



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

JEDNONÁPRAVOVÝ NÁVĚS 5T ZA TRAKTOR

SINGLE-AXLE SEMITRAILER 5T FOR A TRACTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Rosen Christov

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Rosen Christov
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

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:

Jednonápravový návěs 5t za traktor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Koncepční návrh konstrukce jednonápravového přípojného vozidla typu návěs se sklápěným valníkem. Konstrukce nástavby uzpůsobena pro třístranné sklápění. Bočnice navrženy pro nízké nebo dvojitě s možností spodního odjištění bočnic.

Technické parametry a požadavky:

Maximální nosnost traktorového návěsu 5 000 kg.

Maximální rychlost 40 km/h.

Rozměry ložné plochy 1850 x 3400 mm.

Typ brzdové soustavy – vzduchová.

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.

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.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá rešerší obdobných návěsů hmotnostní kategorie a rešerší legislativních předpisů pro provoz po pozemních komunikacích, pro danou kategorii přípojného vozidla. Dále obsahuje návrh konstrukce návěsu a jeho komponent, s následným ověřením nosných rámu pomocí metody konečných prvků. Poslední částí práce je výkresová dokumentace v rozsahu dle zadání.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vyklápěcí návěs, zemědělská technika, pevnostní kontrola, MKP, metoda konečných prvků

ABSTRACT

This master's thesis contains research of semi-trailers within similar weight category and research of road traffic laws for appropriate trailer category. Next part consists of semi-trailer construction design and its components. Followed by stress analysis of supporting frames by finite element method. Last part of the thesis is drawing documentation to the extend specified in assignment.

KEYWORDS

Tipping semi-trailer, tipper, agricultural machinery, stress analysis, FEM, finite element method

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHRISTOV, R. *Jednonápravový návěs 5t za traktor*. Brno, 2022. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Jaroslav Kašpárek. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139400>.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Kašpárka, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2022

.....

Rosen Christov

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Pavlu Fajkusovi z firmy Famamont s.r.o. za poskytnutí příležitosti vypracování diplomové práce a za trpělivost a ochotu, se kterou se mi při konzultacích věnoval. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky.

OBSAH

Úvod.....	10
1 Přípojná vozidla	11
1.1 Jednoúčelové návěsy	12
1.2 Víceúčelové návěsy	12
2 Obdobné návěsy hmotnostní kategorie na trhu	13
2.1 ZDT – NS7.3	13
2.2 WTC – BIG 7.5	14
2.3 UMEGA – SPT 5	14
2.4 FARMTECH – EDK 650	15
2.5 Tabulka s parametry vybraných návěsů	15
3 Legislativní předpisy	16
3.1 Kategorie vozidel	16
3.2 Vyhláška č. 209/2018 Sb.	17
3.2.1 Spojitelnost z pohledu hmotnosti přípojného vozidla a souprav	17
3.2.2 Spojitelnost vozidel v jízdní soupravu	17
3.2.3 Největší povolené hmotnosti a rozdělení na nápravy	18
3.2.4 Rozměry vozidel a jízdních souprav včetně nákladu	19
4 Konstrukční prvky návěsu	20
4.1 Rám podvozku.....	20
4.2 Náprava	21
4.3 Oj.....	21
4.4 Závěsné zařízení	21
4.5 Nástavba návěsu	23
5 Návrh konstrukce návěsu	24
5.1 Rám podvozku.....	25
5.2 Rám nástavby	26
5.3 Náprava	27
5.3.1 Upevnění nápravy	27
5.3.2 Pneumatiky.....	28
5.3.3 Disky	29
5.4 Hydraulický válec.....	30
5.5 Uložení nástavby	33
5.6 Bočnice.....	34
5.7 Ovládání bočnic.....	34
5.8 Závěsné oko.....	35
5.9 Podpěrné kolo.....	36
5.10 Další zařízení	36
6 Zátěžové stavy.....	37
6.1 Statická poloha, přímá jízda	37
6.2 Vyklápění dozadu.....	37
6.3 Vyklápění do boku	38
6.4 Akcelerace	38

6.5	Brzdění.....	38
6.5.1	Vyrovnané brzdění	38
6.5.2	Brzdění pouze tažným strojem	39
6.5.3	Brzdění pouze návěsem	39
6.6	Průjezd zatáčkou	39
6.7	Kombinace zátěžových stavů.....	40
6.8	Výpočet mezních stavů únosnosti.....	40
6.8.1	Konstrukční ocel S235JRG2 (ČSN 11 375).....	40
6.8.2	Konstrukční ocel S355J2G3 (ČSN 11 523).....	41
7	MKP analýza.....	42
7.1	Tvorba modelu.....	42
7.2	Nahrazení nákladu	43
7.3	Nahrazení uložení návěsu	44
7.4	Nahrazení uložení hydraulického válce	45
7.5	Nahrazení závěsného oka.....	45
7.6	Nahrazení nápravy	46
7.6.1	Tuhost pneumatik	46
7.7	Vazby pro program Ansys Workbench.....	47
8	Výsledky pevnostní analýzy	49
8.1	Rám nástavby.....	49
8.1.1	Stání, přímá jízda	49
8.1.2	Vyklápění dozadu	50
8.1.3	Vyklápění do boku	50
8.1.4	Akcelerace a brzdění	51
8.1.5	Průjezd zatáčkou.....	51
8.2	Rám podvozku	52
8.2.1	Stání, přímá jízda.....	52
8.2.2	Vyklápění dozadu.....	52
8.2.3	Vyklápění do boku	53
8.2.4	Zrychlení.....	53
8.2.5	Brzdění	54
8.2.6	Průjezd zatáčkou.....	54
	Závěr	56
	Použité informační zdroje.....	57
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	60
	Seznam příloh	61
	Seznam samostatných příloh	61

ÚVOD

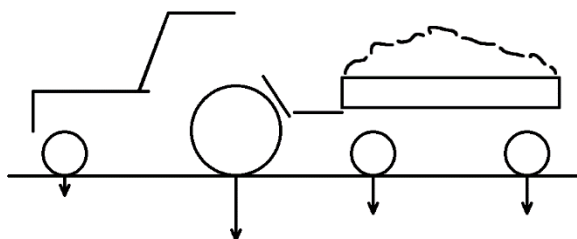
Všechna odvětví v hospodářství jsou různou intenzitou spojena s dopravními procesy. V zemědělství je tato intenzita jednou z největších. Je to dáno zvláštnostmi zemědělské výroby, jejím plošným charakterem, sezónností, mechanicko-fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi přepravovaných materiálů atd. Spotřeba zemědělských produktů se stále zvyšuje, následkem neustálého nárůstu populace na Zemi, to klade stále vyšší nároky na zemědělství a dopravu s ním spojenou. Plocha zemědělské půdy je sice omezena, ale intenzifikací výroby na těchto plochách, je třeba odvážet stále více produktů, a naopak dovážet materiály potřebné k výrobě. Zvyšování technické a exploatační úrovně zemědělských strojů a zařízení, musí být doprovázeno i změnami ve struktuře materiálového toku. Jinak by doprava mohla zapříčinit přímý nárůst nákladů na výrobu zemědělských produktů. Teprve doprava uzavírá a dokončuje výrobní proces.

Zemědělská doprava se dělí na dva typy dopravy. Prvním typem dopravy jsou traktorová přípojná vozidla a druhým typem jsou nákladní automobily. Dříve bylo využíváno hlavně nákladních automobilů a traktorů o nižším výkonu. Došlo však ke zvratu a začaly se více využívat traktorové soupravy, protože dokážou plnohodnotně nahradit nákladní automobil (ve vnitřní dopravě), přičemž náklady jsou mnohem nižší. Další výhodou je dostupnost traktoru i do velmi těžkých terénů, případně jejich využití i při dalších různých zemědělských činnostech. Nevýhodou nákladních automobilů je také absence zemědělské výbavy, bez které způsobují velké škody na poli. To mělo za následek nárůst jmenovitých výkonů traktorů, čímž se zvětšil ložný objem návěsů, celková hmotnost návěsů a přepravní rychlosti. Začaly se objevovat návěsy se dvěma, třemi a výjimečně i čtyřmi nápravami. Nákladní automobily se však využívají dodnes, a to hlavně při přepravě na delší vzdálenosti (vnější doprava) nebo při dělené dopravě. [1][2][3]

1 PŘÍPOJNÁ VOZIDLA

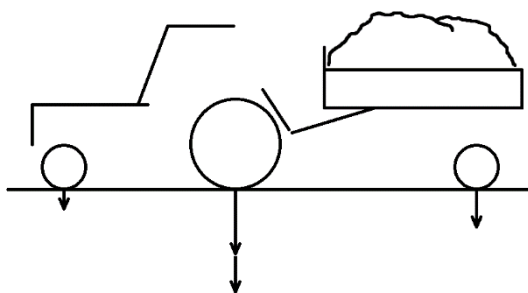
Z hlediska základní konstrukce podvozku lze přípojná vozidla rozdělit na přívěsy a návěsy. Rozdíl mezi přívěsem a návěsem spočívá v rozdílném zatížení náprav přípojného vozidla a tažného zařízení.

Přívěs (*Obr. 1*) má alespoň dvě nápravy, z nichž jedna má řídicí mechanismus. Celou hmotnost přívěsu a nákladu přenáší nápravy přívěsu. Tažné zařízení, v tomto případě traktor, zajišťuje přenos sil pouze ve vodorovném směru.



Obr. 1 Přívěs

Návěs (*Obr. 2*) se od přívěsu liší tím, že část své hmotnosti přenáší na připojovací zařízení tahače (traktoru). Důvodem návěsového uspořádání je, že přenosem části své hmotnosti na traktor umožňuje zvýšit zatížení hnací nápravy traktoru, čímž zajistí vyšší přenos třecí síly mezi pneumatikami a podložkou a tím dosáhne vyšší tažné síly při stejném výkonu motoru. Přenos hmotností návěsu na traktor je omezen maximálním povoleným zatížením připojovacího zařízení traktoru. Vyššího zatížení hnací nápravy u traktoru s přívěsem, se dosahuje přidavným závažím v zadních kolech. To má však velikou nevýhodu při brzdění traktoru, zejména ve vyšších rychlostech.



Obr. 2 Návěs

Návěsy jsou díky přenosu části své hmotnosti na traktor relativně lehčí a poměr provozní hmotnosti k užitečné hmotnosti je výhodnější, což se příznivě projeví na prodejní ceně. Návěsové podvozky jsou také mnohem častěji používány, jako nosiče speciálních nástaveb, protože návěs má lepší jízdní vlastnosti a ovladatelnost a také se s ním lépe couvá.

Nevýhodou návěsu je špatná manévrovatelnost při jeho odpojení, pokud je vybaven opěrným kolečkem, nebo i nemožná, má-li pouze podpěru. Návěsy mají také menší svahovou dostupnost vzhledem ke své nižší statické stabilitě. Musí mít také vůči přívěsům větší tuhost rámu. [1][2][3]

Z hlediska konstrukce a využitelnosti můžeme přípojná vozidla rozdělit na návěsy jednoúčelové a víceúčelové.

1.1 JEDNOÚČELOVÉ NÁVĚSY

Jediný rozdíl mezi jednoúčelovými a víceúčelovými návěsy je ten, že u jednoúčelových návěsů nelze měnit jednotlivé typy nástaveb, protože nástavba je pevně spojena s rámem.

Takže jak mezi jednoúčelové návěsy, tak i mezi víceúčelové návěsy se řadí různé druhy cisteren, nosičů kontejnerů, rozmetadel hnojiv, senážních vozů, sběracích vozů, krmných vozů, překládacích vozů či speciálních přepravníků (podvalníky, přepravníky na válcové a kvádrové balíky nebo přepravníky na dobytek). Dále také vanové korby s bočnicemi (jednostranně, dvoustranně nebo třístranně sklápěné, případně s výtlačným čelem). Základní objem korby je dán šířkou, délkou a výškou ložné plochy s pevnými bočnicemi. Pevné bočnice bývají přizpůsobeny k nasazení přídatných bočnic, které umožňují zvětšení ložného objemu návěsu. [1][14][15]

1.2 VÍCEÚČELOVÉ NÁVĚSY

Víceúčelové návěsy se skládají ze dvou hlavních částí. První částí je univerzální podvozek a druhou částí je nástavba, která je upevněna k podvozku. Rovněž se mezi víceúčelové návěsy řadí hákové nosiče kontejnerů nebo víceúčelové sběrací a řezací vozy, které spadají pod sklizňovou techniku. Jedná se především o dvounápravové, třínápravové, ale i čtyřnápravové návěsy. Hlavním smyslem víceúčelových návěsů je úspora finančních nákladů, protože jeden univerzální podvozek a několik nástaveb je ve výsledku levnější než několik jednoúčelových návěsů, kde je podvozek pevně spojen s nástavbou.



Obr. 3 Výměnné nástavby firmy ANNARBURGER [13]

K výměně se využívá hydropneumatické nebo vzduchové odpružení podvozku, přímočaré hydromotory umístěné na rámu podvozku nebo různé varianty mechanických řešení. Nástavba se po odpojení podvozku zvedne (případně se sníží výška podvozku), nástavba se opatří podpěrami a podvozek po uvolnění z prostoru pod nástavbou odjíždí. Připojení nástavby probíhá opačně (Obr. 3). [1][14][15]

2 OBDOBNÉ NÁVĚSY HMOTNOSTNÍ KATEGORIE NA TRHU

Dle zadání diplomové práce je úkolem vytvořit koncept jednonápravového návěsu s třístranným sklápěním, se vzduchovým brzdovým systémem, s maximální užitečnou hmotností 5 000 kg, s maximální rychlostí $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a s rozměry ložné plochy 1850 x 3400 mm.

Na základě těchto parametrů byly vybrány návěsy obdobných parametrů, které jsou dnes dostupné na trhu. Vybrané návěsy se nacházejí níže. Přehledná tabulka s parametry návěsů je uvedena na konci kapitoly (*Tab. 1*).

Mezi největší výrobce traktorových návěsů patří německé firmy Strautmann, Fliegl agrartechnik, Annaburger, Krampe, či Ludwig Bergmann. Dále firma Joskin z Belgie, slovinská firma Farmtech, polský Wielton a Pronar Sp. z o.o. a litevský výrobce zemědělské techniky Umega.

Mezi nejvýznamnější domácí výrobce zemědělských návěsů můžeme řadit firmy ZDT Nové Veselí, WTC Písečná, DEZA Jihlava a společnost PRODAG Zlín.

2.1 ZDT – NS7.3

Třístranně sklápěcí návěs NS7.3 (*Obr. 4*) je v základním provedení vybaven pneumatickými brzdami, ruční parkovací brzdou, manuálním regulátorem brzdného účinku, zakládacími klíny a v zadním čele se nachází výsypné okénko. Jako volitelné příslušenství jsou v nabídce nastavky bočnic, LED osvětlení a různé typy pneumatik.

Návěs je konstruován na maximální rychlost $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Nejvyšší celková hmotnost je 7000 kg. Maximální užitečná hmotnost je 5124/4929 kg (bez nastavky/s nastavkou). Užitečný objem je $4,4/8,8 \text{ m}^3$. Rozměry ložné plochy jsou 4010 x 2200 x 500/1000 mm. Ložná plocha se nachází ve výšce 1086 mm. Typ závěsu je oko o průměru 40 mm. [4]



Obr. 4 Třístranně sklápěcí návěs ZDT – NS7.3 [4]

2.2 WTC – BIG 7.5

Již ve standardním provedení je součástí návěsu BIG 7.5 (*Obr. 5*) odpružená náprava ADR ($40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), vzduchový brzdový systém, automatická parkovací brzda, automatický zátěžový regulátor tlaku brzd, třístranně sklopná korba, bočnice typu Fuhrmann atd.

Návěs je konstruován na maximální rychlost $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Nejvyšší celková hmotnost je 7000 kg. Maximální užitečná hmotnost je 5250 kg. Užitečný objem je $5/10 \text{ m}^3$. Rozměry ložné plochy jsou $4000 \times 2340 \times 500/1000 \text{ mm}$. Ložná plocha se nachází ve výšce 1080 mm. Typ závěsu lze vybrat - oko o průměru 40/50/80 mm. [5]



Obr. 5 Třístranně sklápěný návěs WTC – BIG 7.5 [5]

2.3 UMEGA – SPT 5

Návěs SPT 5 od firmy UMEGA (*Obr. 6*) je v základu vybaven pneumatickými brzdami a ruční parkovací brzdou. Všechny bočnice jsou odnímatelné, zadní čelo má výsypaný otvor.

Návěs je konstruován na maximální rychlost $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Nejvyšší celková hmotnost je 6800 kg. Maximální užitečná hmotnost je 5000 kg. Užitečný objem je $3,7/7,4 \text{ m}^3$. Rozměry ložné plochy jsou $4400 \times 2100 \times 400/800 \text{ mm}$. Ložná plocha se nachází ve výšce 1090 mm. Typ závěsu je oko o průměru 50 mm. [6]



Obr. 6 Třístranně sklápěný návěs UMEGA – SPT 5 [6]

2.4 FARMTECH – EDK 650

Třístranně sklápěný návěs od firmy FARMTECH typu EDK 650 (Obr. 7) je vybaven pneumatickým brzdovým systémem.

Návěs je konstruován na maximální rychlost $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Nejvyšší celková hmotnost je 6500 kg. Maximální užitečná hmotnost je 4500 kg. Užitečný objem je 4,5/9 m³. Rozměry ložné plochy jsou 4130 x 2150 x 500/1000 mm. Ložná plocha se nachází ve výšce 1070 mm. Typ závěsu je oko o průměru 40 mm. [7]



Obr. 7 Třístranně sklápěný návěs FARMTECH– EDK 6500 [7]

2.5 TABULKA S PARAMETRY VYBRANÝCH NÁVĚSŮ

V Tab. 1 jsou přehledně uvedeny parametry výše zmíněných obdobných návěsů nabízených v současné době na trhu.

Tab. 1 Porovnání parametrů obdobných návěsů [4][5][6][7]

	ZDT – NS7.3	WTC – BIG 7.5	UMEGA – SPT 5	FARMTECH – EDK 650
Nejvyšší celková hmotnost [kg]	7000	7000	6800	6500
Provozní hmotnost [kg]	1766/1961	1750	1800	2000
Užitečná hmotnost [kg]	5124/4929	5250	5000	4500
Užitečný objem [m ³]	4,4/8,8	5,0/10,0	3,7/7,4	4,5/9
Ložná plocha (dxšxv) [mm]	4010x2200 x500/1000	4000x2340 x500/1000	4400x2100 x400/800	4130x2150 x500/1000
Základní rozměry (dxšxv) [mm]	5569x2360 x1634/2131	5760x2500 x1580/2080	6150x2300 x1490/1890	5800x2350 x1624/2100
Nejvyšší povolená rychlost [$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$]	30	40	40	25
Počet náprav [ks]	1	1	1	1
Brzdový systém	vzduchový	vzduchový	vzduchový	vzduchový
Typ závěsu [mm]	oko Ø 40	oko Ø 40/50 nebo K-80	oko Ø 50	oko Ø 40

3 LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY

Všechna vlečná vozidla pohybující se na pozemních komunikacích, musí splňovat aktuální legislativní předpisy. Následující kapitola obsahuje jen vybrané části z předpisů, které přímo souvisí se zadáním této diplomové práce.

3.1 KATEGORIE VOZIDEL

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/519 ze dne 19. března 2019, kterým se mění nařízení (EU) č. 167/2013 ze dne 5. února 2013 o schvalování zemědělských a lesnických vozidel a dozoru nad trhem s těmito vozidly. Dělí zmíněná vozidla do těchto kategorií [10]:

- a) traktory (kategorie T a C);
 - „traktorem“ se rozumí každé motorové kolové nebo pásové zemědělské nebo lesnické vozidlo s nejméně dvěma nápravami a s maximální konstrukční rychlostí nejméně $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, jehož hlavní funkcí je vyvíjet tažnou sílu a které bylo speciálně konstruováno k tažení, tlačení, transportu a pohonu určitých výměnných zařízení konstruovaných k vykonávání zemědělských nebo lesnických prací nebo k tažení zemědělských nebo lesnických přípojných vozidel nebo zařízení může být přizpůsobeno k tomu, aby při zemědělských nebo lesnických pracích vezlo náklad nebo může být vybaveno jedním či více sedadly pro spolujezdce;
- b) přípojná vozidla (kategorie R);
 - „přípojným vozidlem“ se rozumí každé zemědělské nebo lesnické vozidlo určené hlavně k tomu, aby bylo taženo traktorem a určené hlavně k přepravě nákladu nebo ke zpracování materiálů, přičemž poměr celkové technicky přípustné maximální naložené hmotnosti k nenaložené hmotnosti tohoto vozidla je roven 3,0 nebo větší;
- c) výměnná tažená zařízení (kategorie S);
 - „výměnným taženým zařízením“ se rozumí každé vozidlo užívané v zemědělství nebo lesnictví, které je konstruováno tak, aby bylo taženo traktorem, a které mění nebo doplňuje jeho funkce, zahrnující trvale nástroj nebo konstruované ke zpracování materiálů, které může zahrnovat ložnou plošinu konstruovanou a vyrobenou k tomu, aby přijala nějaký nástroj a zařízení potřebné pro využití tohoto stroje, a může dočasně uskladnit jakýkoli materiál vytvořený nebo potřebný v průběhu prací, přičemž poměr celkové technicky přípustné maximální naložené hmotnosti k nenaložené hmotnosti tohoto vozidla je maximálně 3,0. [10]

Navrhovaný návěs v této diplomové práci spadá do kategorie R – přípojná vozidla, která se dále dělí na:

- 1) R1a/R1b: přípojná vozidla u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu nepřevyšuje 1 500 kg;
- 2) R2a/R2b: přípojná vozidla, u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu převyšuje 1 500 kg, ale nepřevyšuje 3 500 kg;
- 3) R3a/R3b: přípojná vozidla, u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu převyšuje 3 500 kg, ale nepřevyšuje 21 000 kg;

- 4) R4a/R4b: přípojná vozidla, u nichž součet technicky přípustných hmotností na nápravu převyšuje 21 000 kg;

kde:

- a) „a“ platí pro přípojná vozidla s maximální konstrukční rychlostí rovnou $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ nebo nižší;
- b) „b“ platí pro přípojná vozidla s maximální konstrukční rychlostí vyšší než $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
[10]

3.2 VYHLÁŠKA Č. 209/2018 SB.

Vyhláška ze dne 20. září 2018 o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel uvádí, že bezpečnost provozu na pozemních komunikacích je ohrožena, pokud není splněna některá z následujících podmínek [9]:

3.2.1 SPOJITELNOST Z POHLEDU HMOTNOSTI PŘÍPOJNÉHO VOZIDLA A SOUPRAV

- a) hmotnost přípojného vozidla nebo přípojných vozidel nesmí být u jízdních souprav s tažným vozidlem, jehož nejvyšší konstrukční rychlost je do $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, vyšší než dvaapůlnásobek 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 $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, vyšší než jedenapůlnásobek hmotnosti tažného vozidla;
- c) hmotnost jízdní soupravy nesmí být větší než největší technicky přípustná hmotnost jízdní soupravy stanovená při schválení technické způsobilosti tažného vozidla,
- d) 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 přípojně vozidlo kategorie O (kategorie O – přípojná vozidla konstruovaná a vyrobená pro dopravu nákladů nebo osob i pro ubytování osob) nebo R svojí konstrukcí určené k připojení návěsu příslušné kategorie za použití točnice pro připojení návěsového čepu. [9]

3.2.2 SPOJITELNOST VOZIDEL V JÍZDNÍ SOUPRAVU

- a) za vozidla kategorií T, C nebo Z lze připojit pouze vozidla kategorie R nebo S, pokud není v § 3 odst. 1 písm. f) stanoveno jinak,
- b) 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 3 t zapojených do jízdní soupravy musí být kromě toho účinek parkovací brzdy tažného vozidla schopen ubrzdřit jízdní soupravu s tímto vozidlem na

- pozemní komunikaci se sklonem 12 %, pokud nebylo při schválení technické způsobilosti tažného vozidla stanoveno jinak,
- c) v případě spojení tažného vozidla s přívěsem nebo dalším přívěsem musí být dále splněny tyto podmínky:
1. 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,
 2. 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,
- d) zapojení vozidel do jízdních souprav je možné v těchto kombinacích:
1. tažné vozidlo s ABS a přípojně vozidlo s ABS,
 2. tažné vozidlo bez ABS a přípojně vozidlo bez ABS,
 3. tažné vozidlo bez ABS a přípojně vozidlo s ABS za podmínky, že tažné vozidlo je vybaveno zařízením umožňujícím napájet a kontrolovat bezchybnou funkci ABS přípojně vozidla, a
 4. tažné vozidlo kategorie T s ABS a přípojně vozidlo bez ABS, jehož nejvyšší konstrukční rychlost je do $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,
- e) 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. [9]

3.2.3 NEJVĚTŠÍ POVOLENÉ HMOTNOSTI A ROZDĚLENÍ NA NÁPRAVY

- a) 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:
1. u jednotlivé nápravy - 10,00 t,
 2. u dvojnápravy motorových vozidel součet zatížení obou náprav dvojnápravy při jejím dílčím rozvoru:
 - a. méně než 1,0 m - 11,50 t,
 - b. od 1,0 m a méně než 1,3 m - 16,00 t,
 - c. od 1,3 m a méně než 1,8 m - 18,00 t,
- b) hodnoty hmotností vozidel a jízdních souprav včetně nákladu, jejichž překročení ohrožuje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích nebo stav pozemní komunikace, činí
1. u motorových vozidel se dvěma nápravami - 18,00 t,
 2. u jízdních souprav - 48,00 t,
- c) u vozidel kategorie R nebo S, s výjimkou tažených vozidel s ojí, může být nejvyšší povolená hmotnost vyšší než hmotnosti stanovené u přívěsů 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. [9]

3.2.4 ROZMĚRY VOZIDEL A JÍZDNÍCH SOUPRAV VČETNĚ NÁKLADU

- d) šířka, která činí u vozidel kategorií M, N, O, R, T nebo C, není-li v této vyhlášce stanoveno jinak - 2,55 m,
- e) výška, která činí u jízdní soupravy tažného vozidla s návěsem - 4,08 m,
- f) délka, která činí u jízdní soupravy motorového vozidla s návěsem - 16,50 m,
- g) vzdálenost mezi osou čepu sedla tahače a zadním čelem návěsu - 12,00 m. [9]

4 KONSTRUKČNÍ PRVKY NÁVĚSU

Kapitola se věnuje popisu hlavních konstrukčních prvků návěsu a jejich obměn. Na konci kapitoly se nachází tabulka zvolených variant (*Tab. 2*).

