



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

NÁVRH KONSTRUKCE JEDNOÚČELOVÉ CISTERNY

DESIGN OF A SINGLE-PURPOSE TANK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Josef Martinec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Josef Martinec
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:

Návrh konstrukce jednoúčelové cisterny

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh konstrukce a pevnostní analýza jednoúčelové cisterny určené pro převoz nebo aplikaci kapalných hnojiv v zemědělství. Koncepce stroje bude vytvořena jako modulární pro možné použití různých druhů odpružení bez konstrukčních zásahů do univerzálního spodního rámu stroje. Navržená koncepce zohledňuje legislativní požadavky z hlediska použití bezpečnostních prvků, povolených rozměrů a hmotností. Součástí práce bude pevnostní analýza výsledného řešení.

Základní technické parametry:

Maximální technicky přípustná/povolená hmotnost 24000 kg

Rozměry:

Délka včetně oje cca. 7000 – 9500 mm.

Šířka stroje včetně pneumatik max. 3000 mm.

Objem nádrže cca 18 m³.

Konstrukční rychlost 40 km/h

Dvojice odpružených náprav

Cíle diplomové práce:

Kritická rešerše obdobných konstrukčních řešení překládacích vozů.

Zhodnocení možných variant použitých materiálů nádrže.

Zhodnocení možností plnění a vyprazdňování cisterny.

Návrh konstrukce včetně všech konstrukčních celků, jejich popis a zhodnocení.

Pevnostní analýza konstrukce jednoúčelové cisterny pro zvolené zátěžné stavy.

Celková sestava jednoúčelové cisterny.

Podsestava rámu podvozku.

Dílenské výrobní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

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

PTÁČEK, Petr a Aleš KAPLÁNEK. Přeprava nákladu v silniční nákladní dopravě. Brno: CERM, 2002. ISBN 8072042572.

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

BAUER, František. Traktory a jejich využití. 2. vyd. Praha: Profi Press, 2013. ISBN 9788086726526.

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

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

Tato diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce jednoúčelové cisterny. Na začátku práce jsou rozdělena hnojiva a zhodnoceny možné varianty cisteren se způsoby jejich aplikace hnojiv. Dále je vypsán způsob plnění a vyprazdňování cisteren z hlediska využití čerpací technologie. Jsou uvedeny typy aplikátorů a rozepsány používané materiály nádrží s povrchovou úpravou. V konstrukční části je odůvodněno užití jednotlivých součástí. Metodou konečných prvků je zkontrolován rám cisterny z hlediska zátěžných stavů. Součástí práce je výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jednoúčelová cisterna, sklolaminát, vývěva

ABSTRACT

This diploma thesis presents a design of a single-purpose tanker. Firstly, variations of manures are distinguished, and the possible variants of tankers with their methods of manure application are evaluated. Secondly, the filling and discharging of tankers is described according to the used pumping technology. Furthermore, types of manure applicators and materials for surface-treated tanks are listed. In the design section, the use of individual components is justified. The frame of the tanker is checked for stress using the finite element method. The work includes complete technical drawing documentation.

KEYWORDS

single-purpose tanker, fiberglass, vacuum pump

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MARTINEC, Josef. *Návrh konstrukce jednoúčelové cisterny* [online]. Brno, 2022. [cit. 2022-05-20] Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/139217>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Jaroslav Kašpárek.

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

.....

Josef Martinec

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval zástupci firmy Zemědělská a dopravní technika, spol. s r.o., se sídlem Žďárská 287, 562 14 Nové Veselí, Ing. Martinu Molvovi a vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D. za odborné rady a vstřícné jednání. Velké poděkování patří i rodině, která mě podporovala po dobu celého studia.

OBSAH

Úvod	8
1 Rozdělení hnojiv	9
1.1 Statková hnojiva pevná	9
1.2 Statková hnojiva kapalná	9
1.3 Průmyslová hnojiva	10
2 Systém dělené aplikace.....	11
3 Druhy cisteren.....	12
3.1 Přívozní cisterny	12
3.2 Aplikační cisterny	14
4 Možnosti aplikace hnojiv	16
4.1 Rozstřík pomocí rozstříkovací koncovky	16
4.2 Hadicový aplikátor.....	18
4.3 Diskový aplikátor.....	18
4.4 Radličkový aplikátor.....	19
4.5 Štěrbinový vlečný aplikátor	20
4.6 Systém tažených hadic.....	20
5 Způsoby plnění/ vyprazdňování cisteren.....	22
5.1 Plnění a vyprazdňování vývěvou	22
5.1.1 Mechanické vývěvy pístové	23
5.1.2 Mechanické vývěvy rotační.....	24
5.1.3 Rootsova vývěva	25
5.2 Plnění a vyprazdňování čerpadlem	25
5.2.1 Čerpadlo s rotačními písty	26
5.2.2 Excentrické šnekové čerpadlo	26
5.2.3 Odstředivá čerpadla	26
5.2.4 Lopatková čerpadla.....	27
6 Materiály nádrží	29
6.1 Sklolaminátová nádrž	29
6.2 Ocelová nádrž žárově pozinkovaná	29
6.3 Ocelová nádrž s antikoročním nástřikem proti DAM.....	30
6.4 Ocelová nádrž s nátěrem proti korozi	31
7 Příslušenství cisteren	32
7.1 Nápravy a jejich odpružení	32
7.1.1 Mechanické odpružení kloubově výkyvné	33
7.1.2 Mechanické odpružení listovými pery	33
7.1.3 Pneumatické odpružení.....	34
7.1.4 Hydropneumatické odpružení	35
7.2 Agregace cisteren.....	35
7.3 Sací ramena	36

7.4	Dokovací trychtýř.....	38
7.5	Čerpací stanice	38
8	Konstrukční návrh jednoúčelové cisterny	40
8.1	Nápravy a odpružení	41
8.1.1	Kontrola umístění náprav	42
8.2	Pneumatiky	43
8.3	Vývěva.....	43
8.4	Ochranné prvky	44
8.5	Filtr vzduchu.....	44
8.6	Plovákový ventil.....	45
8.7	Sifonový dělič.....	45
8.8	Vlnolamy	45
8.9	Hladinoměry	46
8.10	Ochranný rám	46
8.11	Žebřík.....	47
8.12	Opěrná noha.....	47
8.13	Přichycení cisterny k podstavcům	48
8.14	Zadní rám.....	49
8.15	Nádrž.....	50
8.16	Nosný rám.....	51
8.17	Agregace	52
9	Náhrady pro MKP	53
9.1	Tuhost pro pružinu nahrazující parabolické odpružení nápravy	53
9.2	Tuhost pružiny pro boční a směrové vedení	53
9.3	Tuhost hydropneumatického odpružení náprav	53
9.4	Tuhost pružiny nahrazující pneumatiky	54
9.5	Tlumení pneumatik.....	54
9.6	Tuhost pružiny nahrazující pneumatiky tažného stroje.....	54
9.7	Tlumení pneumatiky tažného stroje	55
10	Výpočet mezního stavu únosnosti	56
10.1	Hodnota návrhové pevnosti	56
10.2	Dovolené napětí obsahující dynamický součinitel	56
11	Návrh přímočarého hydromotoru	57
11.1	Návrh akumulátoru	59
11.1.1	Objem přímočarého hydromotoru nad pístem	59
11.1.2	Objem přímočarého hydromotoru pod pístem	60
11.2	Tuhost hydropneumatického odpružení oje.....	60
12	MKP	61
12.1	Zátěžné stavy	65
12.1.1	Stav prostého stání	65
12.1.2	Rozjezd.....	67
12.1.3	Brždění	70
12.1.4	Průjezd zatáčkou	72
	73

Závěr	75
Použité informační zdroje.....	76
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	79

ÚVOD

Pro správný růst rostlin je nutná včasná a výživově rovnoměrná dodávka živin do půdy. Tuhá organická hnojiva (hnůj, kompost) jsou skladována na místě k tomu určeném, následně rozmetána a zapravena do půdy před jejím zoráním. V případě kapalných organických hnojiv může být aplikace i v průběhu růstu rostlin ať na povrch rostlin, nebo dodáním přímo k jejím kořenům. K dopravě z nádrží, kde je médium uskladněno, k místům aplikace, slouží přívozní, případně aplikační cisterny. Jejich využívání má podstatný vliv na efektivitu účinků hnojení, jež se odráží ve výnosnosti daného pozemku.

1 ROZDĚLENÍ HNOJIV

Hnojení je proces, kdy se do půdy doplňují živiny s cílem zlepšení fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy. Dle původu můžeme hnojiva rozdělit na statková a průmyslová. [1]

Při hnojení je nutno dbát na čas aplikace. Nesmí zde hrozit přímé vyplavení nebo povrchový únik dusíku do vod. Ve zranitelných oblastech jsou i období, kdy je zakázané používání dusíkatých hnojivých látek na zemědělské půdě. [2]

Kvalita dodaných živin a jejich následné využití rostlinami, potažmo jejich případné ztráty, závisí na několika aspektech:

- půdně-klimatické podmínce,
- druhu pěstovaných plodin,
- typu hnojiv,
- termínu jejich aplikace.

Do okolních vod se nesmí nekontrolovatelně dostat minerální hnojiva, ale ani organické látky, které jsou obsaženy v kejdě, močůvce, hnojůvce i silážních šťávách. Při jejich rozkladu je z vody odebírán kyslík. Ten pak chybí vodním živočichům. V těchto látkách se však nachází také další hrozba a tou jsou škodlivé mikroorganismy a paraziti z výkalů hospodářských zvířat. Škodlivý je čpavkový dusík i některé další látky, které jsou ve statkových hnojivech. [2]

1.1 STATKOVÁ HNOJIVA PEVNÁ

Hněj je vyzrálá chlévská mrva, potažmo směs výkalů hospodářských zvířat a steliva.

Kompost je pevné statkové hnojivo, které může být vyrobeno z chlévské mrvy a zeminy, případně jiných hnojivých látek. Nebo získáno z průmyslového odpadu a rašeliny. [1]

1.2 STATKOVÁ HNOJIVA KAPALNÁ

Močůvka znamená zředěné a zkvašené tekuté výkaly hospodářských zvířat.

Kejda je zředěná a zkvašená chlévská mrva složená z tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat. [1]

Při plnění kejdy do přepravních cisteren a kejdovačů jsou použity výkonné čerpací agregáty. Při volném výtoku kejdy do nádrží se vytváří pěna, díky které je potřeba u cisteren počítat přibližně s 10 % snížením jejich užitého objemu. Během skladování se v nádržích odděluje pevná a tekutá složka a je nezbytné před manipulací kejdu pořádně promíchat. [2]

Kejda je použita pro hnojení plodin s vysokými nároky na dusík. V případě aplikace kejdy na povrch je nutné počítat s nutností jejího následného zapravení do půdy. Toto by mělo v létě při vysoké teplotě následovat prakticky ihned po aplikaci, nebo nejpozději do 24 hodin. V případě přímého podpovrchové zapravení kejdy do půdy dosahujeme větší výživnosti. [2]

Kapalné minerální hnojivo, které má významné zastoupení v užívaném sortimentu je DAM 390. Měrná hmotnost činí 1300 kg/m^3 . Teplota vysolování je -8 až $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ a je velmi korozní vůči barevným kovům s výjimkou hliníku. [2]

1.3 PRŮMYSLOVÁ HNOJIVA

Průmyslová hnojiva máme pevná, která podle velikosti částic dělíme na:

- Prášková (částice s průměrem do 1 mm)
- Zrnitá (částice s průměrem 1- 4 mm)

a kapalná, kdy vodní roztoky průmyslových hnojiv jsou skladovány v nádobách s atmosférickým tlakem, případně čpavek, který je uskladněn v tlakových nádobách. [1]

2 SYSTÉM DĚLENÉ APLIKACE

Využívání systémů dělené aplikace je založeno na oddělení dopravy organických hnojiv z místa skladování (přívozní cisterny) do místa aplikace. Zde se médium přečerpá do připravených aplikačních cisteren.

Důvodů pro volbu tohoto postupu je více. Technika určená k aplikaci je spíše technikou pracovní. Podvozky jsou navrženy k provozu v polních podmínkách (mají širší kola). Tlak v pneumatikách je též znatelně odlišný. Při pojezdu po zemědělské půdě se využívá menší huštění pro zvětšení styčné plochy pneumatiky. Aplikační soupravy vykonávají svoji práci ve spolupráci s různými adaptéry, které určují kvalitu a způsob zapravení. Technika, která pouze převáží od zásobníku k aplikační cisterně, je lépe přizpůsobena silničnímu provozu a lze tak zvýšit provozní rychlost.

Automobily, ale i přípojná vozidla v případě souprav, jsou osazeny silničními pneumatikami. Občas se přívozní technika musí pohybovat i na zemědělsky využívaných plochách, převážně souvratích. Tomuto polnímu terénu musí být uzpůsobeny pneumatiky. Navíc některé soupravy mohou mít součástí konstrukce podvozku systémy, které regulují tlak v pneumatikách.

U dělené aplikace není nutné skládat soupravu do přepravní pozice a naopak. Pro optimální zvolení děleného systému posuzujeme množství přívozních cisteren vůči přepravní vzdálenosti od místa skladování této látky. Lehce se takto zvyšuje výkonnost aplikační techniky. Při takovémto postupu by objem přívozních cisteren měl odpovídat celému násobku kapacity nádrže aplikační cisterny. Eliminujeme tak prostoje a zásobování bude plynulé. S ohledem na skutečnost, že se přívozní technika pohybuje převážně na pozemních komunikacích, nabývá na významu výkonná automobilová doprava. [3]

3 DRUHY CISTEREN

Při aplikaci tekutých hnojiv často využíváme různé druhy traktorových cisteren. Jednotlivé modely jsou odlišné z hlediska kapacity nádrže. Ta je vyráběna z různých druhů materiálů z hlediska toho jaký objem má cisterna dosáhnout. Od toho se odvíjí provedení jejich podvozků. Obecně rozdělujeme jednotlivé zástupce na aplikační cisterny a přívozní. V některých menších provozech se jednotlivé modely používají pro obě role nebo jsou použity v kombinovaném provozu.

Dále se cisterny rozlišují podle způsobu agregace. Většina z nich se připojuje za pomoci spodního závěsu, u některých modelů do horního závěsu, ale vyrábějí se i cisterny připojené prostřednictvím „labutího krku“. Výhodou, kterou nelze opomíjet je univerzálnost, kdy některé cisterny jsou navrženy tak, aby se daly připojit na speciální nosiče nástaveb. Vzniká tak rychlá zaměnitelnost použitých nástaveb pro různé sezonní práce.[4]

3.1 PŘÍVOZNÍ CISTERNY

Přepravní cisterny se používají k dopravě kejdy nebo případně digestátu na dlouhé vzdálenosti pro zásobování speciálních aplikačních cisteren, samojízdných aplikátorů. Tímto krokem se zvyšuje jejich výkonnost. Tyto přívěsné a návěsné cisterny mají dvě až tři nápravy, ve výbavě mají vývěvu nebo čerpadlo, případně pomocnou sací turbínu. V některých případech je požadováno plnění stacionárním čerpadlem. Pro tento případ je na nich umístěn horní plnicí otvor. Nádrže se vyrábějí z oceli, sklolaminátu, případně mají doplněné prvky z ušlechtilé, nebo nerezavějící ocele a to v případě převážení dusíkatého hnojiva DAM.[5]

Nákladní vozidla, která slouží pro převážení kejdy můžeme rozdělit do dvou základních skupin. V první se nacházejí modely, jejichž podvozek je osazen cisternovou nástavbou rozdílné konstrukce. Takové nákladní automobily lze využívat také jako sólo vozidla, nebo se schvalují s přívěsy, které jsou opatřeny cisternovou nástavbou (obr. 1) s tomu odpovídajícím objemem. [3]



Obr. 1 Nákladní automobil s výměnnou nástavbou [6]

Nákladní vozidla se vyrábějí dvounápravová, ale se zvyšujícím se objemem nádrží aplikační techniky jsou spíše použity tři a čtyřnápravové automobily. Většinou dvouosá vozidla nabízí minimální objem 8–10 m³. U tříosých vozidel jsou objemy okolo 10–15 m³ a pro čtyřosé automobily jsou typicky vyráběny cisterny s kapacitou 18–21 m³. V případě, že uvažujeme o připojení s přívěsnými cisternami, tak můžeme říci, že jde zpravidla o dvounápravové přívěsy (obr. 2), ale též se můžeme setkat s tříosými přívěsy. Jejich objem odpovídá výše uvedeným kapacitám cisteren určených pro nákladní vozidla. [3]



Obr. 2 Tří nápravový přívěs [7]

Druhou skupinou jsou tahače sedlových návěsů (obr. 3), které jsou vybaveny dvou, nebo tříosým podvozkem. Zejména u třínápravových návěsů je součástí vybavení možnost řízení náprav, a to za účelem snížení poloměru otáčení celé soupravy a hydraulicky zvedaná náprava s velmi důležitým systémem regulace tlaku v pneumatikách. Kapacita sedlových návěsů u dvounápravové techniky se obvykle pohybuje s objemem na úrovni 20–25 m³, zatímco u třínápravových modelů až okolo 25–30 m³. [3]



Obr. 3 Tahač sedlových návěsů s cisternou [8]

3.2 APLIKAČNÍ CISTERNY

Stroje, které dováží kejdu až na povrch pozemku mezi rostliny, či případně i zapravují do půdy se liší od přívozních (obr. 4) faktem, že nemusí mít přetlakovou cisternu a jsou vybaveny čerpadlem. Pomocí čerpadla se dopravuje kejda do rozdělovače. Ten zabezpečí bezporuchovost a rovnoměrnost kejdy do více hadic (může jich být 5 až 60).

Hadicemi se dopravuje kejda:

- na vlastní povrch pole,
- mezi rostliny,
- do naoraných rýh pod povrch pole.

Díky těmto aplikátorům je dávka rovnoměrná, dochází k menšímu odpařování čpavku (výživová hodnota) z kejdy a lepšímu růstu čistých rostlin.

Kvalita odvedených činností se u těchto prací vyhodnocuje dle rovnoměrnosti postřiku/navazování záběrů. Regulace dodávané dávky je většinou možná jen změnou pojezdové rychlosti cisterny při postřiku.[1] V současnosti při aplikaci kejdy a digestátu lze regulovat množství výživové dávky i systémově.[4]

Cisterny se vyrábí buď nesené na nákladním automobilu, nebo jsou jako přípojná vozidla za traktor. Traktor musí být dostatečně výkonný, aby zvládl manipulovat s plně naloženou cisternou v hůře přístupném terénu s ohledem na hmotnost cisterny.

Cisterny nepodléhající tlakovým zkouškám. Jsou dimenzovány tak, aby v nich bylo možno vytvářet přetlak do 0,05 MPa ČSN EN 14025. [1]



Obr. 4 Přívozní a aplikační cisterna [9]

Jedním ze speciálních strojů pro aplikaci hnojiv je samojízdný kejdovač (obr. 5), který využívá krabího samochodu tj. žádná z pneumatik nejede ve stejné stopě a porost tedy není tolik poškozen.



Obr. 5 Samojízdný kejdovač Holmer [10]

4 MOŽNOSTI APLIKACE HNOJIV

Vlastní aplikaci zajišťují různé druhy adaptérů. Jsou to nárazové hlavy pro plošný rozstřík, nebo hadicové aplikátory. V neposlední řadě i příslušenství pro podpovrchové zapracování.[11]

Rozdíl při práci na rovině a ve svazích je hlavně v tom, že v kopcích potřebuje obsluha dávat podstatně více pozornosti a být mnohem zkušenější. Příčinou toho je, že cisterna, která je naplněna jen do poloviny, má díky působení zátěže od hnojiva posunuté těžiště.

Určitým pomocníkem je aktivní svahové vyrovnávání (obr. 6). Tento systém má za úkol kompenzovat sklon pozemku a stabilizovat cisternu do vodorovné polohy. U takové cisterny však nemůže být použit normální podvozek, ale musí být postavená na speciální nápravě s hydraulickým systémem odpružení. Informace o sklonu cisterny se získávají od elektronické vodováhy, proto systém může během jízdy plynule reagovat na měnící se sklon terénu.

Nicméně svahovým vyrovnáváním nelze vybavit každou cisternu. Není to jen elektronický systém. Je potřeba osadit cisternu úplně novým typem podvozku, u kterého jsou kola zavěšená na samostatných dlouhých ramenech. Výkyv ramen je zde aktivně ovládán za pomoci hydrauliky tak, aby cisterna ve svazích dosahovala vodorovné roviny. Pro každou stranu nezávisle.

Podmínkou před aktivací svahového vyrovnávání cisterny je prvotní rozložení aplikátoru.[12]



Obr. 6 Aktivní svahové vyrovnávání [12]

4.1 ROZSTŘÍK POMOCÍ ROZSTŘIKOVACÍ KONCOVKY

Jednou z cisteren je vaku kompresorová fekální cisterna, která se sama plní, vozí kejdu na pole a tam ji rozstříkuje pomocí centrální nárazové hlavy (obr. 7). Její optimální použití je pro menší roční objemy kejdy a přepravní vzdálenost do 3 km. [2]

Aplikace tímto způsobem je nejlevnější variantou, ale pro půdu ze všech variant přináší nejmenší procento dodaných živin (čpavku) a nerovnoměrnou aplikaci. Většina živin zde unikne do ovzduší. [4]



Obr. 7 Cisterna s vyprazdňováním pomocí nárazové hlavy [13]

Další možností je více tryskové aplikační rameno (obr. 8) se záběrem od 12 do 17 m. Konec potrubí je osazen deflektorem. Hnojivo je rozstříkáváno nízko nad zemí. Proud při rozstříkávání vytváří deštník. Nevýhodou je pokryv povrchu rostlin.[14]



Obr. 8 více tryskové aplikační rameno [14]

4.2 HADICOVÝ APLIKÁTOR

V dnešní době nejvíce používaný stroj pro povrchovou aplikaci kejdy je traktorová cisterna s hadicovým rámem (obr. 9). Umožňuje i přihnojování při růstu rostlin, primárně obilovin. Má v porovnání s rozstříkem centrální hlavou zaručenou vyhovující příčnou rovnoměrnost aplikace. [2]

Dodává živiny přímo ke kořenům rostlin. Hadice jsou rozmístěny na rámu s roztečí 30 cm. Maximální šířka aplikace dosahuje až 27 metru. Při dovybavení řezací hlavou je zajištěno nezanášení hadic. [4]



Obr. 9 Cisterna s hadicovým aplikátorem [13]

4.3 DISKOVÝ APLIKÁTOR

Dalším způsobem je zapravování za pomoci diskového podmítače (obr. 10). Tento aplikátor kejdy a digestátu zásadně eliminuje emise amoniaku a oxidu uhličitého. Ústrojí je složeno z rozvodů a speciální rozdělovací hlavy, která má rotor poháněn hydromotorem. Tím docílí rovnoměrné rozdělení hnojiva do všech vývodů. Vedením se hnojivo přivádí ke dvojici kotoučů. V tomto místě je optimálně navrženo vyvedení tak, aby došlo k co nejúčinnějšímu uložení hnojiva přímo pod zem ke kořenům trávy, nebo jiného porostu. Pracovní záběr aplikátoru je 2,4 až 7,2 m.[14]



Obr. 10 Diskový aplikátor kejdy [14]

4.4 RADLIČKOVÝ APLIKÁTOR

Slouží stejně jako předchozí aplikátor k podzemní aplikaci. Funkci disků zde plní radličky (obr. 11). Kypří půdu a za nimi se hadicí hnojivo aplikuje do půdy. Použití nachází spíše u kukuřice a obilovin. Dochází zde k většímu nakypření půdy. [15][16]

Pracovní záběr aplikátoru je nejčastěji 3 až 6,5m.



