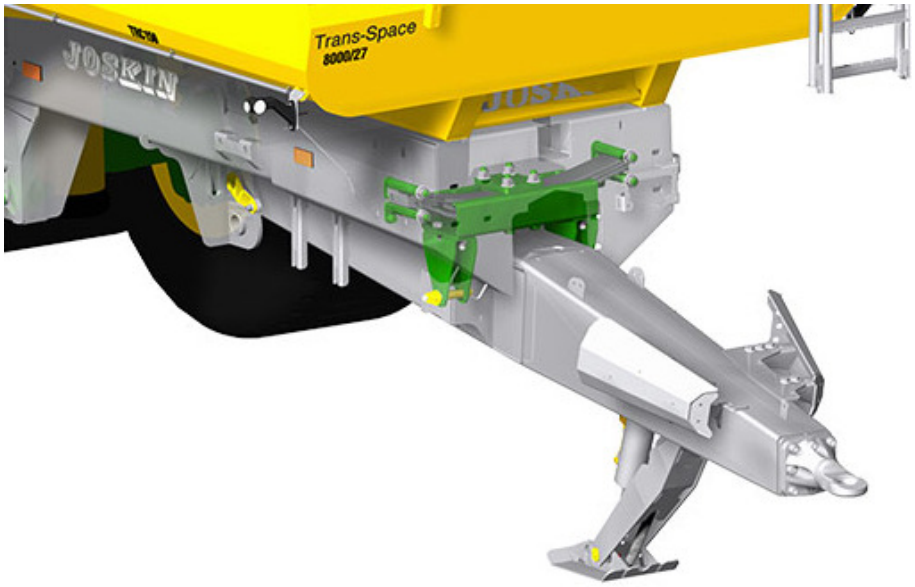
3.8.1. Pevná oj

V případě, kdy je oj součástí rámu, jsou nosníky rámu protaženy až k místu připojení. Pokud je oj tvořena samostatnou součástí, je s rámem spojena čepy bez tlumících členů viz obr. 3.22. Výhoda neodpružené oje spočívá v nízké pořizovací ceně a v jednoduchosti provedení, nevýhodou je však veliký přenos rázů a vibrací na traktor. [30]

Obrázek 3.22: Tandemový návěs Western s pevnou ojí [45]

3.8.2. Odpružení parabolickými pery

Oj je na jednom konci připojena k traktoru a na druhém konci je spojena s rámem za pomoci otočného čepu, který přenáší tahovou sílu na návěs. Čep je s rámem spojen pomocí konzole, která je připevněna na rám, a pro změnu výškového nastavení oje má konzole možnost několika uložení čepu viz obr. 3.23. [29]
Odpružení oje pomocí parabolických per je charakterizováno vlastnostmi podobnými jako odpružení oje listovými pery, tj. nemožností výškového nastavení oje při zatíženém stavu a podobnou funkcionalitou zejména v zatíženém stavu. Jednoduchá konstrukce, nízká cena a nízká údržbová náročnost jsou výhodami této technologie. [30]



Obrázek 3.23: Návěs Joskin s odpruženou ojí pomocí parabolických per [14]

3.8.3. Hydraulicky odpružená oj

Při použití hydraulického odpružení je oj spojena s rámem podvozku pomocí jednoho či dvou svislých přímočarých hydromotorů viz obr. 3.24, jejichž pístnice lze nastavit z kabiny traktoru i během jízdy. Každý traktor má umístěný závěs v jiné výšce, proto je pomocí výškového nastavení oje možné vertikálně pohybovat s rámem podvozku podle potřeby až do vodorovné polohy, čímž lze zajistit rovnoměrné zatížení náprav. V případě vyměnitelných nástaveb, kdy je zapotřebí změny výšky rámu oproti nástavbě, je vhodné použít hydraulicky odpružené nápravy s hydraulicky odpruženou ojí, kde výšku rámu lze nastavit dle potřeby. Výškové nastavení oje lze měnit při zhoršených podmínkách na poli, kdy se mění zatížení hnacích kol traktoru pro lepší trakční vlastnosti traktoru. [30]

3.8.4. Odpružení listovými pery

Tělo oje je tvořeno profilem o čtvercovém nebo obdélníkovém průřezu. Oj je připevněna pomocí čepu k přední části rámu podvozku zhruba v polovině své délky. Pružným elementem je svazek listových per upevněný v profilu oje, jejichž konec je uchycen pomocí čepu na rámu s možností výškového nastavení oje viz obr. 3.25. Výhoda odpružení oje listovými pery spočívá kromě ceny také v jednoduchosti konstrukce a v komfortu jízdy, a to zejména při zatížení návěsu. Nevýhodou je potom nemožnost výškového nastavení při zatížení oje. [30]

3.8.5. Odpružení silentbloky

Oj je při odpružení silentblokem uložena pomocí čepu ke konzoli připevněné na rámu podvozku, kterým je přenášena tahová síla od traktoru. Přibližně v polovině oje je pružným elementem (silentblokem) zajištěna opěrná plocha rámu a oje viz. obr. 3.26. Silentbloky jsou nejčastěji vyrobeny z pryže a jejich průřez je tvaru válce nebo kvádru.
Výhoda tohoto odpružení se odráží zejména v pořizovací ceně a minimální potřebě údržby a jednoduché výměně. Nevýhodou oje je ztráta možnosti výškového nastavení. [30]

Obrázek 3.24: Návěs s hydraulicky odpruženou ojí ZDT [40]

Obrázek 3.25: Návěs s odpruženou ojí pomocí listových per [45]

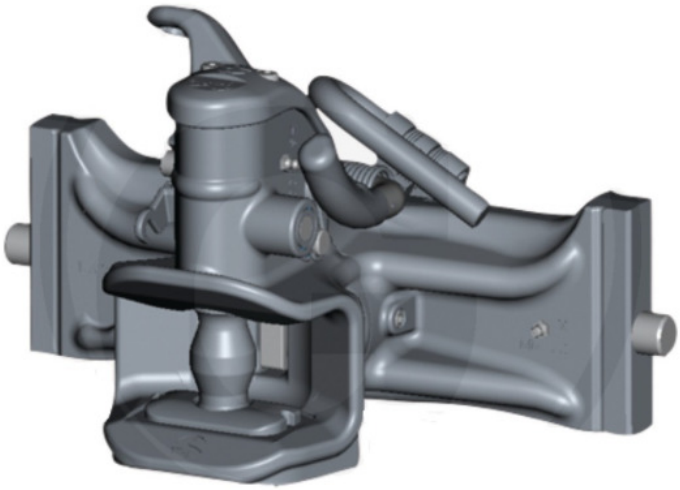
Obrázek 3.26: Návěs Pronar s odpruženou ojí pomocí silentbloků [18]

3.9. Připojení k traktoru

Pro připojení návěsu za traktor je možné vybírat ze dvou variant podle umístění závěsu na traktoru. Horní závěs traktoru podporuje variantu připojení s okem oje (3.27) i spojení pomocí koule K-80 (3.28) do seřiditelného závěsu.

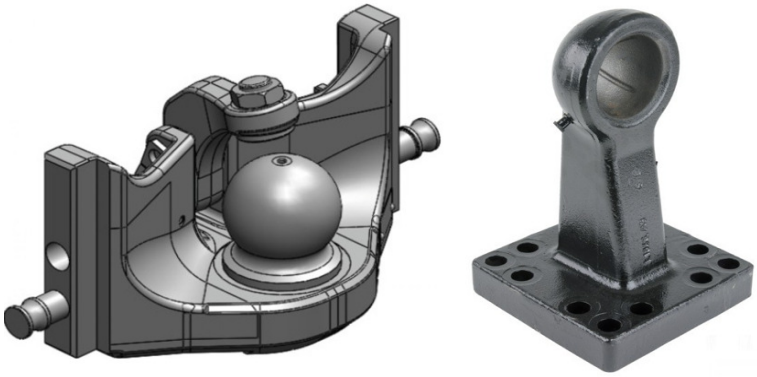
Obrázek 3.27: Oko oje [47]

Pro případ spodního závěsu je možné zapojení závěsným systémem SIWI Combi-Hitch viz obr. 3.29 [28] nebo koule K-80. V případě potřeby lze vyměnit druh připojení a v případě opotřebení je oko oje nebo pánve k oji připevněno pomocí šroubů. [29]



Obrázek 3.28: Horní závěs traktoru [47]

Obrázek 3.29: Závěsný systém SIWI [46]



Obrázek 3.30: Spodní závěs traktoru a závěsná hlava [47]

4. Návěsy s tandemovou nápravou na trhu

Dle zadání diplomové práce je cílem navrhnout dvounápravový tandemový přípojný návěs s nástavbou uzpůsobenou pro třístranné sklápění, maximální nosností návěsu 8000 kg a maximální rychlostí 40/60 $km \cdot h^{-1}$. Návěs má být osazen mechanickým typem pružení, vzduchovou brzdnou soustavu a možnost výškového nastavení oje s primárním, ale vyměnitelným připojením typu oko.
Na základě parametrů ze zadání byli vybráni výrobci tandemových návěsů, kteří se účastní soutěže na trhu se stroji obdobných specifikací. Zvolení výrobci jsou uvedeni v následujících podkapitolách včetně různých rozdílů jednotlivých návěsů oproti zadání.

4.1. Strautmann

Výrobce Strautmann je středně velká rodinná společnost se sídlem v Osnabrücku v Německu. Největší částí sortimentu Strautmann jsou krmné vozy, univerzální rozmetadla a sběrné vozy. [10]
Produkt, který nejlépe odpovídá zadání diplomové práce, je návěs s tandemovou nápravou a označením STK 1002 s užitečnou nosností 7200 kg, s maximální povolenou rychlostí 40 $km \cdot h^{-1}$. Návěs je vybaven pevnou konstrukcí, která využívá jako profil rámu dva C-profily svařované k sobě. Korba návěsu je kónicky rozšiřující se dozadu. Oj je díky plné integraci do rámu podvozku neodpružená a nemá možnost výškového stavění viz obr. 4.1. [10]

Obrázek 4.1: Návěs strautmann STK 1002 [10]

4.2. WTC Písečná

Český výrobce WTC Písečná patří k významným českým výrobcům zemědělské a dopravní techniky. WTC Písečná navazuje na tradici výroby ve výrobním závodu v Písečné, kde se zemědělská a dopravní technika vyrábí od roku 1968. [12] Produkt výrobce WTC Písečná, který nejlépe odpovídá zadání diplomové práce, je návěs s tandemovou nápravou a označením WTC Písečná BIG 12.9 s užitečnou nosností 8500 kg, s maximální povolenou rychlostí 40 $km \cdot h^{-1}$. Návěs je vybaven pevnou konstrukcí, která využívá jako profil rámu obdélníkový Jäkl. Oj je odpružena listovými pery s možností výškového stavení v zadní části oje viz obr. 4.2.

Obrázek 4.2: Návěs WTC Písečná BIG 12.9 [12]

4.3. Farmtech

Ve firmě Farmtech jsou od roku 1954 produkty vyvíjeny, navrhovány a vyráběny v souladu s rozvíjejícím se zemědělstvím.
Výrobní program Farmtech zahrnuje traktorové přívěsy, tlačné přívěsy, přívěsové plošiny, rozmetadla organických hnojiv a kalové cisterny.
Produkt společnosti Farmtech, který nejlépe odpovídá zadání diplomové práce, je návěs s tandemovou nápravou a označením Farmtech TDK 1100s s užitečnou nosností 8200 kg, s maximální povolenou rychlostí 25 $km \cdot h^{-1}$. Návěs je vybaven pevnou konstrukcí, která využívá jako profil rámu obdélníkový Jäkl o rozměrech $300x100x5\,mm$. Korba návěsu je kónicky rozšiřující se dozadu. Oj je díky plné integraci do rámu podvozku neodpružená a nemá možnost výškového stavění viz obr. 4.3. [13]

Obrázek 4.3: Návěs Farmtech TDK 1100s [13]

4.4. Joskin

Pan Victor Joskin firmu založil již v roce 1968, kdy začal své služby poskytovat právě zemědělcům. Později začala společnost fungovat jako lokální prodejce zemědělských strojů a dnes patří mezi nejvýznamnější výrobce aplikační a dopravní techniky na světě. [15]
Produkt značky Joskin, který nejlépe odpovídá obdobnému zařízení dle zadání diplomové práce, je návěs s tandemovou nápravou a označením Joskin 5025/12dr100 s užitečnou nosností 8000 kg, s maximální povolenou rychlostí 40 $km \cdot h^{-1}$. Návěs je vybaven pevnou konstrukcí, která využívá jako profil rámu obdélníkový Jäkl o rozměrech $250x100x6\,mm$. Oj je odpružená parabolickými pery uložené v přední části rámu návěsu s možností výškového stavení viz obr. 4.4. [14]

4.5. Fliegl

Fliegl je rodinná společnost založena v roce 1981. Společnost si zakládá na kvalitě, tradici a inovacích pro zemědělství. [17] Společnost Fliegl je celosvětovým výrobcem díky mnoha úspěšným inovacím. Jako největší výrobce zemědělských přívěsů na světě exportuje společnost Fliegl své produkty na všechny kontinenty.
Typ produktu společnosti Fliegl, který nejlépe odpovídá zadání diplomové práce, je návěs s tandemovou nápravou a označením Fliegl TDK 110-88 s užitečnou nosností 8200 kg, s maximální povolenou rychlostí 25 $km \cdot h^{-1}$. Profilem rámu je obdélníkový Jäkl. Oj je neodpružena s možností dvou poloh výškového stavení oje, a to otočením oje kolem osy ve směru jízdy viz obr. 4.5. [17]

Obrázek 4.4: Návěs Joskin 5025/12dr100 [14]

Obrázek 4.5: Návěs Fliegl TDK 110-88 [17]

4.6. Pronar

Společnost Pronar je lídrem ve výrobě a prodeji strojů a zařízení pro zemědělství, komunálních službách a dopravním průmyslu s téměř 50% podílem na polském trhu. Pronar je také významným světovým výrobcem mezi výrobci kol pro zemědělské a komunální stroje, pneumatických a hydraulických systémů, náprav pro přívěsy, ale i ocelových profilů a plastových komponent.
Produkt firmy Pronar, který nejlépe odpovídá diplomové práci, je návěs Pronar T-663/2 s užitečnou nosností 7000 kg, s maximální povolenou rychlostí 30 $km \cdot h^{-1}$. Profilem rámu je obdélníkový Jäkl. Oj je díky plné integraci do rámu podvozku neodpružená a nemá možnost výškového stavění viz obr. 4.6. [18]

Obrázek 4.6: Návěs Pronar T-663/2 [18]

4.7. Pühringer

Společnost Pühringer je rodinný podnik, který byl v „Cechovní knize kovářů a provazníků“ zmíněn již v roce 1669 a odkazuje na starobylou kovářskou rodinu. Počínaje kovárnou se firma v uplynulých desetiletích vyvinula v renomovaného výrobce různých zemědělských strojů, které vyrábí od roku 1958. Sortiment výrobků zahrnuje sklápěcí návěsy, podtlakové cisterny, míchačky betonu, rozmetadla hnojiv, korby nákladních automobilů a kompostéry.
Produkt, který je obdobného technického charakteru jako diplomová práce je Návěs Pühringer 4120T s užitečnou nosností 7000 kg, s maximální povolenou rychlostí 25 $km \cdot h^{-1}$. Rám návěsu je svařen z profilu obdélníkový Jäkl. Oj je součástí rámu bez možnosti výškové variability viz obr. 4.7. [60]

Obrázek 4.7: Návěs Pühringer 4120T [60]

4.8. Shrnutí základních parametrů výrobců

Dle dostupných parametrů návěsů obdobných řešení je sestavena tabulka základních parametrů viz tab. 4.1. Rozšířená tabulka základních charakteristik návěsů jednotlivých výrobců viz příloha 9.5.

Tabulka 4.1: Základní parametry návěsů obdobných parametrů

Výrobce	Max. rychlost	Profil rámu	Celková hmotnost	Užitečné zatížení
Strautmann	$40\,km \cdot h^{-1}$	dvojitý C	$10000\,kg$	$7200\,kg$
WTC písečná	$40\,km \cdot h^{-1}$	Obdélníkový Jäkl	$12000\,kg$	$8500kg$
Farmtech	$25\,km \cdot h^{-1}$	Obdélníkový Jäkl	$11000\,kg$	$8200\,kg$
Joskin	$40\,km \cdot h^{-1}$	Obdélníkový Jäkl	$11000\,kg$	$8000\,kg$
Fliegl	$25\,km \cdot h^{-1}$	Obdélníkový Jäkl	$11000\,kg$	$8200\,kg$
Pronar	$30\,km \cdot h^{-1}$	Obdélníkový Jäkl	$11000\,kg$	$7000\,kg$
Pühringer	$25\,km \cdot h^{-1}$	Obdélníkový Jäkl	$10000\,kg$	$7860\,kg$

5. Koncepční návrh návěsu

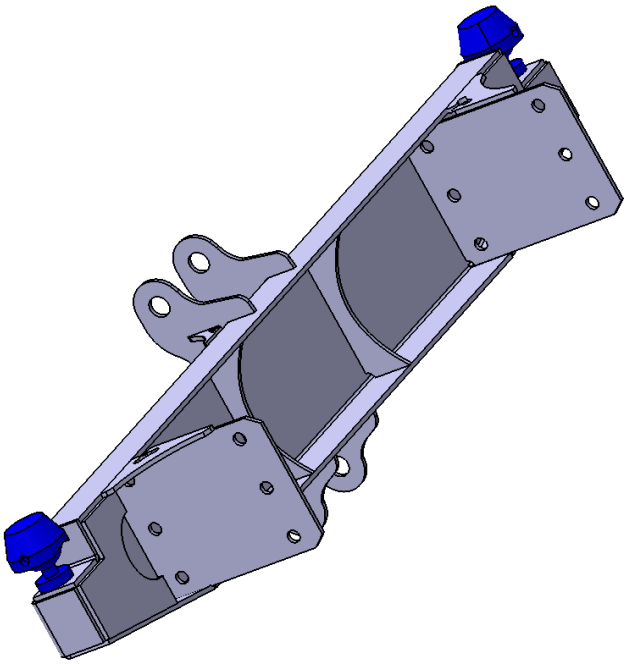
Traktorový návěs je navržen tak, aby splňoval zákonné požadavky dle platné legislativy. Rám návěsu je navržen z otevřených ohýbaných profilů. Požadavek na otevřený profil byl zvolen v závislosti na investigaci firmy Famamont s.r.o., která provedla řezy starším rámem návěsu. V některých místech dosahovala tloušťka stěn uzavřeného profilu sotva jednoho milimetru z důvodu rozsáhlé koroze uvnitř profilu.

5.1. Rám návěsu

Veškeré hlavní části návěsu jsou vypáleny z plechu a následně ohnuty na navržený profil. Rám návěsu korby je zhotoven ze tří svařenců (přední část, hlavní rám a zadní část). Důvodem rozdělení rámů na tři svařence byl požadavek firmy Famamont s.r.o. na stohování rámů a snadnější manipulaci při autorem zvoleném zinkování či jiné povrchové úpravě. Rám je spojen pomocí šroubů M22x65 se stoupáním 2,5 s třídou pevnosti oceli 8.8 (pevnost v tahu 800 MPa a smluvní mez kluzu 640 MPa).

5.1.1. Přední část rámu návěsu

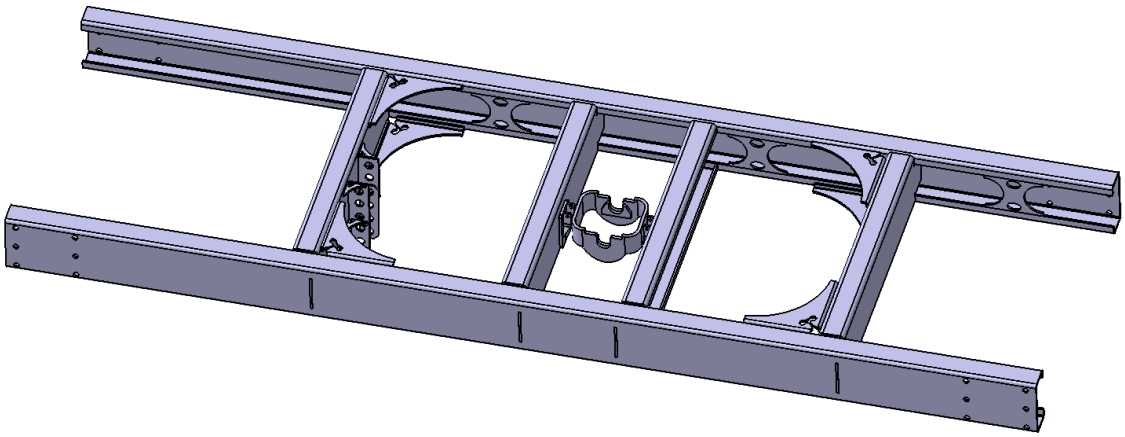
Přední část návěsu je navržena pro uložení oje a korby návěsu viz obr. 5.1. Přední část návěsu přenáší síly od oje na rám pomocí spojení čepem, popřípadě zde může být vložen tlumící element. Pro boční sklopení a uložení korby návěsu jsou zde umístěny koule o průměru 78 mm. Pro odpojení návěsu za účelem parkování nebo změny výškového nastavení oje je zapotřebí volit opěrnou nohu s hydraulickým přímočarým motorem umístěným na přední části rámu tak, aby nebyla ovlivněna oj. Přední část rámu je k hlavnímu rámu připojena dvanácti šrouby s šestihrannou hlavou.



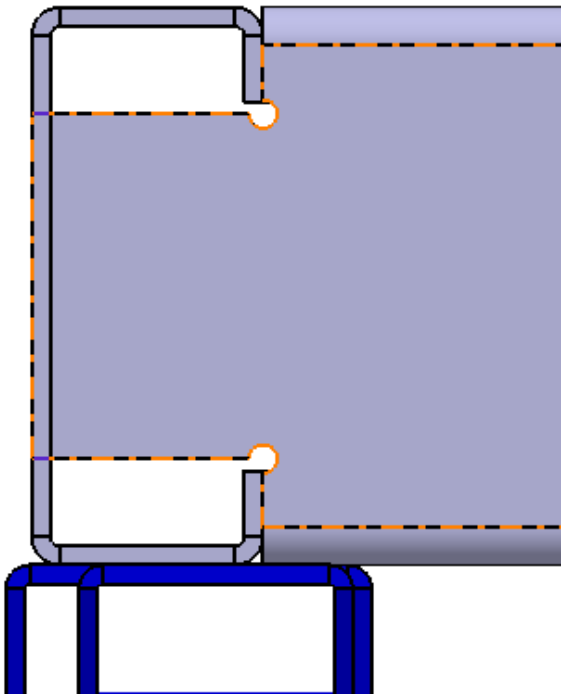
Obrázek 5.1: Přední část rámu návěsu

5.1.2. Hlavní rám návěsu

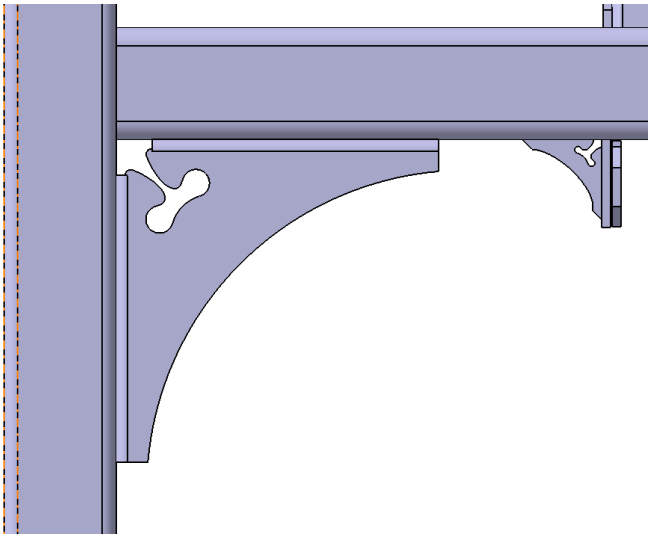
Hlavní rám je svařencem ohýbaných C-profilů z ocelového plechu 11 523 o tloušťce 8 mm. Hlavními nosnými prvky jsou podélníky doplněné o příčníky. Spoje podélníků a příčníku jsou navrženy jako dynamické spoje z důvodů kroucení a natáčení rámu v závislosti na jeho zatížení a různorodost terénu viz obr. 5.3. Rám je opatřen prvky rozkládajícími napětí kolmého svaření mezi podélníky a příčníky viz obr. 5.4. Dále jsou umístěny prvky uzavírající C-profil v místě uložení náprav viz obr. 5.2.



Obrázek 5.2: Hlavní rám návěsu



Obrázek 5.3: Způsob kolmého svařování profilů pro dynamicky namáhané svarky

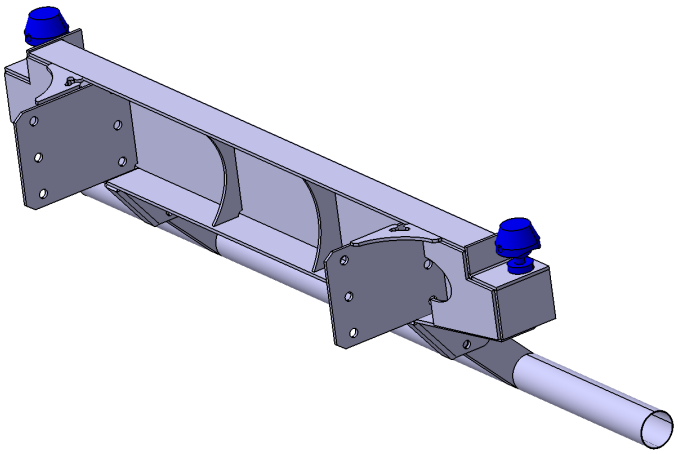


Obrázek 5.4: Konstrukční řešení pro rozložení napětí kolmého svaření profilů

První příčník rámu slouží jako opora oje a poskytuje možnost výškového nastavení oje dle různých typů připojení návěsu k trakčnímu zařízení. Na hlavní rám návěsu jsou přidělány prvky nezbytně nutné k provozuschopnosti a funkčnosti návěsu. Mezi tyto prvky patří nápravy návěsu a hydraulický přímočarý motor pro účel změny úhlu korby vůči rámu návěsu pro boční sklápění a sklápění korby vzad. Nápravy a hydraulický přímočarý motor jsou prvky volenými, a tudíž nakupovanými.

