



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 APLIKAČNÍ CISTERNY PRO NOSIČ VÝMĚNNÝCH NÁSTAVEB MEGA 33

THE APPLICATION TANKER FOR THE TRAILER MEGA 33

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtěch Koukal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

BRNO 2017



ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá koncepčním návrhem aplikační cisterny pro nosič výměnných nástaveb MEGA 33. První část práce pojednává o možnostech plnění a vyprazdňování, o možných variantách používaných materiálů nádrží a také o obdobných konstrukčních řešeních cisteren. V hlavní části práce je popsán koncepční návrh cisternové nástavby, na jehož základě byl proveden pevnostní výpočet metodou konečných prvků. Součástí práce je také výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

aplikační cisterna, výměnný systém nástaveb, vývěva, metoda konečných prvků

ABSTRACT

This diploma thesis deals with conceptual design of application tanker for swap carrier MEGA 33. The first part of the thesis is focused on filling and emptying process possibilities, material alternatives used for the tankers manufacturing and evaluation of tankers with similar construction solution. The main part of this thesis describes conceptual design of tanker carrier. On the basis of this concept the stress analysis using finite element method has been completed. This thesis also includes relevant drawing documentation.

KEYWORDS

application tanker, replaceable system body, vacuum pump, finite element method



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

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..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. května 2017

.....

Vojtěch Koukal



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji zástupcům firmy ZDT Nové Veselí a vedoucímu práce panu Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D. za vstřícné jednání a odborné rady, které mi poskytli při řešení mé práce. Dále bych rád poděkoval rodině a blízkým za podporu během studia.



OBSAH

Úvod	10
1 Aplikace tekutých statkových hnojiv	11
2 Způsoby plnění a vyprazdňování cisteren	13
2.1 Plnění a vyprazdňování vývěvou	13
2.1.1 Tlaková nádrž	14
2.1.2 Druhy používaných vývěv	14
2.1.3 Ochranná zařízení vývěv	15
2.2 Plnění a vyprazdňování čerpadlem	15
2.2.1 Nádrž	16
2.2.2 Druhy používaných čerpadel	16
2.2.3 Ochranná zařízení čerpadel	18
3 Příslušenství cisteren	19
3.1 Pomocné turboplnění	19
3.2 Míchací zařízení	19
3.3 Plnicí otvory	20
3.4 Vlnolamy	20
3.5 Hladinoměr	21
3.6 Plnicí ramena	21
3.7 Připojení aplikátoru	22
3.8 Systém přenosu váhy	23
4 Používané materiály nádrží	24
5 Přehled výměnných cisternových nástaveb	25
6 Konstrukční návrh cisternové nástavby	27
6.1 Nosič nástaveb MEGA 33	27
6.2 Mezírám	28
6.3 Nádrž	29
6.4 Plnicí a vyprazdňovací zařízení	30
6.5 Vybavení a příslušenství cisternové nástavby	31
7 Pevnostní výpočet	33
7.1 Náhrady vybraných konstrukčních částí	33
7.1.1 Náhrada nosiče nástaveb	34
7.1.2 Náhrada vrchního víka	37
7.1.3 Náhrada zadního víka	37
7.1.4 Náhrada uložení vývěvy	38
7.1.5 Náhrada šroubových spojů	38



7.2	Zátěžové stavy.....	39
7.2.1	Statická poloha.....	39
7.2.2	Vyprazdňování.....	40
7.2.3	Zrychlení.....	41
7.2.4	Brzdění.....	41
7.2.5	Průjezd zatáčkou.....	42
8	Stanovení mezních stavů únosnosti.....	43
9	Výsledné hodnoty navržené konstrukce.....	44
9.1	Statická poloha.....	44
9.2	Vyprazdňování.....	46
9.3	Zrychlení.....	48
9.4	Brzdění.....	49
9.5	Průjezd zatáčkou.....	50
10	Návrh konstrukční úpravy.....	54
11	Výsledné hodnoty po konstrukční úpravě.....	55
11.1	Zrychlení.....	55
11.2	Brzdění.....	57
11.3	Průjezd zatáčkou.....	60
	Závěr.....	61
	Použité informační zdroje.....	62
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	64
	Seznam příloh.....	65