Obr. 11 Radličkový aplikátor [15]

4.5 ŠTĚRBINOVÝ VLEČNÝ APLIKÁTOR

Hnojivo proudí přes rozdělovač ke všem hadicím, ty jsou osazeny štěrbinovou koncovkou (obr. 12). Samobrousící ostří vytváří v povrchu rýhu o hloubce až 3 cm do nichž aplikační hubice zapravuje močůvku. Ramena není třeba při aplikaci nutno zvedat, protože dosahují vychýlení až 25 cm. Tím je kompenzována nerovnost povrchu. Záběr je od 3 do 7,7 m. [15]



Obr. 12 Štěrbínový travní aplikátor [17]

4.6 SYSTÉM TAŽENÝCH HADIC

V Evropě se používá i další způsob pro aplikaci kejdy. Na poli jezdí traktor s hadicovým aplikačním nebo zaplavovacím rámem (obr. 13), který je napájen kejdou za pomoci napájecí hadice a vysokotlakého čerpadla z mezi zásobníku, který je umístěn na souvrati. Do mezi zásobníku je kejda dopravována vysokokapacitními silničními cisternami. Hadice je zploštitelná, na převozný buben ji lze navinout v délce 2 x 500 m. Tento postup odstraňuje nežádoucí zhutnění půdy přejezdem těžkých souprav po poli.[2]



Obr. 13 Hadicový aplikační rám [2]

Firma Veenhuis (obr. 14) je výrobcem strojů využívající systém tažených hadic. Má ve své nabídce aplikátor se záběrem až 8,36 metru. Je možné volit různé druhy zapravování hnojiva.



Obr. 14 Systém tažených hadic [17]

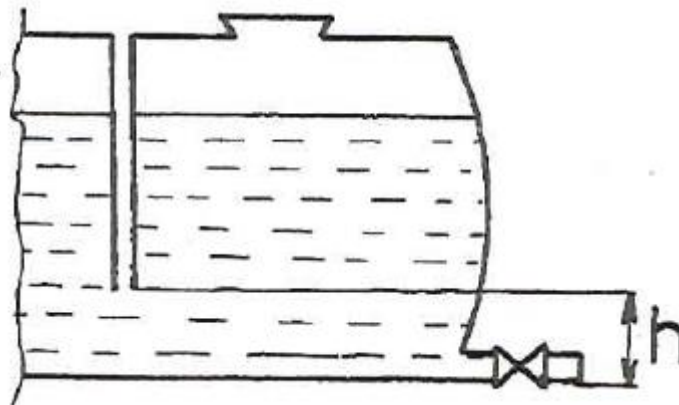
5 ZPŮSOBY PLNĚNÍ/ VYPRAZDŇOVÁNÍ CISTEREN

Plnění a vyprazdňování cisteren lze dělit na dva způsoby.

Prvním způsobem je vlastní plnění, kde se cisterna naplní pomocí čerpadla, nebo vývěvy, které má ve vlastní výbavě. Vývěva (čerpadlo) je umístěna buď na oji, nebo je přichycena na nástavbě cisterny. Pohon těchto čerpadel je za pomoci vývodového hřídele z traktoru, nebo hydromotorem, který je poháněn z hydraulického okruhu stroje.[17]

Druhým způsobem je cizí plnění, kde se cisterna plní přes nějaký z plnicích otvorů z přívozní cisterny, nebo případně stacionárním čerpadlem, které se dost používá u bioplynových stanic.[18]

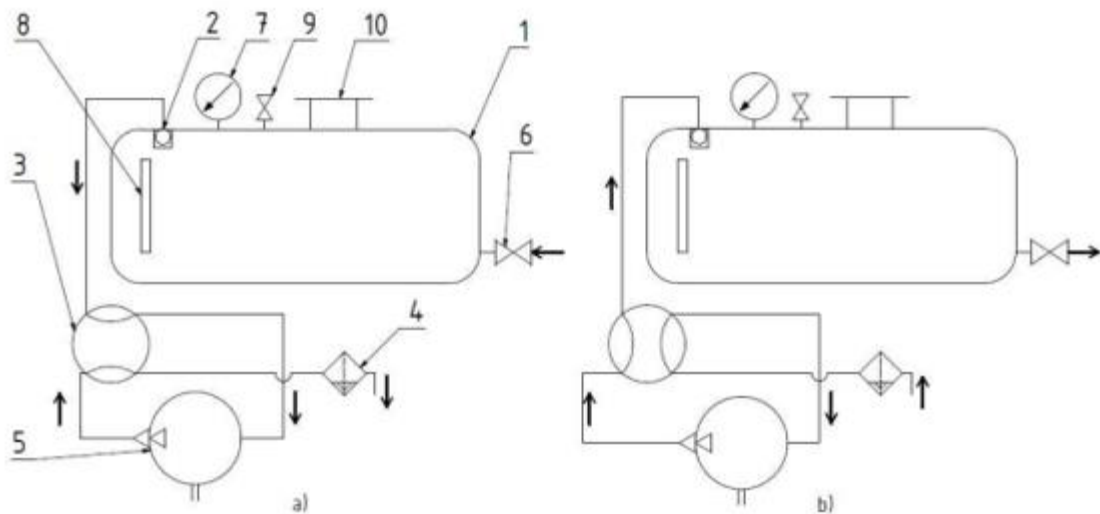
Močůvka vytéká pomocí samospádu (obr. 15). U těchto cisteren je zabezpečena stálá výtoková rychlost při vyprazdňování tím, že svrchu je umístěna do nádrže trubka, která přivádí do nádrže vzduch. Tlakový spád je potom určen výškou (h), tj. vzdáleností od daného konce trubky nad výtokovým otvorem.[1]



Obr. 15 cisterna bez plnicího zařízení [1]

5.1 PLNĚNÍ A VYPRAZDŇOVÁNÍ VÝVĚVOU

Vakuokompresor (vývěva) (obr. 16), pracuje na principu, že při plnění nádrže vytváří v nádrži podtlak (odsává vzduch z nádrže). Sacím potrubím je pak načerpávána kapalina do nádrže. V opačném případě při aplikaci média vakuokompresor vytváří uvnitř nádoby přetlak a tím tlačí kapalinu ven. [1]



Obr. 16 Schéma plnění (a) a vyprazdňování (b) vývěvou, 1- nádrž, 2- plovákový ventil, 3- čtyřcestný ventil, 4-filtr, 5- vývěva, 6-výpustný zadní otvor, 7- manometr, 8- ukazatel hladiny, 9-přetlakový ventil, 10-vrchní otvor [17]

Základní rozdělení vývěv (obr. 17) je na mechanické a hybnostní. Mechanické vývěvy snižují tlak cyklickou změnou objemu uvnitř vývěvy. Hybnostní vývěvy dávají plynu, který čerpají rychlostní impuls, který je urychluje.[19]

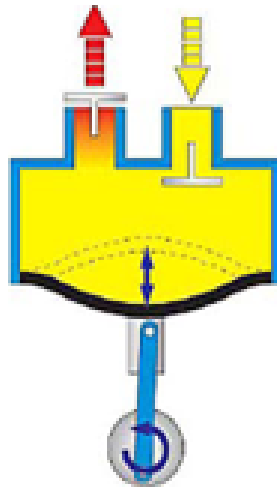
vývěvy	adsorpční	kryokondenzační, kryosorpční, getrová		
	transportní	mechanické	pístové	membránová, Sprenglerova, Toeplerova
			rotační	rotační olejová, rotační rtuťová, Rootsova
	hybnostní	vodní, difúzní, molekulární, iontová		

Obr. 17 Rozdělení vývěv podle způsobu jakým snižují tlak [21]

5.1.1 MECHANICKÉ VÝVĚVY PÍSTOVÉ

Pístová vývěva pracuje na základě cyklického zvětšování objemu pohybem pístu uvnitř těsného válce (Sprenglerova vývěva). Tyto vývěvy dosahují malé účinnosti, proto se v současnosti skoro nepoužívají.

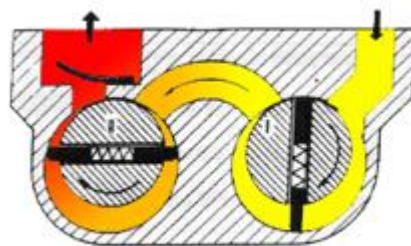
Modernějším typem je membránová vývěva (obr. 18), která se používá v místech, kde je třeba dosáhnout nízkého vakua (0,1 MPa). Mezní tlak je zde omezen tlakem, kdy ještě může dojít k otevření ventilu na vstupu do vývěvy. Pokud je píst z teflonu, lze takovou vývěvu použít pro čerpání agresivních i korozivních plynů. Vývěvy lze zapojit sériově (dosažení nižšího mezního tlaku), nebo paralelně (zvětšení čerpací rychlosti). Nevýhodou je velké opotřebení vstupních a výstupních ventilů, které mají velký vliv na těsnost a správnou funkci. Pořizovací cena však není vysoká.[19]



Obr. 18 Schéma membránové vývěvy[19]

5.1.2 MECHANICKÉ VÝVĚVY ROTAČNÍ

Mají excentricky uložený rotor s lopatkami. Olej má funkci těsnící, mazací a pomáhá přenášet teplo vznikající při stlačování plynu. Ve vývěvě dochází ke kompresi čerpaného plynu. Pro zvýšení účinnosti jsou opět vývěvy spojovány do sérií. Účinnost olejové vývěvy (obr. 19) záleží na kvalitě použitého oleje. Hrozí tak nebezpečí úniku oleje do čerpaného prostoru. Při použití suchých vývěv, nebo rtuťových toto riziko odpadá. Ale je nutné zamezit vstupu nečistit do vývěvy kvůli možnému zadření.[19]



Obr. 19 Schéma dvoustupňové rotační olejové vývěvy [19]

5.1.3 ROOTSOVA VÝVĚVA

Rootsové vývěvy (obr. 20) fungují na principu zubových čerpadel, dmychadel, kde dva vystředěné rotory s minimální vůlí otáčející se několika tisíci otáčkami za minutu přečerpávají plyn v systému. Výhodou je vysoká čerpací rychlost v rámci až desítek tisíc litrů za minutu. Tyto vývěvy neobsahují mazací olej a není tedy podstatné, jak jsou uloženy. [19]

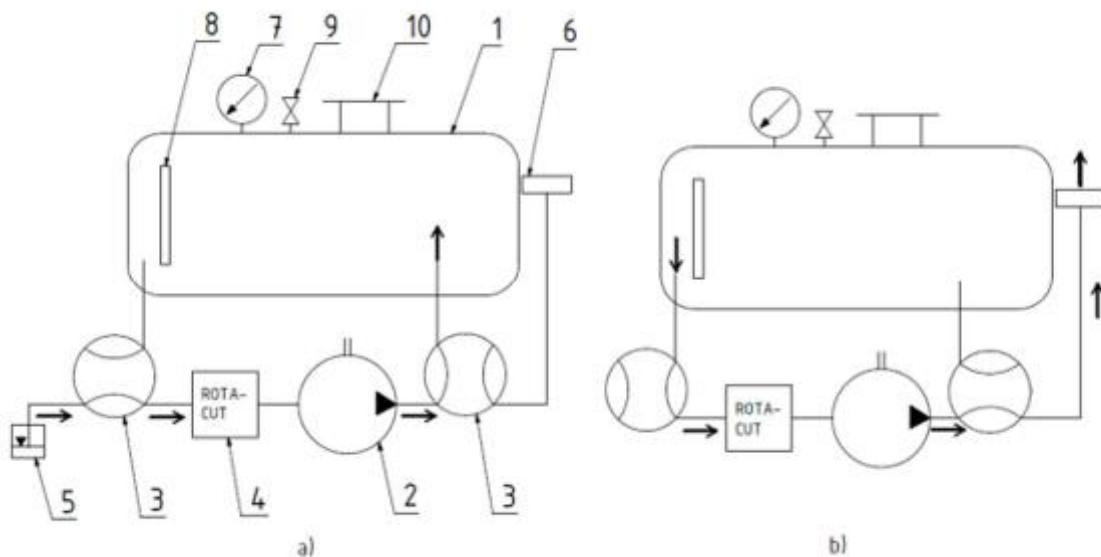


Obr. 20 Schéma Rootsové vývěvy [19]

5.2 PLNĚNÍ A VYPRAZDŇOVÁNÍ ČERPADLEM

Pro fekální vozy jsou pro plnění a vyprazdňování (obr. 21) používána čerpadla s rotačními píšťami a čerpadla excentrická šneková. Jako pomocná jsou pak použita odstředivá čerpadla. [18]

Zubová a podstavcová čerpadla se speciálními a výkonnými řezacími jednotkami se používají pro čerpání kejdy nebo kapalin s dlouhými vlákny, kde obsah pevných látek je až 12%. Motor je uložen s vrtulovým hřídelem na jedné ose. [20]



Obr. 21 Schéma plnění (a) a vyprazdňování (b), 1-nádrž, 2-čerpadlo, 3-čtyřcestný ventil, 4-ochranné zařízení ROTA-CUT, 5-jímka, 6-rozdělovač, 7-nanometr, 8-ukazatel hladiny, 9-přetlakový ventil, 10-vrchní otvor [17]

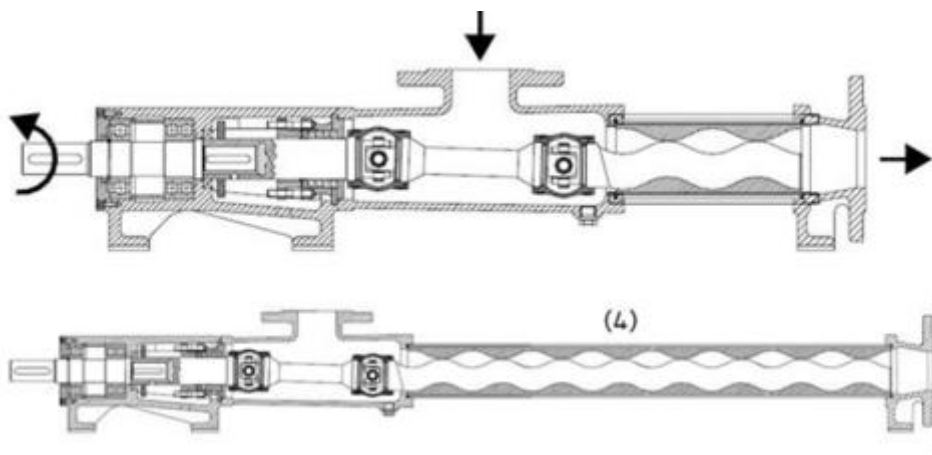
5.2.1 ČERPADLO S ROTAČNÍMI PÍSTY

Má dva stejné rotory, které se otáčejí proti sobě. Kapalina je unášena mezi rotory a stěnami statoru od sací strany k výtlačné. Funkčnost závisí na velmi malé toleranci a není zde žádné těsnění ani mazací kapalina. Důležité je správně synchronizovat otáčení rotorů tak, aby se nepotkaly. Vhodné pro kapaliny s nízkou, ale i vysokou viskozitou. Výhodou je malé opotřebení a kapalina na výstupu má tlakovou i průtokovou stálost. [18][17]

5.2.2 EXCENTRICKÉ ŠNEKOVÉ ČERPADLO

Rotor, který má podobu šroubovice se otáčí v nepohyblivém statoru. Excentricita vznikající při rotaci musí být kompenzována tak, aby nedošlo k poškození ložisek.

Excentrické šnekové čerpadlo (obr. 22) má velkou odolnost, dosahuje velkých průtoků a lze jím nasávat málo i velmi viskózní kapaliny, které mohou být abrazivní. Při přepravě látek nedochází k rotaci, proto lze tímto čerpadlem přepravovat i látky náchylné na pěnivost a míchání. Rozdíly v konstrukcích čerpadel spočívají v rozdílném tvaru vřetene (rotoru) a pouzdra (statoru). Rotor je vyroben z kovu a stator je z pružného elastomeru. Stator má závit s dvojitým chodem a rotor má velké stoupání s malou výškou závitů. Díly jsou smontovány s přesahem pro dobrou těsnost. Použití nacházejí při čerpání splašek, nebo jiných odpadních vod. Výhodou je větší životnost a mechanická odolnost. Nevýhodou jsou náročná výroba, větší opotřebení a velký zástavbový prostor.[21]



Obr. 22 Ukázka konstrukce jednovřetenového čerpadla s excentrickým šnekovým rotorem [21]

5.2.3 ODSŤŘEDIVÁ ČERPADLA

Fungují na bázi odstředivé síly, která působí na dopravovanou látku. Od středu oběžného kola přitéká kapalina, která se dostává na lopatky, které jí udělují rotační pohyb. Vzniká odstředivá síla, která dostane kapalinu ven výstupním otvorem a tím se přemění energie kinetická na tlakovou.

Odstředivé čerpadlo (obr. 23) někdy nazývané jako hydrodynamická pumpa má rotor v podobě oběžného kola se zakřivenými lopatkami. Jednoduchá konstrukce, nenáročná údržba a dlouhá životnost jsou plasy tohoto typu. Průtok se mění s otáčkami a protitlakem. Jsou vhodné pro kontinuální dopravu s nízkou a střední viskozitou. Sací schopnosti jsou horší, je tedy nutné mít čerpadlo při spuštění zavodněné. V případě, že není na čerpadle zpětná záklopka, materiál může při vypnutí čerpadla samospádem odtékat zpět přes sání.[22]



Obr. 23 Odstředivé čerpadlo [22]

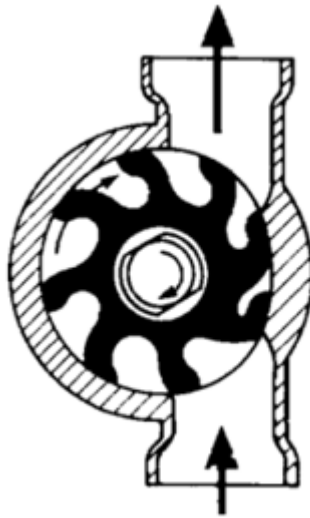
5.2.4 LOPATKOVÁ ČERPADLA

Lopátkové čerpadlo s výsuvnými pružnými lopatkami.

Rotačně poháněný rotor je excentricky umístěn vzhledem ke středu. Rotor má podobu bubny s výsuvnými pružnými lopatkami, kde jejich poloha se mění závisle na rozměru mezery, která je mezi bubnem a stěnou čerpadla. Otáčením se upravují délky lopatek tak, aby došlo k přehrazení prostoru mezi bubnem a stěnou. Prostor je tedy rozdělen na sekce. Největší jsou na cestě od sacího k výtláčnému otvoru. A minimální naopak při návratu k sacímu otvoru. Tímto se zvětšuje generovaný tlak od čerpadla. Stěny tohoto čerpadla jsou většinou kovové (nerezové) a výsuvné lopatky jsou z materiálu, který je otěruvzdorný (polypropylen).

Výhodou je tichý a hladký chod, vysoký výtláčný tlak a dobrý sací efekt čerpadla. Nevýhoda je v pořizovací ceně, která je pro svoji složitější konstrukci vysoká.

Druhou variantou je lopátkové čerpadlo s ohebnými lopatkami (obr. 24) Tato varianta je jednodušší oproti předchozímu. Rotor s lopatkami je jako celek vyroben z dostatečně pružné gumy. Při otáčení se lopatky „třou“ o stěnu čerpadla. Čerpadlo je nevhodné pro vysoké otáčky a velké tlaky s nutností vyššího výkonu pro pohon. Naopak výhodou je dobrá těsnost s výbornou schopností nasávat. Vhodné je použití pro abrazivní materiály.[23]



Obr. 24 čerpadlo s pružnými lopatkami [23]

6 MATERIÁLY NÁDRŽÍ

Z důvodu vysoké agresivity látek, které jsou v cisternách převáženy, je nutné volit vhodný materiál nádrže tak, aby tomuto nepříznivému prostředí odolával.

6.1 SKLOLAMINÁTOVÁ NÁDRŽ

Jednou z možností je nádrž vyrobená z plastu. Tento plast je vyztužen skelnými vlákny (GPR). Tento sklolaminát je oproti nádrži z oceli značně lehčí (o cca 40%), má podobnou pevnost a vyznačuje se nulovou reakcí s materiálem který převáží. Je vhodný pro převoz dusíkatého hnojiva (DAM). Další ochranné nátěry na vnitřní straně nádrže nejsou potřeba. Sklolaminátové nádrže využívá firma Annaburger a Zunhammer.[24]

6.2 OCELOVÁ NÁDRŽ ŽÁROVĚ POZINKOVANÁ

Další typ je cisterna vyrobená z pozinku, který je odolný vůči korozi, mechanickému poškození a také má dlouhou životnost. Firma Meprozet u svých cisteren používá kompletní celopozink. Uvnitř nádrže je použita antikorozní úprava.

Pro zvětšení stability a zabránění volnému přelévání kapaliny uvnitř nádrže, se v nádrži umísťují vlnolamy. S rostoucím objemem nádrže roste i počet vlnolamů. Tento doplněk má roli i na vyztužení nádrže. Cisterny pro přepravu DAMu mají kromě speciálního vnitřního polyuretanového nátěru také ventily z nerez a plastu. [25]

Firma JOSKIN vyrábí své cisterny žárově pozinkované vysokopevnostní oceli. Cisterna tvoří samonosnou konstrukci, vana je svařena pod nádrží po celé její délce robotem. K tomuto je připevněna oj, pojezdové ústrojí a potenciální vybavení pro rozstříkovací nářadí.

Podvozek lze u tohoto výrobce posunovat dopředu nebo dozadu. Přizpůsobuje se tím rozložení zatížení, např. při přidání rozmetadla na zadní straně stroje.

Oj je reverzibilní tzn, že cisternu lze kdykoli přepnout z upnutí „vysoký závěs“ (+/- 1 m od země) do upnutí „nízký závěs“ (+/- 50 cm od země). Odpadá zde nutnost měnit oj.

Zinkovaná nádrž není vhodná pro přepravu dusíkatých průmyslových hnojiv (DAMu).[25][26]

U cisteren firmy PICHON je nádrž vařena se samotným rámem podvozku. Tím se zajistí nižší těžiště cisterny a dobrá stabilita na poli. Dále mohou být vyráběny cisterny se zapuštěnými nádržemi pro zákazníky, kteří požadují velké poloměry pneumatik. Ztráty objemu tímto zapuštěním jsou kompenzovány délkou nádrže, nebo jejím průměrem.[36]

Žárové zinkování (obr. 25) se používá jako ochrana proti korozi. Oproti ochraně pomocí barvy nevyžaduje galvanizace žádnou údržbu, chrání před nepřízní počasí, a hlavně jeho povlak není při mechanických deformacích poškozen. Žárové zinkování probíhá při teplotě 450 ° C. Během

tohoto procesu je ocel pokryta třemi povlaky, které jsou vyrobenými ze směsi oceli a zinku a vnější povlak z čistého zinku. Nutným předpokladem pro správné nanášení je kvalitní odmaštění, nebo odmoření vstupního materiálu. Vnější povlak vykazuje menší tvrdost, a proto velmi dobře tlumí nárazy. Tloušťka povlaku se pohybuje mezi 0,03-0,05 mm. Galvanizace, pokud opravdu není příliš vystavena korozi, by měla poskytovat účinnou ochranu po dobu aspoň 60 let.[26]



Obr. 25 Žárové zinkování cisterny [26]

6.3 OCELOVÁ NÁDRŽ S ANTIKOROZNÍM NÁSTŘIKEM PROTI DAM

Jednou z dalších možností proti vysoce agresivnímu prostředí, které znamená kapalně hnojivo DAM, je speciální nástřiková aromatická polyurea (obr. 26). Tato trvalá ochrana vzniká následujícím postupem.

- Obroušení případné otryskání nádrže
- Veškeré vnitřní obroušené plochy cisterny je třeba odmastit
- Na odmaštěné plochy je nanášen válečkem speciální primer o vrstvě 0,35 mm
- Na zaschlý primer je nástřikována aromatická polyurea o celkové vrstvě 3,5 mm

Aromatická polyurea je materiál složený ze dvou složek, aplikuje se vysokotlakým mechanismem při teplotě dílu cca 65 °C a tlakem 180 - 200 barů. Materiál je nanášen ve více vrstvách, kdy jedna vrstva má tloušťku 0,6 - 0,8 mm. Celková tloušťka vrstvy je 3,5 mm. Jiný způsob aplikace daného materiálu není přípustný. Stejnoměrnost a pravidelnost vrstvy je kontrolována měřením tloušťkoměrem. Aplikace daného nástřiku, zahrnující čas přípravy cisterny, trvá 2 dny. K finálnímu vytvrzení materiálu dojde za 48 hod. Životnost povrchu je 20

let. [27] Tento ochranný nástřík je vhodný i pro starší cisterny k prodloužení jejich životnosti. Může být aplikován uvnitř i vně.[28]



Obr. 26 Ocelová nádrž s polyurea nástříkem [28]

6.4 OCELOVÁ NÁDRŽ S NÁTĚREM PROTI KOROZI

Poslední, nejlevnější a nejstarší variantou je opatřit cisternu ochrannými nátěry. Ocel je na nějakou dobu ochráněna před korozi. Prvně je nutné aplikovat základní nátěr a pak několik vrstev vrchní barvy. [18]

7 PŘÍSLUŠENSTVÍ CISTEREN

V této části jsou popsány používané prvky, kterými může být cisterna vybavena a přispívají ke správné funkci cisteren.