5.1.3. Zadní část rámu návěsu

Třetí a poslední částí rámu návěsu je zadní část, která je navržena tak, aby nesla kouli pro uložení korby a zároveň pro možnost sklopení korby do stran nebo vzad. Důvodem pro zapuštěné umístění koulí v přední a zadní části rámu je zachování výšky podlahy korby. Při umístění koulí nezapuštěně a při zachování návrhu korby by docházelo k nechtěnému kontaktu mezi spodní pásnicí U-profilu korby a zadní části rámu při sklápění dozadu. Zadní část je spojena s hlavním rámem dvanácti šrouby s šestihrannou hlavou. Součástí zadního rámu návěsu je bezpečnostní ochrana proti zajetí pod návěs viz obr. 5.5.

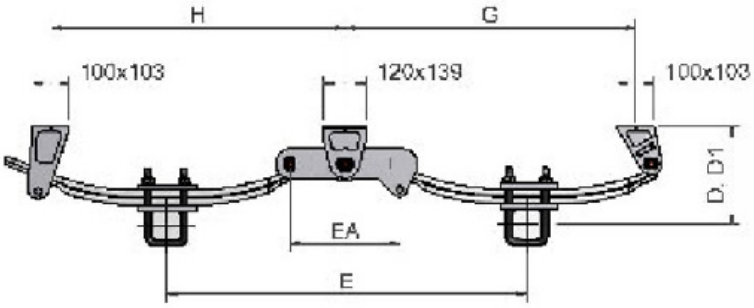


Obrázek 5.5: Zadní část rámu návěsu

5.1.4. Nakupované prvky rámu návěsu

Podvozek

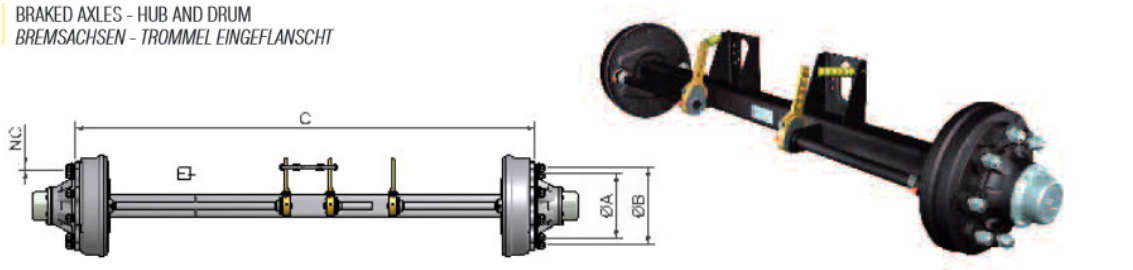
Podvozek byl zvolen od firmy ADR. Volba připadla na tandemový podvozek s parabolickou pružinou s katalogovým označením KC2115C1N093A viz obr. 5.6. Podvozek byl zvolen v souladu s nápravou, která pro danou nosnost a rychlost 60 km/h vyhovuje zadaným parametrům.



12.000 14.000	990	797	805	80	270	257	RP80G403	310	KC2099C1N083A
				90	275	262			KC2099C1N093A
	1150	877	885	80	270	257	RP80G403	470	KC2115C1N083A
				90	275	262			KC2115C1N093A

Obrázek 5.6: Mechanický podvozek s parabolickou pružinou [36]

Náprava byla zvolena na základě nosnosti a schopnosti zvládnout při tandemovém použití rychlost 60 km/h s katalogovým označením PA-PG 316 300x160 A90RM8PA 8M18 viz obr. 5.7.



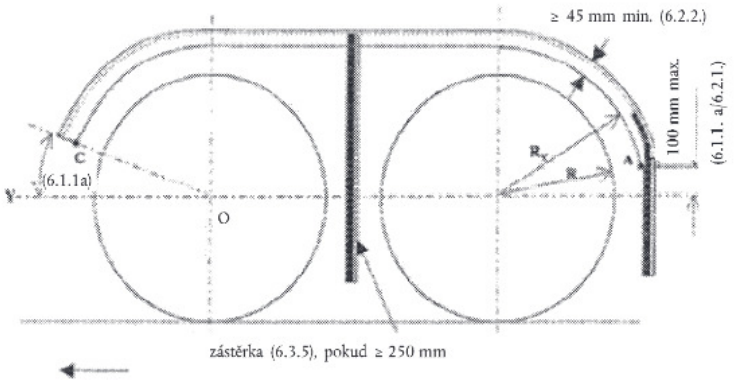
CODICE Code Bestellnr.	QUADRO Square Vkt (mm)	PORTATA (kg) Capacity - Achslast 25 km/h			40 km/h			60 km/h			> 65 km/h			ATTACCO p.c.d. Radanschluss NC	ØA (mm)	ØB (mm)
FRENO - Brake - Bremse **PA - PG 316 300x160**																
A90RM8PA...	90	10.000	10.900	9.000	9.200	10.000	8.500	8.500	9.400	7.700	7.700	8.500	7.000	8 M18	220	275

Obrázek 5.7: Náprava podvozku od firmy ADR [39]

Disky, pneumatiky a blatníky

Volba disků a pneumatik je závislá především na parametrech nápravy a požadavcích na účel používání.
Jedno z hlavních kritérií výběru disků je počet šroubů, jejich rozteč a také průměr středícího disku na přírubu nápravy. V závislosti na parametrech nápravy, kde máme přichycení disku osmi šrouby v rozteči od osy otáčení 275 mm a poloměrem středícího vybrání pro

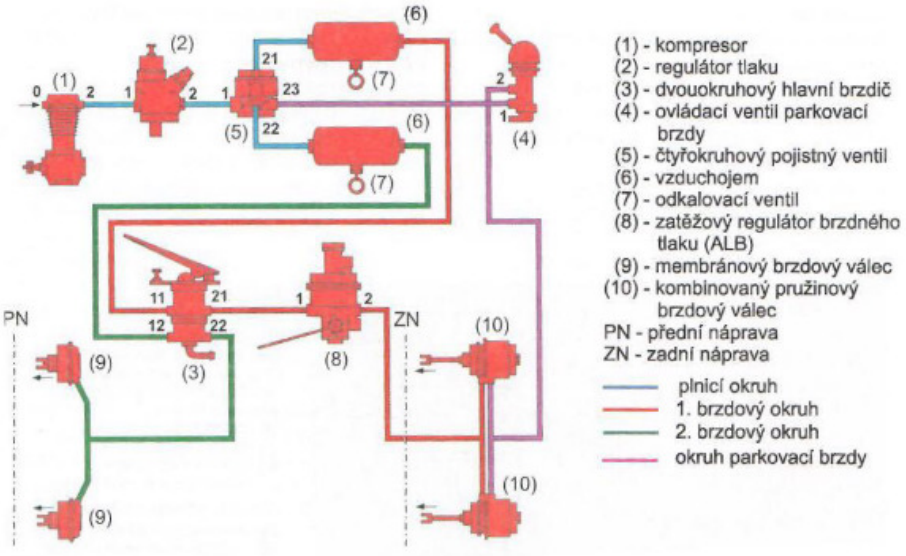
disk 220 mm, byl zvolen disk označením 11,75x22,5 ET0/8 221/275 A2 Mefro. [48] Pneumatiky byly vybrány na základě parametrů disku, nosnosti, rychlostního indexu a tak, aby byly vhodné pro agrární použití. Na základě kritérií byla vybrána pneumatika od firmy Bohnenkamp s.r.o. s označením 425/65 R22,5 TL Agrarmax MZL Block 165G. [62] Blatníky v případě kategorie přípojná vozidla O4 byly na návěs vybrány z katalogu firmy HSP partners [50] dle legislativních požadavků viz 2.8.



Obrázek 5.8: Normované blatníky [49]

Brzdná vzduchová soustava

Brzdný systém byl vybrán na základě zvolené nápravy s bubnovou brzdou od firmy ADR. Součástí bubnové brzdy vzduchotlaké je tzv. "S"klíč, který je ovládaný brzdovou pákou v závislosti na pístovém brzdném válci [43]. Pro zachování bezpečnosti je zvolena dvou-okruhová soustava s uspořádáním okruhů přední-zadní. Pro přední nápravu je zde použit membránový brzdový válec a pro zadní nápravu je z důvodů parkovacího okruhu použit kombinovaný pružinový brzdný válec.



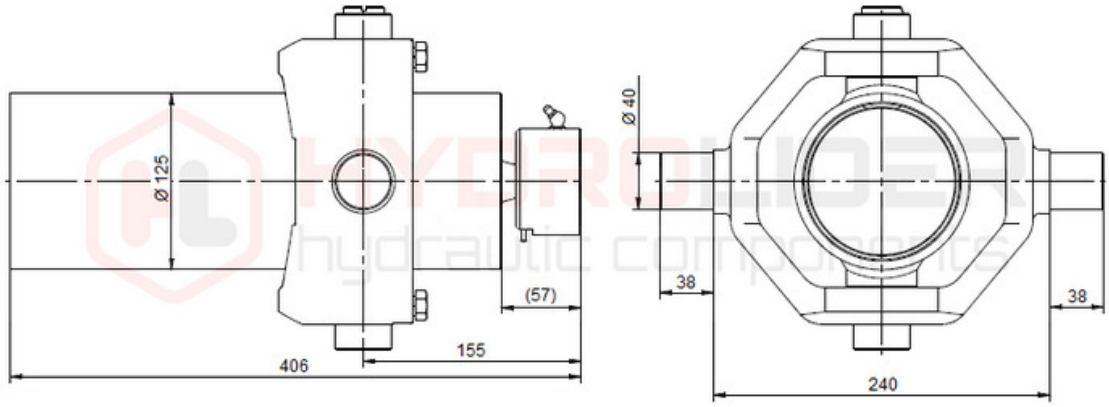
Obrázek 5.9: Dvouokruhová vzduchotlaká brzdná soustava [51]

Mechanická parkovací brzda

Povinnou výbavou návěsu nebo vozu je také mechanická parkovací brzda, která zajišťuje návěs proti nechtěnému pohybu při zaparkování vozu.

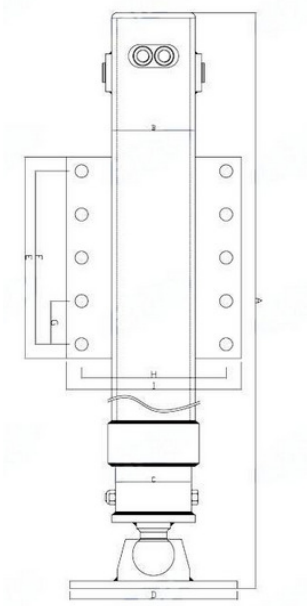
Hydraulická soustava zdvihu korby a opěrné nohy

Hydraulická soustava se skládá z hydraulického přímočarého motoru od výrobce Hydrolider hydraulic components se zdvihem 1200 *mm*. Hydraulický přímočarý motor je uložen v kleci, která je součástí hydraulického válce pro vyklápění korby do tří stran viz obr. 5.10. [52]



Obrázek 5.10: Hydraulický píst s klecí [52]

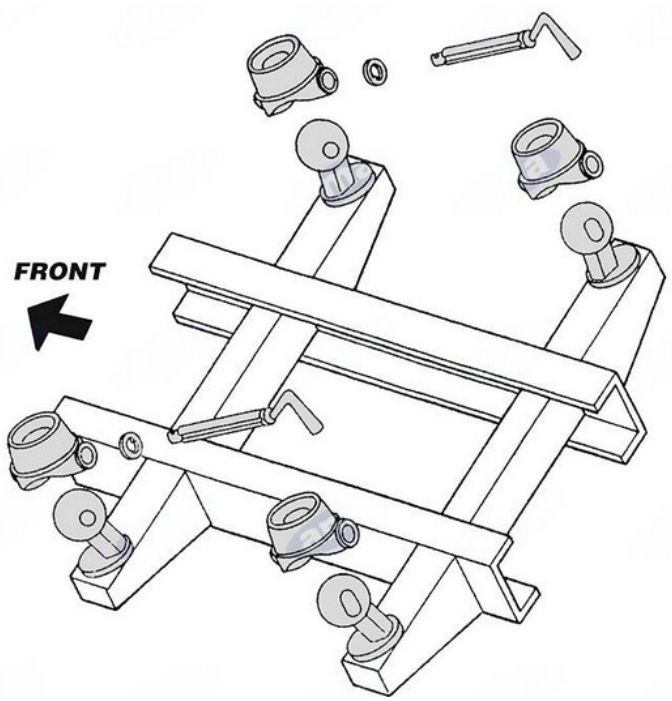
Volba opěrné nohy s hydraulickým ovládáním vyšla z potřeby výškové variability polohy oje. Konkrétní hydraulická podpěra s hydraulickým válcem byla vybrána z webu Kardanka od výrobce AMA S.p.A. viz obr. 5.11 [53].



Obrázek 5.11: Hydraulická opěrná noha [53]

Kompletní sada pro vyklápění korby

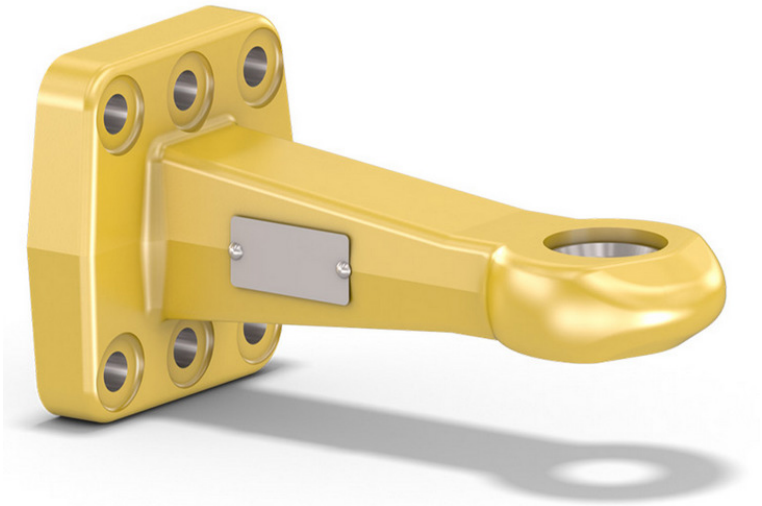
Vyklápění korby návěsu do boků a vzad je umožněno díky Sklápěcímu kitu s průměry koulí 78 mm a nosností 10000 kg od výrobce AMA S.p.A. z webu Kardanka viz obr. 5.12. [53]



Obrázek 5.12: Sada pro vyklápění korby [53]

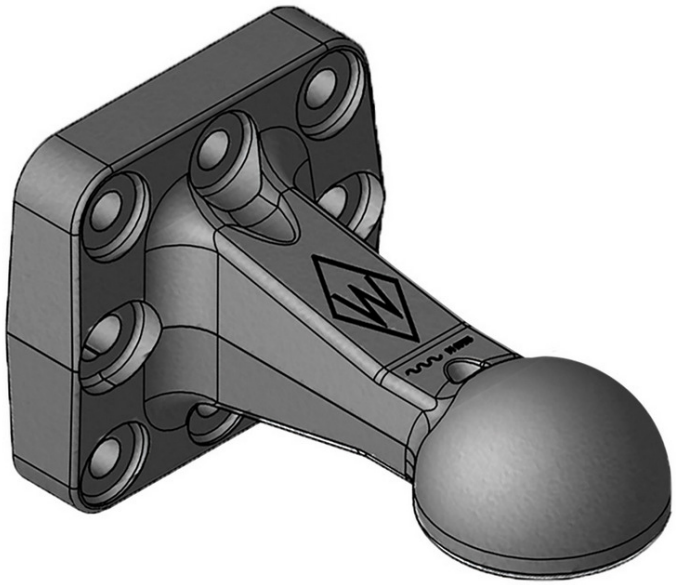
Tažné oko/hlava

Spoj mezi návěsem a traktorem může být proveden tažným okem nebo tažnou závěsnou hlavou. Volba připadá na tažné oko typu ZO74054-40D-6 s přírubou 110x100-6H-17 s průměrem oka 40 mm podle DIN 74054 (ISO 8755) od výrobce Walterscheid viz obr. 5.13.



Obrázek 5.13: Závěsné oko [64]

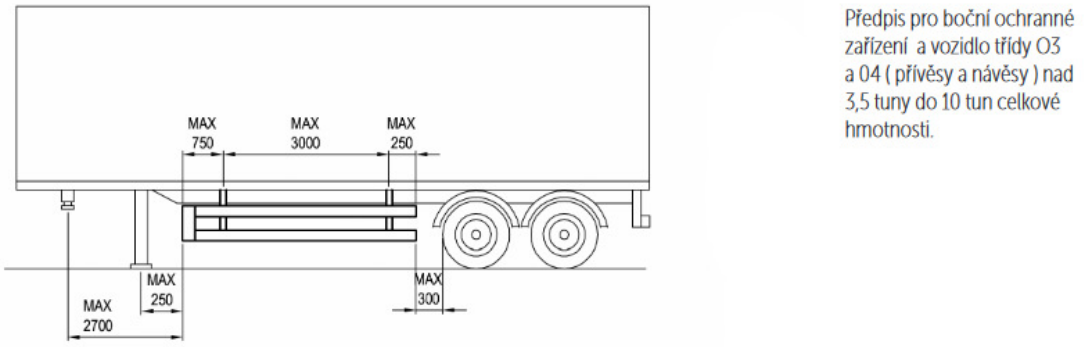
Zvolení závěsné hlavy pro připojení pomocí spojovací koule o průměru 80 mm (ISO 24347), respektive třída a80 podle předpisu OSN R147 viz obr. 5.14.



Obrázek 5.14: Závěsná hlava [64]

Zařízení proti bočnímu zajetí pod návěs

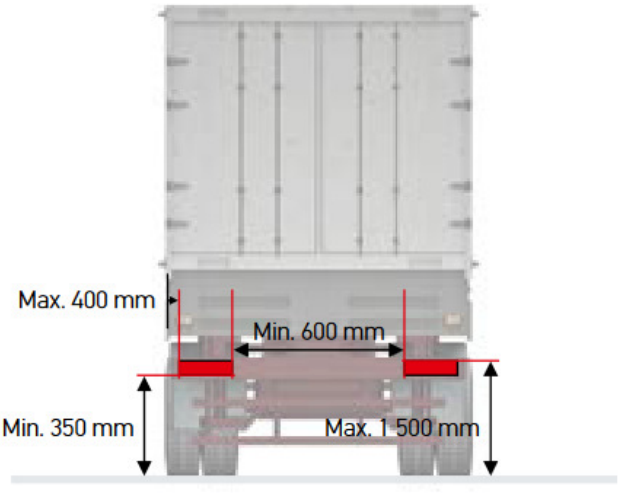
Zařízení proti bočnímu zajetí je konstrukce skládající se z podélných profilů uložená pomocí konzolí. Konzole jsou umístěny na boční části podvozku nebo na jiné, pevné konstrukční části návěsu. Zařízení je navržené tak, aby poskytovalo ochranu účastníkům silničního provozu jako například chodcům, cyklistům a jezdcům na motocyklech viz obr. 5.15. Zařízení zabraňuje pádu do prostoru před kola náprav. Některé části vozidla už mohou být uzpůsobeny tak, že je lze považovat za boční ochranné zařízení.



Obrázek 5.15: Zařízení proti bočnímu zajetí pod návěs [63]

Osvětlení návěsu

Osvětlení návěsu musí splňovat náležitosti dle legislativních požadavků viz. 2.8. Základní parametry umístění světel jsou znázorněny viz obr. 5.16



Obrázek 5.16: Osvětlení návěsu [56]

Výběr zadních světel připadá na koncový světlomet Europoint III s obrysovými světly od výrobce Aspöck viz obr. 5.17 [61]

Obrázek 5.17: Koncový světlomet Europoint III [61]

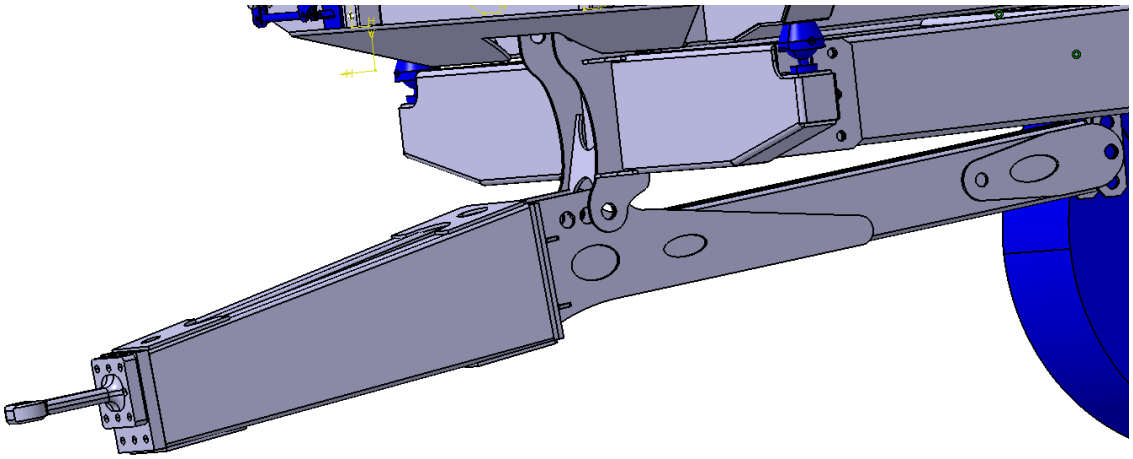
Štítek maximální povolené rychlosti

Štítek omezení rychlosti je vyobrazen na samolepící fólii která reflektuje označení rychlosti. Značka - štítek o průměru 200 mm s maximální rychlosti je vytištěn červenou a černou barvou na bílém podkladu viz obr. 5.18.

Obrázek 5.18: Samolepka omezení rychlosti [54]

5.2. Oj

Připojení návěsu k traktoru je provedeno pomocí oje. Pro splnění požadavků byla navržena oj skládající se ze dvou částí viz obr. 5.19. Tyto dvě části oje jsou spojeny pomocí šesti šroubů. Konstrukčně je spoj navržen tak, aby na šrouby působil pouze tah nebo tlak. Smykové napětí ve spoji působí na přírubu. Zároveň jsou příruby osově symetrické, proto je možné oj výškově nastavit pomocí otočení přední části oje o 180° v ploše příruby. Další možností výškového nastavení je možnost posunutí příruby přípojného oka či jiného přípojného zařízení. Třetí možností výškové variability je schopnost rotace v ose středového čepu a posunutí čepu pro uchycení zadní části oje.



Obrázek 5.19: koncepční návrh výškově stavitelné oje

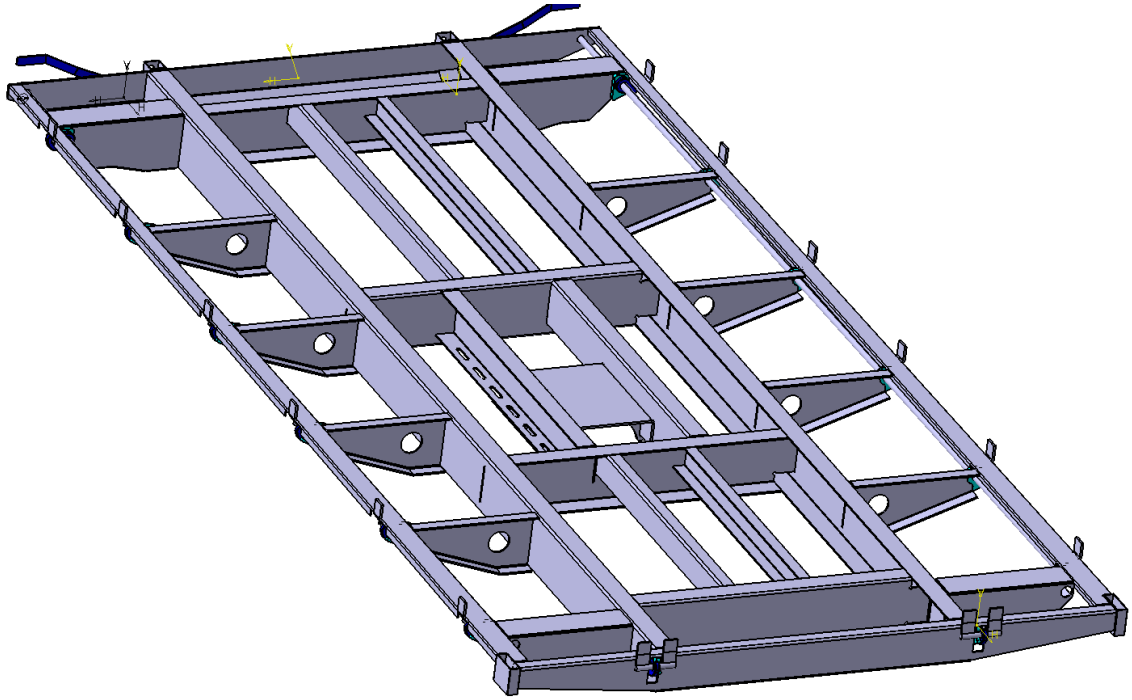
5.3. Korba návěsu

Součástí návěsu je jeho sklopná část - korba. Rám korby je svařen z U-profilů viz obr. 5.20 a je doplněn o funkční prvky. Korba návěsu je k podvozkovému rámu návěsu připevněna pomocí misek a koulí. Koule umožňují také trojstranné sklápění korby návěsu v závislosti na zajištění daného páru koulí. Dno návěsu tvoří plech o tloušťce 3 mm.