4.1 RÁM PODVOZKU

Rám tvoří základ návěsu a patří k nejvíce namáhaným částem. Jeho účelem je nést nástavbu, náklad a přenášet brzdné síly. Rám musí splňovat určité vlastnosti mezi které patří pevnost, pružnost, houževnatost, tuhost a zároveň musí být co nejlehčí a odolný vůči vnějším vlivům, korozi a zemědělským hnojivům, která mohou obsahovat agresivní látky. Na trhu se vyskytuje mnoho koncepcí rámu z různých materiálů a tvarů profilů (I, U, C, Z, dutý uzavřený obdélníkový profil aj.). Nejrozšířenější jsou dvě základní koncepce, a to svařenec ve tvaru trojúhelníku (*Obr. 8*) nebo ve tvaru obdélníku (*Obr. 9*). Trojúhelníkový neboli vidlicový tvar, se používá pro menší návěsy, většinou do 5 t užitečné hmotnosti. Obdélníkový neboli žebřinový tvar, je využíván pro větší tonáže, u některých výrobců už od 3,5 t. Ke spojování profilů se využívá hlavně svařování. Alternativou je buďto nýtování nebo šroubové spoje, ale jedná se o technologicky náročnější metody. Mají nižší tuhost, ale oproti svařování nenesou ve spoji zbytková napětí.



Obr. 8 Trojúhelníkový (vidlicový) rám [16]



Obr. 9 Obdélníkový (žebřinový) rám [17]

Vzhledem k zadané užitečné hmotnosti 5 t je volen žebřinový tvar rámu. Rám bude tvořen ohýbanými výpalky s pozičními zámky pro snadné složení, což umožní strojové svařování.

4.2 NÁPRAVA

Náprava může být odpružená nebo neodpružená. Odpružené bývají především návěsy vyšších konstrukčních rychlostí. Nevýhodou odpružené nápravy je, že značným způsobem ovlivní výslednou cenu návěsu. Mezi největší výrobce náprav se řadí italská firma ADR a německá společnost BPW.

Dle požadavků zadavatele diplomové práce je náprava zvolena neodpružená. A to z důvodu podstatně nižší ceny, čímž bude návěs cenově dostupnější a lépe se vyrovná konkurenci. Náprava tedy bude neodpružená a pneumaticky brzděná.

4.3 OJ

Oj, stejně jako náprava, může být odpružená nebo neodpružená. Bez odpružení je oj pevně spojena s rámem návěsu, což má za následek přenos rázů od návěsu na traktor. Odpružená oj umožňuje bezpečnější přepravu nákladu a vyšší komfort jízdy. Na základě požadavků zadavatele diplomové práce je zvolena oj neodpružená.

4.4 ZÁVĚSNÉ ZAŘÍZENÍ

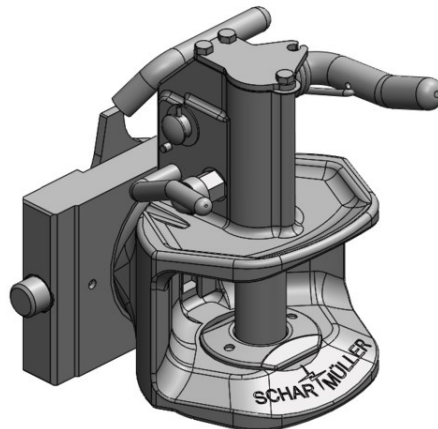
Připojovací zařízení je konstruováno jako horní nebo spodní závěs. Mezi nejrozšířenější typy patří agrohák (zavěšení do klasického závěsu s čepem), systém Piton-Fix (zavěšení za hák) a spojení pomocí kulové hlavy K80. Dnešní traktory jsou vybaveny univerzálními konzolami, do kterých lze připevnit jakýkoliv typ závěsného zařízení. Proto většina výrobců vyrábí návěsy s ojí, na kterou lze připevnit všechny druhy závěsů a do různé výšky (Obr. 10).



Obr. 10 Konzole na oji pro možnost montáže různých druhů závěsných ok do různé výšky [4]

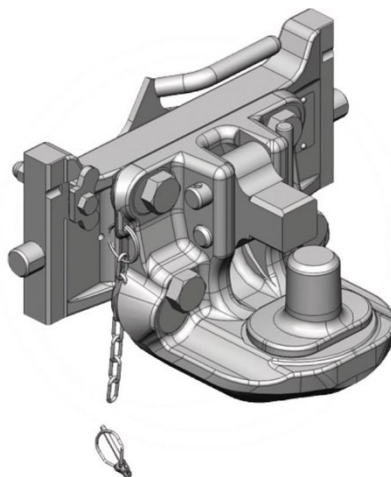
UCHYCENÍ POMOCÍ ZÁVĚSNÉHO OKA

Připojení oje k traktoru pomocí čepu a závěsného oka o průměru 40 nebo 50 mm, může být realizováno do horního i spodního závěsu. Do této kategorie spadá agrohák a systém Piton-Fix.



Obr. 11 Agrohák [18]

Agrohák (Obr. 11) tvoří čep, který jde skrz tři otvory, kde prostředním otvorem je závěsné oko oje. Čep je zajištěn proti vypadnutí. U způsobu Piton-Fix (Obr. 12) se jedná o pevný čep v závěsu traktoru, na který se zahákne závěsné oko oje a z horní strany se zajistí proti vyháknutí.

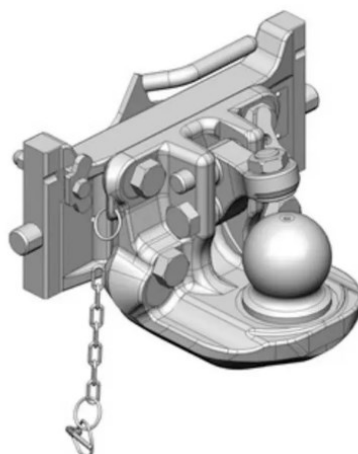


Obr. 12 Piton-Fix [19]

Uchycení pomocí zavěšeného oka je starší způsob. Výhodou je nízká cena a nevýhodou jsou vzniklé rázy od návěsu na traktor, způsobené pohybem oka a čepu během jízdy. Čímž dochází k velkému opotřebení oka i čepu.

UCHYCENÍ POMOCÍ KOULE K80

Jedná se o velmi rozšířený systém v dnešní době. Kouli K80 (Obr. 13) lze připojit k traktoru do horního i spodního závěsu, ale každý z těchto způsobů vyžaduje jinak výškově nastavenou oj návěsu. Výhoda spodního závěsu je, že snese větší nosnosti než horní závěs. Díky velice malé vůli mezi dosedacími plochami velmi dobře zachytává rázy, čímž zajišťuje klidné spojení návěsu s traktorem a zvyšuje životnost závěsného zařízení. Další výhodou je možnost natočení oje až o 30° svislým úhlem. Jediná nevýhoda je velmi vysoká cena. Uchycení pomocí koule K80 do spodního závěsu je v současné době nejlepším možným řešením připojení návěsu za traktor.



Obr. 13 Koule K80 [20]

Vzhledem k vysoké ceně K80 a menší tonáži navrhovaného návěsu, bude oj mít závěsné oko o průměru 40 mm.

4.5 NÁSTAVBA NÁVĚSU

Nástavba je zadána trvalá s uzpůsobením pro třístranné sklápění a spodním odjištěním bočnic. Bočnice budou mít nastavky pro zvětšení užitečného objemu a také možnost odnímatelného čela.

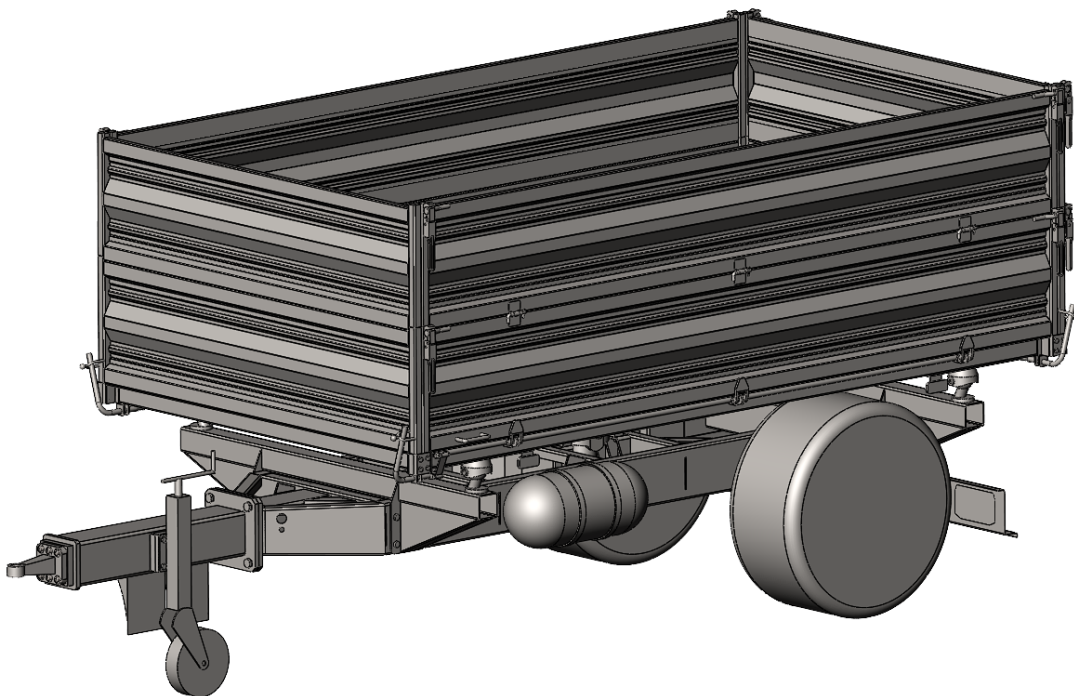
Tab. 2 Konstrukční varianty návěsu

Zadané parametry	
pneumatický brzdový systém	
třístranně sklápěná trvalá nástavba	
spodní odjištění bočnic	
konstrukční rychlost 40 km·h ⁻¹	
Možné varianty	Zvolená varianta
obdélníkový/trojúhelníkový rám	obdélníkový rám
odpružená/neodpružená náprava	neodpružená náprava
odpružená/neodpružená oj	neodpružená oj
oko Ø 40/50 mm nebo K-80	oko Ø 40 mm
nastavky bočnic	ano
odnímatelné/neodnímatelné čelo	odnímatelné čelo

5 NÁVRH KONSTRUKCE NÁVĚSU

Tato kapitola rozebírá koncepční návrh konstrukce návěsu. Návěs je navržen tak, aby splňoval zadané parametry a legislativní předpisy pro bezpečný provoz na pozemních komunikacích.

Návrh konstrukce lze vidět na *Obr. 14*. Zvětšený obrázek návěsu, včetně vyklápěcích stavů, je k nalezení v přílohách 1-4. Návěs je jednonápravový s vzduchovým brzdovým systémem a třístranně sklápěný. Bočnice lze nastavit a obsahují jak spodní odjištění, tak horní odjištění. Všechny bočnice, včetně předního čela, jsou odnímatelné. Maximální konstrukční rychlost 40 km/h a maximální užitečná hmotnost 5000 kg. To znamená, že všechny zadané parametry jsou splněny. Další základní parametry návěsu jsou uvedeny v *Tab. 3*.



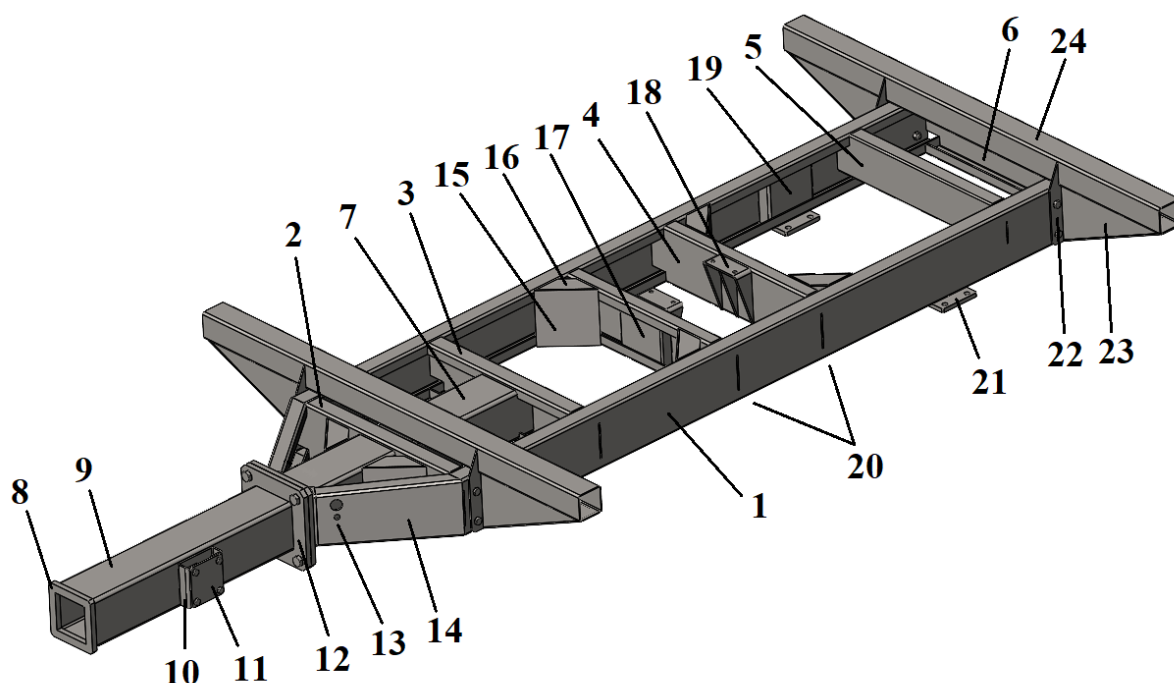
Obr. 14 Konstrukce navrženého návěsu

Tab. 3 Základní parametry navrženého návěsu

Celková šířka [mm]	2083
Celková délka [mm]	4843
Celková výška [mm]	2058
Rozměry ložné plochy [mm]	1850x3400x500/1000
Výška ložné plochy [mm]	1035
Výška závěsného oka [mm]	598
Užitečný objem [m ³]	3,145/6,290
Provozní hmotnost [kg]	1660
Užitečná hmotnost [kg]	5000
Maximální vyklápěcí úhel [°]	50

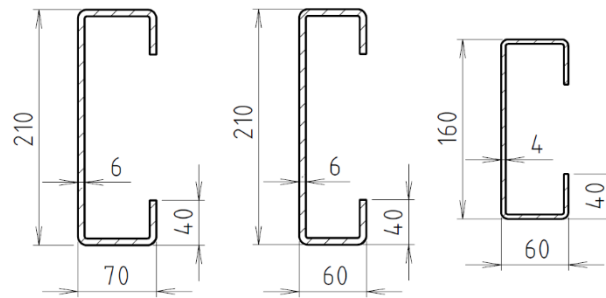
5.1 RÁM PODVOZKU

Rám podvozku je nejdůležitější částí návěsu, protože spojuje všechny ostatní části dohromady a zajišťuje přenos silových účinků mezi nimi. Rám je tvaru obdélníku (žebřinový), to znamená, že je tvořen dvěma podélnými nosníky, které jsou spojeny příčnými nosníky. Zmíněné nosníky jsou tvořeny z otevřeného profilu tvaru C, tedy vypalovaného a ohýbaného plechu. Profily a jednotlivé části jsou spojovány svařováním. Snahou bylo co nejvíce využít otevřených profilů, aby se zamezilo nebezpečné korozi uvnitř uzavřených profilů. Jednou z nevýhod C profilu je držení vlhkosti a nečistot v jeho spodní části, proto mají C profily ve spodní části vyvrtané odtokové díry. Proto je elektrické a hydraulické vedení v horní části profilu. Dále rám obsahuje poziční zámky, čímž se zamezí zdlouhavému vyměřování při výrobě rámu a umožní tak strojové svařování. Co se týče materiálu je volena vhodná kombinace konstrukčních ocelí S 235 JRG2 (11 375) a S 355 J2G3 (11 523). Hlavní výhodou těchto ocelí je výborná svařitelnost. Rám je po zhotovení natřen protikorozním nátěrem. Hmotnost rámu podvozku je 407 kg. Model i s popisem navrženého rámu podvozku je na Obr. 15.



Obr. 15 Model rámu podvozku, 1 – podélný nosník, 2 – krajní příčný nosník s dírou pro oj, 3 – vnitřní příčný nosník s dírou pro oj, 4 – příčný nosník pro upevnění hydraulického válce, 5 – příčný nosník, 6 – krajní příčný nosník, 7 – vnitřní část oje, 8 – příruba pro navařovací desku závěsného oka, 9 – vnější část oje, 10 a 11 – C profil a deska pro uchycení podpěrného kola, 12 – příruba, 13 – díry pro vedení hydrauliky a elektriky, 14 – výztuha oje, 15 a 16 – výztuha mezi podélným a příčným nosníkem, 17 – vyztužení příčného nosníku HV, 18 – úchyt klece HV, 19 – výztuha podélného nosníku nad nápravou, 20 – poziční zámky, 21 – deska pro uchycení nápravy, 22 a 23 – podpora čtvercového profilu držící nástavbu, 24 – čtvercový profil držící nástavbu.

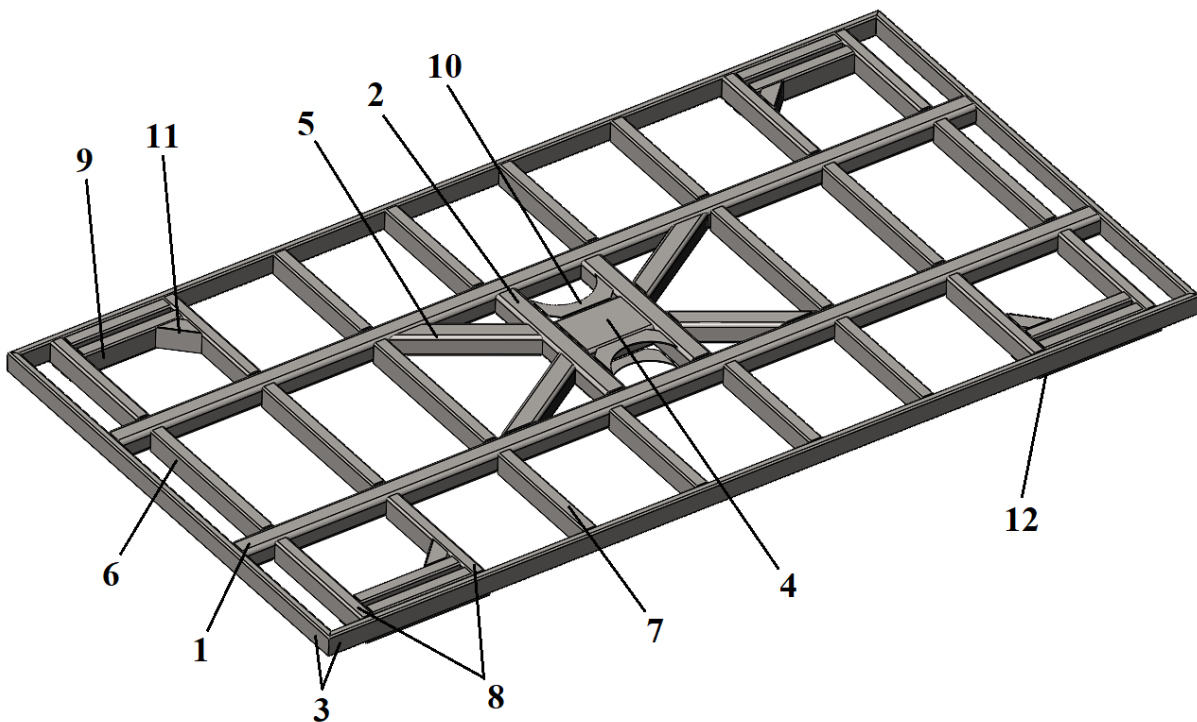
Podélné nosníky (1), oba krajní příčné nosníky (2, 6) a vnitřní příčné nosníky (3, 4) jsou ohnuty z plechu o tloušťce 6 mm, profily i s rozměry jsou uvedeny na Obr. 16. Vnitřní příčný nosník (5) je pouze z plechu o tloušťce 4 mm. Oj (7, 9) je ze čtvercového profilu 180x180 mm o tloušťce 6 mm. Nosníky, které nesou nástavbu jsou též ze čtvercového profilu o rozměrech 100x100 mm tloušťce 6 mm.



Obr. 16 Profily podélných a příčných nosníků

5.2 RÁM NÁSTAVBY

Rám nástavby je tvořen dvěma hlavními nosíky a okrajem, které jsou spojeny příčnými nosíky. Zvláštní pozornost je věnována středu rámu, kde se opírá hydraulický válec a rohům, kde je rám přes uložení spojen s rámem nástavby. Tato místa je potřeba patřičně vyztužit. Na rozdíl od rámu podvozku, kde je volena vhodná kombinace materiálů, je rám nástavby tvořen pouze z konstrukční oceli S 235 JRG2 (11 375). Hmotnost rámu nástavby je 560 kg. Model a s popisem navrhnutého rámu nástavby je na Obr. 17.



Obr. 17 Model rámu nástavby, 1 – podélný nosník, 2 – hlavní příčný nosník, 3 – okraj rámu, 4 – jekl na HV, 5 – výztuha středu rámu, 6 – střední příčný nosník, 7 – krajní příčný nosník, 8 – silnější příční nosníky nad uložení nástavby, 9 – vyztužení nad uložení nástavby, 10 – výztuha, 11 – výztuha, 12 – deska pro upevnění uložení nástavby (ze spodní části rámu)

Podélné nosíky (1), hlavní příčné nosíky (2) a nosíky zpevňující střed rámu (5) jsou tvořeny čtvercovým profilem 80x80 o tloušťce 6 mm. Okraj rámu (3) je obdélníkového profilu 80x30 o tloušťce 4 mm. Příčné nosíky (6, 7) a nosíky nad uložení nástavby (9) jsou tvořeny

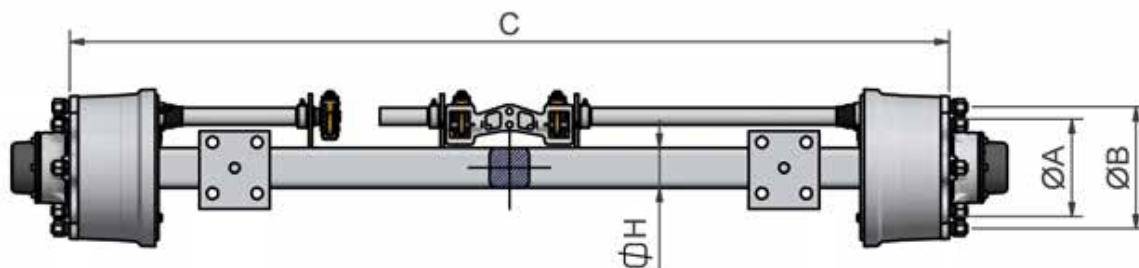
otevřeným U profilem 80x50 o tloušťce 4 mm. Ale příčné nosníky nad uložením nástavby (8) jsou z ohnutého plechu o tloušťce 6 mm.

5.3 NÁPRAVA

Po konzultaci s firmou ADR SYSTEM spol. s.r.o. byla zvolena náprava s označením A80QI6IN, která disponuje nosností 7700 kg pro návěs o jedné nápravě, při maximální rychlosti 40 km·h⁻¹. Náprava je vybavena vzduchovým brzdovým systémem, jak je požadováno v zadání. Přehled o parametrech uvádí *Tab. 4* společně s *Obr. 18*.