7.1 NÁPRAVY A JEJICH ODPRUŽENÍ

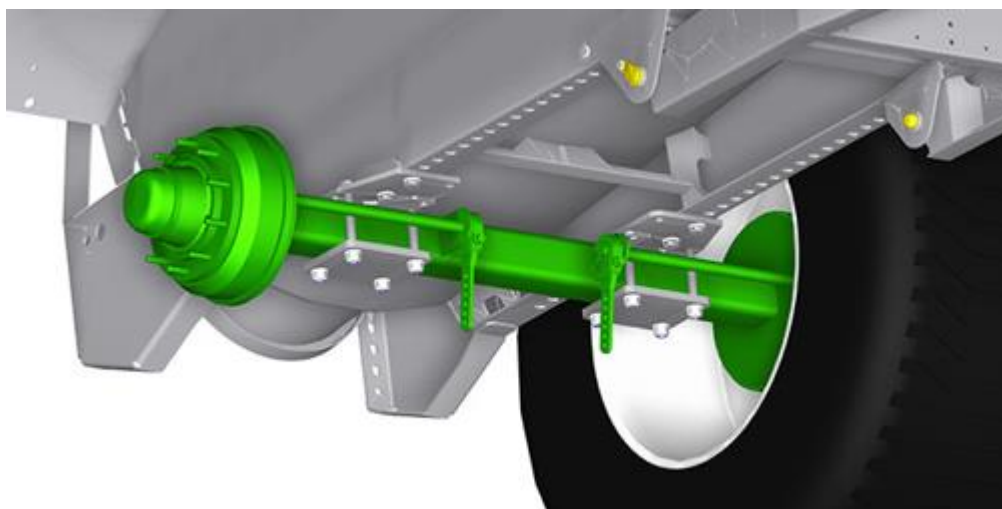
Odpružení chrání zbylé části stroje před přenosem rázů vzniklých při jízdě přes hrbolatý terén, případně při silničním provozu nerovnostmi vozovky. Nejstarším typem odpružení je mechanické, které se používá u strojů pro zemědělské potřeby nejvíce.[28]

U hydraulických nebo pneumatickým odpružení konstrukční rychlost podvozků je zpravidla 40 až 60 km/h. Hydraulické a pneumatické typy podvozků se používají i pro samotnou výměnu nástaveb v případě výměnných systémů. Jinak je potřeba dodat podvozek s přidavnými hydraulickými válci sloužící k výměně, nebo využívat různé typy manipulační techniky. Dalším rozdílem je zda chceme nápravy pevné nebo říditelné. Řízení náprav je pak buď náběžné, nebo nucené. Náběžné řízení koná svoji činnost nezávisle na poloze oje vůči závěsu, zatímco nucené řízení je spojeno se závěsem trakčního prostředku a za pomoci táhel a hydraulických pístů dochází při změně polohy oje k natačení náprav. Někteří výrobci náprav vyvíjejí elektrický systém ovládání nuceného řízení.

Dopravní technika s dvěma nápravami má většinou zadní nápravu říditelnou. V případě vícenápravové techniky je pak první a poslední náprava říditelná.

U jednoúčelových návěsů o celkové hmotnosti 18 000 až 33 000 kg se můžeme potkat s pneumatikami o šířce 550 až 650 mm, případně též 700 mm, kde rozměr disku je 22,5'' nebo 26,5''. U speciálních návěsů činí tento rozměr až 30,5''. U dopravní techniky se vzhledem na valivý odpor volí pojezdová kola s větším průměrem disku.[25][26]

Některé menší stroje používají neodpružené nápravy (obr. 27). Veškeré nárazy zde tlumí jen pneumatiky. Zbylé chvění se přenáší do okolní konstrukce.



Obr. 27 Náprava uložena napevno [26]

7.1.1 MECHANICKÉ ODPRUŽENÍ KLOUBOVĚ VÝKYVNÉ

Ve většině případů se zemědělská dopravní technika dodává v provedení s kloubovými nápravami, kdy jsou jako nosné prvky pro připevnění nápravy použity kyvné nosníky. Využití nacházejí na aplikačních cisternách. Výhodou je vysoká prostupnost v tom nejméně vhodném prostředí a jejich jednoduchost. Nevýhodou je nižší provozní rychlost. [2]

7.1.2 MECHANICKÉ ODPRUŽENÍ LISTOVÝMI PERY

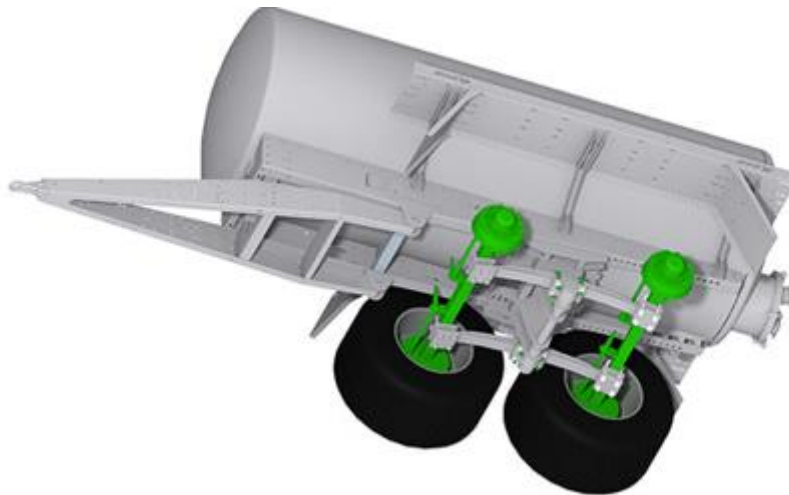
Další možností je odpružení náprav pomocí listových per (obr. 28). Listová pružina je složena z pružnic, které mají různý poloměr zakřivení z důvodu, aby na sebe stále dosedaly. Hlavní list (nejdelší listové pero) přenáší zatížení mezi odpruženou a neodpruženou hmotou.[2]



Obr. 28 Odpružení listovými pery [29]

O krok lepší jsou parabolické pružiny, které v dnešní době pomalu nahrazují listové.

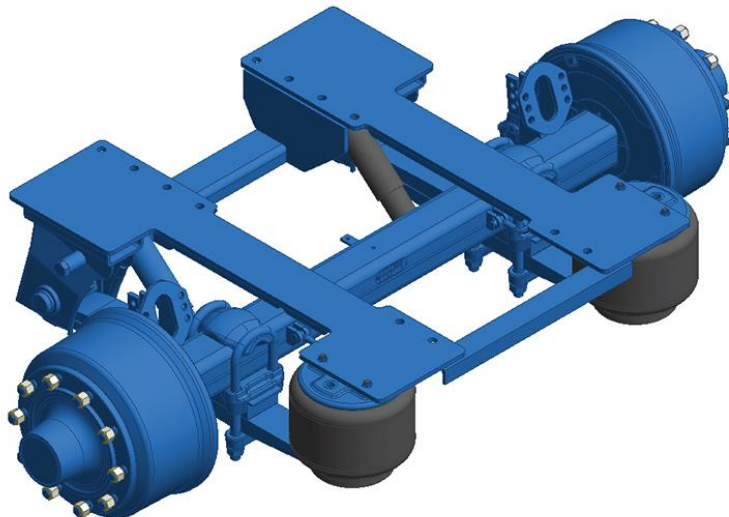
Tyto pružiny jsou složeny z několika pružnic o stejné délce a tloušťce parabolického tvaru. Pružnice jsou odděleny třecími vložkami a to na místě uchycení k nápravě a uchycení pružin k rámu. Odpružení pomocí parabolických pružin (obr. 29) je výhodné pro dopravu na komunikacích přes větší vzdálenosti.[2]



Obr. 29 Odpružení bogie (kynné) [26]

7.1.3 PNEUMATICKÉ ODPRUŽENÍ

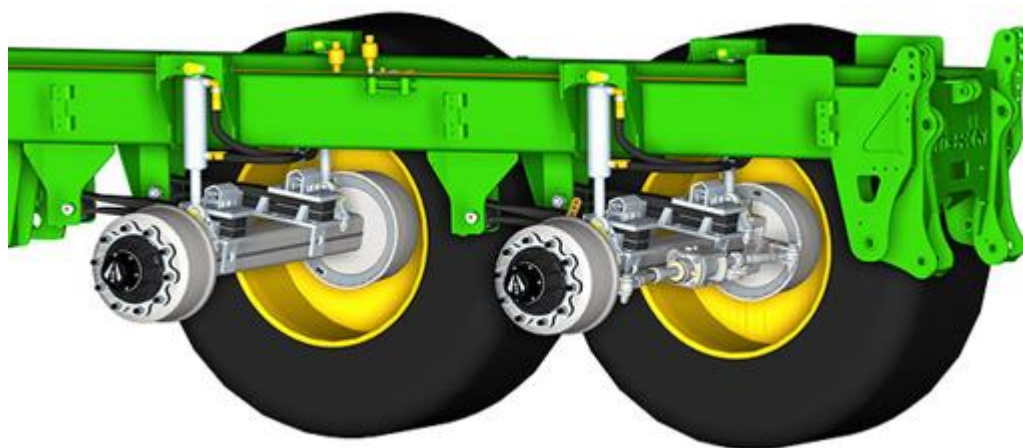
Využívají vakové pružiny (měchy) (obr. 30) připojené s rámem na jedné straně a parabolickými pružinami, které jsou kyvně připojeny k rámu stroje na straně druhé. Odpružení je vhodné jak do náročných podmínek v terénu, tak i na silnici. Nevýhodou je velká pořizovací cena, která toto odpružení odsouvá spíše ke kamionové dopravě.[30][28]



Obr. 30 Pneumaticky odpružená náprava [31]

7.1.4 HYDROPNEUMATICKÉ ODPRUŽENÍ

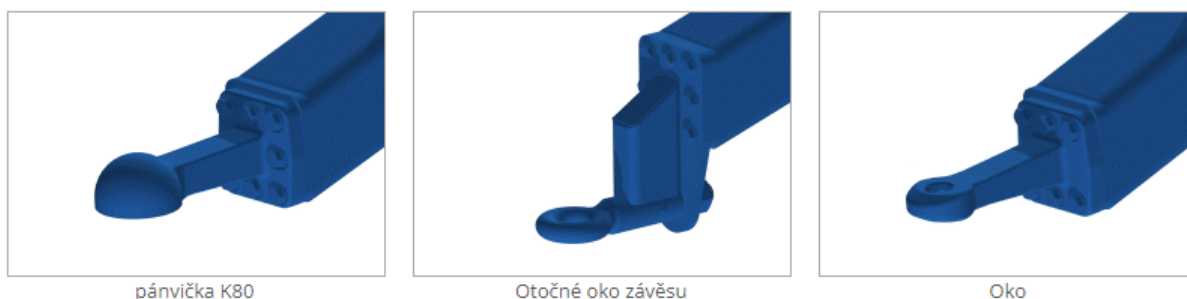
V současnosti je hydropneumatické odpružení (obr. 31) to nejlepší, co lze na trhu najít. Hydraulické válce obsahují olej, který je zde jako vyrovnávací médium a akumulátory obsahující stlačený dusík, jenž tlumí nárazy a otřesy při jízdě v terénu. Jízdní výška návěsu je zde velmi důležitá. Je pravidlo, že třetina válců je vysunutá a zbytek i se zásobníkem na stlačený dusík je využit jako rezerva pro pružení. Použití nachází jak při přepravě na větší vzdálenosti, tak i při práci ve svažitém terénu. Nevýhodou je znatelně vyšší cena, která odrazuje některé levnější výrobce.[34]



Obr. 31 Hydropneumatické odpružení nápravy [26]

7.2 AGREGACE CISTEREN

Agregace přívěsů probíhá za pomoci pevné případně listovými pery nebo hydraulicky odpružené oje na které je klasické tažné oko. Dalším způsobem je agregace pomocí kulového čepu o průměru 80 mm, u kterého je ustálený výraz K-80 (obr. 32).[25]



pánvička K80

Otočné oko závěsu

Oko

Obr. 32 Možnosti uchycení závěsů [31]

Další možností je agregace pomocí pevného oka, které se používá ve spojení s otočným horním závěsem na traktoru (obr. 33). Odpadá tím možnost převrácení traktoru zároveň s taženým strojem. Druhou variantou se stejným významem je otočné tažné oko závěsu. Tento typ je použit při připojení ve spodním závěsu traktoru.



Obr. 33 Horní a spodní závěs [31]

7.3 SACÍ RAMENA

Sací rameno může být několika typů. Rozlišuje se umístěním na stroji a pracovním prostorem. Lze volit mezi ramenem v třibodovém předním závěsu traktoru, nebo umístěním na cisterně. Zde jsou tři varianty. Přední rameno (obr. 34), boční a horní sací rameno, které dosahuje rotace až 300 stupňů. (obr. 35)[24] [35]



Obr. 34 Přední sací rameno [35]

V přední části ramene se je umístěno hydraulicky poháněné rotační čerpadlo a v rameni je také zabudováno šoupátko. Má svoje místo za čerpadlem, kde je z důvodu, aby po naplnění cisterny (uzavření šoupátka) kapalina zpod něj odtékala zpět do jímky. V čerpadlu je však stále voda.

Sací rameno upevněné v předním třibodovém závěsu traktoru (obr. 36). Tato variabilita dává cisterně možnost nasávat kejdu či digestát i z hůře přístupných jímek. Tím jsou myšlena místa v podzemí anebo naopak nadzemní s vysokou stěnou. Sací výkon se tak zvedne až na 8000 l/min. [33]



Obr. 35 Cisterna s pozinkovaným horním sacím ramenem [32]

Přední dokovací systémy přinášejí na stroj výhody samohybného vozidla. Sací hadice je připojena v přední hydraulice traktoru a odtud je hadice vedena pod, případně vedle vozidla k cisterně. Velké jmenovité průměry zaručují bezproblémový tok tekutého hnoje. Variabilní výšky dokování od 2 do 4,5 metru přinášejí snadné plnění přes příkopy nebo ploty. [24]

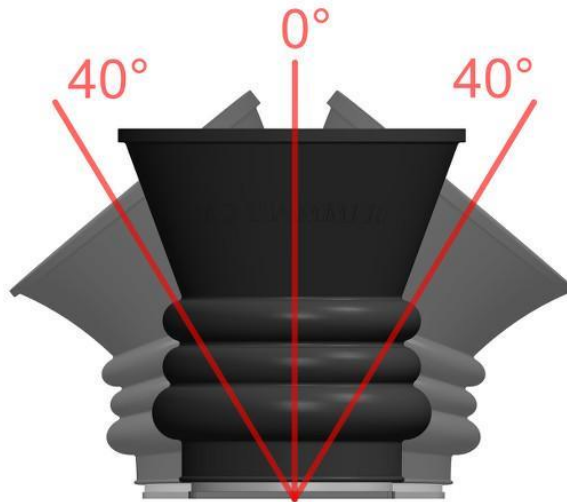


Obr. 36 Sací rameno v třibodovém závěsu [37]

Nutnou podmínkou, aby rotační čerpadlo mohlo pracovat je, že v sacím rameni musí být vytvořeno vakuum. To zajišťuje ejektor. Příkladem může být zařízení firmy Samson, které využívá tzv. Venturiho efektu, který praví, že pokud kapalina proudí trubicí, kde průřez se náhle zúží, následkem toho se rychlost proudění zvýší a v okolí proudu urychlené kapaliny vznikne podtlak. A právě v tomto místě se vyskytuje speciálně do písmene „Y“ tvarované vedení kejdy, napojené na sací rameno. [33]

7.4 DOKOVACÍ TRYCHTÝŘ

Elastický trychtýř (obr. 37) je důležitou součástí většiny dokovacích systémů. Je umístěn na transportéry, násypné stanice nebo případně na velké kontejnery, které se umísťují na okraj pole. Nominální šířka trychtýře je 150, 200 a 250 mm. Měkký materiál zabraňuje nutnosti častých výměn opotřebitelných částí. [24]



Obr. 37 Dokovací trychtýř [24]

7.5 ČERPACÍ STANICE

Mobilní čerpací stanice (obr. 38) Pusta je v podstatě čerpadlo s rotačním lalokem, které pohání vlastní dieselový motor, zároveň s vlastní palubní hydraulikou. Tekutý hnůj je nasáván sacím potrubím, kde prvně projde cyklonovým separátorem. Kaše se zde pročistí a podrtí pomocí RotaCut a následně se dopravuje do podavače.[24]



Obr. 38 Mobilní čerpací stanice [24]

Násypné stanice trista (obr. 39) jsou vhodné pro zvýšené nádrže. Tyto násypky lze přepravovat v přední hydraulice traktoru a pokud je cisterna vybavena „HANDY sacím ramenem“ není třeba při čerpání ani vylézat z kabiny. Vestavěný 8'' třicestný ventil, který řídí uzavření sacího potrubí je ovládán pomocí ovladače z kabiny stroje.[24]



Obr. 39 Násypná stanice [24]

Na buben byly v minulosti namontovány velmi hmotné odlučovače cizích hmot (až 500 kg). Tím se zvyšovala vlastní hmotnost, potažmo spotřeba paliva.

Dokovací stanice Zasta má cyklónový odlučovač (obr. 40) a pro odsávání elastický trychtýř. Díky integrovanému zpětnému ventilu, který urychluje proces sání, je sací hadice vždy plná. Externí stanice šetří provozní náklady na palivo a zvyšuje užitečné zatížení cisterny.[24]

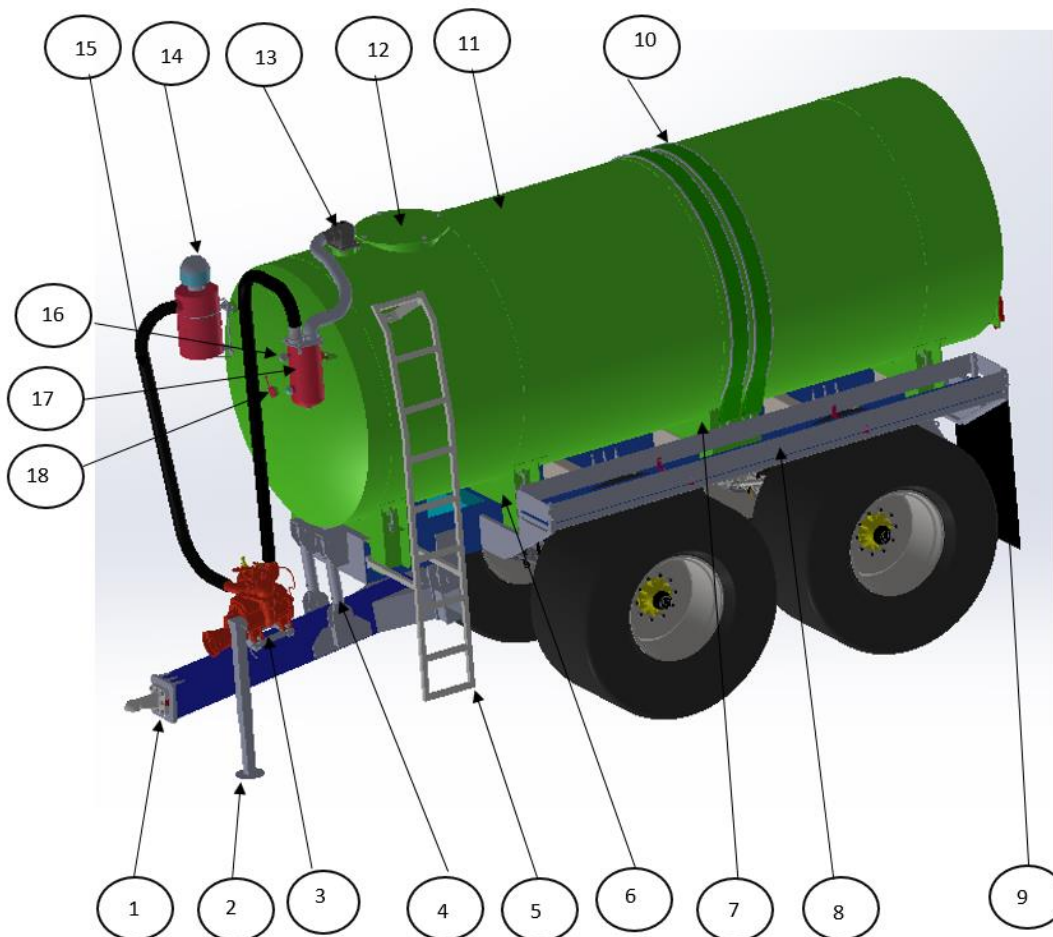


Obr. 40 Dokovací stanice s cyklónovým odlučovačem [24]

8 KONSTRUKČNÍ NÁVRH JEDNOÚČELOVÉ CISTERNY

Jako jednoúčelová je označena dopravní technika, u které nelze měnit jednotlivé typy nástaveb. Rám podvozku je pevně spojen s vanovou, nebo u vleků vícestranně sklápěnou korbou. Hlavní konstrukční prvek je podvozek. Jeho provedení má společné znaky jak v případě jednoúčelových návěsů, tak i další techniky zahrnující tu pracovní. V této kapitole bude popsána volba jednotlivých dílů a princip jejich fungování.

Cisterna (obr. 41) je koncipována dle vyhlášky č. 209/2018 Sb., o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel. Dovolená šíře činí dle vyhlášky maximálně 3 m. Navrhnutá cisterna dosahuje šíře 2,99 m. Pro výšku jízdní soupravy tažného vozidla s návěsem činí hranice 4,08 m. Navrhnutá cisterna dosahuje výšky 3,96 m. Dalším kritériem byla maximální hmotnost na nápravu. Zde je dle vyhlášky náprava s dílčím rozvorem náprav nad 1,8 m považována za samostatnou a lze ji zatížit maximálně 10 tunami. V tomto návrhu je rozvor náprav jak u hydro-pneumatického odpružení, tak u parabolické bogie náprav, volen 1,9 m.