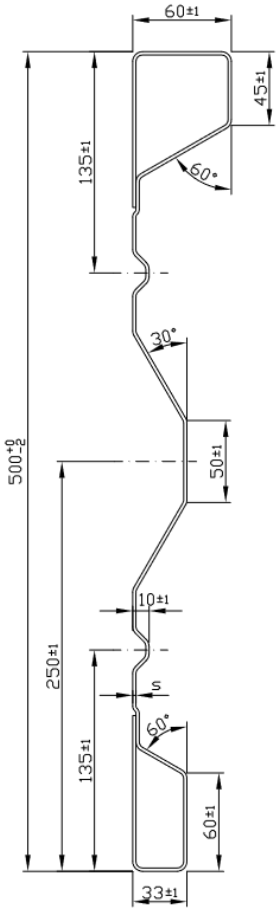
Sloupky nástavby návěsu jsou navrženy tak, aby bylo možno bočnice se sloupky odinstalovat pro vznik rovného plata za účelem potřeby převozu rozměrnějšího přepravovaného subjektu. Nástavby korby návěsu jsou složeny z bočnic o výšce 2x500 mm. Ocelový profil bočnice B 500 byl vybrán z katalogu produktů firmy HSP Partners s.r.o. na základě vhodnosti využití pro zemědělské nástavby nebo jako horní nástavby sklápěčů viz obr. 5.21. [55]

Uchycení spodní strany bočnice je zajištěno zámky, které nahrazují panty a umožňují jak klasické otevření bočnice směrem dolů, tak po odemčení zámků lze bočnice otevírat směrem nahoru, a tím zjednodušit manipulaci při vysýpání návěsu viz obr. 5.22.

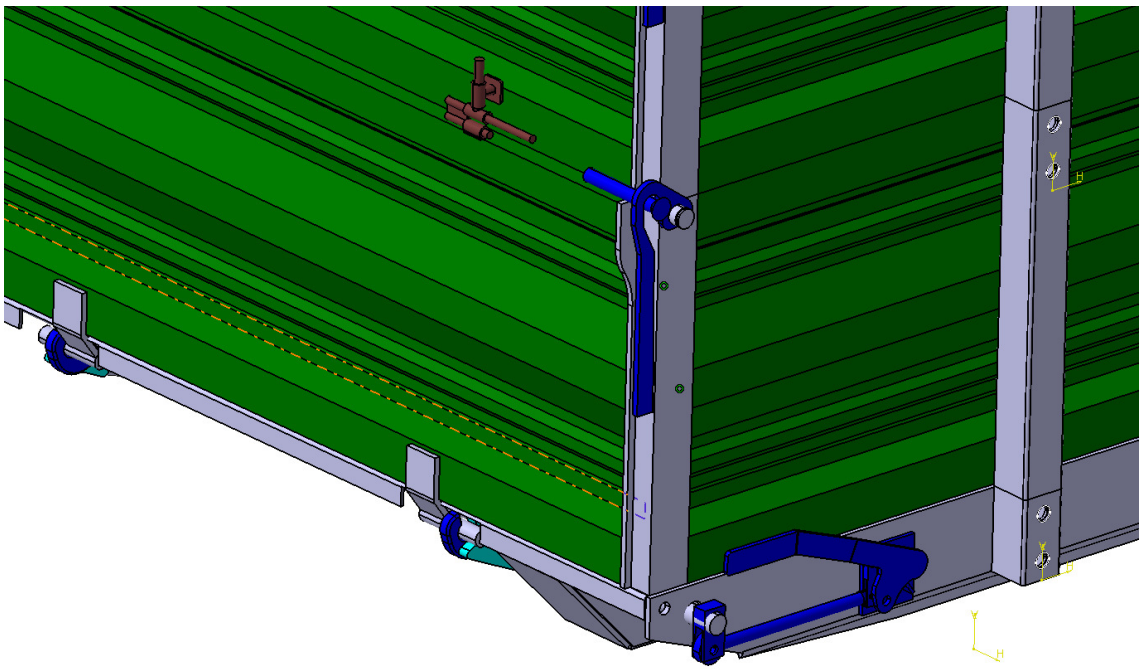
Stejné možnosti má zadní čelo, u kterého je ovládací páka zámků umístěna v levé části návěsu ve směru jízdy viz obr. 5.23.



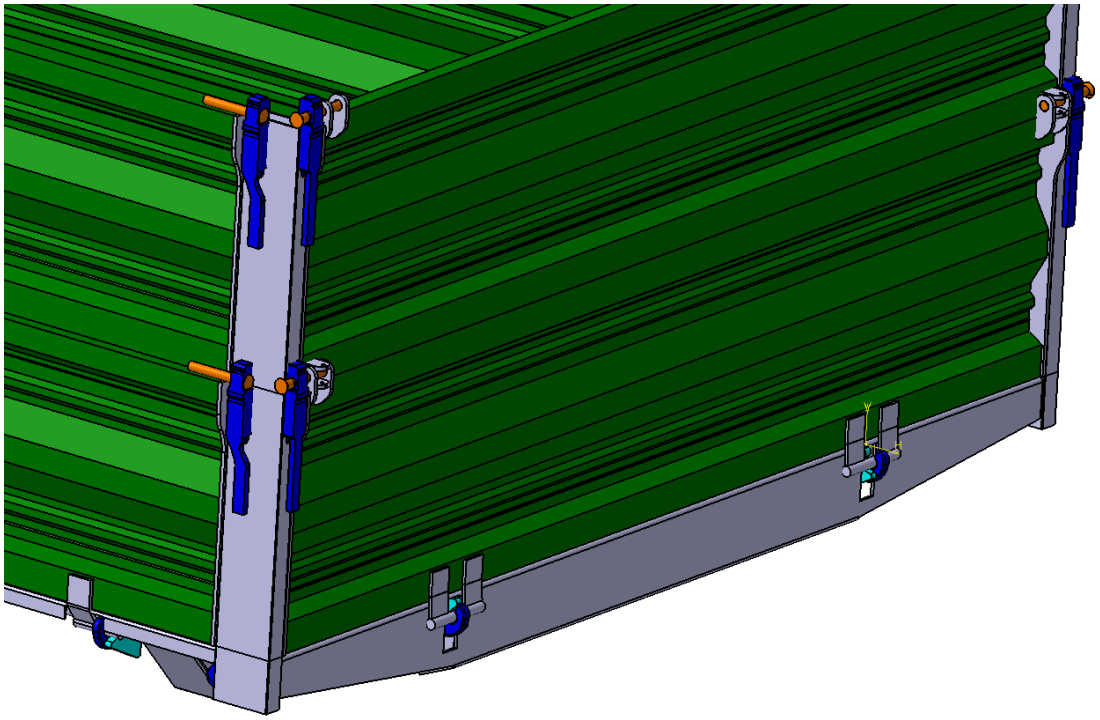
Obrázek 5.20: Rám korby



Obrázek 5.21: Profil bočnice [55]



Obrázek 5.22: Přehled použití pantů a zámků korby



Obrázek 5.23: Uchycení bočnic a zadního čela

6. Rozbor sil působících na návěs

Při běžném provozu působí na konstrukci traktorového návěsu velká škála silových účinků, které je nutné definovat pro účely následně prováděné celkové pevnostní analýzy návěsu. Rozbor těchto silových účinků je základem pro stanovení určitých zatěžovacích stavů, ve kterých se traktorový návěs běžně nachází.
Zatěžovací stavy jsou určeny na základě normy ČSN EN 12642 (269376). Jako zatěžovací stavy byly určeny: stání/přímá jízda, akcelerace, průjezd zatáčkou, brzdění pouze návěsem, brzdění tažným vozidlem a vyklápění korby dozadu a do boku [7]. V praxi je u zemědělských návěsů/přívěsů poměrně běžné přetěžování, kdy se využívá maximální možný ložný objem, bez ohledu na maximální nosnost. Z toho důvodu budeme do výpočtů uvažovat přetížení návěsu o 25 % maximální nosnosti traktorového návěsu.
To znamená, že přetížení o 25 % a zaplnění objemu korby z 80 % maximálního možného objemu (korba se uvažuje zaplněna z 80% s cílem zabránit přesypání materiálu přes okraje korby a zajištění bezpečnosti) s výškou bočnic $500\,mm + 500\,mm$ vyplývá, že maximální objemová hmotnost komodit může dosáhnout $1221\,kg \cdot m^{-3}$. Hodnota maximální objemové hmotnosti komodit je vyšší než většina objemové hmotnosti skladovaných a přepravovaných komodit v zemědělství a průmyslu [57].

6.1. Statická poloha

Statická poloha představuje stání návěsu nebo jízdu po rovném povrchu, při které se udržuje stálý směr a konstantní rychlost. Z hlediska sil působících na návěs je možno brát tyto stavy za totožné. Ve statické poloze působí na návěs pouze tíhové zrychlení. Ostatní silové účinky na návěs téměř nepůsobí, a proto je lze zanedbat.

Tíhová síla ve statické poloze návěsu

$$F_g = (m_u + m_{korba}) \cdot g \qquad [N] \tag{6.1}$$

$$F_g = (10000 + 842) \cdot 9.81 \qquad [N]$$

$$F_g = 106360 \qquad [N]$$

Kde: m_u je užitná nosnost v jednotkách kg, m_{korba} je hmotnost korby v jednotkách kg, g je tíhové zrychlení v jednotkách $m \cdot s^{-2}$.

6.2. Brzdění traktoru

Zrychlení působící na konstrukci návěsu je způsobeno brzděním traktoru. Zrychlení působí ve směru jízdy. Setrvačné síly jsou vyvolány zrychlením celkové hmotnosti návěsu s dopravovaným materiálem. Setrvačné síly působí v těžišti návěsu ve směru pohybu soupravy.
Určení hodnoty brzdného zrychlení traktoru bylo převzato z diplomové práce pod názvem Jízdní dynamika traktoru, jejímž autorem je Bc. Jaroslav Renza a vedoucím práce pan Ing. Vladimír Panáček, Ph.D.[59]. V rámci této závěrečné práce bylo provedeno experimentální měření vybraných jízdních parametrů. Pro podklady výpočtů závěrečné práce se jedná o měření brzdného zrychlení z maximální rychlosti blízké, požadované maximální rychlosti, a to je 60 km/h. V práci pana Renzy bylo dosaženo nejlepších výsledků a nejlepší rychlostní shody u traktoru Steyer CVT 6230, který zpomaloval z rychlosti 58, 7 km/h s brzdným zpomalováním 6, 66 $m \cdot s^{-2}$. S touto hodnotou bylo poté dále počítáno. [59]

Setrvačná síla při brzdění traktoru

$$F_{bt} = (m_u + m_{nav}) \cdot a_{bt} \qquad [N] \tag{6.2}$$
$$F_{bt} = (10000 + 2000) \cdot 6.66 \qquad [N]$$
$$F_{bt} = 79920 \qquad [N]$$

Kde: m_u je užitná nosnost v jednotkách kg, m_{nav} hmotnost návěsu v jednotkách kg, a_{bt} je brzdné zrychlení traktoru v jednotkách $m \cdot s^{-2}$.

6.3. Brzdění návěsu

Brzdné zrychlení, které působí proti směru jízdy, je zde vyvoláno třecí silou mezi vozovkou a pneumatikou návěsu. Setrvačná síla vytvářena brzdným zrychlení působí v těžišti vozu ve směru pohybu a zapříčiňuje společně se silami vzniklými třením moment způsobující nadměrné zatížení přední nápravy a částečné odlehčení zadní nápravy návěsu. Hodnoty přetížení přední nápravy a odlehčení zadní nápravy jsou totožné. Moment vzniklý brzděním vyvolává přenos setrvačných sil ve směru jízdy a zároveň nadměrné zatížení oje návěsu.
Brzdné zrychlení dle ČSN EN 12642 (269376) Fixace nákladu na silničních vozidlech - Konstrukce karosérie na užitkových vozidlech - Minimální požadavky [7] a_{bn} je rovno $0, 8 \cdot g$ $[m \cdot s^{-2}]$.

Setrvačná síla při brzdění návěsu

$$F_{bn} = (m_u + m_{nav}) \cdot a_{bn} \qquad [N] \tag{6.3}$$
$$F_{bn} = (10000 + 2000) \cdot (0, c8 \cdot 9, 81) \qquad [N]$$
$$F_{bn} = 94176 \qquad [N]$$

Kde: m_u je užitná nosnost v jednotkách kg, m_{nav} hmotnost návěsu v jednotkách kg, a_{bn} je brzdné zrychlení návěsu v jednotkách $m \cdot s^{-2}$.

6.4. Průjezd zatáčkou

Při průjezdu zatáčkou nebo při vyhýbavém manévru s konstantní rychlostí si můžeme představit, že se jedná o rovnoměrný pohyb po kružnici, kdy působí na návěs příčné zrychlení, které směřuje do středu poloměru kružnic. Odstředivá síla kolmá ke směru pohybu vyvolává setrvačný účinek způsobující přetížení jedné strany kol návěsu. Při příliš velké odstředivé síle může dojít i k převrácení návěsu.
Hodnota příčného zrychlení je stanovena dle normy ČSN EN 12642 (269376), kdy příčné zrychlení je rovno jedné polovině tíhového zrychlení.

Příčné zrychlení při jízdě zatáčkou

$$a_p = 0,5 \cdot g \qquad [m \cdot s^{-2}] \tag{6.4}$$

$$a_p = 0,5 \cdot 9,81 \qquad [m \cdot s^{-2}]$$

$$a_p = 4,903 \qquad [m \cdot s^{-2}]$$

Kde: g je tíhové zrychlení v jednotkách $m \cdot s^{-2}$.

Odstředivá síla při průjezdu zatáčkou

$$F_{Rx} = (m_u + m_{nav}) \cdot a_p \qquad [N] \tag{6.5}$$

$$F_{Rx} = (10000 + 2000) \cdot 4.903 \qquad [N]$$

$$F_{Rx} = 58836 \qquad [N]$$

Kde: m_u je užitná nosnost v jednotkách kg, m_{nav} hmotnost návěsu v jednotkách kg, a_p je odstředivé zrychlení v jednotkách $m \cdot s^{-2}$.

6.5. Akcelerace

Při rozjíždění nebo zvyšování rychlosti působí na návěs nejen tíhové zrychlení, ale i zrychlení v podélném směru, které je totožné se směrem pohybu. V těžišti návěsu působí setrvačná síla proti směru pohybu.
Určení hodnoty akcelerace neboli zrychlení traktoru bylo převzato z diplomové práce s názvem Jízdní dynamika traktoru [59], kdy v rámci závěrečné práce bylo provedeno experimentální měření vybraných jízdních parametrů. Pro podklady výpočtu závěrečné práce je zvolena hodnota z experimentálního měření špičkového zrychlení traktorů. Největší zrychlení bylo v práci pana Renzy naměřeno u traktoru Case IH 160 Puma s hodnotou zrychlení $5,17\, m \cdot s^{-2}$.

Setrvačná síla vznikající při zvyšování rychlosti

$$F_a = (m_u + m_{nav}) \cdot a_a \qquad [N] \tag{6.6}$$

$$F_a = (10000 + 2000) \cdot 5.17 \qquad [N]$$

$$F_a = 62040 \qquad [N]$$

Kde: m_u je užitná nosnost v jednotkách kg, m_{nav} hmotnost návěsu v jednotkách kg, a_a je zrychlení při akceleraci v jednotkách $m \cdot s^{-2}$.

7. Náhrady pro MKP analýzu

Pro pevnostní analýzu konstrukce je nutné provést zjednodušení dílů, popřípadě celé konstrukce. Provedení náhradního řešení některých dílů je potřeba provést například u mechanického parabolického pružení, nebo u náhrady pneumatiky. Náhrady určitých součástí umožní přesněji napodobit reálné situace v určitých zátěžných stavech, které jsou na tandemovém návěsu řešeny.

7.1. Tuhost náhrady parabolického odpružení nápravy

Výpočet tuhosti nahrazující parabolické odpružení

$$K_n = \frac{m_u + m_{nav} \cdot g}{n_n \cdot dR_s} \qquad [N \cdot mm^{-1}] \tag{7.1}$$

$$K_n = \frac{(10000 + 2000) \cdot 9,81}{4 \cdot 13} \qquad [N \cdot mm^{-1}]$$

$$K_n = 2263 \qquad [N \cdot mm^{-1}]$$

Kde: m_u je užitná nosnost v jednotkách kg, m_{nav} hmotnost návěsu v jednotkách kg, g je tíhové zrychlení v jednotkách $m \cdot s^{-2}$, n_n je počet parabolických pružin [-], dR_s je rozdíl mezi zatíženým a nezatíženým stavem pružiny v jednotkách $[mm]$ [36].

7.2. Náhrada pneumatik

Náhrada pneumatik je dle katalogu [26] výrobce pneumatik Bohnenkamp. Pro zvolenou pneumatiku Bohnenkamp s označením 425/65 R22,5 TL Agrarmax MZL Block 165G je maximální povolené zatížení $5150\,kg$ na pneumatiku při rychlosti $60\,km \cdot h^{-1}$. [26]

Výpočet tuhosti nahrazující pneumatiky

$$K_p = \frac{m_{nos} \cdot g}{dR_s} \qquad [N \cdot mm^{-1}] \tag{7.2}$$

$$K_p = \frac{5150 \cdot 9,81}{38} \qquad [N \cdot mm^{-1}]$$

$$K_p = 1329,5 \qquad [N \cdot mm^{-1}]$$

Kde: m_{nos} je hmotnostní kapacita jedné pneumatiky v jednotkách kg, g je tíhové zrychlení v jednotkách $m \cdot s^{-2}$, dR_s je rozdíl mezi zatíženým a nezatíženým poloměrem pneumatiky v jednotkách mm [62].

7.2.1. Výpočet tuhosti pro boční a směrové vedení

Tuhost uložení nápravy je v každém směru odlišná. Proto se ve většině případů volí tuhost pro směrové a boční vedení jako 2/3 parabolického odpružení.

Výpočet tuhosti pro boční a směrové vedení

$$K_{sb} = \frac{2}{3} \cdot K_n \qquad [N \cdot mm^{-1}] \tag{7.3}$$

$$K_{sb} = \frac{2}{3} \cdot 2263 \qquad [N \cdot mm^{-1}]$$

$$K_{sb} = 1508.67 \qquad [N \cdot mm^{-1}]$$

Kde: K_n je tuhost pro náhradu parabolického odpružení nápravy v jednotkách $N \cdot mm^{-1}$.

8. Výpočet mezního stavu únosnosti

Hlavní konstrukce rámu podvozku včetně oje je vyrobena z oceli S355J0(11523). Výpočet mezních stavů únosnosti se odkazuje na normu ČSN EN 1993-1-1. [6]

Dolní mez kluzu oceli S355J0	$R_e = 355\,MPa$
Součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_m = 1,15\,[-]$
Dynamický součinitel	$k_d = 1,05\,[-]$

8.1. Hodnota návrhové pevnosti

$$y_d = \frac{R_e}{\gamma_m} \qquad [MPa] \tag{8.1}$$

$$y_d = \frac{355}{1,15} \qquad [MPa]$$

$$y_d = 309 \qquad [MPa]$$

Kde: R_e je dolní mez kluzu v jednotkách MPa, γ_m je součinitel spolehlivosti materiálu $[-]$.

8.2. Dovolené napětí obsahující dynamický součinitel

$$f_d = \frac{y_d}{k_d} \qquad [MPa] \tag{8.2}$$

$$f_d = \frac{309}{1,05} \qquad [MPa]$$

$$f_d = 293 \qquad [MPa]$$

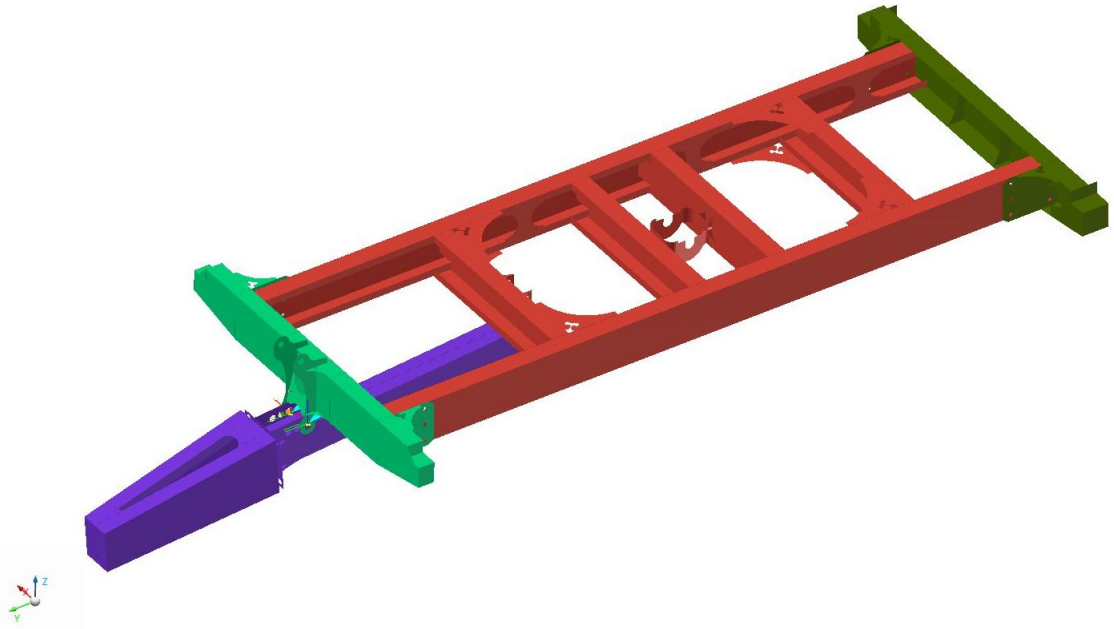
Kde: y_d je hodnota návrhové pevnosti v MPa, k_d je dynamický součinitel $[-]$.

V normě ČSN EN 1993-1-8 se hodnota součinitele spolehlivosti $\gamma_m = 1,15$ vztahuje k návrhu na únavu ocelových konstrukcí. Konkrétně se tato hodnota používá při výpočtu únavového přetvoření ocelového prvku, které je způsobeno cyklickým zatížením, například větrem, provozem nebo otřesy.
Hodnota součinitele spolehlivosti $\gamma_m = 1,15$ reprezentuje tzv. modifikační faktor, který se používá k upravení hodnoty únavové pevnosti oceli, aby se zohlednily různé vlivy, jako je například změna teploty, nerovnoměrné rozložení zatížení nebo geometrické vlastnosti prvku.
Konkrétně se hodnota $\gamma_m = 1,15$ používá při výpočtu únavového přetvoření při cyklickém zatížení na úrovni únavové meze, kdy se očekává, že ocelový prvek bude vykazovat poruchy způsobené únavou. [65]

9. MKP analýza konstrukce

9.1. Způsob nahrazení jednotlivých prvků

Model tandemového návěsu byl vytvořen v programu Catia V5R21. Model byl vytvořen z jednotlivých součástí o reálných rozměrech, tudíž jako objemový. Tento model obsahuje různé technologické prvky, jako je zkosení, zaoblení, svary, odlehčení a provozní komponenty (brzdy), které jsou nepodstatné pro provedení pevnostní MKP analýzy konstrukce. Proto jsou tyto technologické prvky a provozní komponenty odstraněny. Po exportování do prostředí softwaru MSC Apex 2021 jsou odstraněny zbytky nepodstatných technologických prvků a z objemového modelu je vytvořen střednicový (skořepinový) tvar za účelem časové úspory výpočtů a využití výkonu pouze dostupného hardwaru.



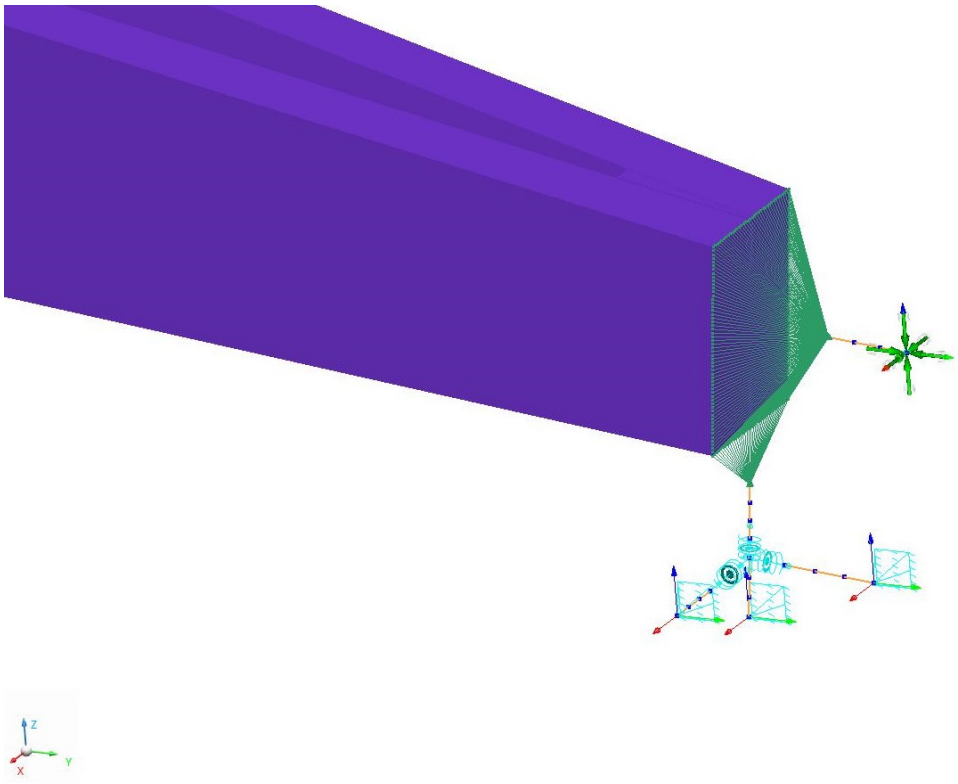
Obrázek 9.1: Plochy střednicového modelu

K vytvořeným střednicovým plochám viz obr. 9.1 byly přiřazeny tloušťky profilů dle objemového modelu. Na střednicovém modelu byla vytvořena síť, která se skládá z 79 855 prvků typu čtyřúhelníkové sítě o velikosti strany čtverců 15 mm funkcí Surface Mesh. Zjemňování sítě bylo potřeba vytvořit kolem kritických bodů pomocí funkce Seeding. V případě zjemňování byla vytvořena síť o velikosti strany čtverců $4 - 6\,mm$.