Tab. 4 Parametry nápravy A80QI6IN od firmy ADR SYSTÉM spol. s.r.o. [22]

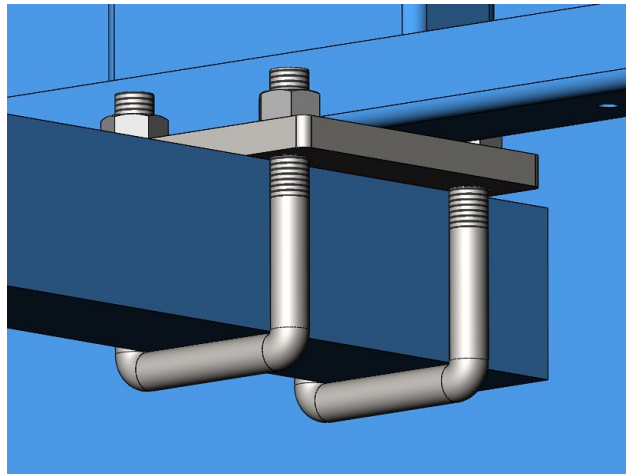
Nosnost	7700 kg
Rychlost [km·h ⁻¹]	40
Označení brzdy	FRENO – IN 309E
Rozměr brzd [mm]	300x90
A – průměr středu [mm]	160
B – roztečná kružnice [mm]	205
C – rozvor [mm]	volitelné
H – čtyřhran [mm]	80x80
Počet šroubů x velikost šroubů [mm]	6xM18
Hmotnost [kg]	160



Obr. 18 Náprava A80QI6IN od firmy ADR SYSTEM spol. s.r.o. [22]

5.3.1 UPEVNĚNÍ NÁPRAVY

Náprava je k rámu přidělena pomocí třmenů, které jsou přimontovány k desce navařené na rámu návěsu pomocí šroubů (*Obr. 19*).



Obr. 19 Upevnění nápravy k rámu návěsu pomocí třmenů

5.3.2 PNEUMATIKY

S ohledem na vybranou nápravu, nejvyšší celkovou hmotnost návěsu a maximální konstrukční rychlost návěsu, jsou zvoleny zemědělské pneumatiky řady IM (implementy nosné – pneumatiky s velkou nosností) od firmy Mitas. Zvolený typ nese označení 400/60 - 15.5 152 A8 IM-07 TL (Obr. 20). Maximální nosnost pneumatik při konstrukční rychlosti 40 km·h⁻¹ dosahuje hodnoty 3550 kg. Další parametry pneumatik jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5 Parametry pneumatiky 400/60 - 15.5 152 A8 IM-07 TL od firmy Mitas [23]

Rozměr pláště	400/60 - 15.5
Pro disky o rozměru	13.00x15.5
Index nosnosti / Rychlostní index	152 A8 (152 = 3550 kg / A8 = 40 km·h ⁻¹)
Dezén	IM-07
Bezdušové (TL) / Dušové (TT)	TL
Šířka profilu [mm]	405
Vnější průměr [mm]	875
Hmotnost [kg]	36

Díky veliké šířce zvolených pneumatik se hmotnost rozloží na větší plochu, čímž bude lépe ochráněna cenná zemědělská půda, kdy nebude docházet k velkému utužování půdy přejezdy. Zároveň se zmenší tahový odpor, sníží se spotřeba paliva a opotřebení strojů.



Obr. 20 Pneumatika 400/60 - 15.5 152 A8 IM-07 TL od firmy Mitas [23]

Dále je možnost korigovat nosnost vhodným huštěním pneumatik v závislosti na provozní rychlosti (Tab. 6). Tedy na poli, kde je přínosný nízký tlak (opět za účelem zamezit znehodnocení zemědělské půdy) a tažný stroj se nepohybuje tak vysokými rychlostmi, jako na pozemní komunikaci lze snížit tlak při zachování stejné nosnosti pneumatik. Naopak na pozemní komunikaci, kde je nízký tlak nežádoucí, kvůli zvýšení valivému odporu pneumatiky a tím zvýšení spotřeby tažného stroje, je možné tlak v pneumatikách navýšit.

Tab. 6 Nosnost pneumatiky 400/60 - 15.5 152 A8 IM-07 TL od firmy Mitas [23]

	Hustící tlak [bar]			Rychlost [$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$]
	4	5	6	
Nosnost pneumatiky [kg]	4 410	4 690	4 970	10
	3 970	4 220	4 475	20
	3 530	3 750	3 975	30
	3 150	3 350	3 550	40

5.3.3 DISKY

Na základě zvolené nápravy, požadované nosnosti a velikosti pneumatik jsou vybrány disky od firmy Pronar s.r.o. s označením 13.00x15.5 400/60-15.5 (Obr. 21). Maximální nosnost disků je 3500 kg při rychlosti 40 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. ET je volitelné v rozsahu +152 až -160 mm. Pro jednoduchost, a protože maximální nosnost zvolené nápravy je uváděna pro disky ET 0, je zvolen zális s hodnotou 0. Zális udává vzdálenost osy kola k jeho dosedací ploše. Přehled parametrů je v Tabulka 7.

Tabulka 7 Parametry disku 13.00x15.5 400/60-15.5 od firmy Pronar s.r.o. [24]

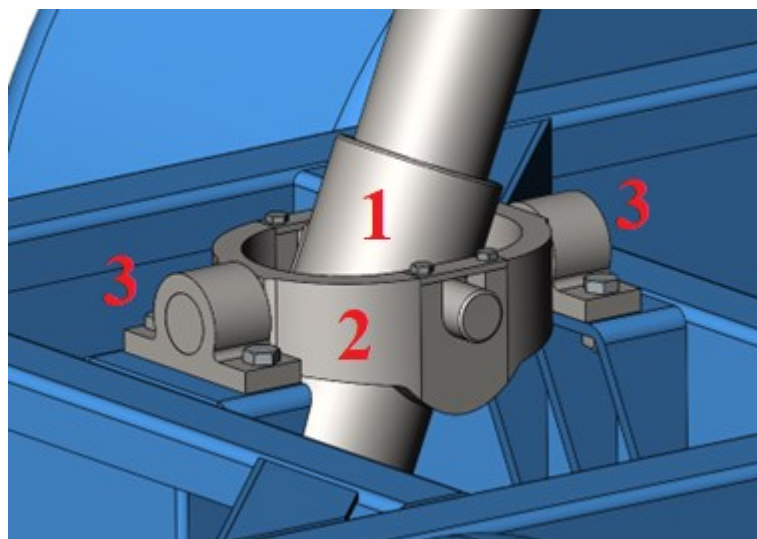
Rozměr disku	13.00x15.5
Pro pneumatiky o rozměru	400/60 - 15.5
Nosnost [kg]	3500
Rychlost [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	40
Roztečná kružnice [mm]	205
Středový otvor [mm]	161
Počet děr x rozměr děr [mm]	6 x 21,5
Zális (ET) [mm]	+152 až -160 mm
Hmotnost [kg]	19,36 kg



Obr. 21 Disk 13.00x15.5 400/60-15.5 od firmy Pronar s.r.o. [25]

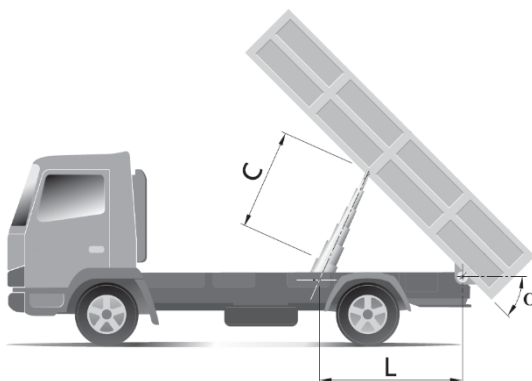
5.4 HYDRAULICKÝ VÁLEC

Hydraulický válec, dále jen HV, je uložen otočně uprostřed rámu podvozku, tato poloha umožňuje vyklápění dozadu i do stran (Obr. 23). Maximální úhel vyklopení do boku i dozadu je 50° . Běžně se používá úhel kolem 45° , který je většinou omezen úhlem kulového uložení pístu než délkou hydraulického válce. Úhel 45° pokryje sytný úhel u výrazné většiny materiálů a zemědělských produktů. Jelikož konstrukce toho návěsu nám dovoluje dosáhnout úhlu 50° v obou případech vyklápění, není třeba HV omezovat v délkovém rozsahu.



Obr. 23 Uložení hydraulického pístu ve středu rámu, 1 – hydraulický válec, 2 – klec HV, 3 – třmen uložení HV

Při volbě hydraulického válce bylo postupováno podle vzorce uvedeného vybraným výrobcem hydraulických pístů. Tedy italskou firmou Penta. [26]



Obr. 22 Parametry potřebné pro určení vyhovujícího HV [26]

VÝPOČET VÝŠKY VÝSUVU HYDRAULICKÉHO VÁLCE [26]

$$C = \frac{3,1416}{180} \cdot \alpha \cdot L \cdot \left(1 - \frac{9,8696}{777600} \cdot \alpha^2\right) \quad (1)$$

$$C = \frac{3,1416}{180} \cdot 50 \cdot 1295 \cdot \left(1 - \frac{9,8696}{777600} \cdot 50^2\right)$$

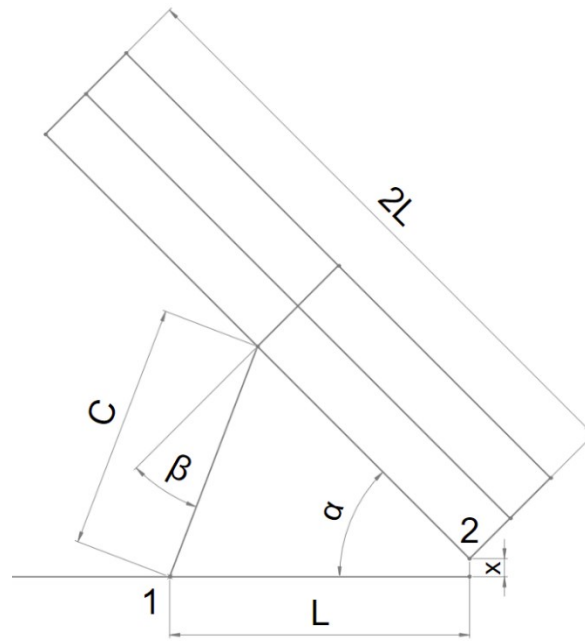
$$C = 1094,2 \text{ mm}$$

kde:

$\alpha = 50^\circ$ maximální úhel vyklápění,

$L = 1295 \text{ mm}$ vzdálenost mezi uložením hydraulickým válce a uložením nástavby.

Vzorec uvažuje rovnoměrné uložení HV a uložení nástavby, jak je poznat z *Obr. 22*. Jelikož u návěsu je píst o 50 mm níže než uložení nástavby, je potřeba o něco delší píst, než bylo vypočteno vzorcem. Dále je potřeba zkontrolovat úhel kulového uložení HV na nástavbě, jelikož je výrobcem omezeno na 30° . Oba tyto problémy jsou vyřešeny pomocí programu SolidWorks. Kde pomocí reálných parametrů bylo narýsováno maximální vyklápění do boku i dozadu viz *Obr. 24* a *Tab. 8*.



Obr. 24 Maximální vyklopení návěsu

Z *Tab. 8* lze vyčíst, že potřebná délka válce je 1140,1 mm. Dále je vidět, že ani v jednom případě úhel v kulovém uložení HV nepřesáhne hodnotu 30° .

Tab. 8 Hodnoty maximálního vyklápění dozadu a do boku

Směr vyklápění	α [°]	β [°]	C [mm]	L [mm]	X [mm]
	Maximální úhel vyklápění	Úhel v kulovém uložení HV	Zdvih HV	Vzdálenost mezi HV a uložení nástavby	Rozdíl výšky mezi HV a uložení nástavby
dozadu	50°	$21,1^\circ$	1140,1	1295	50
do boku		28°	756,3	830	

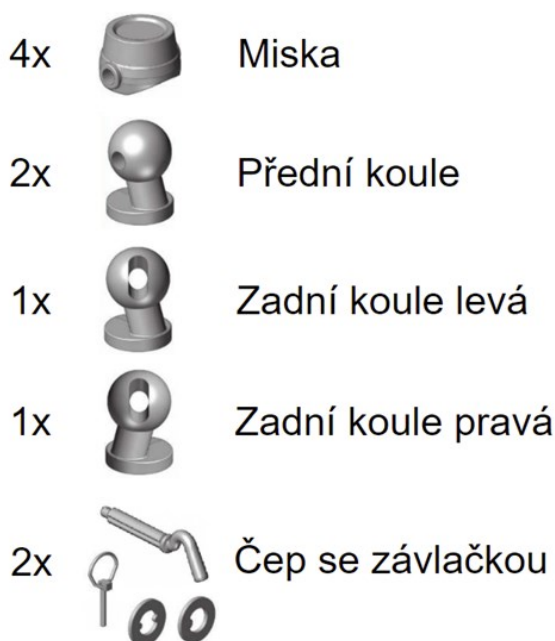
Jak bylo zmíněno na začátku, hydraulický válec je zvolen od italské firmy Penta. Jedná se o typ L 105 s označením BL360 1140 105 4. K pístu je i příslušenství pro jeho otočné uložení, tedy všechny šedé součásti na *Obr. 23*. Další parametry jsou uvedeny v *Tab. 9*.

Tab. 9 Parametry vybraného HV od firmy Penta [26]

Označení modelu	BL360 1140 105 4
Nosnost [kg]	8 000
Délka HV [mm]	1140
Pracovní objem [dm ³]	6,4
Maximální pracovní tlak [bar]	200
Hmotnost [kg]	33

5.5 ULOŽENÍ NÁSTAVBY

Nástavba je uložena na čtyřech koulích s miskami, které jsou zajištěny pomocí dvou čepů do kříže (Obr. 25). Při vyklápění dozadu se přední čep přesune dozadu, tím dojde k uvolnění a nástavba se může začít zvedat. U vyklápění do boku se postupuje stejně, jen se čepy přesunou vždy na opačnou stranu, než se bude vyklápět. Misky jsou navařeny na nástavbu a koule na rám návěsu. Sada je od italské firmy ITALAUTOCAR s.r.l.



Obr. 25 Sada pro uložení třístranně sklápěné nástavby od firmy ITALAUTOCAR s.r.l. [27]

Parametry jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10 Parametry sady pro uložení nástavby od firmy ITALAUTOCAR s.r.l. [27]

Nosnost [kg]	15 000
Průměr koule [mm]	ø85
Maximální úhel vyklopení [°]	55
Hmotnost celé sady [kg]	28,7

5.6 BOČNICE

Přední čelo, zadní čelo, bočnice i nástavky jsou ze stejného bočnicového profilu HV 500 od rakouské firmy FUHRMANN (*Obr. 26*).



Obr. 26 Bočnicový profil HV 500 od firmy FUHRMANN [28]

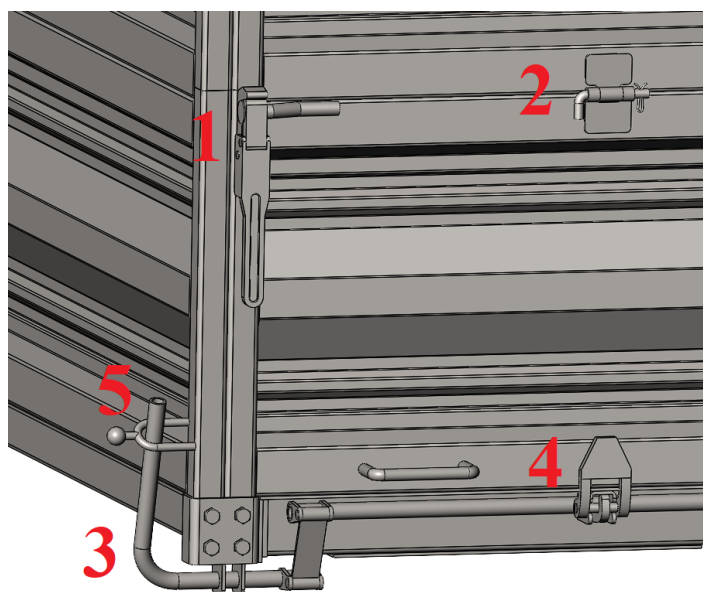
Parametry jsou uvedeny v *Tab. 11*.

Tab. 11 Parametry bočnicového profilu HV 500 od firmy FUHRMANN [28]

Výška profilu [mm]	500
Síla materiálu [mm]	2,0
Hmotnost [kg/m]	12,8

5.7 OVLÁDÁNÍ BOČNIC

Stejně jako uložení nástavby i ovládání bočnic je od firmy ITALAUTOCAR s.l.r [29]. Mechanismus bočnic lze vidět na (*Obr. 27*). Páka s pantem (1) zajišťuje upevnění horní části bočnice ke sloupku a její pant umožňuje spodní vyklápění bočnic. Pokud se páka uvolní, dojde k hornímu odjištění bočnic. Pant (2) spojuje spodní bočnice s horními. Je rozebíratelný pomocí závlačky. Páka s mechanismem (3) umožňuje snadné odjištění všech spodních pantů (4) pro spodní odjištění bočnic. Tato páka se nachází na obou bocích, a i u zadního čela a v zavřené poloze je zajištěna pomocí karabiny (5). Všechny bočnice včetně předního čela jsou odnímatelné.



Obr. 27 Mechanismus bočnic

5.8 ZÁVĚSNÉ OKO

Závěsné oko je od firmy GRANIT PARTS, včetně navařovací desky a šroubů (Obr. 28).



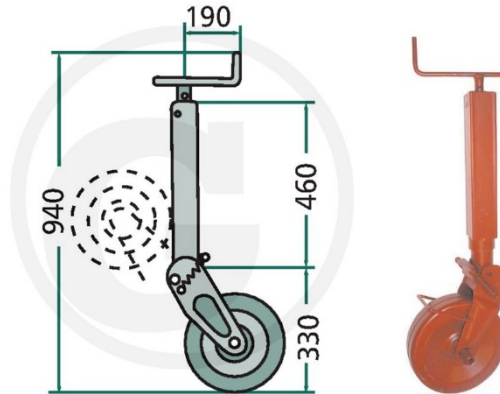
Obr. 28 Závěsné oko, navařovací deska a šest šroubů od firmy GRANIT PARTS [30]

Tab. 12 Parametry součástí od firmy GRANIT PARTS [30]

Maximální povolená celková hmotnost přívěsu [kg]	24 000
Maximální svislé zatížení oka [kg]	2 500
Průměr oka [mm]	40
Šrouby	6xM16
Celková hmotnost sady [kg]	17,5

5.9 PODPĚRNÉ KOLO

Na *Obr. 29* je podpěrné kolo od italské firmy Simol. Na čtvercový profil podpěrného kola je navařena deska s otvory pro šrouby a ta se přišroubuje na C profil přivařený na oji návěsu.



Obr. 29 Podpěrné kolo od firmy Simol [31]

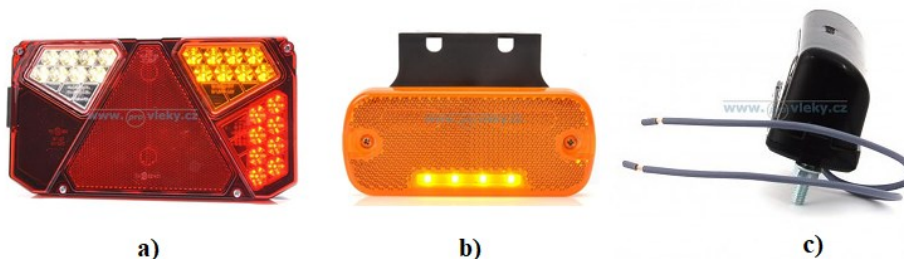
Parametry jsou uvedeny v *Tab. 13*.

Tab. 13 Parametry podpěrného kola od firmy Simol [31]

Nosnost [kg]	1000
Zdvih vřetena [mm]	300 ± 10
Čtyřhran [mm]	70x70
Hmotnost [kg]	10,8

5.10 DALŠÍ ZAŘÍZENÍ

Dále musí být návěs vybaven zakládacími klíny a osvětlením podle předpisu EHK OSN č. 48, aby splňoval legislativu pro pohyb po pozemních komunikacích. Proto je návěs vybaven zadními trojúhelníkovými světly, bočními pozičními světly a světly pro osvětlení státní poznávací značky (*Obr. 30*).



Obr. 30 a) zadní trojúhelníkové světlo, b) boční poziční světlo, c) světlo pro osvětlení SPZ [32][33][34]

6 ZÁTĚŽOVÉ STAVY

Tato kapitola popisuje silové účinky působící na návěs v běžném provozu. Mezi zátěžové stavy spadá statická poloha, konstantní přímá jízda, akcelerace, brzdění a průjezd zatáčkou. Rovněž je nutné zkontrolovat návěs při vyklápění nástavby dozadu a do boku. Dále může docházet ke stavům, které nespádají mezi výše uvedené, jelikož takové stavy vznikají převážně nesprávnou manipulací, případně jízdou a jsou obtížně definovatelné, nejsou v pevnostních analýzách zahrnuty.

Představu o zrychlení u zátěžových stavů při transportu břemene udává norma ČSN EN 12195-1 *Prostředky pro zajišťování břemen na silničních vozidlech – Bezpečnost – Část 1: Výpočet zatěžovacích sil*. Kapitola 4 *Koeficienty zrychlení* uvádí tabulku (Tab. 14), z které lze vyčíst potřebné konstanty, jež po vynásobení tíhovým zrychlením určí velikost zrychlení v požadovaném směru. V koeficientech je dle normy zahrnuta i míra bezpečnosti, která odpovídá nebo dokonce přesahuje možné mezní stavy zrychlení z pohledu fyziky a dynamiky vozidel, zejména zemědělských. Podmínkou je, že vozidla musí nejvyšší celkovou hmotností převyšovat 3 500 kg, což návěs splňuje. [11]

Tab. 14 Koeficienty zrychlení při přepravě po pozemní komunikaci [11]

Zajištění v	Koeficienty zrychlení				
	c_x , podélně		c_y , příčně		c_z , svislé dolů
	vpřed	vzad	pouze posunutí	naklápění	
podélném směru	0,8	0,5	-	-	1,0
příčném směru	-	-	0,5	0,5/0,6	1,0

6.1 STATICKÁ POLOHA, PŘÍMÁ JÍZDA

V statické poloze je návěs připojen k tažnému stroji a působí na něj pouze tíhové zrychlení. Během přímé jízdy se navíc mohou objevit rázová zrychlení způsobená nerovnostmi vozovky, tato zrychlení jsou zahrnuta v zatěžovacím stavu brzdění, zde nejsou uvažována.

Svislé zatížení je přenášeno na nápravu, pneumatiky a závěsné zařízení. Nejedná se o kritický stav, slouží pro základní kontrolu obou rámů a pro porovnání s ostatními zátěžovými stavy.

6.2 VYKLÁPĚNÍ DOZADU

Při vyklápění dozadu je nejrizikovější poloha ihned po počátku výsuvu hydraulického válce, kdy před vymezením vůle na zadních čepech dochází k zvedání plné váhy nákladu a korby díky minimálnímu, respektive nulovému úhlu vyklopení. Korba je v tomto stavu upevněna k rámu pouze zadními čepy a hydraulickým válcem.

Předpokládá se, že zadní čelo je otevřené a dochází k postupnému odsypání nákladu při nárůstu sklopného úhlu, čímž dojde k poklesu zatížení. Proto je nejkritičtější pozice na počátku vyklápění.

6.3 VYKLÁPĚNÍ DO BOKU

Stejně jako u vyklápění dozadu, se nejrizikovější poloha nachází na počátku vyklápění. Korba je v tomto stavu upevněna k rámu pouze bočními čepy a hydraulickým válcem. Vyklápění do boku není tak kritické, jako vyklápění dozadu, z důvodu mnohem menší páky.

Opět se předpokládá, že boční čelo je otevřené a dochází k postupnému odsypání nákladu při nárůstu sklonného úhlu, čímž dojde k poklesu zatížení. Proto je nejkritičtější pozice na počátku vyklápění.

6.4 AKCELERACE

Během akcelerace dochází k nejvyšší hodnotě v okamžiku rozjezdu. Zrychlení působí v podélném směru a zároveň na návěs působí tíhové zrychlení. Zatímco pneumatiky přenášejí pouze tíhové zrychlení, na závěsné zařízení působí podélné zrychlení a část tíhového zrychlení. Dle *Tab. 14* podélnému směru připadá koeficient 0,5.

ZRYCHLENÍ PRO ZÁTĚŽOVÝ STAV AKCELERACE [11]

$$a_a = c_{x, vzad} \cdot g \quad (2)$$

$$a_a = 0,5 \cdot 9,81$$

$$a_a = 4,91 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

kde:

$$c_{x, vzad} = 0,5 [-] \quad \text{koeficient zrychlení podélně vzad (Tab. 14),}$$

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

6.5 BRZDĚNÍ

Při brzdění jízdní soupravy působí na návěs a náklad tíhové zrychlení a také dochází ke vzniku setrvačného zrychlení, které působí proti směru jízdy. Může nastat několik různých druhů brzdění.

6.5.1 VYROVNANÉ BRZDĚNÍ

Během vyrovnaného brzdění soustavy brzdí tažný stroj i návěs současně. Jedná se o nejčastější stav v běžném provozu. Hodnota koeficientu zrychlení je opět určena z *Tab. 14* a činí 0,8. Tato hodnota koeficientu počítá s nejvyšším možným zpomalením jízdní soupravy a obsahuje zvýšenou míru bezpečnosti.