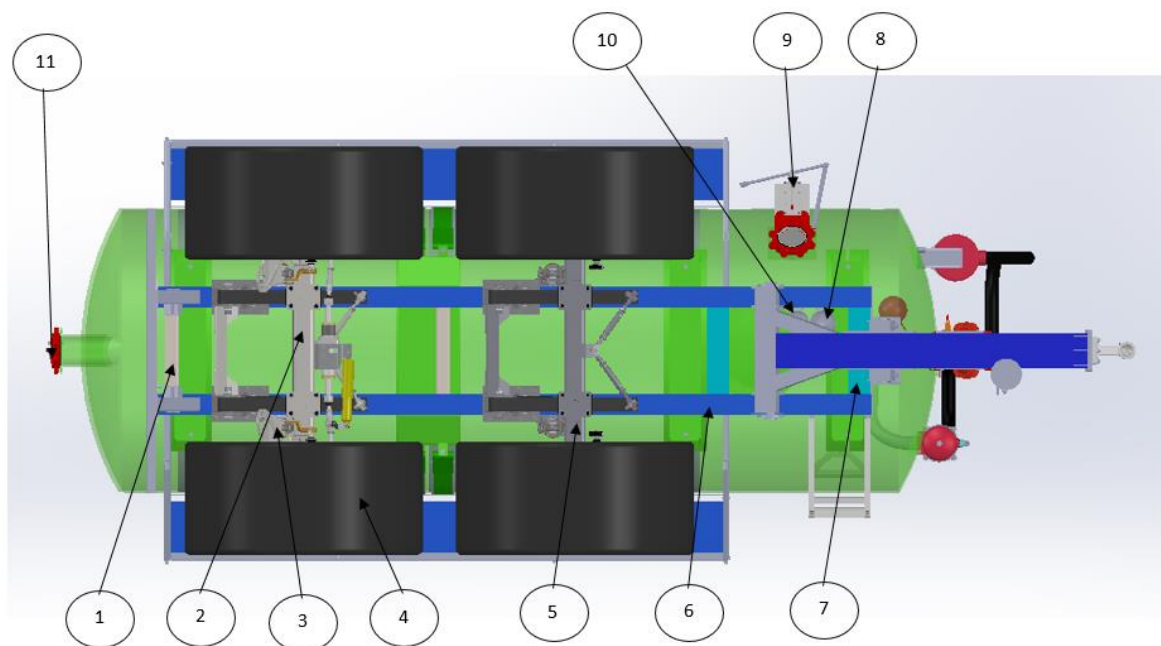
Obr. 41 Jednoúčelová cisterna, 1- tažné oko K80, 2- podpěrná noha, 3- podstavec s vývěvou, 4- hydraulické odpružení oje, 5- žebřík, 6- podstavec úzký, 7- podstavec široký, 8- boční rám, 9- zástěrky na kola, 10- opásací pásy s výtuhou, 11- nádrž, 12- vrchní víko s těsněním, 13- plovákový ventil, 14- filtr vzduchu, 15- PVC hadice, 16- nanometr, 17- sifonový dělič, 18- ukazatel hladiny

8.1 NÁPRAVY A ODPRUŽENÍ

Dle zadání bylo nutno volit dva druhy odpružení bez zásahů do konstrukce. Odpružení i nápravy byly vybrány z katalogu ADR. Prvním zvoleným odpružením je hydropneumatické. S tímto odpružením byl i vypracován model v programu SolidWorks. Únosnost odpružení je na nápravu 15 tun při čtvercové nápravě s rozměrem 150 mm. Nevýhodou tohoto odpružení je vysoká cenová relace. Hydropneumatické odpružení je nejlepší, co lze v dnešní době pořídit, ale bohužel i to nejdražší. Někteří výrobci hydropneumatické odpružení v základní nabídce nemají. Pouze ho nabízí pro své speciální stroje.

Druhým typem odpružení je pomocí parabolických pružin. Náprava bogie (kyvná) využívá parabolické pružiny pro své tlumení. Volba tohoto odpružení cílí na levnější varianty cisterny.

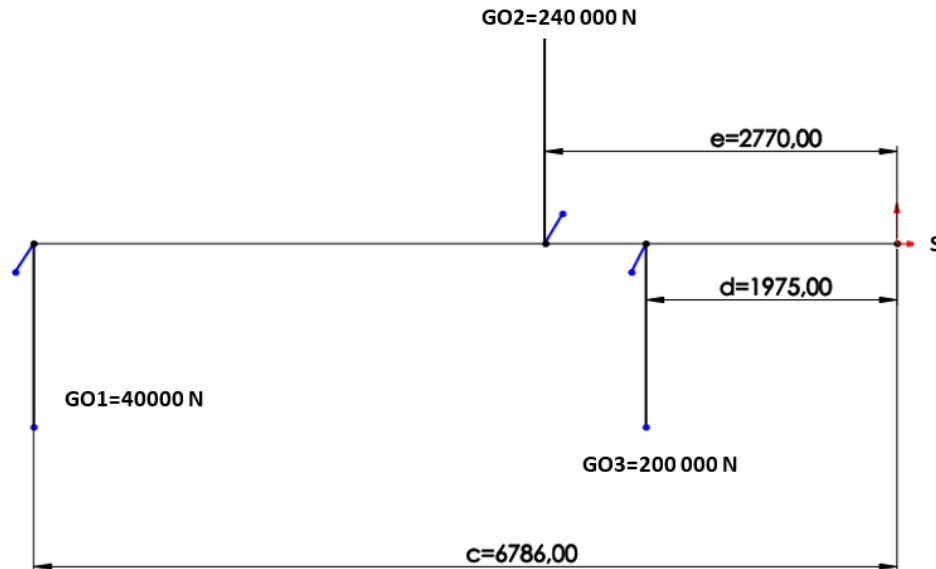
Nápravy (obr. 42) jsou voleny s únosností 16500 kg při 40 km/h pro přední pevnou nápravu i zadní samořízenou nápravu. Pro nápravy byla zvolena brzda ZE 4218E 520 x 180, která sice poníží únosnost náprav při dané rychlosti na 14500kg, ale zajistí dostatečný brzdný moment pro zastavení cisterny. Předimenzování náprav je voleno z praktického důvodu četnosti výměny obložení při soustavném používání a zajištění bezpečnosti.



Obr. 42 Pohled zdola na cisternu, 1-obdelníkový tenkostěnný profil 200x100x8-600 mm , 2-samořízená náprava, 3-hydropneumatické odpružení náprav, 4-pneumatiky, 5-náprava pevná, 6-obdelníkový tenkostěnný profil 300x150x8-5000 mm, 7-obdelníkový tenkostěnný profil 300x150x8-600 mm, 8- membránový akumulátor 2,8l , 9-mechanicky ovládané šoupě, 10- membránový akumulátor 2l, 11-hydraulicky ovládané šoupě.

8.1.1 KONTROLA UMÍSTĚNÍ NÁPRAV

Ověření umístění středu náprav (obr. 43) na rámu cisterny, při dodržení maximální zatížení na oj, bylo vypočteno ze silové rovnováhy k bodu S rovnici (1).



Obr. 43 Schéma silové rovnováhy

$$G01 * c - G02 * e + G03 * d = 0 \quad (1)$$

Po úpravě rovnice do tvaru, kdy vyjadřujeme d dostaneme rovnici (2)

$$d = \frac{G01 * c - G02 * e}{G03} = \frac{G01 * c - G02 * e}{G03} \cong 1967 \text{ mm} \quad (2)$$

Kde:

G01	[N]	maximální dovolené zatížení oje
G02	[N]	maximální dovolené zatížení cisterny
G03	[N]	zatížení na dvě nápravy
c	[mm]	celková vzdálenost mezi tažným okem a zadní hranou podélného nosníku
d	[mm]	vzdálenost mezi středem náprav a zadní hranou podélného nosníku

e [mm] vzdálenost uvažovaného těžiště k zadní hraně podélného nosníku

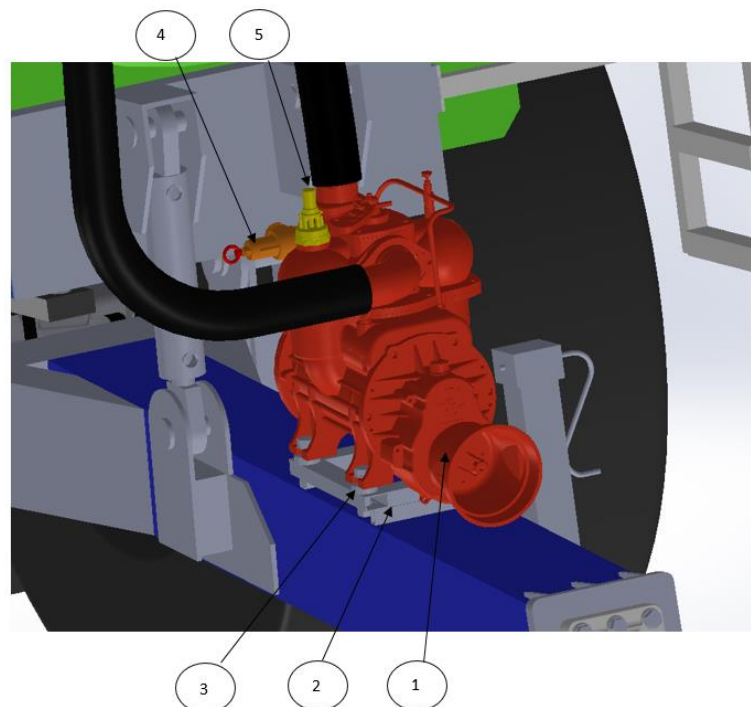
Vzdálenost d je volena jako 1975 mm. Maximální zatížení na oji bude 3970 kg.

8.2 PNEUMATIKY

Pneumatiky byly voleny od firmy Mitas. Cisterna je aplikační a je nutné ji vybavit pneumatikami, které jí dodají potřebné vlastnosti v terénu. Pro jízdu po hospodářských pozemcích byl volen rozměr pneumatik 750/60- R30,5 z důvodu malé zátěže na plochu a co nejmenšího poškození plodin při přejezdu. Pneumatiky mají vysokou únosnost a lze je případně „podhustit“. Soupravy, které jsou vybaveny regulací tlaku pneumatik můžou při přejezdu po obhospodařované ploše volit cíleně menší tlak v pneumatikách a při přejezdu po komunikacích opět tento tlak zvýšit. Docílí tak lepší ovladatelnosti cisterny.

8.3 VÝVĚVA

Vývěva (obr. 44) je volena od firmy Battioni Pagani. Oproti čerpadlu má výhodu v malém zástavbovém prostoru, (není potřeba odlučovač kamenů, nebo řezací hlava) a velikosti průtoku vzduchu při malé poruchovosti. Jedná se o typ MEC II 11000 verze M-MA (1). Vývěva je poháněna od vývodového hřídele traktoru při 1000 ot/min. Průtok vzduchu je 11137 l/min. Je umístěna přímo na oji návěsu na podstavci (2), který je přivařen k oji. Odpružení je provedeno čtyřmi silentbloky (3), které jsou mezi podstavcem a úchyty vývěvy. Její bezpečnou funkci zajišťují filtr nasávaného vzduchu a plovákový a sifonový dělič. Přímou na vývěvě je



Obr. 44 Vývěva s přetlakovým a podtlakovým ventilem na podstavci

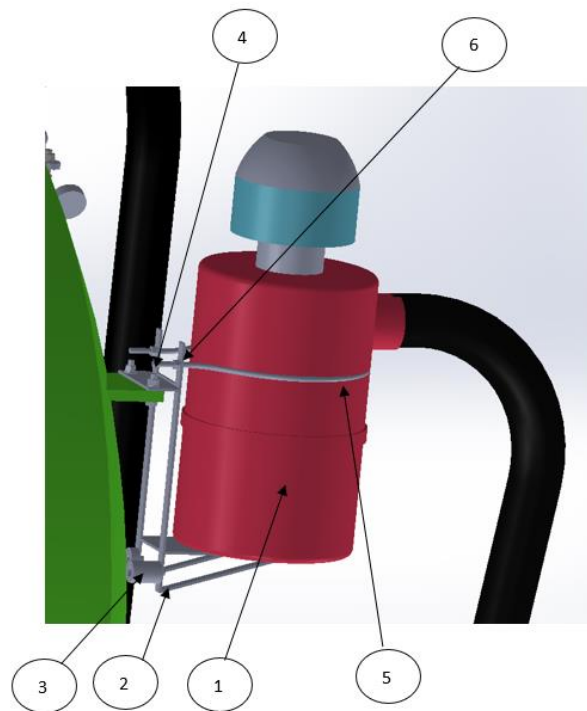
namontován přetlakový (4) a podtlakový (5) nastavitelný ventil. Vývěva musí být ihned vypnuta při naplnění cisterny, aby nedošlo k jejímu poškození.

8.4 OCHRANNÉ PRVKY

Vývěvu je nutné chránit před vnikem nasávaného média a nečistot, které se vyskytují ve vzduchu. K ochraně proti vniknutí média slouží plovákový ventil a sifonový dělič. Vzduch vcházející do vývěvy čistí filtr. Naopak u čerpadel prochází kapalina pracovním prostorem čerpadla. V tomto místě je jí udělována tlaková (kinetická) energie. Pro ochranu čerpadel se používají řezací hlavy, nebo lapače kamenů. Ty jsou součástí cisteren, nebo jsou umístěny na mobilních čerpacích stanicích.

8.5 FILTR VZDUCHU

Filtr (obr. 45) (1) je posazen a opásán na podstavci (2), který je přišroubován k nádrži šrouby (4) M12. Na spodní straně jsou přišroubovány k podstavci silentbloky (3) pomocí šroubů s kruhovou hlavou s vnitřním šestihranem, zabraňuje se tak odírání nádrže. Opásání (5) zamezuje posuvu filtru po podstavci a je opět přitáhnuto maticemi (6).



Obr. 45 Filtr vzduchu na podstavci

8.6 PLOVÁKOVÝ VENTIL

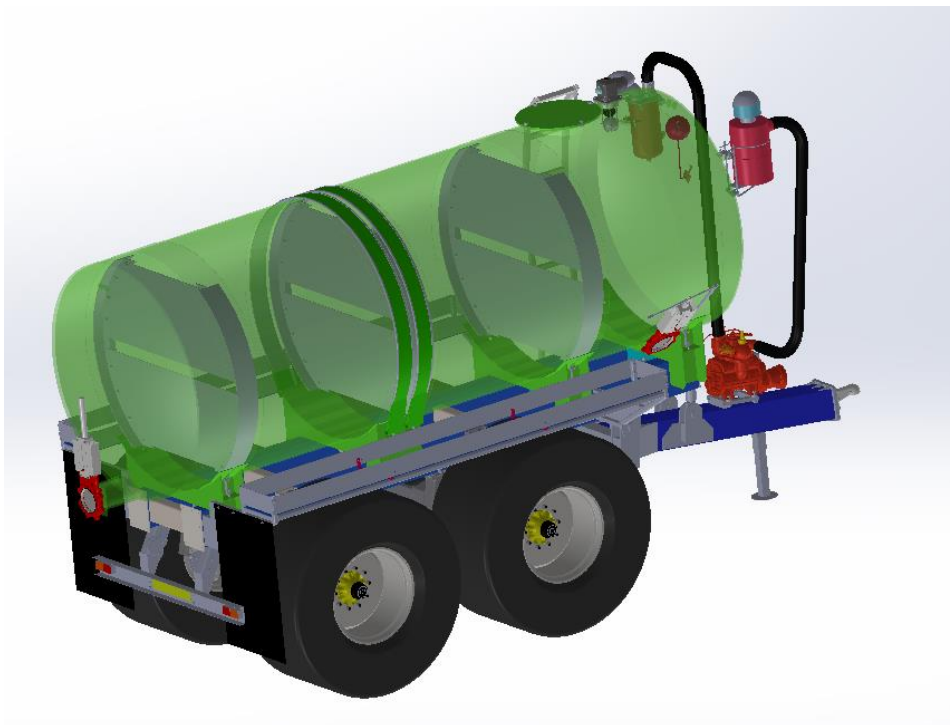
Je umístěn v nejvyšším bodě cisterny, kde při naplnění nádrže přeruší nasávání vzduchu z nádrže. V ten moment je nutné ihned vypnout pohon vývěvy, aby nedošlo k jejímu poškození.

8.7 SIFONOVÝ DĚLIČ

Je umístěn mezi plovákovým ventilem a vývěvou. Slouží jako jistící zařízení pro látku a pěnu, která unikne přes plovákový ventil při plnění cisterny. Je nutná kontrola naplněnosti přes kontrolní otvor a případné okamžité vypuštění obsahu děliče výpustným otvorem.

8.8 VLNOLAMY

Vlnolamy se šroubují, nebo zalaminátovávají do vnitřní části nádrže (obr. 46), kde slouží pro vyztužení konstrukce. Zabraňují vzniku velkých setrvačných sil při volném přelévání kapalin u prudkého zrychlování, brždění stroje. Vlnolamy mají i ochrannou funkci. Snižuje se možnost převrácení stroje. Norma ČSN EN 707+A1 stanovuje minimální příčný průřez vlnolamy jako 2/3 příčného průřezu nádrže. Počet vlnolamů v cisterně je závislý na jejím objemu.[17] Tloušťka plechu vlnolamy je 6 mm. U nádrží převážející dusíkaté hnojivo (DAM) je nutné mít vnitřní šrouby z nerezové oceli, která snese nepříznivé chemické, abrazivní prostředí. Deska vlnolamy je přidělána na každé straně 4 šrouby M20. Pro přidělení jedné sekce vlnolamy je tedy třeba 16 šroubů.



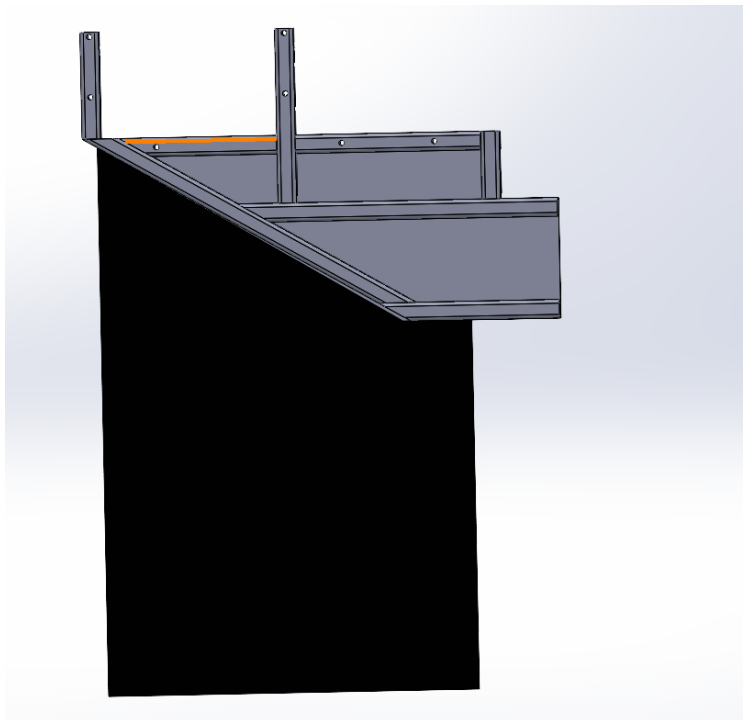
Obr. 46 Zviditelněný vnitřek nádrže

8.9 HLADINOMĚRY

Hladinoměr slouží pro kontrolu stavu naplněnosti nádrže. Musí být umístěn na cisterně tak, aby byl z kabiny stroje dobře viditelný. Může být plovákového typu, kdy prostřednictvím plováku a plovákové tyče je přenášena úroveň hladiny na risku na čelní straně nádrže. Druhým typem využívajícím princip spojených nádob je průhledný hladinoměr (trubice), která je přímo propojena s nádrží. Lze přesně kontrolovat hladinu v takto spojené nádrži. Kontrolní trubice je vyrobena z průhledného plexiskla.

8.10 OCHRANNÝ RÁM

Ochranný boční rám (obr. 47) slouží pro ukládání hadic potřebných pro čerpání kapalin z/do cisterny. Je svařen z tenkostěnných obdélníkových profilů 40x40x 4 mm a vyztužen ochranným plechem o tloušťce 4 mm. K rámu jsou přišroubovány zástěrky pro kola, které přesahují pneumatiky po obou stranách. Dlouhé plechy jsou na čtyřech místech přišroubovány k rámu. Na ochranný rám je možné přimontovat odrazka i reflexní výstražný trojúhelník pro pomalu jedoucí vozidla.



Obr. 47 Boční zadní ochranný rám

8.11 ŽEBŘÍK

Žebřík (obr. 48) se využívá pro přístup k vrchnímu plnicímu otvoru. Je složen z 9 příček vzdálených od sebe 350 mm. Je použito čtvercového tenkostěnného profilu 40 x 40 x 4 mm. Na vrchu nádrže je závitová tyč, ke které je žebřík přichycen a zajištěn maticí M16. Vlastní tíha a dotažení od matice zajistí, že se žebřík opře o nosný rám přes silentbloky, které má v opěrných bodech. Silentbloky jsou přišroubovány k žebříku šrouby M10 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. Vzdálenost prvního schodu žebříku od země je 600 mm.



Obr. 48 Žebřík

8.12 OPĚRNÁ NOHA

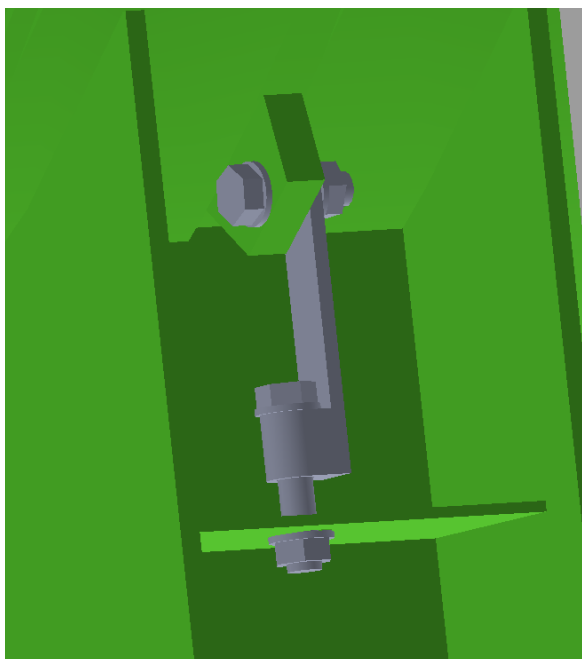
Mechanická opěrná noha (obr. 49) slouží při odstavení k odpojení/zapojení cisterny. Je přivařena k oji návěsu. Maximální nosnost je 4000 kg. Má dvě rychlosti pohybu. V zatažené poloze je minimální vzdálenost tažného oka K80 vzhledem k rovnoběžnému povrchu 290 mm a při maximálním výsuvu je to 690 mm.



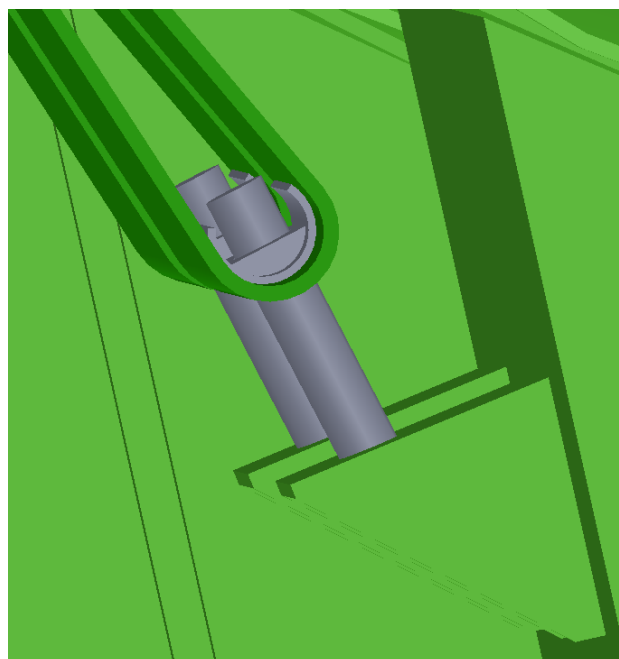
Obr. 49 Podpěrná noha [42]

8.13 PŘICHYCENÍ CISTERNY K PODSTAVCŮM

Cisterna je uložena na čtyřech podstavcích. Jeden podstavec je široký (obr. 51) a slouží pro přichycení dvou opásacích pásů cisterny. Opásací pásy jsou vyztuženy na vnitřní straně pryžovým mezikusem, který zabrání otěru vlastnímu povrchu nádrže. V úchytných okách je umístěn kroužek a v němž je deska se závitem. Přes tuto desku je dotahováno šroubem opásání. Zbylé tři podstavce jsou úzké (obr. 50) a nádrž je v těchto místech přitáhnuta k podstavci přes celkově 6 šroubů M20.