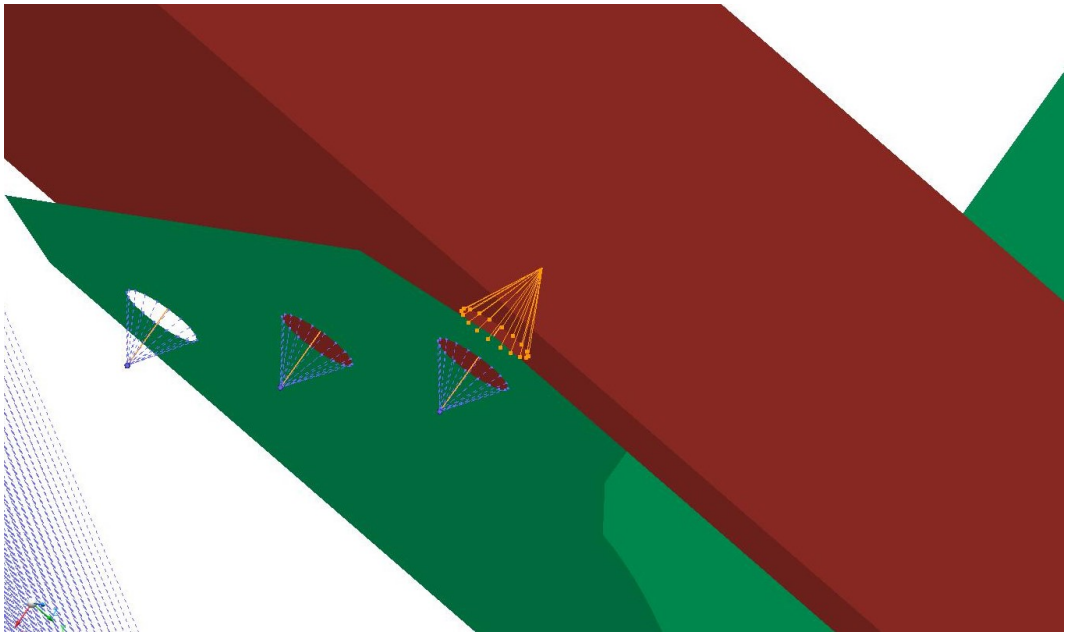
Nahrazení tažného oka, popřípadě jiný typ připojení, bylo realizováno pomocí beam prvku s vazbou General constraint, kde lze povolit nebo zakázat translační posuvy v osách kartézského souřadnicového systému, a zároveň povolit nebo zakázat rotace kolem jednotlivých os kartézského souřadnicového systému. Pro námi zvolený účel jsou zakázány posuvy ve všech osách a zároveň jsou povoleny rotace kolem všech os viz obr. 9.2.

Pro náhradu čepů a šroubů byl vytvořen prvek beam, který vzájemně přenáší zatížení ze spojovaných míst. Plochy a prvek beam jsou spojeny funkcí Disrete Tie. Pro první šroubový spoj je spojovaná plocha funkce Discrete Tie typu Compliant kde je zamezeno posuvům i rotacím, a druhá spojovaná plocha typu Rigid, kde je povolena rotace v ose x

viz obr. 9.3. Pro spoj typu čep je u obou prvků pro funkci Discrete Tie zvolen typ Rigid s povolenou rotací v ose x.



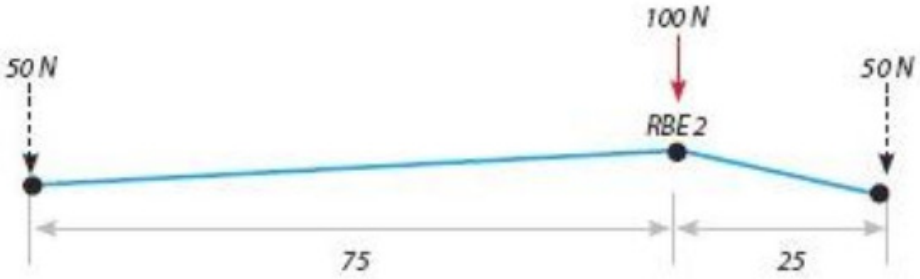
Obrázek 9.2: Náhrada připojení k traktoru



Obrázek 9.3: Náhrada šroubového spoje

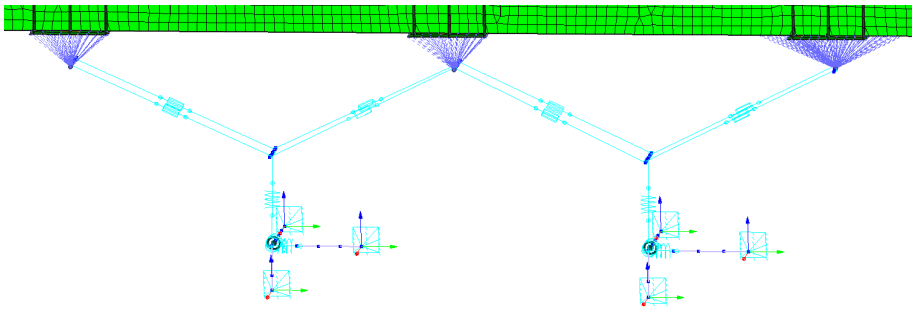
Mechanické odpružení vybrané z katalogu firmy ADR není podstatou při analýze konstrukce a tudíž musí být provedena vhodná náhrada, aby se docílilo pokud možno co nejpřesnějšího chování v reálném provozu.
Nahrazení listových per odpružené nápravy bylo provedeno pomocí funkce Connector, kde

byl zvolený typ distribuce prvku RBE2 (u MSC Apex jde o zvolenou distribuci Rigid/Rigid). Jedná se o prvek, který rozděluje sílu a moment rovnoměrně mezi všechny připojené uzly bez ohledu na polohu působení síly nebo momentu viz obr. 9.4.



Obrázek 9.4: Princip přenášení sil pomocí RBE2 prvku

Náhrada odpružení mechanické nápravy, neboli náhrada za listové pero o spočtené tuhosti viz kap. 7, je použita náhrada typu spring viz. obr. 9.5.
Náhrada pneumatik je pomocí náhrady typu Spring umístěnými ve třech osách kartézského souřadného systému o tuhostech viz kap. 7. Tyto prvky jsou na jedné straně připojeny v místě nábojů a na druhé straně mají umístěnou vazbu Constraint, která omezuje posuv v ose pružiny viz obr. 9.5 .



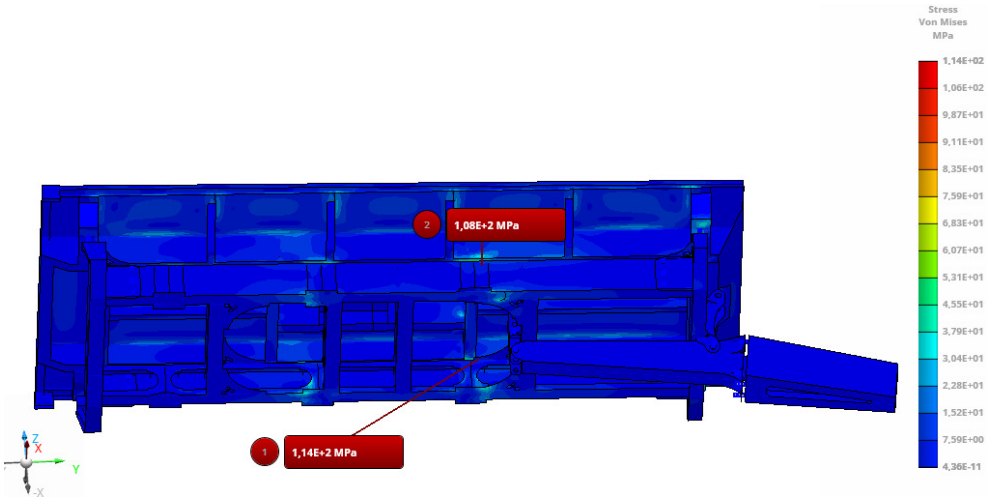
Obrázek 9.5: Náhrada mechanické nápravy

9.2. Výsledky zatěžovacích stavů

Záměrem simulace zatěžování je kontrola pro běžné i ojedinělé situace, ve kterých může být návěs využíván, a která nám tak ukáže extrémní napětí v konstrukci pro posouzení s použitým materiálem. Pro řešení v MKP je nutno tyto různé stavy zohlednit. Jde o stavy, kdy návěs akceleruje, stojí, nebo brzdí návěsem. Může se jednat také o kombinaci těchto zatěžovacích stavů. Dalšími důležitými stavy jsou vyklápění do boku a vyklápění vzad.
Pro zatížení rámu podvozku návěsu je předpoklad, že korba návěsu je dokonale tuhé těleso a rozložení váhy korby a samotného nákladu je rovnoměrné na dosedací plochy rámu podvozku. Náhrada hmotnosti a setrvačných sil je pomocí jednotlivých sil, kdy síly působí v těžišti návěsu. Přenos sil z těžiště návěsu na dosedací plochy je pomocí RBE2. Těžiště návěsu je určeno z modelu z programu Catia V5.

9.2.1. Stav prostého stání

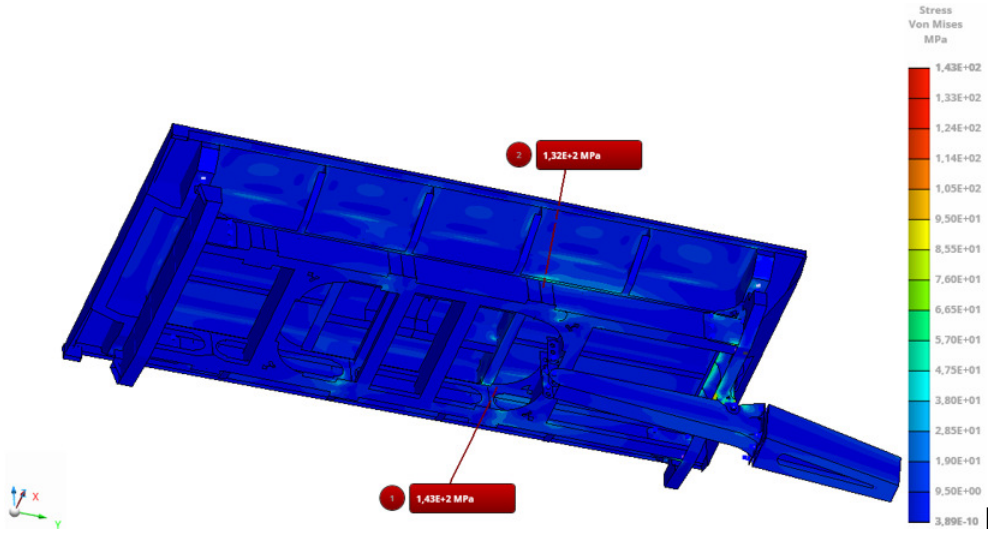
Stav prostého stání je téměř stejný jako stav, kdy jede návěs konstantní rychlostí bez změny setrvačných sil. Při tomto stavu působí na návěs pouze vlastní tíha od konstrukce a nákladu, který je v danou dobu převážen. Pro stav prostého stání je největší napětí v přední oblasti uložení náprav s hodnotou 137 MPa viz obr. 9.6.



Obrázek 9.6: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - prosté stání, stupnice $0 - 137\,MPa$

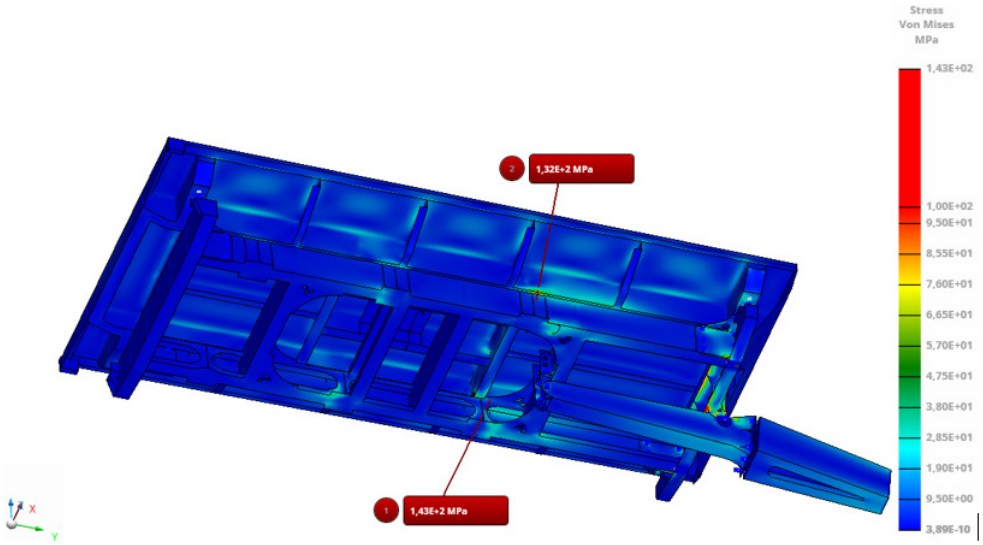
9.2.2. Akcelerace

Při zátěžném stavu akcelerace nepřekračují hodnoty napětí mezní stav únosnosti zvoleného materiálu. Vlivem akcelerace vzniká v různých částech konstrukce různé napětí viz obr. 9.7. Nejvyšší napětí s hodnotou 143 MPa vzniká v oblasti uložení mechanicky odpružené nápravy viz obr. 9.8.



Obrázek 9.7: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - akcelerace návěsu, stupnice $0 - 143\,MPa$

Zúžená stupnice napětí Von Mises (HMH). Pro zobrazení rozložení napětí v konstrukci návěsu viz obr. 9.8.



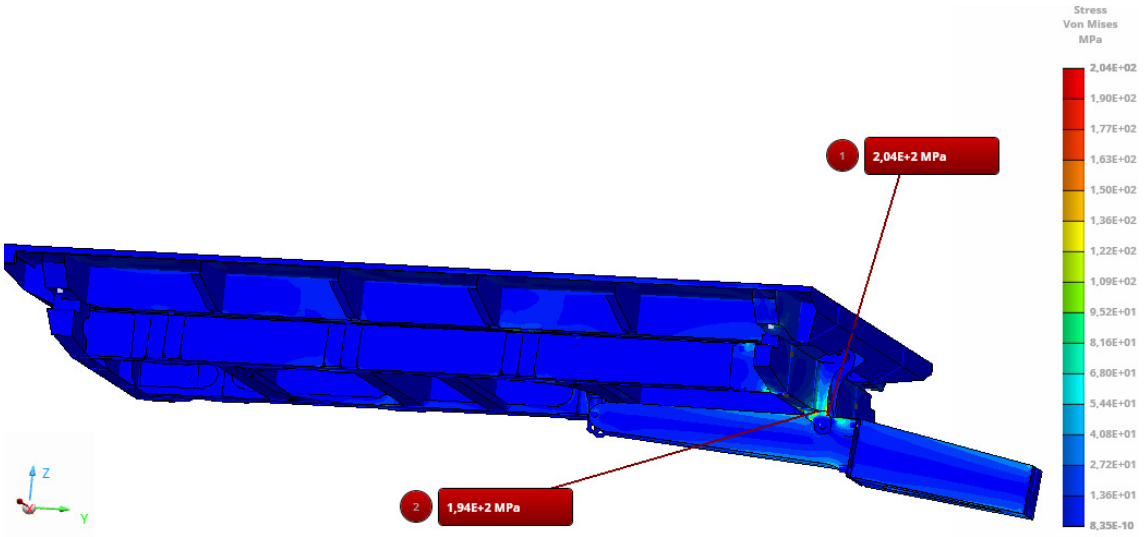
Obrázek 9.8: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - akcelerace návěsu, stupnice $0 - 100\,MPa$

9.2.3. Brzdění

Brzdění je naprosto běžný stav zatěžování v každodenním užívání návěsu, a proto je nezbytně nutné analyzovat napětí vznikající při brzdných situacích. V extrémních případech může vzniknout situace, kdy schopnost brzdění bude závislá jen taženém zařízení. Z tohoto důvodu je nutno analyzovat oba tyto stavy

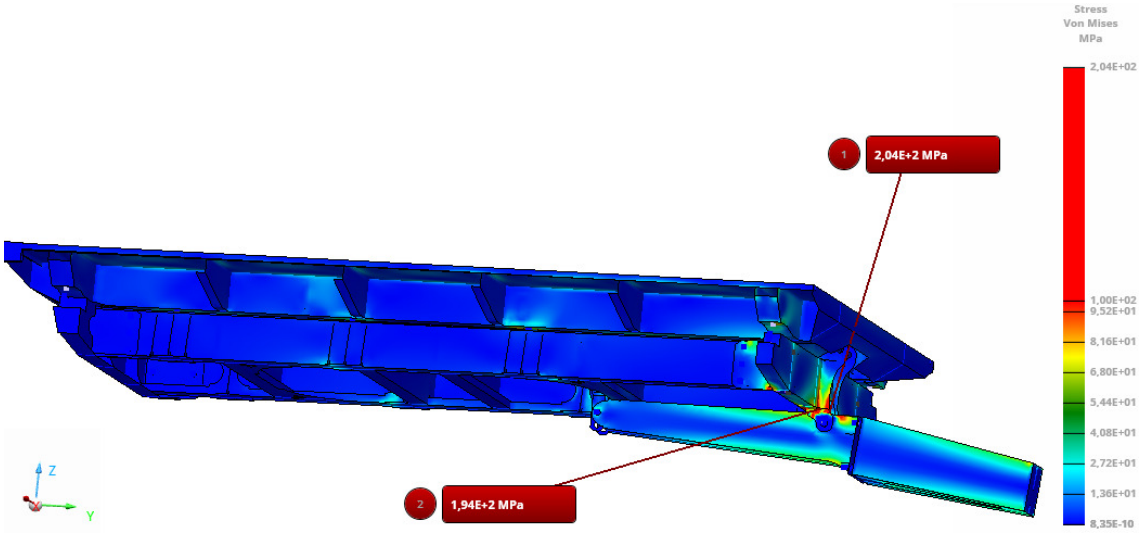
Brzdění návěsem

Zatěžovací stav brzdění návěsem vyvolává přes přední nápravu jakožto pomyslný střed otáčení silovou dvojici, která vyvolává velké síly ve stejném směru, jako je orientace gravitačního zrychlení. Největší oblast napětí a zároveň největší hodnota napětí vzniká v okolí uložení oje k přední části návěsu viz obr. 9.9.



Obrázek 9.9: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - Brzdné zrychlení návěsu, stupnice $0 - 204\,MPa$

Zúžená stupnice napětí Von Mises (HMH). Pro zobrazení rozložení napětí v konstrukci návěsu viz obr. 9.10.

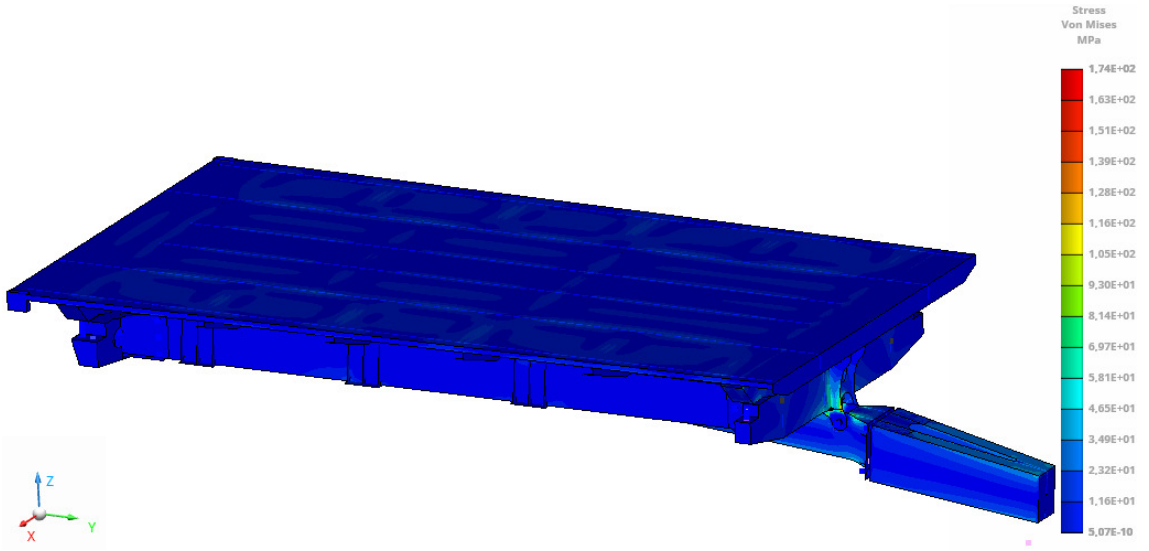


Obrázek 9.10: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - Brzdné zrychlení návěsu, stupnice $0 - 100\,MPa$

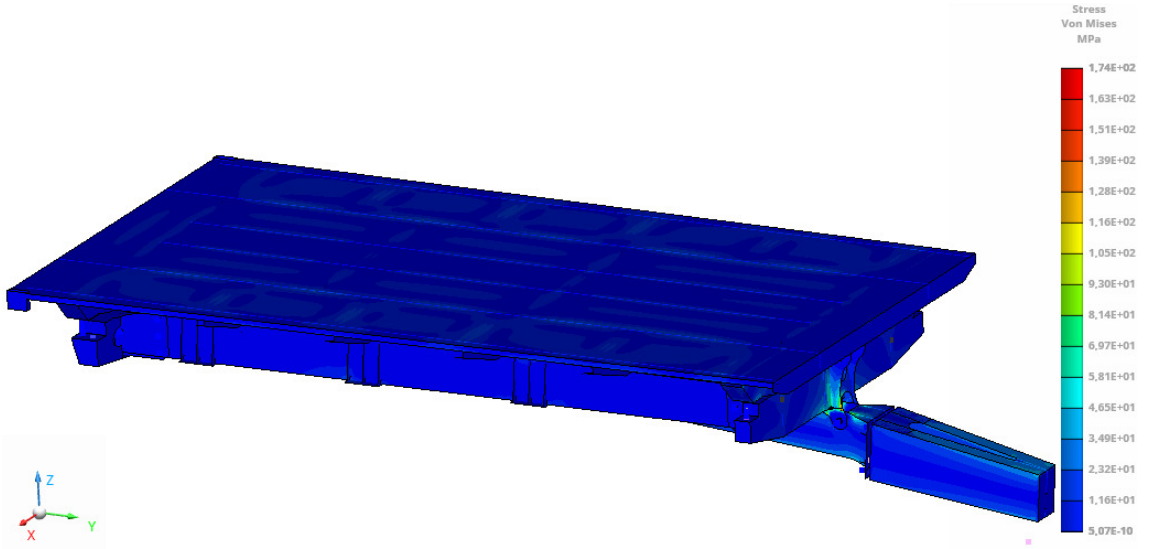
Brzdění traktorem

Zatěžovací stav brzdění traktorem vyvolává brzdné zrychlení, které působí proti pohybu traktoru. Brzdné zrychlení traktoru je určeno na základě reálného měření viz 6. Výsledné maximální napětí dosahuje hodnot okolo $174\,MPa$. Oblast působení napětí se projevuje v oblasti předního uložení oje.

Zúžená stupnice napětí Von Mises (HMH). Pro zobrazení rozložení napětí v konstrukci návěsu viz obr. 9.12.



Obrázek 9.11: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - Brzdné zrychlení návěsu, stupnice $0 - 174\,MPa$

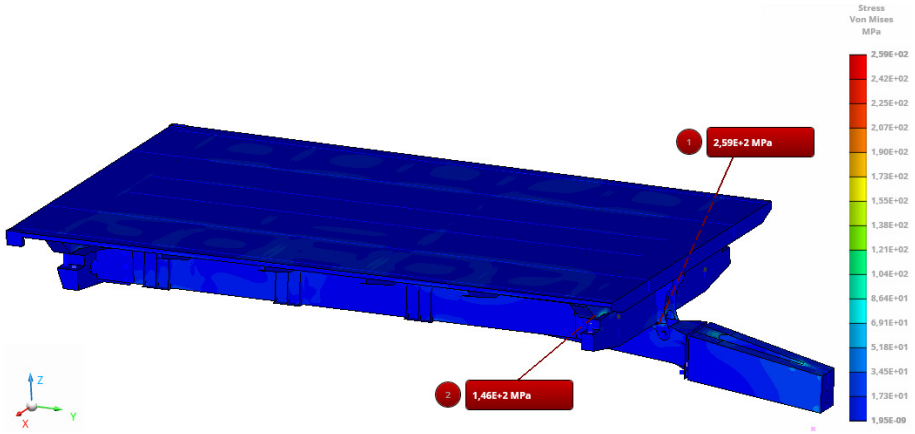


Obrázek 9.12: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - Brzdné zrychlení návěsu, stupnice $0 - 100\,MPa$

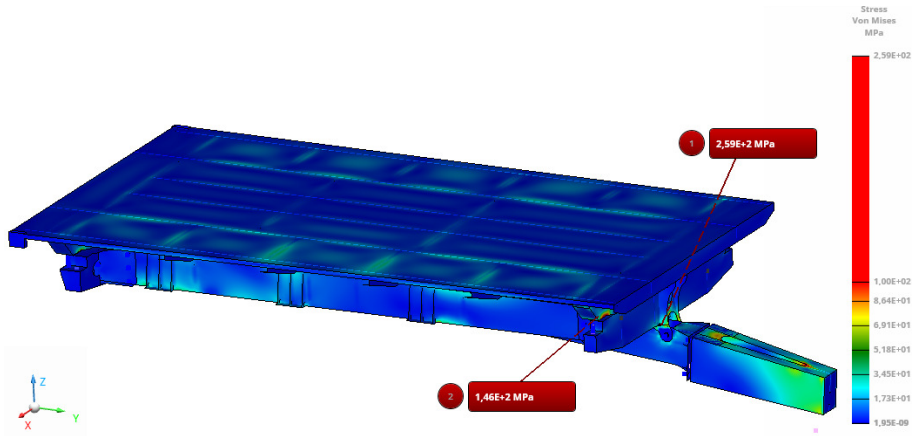
9.2.4. Průjezd zatáčkou

Průjezd zatáčkou je další nevyhnutelná situace v běžném provozu, a proto je nutné ji analyzovat při maximální rychlosti návěsu. Nejvyšší napětí vzniká v oblasti spoje přední části návěsu s ojí viz obr. 9.15. Maximální hodnota zátěžného stavu průjezdu zatáčkou je $259\,MPa$. Hodnota nepřevyšuje hodnotu mezního stavu únosnosti, a proto navržená konstrukce vyhovuje.