Při brzdění mají setrvačné síly tendenci překlápět návěs ve směru jízdy, čímž dochází ke zvýšení svislé síly působící na přípojovací zařízení. To má za následek vznik napětí v přední části návěsu a na oji, jedná se o jeden z nejkritičtějších stavů z pohledu pevnostní analýzy. Návěs je také opět vystaven tíhovému zrychlení ve svislém směru. Pneumatiky návěsu přenášejí jak svislé zatížení, tak i brzdnou sílu.

ZRYCHLENÍ PRO ZÁTĚŽOVÝ STAV VYROVnanÉ BRZDĚNÍ [11]

$$a_b = c_{x, vpřed} \cdot g \quad (3)$$

$$a_b = 0,8 \cdot 9,81$$

$$a_b = 7,85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

kde:

$$c_{x, vpřed} = 0,5 [-] \quad \text{koeficient zrychlení podélně vpřed (Tab. 14),}$$

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

6.5.2 BRZDĚNÍ POUZE TAŽNÝM STROJEM

Jedná se o výjimečný stav, kdy dojde k poruše brzdového systému návěsu. Pneumatiky přenášejí pouze svislé zatížení a připojovací zařízení přenáší jak svislou, tak brzdnu sílu. Výsledné zpomalení nebude tak vysoké jako v předchozím případě, a proto tento stav nebude zahrnut mezi pevnostní analýzy.

6.5.3 BRZDĚNÍ POUZE NÁVĚSEM

Opět výjimečný stav, kdy dojde k nežádoucímu přerušení přívodu stlačeného vzduchu do brzdné soustavy návěsu. Konstrukce brzd je navržena tak, aby v takové situaci došlo k okamžitému zabrzdění návěsu. Pneumatiky i přípojné zařízení přenáší brzdnu i svislé síly. Výsledné zpomalení je opět nižší než u vyrovnaného brzdění, proto nebude tato situace zahrnuta do pevnostních analýz.

6.6 PRŮJEZD ZATÁČKOU

Posledním zatěžovacím stavem je průjezd zatáčkou. Při průjezdu zatáčkou konstantní rychlostí nevzniká žádné podélné zrychlení, ale dostředivé zrychlení, které je vyvolané odstředivou setrvačnou silou. Čímž dojde ke vzniku setrvačné síly, která působí na návěs proti směru působení dostředivého zrychlení. Hodnotu koeficientu zrychlení v příčném směru opět určíme z Tab. 14 jehož hodnota je 0,5. Připojovací zařízení přenáší svislou a příčnou sílu, stejně jako pneumatiky.

ZRYCHLENÍ PRO ZÁTĚŽOVÝ STAV PRŮJEZD ZATÁČKOU [11]

$$a_z = c_y \cdot g \quad (4)$$

$$a_z = 0,5 \cdot 9,81$$

$$a_z = 4,91 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

kde:

$$c_y = 0,5 [-] \quad \text{koeficient zrychlení příčně – pouze posunutí (Tab. 14),}$$

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

6.7 KOMBINACE ZÁTĚŽOVÝCH STAVŮ

Při běžném provozu může docházet ke kombinaci některých výše zmíněných zátěžových stavů, ale i k stavům, které nelze zjednodušeně popsat. Norma ČSN EN 12195-1 *Prostředky pro zajišťování břemen na silničních vozidlech* nahlíží na kombinace těchto stavů, jako na superpozice základních stavů, ale s nižšími koeficienty zrychlení. Příkladem může být brzdění při průjezdu zatáčkou. V zatáčce nelze využít maximálního brzdného účinku, protože by ho pneumatiky návěsu nedokázaly v této situaci přenést. Z tohoto důvodu nejsou kombinované zátěžové stavy zahrnuty v pevnostních kontrolách.

Během vyklápění, ať už dozadu nebo do boku je vždy výrobcem **zakázána** jízda. Při těchto stavech musí být návěs bezpečně zabrzděný a v klidu. Příkladem může být časté urychlování vysypání nákladu akcelerací. Takový stav je nežádoucí (byť v praxi velmi často využívaný) a není zahrnut v pevnostní analýze.

6.8 VÝPOČET MEZNÍCH STAVŮ ÚNOSNOSTI

Oba rámy jsou svařovány z ohýbaných vypalovaných plechů z materiálů S235JRG2 (ČSN 11 375) a S355J2G3 (ČSN 11 523). Jedná se o konstrukční oceli vhodné ke svařování, namáhané staticky i dynamicky a své vlastnosti si zachovávají i za nižších teplot. Výpočet mezních stavů únosnosti je proveden dle normy ČSN EN 1993-1-1. [12]

6.8.1 KONSTRUKČNÍ OCEL S235JRG2 (ČSN 11 375)

Je potřeba vypočítat dovolené napětí oceli S235, které slouží k porovnání maximálních hodnot vypočítaných v pevnostní analýze.

NÁVRHOVÁ PEVNOST OCELI S235 [12]

$$f_{yD,235} = \frac{R_{e,235}}{\gamma_M} \quad (5)$$

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

$$f_{yD,235} = 204 \text{ MPa}$$

kde:

$$R_{e,235} = 235 \text{ MPa} \quad \text{dolní mez kluzu oceli S235, [21]}$$

$$\gamma_M = 1,15 [-] \quad \text{součinitel spolehlivosti materiálu. [12]}$$

DOVOLENÉ NAPĚTÍ PO ZAHRNUTÍ DYNAMICKÉHO SOUČiniteLE OCELI S235 [12]

$$f_{D,235} = \frac{f_{yD,235}}{k_D} \quad (6)$$

$$f_{D,235} = \frac{204}{1,5}$$

$$f_{D,235} = 136 \text{ MPa}$$

kde:

$$f_{yD, 235} = 204 \text{ MPa} \quad \text{návrhová pevnost (Rovnice 1),}$$

$$k_D = 1,5 [-] \quad \text{dynamický součinitel. [12]}$$

6.8.2 KONSTRUKČNÍ OCEL S355J2G3 (ČSN 11 523)

Je potřeba vypočítat dovolené napětí oceli S355J2G3, které slouží k porovnání maximálních hodnot vypočítaných v pevnostní analýze.

NÁVRHOVÁ PEVNOST OCELI S355 [12]

$$f_{yD, 355} = \frac{R_{e, 355}}{\gamma_M} \quad (7)$$

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

$$f_{yD, 355} = 309 \text{ MPa}$$

kde:

$$R_{e, 355} = 355 \text{ MPa} \quad \text{dolní mez kluzu oceli S355, [21]}$$

$$\gamma_M = 1,15 [-] \quad \text{součinitel spolehlivosti materiálu. [12]}$$

DOVOLENÉ NAPĚTÍ PO ZAHRNUTÍ DYNAMICKÉHO SOUČiniteLE OCELI S355 [12]

$$f_{D, 355} = \frac{f_{yD, 355}}{k_D} \quad (8)$$

$$f_{D, 355} = \frac{204}{1,5}$$

$$f_{D, 355} = 206 \text{ MPa}$$

kde:

$$f_{yD, 355} = 309 \text{ MPa} \quad \text{návrhová pevnost (Rovnice 3),}$$

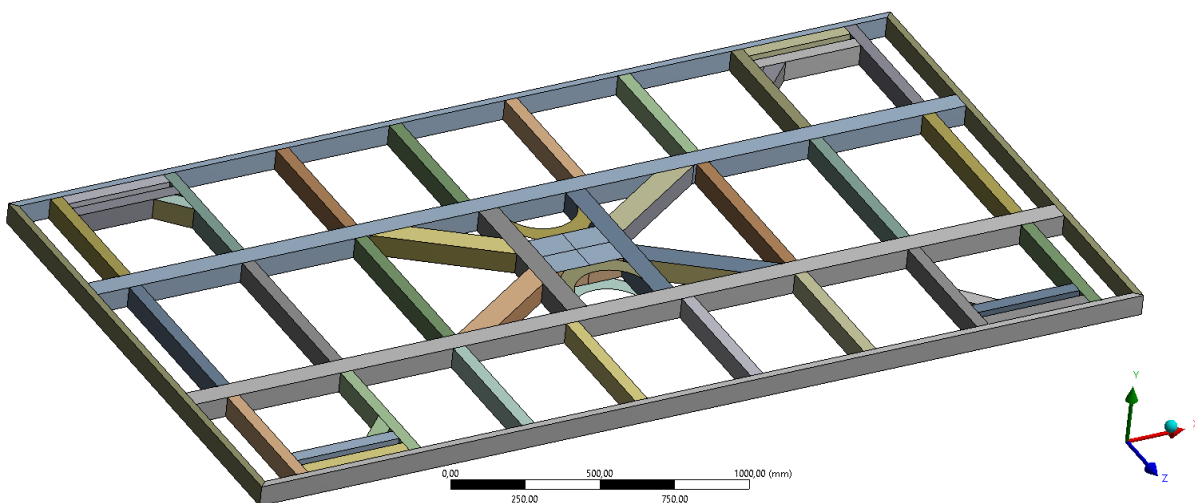
$$k_D = 1,5 [-] \quad \text{dynamický součinitel. [12]}$$

7 MKP ANALÝZA

Tato kapitola se zabývá popisem přípravy modelu pro metodu konečných prvků (MKP) v programu Ansys Workbench 2019 R2. MKP metoda se využívá převážně pro pevnostní kontrolu navržených konstrukcí a zařízení. Lze pomocí ní odhalit pevnostně slabá a kritická místa v konstrukci. Následně lze provést úpravy za účelem odstranění nevyhovujících míst a opětovanou kontrolou dosáhnout vyhovujícího výsledku. Díky této kontrole se předchází nežádoucím deformacím v běžném provozu, či k optimalizaci již existujících konstrukcí.

7.1 TVORBA MODELU

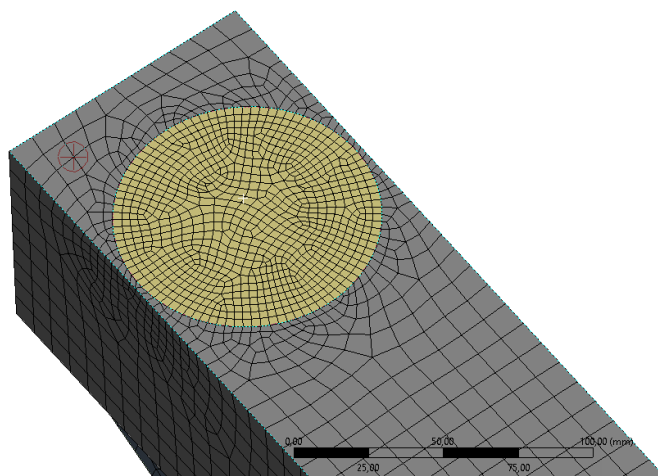
Původní objemové modely jsou vytvořeny v programu SolidWorks 2022. Analýzy jsou prováděny pouze na nosných prvcích obou rámu. Ve výpočtových modelech jsou zanedbány nebo zjednodušeny technologické a konstrukční prvky typu sražení, zaoblení, svary, odtokové díry aj., čímž však dochází ke vzniku tzv. napěťových špiček (zejména kvůli absenci svarů a zaoblení nosníků). Tyto špičky mohou teoreticky nabývat nekonečných hodnot. Proto je nutné kritická místa posoudit, zda jsou opravdu kritická, či je to dáno „nedokonalostí“ modelů, kde se sbíhají ostré hrany. Důvodem převodu objemového modelu na skořepinový, je několikanásobné snížení výpočtového času programu.



Obr. 31 Skořepinový model rámu nástavby

Takto zjednodušené modely jsou následně převedeny do prostředí programu Ansys Workbench 2019 R2. Jelikož se jedná o konstrukce ohýbaných plechů, které jsou vzájemně svařeny, lze objemové modely převést pomocí příkazu Midsurface (střednicové plochy) na modely skořepinové (Obr. 31). Jednotlivé plochy jsou upraveny tak, aby byla vytvořena spojitá konstrukce. Každé ploše je přiřazena odpovídající tloušťka a materiál.

Dalším krokem je použití funkce Share topology, která zajistí propojení mezi jednotlivými díly. Následuje vytvoření konečnoprvkové sítě, tzv. mesh (Obr. 32). Síť je tvořena čtyřuzlovými prvky (quadratic) o velikosti 10 mm. Na spojích je síť dostatečně zjemněna, pro dosažení požadovaného rozlišení výsledků.

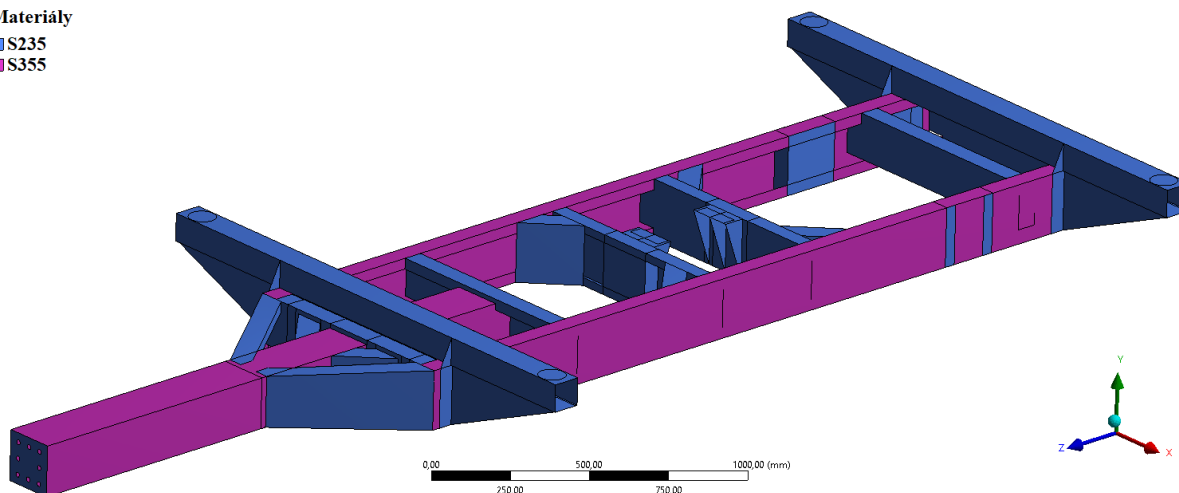


Obr. 32 Detail konečnoprvkové sítě a zjemnění sítě

Dosavadní postup je u obou konstrukcí identický. Rám nástavby je tvořen pouze materiálem S235. Na Obr. 33 lze vidět materiálové rozdělení rámu podvozku.

Materiály

- S235
- S355



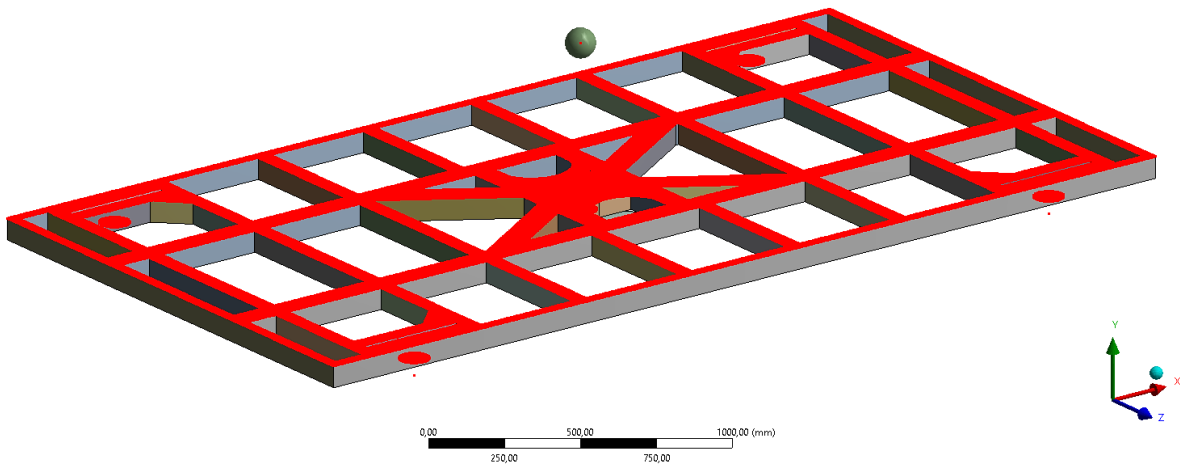
Obr. 33 Materiálové rozdělení rámu podvozku

Jak bylo zmíněno výše, pevnostní kontrola je provedena pouze pro navržené nosné rámy. Nakupované díly, jako náprava, závěsné oko a prvky pro uložení a vyklápění nástavby nejsou v pevnostních kontrolách zahrnuty, jelikož za jejich návrh zodpovídá prodejce. Proto je třeba tyto prvky nahradit tak, aby se co nejvíce přiblížily reálnému stavu, čímž bude dosaženo co nejpřesnějších výsledků.

7.2 NAHRAZENÍ NÁKLADU

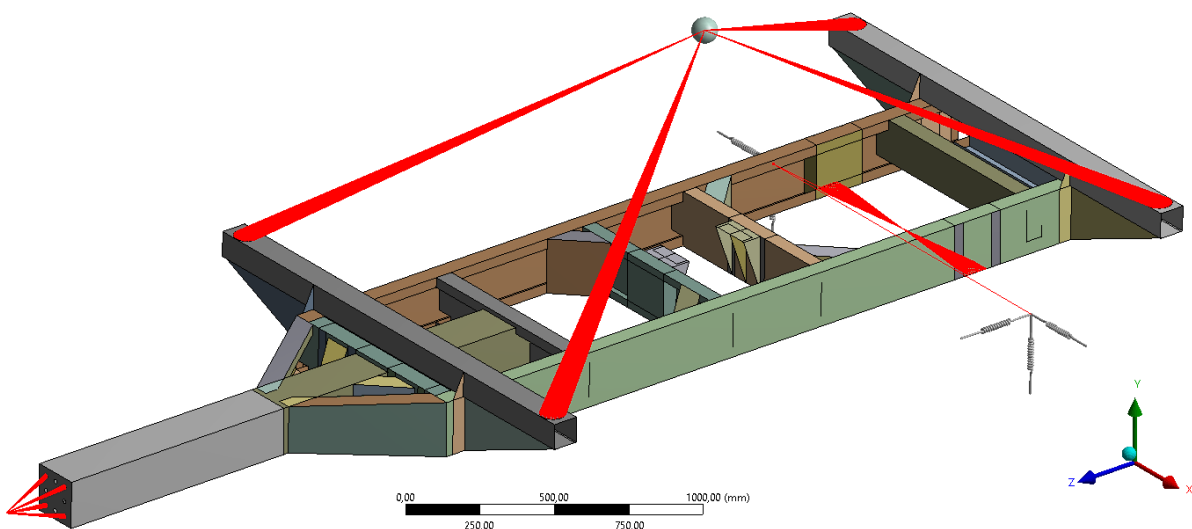
Náklad je nahrazen prvkem Point Mass (hmotný bod), který má souřadnice v těžišti nákladu, a to v nejhorsím možném případě, který může nastat. To je případ, kdy má návěs nainstalovány nástavky a je zaplněn po okraj. Bod má přiřazenou hmotnost 6000 kg, tedy 1000 kg tvoří dodatečné zatížení, ve kterém je zahrnuta bezpečnost při přetížení (což se v praxi děje běžně, hlavně u zemědělských strojů) a váha komponent. Z Obr. 34 lze vyčíst, kde jsou určeny stykové plochy nákladu s rámem nástavby (červená plocha) a koule znázorňuje těžiště nákladu. Pro

přehlednost je pevnostní výpočet prováděn na rámu bez podlahy, čímž je snížena celková pevnost rámu v pevnostním výpočtu.



Obr. 34 Náhrada hmotnosti nákladu a bočnic na rámu nástavby

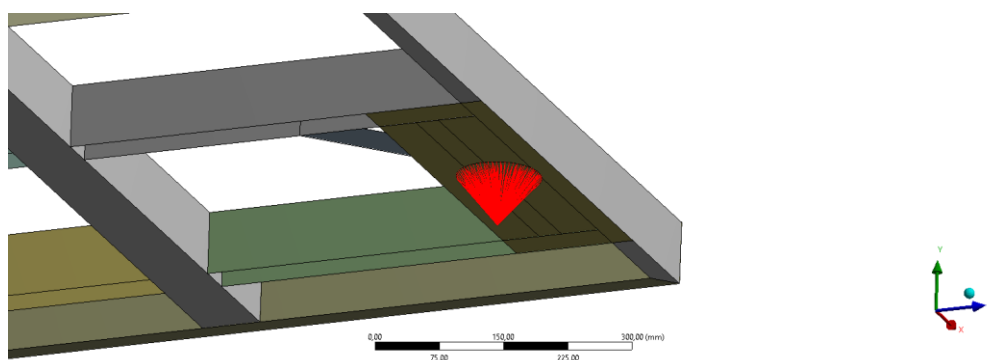
Stejným způsobem je náklad nahrazen u hlavního rámu návěsu (Obr. 35) s tím, že bod má přiřazenou hmotnost 7000 kg, kde 2000 kg tvoří bezpečnost proti přetížení a váha nástavby. Stykové plochy jsou v místě uložení nástavby. V případě vyklápění dozadu a do boku se stykové plochy mění dle potřeby mezi uložení nástavby a uložení hydraulického pístu na hlavním rámu návěsu.



Obr. 35 Nahrazení hmotnosti nákladu a nástavby na rámu podvozku

7.3 NAHRAZENÍ ULOŽENÍ NÁVĚSU

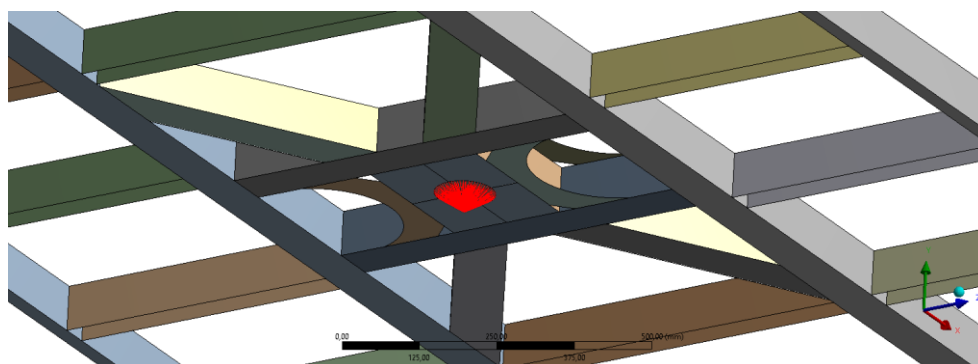
Uložení je nahrazeno pomocí prvku Remote Point s vlastností Rigid, který je umístěn v souřadném systému tak, aby nahradil vzdálenost a zároveň stykovou plochu podle reálného uložení (Obr. 36). Do tohoto pointu je poté umístěn Remote Displacement, kde je možné nastavit šest stupňů volnosti dle potřeb.



Obr. 36 Náhrada uložení nástavby pomocí prvku Remote Point

7.4 NAHRAZENÍ ULOŽENÍ HYDRAULICKÉHO VÁLCE

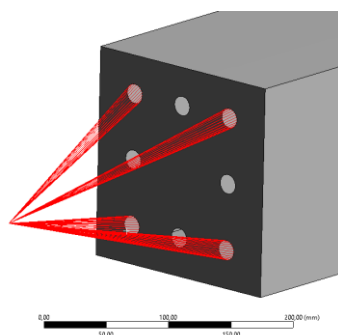
Nahrazení hydraulické válce je provedeno stejným způsobem, jako nahrazení uložení návěsu (Obr. 37).



Obr. 37 Náhrada uložení hydraulického válce pomocí prvku Remote Point

7.5 NAHRAZENÍ ZÁVĚSNÉHO OKA

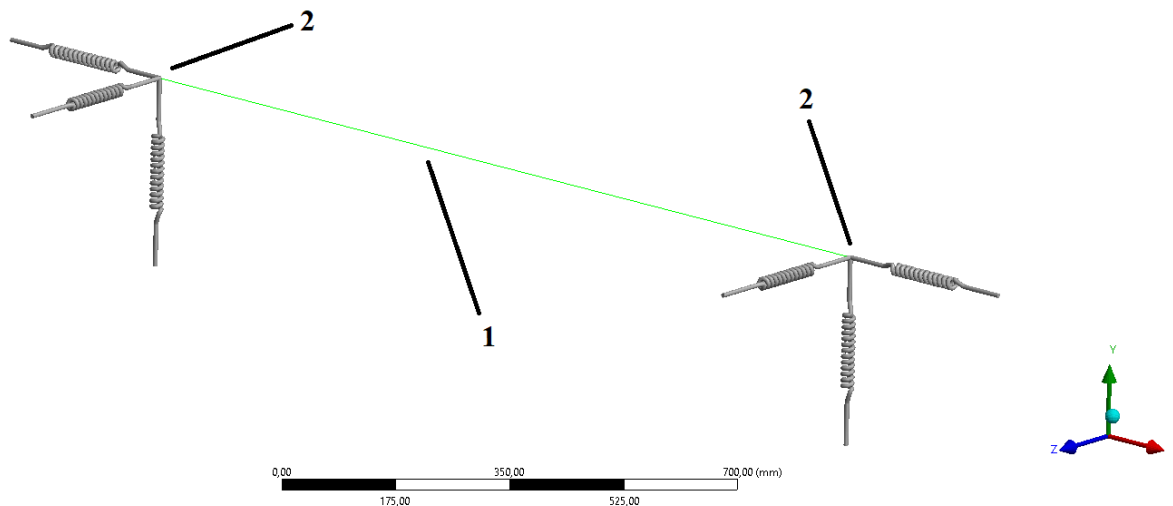
Závěsné oko je také kupované, a proto není třeba na něm provádět pevnostní kontrolu. Oka se prodávají s přírubou, která může mít čtyři, šest nebo osm šroubů. V pevnostní analýze se předpokládá nejhorší případ, tedy čtyři šrouby (Obr. 38). Nahrazení je provedeno stejným způsobem, jako nahrazení uložení nástavby a hydraulického válce.