Obr. 50 Přichycené nádrže na úzkém podstavci

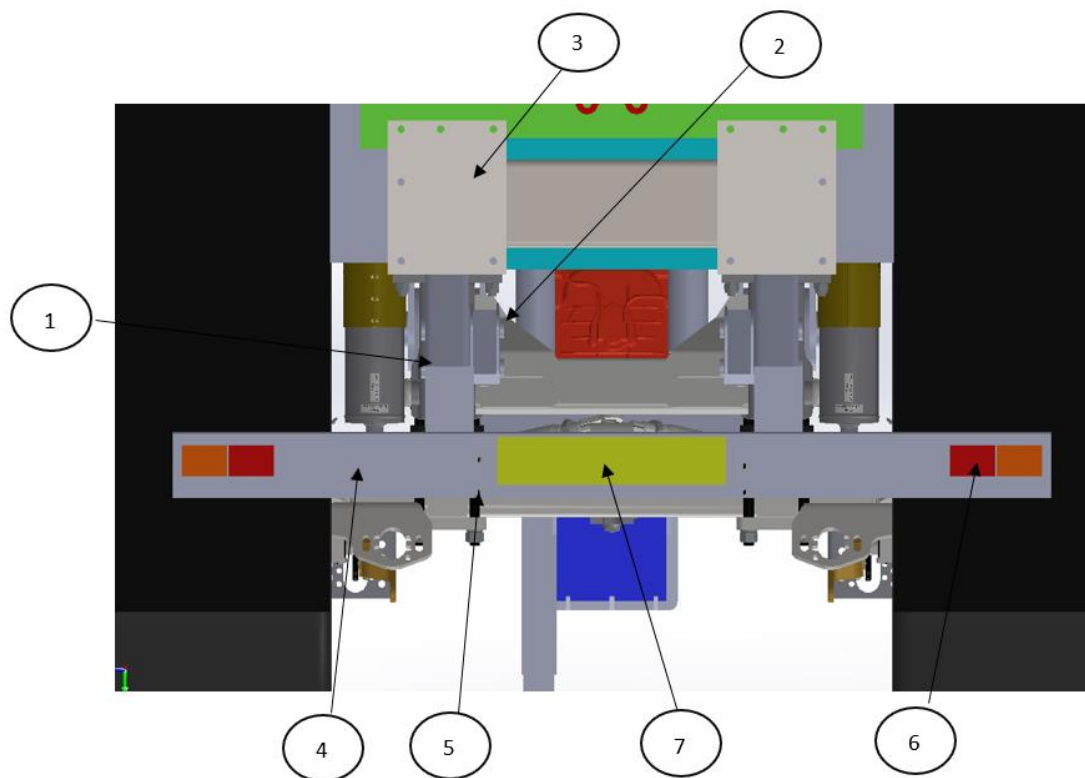


Obr. 51 Přichycení opásání nádrže na širokém podstavci

8.14 ZADNÍ RÁM

Zadní rám (obr. 52) je tvořen tenkostěnným obdélníkovým profilem 150x 100x 8-600 mm (1), který je přivařen ke dvěma hlavním podélným nosníkům. V tomto rámu jsou dvě díry pro čepy (2) o průměru 40 mm, které slouží pro uchycení čtyřbodového závěsu. Dalším úchytným bodem závěsu jsou dvě desky (3), které jsou opět přivařeny k hlavním podélníkům a jsou opatřeny každá 6 děrami pro šrouby M20.

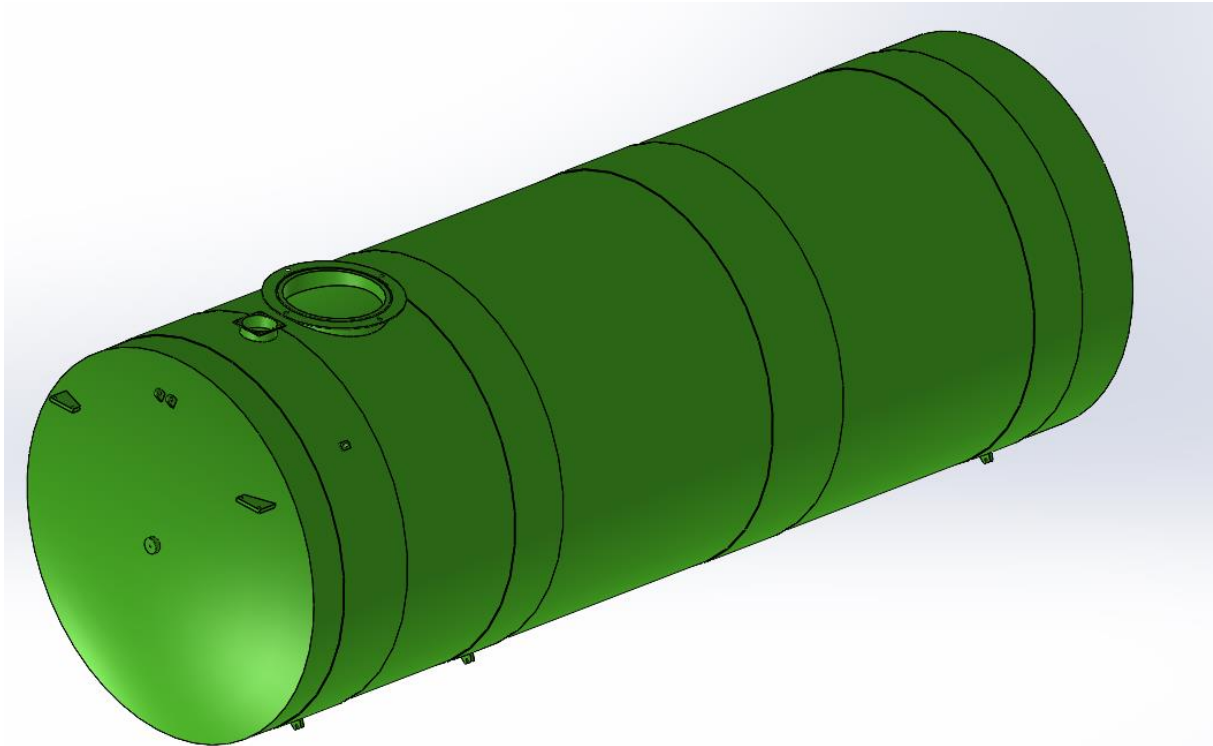
Zadní nárazník (4) je přichycen k svislým nosníkům přes přivařenou desku. S touto deskou je smontován šroubovým spojem (5). Nárazník je naohýbán z 3 mm plechu. Do nárazníku jsou přidělena světla (6) a státní poznávací značka (7) s případným osvětlením.



Obr. 52 Zadní pohled na nárazník a úchyty pro aplikátor

8.15 NÁDRŽ

Nádrž (obr. 53) je vyrobena z laminátu. Jedná se o laminát vyztužený skelnými vlákny GPU. Tento materiál je velmi odolný proti dusíkatým hnojivům a má chemickou stálost. Velkou výhodou je jeho nízká hmotnost oproti ocelovým nádržím. Nádrž je vybavena horním, bočním a zadním otvorem. Zadní otvor slouží primárně pro připojení k aplikátoru a odtoku hnojiva z cisterny. Horní a boční otvor slouží pro plnění cisterny. Na bočním otvoru je umístěno mechanicky ovládané šoupě. Na zadním otvoru je hydraulicky ovládané šoupě. Vrchní otvor je přišroubován a mezi víkem a nádrží je těsnění bránící úniku tekutin mimo cisternu. V případě potřeby je možné vybavit vrchní otvor též hydraulicky zavíraným víkem. Cisterna je opatřena i oky pro snadné přemísťování při výrobě a montáži jeřábem. Nádrž má tloušťku 10 mm a v místě uložení podstavců a vlnolamů je zesílena na 15 mm. Do nádrže jsou zalaminovány ocelové úchytné a výstupní prvky pro zesílení konstrukce.



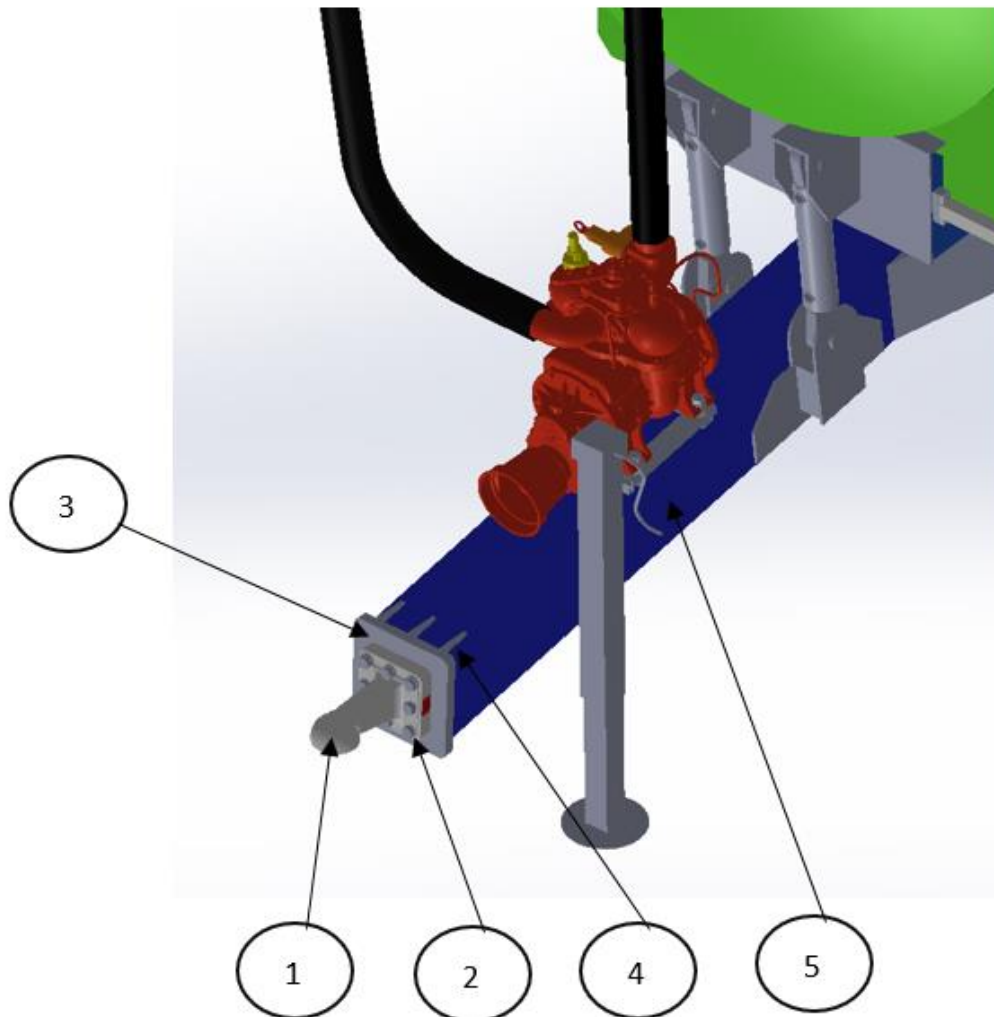
Obr. 53 Sklolaminátová nádrž cisterny

8.16 NOSNÝ RÁM

Hlavním nosným prvkem konstrukce je rám. Je složen z dvou podélných tenkostěnných obdélníkových nosníků 300x 150x 8-5000 mm a čtyř příčných obdélníkových tenkostěnných nosníků 200x 100x 8-600 mm a dvou příčných obdélníkových tenkostěnných nosníků 300x 150x 8-600 pro zpevnění v okolí připojení oje. Na rámu jsou vařeny tři úzké a jeden široký podstavec, na kterých je položena laminátová nádrž. K rámu je přichycena oj přes přivařené vrchní a spodní úchytné desky o tloušťce 15 mm. V každém úchytné desce je vyfrézováno osazení. Do tohoto osazení se zasadí kroužek a přivaří se k desce. Tím vznikne větší styčná plocha pro čep průměru 60 mm, kterým je pak spoj propojen. V případě, že při zhotovování tohoto spojení bude při svařování docházet k velkému kroucení materiálu, kdy čep bude těžko montovatelný, je nutné nejprve svařit desku s plným kroužkem a následně vrtat díru pro oba kusy zároveň. Mezi spodními deskami je obdobným stylem přivařen kroužek s vnějším průměrem 80 mm. V tomto kroužku je maznice pro mazání čepu. Zajištění čepu je provedeno přes pojistný kroužek.

8.17 AGREGACE

Agregace (obr. 54) probíhá přes tažné oko K80. (1) Maximální svislé zatížení na oko je 4000 kg. Tažné oko je přichyceno 8 šrouby M20 (2) k desce (3), která má tloušťku 30 mm. Deska je vyztužena žebry (4) na horní a spodní straně a je i s žebry přivařena k rámu oje.(5)



Obr. 54 Agregace cisterny tažným okem K80

9 NÁHRADY PRO MKP

Pro pevnostní analýzu je nutné zjednodušit některé díly. Přenést je do náhradního řešení. Tato nahrazení jsou použita pro určené zátěžné stavy, které jsou na jednoúčelové cisterně řešeny.

9.1 TUHOST PRO PRUŽINU NAHRAZUJÍCÍ PARABOLICKÉ ODPRUŽENÍ NÁPRAVY

Nutný předpoklad řešení v tomto případě je, že uvažujeme parabolickou pružinu jako lineární. Zanedbáváme pro tento případ její reálnou nelinearitu. Výpočet tuhosti udává rovnice (3).

$$k_n = \frac{m_n * g}{n_n * \Delta l} = \frac{24000 * 9,81}{4 * 39} \cong 1509,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (3)$$

Kde:

m_n	[kg]	hmotnostní kapacita dvou náprav (katalog ADR [38], str. 87), $m_n=24000$ kg
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
n_n	[-]	počet parabolických pružicích celků, $n_n = 4$ [38]
Δl	[mm]	rozdíl výšky náprav v nezátěženém, a zatíženém stavu při plném zatížení [38], $\Delta l = 39$ mm

9.2 TUHOST PRUŽINY PRO BOČNÍ A SMĚROVÉ VEDENÍ

Tuhost je rozdílná ve všech směrech a po domluvě s vedoucím práce je daná tuhost stanovena podílově jako 2/3 z tuhosti od odpružení parabolickými pružinami v předchozím řešení. Tuhost pružiny pro boční a směrové vedení vypočítáme z rovnice (4).

$$k_{bs} = \frac{2}{3} * k_n = \frac{2}{3} * 1509,2 \cong 1006,1 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (4)$$

Kde:

k_n	[N · mm ⁻¹]	Tuhost pružinu nahrazující parabolické odpružení nápravy
-------	-------------------------	--

9.3 TUHOST HYDROPNEUMATICKÉHO ODPRUŽENÍ NÁPRAV

Tuhost hydropneumatického odpružení je vypočítána rovnicí (5) dle dat z katalogu ADR. Agregát je značně předimenzovaný a nikdy by nemělo dojít k naplnění celé jeho hmotnostní kapacity.

$$k_{hpn} = \frac{m_{pn} * g}{\Delta h * x} = \frac{30000 * 9,81}{284 * 2} \cong 518 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (5)$$

Kde:

m_{pn}	[kg]	přípustná hmotnost hydropneumatického odpružení $m_{pn}=30000$ kg [38], str. 120
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
Δh	[mm]	rozdíl výšky náprav v nezátěženém, a zatíženém stavu

x [-] při plném zatížení [38][38], $\Delta h = 284$ mm
počet hydraulických agregátů

9.4 TUHOST PRUŽINY NAHRAZUJÍCÍ PNEUMATIKY

Data byly čerpána ze stránek firmy Mitas. Použité pneumatiky 750/60-R30,5 jsou velice předimenzovány s ohledem na provoz, ve kterém budou používány. Výslednou tuhost vypočítáme rovnicí (6).

$$k_p = \frac{m_p \cdot g}{\Delta p} = \frac{7929 \cdot 9,81}{38} = 2047 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (6)$$

Kde:

m_p [kg] maximální zatížení na pneumatiku při tlaku 2 bary a rychlosti do 40 km/h, $m_p = 7929$ kg [39]
 Δp [mm] rozdíl statického nezatíženého poloměru při předepsaném tlaku a zatíženého statického poloměru, $\Delta p = 38$ mm [39]

9.5 TLUMENÍ PNEUMATIK

Tlumení pneumatik je dáno rovnicí (7) a je voleno jako 1% tuhosti pneumatik.

$$b_p = \frac{k_p}{100} = \frac{2047}{100} = 20,47 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (7)$$

9.6 TUHOST PRUŽINY NAHRAZUJÍCÍ PNEUMATIKY TAŽNÉHO STROJE

Pro traktor Fendt 1038 Vario, který je použit jako tažný prostředek, jsou použita zadní kola 900/60 R42[40] s maximálním zatížením při 2 barech a rychlosti 40 km/h při únosnosti dle [39] 8070 kg. Zatížení od oje je rozneseno na zadní nápravu traktoru. Tuhost těchto dvou pneumatik lze vypočítat dle vztahu (8).

$$k_{pt} = \frac{2 \cdot m_{pt} \cdot g}{\Delta_{pt}} = \frac{2 \cdot 8070 \cdot 9,81}{105} \cong 1508 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (8)$$

Kde:

m_{pt} [kg] maximální zatížení pneumatiky při předepsaném tlaku 2 bary a s předepsanou rychlostí do 40 km/h [39], $m_{pt} = 8070$ kg
 Δ_{pt} [mm] rozdíl statického nezatíženého poloměru při předepsaném tlaku a zatíženého statického poloměru [39], $\Delta_{pt} = 105$ mm

9.7 TLUMENÍ PNEUMATIKY TAŽNÉHO STROJE

Tlumení pneumatiky v rovnici (9) je voleno jako 1% tuhosti pneumatiky.

$$b_{pt} = \frac{k_{pt}}{100} = \frac{1508}{100} = 15,08 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (9)$$

10 VÝPOČET MEZNÍHO STAVU ÚNOSNOSTI

Hlavní konstrukce rámu je vyrobena z oceli S355J0 (11523). Výpočet mezních stavů únosnosti odpovídá normě ČSN EN 1993-1-1. Výpočet ukazuje rovnice (10),(11).

Dolní mez kluzu	Re=355 MPa
Součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_m = 1,15$
Dynamický součinitel	$k_d=1,05$

10.1 HODNOTA NÁVRHOVÉ PEVNOSTI

$$f_{yd} = \frac{R_e}{\gamma_m} = \frac{355}{1,15} \cong 309 \text{ MPa} \quad (10)$$

10.2 DOVOLENÉ NAPĚTÍ OBSAHUJÍCÍ DYNAMICKÝ SOUČINITEL

$$f_d = \frac{f_{yd}}{k_d} = \frac{309}{1,05} = 293 \text{ MPa} \quad (11)$$

11 NÁVRH PŘÍMOČARÉHO HYDROMOTORU

Velikost síly působící na oj v místě přímočarého hydromotoru vypočteme rovnicí (12) z momentové rovnováhy. Maximální hmotnost působící v místě připojení s traktorem je 4 t.

$$F_p = \frac{F_{mzo} \cdot (a+b)}{a} = \frac{40000 \cdot (2492)}{760} \cong 131\,158\,N \quad (12)$$

Kde:

F_p	[N]	síla v místě uložení PČHM
F_{mzo}	[N]	maximální svislá síla působící na kulový čep K80
a	[mm]	vzdálenost od čepu spojovací oj s rámem k úchytu PČHM
b	[mm]	vzdálenost mezi tažným okem K80 a úchytu PČHM

Při zohlednění dynamického součinitele $k_d=1,5$ v rovnici (13) dojde k navýšení zatížení působícímu na uložení v místě PČHM na oji na hodnotu:

$$F_{pd} = F_p \cdot k_d = 131\,158 \cdot 1,5 \cong 196\,737\,N \quad (13)$$

Kde:

F_{pd}	[N]	síla v místě uložení PČHM při zohlednění dynamického součinitele
k_d	[-]	dynamický součinitel

Vztahem (14) je vypočítána síla při vysouvání válce.

$$F_{pd} = p_p \cdot S_1 \cdot n_p = p_p \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot n_p \quad (14)$$

Kde:

F_{pd}	[N]	síla v místě uložení PČHM při zohlednění dynamického součinitele
p_p	[Pa]	provozní tlak v hydraulickém obvodu
S_1	[m ²]	obsah plochy pod pístem
n_p	[-]	počet PČHM, $n_p=2$
D_p	[m]	průměr pístu

Výpočet průměru pístu rovnice (15) ze vztahu (14):

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{pd}}{p_p \cdot \pi \cdot 2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 196\,737}{20 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 2}} = 0,0791\,m \cong 80\,mm \quad (15)$$

Kde:

F_{pd}	[N]	síla v místě uložení PČHM při zohlednění dynamického součinitele
p_p	[Pa]	provozní tlak v hydraulickém obvodu
S_1	[m ²]	obsah plochy pod pístem
n_p	[-]	počet PČHM, $n_p=2$
D_p	[m]	průměr pístu

Velikost zasouvací síly pístu vypočteme ze vztahu (16)

$$F_{pdz} = p_p * S_2 * n_p = p_p * \left(\frac{\pi * D_p^2}{4} - \frac{\pi * d_p^2}{4} \right) * n_p \quad (16)$$

$$= 20 * 10^6 * \left(\frac{\pi * 0,08^2}{4} - \frac{\pi * 0,045^2}{4} \right) * 2 = 137\,445 \text{ N}$$

Kde:

F_{pd2}	[N]	síla při zasouvání pístu
S_2	[m ²]	obsah plochy pod pístem

Rychlost pohybu pístu:

Pro výpočet rychlosti pohybu pístu volím průtok $Q_1=120 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}=0,002 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$

Rychlost vysouvání pístu v_1 dle rovnice (17)

$$v_1 = \frac{Q_1}{S_1 * n_p} = \frac{Q_1}{\left(\frac{\pi * D_p^2}{4} \right) * n_p} = \frac{0,002}{\left(\frac{\pi * 0,08^2}{4} \right) * 2} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (17)$$

Kde:

Q_1	[m ³ ·s ⁻¹]	objemový průtok oleje
S_1	[m ²]	obsah plochy pod pístem
n_p	[-]	počet PČHM, $n_p=2$
D_p	[m]	průměr pístu

Rychlost zasouvání pístu v_2 dle rovnice (18)

$$v_2 = \frac{Q_1}{(S_1 - S_2) \cdot n_p} = \frac{Q_1}{\left(\frac{\pi \cdot D_p^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}\right) \cdot n_p} \quad (18)$$

$$= \frac{0,002}{\left(\frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4}\right) \cdot 2} \cong 0,29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Kde:

Q_1	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	objemový průtok oleje
S_1	$[\text{m}^2]$	obsah plochy pod pístem
S_2	$[\text{m}^2]$	obsah plochy nad pístem
n_p	$[-]$	počet PČHM, $n_p=2$
D_p	$[\text{m}]$	průměr pístu

Kontrola pístnice na vzpěr udává rovnice (19)Mezní štíhlostní poměr $\lambda_m=90-105$ pro uhlíkové oceli

$$\lambda = l_{red} * \sqrt{\frac{S_p}{I}} = l_{red} * \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot d_p^2}{4}}{\frac{\pi \cdot d_p^4}{64}}} = 0,3 * \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot 0,045^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 0,045^4}{64}}} \cong 26,7 \quad (19)$$

 $\lambda_m \geq \lambda$ jedná se v tomto případě o prostý tlak a účinek vzpěru lze zanedbat

Kde:

λ	$[-]$	štíhlostní poměr
S_p	$[\text{m}^2]$	obsah plochy pístnice
I	$[\text{m}^4]$	kvadratický moment
l_{red}	$[\text{m}]$	délka pístní tyče s ohledem na uložení pístnice, $l_{red}=0,3 \text{ m}$

11.1 NÁVRH AKUMULÁTORU

Pro odpružení oje je nutné obvod doplnit membránovými akumulátory, který vyrovnávají tlak v přímočarých hydromotorech. Plnicím plynem je dusík (N_2). Rovnicí (20) dostaneme objem nad pístem a rovnicí (21) objem pod pístem. Výslednou tuhost udává vztah (22).

11.1.1 OBJEM PŘÍMOČARÉHO HYDROMOTORU NAD PÍSTEM

$$V_{01} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} * n_p * l_t = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} * 2 * 0,22 = 0,00221 \text{ m}^3 \cong 2,21 \text{ l} \quad (20)$$

Objem membránového akumulátoru je volen $V_{01}=2,8 \text{ l}$

11.1.2 OBJEM PŘÍMOČARÉHO HYDROMOTORU POD PÍSTEM

$$\begin{aligned}
 V_{01} &= \left(\frac{\pi \cdot D_p^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \right) \cdot n_p \cdot l_t & (21) \\
 &= \left(\frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} \right) \cdot 2 \cdot 0,22 = 0,0015 \text{ m}^3 \cong 1,5 \text{ l}
 \end{aligned}$$

Objem membránového akumulátoru je volen $V_{02} = 2 \text{ l}$

Plnicí tlak akumulátoru je volen s ohledem na tlumení pulzací jako 60% plnicího tlaku tedy $p_0 = 12 \text{ MPa}$ [41]

Akumulátory jsou považovány za tlakovou nádobu a jsou umístěny na vnitřní straně rámu v přední části.