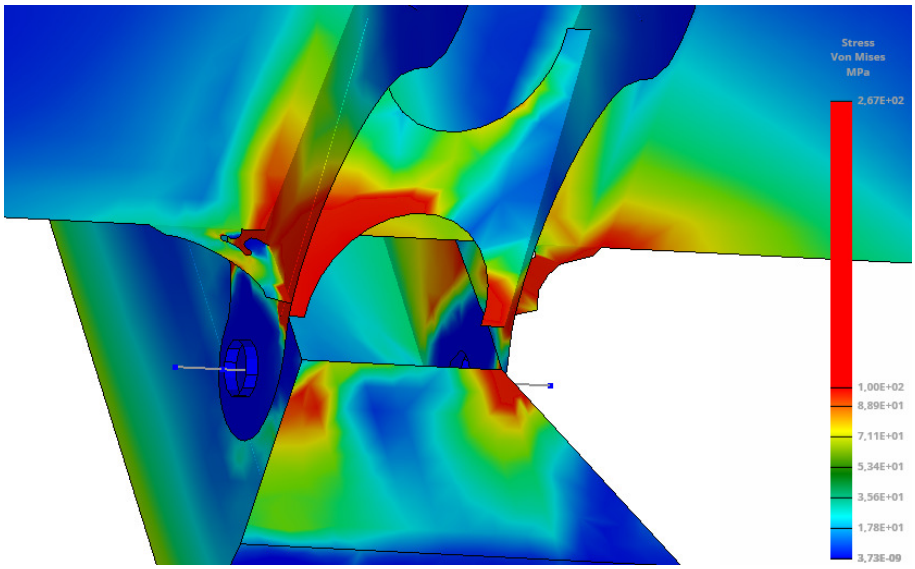
Zúžená stupnice napětí Von Mises (HMH). Pro zobrazení rozložení napětí v konstrukci návěsu viz. obr. 9.14 a 9.15.



Obrázek 9.13: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - dostředivé zrychlení při průjezdu zatáčkou, stupnice $0 - 259\,MPa$



Obrázek 9.14: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - dostředivé zrychlení při průjezdu zatáčkou, stupnice $0 - 100\,MPa$



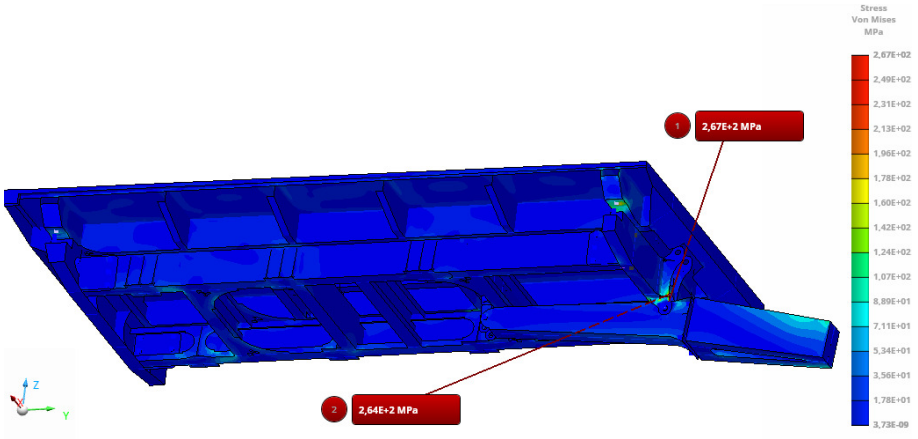
Obrázek 9.15: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - dostředivé zrychlení při průjezdu zatáčkou (detail), stupnice $0 - 100\,MPa$

9.3. Kombinace zatěžovacích stavů

V běžném provozu nepůsobí na návěs pouze jednotlivé zatížení, kdy by nastával jen jeden z výše zmíněných zatěžovacích stavů. Při užívání návěsu k účelu, ke kterému je určený, je potřeba uvažovat různé kombinace těchto zatěžovacích stavů. Nejslabší část konstrukce je limitem konstrukce samotné, proto je vhodné kombinovat stavy s nejvyšším napětím a zároveň pravděpodobné stavy.

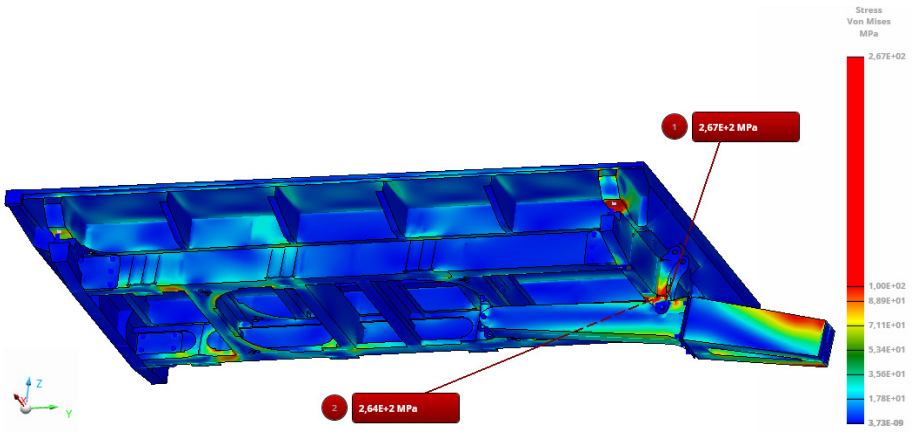
Brzdné zrychlení návěsu při průjezdu zatáčkou

Nejblíže dosažitelná kombinace zatěžovacích stavů je brzdění návěsu při průjezdu zatáčkou, kdy dochází k působení dostředivého zrychlení a zároveň k setrvačnému zrychlení působícího proti pohybu stroje. Současně se jedná o kombinací stavu s nejvyšší napěťovou hodnotou jednotlivých zatěžování s maximální hodnotou napětí 267 MPa viz obr. 9.16.



Obrázek 9.16: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - průjezd zatáčkou a brzdění návěsu, stupnice $0 - 267\,MPa$

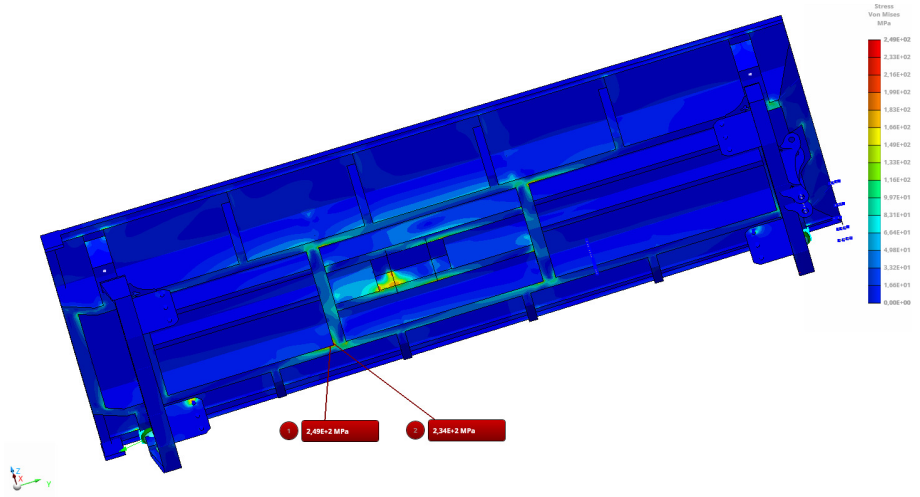
Zúžená stupnice napětí Von Mises (HMH). Pro zobrazení rozložení napětí v konstrukci návěsu viz. obr. 9.17.



Obrázek 9.17: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu - průjezd zatáčkou a brzdění návěsu, stupnice $0 - 100\,MPa$

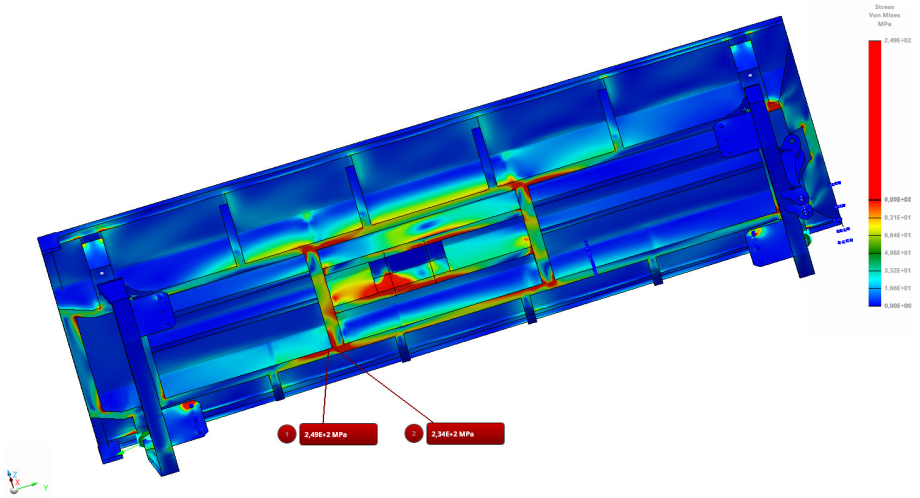
9.4. Vyklápění korby do boku

Zátěžný stav vyklápění korby návěsu do boku je dalším ze stavů běžného užívání návěsu. Při stavu vyklápění je korba návěsu, která je zatížena od hmotnosti převáženého materiálu, ve styku s rámem návěsu pouze ve třech částech. Vyšetřování napětí při stavu vyklápění je kolem nulové polohy, zde bude nejvyšší napětí, neboť v této poloze je pravděpodobné, že převážený materiál nebude podléhat sesýpání či samotnému skluzu, čímž dojde k odlehčení korby. Maximální napětí je 246 MPa viz obr. 9.18.



Obrázek 9.18: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu a korby - vyklápění do boku, stupnice $0 - 249\,MPa$

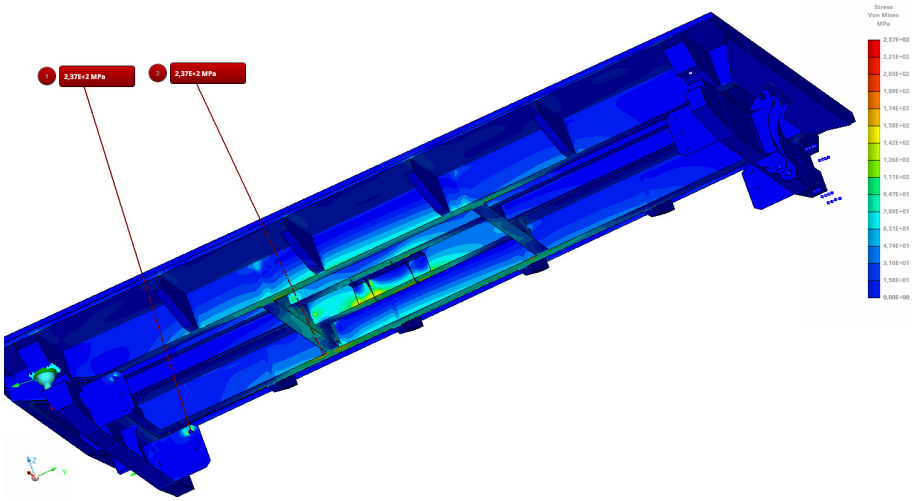
Zúžená stupnice napětí Von Mises (HMH). Pro zobrazení rozložení napětí v konstrukci návěsu viz obr. 9.19.



Obrázek 9.19: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu a korby - vyklápění do boku, stupnice $0 - 100\,MPa$

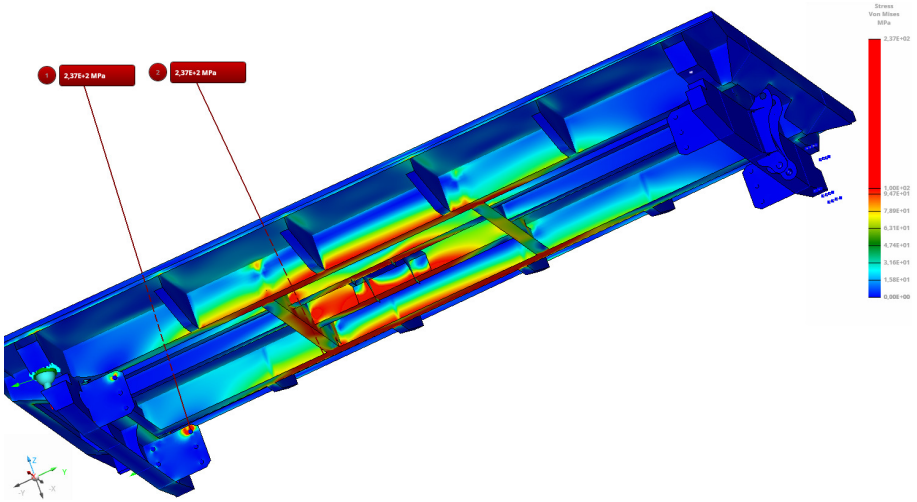
9.5. Vyklápění korby vzad

Při stavu vyklápění korby vzad je opět korba s rámem ve styku pouze ve třech částech, a to zejména v zadní části rámu, na kterém jsou uloženy koule a v místě uložení zvedáku. Analýza napětí je opět prováděna kolem nulové polohy zdvihu. Maximální napětí je 237 MPa viz obr. 9.20



Obrázek 9.20: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu a korby - vyklápění vzad, stupnice $0 - 237\,MPa$

Zúžená stupnice napětí Von Mises (HMH). Pro zobrazení rozložení napětí v konstrukci návěsu viz obr. 9.21.



Obrázek 9.21: Napětí - HMH (top, bottom), konstrukce rámu a korby - vyklápění vzad, stupnice $0 - 100\,MPa$

Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvořit koncepční návrh konstrukce dvounápravového tandemového přípojného vozidla typu návěs se sklápěným valníkem. Konstrukce nástavby je uzpůsobena pro trojstranné sklápění a má bočnice dvojité výšky s možností spodního odjištění s ohledem na zadané základní technické parametry. Samozřejmostí při tvorbě návrhu bylo i dodržení veškerých aktuálních legislativních požadavků. Podstatnou součástí vývoje návěsu s tandemovou nápravou bylo provedení pevnostní analýzy nosného rámu pomocí metody konečných prvků. Úvod diplomové práce se věnoval rozboru technických parametrů a legislativních požadavků, které je důležité zohlednit při navrhování návěsu. V kritické rešerši byl proveden popis provedení a technické parametry na trhu dostupných návěsů s obdobnou nosností jako u navrhovaného návěsu. Z průzkumu trhu vyplývá, že návěsy s užitnou nosností okolo $8000\,kg$ na trhu jsou dostupné, ne však pro konstrukční rychlost $60\,km/h$.
Hlavní část práce popisovala konstrukci navrženého návěsu podle technických parametrů. Tato kapitola popisuje jednotlivé části návěsu: hlavní nosný rám návěsu, oj, nápravy, brzdy, konstrukci korby a následně nakupované součásti. Další část práce popisuje zatěžovací stavy, které mohou vznikat při běžném využití v provozu. Zatěžovací stavy jsou zvoleny na základě normy ČSN EN 12642. Jako zatěžovací stavy byly určeny stání/přímá jízda, akcelerace, průjezd zatáčkou, brzdění návěsem a traktorem. Dále byla zvolena kombinace zatěžovacích stavů průjezdu zatáčkou a brzdění návěsem. Posledními zatěžovacími stavy bylo vyklápění do boku a vyklápění vzad. Pevnostní kontrola byla provedena metodou konečných prvků přípojného vozidla R3a/R3b pro každý zatěžovací stav a jeho kombinace.
Provedení pevnostní analýzy prokázalo nižší napětí v celé navržené konstrukci a ve všech zatěžovacích stavech, než jsou hodnoty dovoleného napětí návrhové pevnosti materiálu. Při testovacím období stroje je však zapotřebí sledovat a vyhodnocovat oblasti s nejvyšším napětí.
Z pevnostní analýzy je zřejmé, že je návěs dostatečně dimenzovaný, a proto je zde prostor pro optimalizace váhy, napětí a konstrukčního zjednodušení. Optimalizací za účelem snižování hmotnosti návěsu by mohlo být odlehčení rámu návěsu otvory ve stěně podélného příčníku, nebo změna parametrů samotného nosníku. Pro optimalizace konstrukčního zjednodušení za účelem jednoduchosti výroby by bylo vhodné se zaměřit na oj. Prokázání nejvyššího napětí bylo u dostředivého zrychlen při průjezdu zatáčkou v přední části rámu v oblasti uložení oje. V rámci optimalizace napětí by bylo vhodné se zaměřit zejména na tuto část.

Výsledkem diplomové práce je koncepční návrh dvounápravového návěsu s třístranně sklápěnou nástavbou dle zadaných parametrů splňující legislativní předpisy pro provoz po pozemních komunikacích.

Literatura

[1] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 167/2013., Nařízení o schvalování zemědělských a lesnických vozidel a dozoru nad trhem s těmito vozidly, In: Sbírka zákonů.

[2] Vyhláška č. 341/2014 Sb., Vyhláška o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. In: Sbírka zákonů.

[3] Vyhláška č, 209/2018 Sb., Vyhláška o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel.In: Sbírka zákonů.

[4] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/719, kterou se mění směrnice Rady 96/53/ES, kterou se pro určitá silniční vozidla provozovaná v rámci Společenství stanoví maximální přípustné rozměry pro vnitrostátní a mezinárodní provoz a maximální přípustné hmotnosti pro mezinárodní provoz.

[5] Směrnice 96/53/ES, kterou se pro určitá silniční vozidla provozovaná v rámci Společenství stanoví maximální přípustné rozměry pro vnitrostátní a mezinárodní provoz a maximální přípustné hmotnosti pro mezinárodní provoz.

[6] ČSN EN 1993-1-1. Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006.

[7] Česká technická norma ČSN EN 12642 (269376) Fixace nákladu na silničních vozidlech - Konstrukce karosérie na užitkových vozidlech - Minimální požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

[8] https://zemedelec.cz/. „Jednoúčelové i univerzální stroje | Zemědělec", 12. duben 2013. https://zemedelec.cz/jednoucelove-i-univerzalni-stroje/.

[9] https://mechanizaceweb.cz/. „Víceúčelová traktorová dopravní technika | Mechanizace Zemědělství", 22. březen 2018. https://mechanizaceweb.cz/viceucelova-traktorova-dopravni-technika/..

[10] „Three-Way Tipping Trailer STK | Strautmann Agricultural Machinery". 2022. https://www.strautmann.com/en/three-way-tipping-trailer-stk.

[11] Návěs s tandemovou nápravou. Foragri [online]. Mělník: www.budvidetnawebu.cz, 2023 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: https://www.foragri.cz

[12] s.r.o, Netsimple Conspiracy. „Traktorové návěsy BIG 12.9 - WTC Písečná". 2022. https://www.wtc-pisecna.eu/traktorove-navesy-big-12-8.

[13] „Farmtech - In Brief". 2022. https://www.farmtech.eu/en/about-us/in-brief.html.

[14] JOSKIN. „JOSKIN - Transport, Spreading and Pasture Care". JOSKIN. 2022. https://www.joskin.com/en.

[15] „Firma JOSKIN oslavila padesátku". 2022. http://www.moreauagri.cz/firma-joskin-oslavila-padesatku.

[16] „Joskin DELTA-CAP 4525/11SR100 2019 - 2021 specifikace, technické údaje | LECTURA Specs". 2022. https://www.lectura-specs.cz/cz/model/zemedelska-technika/dopravni-technologie-sklapeci-privesy-joskin/delta-cap-4525-11sr100-11720258.

[17] „Fliegl Agrartechnik". 2022. https://fliegl-agrartechnik.de/cs/.

[18] Pronar Sp. z o.o. „About Us". 2022. https://pronar.pl/en/us/.

[19] Kopřiva, Martin. „MOLČÍK". MOLCIK kipper, a.s. 2022. https://www.molcik.eu/index.html.

[20] SYROVÝ, Otakar. Doprava v zemědělství. 1. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-30-4.

[21] „Vývoj v oblasti řízení náprav - Mechanizace Zemědělství". 2022. https://mechanizaceweb.cz/vyvoj-v-oblasti-rizeni-naprav/.

[22] „Průmyslové tryskání materiálů | Tryskárna a lakovna Morkus Morava s.r.o."2022. http://www.tryskarna-lakovna.cz/tryskarna.html.

[23] „Bogie Suspensions - Tvz - Assali e Semiassi - Carpededolo - Brescia". 2022. https://www.tvzassali.it/en/sospensioni/bogie.

[24] „Suspensions". 2022. http://www.adraxles.com/adragri/products/suspensions.

[25] Střední odborné učiliště zemědělské, Chvaletice. „2-brzdy-1.pdf". 2022. https://www.souzchvaletice.cz/wp-content/uploads/2020/11/2-brzdy-1.pdf.

[26] https://zemedelec.cz/. „Vliv pneumatik na využití techniky | Zemědělec", 17. říjen 2008. https://zemedelec.cz/vliv-pneumatik-na-vyuziti-techniky/.

[27] www.antstudio.cz, vytvořili v. „Jaký je rozdíl mezi diagonální a radiální pneumatikou? | E-AGROPNEU". Agro pneumatiky od E-agropneu.cz. 2022. https://www.e-agropneu.cz/poradna/typy-pneumatik/diagonalni-radialni.htm.

[28] „Připojení strojů bez vystupování z kabiny, závěsný systém SIWI zvyšuje efektivitu a bezpečnost | Agroportal24h.cz". Viděno 7. březen 2022. https://www.agroportal24h.cz/clanky/pripojeni-stroju-bez-vystupovani-z-kabiny-zavesny-system-siwi-zvysuje-efektivitu-a-bezpecnost.

[29] Lukáš. Návrh dvounápravového podvozku traktorového nosiče. Brno, 2008. Diplomová. VUT FSI Brno. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kašpárek.

[30] NOUZA, Pavel. Podvozek jednoúčelového vozu Mega Easy. Brno, 2014. Diplomová. VUT FSI Brno. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

[31] Moreau Agri Vysočina. „Sklápěcí návěsy". 2022. https://www.moreauvysocina.cz/katalog/zemedelska-technika/dopravni-technika/sklapeci-navesy/.

[32] „ANNABURGER Nutzfahrzeug GmbH". 2022. https://www.landmaschinenstation.ch/importer/.

[33] „Hydraulický odstavný systém | ZDT". 2022. https://www.zdt.cz/cz/priplatkova-vybava/hydraulicky-odstavny-system.

[34] Hajeka |. „Tradiční vyklápění – JOSKIN TRANS-CAP, JOSKIN TRANS-SPACE". Moreau Agri Vysočina, 2021. http://www.moreauvysocina.cz/tradicni-vyklapeni-joskin-trans-cap-joskin-trans-space/.

[35] „Abschiebewagen ASW". 2022. https://fliegl-agrartechnik.de/produkte/abschiebewagen/abschiebewagen-asw/.

[36] „ADR SpA | Axles, Suspensions, Brakes and Wheels". 2022. https://www.adraxles.com/.

[37] Agri Machines World. „Fixed and Self-Steering Axles for High Carrying Capacities", 2014. https://www.agrimachinesworld.com/2014/12/09/fixed-and-self-steering-axles-for-high-carrying-capacities/.

[38] JOSKIN. „JOSKIN Steering Axles - TRANS-SPACE". JOSKIN. 2022. https://www.joskin.com/en/equipment/trans_space/steering-axles.

[39] „Products". 2022. https://www.adraxles.com/adragri/products.

[40] „Pneumatické odpružení náprav | ZDT". 2022. https://www.zdt.cz/cz/priplatkova-vybava/pneumaticke-odpruzeni-naprav.

[41] ANNABURGER Nutzfahrzeug GmbH. „Jetzt Bis Zu 40 Förderung – Sparen Für Den Klimaschutz". 2022. https://www.annaburger.de/en/.

[42] BPW. BPW Agro Drive [online]. Hungary: BPWagro, 2022 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: https://bpwagrar.com

[43] Střední odborné učiliště zemědělské, Chvaletice. „Výukový materiál". 2022. https://www.souzchvaletice.cz/wp-content/uploads/2020/11/2-brzdy-1.pdf

[44] „Mitas | Česká republika - Aplikace pneumatik Mitas". 2022. https://mitas-tyres.com/cs/technologie.

[45] Western-Agrafa. „Tandemový návěs WF-S – Western Agrafa". 2022. http://www.western-agrafa.cz/tandem-wfs/.

[46] SIWI Maskiner. „SIWI Combi Hitch - The Hitch System to Switch between Different Tools". https://www.siwimaskiner.dk/en/siwi-combi-hitch/.

[47] „FIMAS s.r.o. Nové Veselí". https://www.fimas.cz/.