Obr. 38 Nahrazení závěsného oka návěsu pomocí prvku Remote Point

7.6 NAHRAZENÍ NÁPRAVY

Náhrada nápravy byla provedena tak, aby co nejvíce odpovídala reálnému stavu (Obr. 39). Nosný prvek nápravy je nahrazen prvkem Beam (1), kterému je přiřazena vlastnost Stiff a je pevně spojen s hlavním rámem návěsu s vlastností Rigid. Na koncích nápravy se nachází prvky Spring (2), které nahrazují tuhost pneumatik v jednotlivých směrech.



Obr. 39 Náhrada nápravy a pružnosti pneumatik

7.6.1 TUHOST PNEUMATIK

Tuhost pneumatik je důležitá, pokud chceme co nejreálněji nahradit nápravu v modelu a dosáhnout tak co nejpresnějších výsledků. Návěs je osazen pneumatikami značky Mitas, jejichž parametry jsou uvedeny v Tab. 15.

Tab. 15 Parametry pneumatik potřebné pro výpočet jejich tuhosti

Označení pneumatiky	400/60 – 15,5 152 A8 IM-07
Maximální nosnost [kg]	3550
Nezatížený poloměr [mm]	437,5
Statically zatížený poloměr [mm]	380
Rozdíl nezátíženého a staticky zatíženého poloměru [mm]	57,5

VÝPOČET TUHOSTI PNEUMATIK

$$k_p = \frac{m_{p, max} \cdot g}{\Delta r_p} \quad (9)$$

$$k_p = \frac{3550 \cdot 9,81}{57,5}$$

$$k_p = 605,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

kde:

$m_{p,max} = 3550 \text{ kg}$ maximální nosnost pneumatiky (Tab. 15),

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

$\Delta r_p = 57,5 \text{ mm}$ rozdíl nezatíženého a staticky zatíženého poloměru pneumatiky, (Tab. 15).

VÝPOČET BOČNÍ TUHOSTI PNEUMATIK

Analytické stanovení boční tuhosti pneumatiky je velice obtížné. Proto je použito zjednodušení dle zkušeností, a to podíl z celkové tuhosti pružiny.

$$k_b = \frac{2}{3} \cdot k_p \quad (10)$$

$$k_b = \frac{2}{3} \cdot 605,7$$

$$k_b = 403,8 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

kde:

$k_p = 605,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ tuhost pneumatiky (Rovnice 9).

7.7 VAZBY PRO PROGRAM ANSYS WORKBENCH

Tab. 16 uvádí přehled zrychlení a posuvných vazeb pro jednotlivé zátěžové stavy.

Tab. 16 Posuvné vazby pro jednotlivé zátěžové stavy

Zátěžový stav	Zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]			Závěsné oko			Kola		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Stání, přímá jízda	0	-9,81	0	vazba	vazba	vazba	není	vazba	vazba
Akcelerace	-4,91	-9,81	0	vazba	vazba	vazba	není	vazba	vazba
Brzdění	7,85	-9,81	0	vazba	vazba	vazba	není	vazba	vazba
Průjezd zatáčkou	0	-9,81	4,91	vazba	vazba	vazba	vazba	vazba	vazba
Vyklápění do boku	0	-9,81	0	vazba	vazba	vazba	vazba	vazba	vazba
Vyklápění dozadu	0	-9,81	0	vazba	vazba	vazba	vazba	vazba	vazba

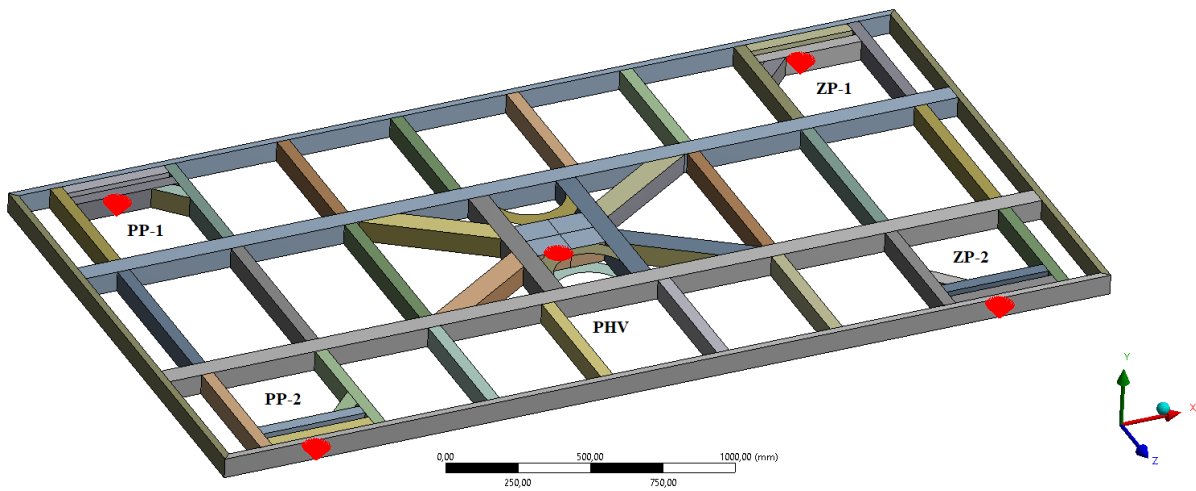
Vazby otáčení u vyklápění jsou uvedeny v Tab. 17. U vyklápění dozadu a do boku, u rámu nástavby, se mění podpory podle zátěžového stavu. Například u vyklápění dozadu se vypnou (Suppress) přední uložení, a naopak uložení hydraulického pístu se zapne (Unsuppress) a nastaví se potřebné stupně volnosti.

U rámu podvozku se u vyklápění mění jen stykové plochy uložení nástavby a hydraulického válce.

Tab. 17 Otočné vazby pro vyklápění

Zátěžový stav	PP-1			PP-2			PHV			ZP-1			ZP-2		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Vyklápění dozadu	-	-	-	-	-	-	není	není	není	vazba	vazba	není	vazba	vazba	není
Vyklápění do boku	-	-	-	není	vazba	vazba	není	není	není	-	-	-	není	vazba	vazba

Zkratka PP znamená podpora přední, u ZP je to podpora zadní a PHV je podpora hydraulického válce (Obr. 40).



Obr. 40 Přehled jednotlivých podpor u rámu nástavby

8 VÝSLEDKY PEVNOSTNÍ ANALÝZY

Kapitola popisuje vyhodnocení pevnostních analýz. Oba rámy jsou ověřeny výše popsanými zátěžovými stavy. Stav napjatosti je určen pomocí teorie HMM, které odpovídá ekvivalentní napětí von Mises v programu Ansys Workbench.

Je potřeba si uvědomit, že výsledky jsou ovlivněny převodem původního objemového modelu na skořepinový. Neobsahuje svary, otvory a zaoblení profilů, čímž dojde ke vzniku ostrých hran, kde program vyhodnotí vysoká napětí tzv. špičková napětí, která mohou být teoreticky nekonečně velká. Navíc jsou tyto špičky napětí přímo úměrně závislé na jemnosti mřížky, čím je mřížka jemnější, tím je vypočítané napětí vyšší. Těmto zkresením lze zamezit objemovým modelem, který by byl identický reálnému modelu, včetně svarů. Nevýhodou objemového modelu je obrovský nárůst výpočtového času programu. Proto je nutné kritická místa posoudit, zda se opravdu jedná o kritické místo či špičkové napětí.

Stupnice legendy je nastavena buďto na maximum 136 MPa nebo 206 MPa, což odpovídá mezi dovoleného napětí po zahrnutí dynamického součinitele materiálů S235 a S355. Záleží, kde se nachází nejkritičtější místo. Všechny hodnoty překračující vymezenou hranici jsou na modelu vyznačeny černou barvou, znázorňující neadekvátní špičková napětí.

U rámu podvozku není uvedena celková deformace, jelikož model obsahuje pružiny, jako náhradu tuhosti pneumatik. Tím jsou výsledky celkové deformace znehodnoceny, protože obsahují jak celkovou deformaci rámu, tak posun způsobený stlačením pružin.

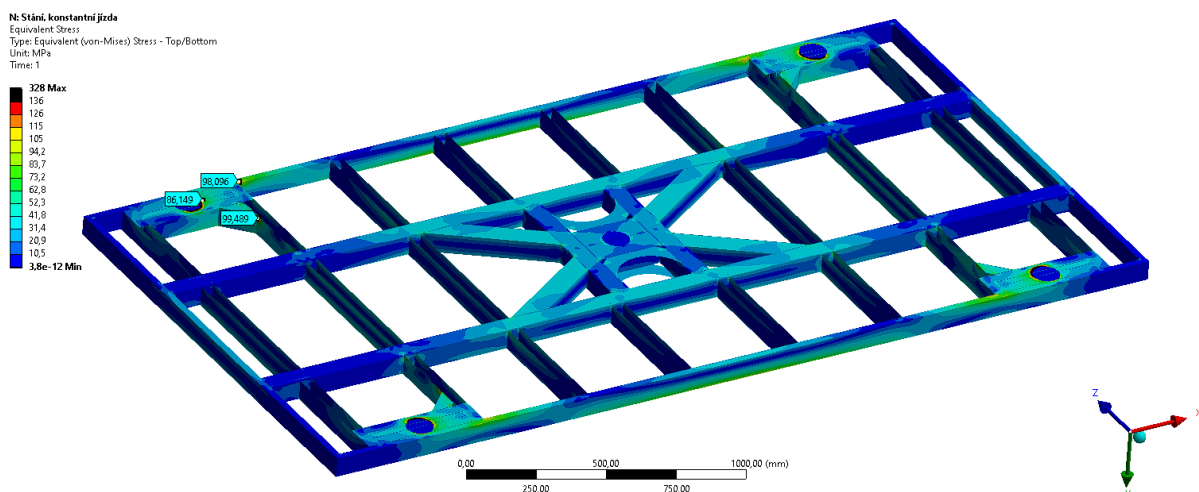
Zvětšené obrázky výsledků jsou k nahlédnutí v přílohách 5-15.

8.1 RÁM NÁSTAVBY

Rám nástavby je celý z oceli S235. Kvůli přehlednosti je pevnostní kontrola prováděna na rámu bez podlahy, což rámu ubírá na celkové pevnosti.

8.1.1 STÁNÍ, PŘÍMÁ JÍZDA

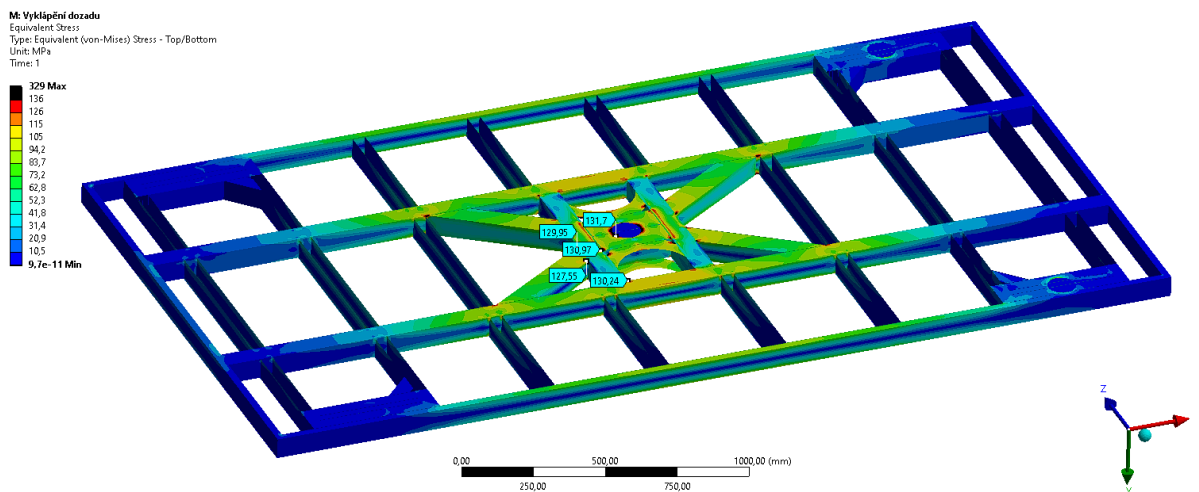
Tento stav by neměl být kritický, jelikož se jedná základní stav a slouží spíše k porovnání ostatních zátěžových stavů. Maximální napětí je 328 MPa v místech uložení nástavby, ale jedná se o ostré hrany, a tedy špičkové napětí. Nejvyšší adekvátní napětí je v blízkém okolí uložení nástavby a dosahuje hodnoty 100 MPa (*Obr. 41*). Stav je **vyhovující**.



Obr. 41 Spodní pohled na rám nástavby v zátěžovém stavu – stání, přímá jízda, průběh napjatosti dle HMM, maximální napětí 328 MPa, legenda: 0-136 MPa, měřítko deformace 1:1 max. 3,9 mm

8.1.2 VYKLÁPĚNÍ DOZADU

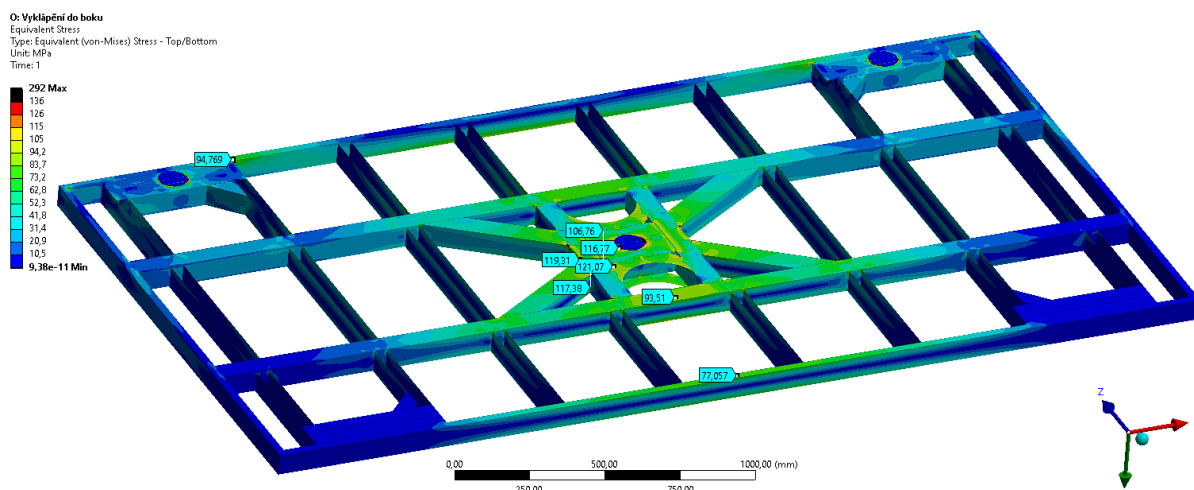
Vyklápění dozadu je jeden z nejrizikovějších stavů. Rám je podpírán pouze zadním kulovým uložením a hydraulickým válcem ve středu rámu. Nejkritičtější poloha je hned po počátku zdvihu, kdy prakticky celou hmotnost nákladu nese hydraulický válec. Maximální napětí proto vzniká ve středu rámu, v okolí uložení válce (Obr. 42). Největší napětí je 329 MPa, ale jedná se o napětí v místě styku ostrých hran, tedy špičkové napětí. Největší adekvátní napětí se nachází v rozích styku jednotlivých prvků v okolí středu a to 132 MPa. Stav je **vyhovující**.



Obr. 42 Spodní pohled na rám nástavby v zátěžovém stavu – vyklápění dozadu, průběh napjatosti dle HMM, maximální napětí 329 MPa, legenda: 0-136 MPa, měřítko deformace 1:1 max. 25 mm

8.1.3 VYKLÁPĚNÍ DO BOKU

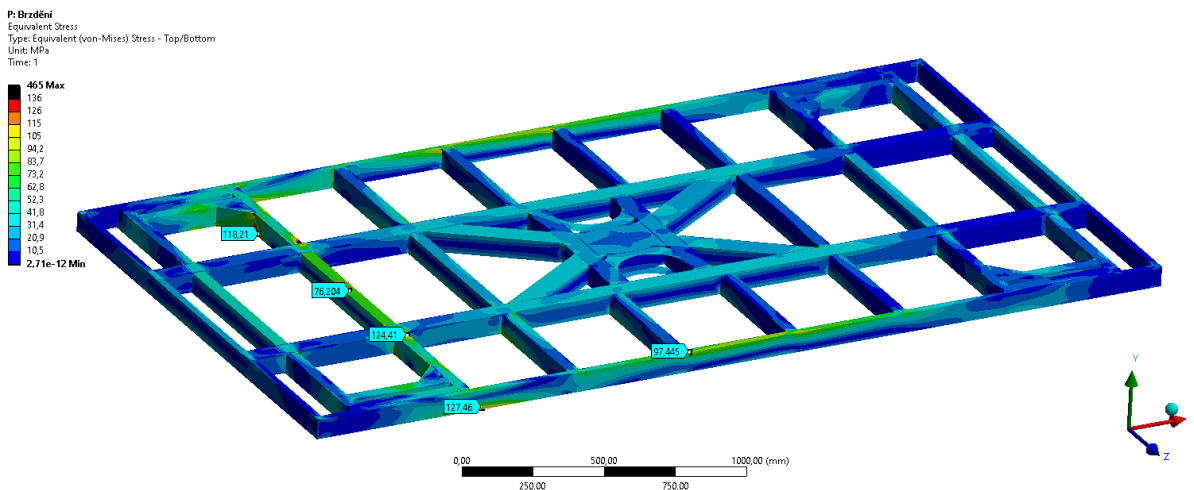
Rám je podpírán ve středu rámu a pak na levé nebo pravé straně, podle směru vyklápění. Tento stav není tak rizikový, jako vyklápění dozadu, protože je zde menší páka. Maximální napětí je 292 MPa, ale jedná se o napětí v místě styku ostrých hran, a tedy špičkové napětí. Největší adekvátní napětí je v okolí uložení hydraulického válce (Obr. 43) a to 120 MPa. Stav je **vyhovující**.



Obr. 43 Spodní pohled na rám nástavby v zátěžovém stavu – vyklápění do boku, průběh napjatosti dle HMM, maximální napětí 292 MPa, legenda: 0-136 MPa, měřítko deformace 1:1 max. 17 mm

8.1.4 AKCELERACE A BRZDĚNÍ

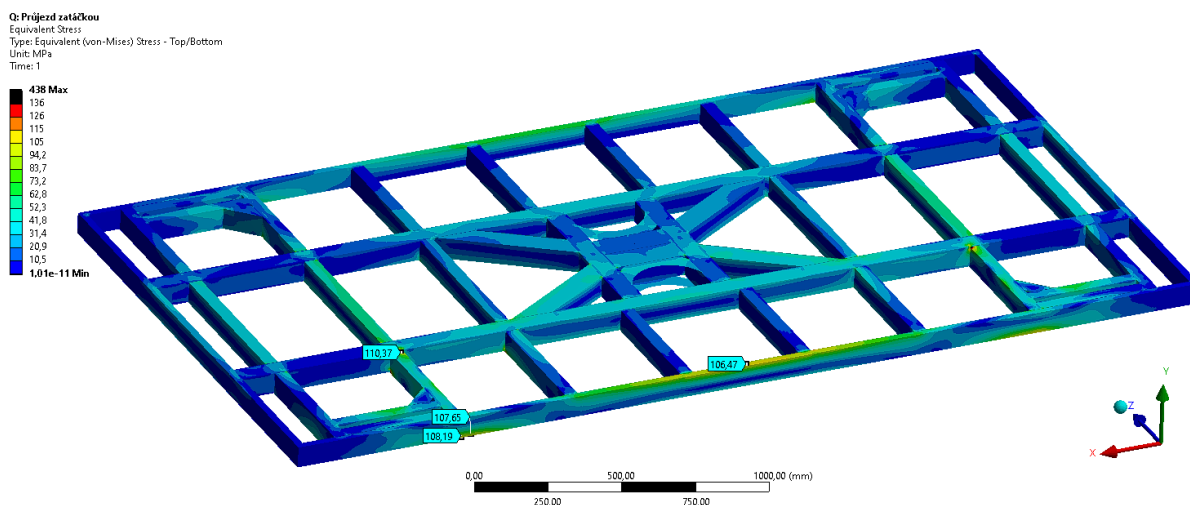
Jelikož je rám nástavby symetrický, není potřeba zvlášť simulovat zátěžové stavy akcelerace a brzdění. Proto je simulováno pouze brzdění, které má vyšší hodnotu zrychlení. Nejvyšší napětí je v místě předního uložení rámu (Obr. 44). Maximální napětí je 465 MPa, ale opět se jedná o špičkové napětí. Největší adekvátní napětí je 128 MPa. Stav při brzdění je *vyhovující*, a tedy i stav při akceleraci je *vyhovující*.



Obr. 44 Horní pohled na rám nástavby v zátěžovém stavu – akcelerace a brzdění, průběh napjatosti dle HMM, maximální napětí 465 MPa, legenda: 0-136 MPa, měřítko deformace 1:1 max. 3,9 mm

8.1.5 PRŮJEZD ZATÁČKOU

Při průjezdu zatáčkou je přetěžována levá strana rámu, jelikož je simulována pravotočivá zatáčka (Obr. 45). Maximální napětí je 438 MPa, ale jedná se o špičkové napětí. Největší adekvátní napětí se nachází na v okolí levého uložení nástavby a nabývá hodnoty 126 MPa. Stav je *vyhovující*.



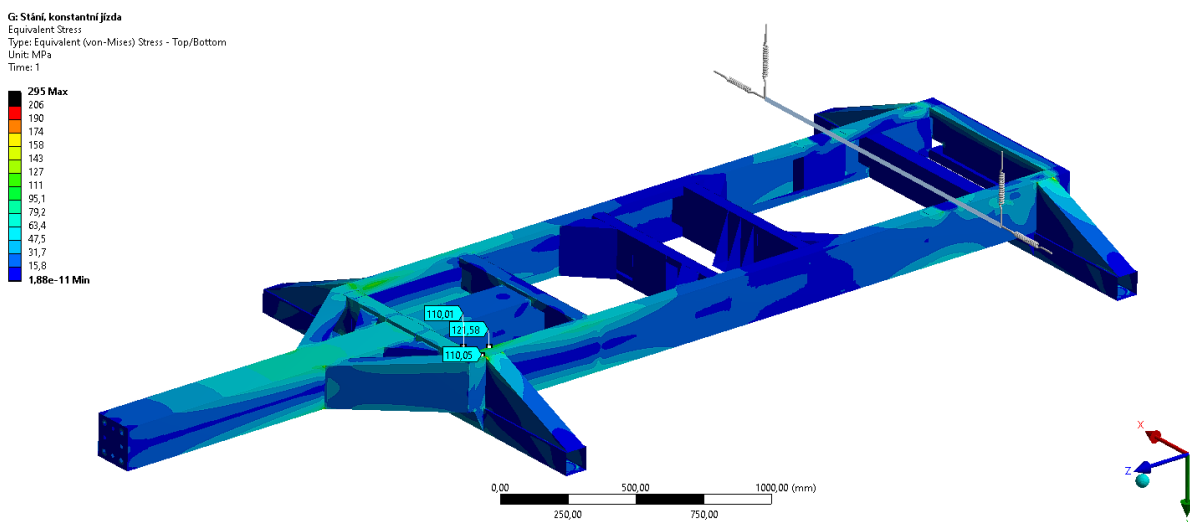
Obr. 45 Horní pohled na rám nástavby v zátěžovém stavu – průjezd zatáčkou, průběh napjatosti dle HMH, maximální napětí 438 MPa, legenda: 0-136 MPa, měřítko deformace 1:1 max. 4,2 mm

8.2 RÁM PODVOZKU

Výsledky rámu podvozku neobsahují celkovou deformaci, jelikož model obsahuje pružiny nahrazující tuhost pneumatik, které tyto výsledky znehodnocují.

8.2.1 STÁNÍ, PŘÍMÁ JÍZDA

Nejedná se o kritický stav, jde o základní stav pro porovnání s ostatními stavy. Maximální napětí rámu je 295 MPa, ale jedná se o špičkové napětí. Největší adekvátní napětí rámu podvozku vzniká v přední části hlavních podélných nosníků z C profilu (Obr. 46), a to o hodnotě 122 MPa. Stav je *vyhovující*.