11.2 TUHOST HYDROPNEUMATICKÉHO ODPRUŽENÍ OJE

Je uvažováno nulové stlačení pístu.

$$k_{hp} = \frac{n \cdot F_p^2}{p_0 \cdot V_{01}} = \frac{1,4 \cdot 131\,158^2}{12 \cdot 10^6 \cdot 0,0028} = 747 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (22)$$

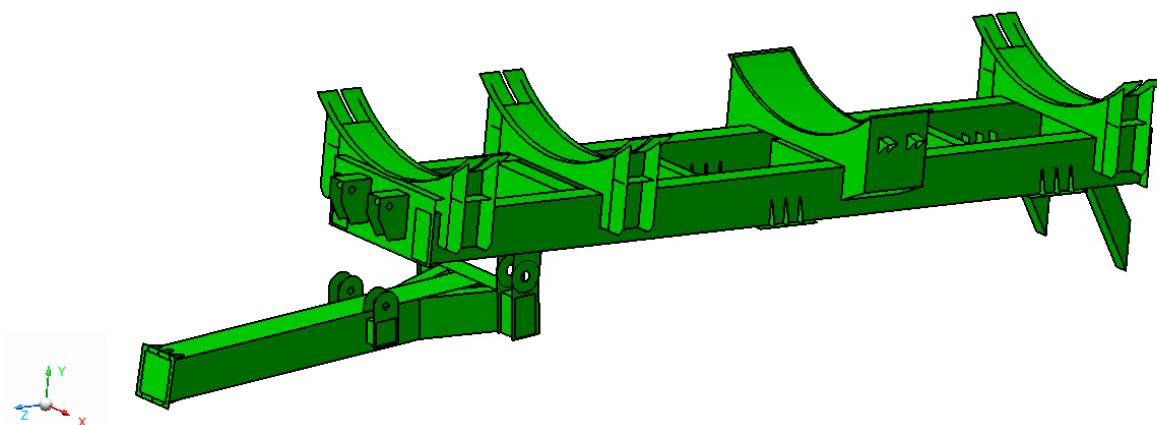
Tuhost každé pružiny odpovídá polovině tuhosti celku $k_{hp1} = \frac{k_{hp}}{2} = \frac{860}{2} = 430 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$

Kde:

k_{hp}	[N/mm]	tuhost hydropneumatického odpružení oje
F_p	[N]	síla v místě uložení PČHM
n	[-]	adiabatický koeficient dusíku $n=1,4$ [41]

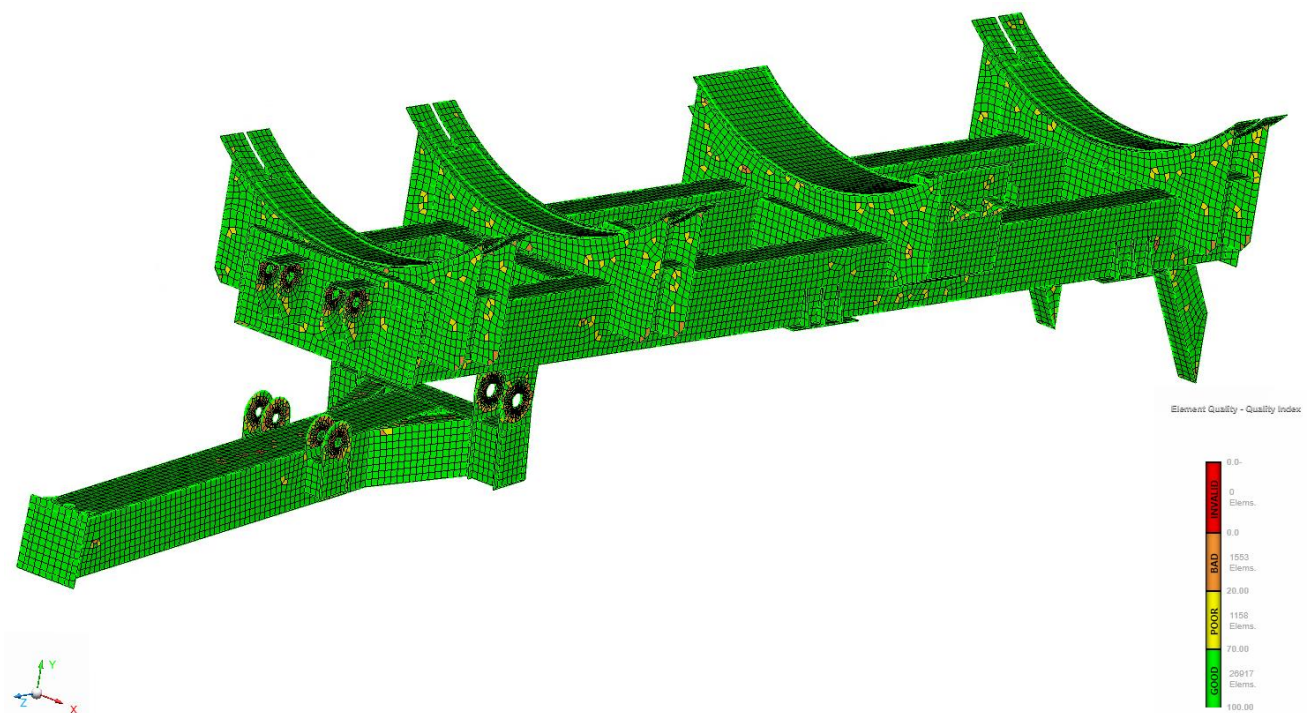
12 MKP

MKP bylo prováděno v programu MCS Apex Jaguar. Pro v úvahu přicházející zátěžové stavy byly stanoveny náhrady v podobě hmoty a tíhového zrychlení působícího na hmotu. Pro řešení v MKP bylo provedeno vyloučení všech nepodstatných zaoblení a děr, které by zatěžovaly výpočet a na výsledek nemají podstatný vliv. Následně byl model převeden ze 3D do 2D za pomoci střednic funkcemi Mid Surface (obr. 55). Střednice byly vytvořeny buď v polovině vzdálenosti mezi plochami, nebo např. pro úchyty náprav (rovnoběžné střednice), jako určitá odskočená vzdálenost od dané 3D plochy dílu. Tím vždy vznikl kontakt mezi díly. Všechny na sebe vzájemně kolmé střednice byly napojeny tak, aby mezi nimi byl kontakt funkcí Extend Surfaces. Případné nedostatky byly opraveny přesunutím křivek, nebo bodů funkcí Vertex/ Edge Drag.



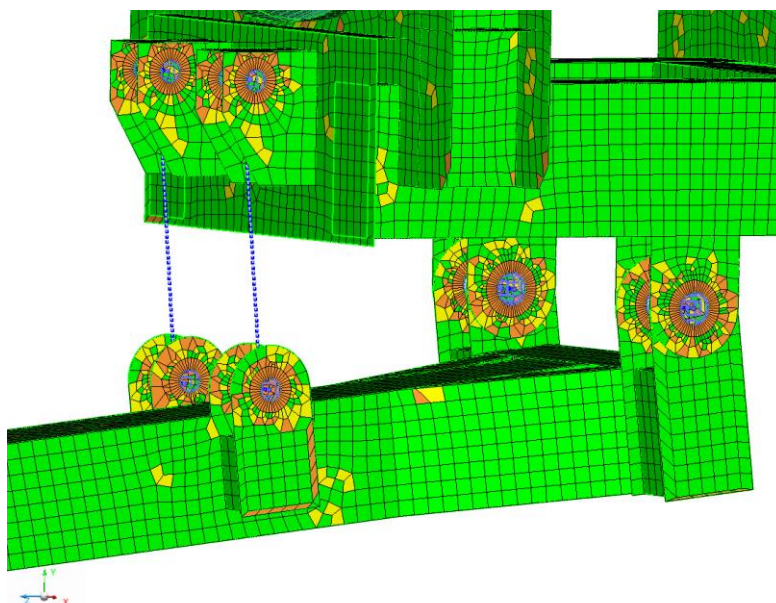
Obr. 55 Střednicové plochy modelu

Vzniklé plochy byly sloučeny do jednoho dílu pro vytvoření návazností při síťování. Síťování (mesh) bylo vytvořeno čtyřúhelníky o velikosti 10 mm (obr. 56) funkcí Surface Mesh. V místech napojení čepů byla síť zjemněna zadáním počtu prvků sítě na dané křivce funkcí Seeding (obr. 57). Případné chyby v síti byly odstraněny přesunutím prvků sítě funkcí Node Move. Takto vzniklé kvalitní síti byl přiřazen materiál.



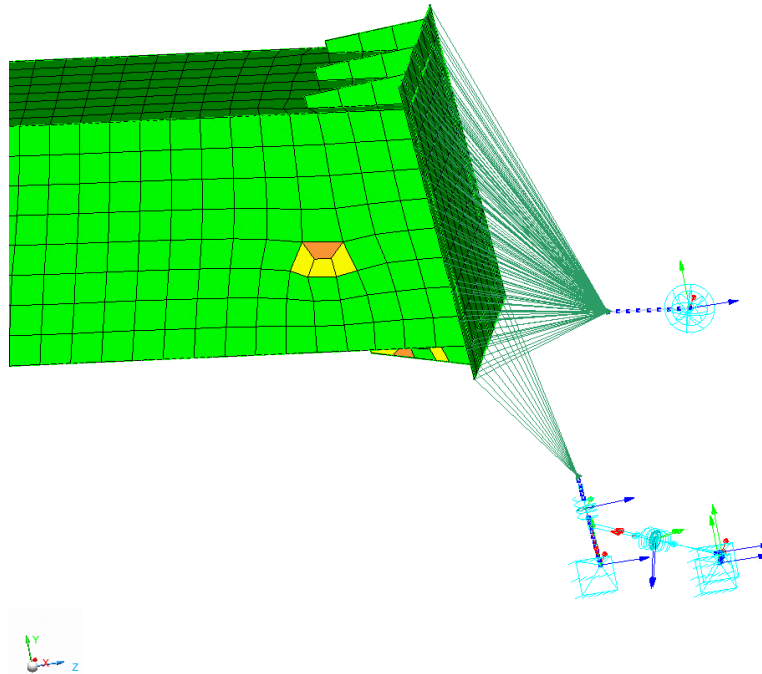
Obr. 56 Model s 29628 prvky mesh

Upraveným plochám, kde zmizela vazba na tloušťku, z důvodu posunování, byla tloušťka opět navracena funkcí Sections. Takto vytvářený model byl zavazben a průběžně zatěžován náhradní silou. Docílilo se tím funkčnosti všech konstrukčních úseků.



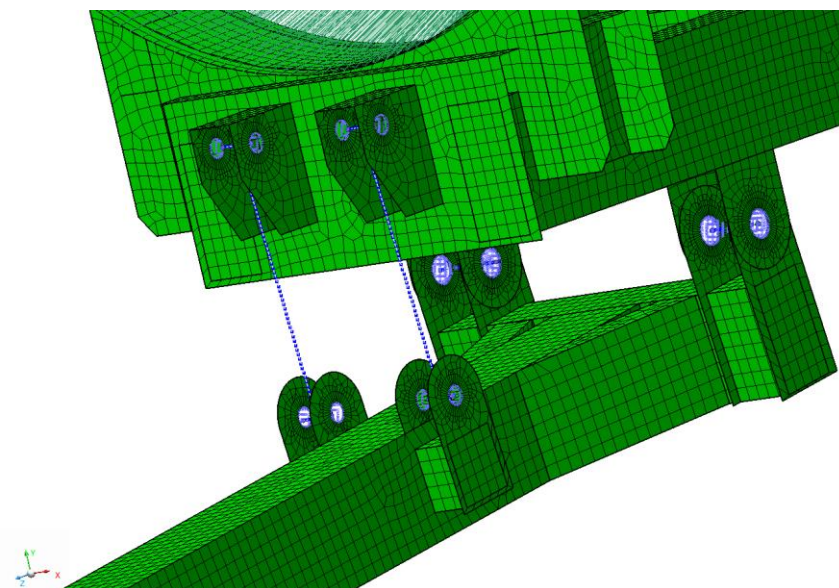
Obr. 57 Detail na Seeding kruhových ploch

Nahrazení tažného oka K80 bylo provedeno pomocí beam s vazbou kulový čep. Odpružení pneumatik tažného prostředku bylo realizováno přes pružinu s odpovídající tuhostí (obr. 58).



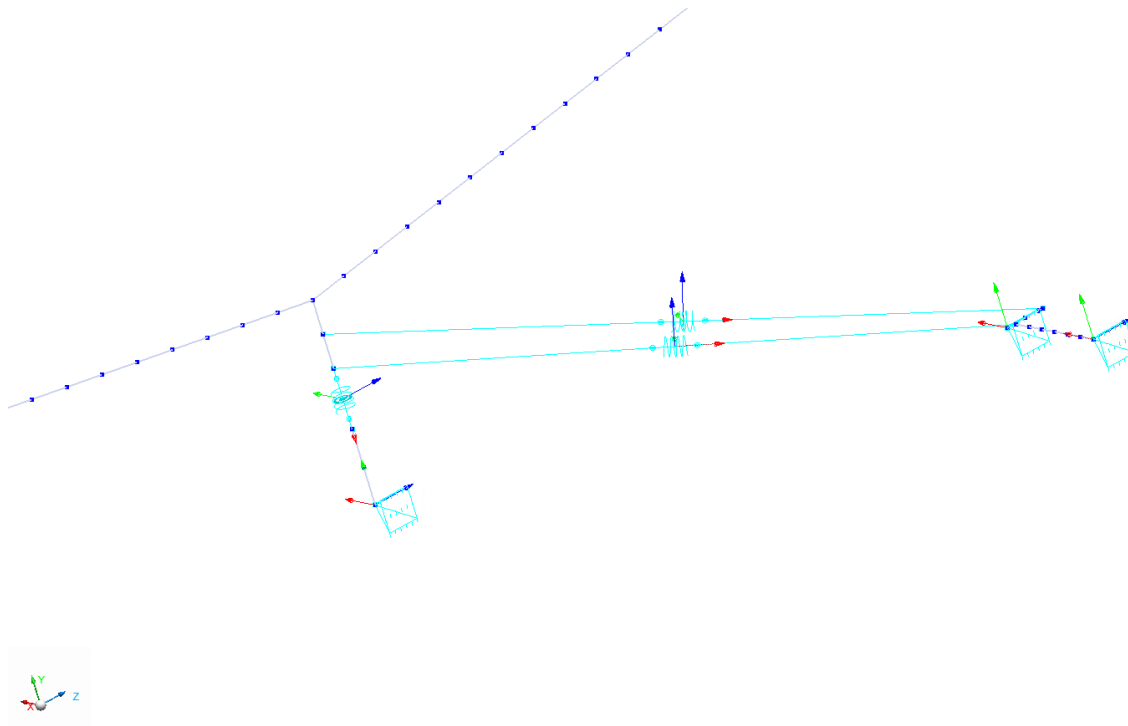
Obr. 58 Náhrada odpružení oje

V místě nahrazení čepů (obr. 59) byl vytvořen beam, na který bylo rozneseno zatížení ze spojovacích ok funkcí Discrete Tie. Čep má povolenou rotaci v ose x a přenáší zatížení pouze ve spodní části, stejně jako v reálné situaci.



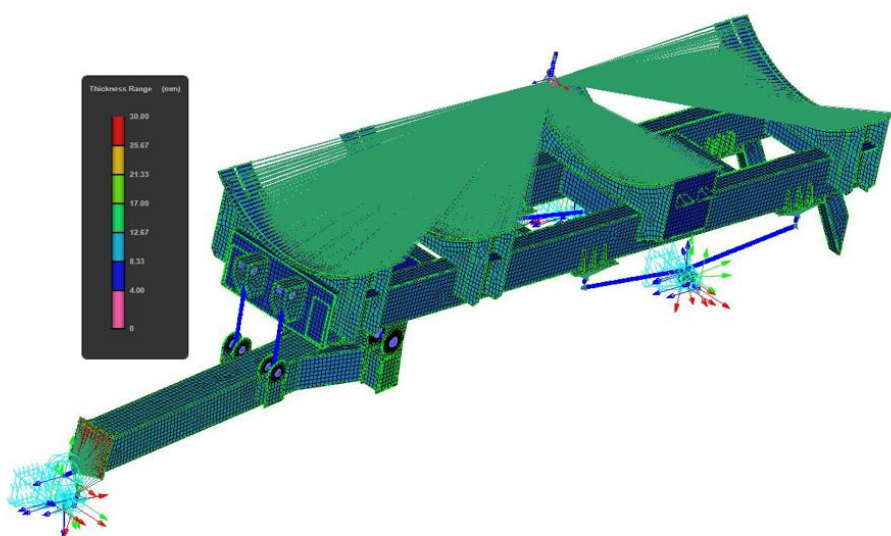
Obr. 59 Náhrada uchycení čepů

Odpružení hydropneumatické nápravy bylo provedeno tlumiči s odpovídající tuhostí i tlumením (obr. 60).



Obr. 60 Detail náhrady hydropneumatického odpružení

Celý model i s beams má přiřazenou tloušťku, kterou reprezentuje (obr. 61).



Obr. 61 Přiřazená tloušťka celému modelu

12.1 ZÁTĚŽNÉ STAVY

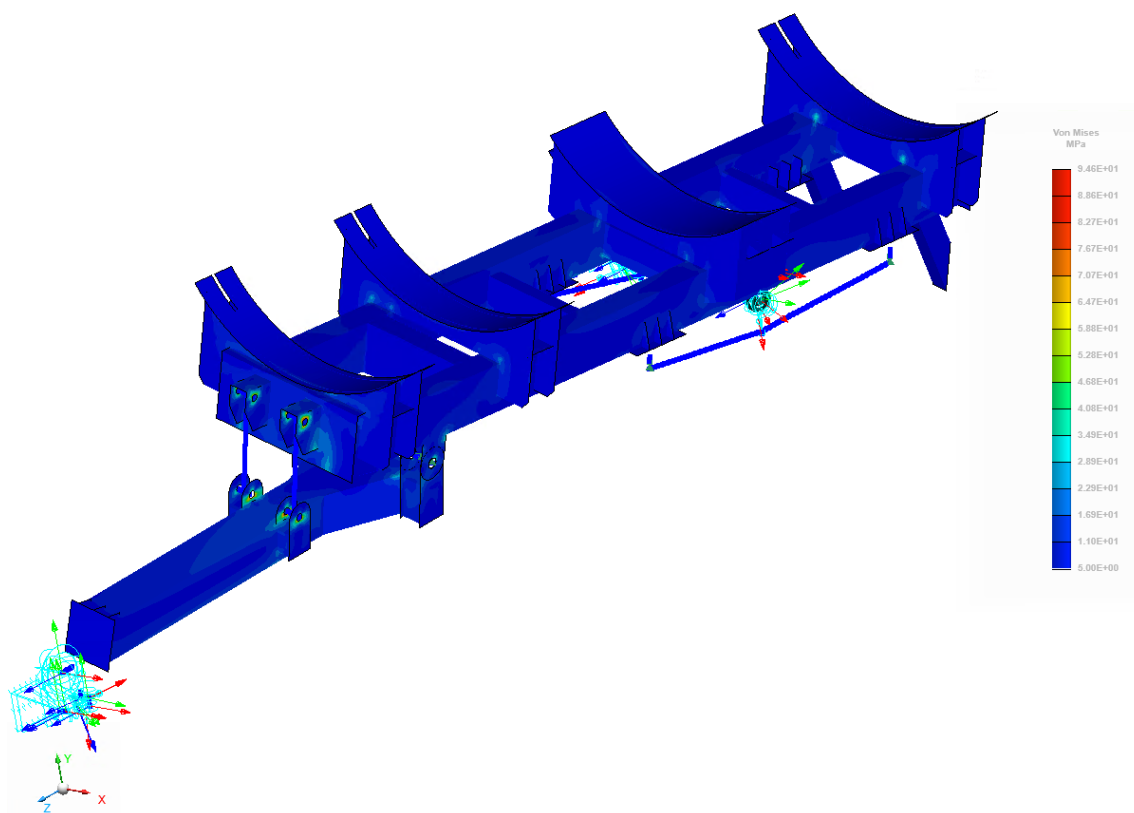
Pro simulaci je nutné zkontrolovat každodenní momenty, ve kterých může vzniknout při používání problém. Tyto zátěžné stavy je nutno zahrnout pro řešení v MKP. Jedná se o stání návěsu, průjezd zatáčkou, akceleraci a brždění.

Těžiště je uvažováno v polovině šířky, délky i výšky nádrže. S přihlédnutím na posun nádrže na rámu je poloha těžiště vzdálena o 2720 mm od hrany zadního příčného nosníku. Ve svislém stavu je tato vzdálenost složena z výšky podstavce, který je vysoký ve středu 100 mm a poloviny průměru nádrže. Vzdálenost těžiště je tedy cca 1100 mm nad hranou podélného hlavního nosníku. V úvaze je předpokládáno uvnitř nádrže homogenní médium.

Prvek Point Mass nahrazuje hmotnost, kterou zastupuje. Tento prvek byl umístěn do těžiště cisterny. Prvku byla dána hmotnost 20 tun a roznesena přes Discrete Tie do tří úzkých a jednoho širokého podstavce.

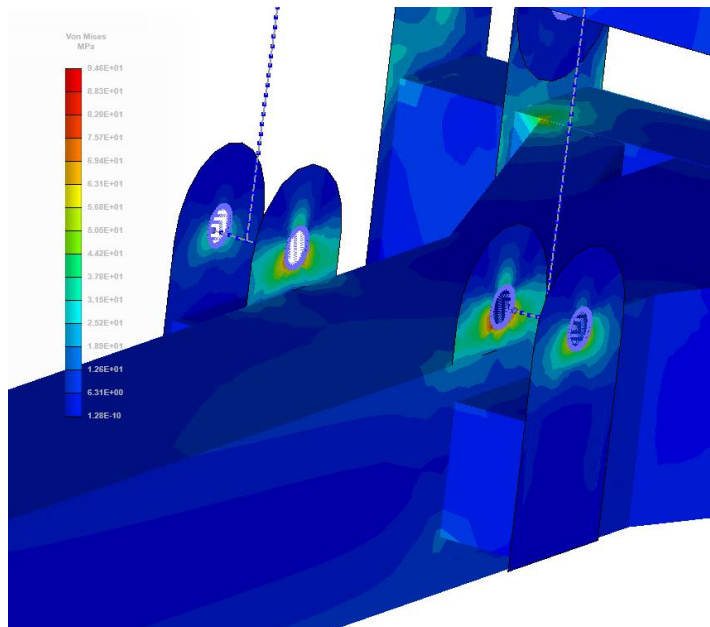
12.1.1 STAV PROSTÉHO STÁNÍ

Při stání působí na plně naplněnou cisternu pouze vlastní tíha od konstrukce a média, které cisterna převáží. Zrychlení ve všech ostatních směrech jsou nulová. Maximální tlak od média je na dně nádrže. Při stavu prostého stání je maximální napětí v místě úchytných ok 94,6 MPa (obr. 62), (obr. 63).