[48] Nejedly s.r.o. Nejedly s.r.o. [online]. Miroslav: Savvy, 2022 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: https://www.nejedly.cz/disk-11-75x22,5-8-221-275-et0-61087913

[49] NAŘÍZENÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 109/2011 ze dne 27. ledna 2011. 2. Prha: evropská komise, 2011.

[50] HSP Parnters s.r.o. HSP Parnters s.r.o. [online]. Krnov: MakeArt.cz, 2022 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: https://www.hsppartners.cz

[51] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. Automobily. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2009. ISBN 978-80-87143-11-7.

[52] Hydrolider. Hydrolider hydraulic components [online]. Český Těšín: 1, 2022 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: https://www.hydrolider.cz

[53] CS Technika s.r.o. [online]. Dvůr Králové nad Labem: AiShop, 2020 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: https://www.kardanka.cz

[54] Zemědělské potřeby M+S. Zemědělské potřeby M+S [online]. České Budějovice: BSShop, 2022 [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz

[55] HSPPartners s.r.o. HSPPartners s.r.o. [online]. Krnov: MakeArt, 2009 [cit. 2022-12-21]. Dostupné z: https://www.hsppartners.cz/cs/produkty/bocnicove-profily-fuhrmann/vyska-500-mm/bocnicovy-profil-b-500.html

[56] Hella s.r.o. [online]. Lippstadt: HELLA GmbH & Co., 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: https://stk-spara.cz/repository/images/soubory/673_Legal_Requirements_Brochure_ HELLA_CZ.pdf

[57] Objemové hmotnosti. Sila nadrze [online]. Hranice VII - Slavíč: Morkus Morava, 2012 [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: http://www.sila-nadrze.cz/objemove-hmotnosti.html

[58] PETRUŠKA, Jindřich. Počítačové metody mechaniky II: MKP v inženýrských výpočtech [online]. Vysoké učení technické v Brně [cit. 2021-01-28]. Dostupné z:http://www.umt.fme.vutbr.cz/images/opory/MKP%20v%20inzenyrskych%20vypoctech/RIV.pdf

[59] RENZA, Bc. Jaroslav. Jízdní dynamika traktoru. Vysoké učení technické v Brně, 2016. Diplomová. Ústav soudního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Vladimír Panáček, Ph.D.

[60] Kipper. Kipper [online]. Leiten: Pühringer Landmaschinenbau, 2017 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: https://www.kipper.at/ueber-uns.html

[61] Truckonline. Truckonline [online]. Vodňany: Truckonline, 2022 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: https://www.truckonline.cz

[62] Bohnenkamp Moving Profesional. Bohnenkamp s.r.o. [online]. Modra, Slovensko: 2023 Bohnenkamp, 2023 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: https://shop.bohnenkamp.sk/reifen-425-65-r-22-5-37750.html

[63] Truckonline. Truckonline [online]. Vodňany: Truckonline, 2022 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: https://www.truckonline.cz

[64] Walterscheid. Walterscheid powertrain group [online]. Lohmar Germany: Walterscheid Produktfinder, 2023 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: https://www.walterscheid.com/produkte/anhaengetechnik/zugeinrichtungen/

[65] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Návrh ocelových konstrukcí - Část 1-8: Únavový návrh ocelových konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2010.

[66] AL-QUBATI, Ali Mohammed Ali Hasan. Technická diagnostika závěsu motocyklu [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/136884. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Milan Klapka.

Seznam použitých zkratek a symbolů

g	tíhové zrychlení
N	newton
γ_m	Součinitel spolehlivosti materiálu
a_p	příčné zrychlení při jízdě zatáčkou
b_p	tlumení pneumatik
f_d	dovolené napětí obsahující dynamický součinitel
k_d	Dynamický součinitel
m_u	užitná nosnost
n_n	počet parabolických pružin
y_d	hodnota návrhové pevnosti
F_a	setrvačná síla vznikající při akceleraci
F_g	tíhová síla ve statické poloze návěsu
K_n	tuhost náhrady parabolického odpružení nápravy
R_e	Dolní mez kluzu oceli 11523 (S355J0)
a_{bt}	brzdné zrychlení traktoru
F_{bn}	setrvačná síla při brzdění návěsu
F_{bt}	setrvačná síla při brzdění traktoru
F_{Rx}	odstředivá síla při průjezdu zatáčkou
K_{sb}	tuhosti pro boční a směrové vedení
m_{nos}	hmotnostní kapacita jedné pneumatiky
m_{nav}	hmotnost návěsu (Catia)
m_{korba}	hmotnost korby návěsu (Catia)
mm	milimetr
kg	kilogram
MPa	megapascal
$m \cdot s^{-2}$	jednotka zrychlení
$kg \cdot m^{-3}$	jednotka hustoty

$km \cdot h^{-1}$	jednotka rychlosti
dR_s	rozdíl mezi zatíženým a nezatíženým poloměrem pneumatiky
$N \cdot mm^{-1}$	jednotka tuhosti
$N \cdot s^{-1} \cdot mm^{-1}$	jednotka tlumení

Seznam příloh

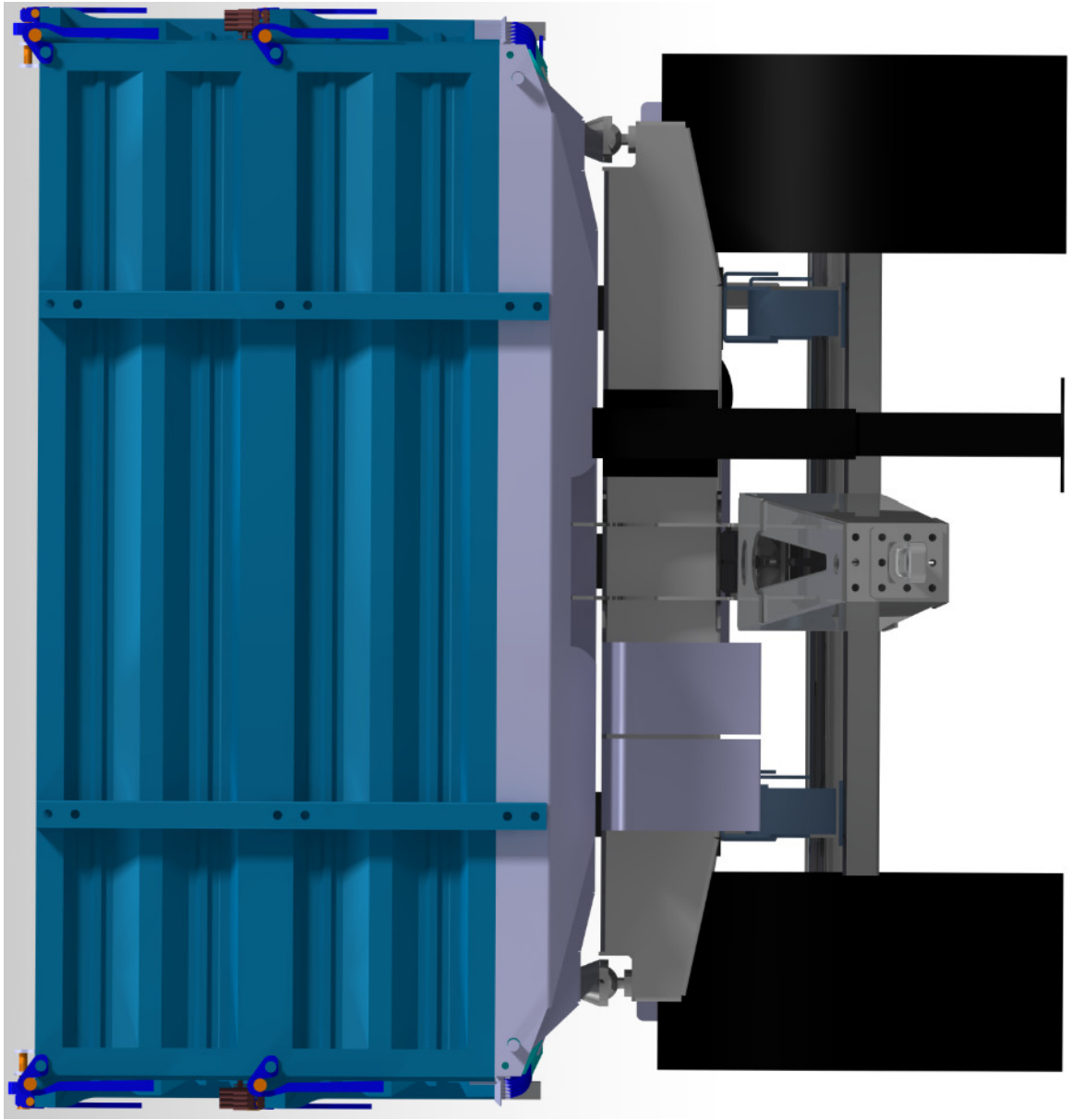
Příloha 1	Pohled na návěs v základní poloze zepředu	I
Příloha 2	Pohled na návěs v základní poloze zezadu	II
Příloha 3	Pohled na návěs v základní poloze z boku	III
Příloha 4	Pohled na návěs při vyklápění dozadu	IV
Příloha 5	Pohled na návěs při vyklápění do boku	V
Příloha 6	Rám nástavby - zatěžovací stav stání, přímá jízda	VI
Příloha 7	Rám nástavby - zatěžovací stav vyklápění do boku	VII
Příloha 8	Rám nástavby - zatěžovací stav vyklápění dozadu	VIII
Příloha 9	Rám nástavby - zatěžovací stav akcelerace	IX
Příloha 10	Rám nástavby - zatěžovací stav brzdění	X
Příloha 11	Rám nástavby - zatěžovací stav průjezd zatáčkou	XI
Příloha 12	Rám nástavby - zatěžovací stav kombinace zatěžovacích stavů	XII
Příloha 13	Rám podvozku - zatěžovací stav stání, přímá jízda	XIII
Příloha 14	Rám podvozku - zatěžovací stav vyklápění dozadu/do boku	XIV
Příloha 15	Rám podvozku - zatěžovací stav akcelerace	XV
Příloha 16	Rám podvozku - zatěžovací stav brzdění	XVI
Příloha 17	Rám podvozku - zatěžovací stav průjezd zatáčkou	XVII
Příloha 18	Rám podvozku - zatěžovací stav kombinace zatěžovacích stavů	XVIII

Seznam samostatných příloh

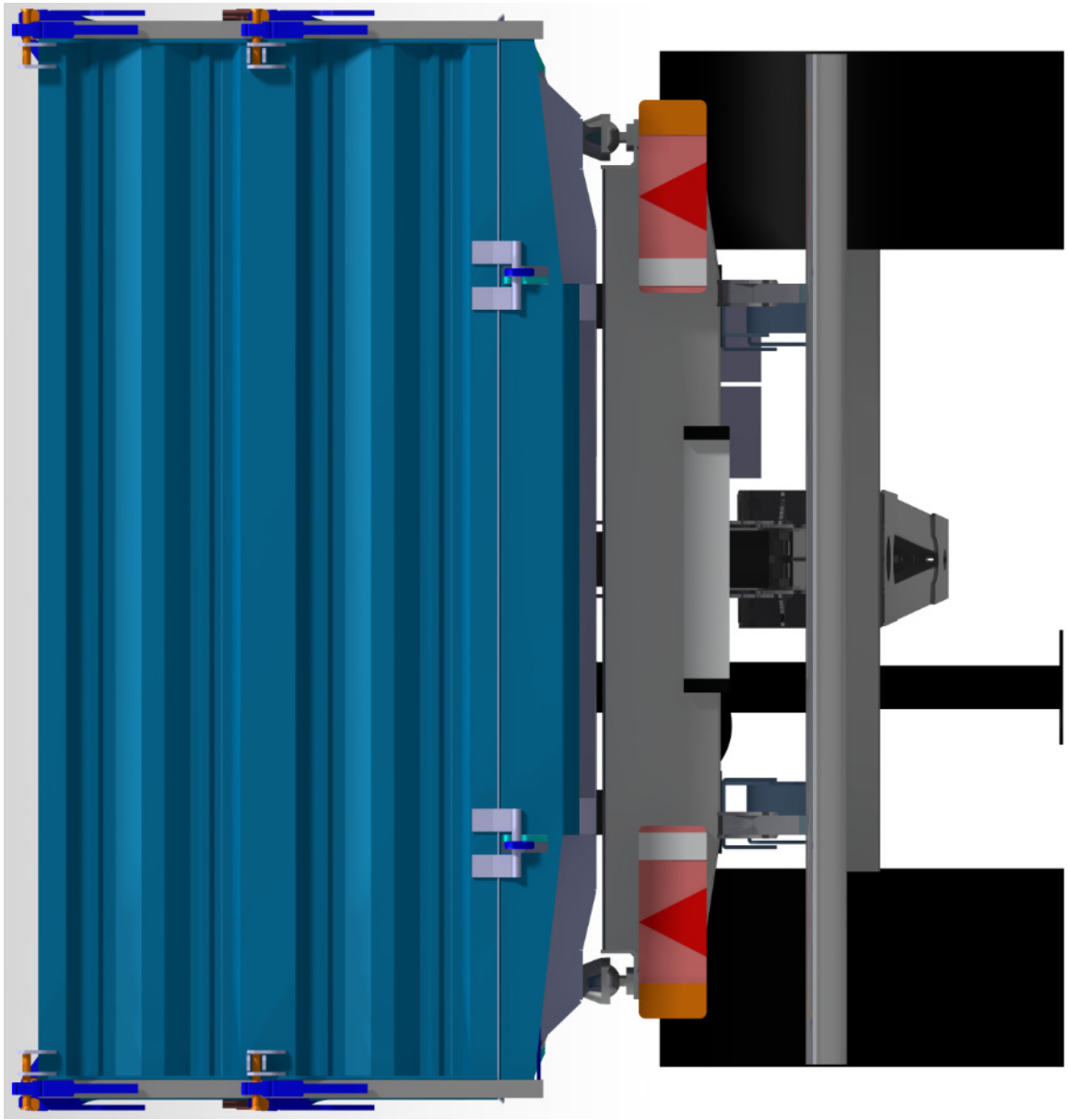
Výkres sestavy:	Třístranně sklápěný návěs s tandemovou nápravou	1-DP-2	1ks
Výkres svařence:	Rám podvozku	3-DP-2	1ks
Kusovníky:	Třístranně sklápěný návěs s tandemovou nápravou	2-DP-1	1ks
	Rám podvozku	3-DP-4	1ks
Výrobní výkresy:	Podélný nosník - pravý	4-DP-3	1ks
	Příčný nosník	5-DP-3	1ks
Katalogový výkres:	třístranně sklápěný návěs s tandemovou nápravou	1-DP-1	1ks
Model:	Model návěsu s korbou ve formátu .stp	11-00-11	1ks

Přílohy

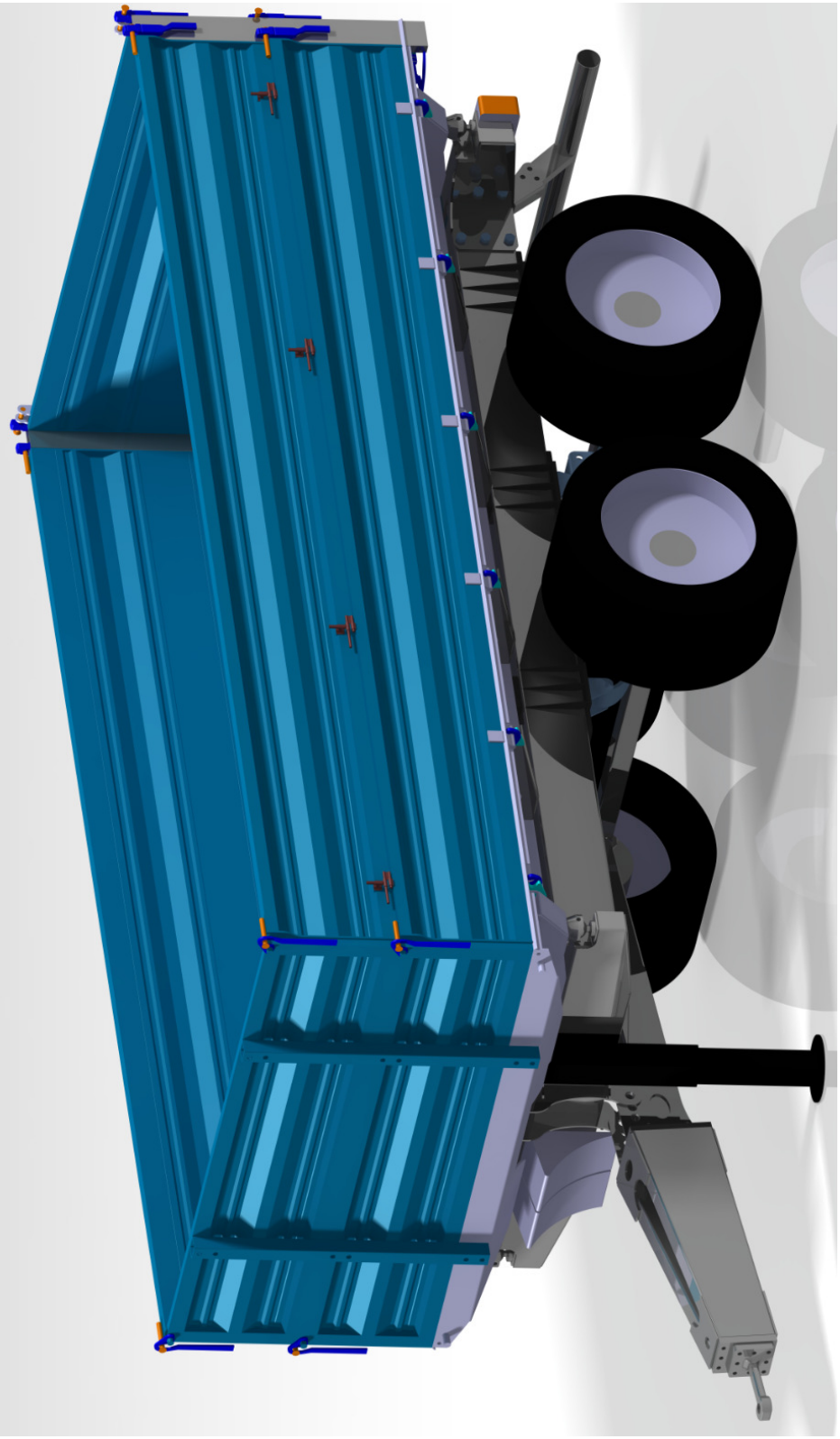
Příloha 1. Pohled na návěs v základní poloze zepředu



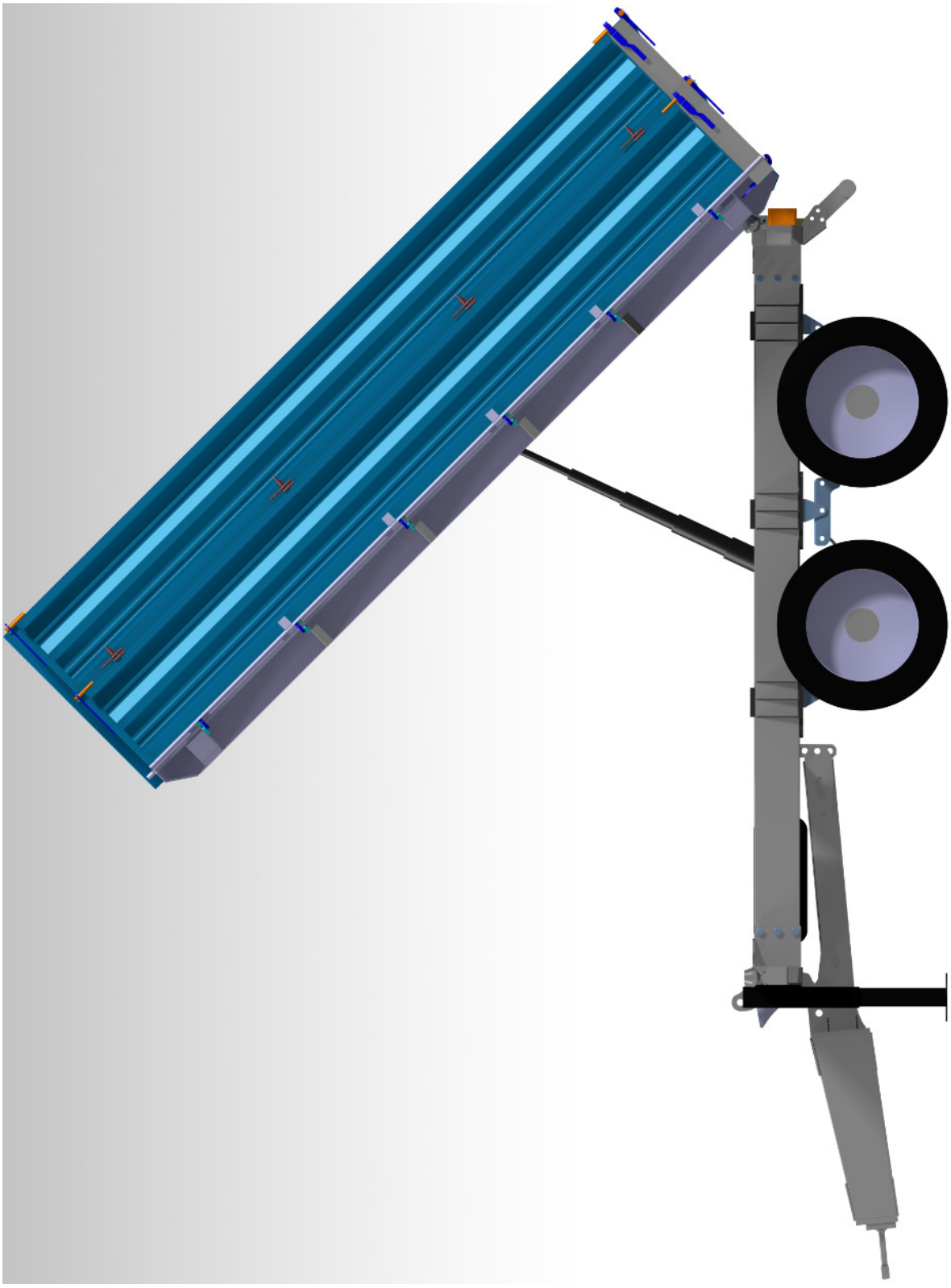
Příloha 2. Pohled na návěs v základní poloze zezadu



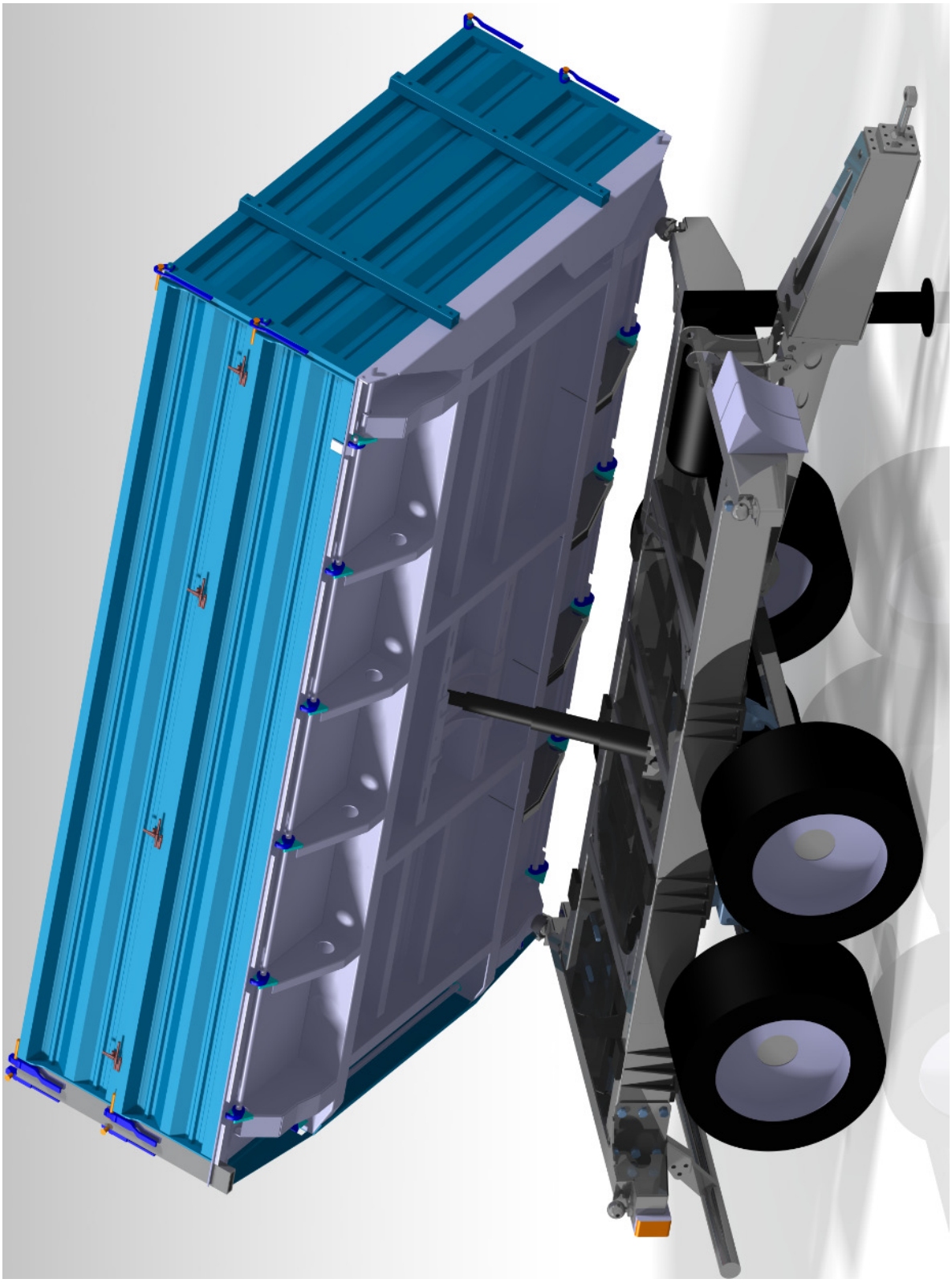
Příloha 3. Pohled na návěs v základní poloze z boku