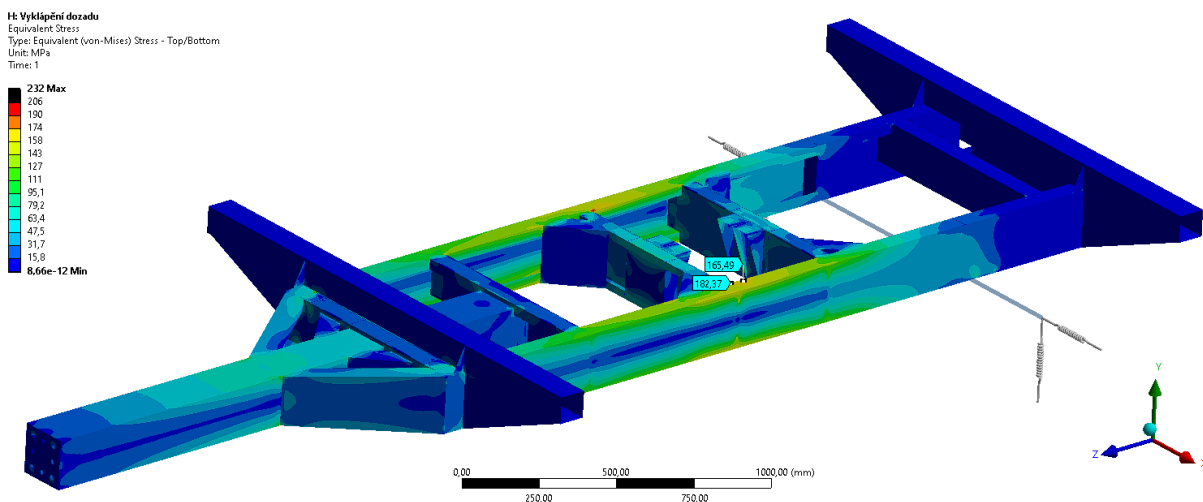


Obr. 46 Spodní pohled na rám podvozku v zátěžovém stavu – stání, přímá jízda, průběh napjatosti dle HMH, maximální napětí 295 MPa, legenda: 0-206 MPa

8.2.2 VYKLÁPĚNÍ DOZADU

Při vyklápění dozadu, se napětí koncentruje ve středu rámu. Maximální napětí nabývá hodnoty 232 MPa, ale jedná se o špičkové napětí. Největší adekvátní hodnota napětí se nachází

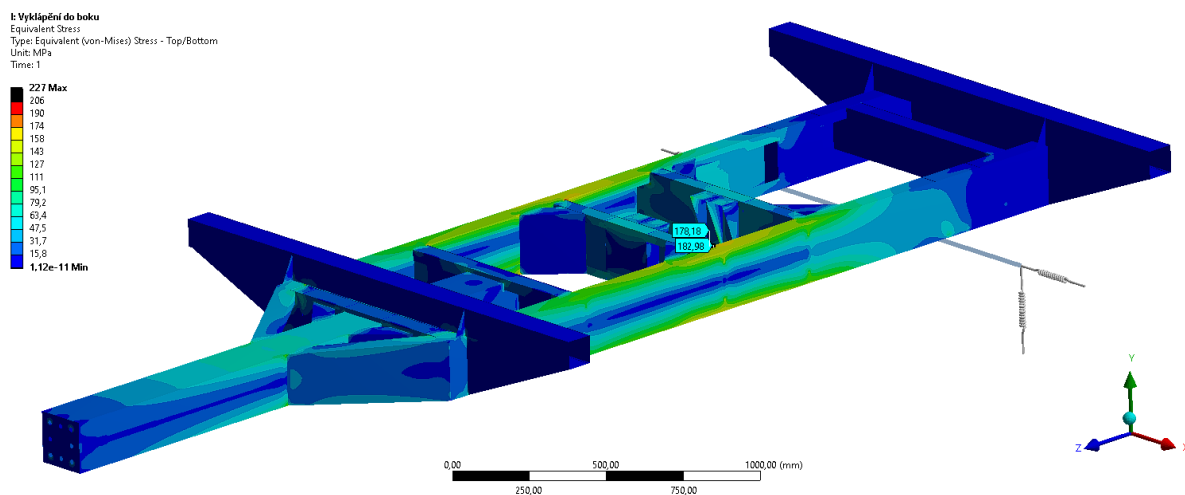
v napojení středních příčných nosníků s podélnými nosníky (Obr. 47), a to o hodnotě 183 MPa. Tento stav je *vyhovující*.



Obr. 47 Horní pohled na rám podvozku v zátěžovém stavu – vyklápění dozadu, průběh napjatosti dle HMM, maximální napětí 232 MPa, legenda: 0-206 MPa

8.2.3 VYKLÁPĚNÍ DO BOKU

U vyklápění do boku se napětí koncentruje, stejně jako u vyklápění dozadu, ve středu rámu. Maximální napětí nabývá hodnoty 227 MPa, ale jedná se o špičkové napětí. Největší adekvátní hodnota napětí se nachází v napojení středních příčných nosníků s podélnými nosníky (Obr. 48), a to o hodnotě 183 MPa. Tento stav je *vyhovující*.

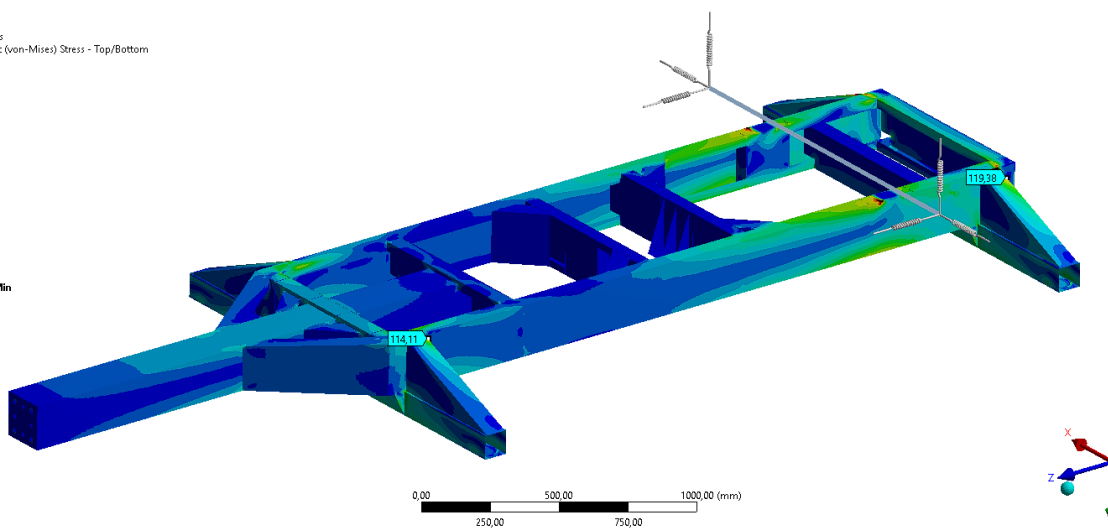
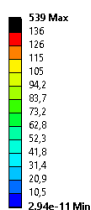


Obr. 48 Horní pohled na rám podvozku v zátěžovém stavu – vyklápění do boku, průběh napjatosti dle HMM, maximální napětí 227 MPa, legenda: 0-206 MPa

8.2.4 ZRYCHLENÍ

Při zrychlení je nejvíce zatížena zadní část rámu (Obr. 49). Maximální napětí dosahuje hodnoty 539 MPa, ale jedná se o špičkové napětí. Největší adekvátní napětí o hodnotě 120 MPa se nachází u zadního vyztužení podpírající zadní nosník, na kterém je zadní uložení nástavby. Stav je *vyhovující*.

J: Zrychlení
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1

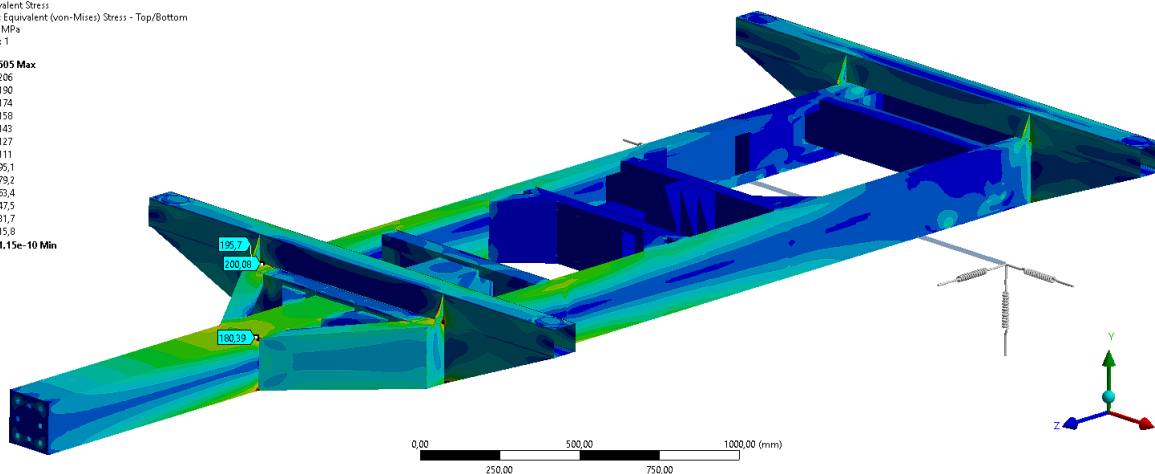
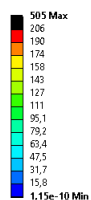


Obr. 49 Spodní pohled na rám podvozku v zátěžovém stavu – zrychlení, průběh napjatosti dle HMM, maximální napětí 539 MPa, legenda: 0-136 MPa

8.2.5 BRZDĚNÍ

Při brzdění je největší koncentrace napětí v přední části rámu. Maximální napětí je 505 MPa, ale opět se jedná o špičkové napětí. Největší adekvátní napětí se nachází na oji a předná části podélných nosníků v místě výztuh mezi těmito dvěma částmi (Obr. 50), a to o hodnotě 200 MPa. Stav je *vyhovující*.

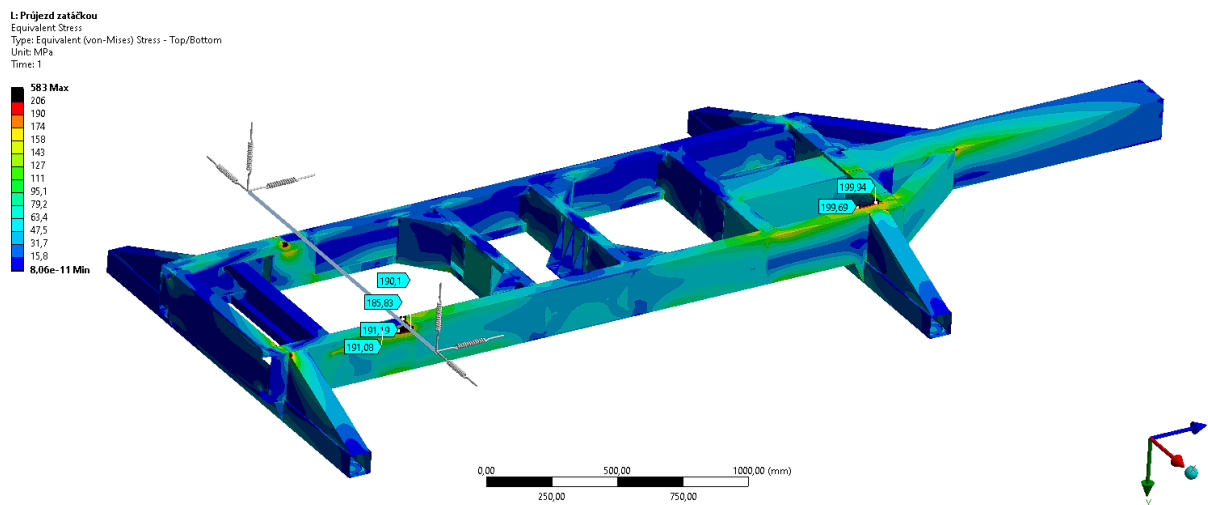
K: Brzdění
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1



Obr. 50 Horní pohled na rám podvozku v zátěžovém stavu – brzdění, průběh napjatosti dle HMM, maximální napětí 505 MPa, legenda: 0-206 MPa

8.2.6 PRŮJEZD ZATÁČKOU

Opět je simulována pravotočivá zatáčka, což se projeví koncentrací napětí na levé části rámu. Maximální napětí nabývá hodnoty 583 MPa, ale jedná se o špičkové napětí. Největší adekvátní napětí se se nachází ve spodní části podélných nosníků v místech napojení nápravy a v přední části pod vzpěrou podírající nosník předního uložení nástavby (Obr. 51) a dosahuje hodnoty 200 MPa. Stav je *vyhovující*.



Obr. 51 Spodní pohled na rám podvozku v zátěžovém stavu – průjezd zatáčkou, průběh napjatosti dle HMM, maximální napětí 583 MPa, legenda: 0-206 MPa

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvoření koncepčního návrhu jednonápravového, zemědělského návěsu s třístranně sklápěnou nástavbou. Při návrhu bylo důležité dodržet nejen zadané parametry, ale i aktuální legislativní předpisy pro způsobilost provozu po pozemních komunikacích. Důležitým krokem při návrhu návěsu bylo provedení pevnostní analýzy rámu podvozku a rámu nástavby, pomocí metody konečných prvků.

Úvodní kapitoly se zabývají charakteristikou přípojných vozidel několika návěsů obdobné kategorie dostupných na dnešním trhu a rozborem legislativních předpisů, týkajících se navrhovaného přípojného vozidla.

Před samotným návrhem konstrukce návěsu, byly upřesněny jednotlivé části návěsu a byl proveden výběr z několika možných variant těchto částí.

Následuje jedna z hlavních kapitol, zabývající se samotnou konstrukcí navrhovaného návěsu. Na začátku jsou popsány celkové parametry návěsu, popis navrženého rámu podvozku a rámu nástavby, po nichž je popsán výběr kupovaných částí včetně jejich parametrů.

Před provedením pevnostní analýzy bylo nutno nejdřív určit zátěžové stavy návěsu, které mohou nastat v běžném provozu. Jedná se o stavy stání, přímá jízda, vyklápění nástavby dozadu a do boků, akceleraci, brzdění a průjezd zatáčkou. Hodnoty akcelerací v zátěžových stavech jsou určeny pomocí normy ČSN EN 12195-1. Pro pevnostní analýzu byl model převeden do prostředí výpočtového programu Ansys Workbench, kde byl změněn z objemového na skořepinový, nahrazen náklad, uložení nástavby, přípojovací zařízení a náprava s pneumatikami za prvky umožňující definici a výpočet zátěžových stavů. Pevnostní kontrola byla provedena zvlášť pro rám nástavby a zvlášť pro rám podvozku pro všech šest daných zatěžovacích stavů.

Na základě výsledků první pevnostní analýzy byla optimalizována a následně přepočítána nevyhovující konstrukční místa obou rámu. Tento optimalizační proces se několikrát opakoval do bodu, kdy hodnota napětí byla na většině kritických míst pod hodnotou meze kluzu daného materiálu, poníženou o dynamický součinitel. Na rámech se stále nacházejí místa, která svým napětím přesahují dovolené meze. Jedná se však o místa, vzniklá zjednodušením objemových modelů na modely skořepinové, čímž došlo ke vzniku ostrých hran, kde teoreticky může vznikat nekonečně vysoké napětí tzv. špičkové napětí. Tato místa vznikají zjednodušením modelů pro potřeby výrazného snížení výpočtového času pro rychlejší optimalizaci návrhu. Ve skutečnosti napětí v těchto místech budou výrazně nižší. Rovněž kvůli bezpečnosti bylo počítáno s větším zatížením, než na které je návěs určen. V zátěžových stavech je dle normy ČSN EN 12195-1 zahrnuta míra bezpečnosti, která odpovídá nebo dokonce přesahuje možné mezní stavy zrychlení z pohledu fyziky a dynamiky vozidel, zejména zemědělských.

Výsledkem práce je koncepční návrh jednonápravového, zemědělského návěsu s třístranně sklápěnou nástavbou, splňující zadané parametry a současné legislativní předpisy pro provoz po pozemních komunikacích.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SYROVÝ, Otakar. *Doprava v zemědělství*. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-30-4.
- [2] MÜHREL, Kunibert a Miloslav VELEBIL. *Doprava a manipulace s materiálem v zemědělství*. Praha: SZN, 1978.
- [3] ŠTEFFL, Zdeněk. *Traktory*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1964.
- [4] Návěsy třístranné ZDT. Zdt.cz [online]. [cit. 09-12-2021]. Dostupné z: <https://www.zdt.cz/cz/vyrobky/jednoucelove-stroje/navesy-tristranne>
- [5] Traktorový návěs BIG 7.5 - WTC Písečná. Wtc-pisečna.eu [online]. [cit. 09-12-2021]. Dostupné z: <https://www.wtc-pisečna.eu/traktorove-navesy-big-7-5>
- [6] UMEGA – NÁVĚSY jednoosé SPT – třístranně sklopné. Umega.cz [online]. [cit. 09-12-2021]. Dostupné z: <https://www.umega.cz/navesy-jednoose-spt-tristranne-sklopne-2/>
- [7] EDK 6500 - MOLCIK. Molcik.eu [online]. [cit. 09-12-2021] Dostupné z: <https://www.molcik.eu/edk-6500.html>
- [8] Vyhláška č. 341/2014 Sb., Vyhláška o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. In: Sbíрка zákonů.
- [9] Vyhláška č, 209/2018 Sb., Vyhláška o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel. In: Sbíрка zákonů.
- [10] Nařízení evropského parlamentu a rady (EU) č. 167/2013., Nařízení o schvalování zemědělských a lesnických vozidel a dozoru nad trhem s těmito vozidly, In: Sbíрка zákonů.
- [11] ČSN EN 12195-1: Zajišťování břemen na silničních vozidlech – Bezpečnost – Část 1: Výpočet zajišťovacích sil. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [12] ČSN EN 1993-1-1. Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006.
- [13] Výměnné systémy Annaburger. CRS Marketing, s.r.o. [online]. [cit. 09-12-2021]. Dostupné z: <https://www.crs-marketing.cz/vymenne-systemy-nastaveb-multi-land-plus/#group-30>
- [14] Jednoúčelové i univerzální stroje. Zemedelec.cz [online]. [cit. 09-12-2021]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/jednoucelove-i-univerzalni-stroje/>
- [15] Víceúčelová traktorová dopravní technika. Mechanizaceweb.cz [online]. [cit. 09-12-2021]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/viceucelova-traktorova-dopravni-technika/>
- [16] Třístranné sklápěcí návěsy Rehos. Profistroje.cz [online]. [cit. 25.01.2022]. Dostupné z: <https://www.profistroje.cz/prectete-si/tristranne-sklapec-i-navesy-rehos.html>

- [17] Dovoz a prodej japonských traktorů. Japonsketraktory.cz [online]. [cit. 25.01.2022]. Dostupné z: <https://www.japonsketraktory.cz/wp-content/uploads/2021/05/2021-04-16-14.57.37.jpg>
- [18] Agropartner Soběslav – komplexní služby v zemědělství. Agropartner.cz [online]. [cit. 25.01.2022]. Dostupné z: <https://www.agropartner.cz/vyprodej-zavesu-posledni-kusy-p298.html>
- [19] Spare parts for agricultural machinery and tractors. Agropomoc.cz [online]. [cit. 25.01.2022]. Dostupné z: <https://www.agropomoc.com/Prod-11153-scharmuller-piton-fix-scharmuller.html>
- [20] KRAMP. Kramp.com [online]. [cit. 25.01.2022]. Dostupné z: <https://www.kramp.com/shop-cz/cs/p/kulov%C3%BD-z%C3%A1v%C4%9Bs-k80-330-mm--07633042A02>
- [21] TASKO STEEL. Taskosteel.com.pl [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://teskosteel.com.pl/cz/valcovane-za-tepla>
- [22] ADR SpA - Axles, Suspensions, Brakes and Wheels. Adraxles.com [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: https://www.adraxles.com/EN/res/273/ADR-General-Catalogue_RevApr2021.pdf
- [23] MITAS. Mitas-tyres.com [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://mitas-tyres.com/en/products/agricultural-tyres/implement-non-traction/im-07>
- [24] PRONAR. Pronar.pl [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: http://www.pronar.pl/pdf/PRONAR_complete_wheel_and_tire-solutions.pdf
- [25] Wheels and tyres adapted to your needs. Pronarwheels.com [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://pronarwheels.com/en/https://www.hsppartners.cz/data/produkty/29/light-duty-techdata.pdf>
- [26] Sklápěcí sady. Hsppartners.cz [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://www.hsppartners.cz/data/produkty/29/light-duty-techdata.pdf>
- [27] ITALAUTOCAR Sady pro třístranné sklápěče. Hsppartners.cz [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://www.hsppartners.cz/data/produkty/554/sady-pro-tristranne-sklapece.pdf>
- [28] Bočnicový profil HV 500 | HSP Partners. Hsppartners.cz [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://www.hsppartners.cz/cs/produkty/bocnicove-profily-fuhrmann/vyska-500-mm/bocnicovy-profil-hv-500.html>
- [29] ITALAUTOCAR Příslušenství nástaveb. Hsppartners.cz [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://www.hsppartners.cz/cs/produkty/prislusenstvi-nastaveb-italautocar/>
- [30] Tažné oko s 6-děrou přírubou, provedení A, DIN 11026, Ø 40 mm. Granit-parts.cz [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://www.granit-parts.cz/e/productlist/P%C5%99%C3%ADv%C4%9Bsy-a-dopravn%C3%AD->

technika/Ta%C5%BEne-spojky-a-
p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/Vle%C4%8Dne-oka-s-
p%C5%99%C3%ADrubami-a-
p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/Ta%C5%BEne-oko-s-6-
d%C4%9Brou-p%C5%99%C3%ADrubou-proveden%C3%AD-A-DIN-11026-%C3%98-
40-mm?locale=cs

- [31] Opěrné kolo přívěsu Simol - nosnost 1000 kg | Zemědělské potřeby M+S. Eshop eshop-zemedelske-potreby.cz [online]. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz/operne-kolo-privesu-simol-nosnost-1000-kg-p17944/#gallery>
- [32] Osvětlení pro přívěsy. Provelky.cz [online]. [cit. 26.03.2022] Dostupné z: [https://www.provelky.cz/katalog/de/beleuchtung-und-elektrik-fur-anhanger--agro--truck/ruckleuchten/ruckleuchten-led/produkt/zadni-skupinova-svitilna-w124-920-led-prava---osvit-spz--couvaci-svetlo](https://www.provelky.cz/katalog/de/beleuchtung-und-elektrik-fur-anhanger--agro--truck/ruckleuchten/ruckleuchten-led/produkt/zadni-skupinova-svitilna-w124-920-led-prava---osvit-spz--couvaci-svetlohttps://www.provelky.cz/katalog/de/beleuchtung-und-elektrik-fur-anhanger--agro--truck/ruckleuchten/ruckleuchten-led/produkt/zadni-skupinova-svitilna-w124-920-led-prava---osvit-spz--couvaci-svetlo)
- [33] Osvětlení pro přívěsy. Provelky.cz [online]. [cit. 26.03.2022] <https://www.provelky.cz/katalog/osvetleni-pro-privesy-navesy-agrotechniku/pozicni-svitilny/oranzove-pozicni-svitilny/produkt/svitilna-pozicni-w128-oranzova-led-vc.-odrazky>
- [34] Osvětlení pro přívěsy. Provelky.cz [online]. [cit. 26.03.2022] <https://www.provelky.cz/katalog/de/beleuchtung-und-elektrik-fur-anhanger--agro--truck/ruckfahr---nebelschluss---kennzeichenleuchten/produkt/osvetleni-spz-cerne-w52z>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

C	[mm]	Výška výsuvu hydraulického válce
Δr_p	[mm]	Rozdíl nezatíženého a staticky zatíženého poloměru pneumatiky
a_a	[m·s ⁻²]	Zrychlení pro zátěžový stav akcelerace
a_b	[m·s ⁻²]	Zrychlení pro zátěžový stav vyrovnané brzdění
a_z	[m·s ⁻²]	Zrychlení pro zátěžový stav průjezd zatáčkou
$c_x, vpřed$	[-]	Koeficient zrychlení podélně vpřed
$c_x, vzad$	[-]	Koeficient zrychlení podélně vzad
c_y	[-]	Koeficient zrychlení příčně – pouze posunutí
$f_{D, 235}$	[MPa]	Dovolené napětí po zahrnutí dynamického součinitele oceli S235
$f_{D, 355}$	[MPa]	Dovolené napětí po zahrnutí dynamického součinitele oceli S355
$f_{yD, 235}$	[MPa]	Návrhová pevnost oceli S235
$f_{yD, 355}$	[MPa]	Návrhová pevnost oceli S355
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
k_b	[N·mm ⁻¹]	Boční tuhost pneumatik
k_D	[-]	Dynamický součinitel
k_p	[N·mm ⁻¹]	Tuhost pneumatik
L	[mm]	Vzdálenost mezi uložením hydraulického válce a uložením nastavby
$m_{p,max}$	[kg]	Maximální nosnost pneumatiky
$R_{e, 235}$	[MPa]	Dolní mez kluzu oceli S235
$R_{e, 355}$	[MPa]	Dolní mez kluzu oceli S355
X	[mm]	Rozdíl výšky mezi hydraulického válce a uložením nastavby
α	[°]	Maximální úhel vyklápění
β	[°]	Úhel v kulovém uložení hydraulického válce
γ_M	[-]	Součinitel spolehlivosti materiálu