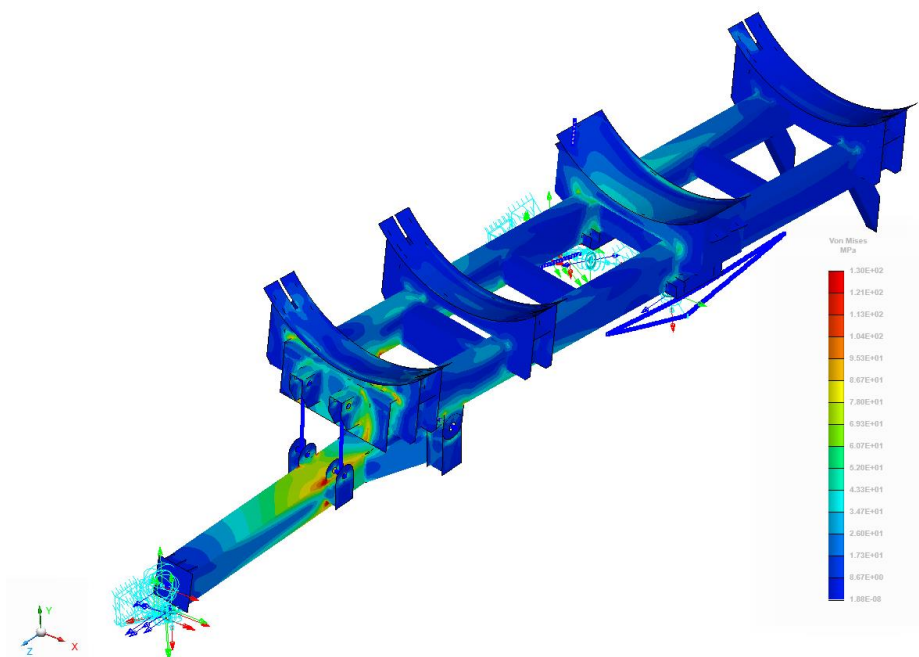
Obr. 62 Stav prostého stání pro hydropneumatické odpružení náprav

V případě, že jsou hydraulické zámky tlumení uzavřené, dochází k nejhoršímu zátěžnému stavu, kdy se všechno napětí přenáší do konstrukce. Z tohoto důvodu byla použita prutová náhrada přes uzavřený hydraulický systém prvkem Rigid. V napojení hran podstavce na podélné nosníky tím vznikají mírné špičky napětí.



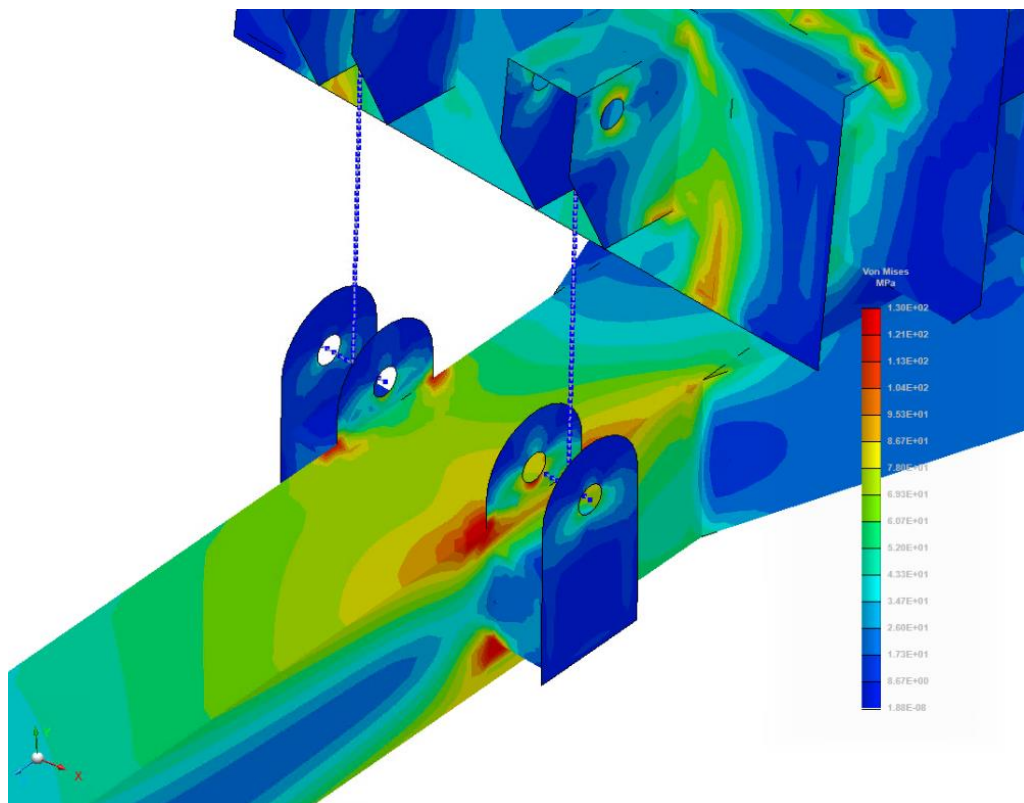
Obr. 63 Detail stání pro hydro-pneumatické odpružení náprav

Druhý typ odpružení je bogie (obr 64), (obr. 65), kdy je místo čtyř úchytných desek na rámu použito dvou větších desek. Náhrada odpružení je provedena podobným stylem jako v předchozím případě. Je svedena zátěž do beam a rozvedena do boků (v reálu parabolické pružiny) a následně znovu svedena do pružin s odpovídající tuhostí a tlumením.



Obr. 64 Stav stání pro bogie odpružení náprav

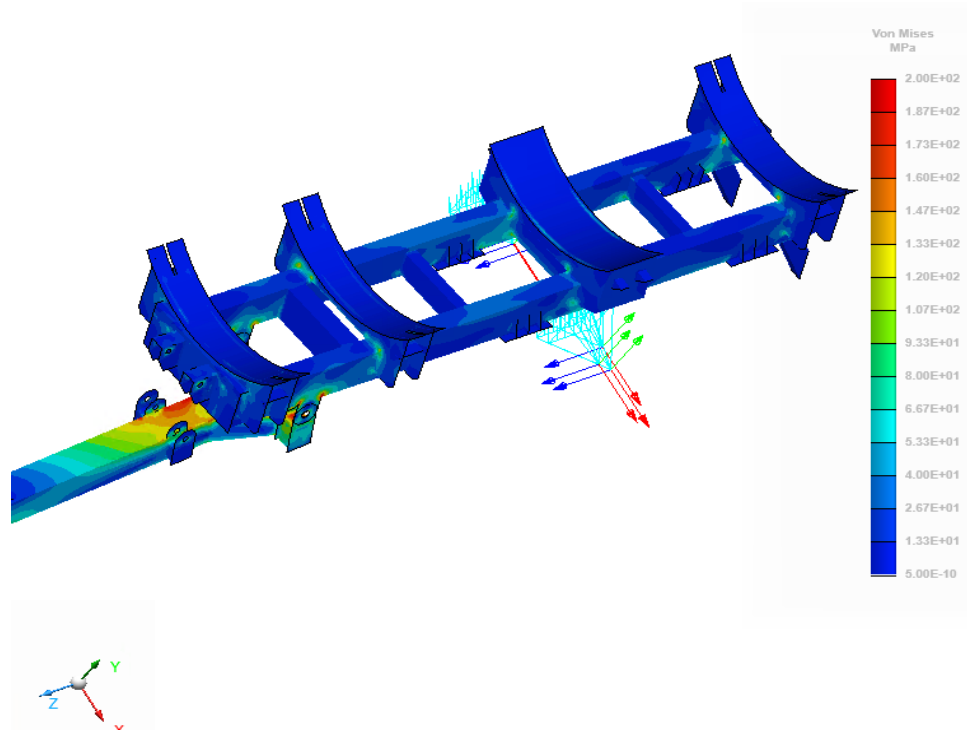
Maximální hodnota dosahuje 130 MPa. Stav je vyhovující.



Obr. 65 Detail stání pro bogie odpružení náprav

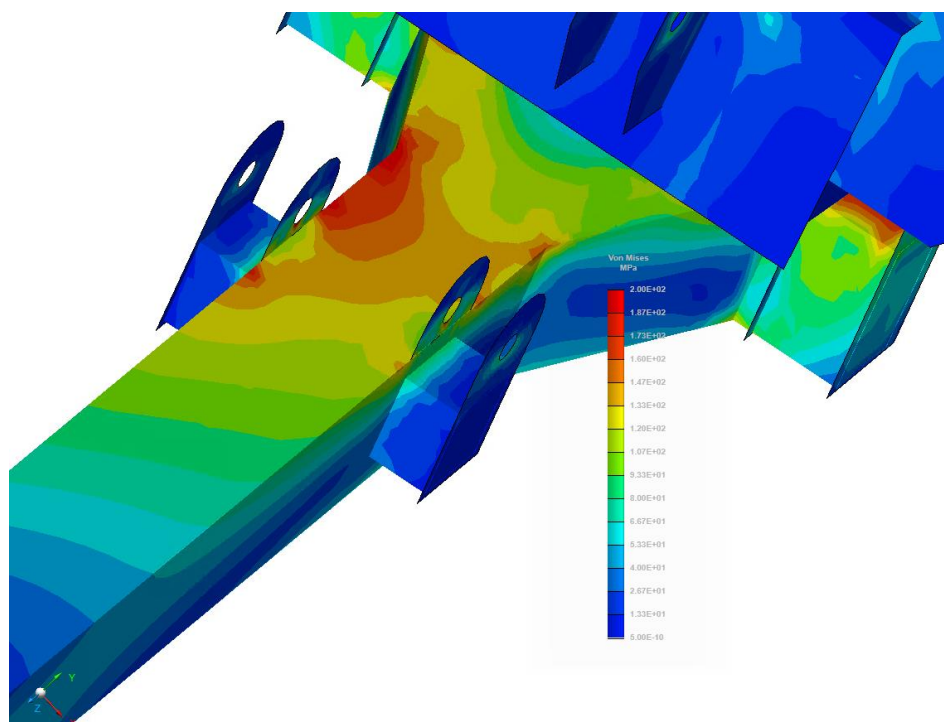
12.1.2 ROZJEZD

Simuluje moment, kdy se cisterna začíná pohybovat (obr. 66), (obr. 67) a tedy zrychluje na provozní rychlost. K tíhovému zrychlení se přidává zrychlení od tažného prostředku, který rozpohybovává cisternu. Dle [43] je maximální zrychlení v prvotní fázi rozjezdu rovno $2,5 \text{ m/s}^2$. S přihlédnutím k dynamickým účinkům je vektor tohoto zrychlení ve směru jízdy volen $a_z = 5 \text{ m/s}^2$. Boční zrychlení je nulové.



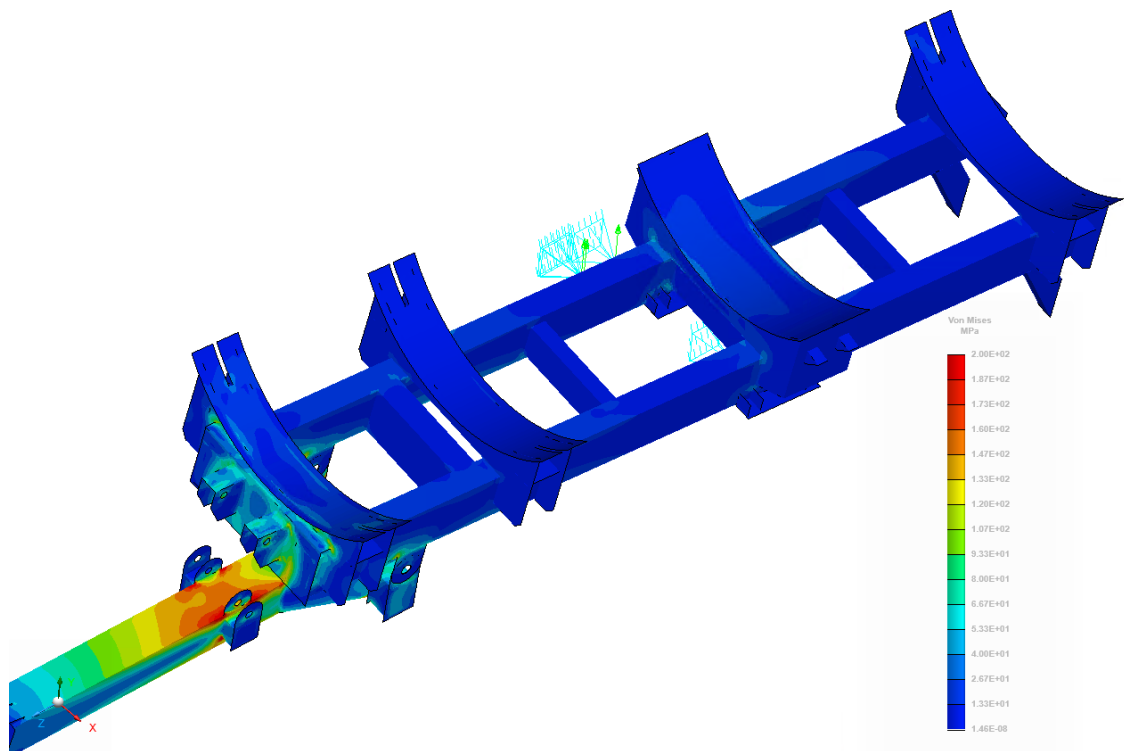
Obr. 66 Stav rozjezdu pro hydropneumatické odpružení náprav

Tlakové hladiny jsou kolmé na výsledné zrychlení a největší tlak je uvnitř nádoby na zadním vyprazdňovacím otvoru. Maximální napětí je v místě zalomení oje, kde vzniká velké tahové napětí o velikosti 200 MPa.



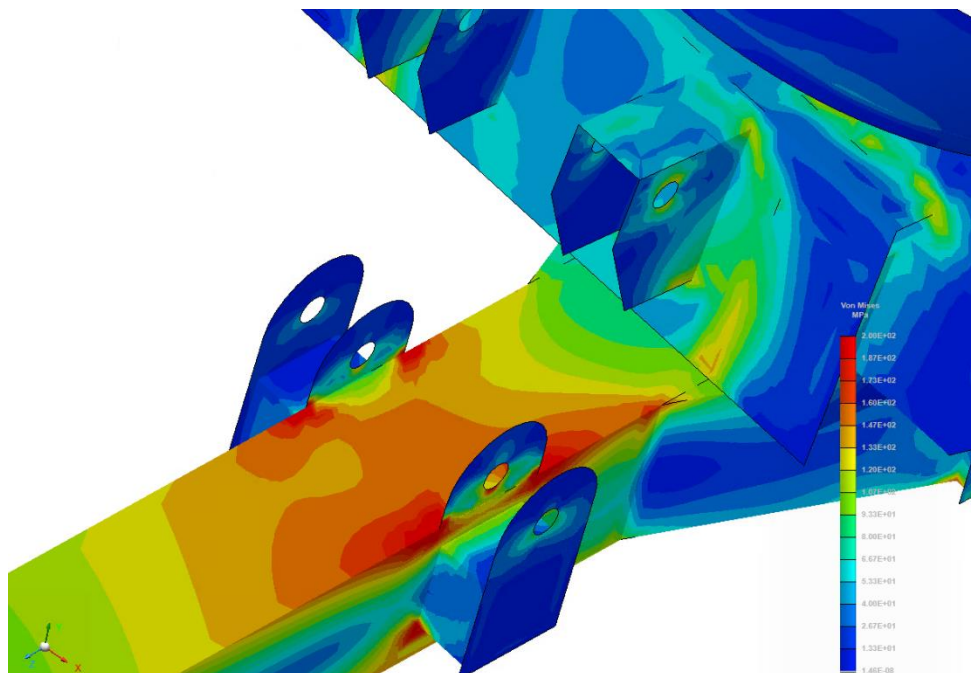
Obr. 67 Detail rozjezdu pro hydropneumatické odpružení náprav

Pro Bogie odpružení (obr. 68), (obr. 69) vychází výsledné napětí o velikosti 200 MPa. Velké zatížení je v přední části konstrukce.



Obr. 68 Stav rozjezdu pro bogie odpružení náprav

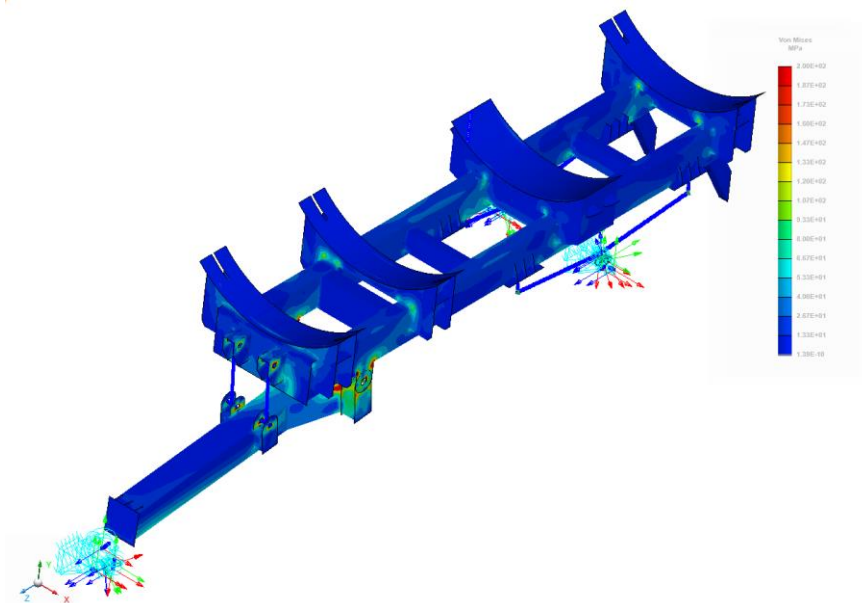
Pro tento fakt je použito na rámu v první sekci větších příčných profilů 300x150x8 mm.



Obr. 69 Detail rozjezdu pro bogie odpružení náprav

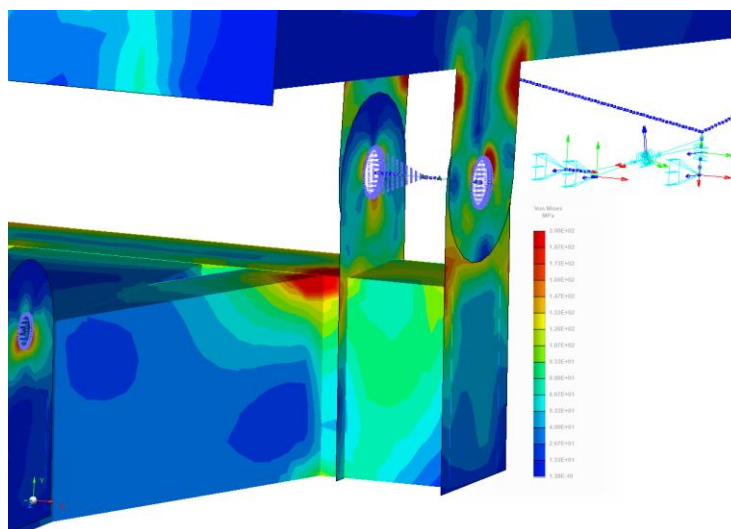
12.1.3 BRZDĚNÍ

Tíhové zrychlení je zde doplněno brzdícím zrychlením, které působí proti pohybu stroje. Brzdné zrychlení je dle [44] vypočítáno jako osm desetin tíhového zrychlení. Je tedy stanoveno jako $a_b = 8 \text{ m/s}^2$. Největší tlak je v tomto případě na přední části cisterny. Příčné zrychlení je stále nulové. Výsledné napětí dosahuje 200 MPa a je v místě návaru držáků oje (obr. 70), (obr. 71).



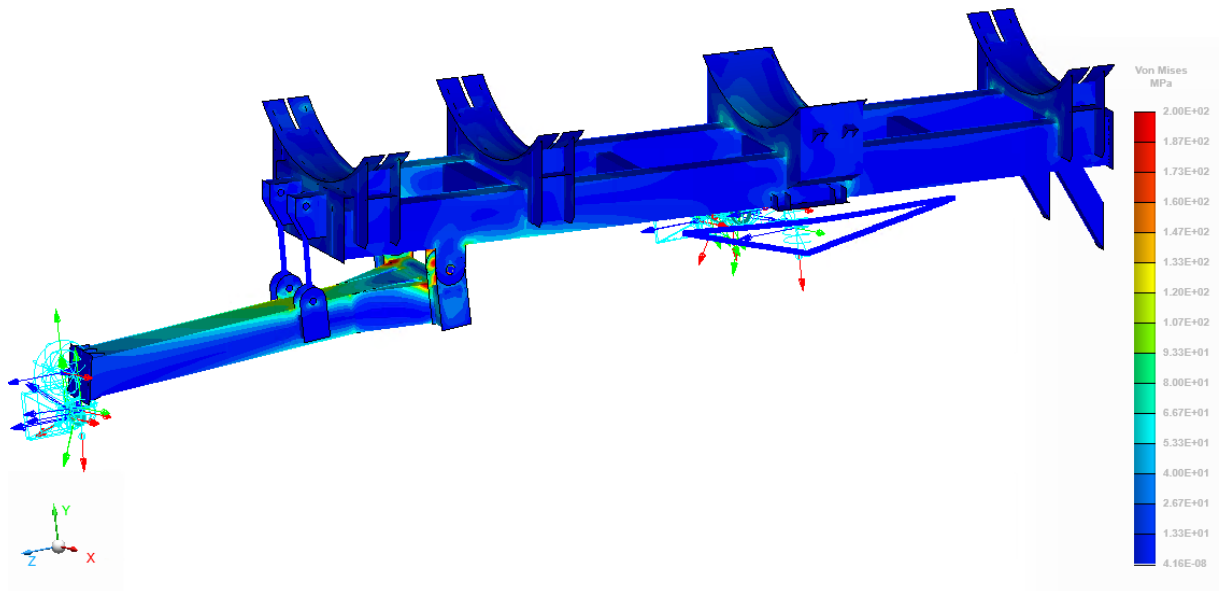
Obr. 70 Stav brždění pro hydropneumatické odpružení náprav

Do výpočtu nebyl zahrnut svar, který rozšíří kontaktní plochu. V případě, že by v provozu docházelo k deformaci tohoto místa, je řešením zesílit tento kontakt výtuhou, nebo držák udělat s rádiusem.



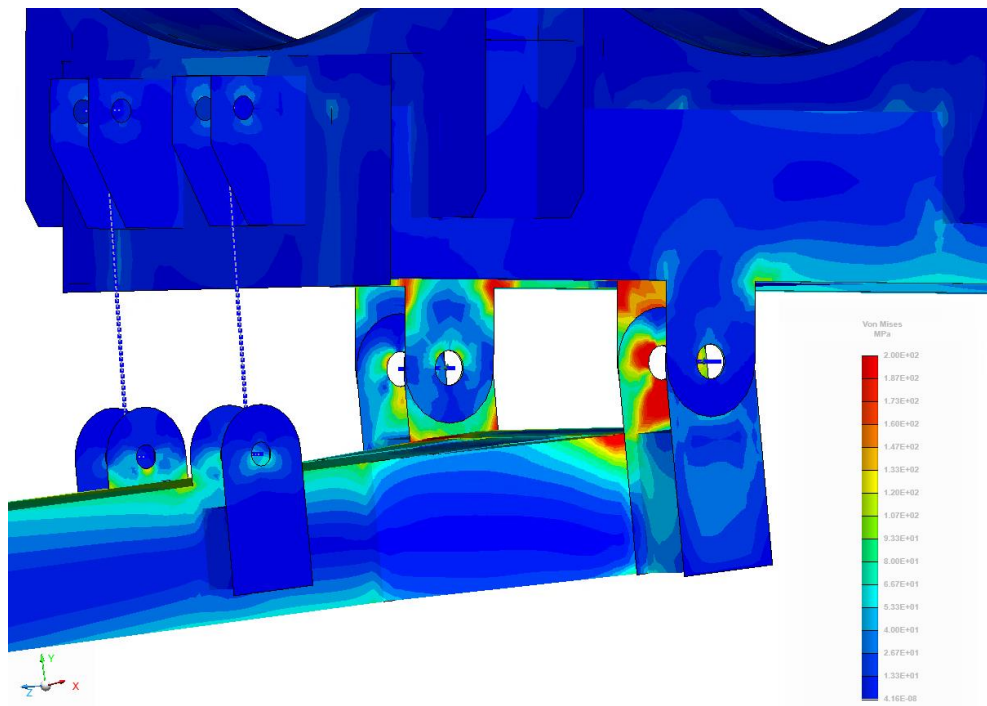
Obr. 71 Detail brždění pro hydropneumatické odpružení náprav

Pro bogie odpružení (obr. 72), (obr. 73) vychází obdobné výsledky. Zajímavými místy jsou přední části podstavců, kde se kumuluje napětí od brždění.