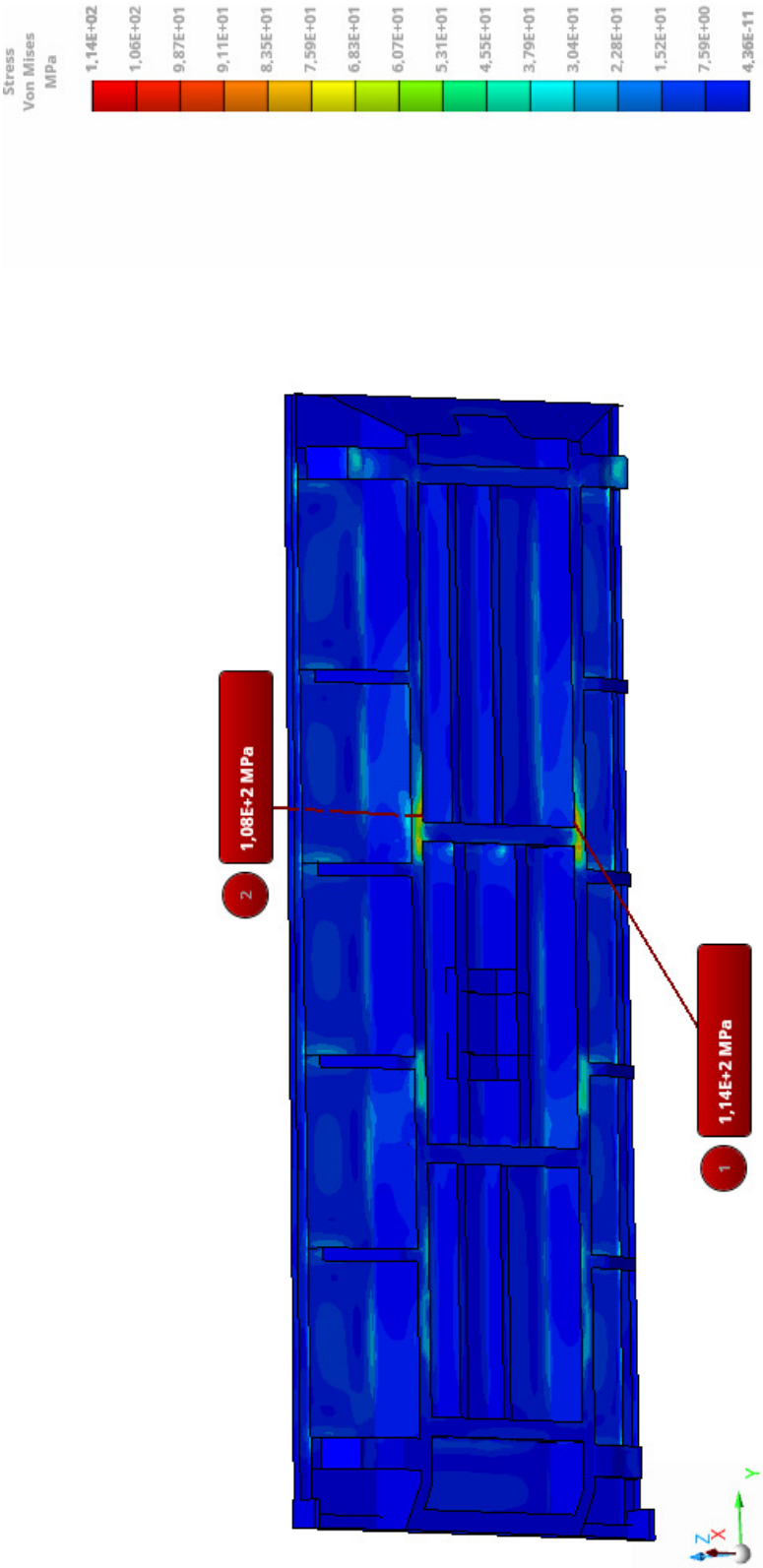
Příloha 4. Pohled na návěs při vyklápění dozadu



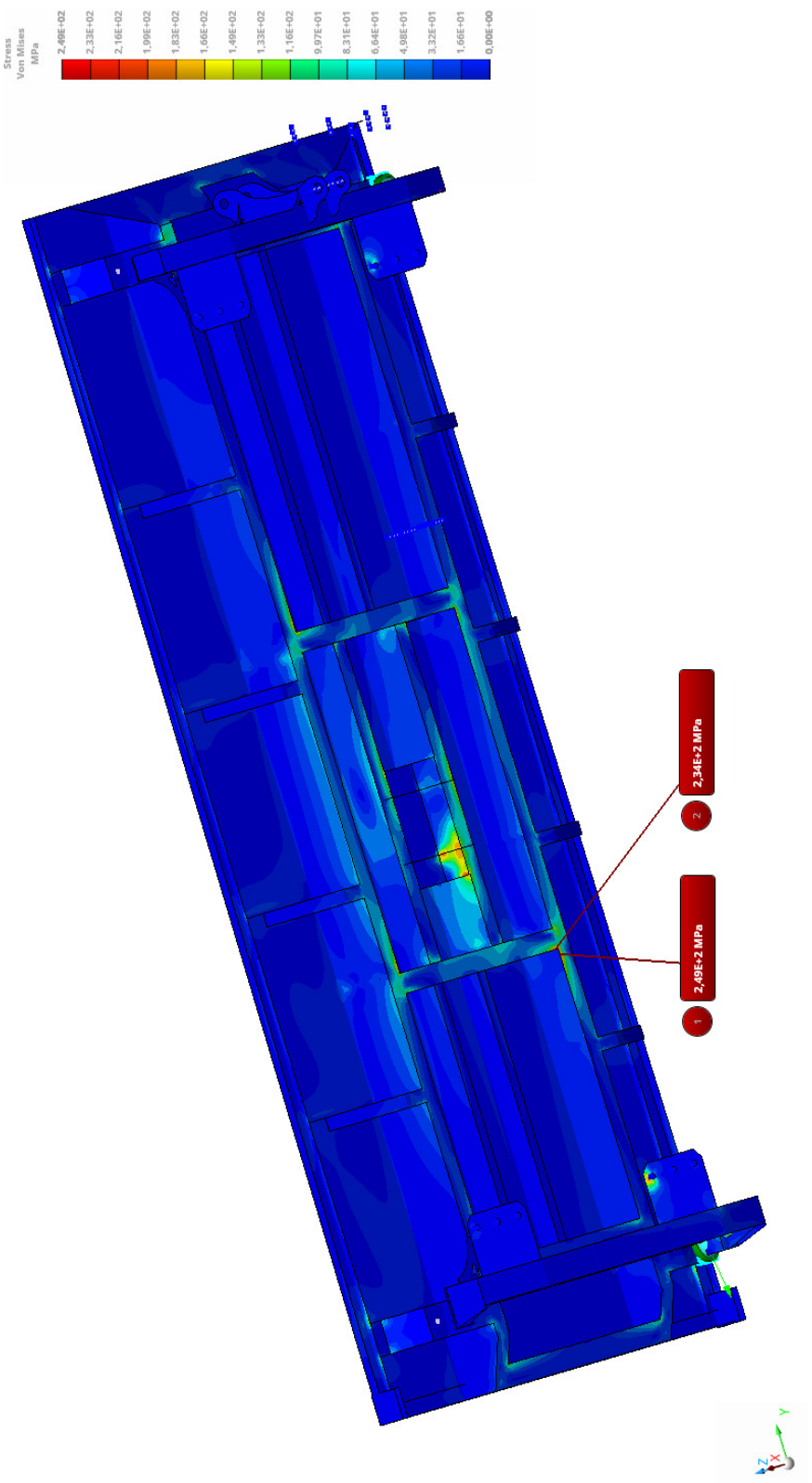
Příloha 5. Pohled na návěs při vyklápění dozadu



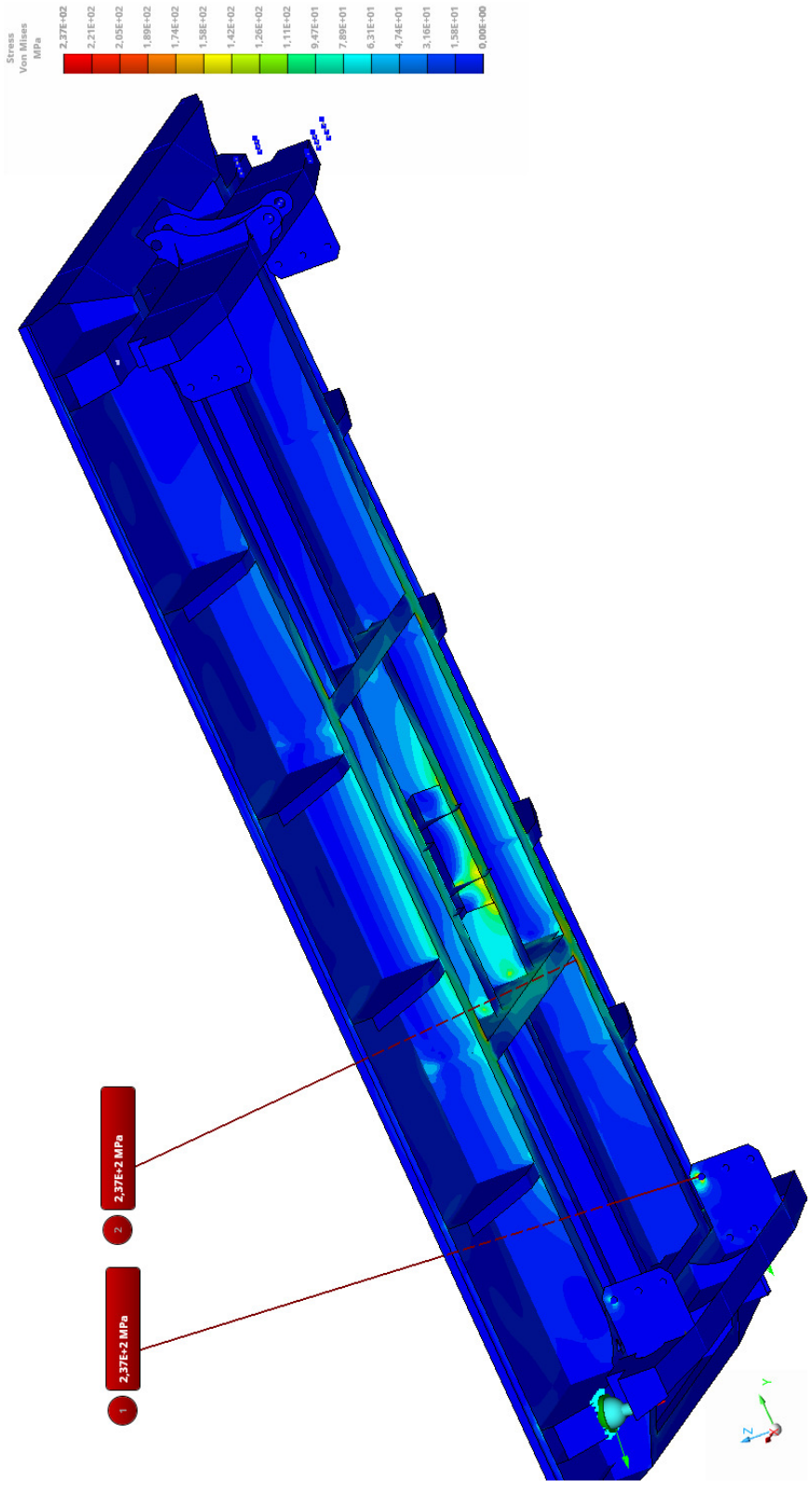
Příloha 6. Rám nástavby - zatěžovací stav stání, přímá jízda



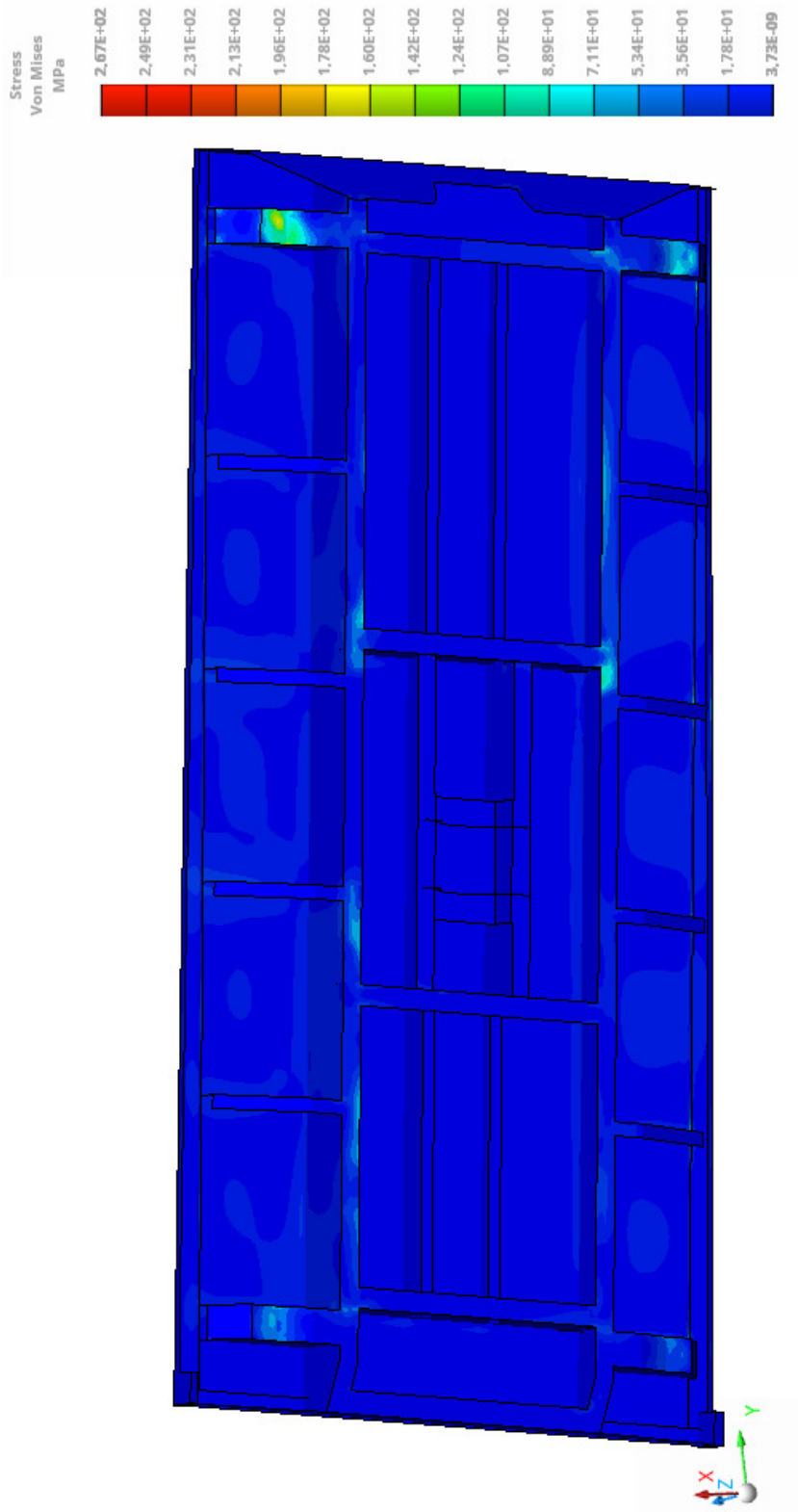
Příloha 7. Rám nástavby - zatěžovací stav vyklápění do boku



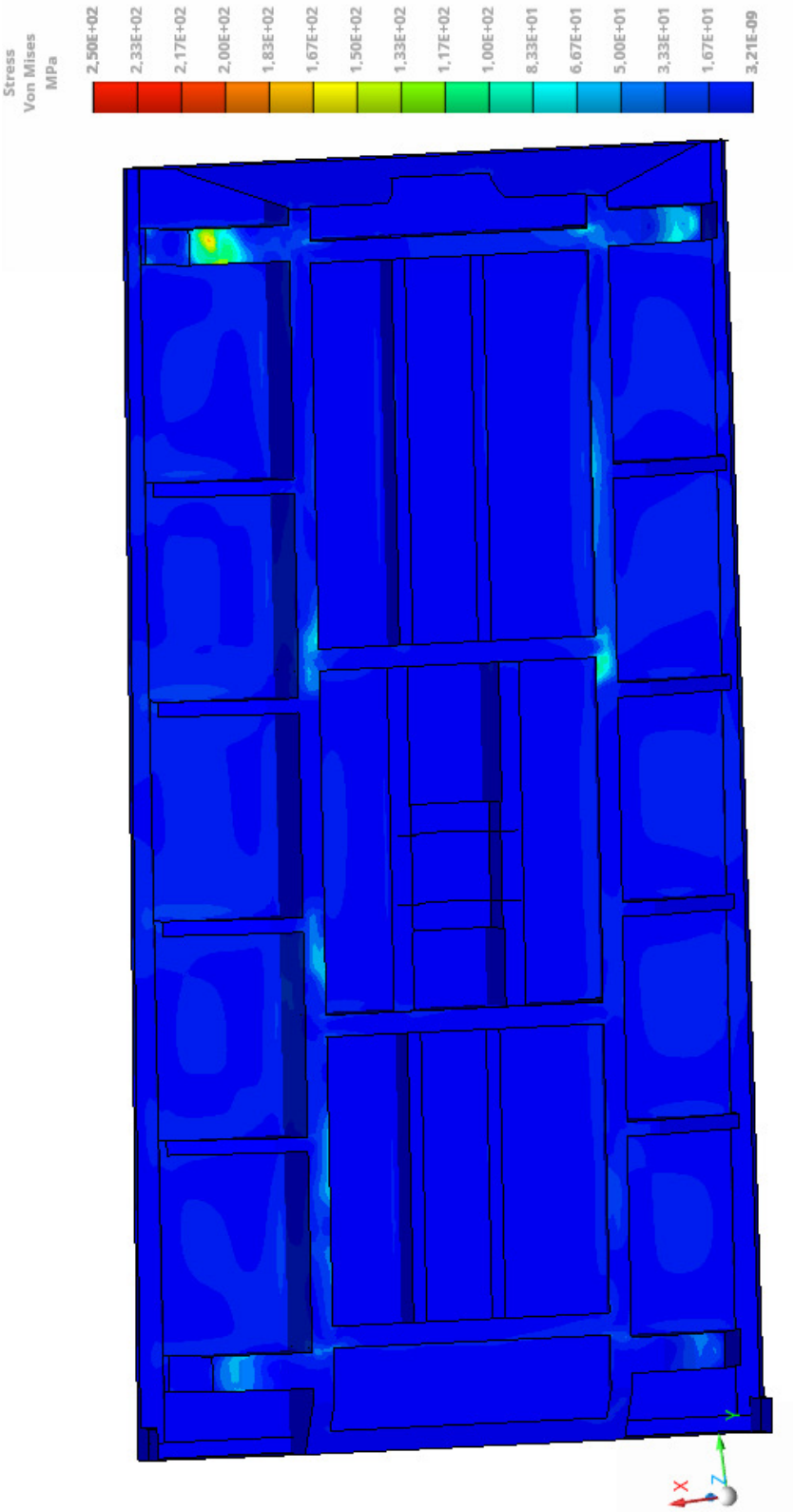
Příloha 8. Rám nástavby - zatěžovací stav vyklápění dozadu



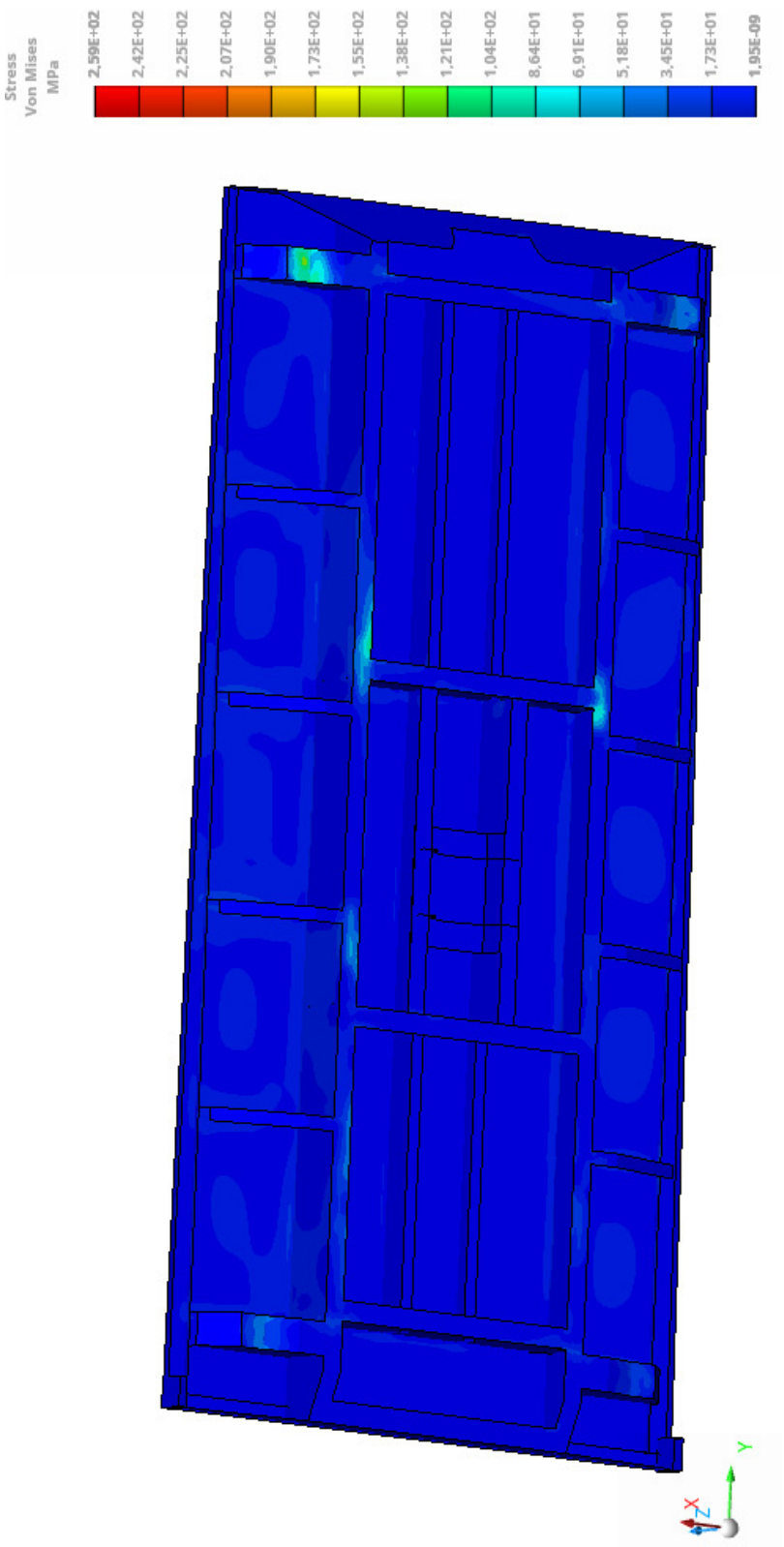
Příloha 9. Rám nástavby - zatěžovací stav akcelerace



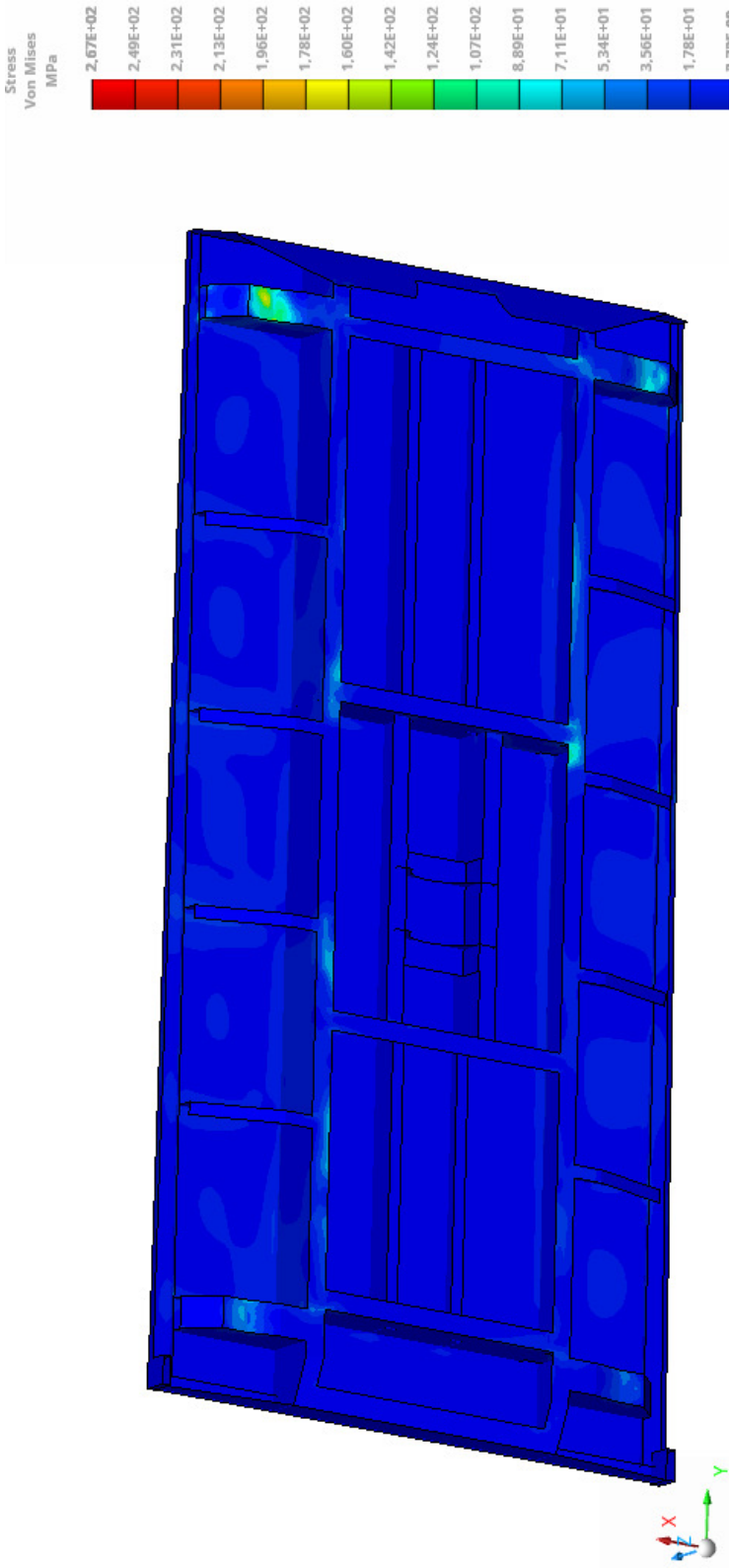
Příloha 10. Rám nástavby - zatěžovací stav brzdění návěsem