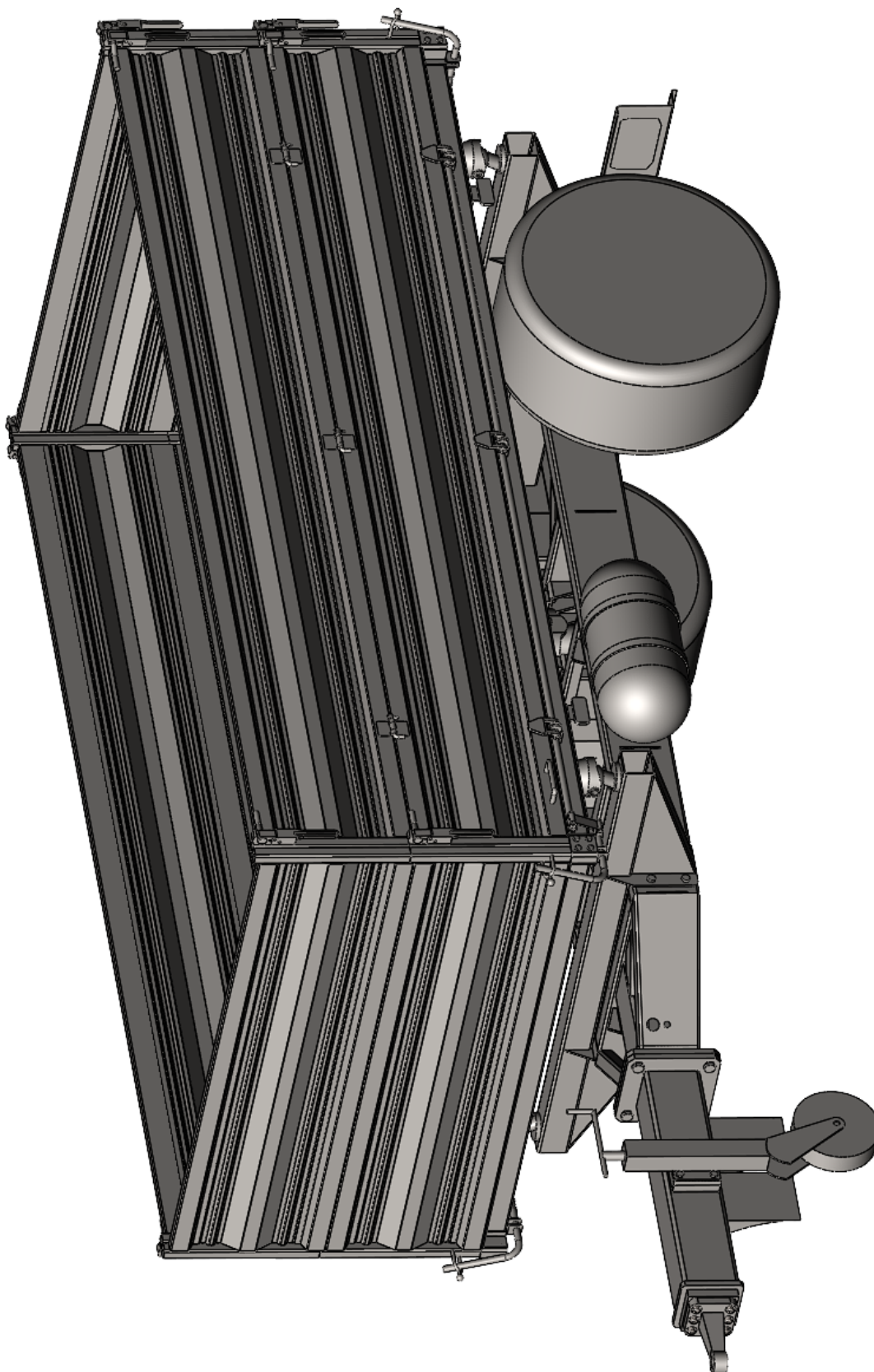
SEZNAM PŘÍLOH

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 při vyklápění dozadu	III
PŘÍLOHA 4	Pohled na návěs při vyklápění do boku	IV
PŘÍLOHA 5	Rám nástavby - zatěžovací stav stání, přímá jízda	V
PŘÍLOHA 6	Rám nástavby - zatěžovací stav vyklápění dozadu	VI
PŘÍLOHA 7	Rám nástavby - zatěžovací stav vyklápění do boku	VII
PŘÍLOHA 8	Rám nástavby - zatěžovací stav akcelerace a brzdění	VIII
PŘÍLOHA 9	Rám nástavby - zatěžovací stav průjezd zatáčkou	IX
PŘÍLOHA 10	Rám podvozku - zatěžovací stav stání, přímá jízda	X
PŘÍLOHA 11	Rám podvozku - zatěžovací stav vyklápění dozadu	XI
PŘÍLOHA 12	Rám podvozku - zatěžovací stav vyklápění do boku	XII
PŘÍLOHA 13	Rám podvozku - zatěžovací stav akcelerace	XIII
PŘÍLOHA 14	Rám podvozku - zatěžovací stav brzdění	XIV
PŘÍLOHA 15	Rám podvozku - zatěžovací stav průjezd zatáčkou	XV

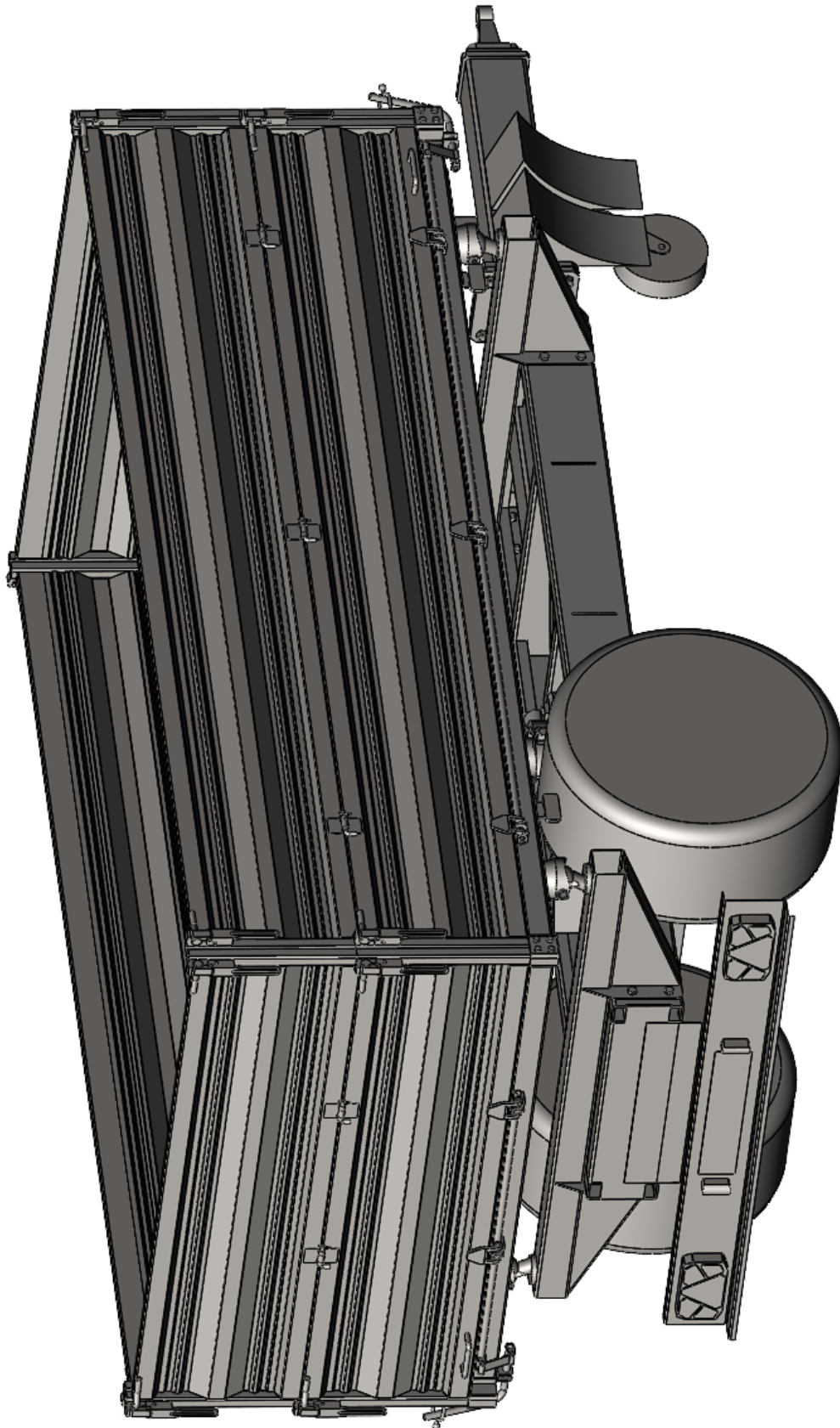
SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH

Výkres sestavy:	Třístranně sklápěný návěs	1-DP-10000	1ks
Výkres svařence:	Rám podvozku	2-DP-10100	2ks
Kusovníky:	Třístranně sklápěný návěs	1-DP-10000	2ks
	Rám podvozku	2-DP-10100	2ks
Výrobní výkresy:	Podélný nosník - levý	3-DP-10101	1ks
	Příčný nosník s dírou	3-DP-10103	1ks
Katalogový výkres:	Třístranně sklápěný návěs	3-DP-KV	1ks

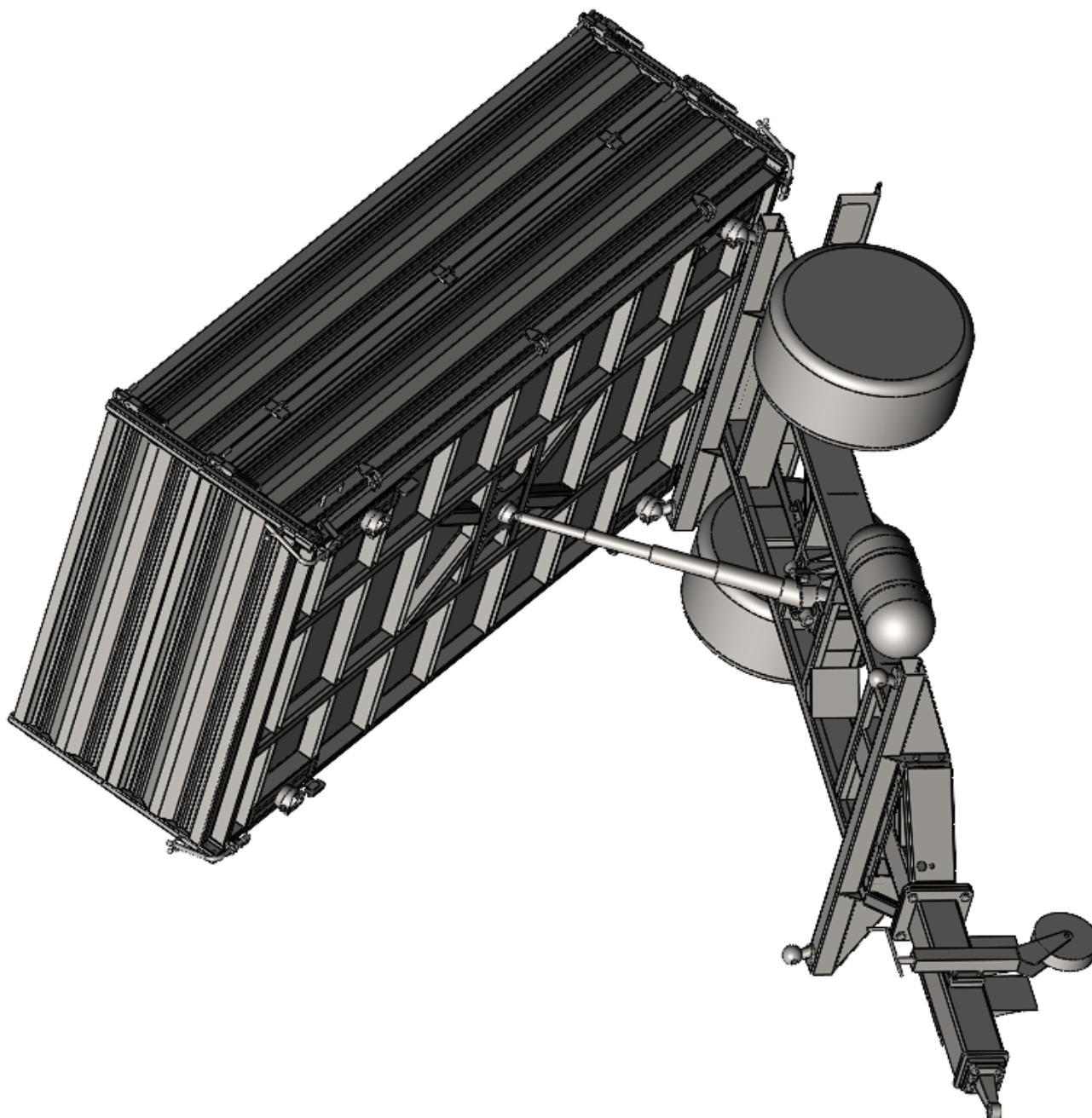
PŘÍLOHA 1 - Pohled na návěs v základní poloze zepředu



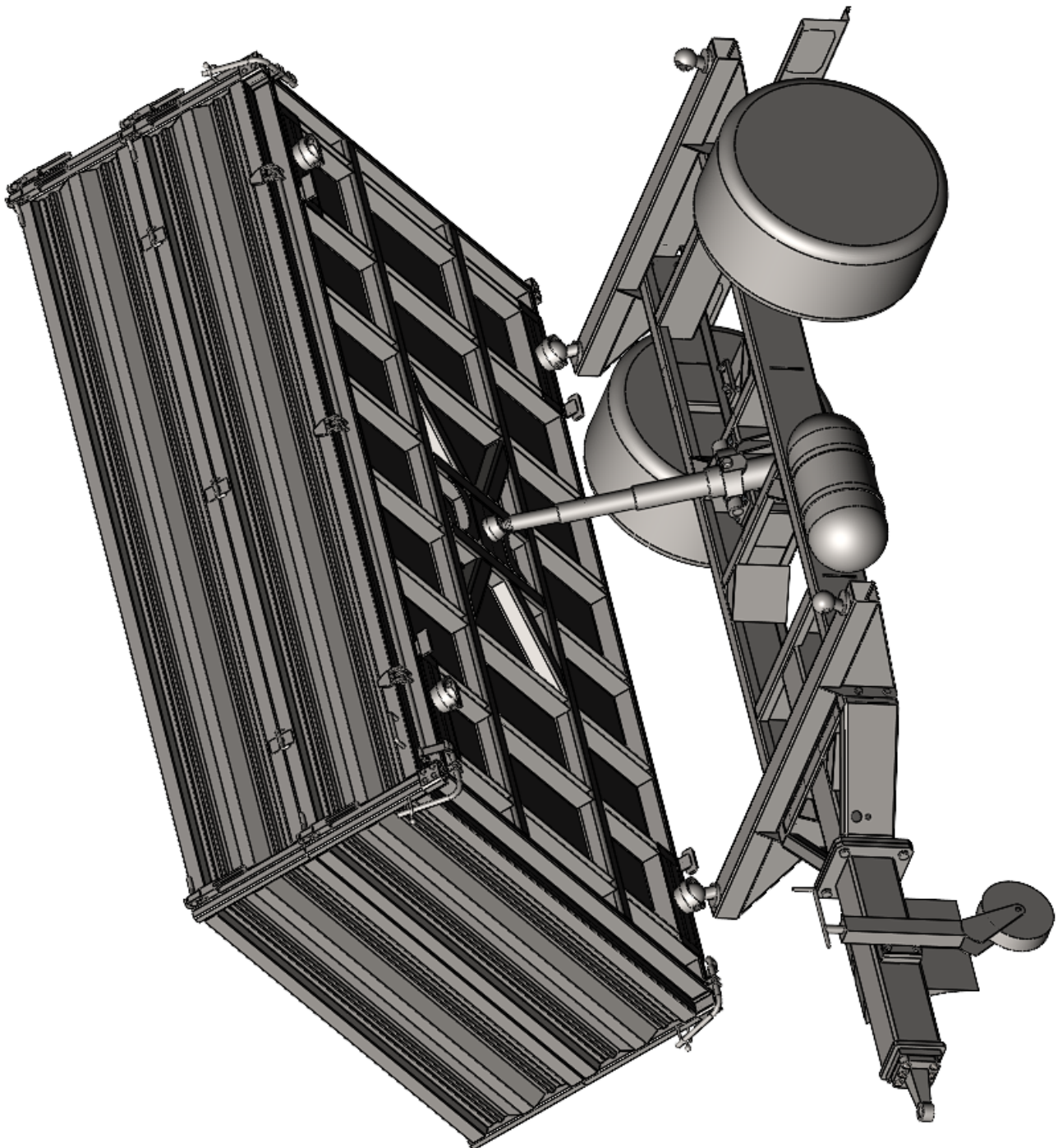
PŘÍLOHA 2 – Pohled na návěs v základní poloze zezadu



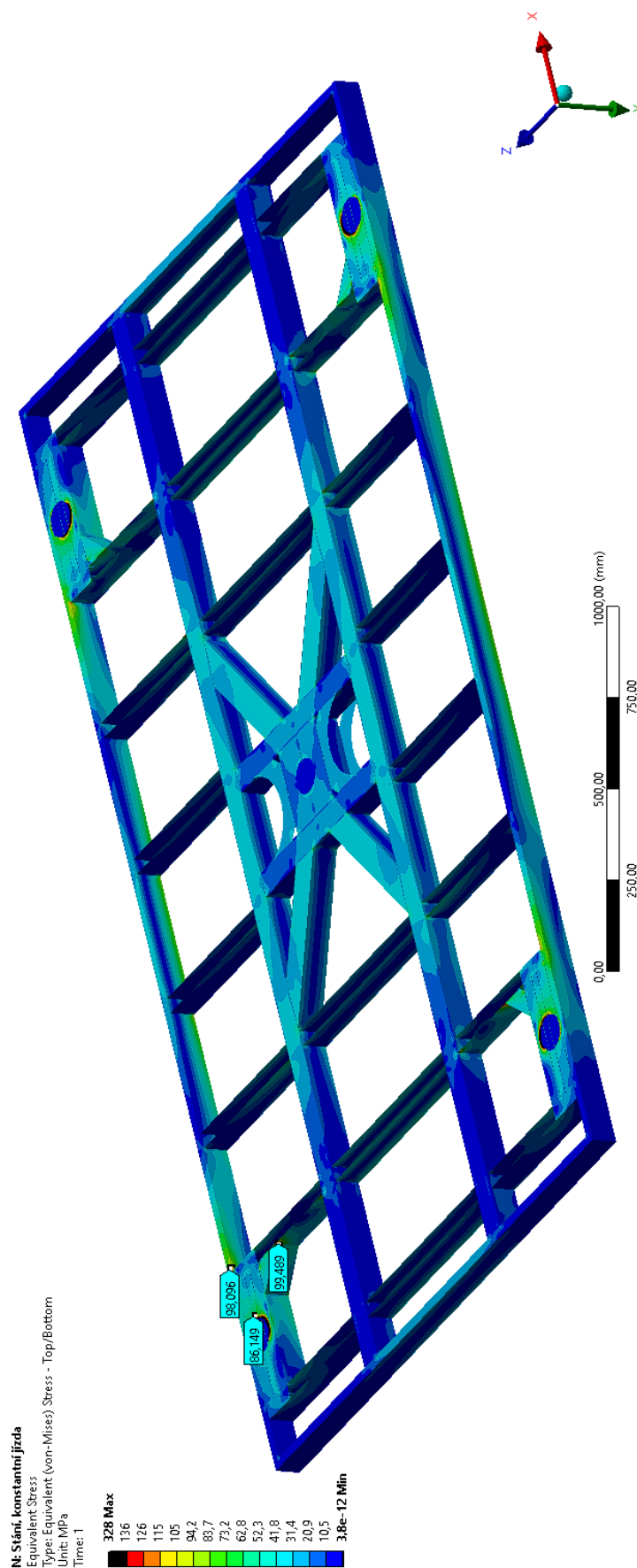
PŘÍLOHA 3 - Pohled na návěs při vyklápění dozadu



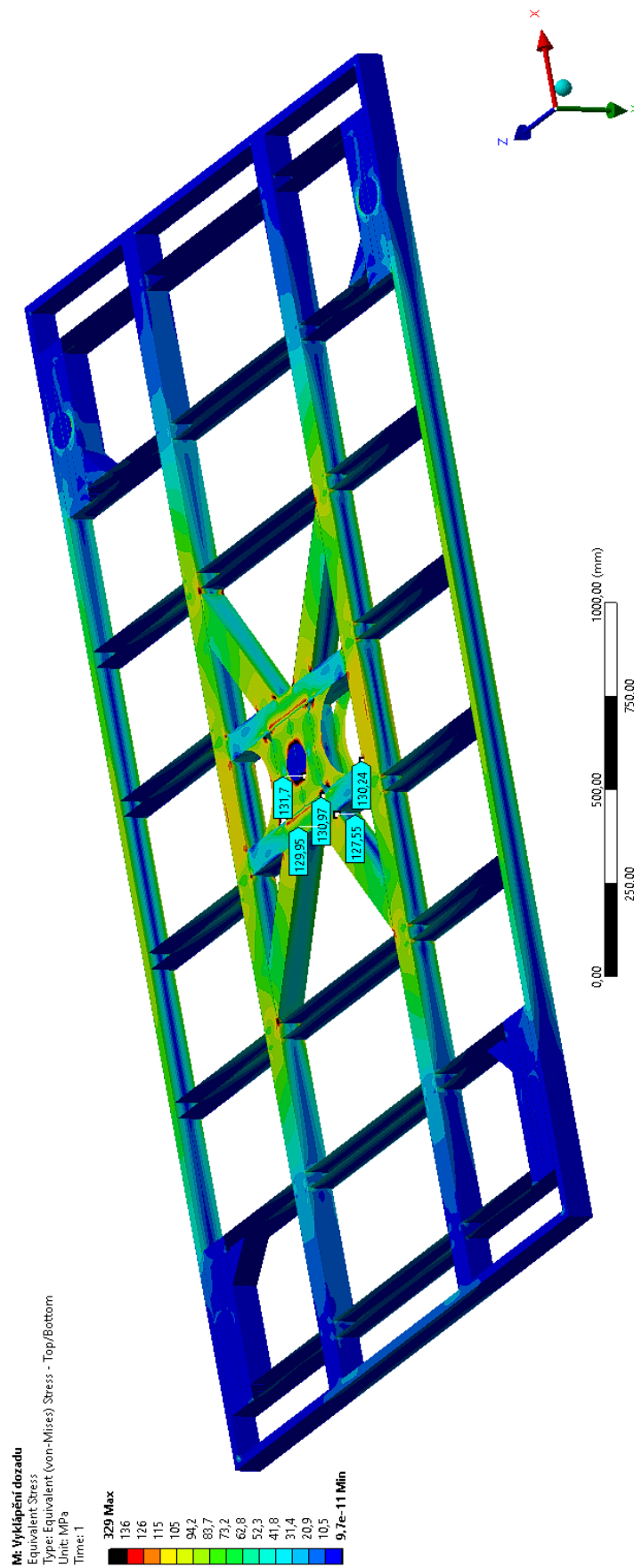
PŘÍLOHA 4 - Pohled na návěs při vyklápění do boku



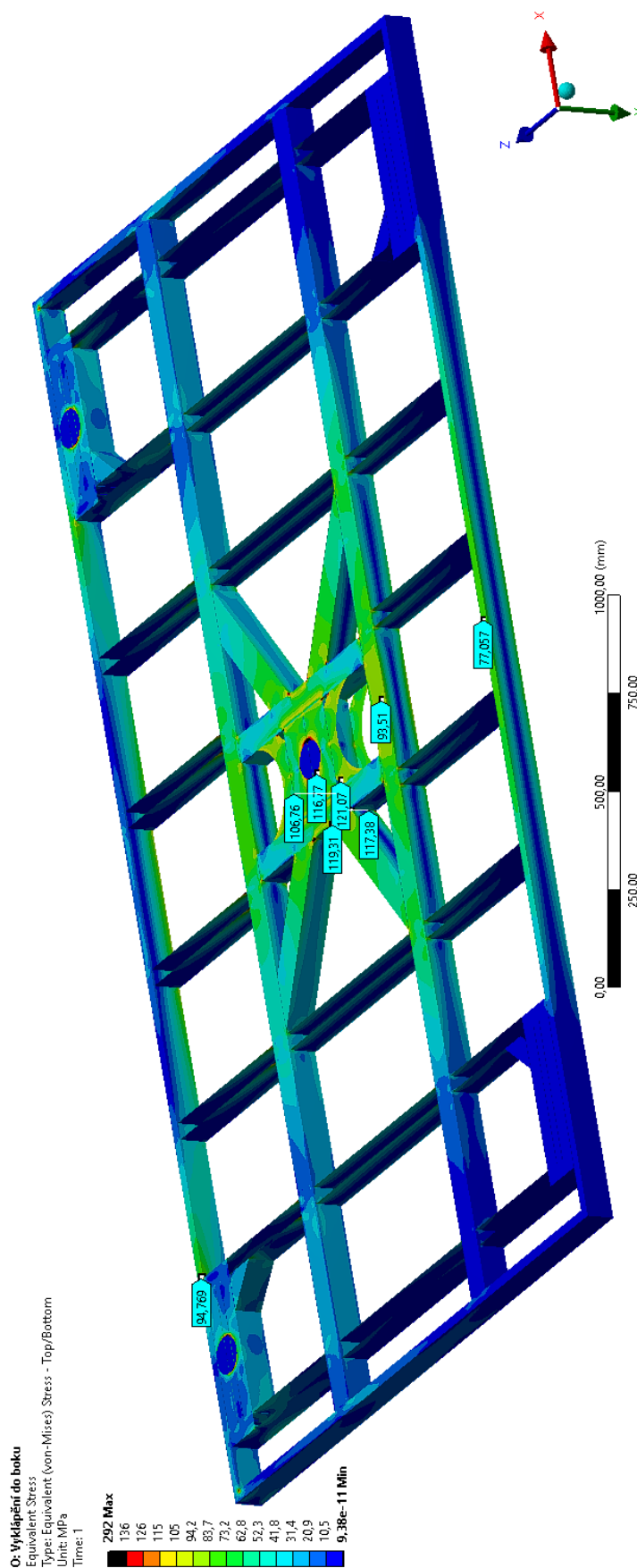
PŘÍLOHA 5 - Rám nástavby - zatěžovací stav stání, přímá jízda