Obr. 72 Stav brždění pro bogie odpružení náprav

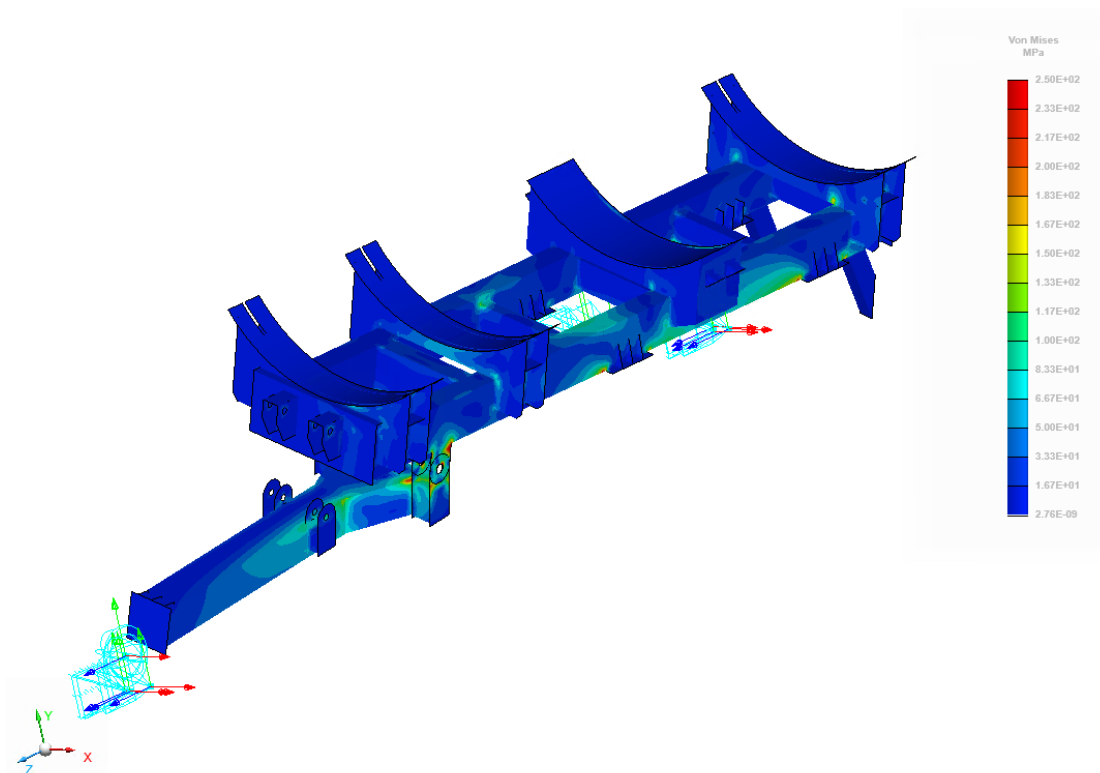
Největší napětí je stejně jako v předchozím případě na úchytech oje.



Obr. 73 Detail brždění pro bogie odpružení náprav

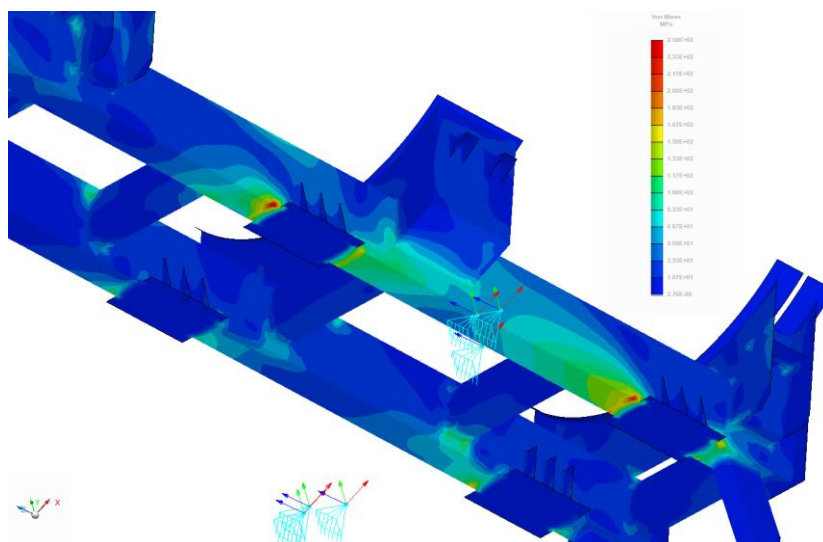
12.1.4 PRŮJEZD ZATÁČKOU

Průjezd zatáčkou simuluje stav, kdy na cisternu působí tíhové zrychlení a dostředivé zrychlení vyvolané rádiusem zatáčky a rychlosti, kterou jí cisterna projíždí (obr. 74), (obr. 75). Velikost dostředivého příčného zrychlení je dle [44] polovina tíhového zrychlení tedy $a_z = 5 \text{ m/s}^2$. Největší tlak je na pravé dolní straně nádrže. Podélné zrychlení je tentokrát nulové. Cisterna projíždí zatáčkou stálou rychlostí.



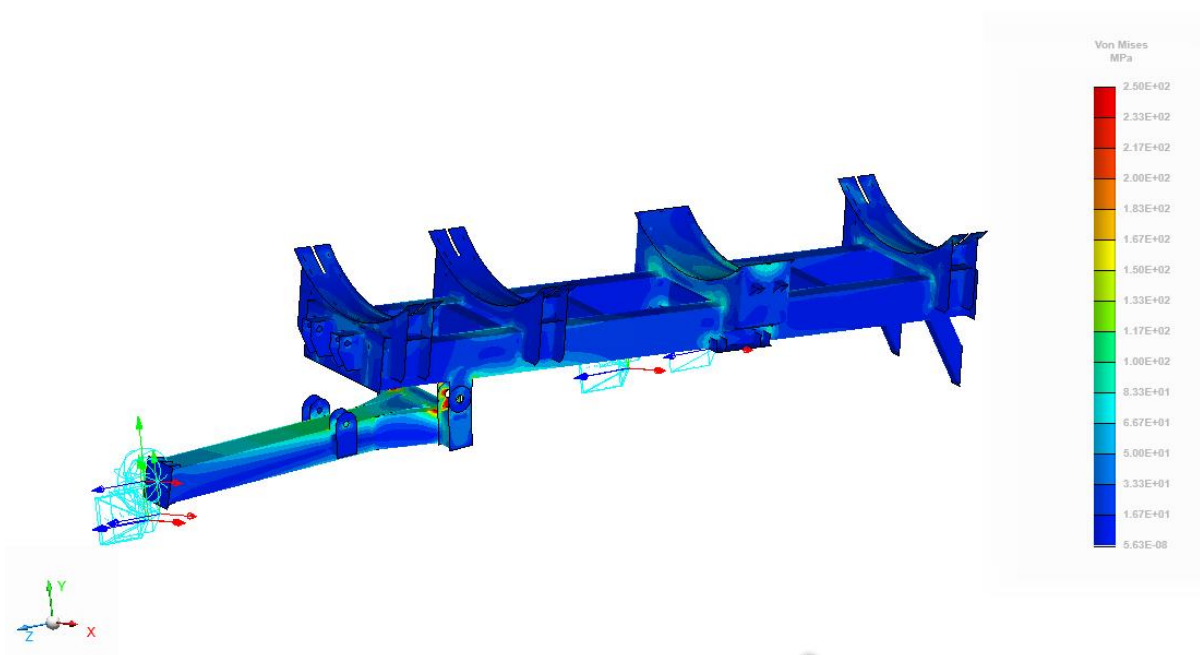
Obr. 74 Stav průjezdu zatáčkou pro hydropneumatické odpružení náprav

Hodnota maximálního napětí je 250 MPa a vyskytuje se v místech úchytů náprav a připojení oje. Znatelně vyšší napětí je i po bocích podélných hlavních nosníků.



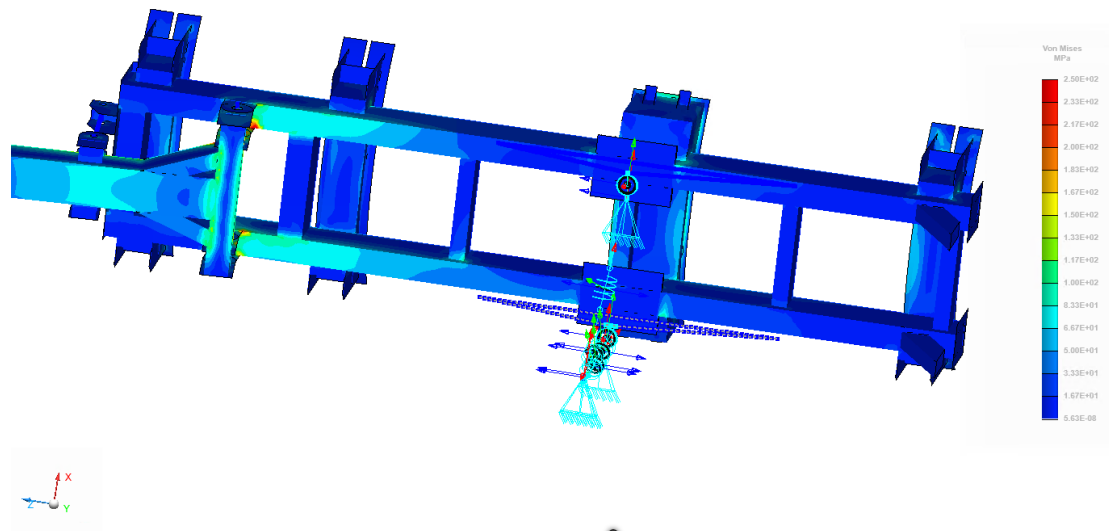
Obr. 75 Detail průjezdu zatáčkou pro hydropneumatické odpružení náprav

Zvýšené napětí je i v oblasti napojení podstavců na hlavní rám (obr. 76), (obr. 77). Vniká zde kumulace napětí vzhledem k odstředivé síle, která působí na cisternu při průjezdu zatáčkou.



Obr. 76 Stav průjezdu zatáčkou pro bogie odpružení náprav

Při dolním pohledu na rám je vidět mírná napěťová nesymetrie vyvolaná průjezdem zatáčkou. Výsledné napěťové hodnoty odpovídají ve všech stavech dovolenému napětí a jsou tedy hodnoceny jako vyhovující.



Obr. 77 Detail průjezdu zatáčkou pro bogie odpružení náprav

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce jednoúčelové cisterny. Na začátku práce jsou rozdělena hnojiva s možností jejich aplikace na zemědělské pozemky. Je popsán systém dělené aplikace pro zvýšení efektivnosti hnojení. Zmíněny v současnosti používané druhy aplikátorů. Rozepsána podrobně čerpací technologie. Vyjmenovány materiály nádrží s případnými výrobci, které se na daný typ specializují. Rozepsána možná výbava cisteren. V další části je zpracován konstrukční návrh, ve kterém je pro každý konstrukční úsek ukázáno, jakým způsobem byla cisterna zkonstruována. Metodou konečných prvků je zkontrolován rám cisterny při zátěžných stavech. Součástí práce je výkresová dokumentace.

Cílem práce byl návrh konstrukce, včetně všech konstrukčních prvků, pro cisternu s objemem cca. 18 m³. Při dodržení maximální přípustné hmotnosti 24000 kg, šířky maximálně 3000 mm a délky (včetně oje) maximálně 9500 mm. Nádrž byla s ohledem na dodrženu maximální tonáž, s nutností převozu i dusíkatého hnojiva, volena sklolaminátová. Zásadně se tímto snížila hmotnost nádrže oproti použití ocelové. Odpadla zde nutnost údržby povrchu cisterny v průběhu stárnutí. Čerpání média je prováděno vývěvou od firmy Battioni a Pagani, která je uložena na podstavci na oji. Průtok vývěvy při čerpání vzduchu je 11137 l/min. Vývěva byla volena z důvodu zástavbových rozměrů, protože u čerpadla je nutné toto chránit před nečistotami a kameny, vyskytujícími se v čerpaném médiu, lapačem kamenů, případně řezací hlavou Rota-Cut. Nádrž proti deformaci chrání přetlakový a podtlakový nastavitelný ventil umístěný na vývěvě. Nápravy a odpružení náprav jsou čerpány od firmy ADR. Prvním druhem odpružení je hydropneumatické, které cílí na klientelu preferující nejlepší ovládací vlastnosti (lze regulovat jízdní výšku). Druhou variantou je odpružení parabolickými pružinami cílící na spolehlivý provoz při nenáročné údržbě a malé poruchovosti. Pneumatiky byly voleny od firmy Mitas s rozměrem 750/60-R30,5 kvůli faktu, že cisterna je aplikační a bude se pohybovat po zemědělsky obhospodařovaných pozemcích, kde je nutné pro správný růst rostlin malé utužení povrchu.

Provedená pevnostní analýza vyšla pro všechny zátěžné stavy. Nejvíce nepříznivý stav bylo brždění a průjezd zatáčkou, kde byly hodnoty napětí na oji a přípojných okách oje nejvyšší. Při testovacím období stroje je nezbytné tato vymezená místa sledovat a v případě potřeby vyztužit dané konstrukční úseky, nebo zvýšit tloušťku plechů, ze kterých jsou dané úseky vyrobeny. V případě úchytných na oji je možné pozměnit přivařená úchytná oka tak, aby byla zaoblena a bylo tak sníženo riziko vzniku vrubů.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ROH, Jiří, František KUMHÁLA a Petr HEŘMÁNEK. *Stroje používané v rostlinné výrobě*. Vyd. 2. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2003. ISBN 80-213-0614-9.
- [2] SYROVÝ, Otakar. *Doprava v zemědělství*. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-30-4.
- [3] RUPRICH, František. *Mechanizace zemědělství: Způsoby dělené aplikace kejdy* [online]. 24.8.2021 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/zpusoby-delene-aplikace-kejdy/>
- [4] HRUŠKA, Jiří. *Mechanizace zemědělství: Nabídka traktorových cisteren* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/nabidka-traktorovych-cisteren/>
- [5] JÍLEK, Arnošt. *Zemědělec: Jednoučelové a univerzální stroje* [online]. 12.04.2013 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.zemedelec.cz/jednoucelove-i-univerzalni-stroje/>
- [6] *Nástavba na nákladní automobil: transportní cisterny* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.dspeng.cz/produkty/nastavbove-cisterny-zunhammer/sta26.html>
- [7] *Agri expo: 2-axle slurry tanker* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.agriexpo.online/prod/annaburger-nutzfahrzeug-gmbh/product-168403-2697.html>
- [8] *DZ-AGRO: Tahače sedlových návěsů Dolly* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://www.dz-agro.cz/dp/id_ktg=1049&archiv=2
- [9] *CRS-marketing: Dvě sedlové cisterny Annaburger za traktory Tatra* [online]. 10.06.2021 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.crs-marketing.cz/novinka/dve-sedlove-cisterny-annaburger-za-traktory-tatra-2071.html>
- [10] *Techfarm agroslužby: Výkonný kejdovač Holmer poprvé nasazen na západě Čech* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://techfarm.cz/vykonnny-kejdovac-holmer-poprve-nasazen-na-zapade-cech>
- [11] HRUŠKA, Jiří. *Mechanizace zemědělství: Klasické traktorové cisterny* [online]. 25.08.2020 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/klasicke-traktorove-cisterny/>
- [12] FUKA, Vladislav. *Mechanizace zemědělství: Bezpečněji při aplikaci kejdy* [online]. 18.10.2019 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/bezpecneji-pri-aplikaci-kejdy/>
- [13] *Agrics: Cisterny TCI* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.agrics.cz/produkty/dopravni-a-aplikacni-technika/cisterny/cisterny-tci>
- [14] *Farmet: Syncult efektivní zapravení kejdy nebo digestátu* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.farmet.cz/cs/aplikator-kejdy-syncult>

- [15] *Moreau agri vysočina: Typy aplikátorů* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.moreauvysocina.cz/katalog/zemedelska-technika/dopravni-technika/kejdove-cisterny/typy-aplikatoru/>
- [16] *ZDT Nové Veselí: Aplikátory* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.zdt.cz/cz/priplatkova-vybava/aplikatory>
- [17] *Dagros: aplikátor ecoject* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.dagros.cz/ecoject>
- [18] KOUKAL, V. *Návrh aplikační cisterny pro nosič výměnných nástaveb MEGA 33*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.
- [19] ERBEN, Milan. *Vakuová technika: Získávání a měření vakua, využití vakuových technologií* [online]. 2008 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: https://www.upce.cz/sites/default/binary_www_old/fcht/koanch/soubory/vakuum-erben.pdf
- [20] *Bauer: Slurry technology* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.bauer-at.com/en/products/slurry-technology/agitation-technology>
- [21] *Principy průmyslových čerpadel: vřetenová čerpadla* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-8dil-vretenova-cerpada>
- [22] *Principy průmyslových čerpadel: odstředivá čerpadla* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-4dil-odstrediva-cerpada>
- [23] *Principy průmyslových čerpadel: lopatková čerpadla* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-3dil-lopatkova-cerpada-vane-pumps>
- [24] *Zunhammer* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.zunhammer.de/de/produkte/zubehoer/>
- [25] *Zemědělec: Jednouúčelové i univerzální stroje* [online]. 12.04.2013 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/jednoucelove-i-univerzalni-stroje/>
- [26] *Slurry tankers* [online]. [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.joskin.com/en/slurry-tankers>
- [27] *Grontech agro: Ochranný nástřik cisteren* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <http://www.grontech-pavlovice.cz/ochranny-nastrik-cisteren>
- [28] *Tvi: Zpracování polyurea a PUR elastomerů* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://tvi-pur.cz/zpracovani-polyurea-folii-nastrikem/>
- [29] JEDLIČKA, Milan. *Agroportal24h.cz: Již třetí cisterna Meprozet v podniku*. [online]. 01.07.2020 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/jiz-treti-cisterna-meprozet-v-podniku>

cisterna-meprozet-v-podniku-oslovila-nas-priznivou-cenou-a-jednoduchosti-rika-mechanizator-vaculik

- [30] MOLVA, M. Studie tridemových traktorových návěsů užívaných v zemědělství. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 60 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D..
- [31] *Agrio: Podvozek* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.agrio.cz/podvozky>
- [32] *Moreau agri: Quadra 16000-20000* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <http://www.moreauagri.cz/produkty/cisterny/joskin/quadra-16-000-20-000>
- [33] FUKA, Vladislav. *Mechanizace zemědělství: Různé možnosti plnění aplikační cisterny* [online]. 21.11.2019 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/ruzne-moznosti-plneni-aplikacni-cisterny/>
- [34] STEHNO, L. O nápravách BPW, a nejen o nich. *Mechanizace zemědělství*. 2010, č. 6,s 40-46. ISSN 0373-6776
- [35] *Jeantil: Sací systémy traktorových cisteren* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.jeantil.cz/produkt/saci-systemy-traktorovych-cisteren-jeantil/>
- [36] *Agrotec zemědělská technika: Fekální cisterny pichon* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: [https://www.eagrotec.cz/products/sroje-pro-zpracovani-statkovych-hnojiv/fekalni-cisterny-\(1\)/fekalni-cisterny](https://www.eagrotec.cz/products/sroje-pro-zpracovani-statkovych-hnojiv/fekalni-cisterny-(1)/fekalni-cisterny)
- [37] *P&L: sací rameno do třibodového závěsu wienhoff fressight* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.agriexpo.online/prod/annaburger-nutzfahrzeug-gmbh/product-168403-2697.html>
- [38] Firemní literatura ADR. Dostupné z :http://www.adraxles.com/EN/res/273/ADR-General-Catalogue_RevApr2021.pdf
- [39] Firemní literatura Mitas. Dostupné z :<https://mitas-tyres.com/cs>
- [40] *Agromex: Fendt 1000 Vario* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: https://sites.google.com/view/agrmexdoc/fendt/kolov%C3%A9-traktory#h.p_ybBuw1h
- [41] *Hydropneumatický vakový akumulátor: výpočet hydropneumatického akumulátoru* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: http://www.kostech.sk/data/article/file/00000035/cz-osp_050cz97.pdf
- [42] *Dilynatractory.cz: mechanické opěrné nohy* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.dilynatractory.cz/operna-noha-4-tuny-dvouchoda-k-navesu-a-vleku-teleskopicka-operna-noha-k-navaren>
- [43] PTÁČEK, Petr a Aleš KAPLÁNEK. *Přeprava nákladu v silniční nákladní dopravě*. Brno:CERM, 2002. ISBN 8072042572.
- [44] Česká technická norma: ČSN EN 12195-1 Zajišťování břemen na silničních vozidlech. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2011, 48 s.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[mm]	Vzdálenost od čepu spojovací oj s rámem k úchytu PČHM
a_B	[m·s ⁻²]	Brzdné zrychlení
a_p	[min ⁻¹]	Dostředivé zrychlení
b	[mm]	Vzdálenost mezi tažným okem K80 a úchytu PČHM
b_p	[N·s·mm ⁻¹]	Tlumení pneumatiky
b_{pt}	[N·s·mm ⁻¹]	Tlumení pneumatiky tažného prostředku
c	[mm]	Celková vzdálenost mezi tažným okem a zadní hranou podél. nosníku
d	[mm]	Vzdálenost mezi středem náprav a zadní hranou podél. nosníku
$d_{\tilde{c}}$	[mm]	Průměr čepu oje
D_p	[mm]	Průměr pístu
d_p	[mm]	Průměr pístnice
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu oceli
e	[mm]	Vzdálenost uvažovaného těžiště k zadní hraně podél. nosníku
F_D	[N]	Brzdná síla
f_D	[MPa]	Dovolené napětí obsahující dynamický součinitel
F_{mzo}	[N]	Maximální zatěžující síla oje
F_p	[N]	Síla v místě uložení PČHM
F_{pd}	[N]	Síla v místě uložení PČHM se zohledněním dynamického součinitele
F_{pd2}	[N]	Síla při zasouvání pístnice PČHM
f_{yd}	[MPa]	Návrhová pevnost oceli pro mez kluzu materiálu
F_z	[N]	Výsledná zatěžující síla oje
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
$G01$	[N]	Maximální dovolené zatížení oje
$G02$	[N]	Maximální dovolené zatížení cisterny
$G03$	[N]	Zatížení na dvě nápravy
k_D	[-]	Dynamický součinitel
k_{hp}	[N·mm ⁻¹]	Tuhost hydropneumatického odpružení
k_n	[N·mm ⁻¹]	Tuhost pružiny nahrazující parabolické odpružení nápravy
k_p	[N·mm ⁻¹]	Tuhost pružiny nahrazující pneumatiky cisterny
k_{pt}	[N·mm ⁻¹]	Tuhost pružiny nahrazující pneumatiky tažného prostředku

l_{red}	[m]	Délka pístní tyče s přihlédnutím na uložení pístnice
l_t	[mm]	Délka zdvihu
l_v	[mm]	Délka hydraulického válce
m_n	[kg]	hmotnostní kapacita dvou náprav
m_p	[kg]	Maximální zatížení pneumatiky při předepsaném tlaku a rychlosti
m_{pn}	[kg]	přípustná hmotnost hydropneumatického odpružení
n	[-]	Adiabatický koeficient dusíku
n_n	[-]	Počet parabolických pružících celků
n_p	[-]	Počet PČHM
P	[kW]	Výkon tažného prostředku
p_0	[MPa]	Plnicí tlak akumulátoru
$P\check{C}HM$	[-]	Přímočarý hydromotor
P_p	[MPa]	Tlak v hydraulickém okruhu tažného prostředku
Q_1	[l·min ⁻¹]	Objemový průtok oleje
Re	[MPa]	Dolní mez kluzu
S_1	[mm ²]	Obsah plochy pod pístem
S_2	[mm ²]	Obsah plochy nad pístem
v	[m·s ⁻¹]	Rychlost vozidla
V_{01}	[m ³]	Objem akumulátoru ve větvi nad pístem
V_{02}	[m ³]	Objem akumulátoru ve větvi pod pístem
v_1	[m·s ⁻¹]	Rychlost vysunutí pístnice
v_2	[m·s ⁻¹]	Rychlost zasunutí pístnice
v_p	[m·s ⁻¹]	rychlost pohybu pístnice
v_t	[m·s ⁻¹]	Rychlost tažného prostředku
Δl	[mm]	Rozdíl výšky nápravy v nezatíženém a zatížením stavu při plném zatížení
ρ	[kg·m ⁻³]	Objemová hustota materiálu

13 SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavy cisterny	00-00-01
Kusovník výkresu sestavy cisterny	00-00-04-01
Výkres svařence rámu	01-10-01
Výrobní výkres desky pro aplikátor	01-05-03
Výrobní výkres výztuhy pro plechy na rámu	00-23-03