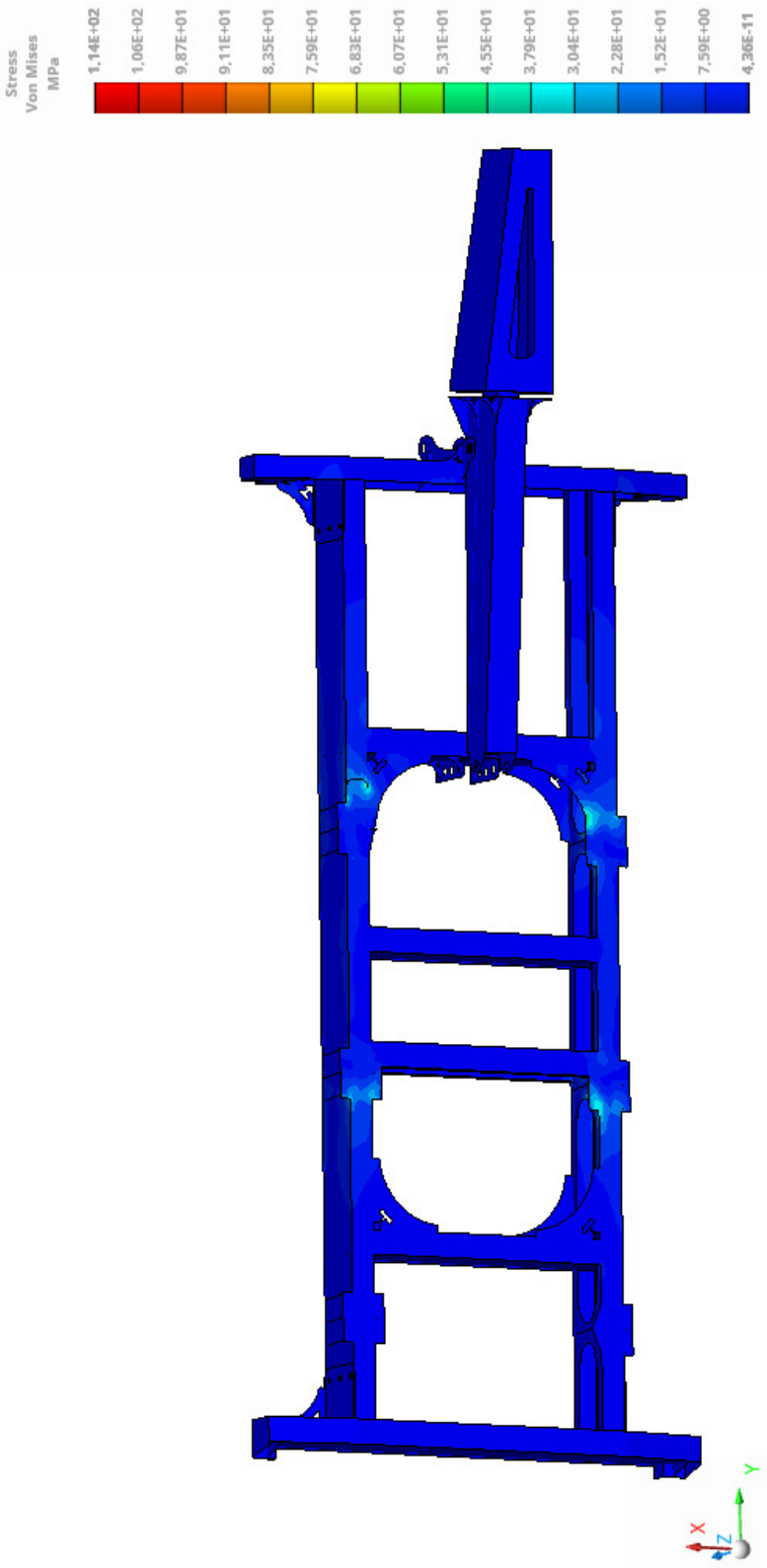
Příloha 11. Rám nástavby - zatěžovací stav průjezd zatáčkou



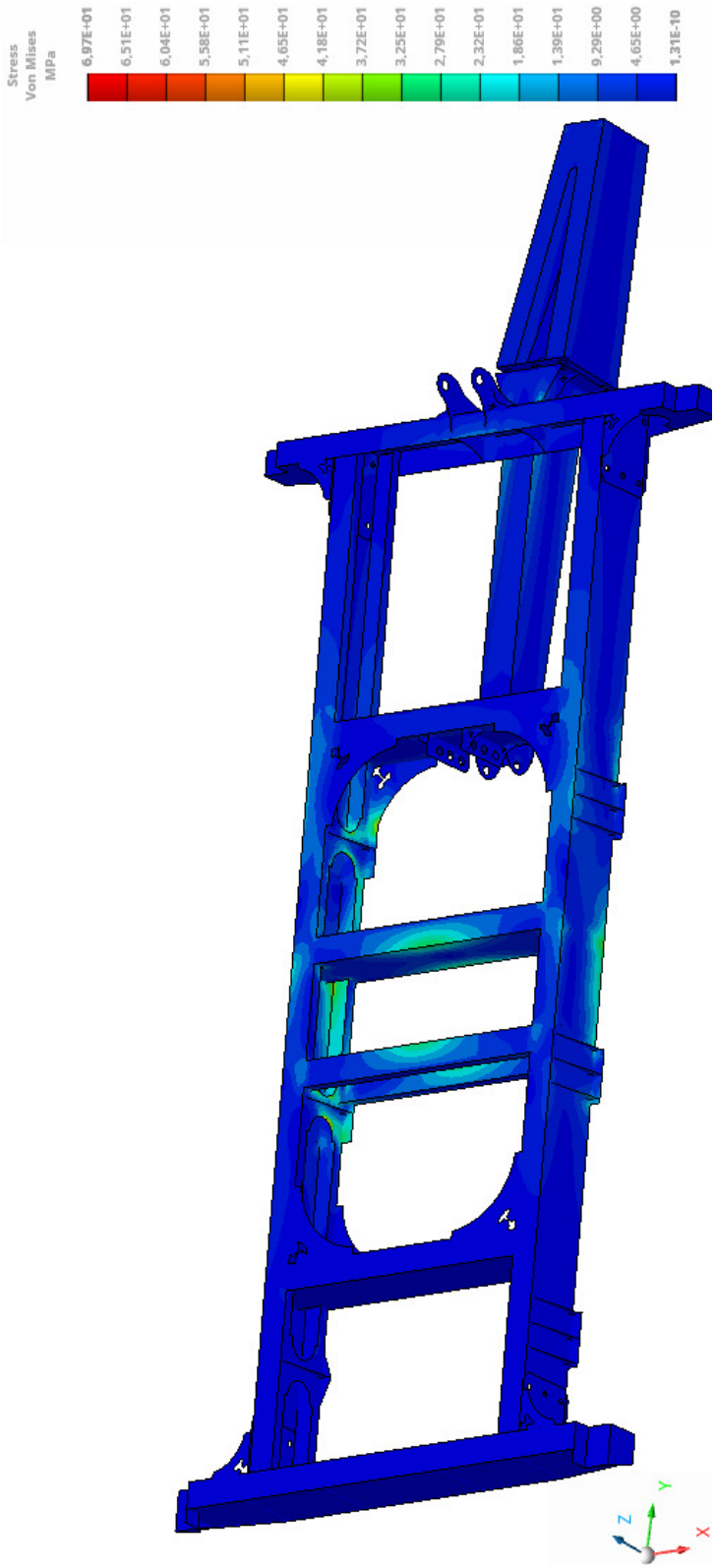
Příloha 12. Rám nástavby - zatěžovací stav kombinace zatěžovacích stavů



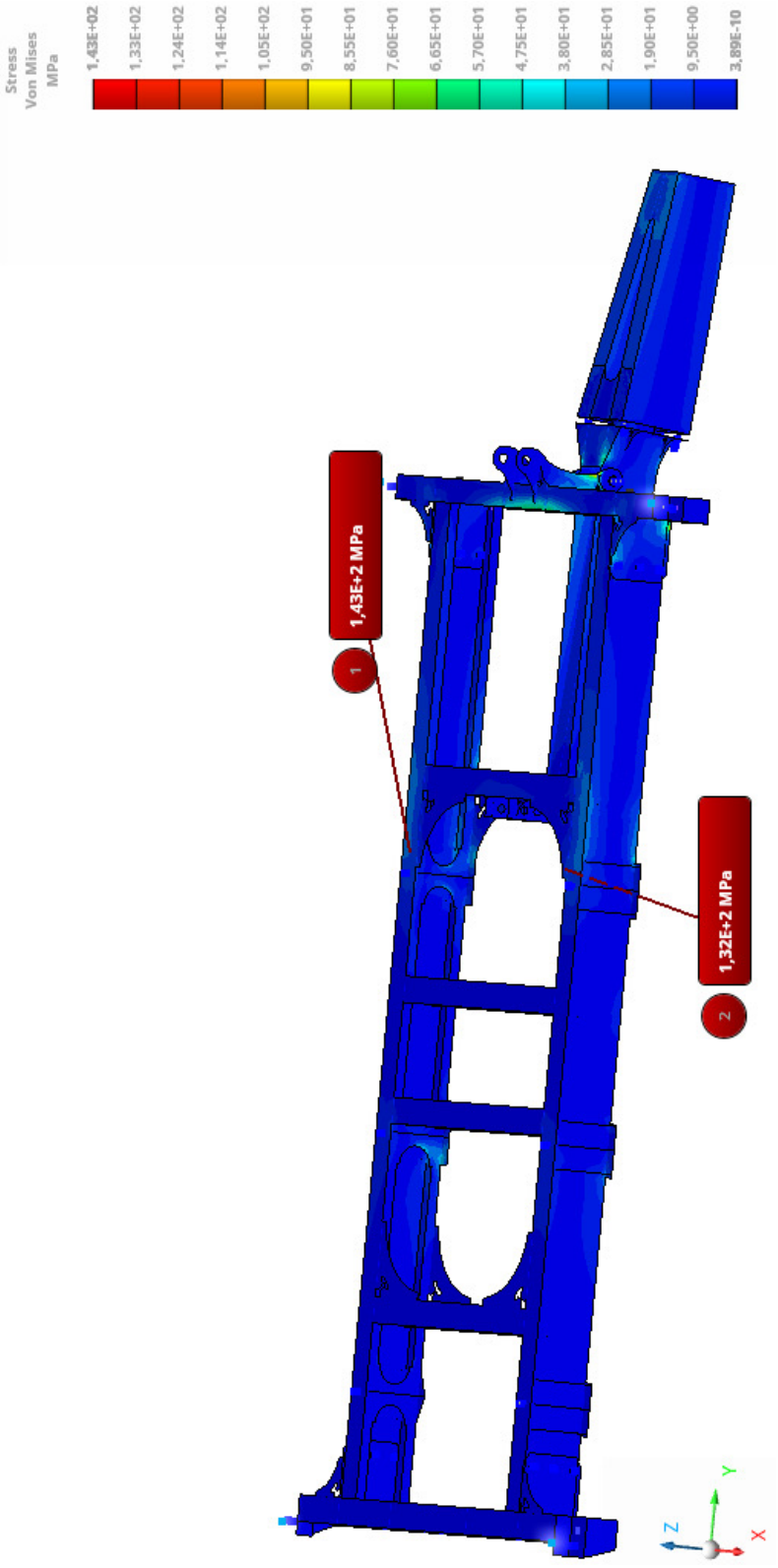
Příloha 13. Rám podvozku - zatěžovací stav stání přímá jízda



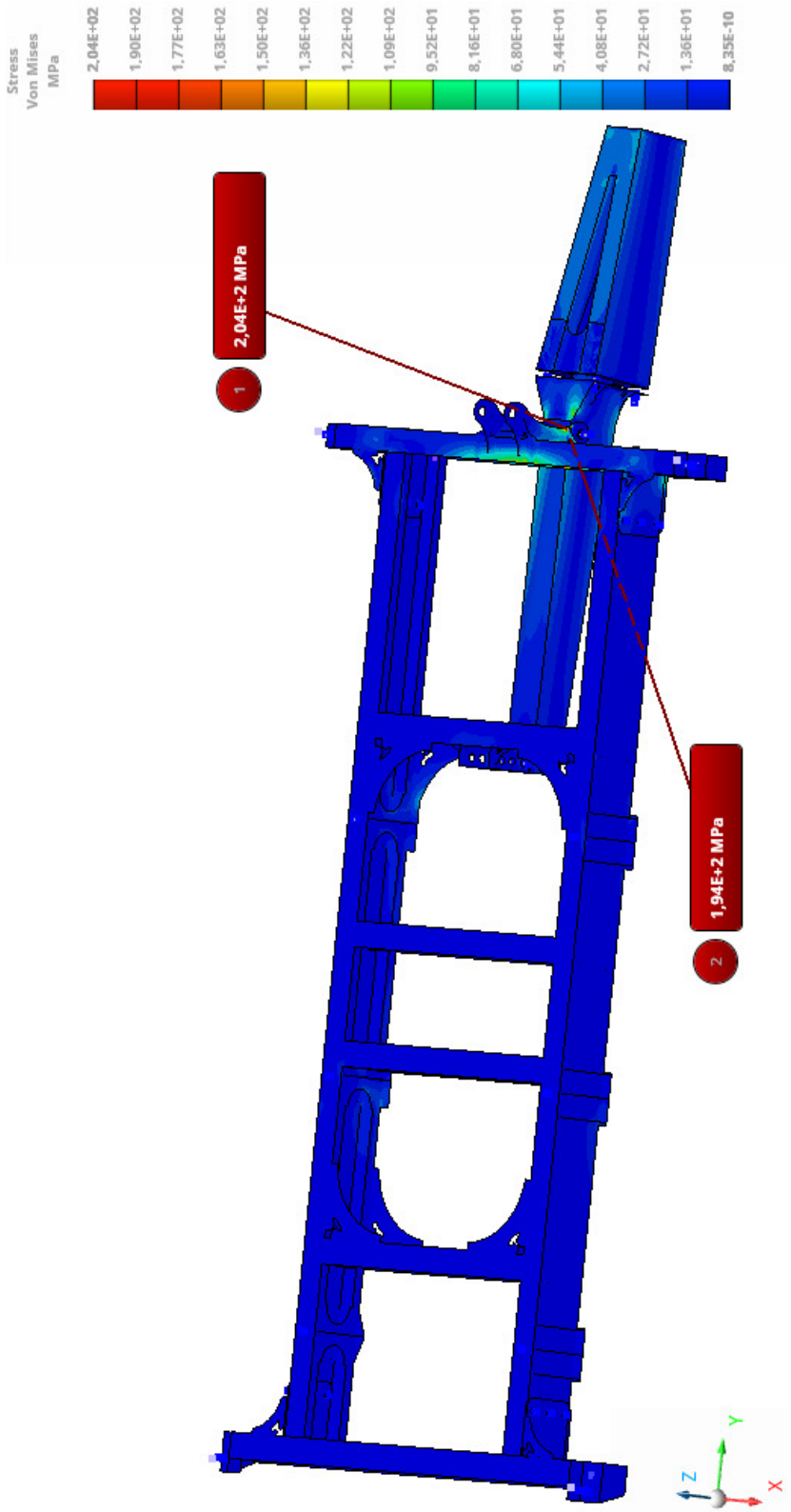
Příloha 15. Rám podvozku - zatěžovací stav vyklápění dozadu/do boku



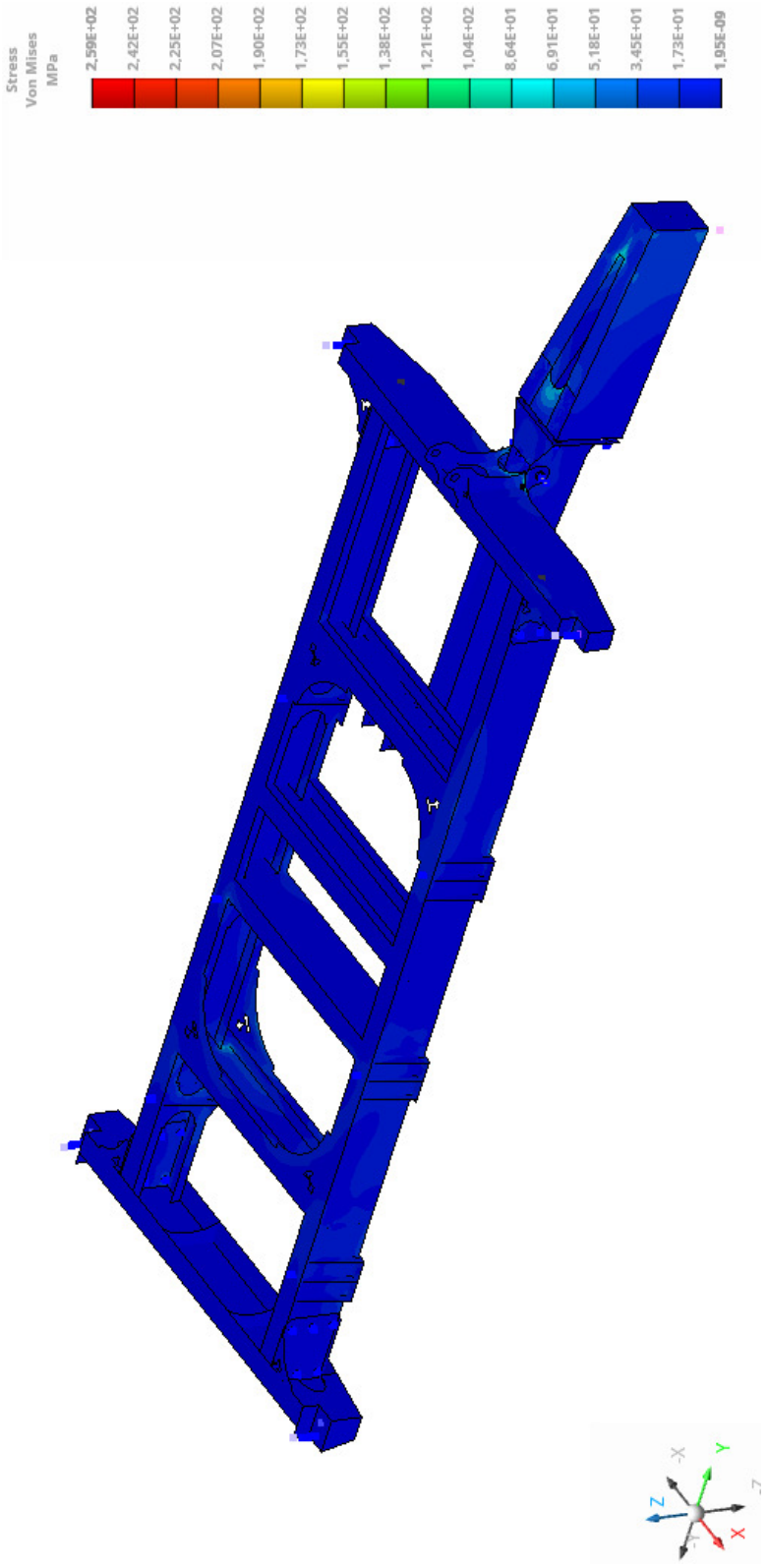
Příloha 16. Rám podvozku - zatěžovací stav akcelerace



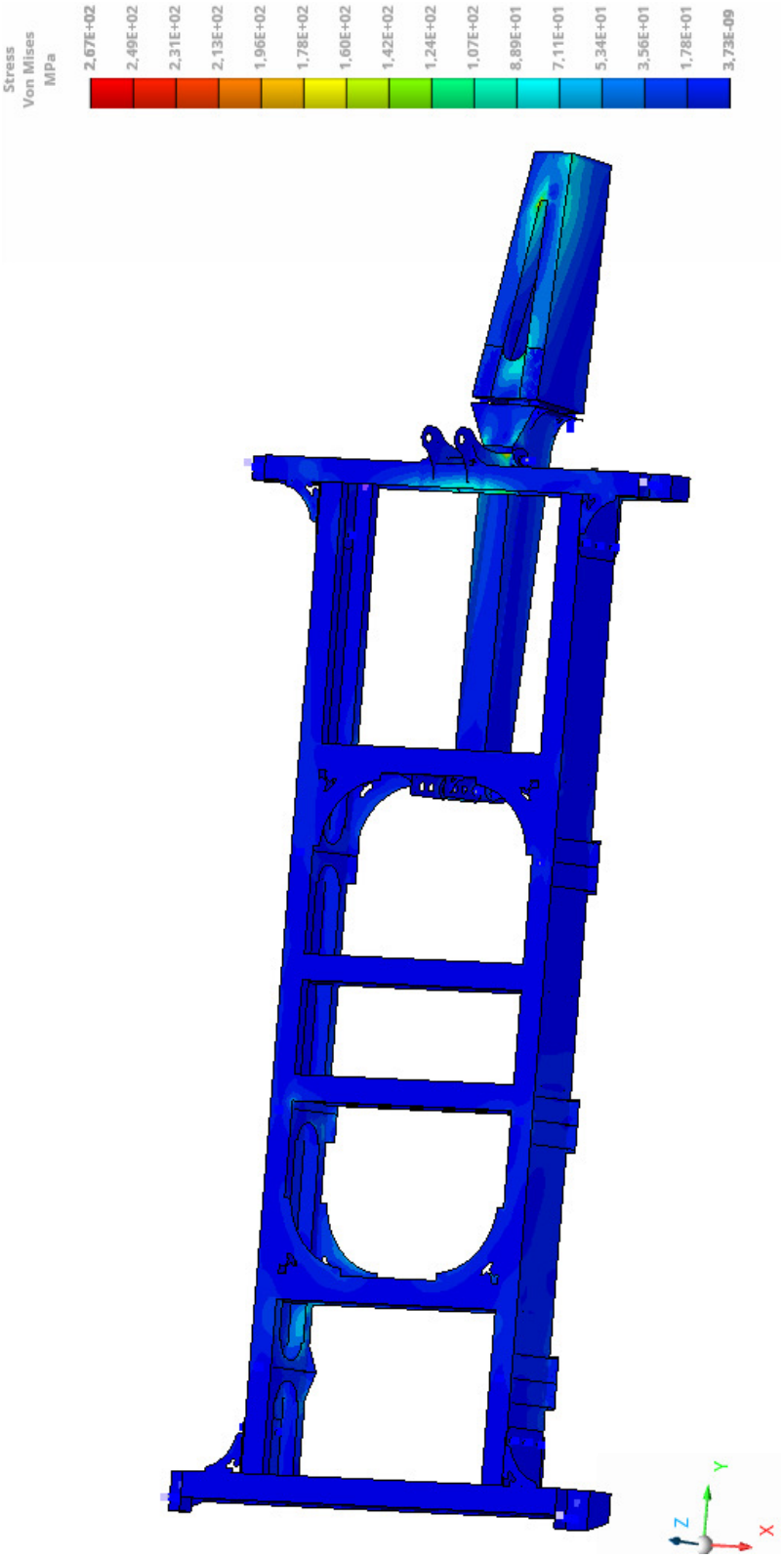
Příloha 17. Rám podvozku - zatěžovací stav brzdění



Příloha 18. Rám podvozku - zatěžovací stav průjezd zatáčkou



Příloha 19. Rám podvozku - zatěžovací stav kombinace zatěžovacích stavů



Příloha 19. Tabulka parametrů obdobných řešení návěsů

	Maximální rychlost	Vnitřní délka platformy	Vnitřní šířka platformy	Výška bočnice	Profil rámu	Přípojná celková hmotnost	Užitečné zatížení	Kola
Strautmann STK 1002	40 km/h	4560 mm	2125-2200 kónická	500 + 500 mm	dvojitý C	10000 kg	7200 kg	12.5/80-18
WTC Pisečná BIG 12.9	40 km/h	4600 mm	2340 mm	1200 mm	obdélníkový jäkl	12000 kg	8500 kg	400/60-15,5 18
Farmtech TDK 1100S	25 km/h	4510 mm	2060-2160 mm	600+600 mm	obdélníkový jäkl 300x100x5	11000 kg	8200kg	15/55-17
JOSKIN	40 km/h	4525mm	2420 mm	500+500 mm	obdélníkový jäkl 250x100x6	11000kg	8000 kg	400 R22,5
Fliegl TDK 110-88	25 km/h	4500 mm	2220/2170mm	500+500 mm	obdélníkový jäkl	11000kg	8200 kg	12,5/80-18 14 PR
Pronar T-663/2	30 km/h	4440mm	2240/2190 mm	500+500 mm	obdélníkový jäkl	11000kg	7000 kg	11,5/80-15,3
Pühringer 4121 T	25 km/h	4080 mm	2180/2080 mm	500+500	obdélníkový jäkl	10000 kg	7860 kg	19.0/45-17