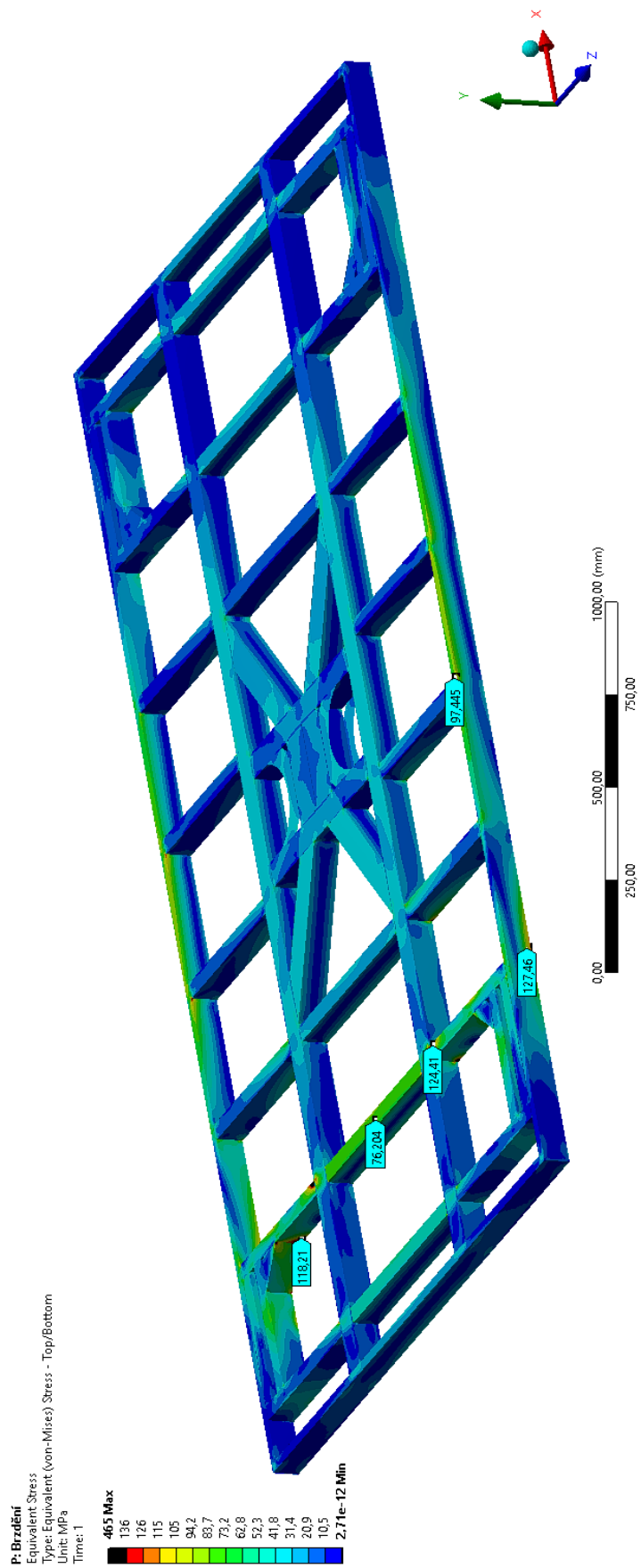
PŘÍLOHA 6 - Rám nástavby - zatěžovací stav vyklápění dozadu



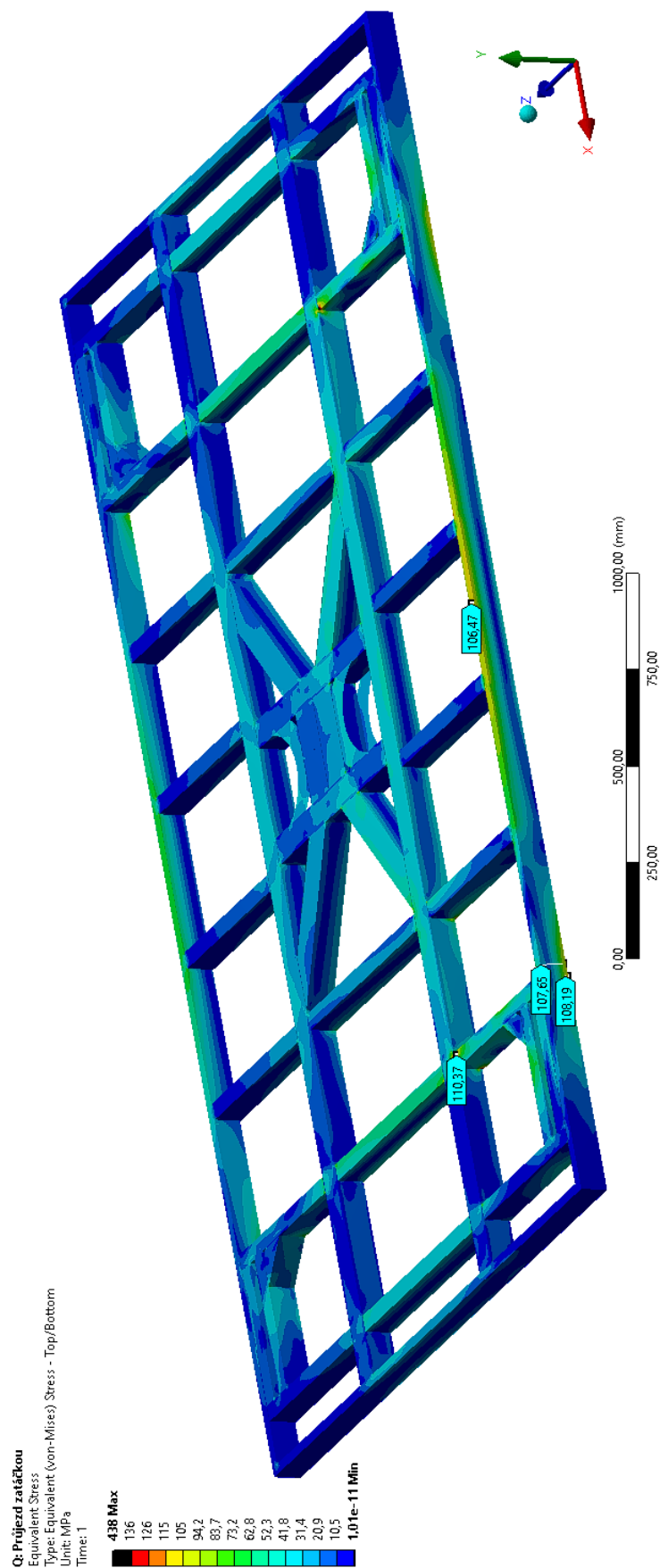
PŘÍLOHA 7 - Rám nástavby - zatěžovací stav vyklápní do boku



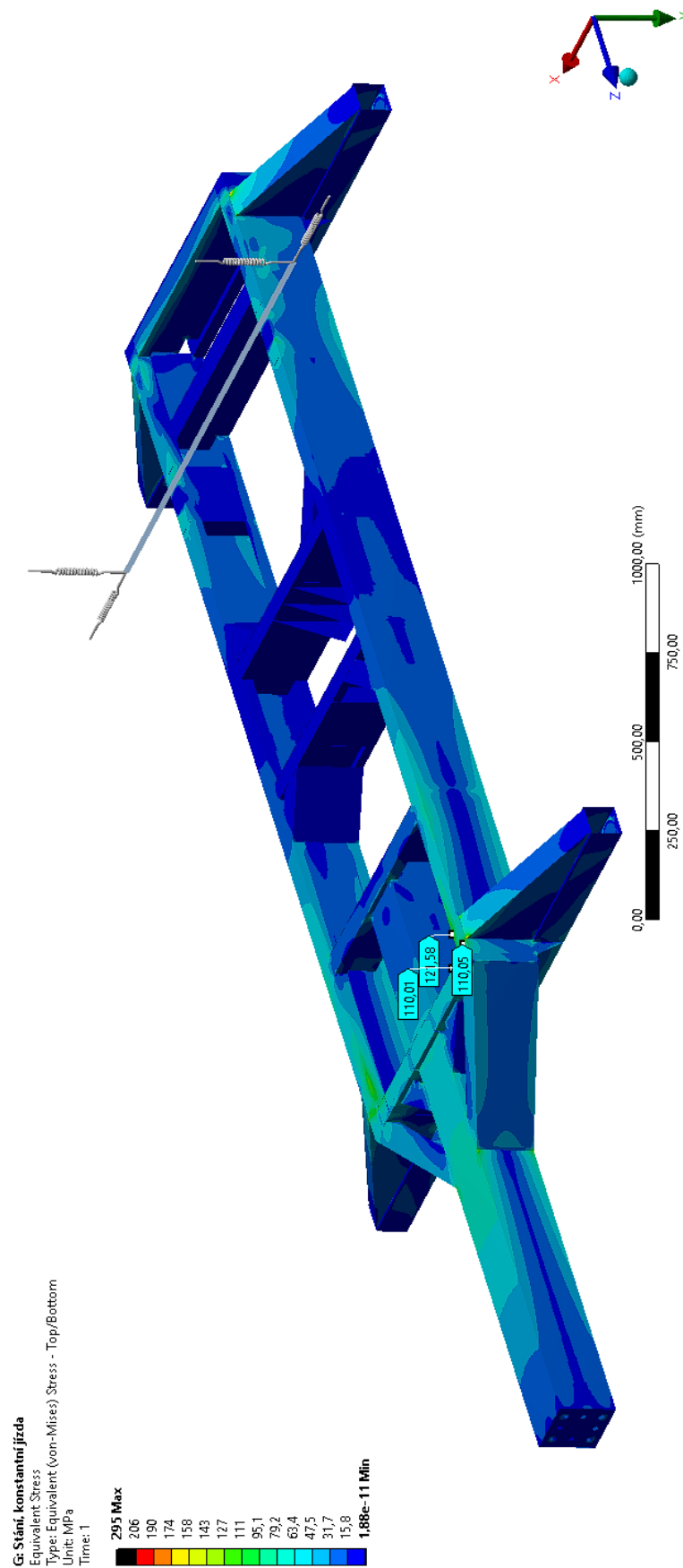
PŘÍLOHA 8 - Rám nástavby - zatěžovací stav akcelerace a brzdění



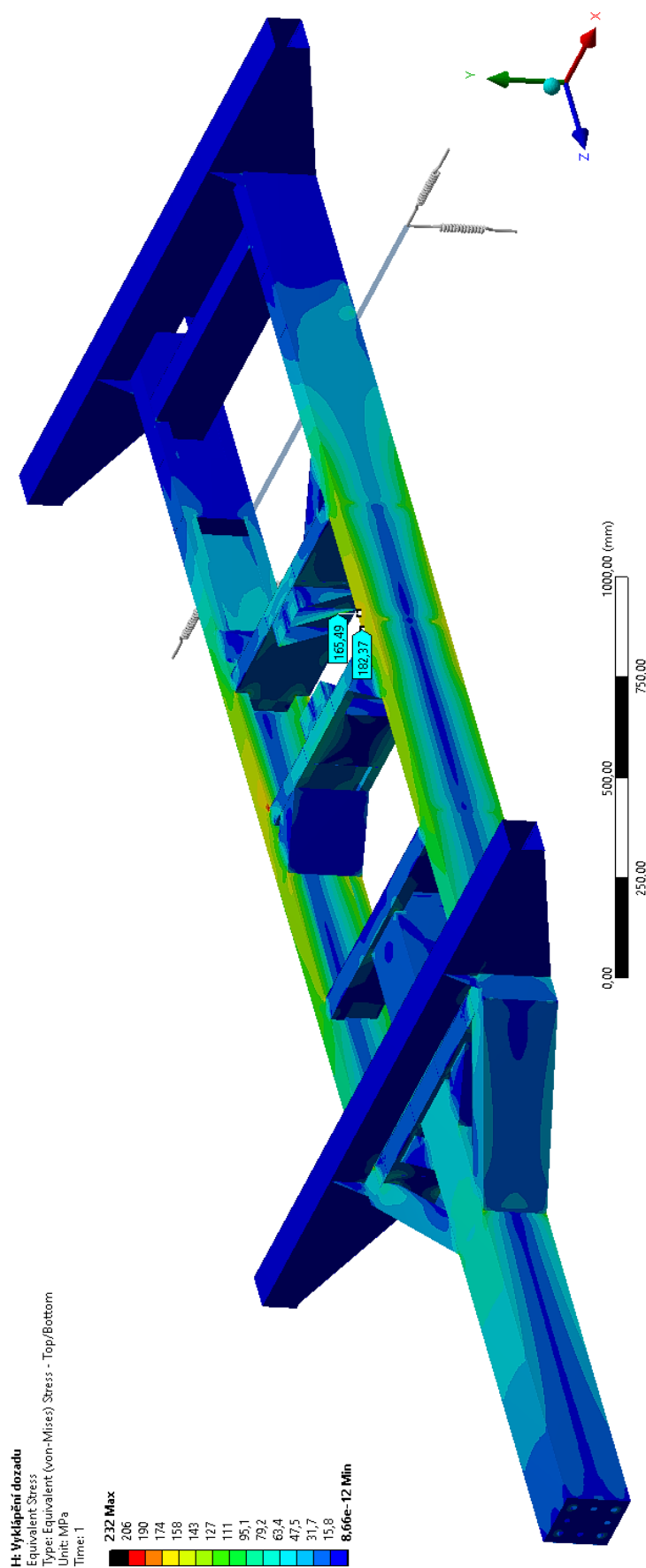
PŘÍLOHA 9 - Rám nástavby - zatěžovací stav průjezd zatáčkou



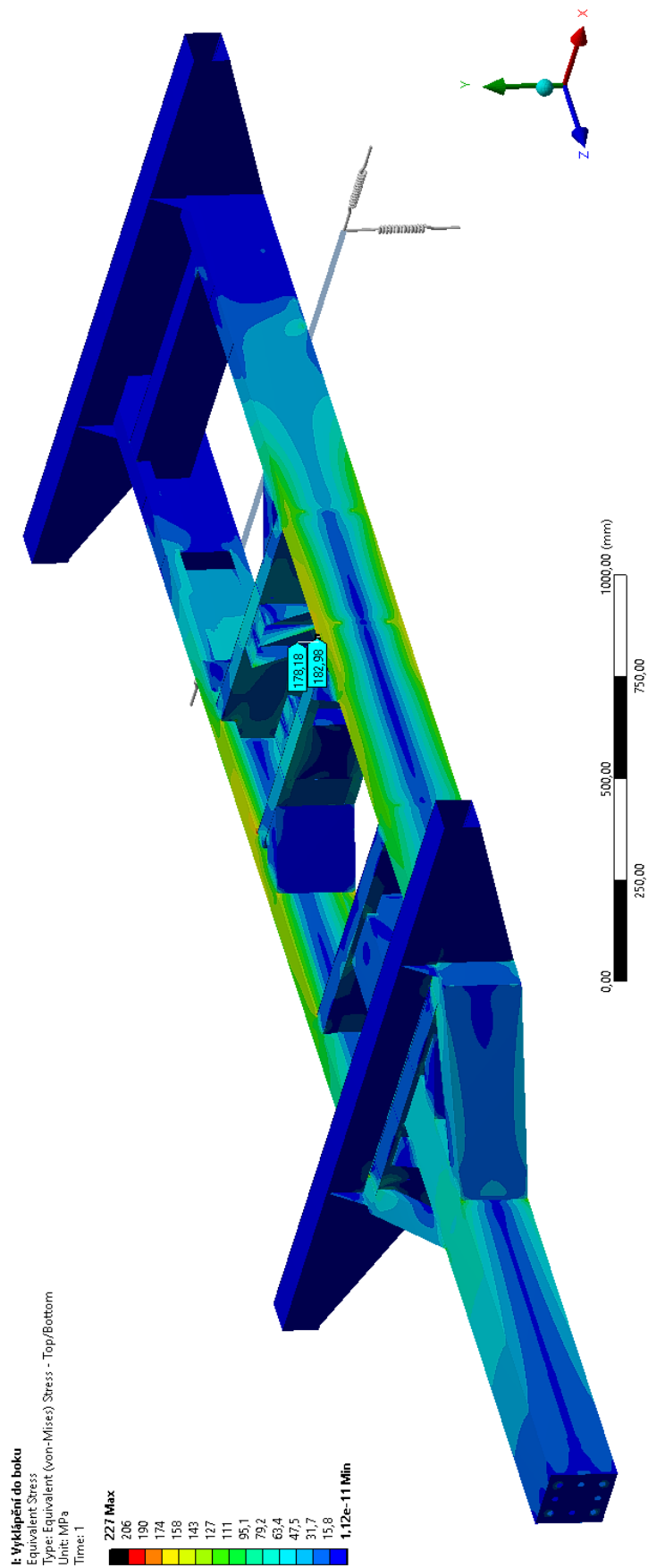
PŘÍLOHA 10 - Rám podvozku - zatěžovací stav stání, přímá jízda



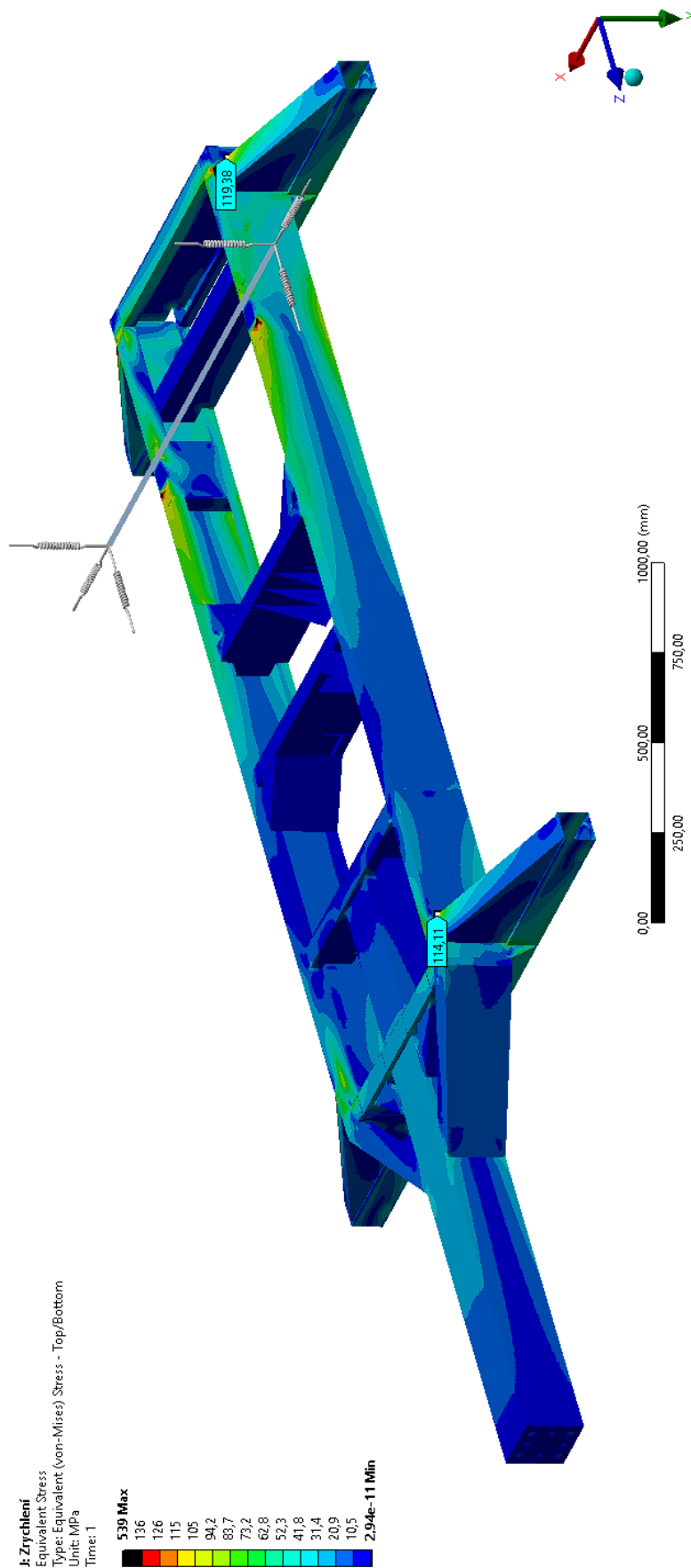
PŘÍLOHA 11 - Rám podvozku - zatěžovací stav vyklápění dozadu



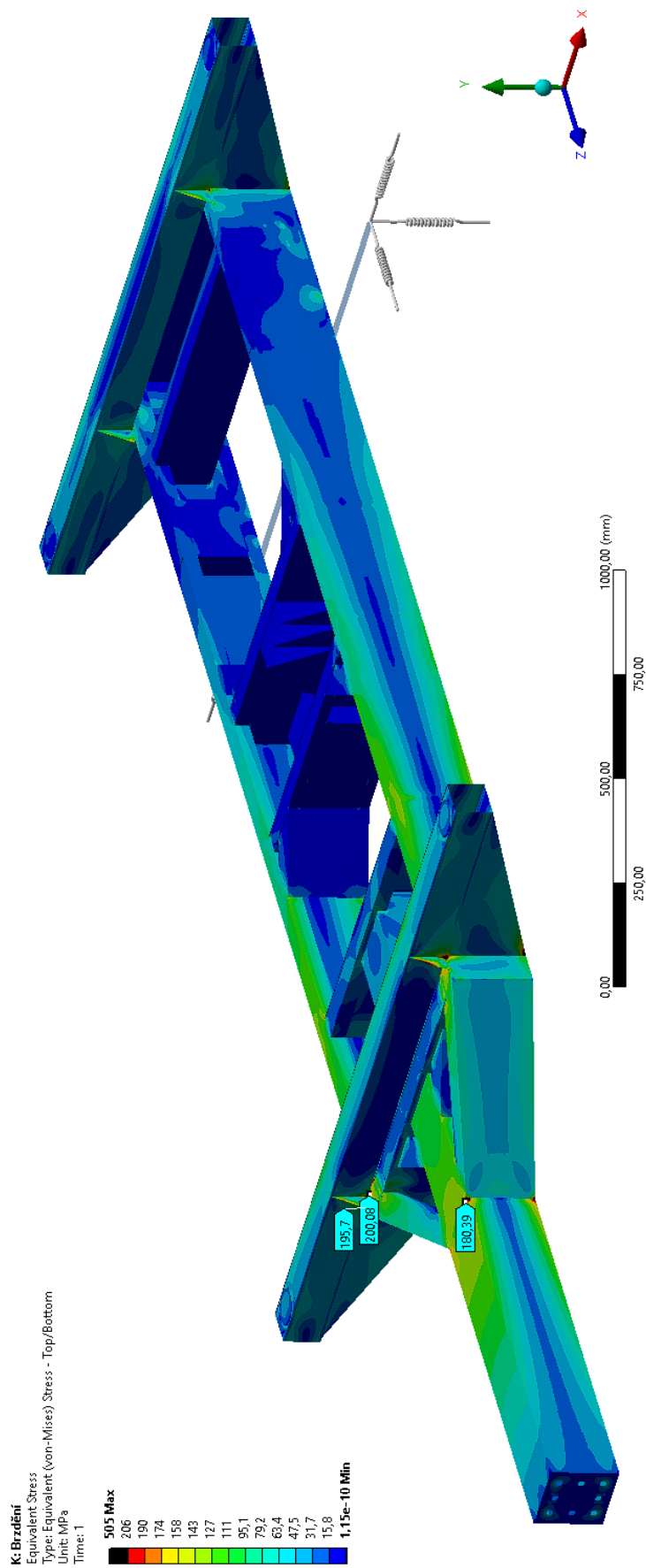
PŘÍLOHA 12 - Rám podvozku - zatěžovací stav vyklápění do boku



PŘÍLOHA 13 - Rám podvozku - zatěžovací stav akcelerace



PŘÍLOHA 14 - Rám podvozku - zatěžovací stav brzdění,



PŘÍLOHA 15 - Rám podvozku - zatěžovací stav průjezd zatáčkou