ÚVOD

V zemědělském sektoru tvoří důležitou část řetězce doplňování živin do půdy, přičemž dochází k úpravě chemických, fyzických a biologických vlastností. Tento proces zlepšující úrodnost se nazývá hnojení. Používanými hnojivy jsou tuhá organická (hnůj, kompost), kapalná organická (močůvka, kejda), tuhá minerální nebo kapalná minerální hnojiva. Dle druhu aplikovaného hnojiva se využívají vhodné mechanizační prostředky. K nakládce, přepravě a aplikaci močůvky (neředěná moč hospodářských zvířat), kejdy (směs výkalů a moči hospodářských zvířat z bezstelivových stájí) nebo kapalných minerálních hnojiv, se používají aplikační cisterny. Jedná se o podvozky vybavené cisternovou nástavbou spolu s aplikačním zařízením. V posledních letech nacházejí také časté využití přívozní cisterny, které pouze dopravují tekuté hnojivo na okraj pole a zásobují jím speciální samojízdné aplikátory.

Nástavby mohou být připevněny k podvozku trvale, tvoří tak jednoúčelové vozidlo (obr. 1 a), nebo je možno nástavby měnit pomocí výměnného systému. Jedná se pak o podvozek s výměnnými nástavbami (obr. 1 b). Výhodou jednoúčelových návěsů je možnost zabudování cisterny níže do podvozku, čímž je zajištěno nízké těžiště stroje a jeho dobrá příčná stabilita. U výměnného systému pak stačí jeden podvozek pro několik různých druhů nástaveb, které lze měnit dle potřeby. [1] [2]



Obr. 1 Cisternová nástavba a) jednoúčelová [11] b) s výměnným systémem [12]



1 APLIKACE TEKUTÝCH STATKOVÝCH HNOJIV

Mezi tekutá statková hnojiva patří kejda a močůvka. Obsah živin v kejdě se liší dle způsobů krmení a podmínek ustájení chovaných hospodářských zvířat. Při správném skladování, zpracování a aplikaci může kejda plnohodnotně nahradit drahá průmyslová hnojiva. Obsah živin, které se při aplikaci dostanou do půdy, záleží na správně zvoleném druhu aplikačního zařízení. Kejdu i močůvku můžeme aplikovat mnoha způsoby. Nejběžnější je aplikace prostým rozstříkem, hadicovým aplikátorem, podpovrchovým zapravením nebo využitím šterbinových vlečných aplikátorů. [13]

PROSTÝ ROZSTŘÍK NA POVRCH PŮDY

Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější řešení aplikace tekutých statkových hnojiv (obr. 2). Hnojivo je rozstříkováno přímým nárazem na rozstříkovací koncovku. Nevýhodou je nerovnoměrnost aplikace, a především ztráta výživové hodnoty hnojiva díky emisím čpavku. Tento způsob není příliš vhodný pro hnojení pastvin, jelikož dochází ke znečištění vrchní části rostlin aplikovaným hnojivem. [13]



Obr. 2 Fekální cisterna firmy Fliegl vybavená rozstříkovací koncovkou [14]

APLIKACE HADICOVÝM APLIKÁTOREM

Aplikované hnojivo je z nádrže dopravováno čerpadlem, případně vývěvou do hlavy rozdělovače, kde dochází k rozdělení toku do jednotlivých hadic, které přivádí hnojivo přímo na povrch půdy (obr. 3). Ke zvýšení tlaku aplikovaného hnojiva napomáhají rotační lopatky uvnitř rozdělovače, jejichž konce jsou vybaveny noži zabraňujícími ucpání otvorů. Jednotlivé hadice jsou uloženy na rámu s roztečí 25 až 30 cm a celkový záběr hadicového aplikátoru může být až 27 m. Výhodou je rovnoměrná aplikace hnojiva společně s velkým záběrem. Tento způsob nachází časté využití u hnojení obilovin. [13]



Obr. 3 Fekální cisterna firmy Pichon vybavená hadicovým aplikátorem [15]



APLIKACE POD POVRCH PŮDY

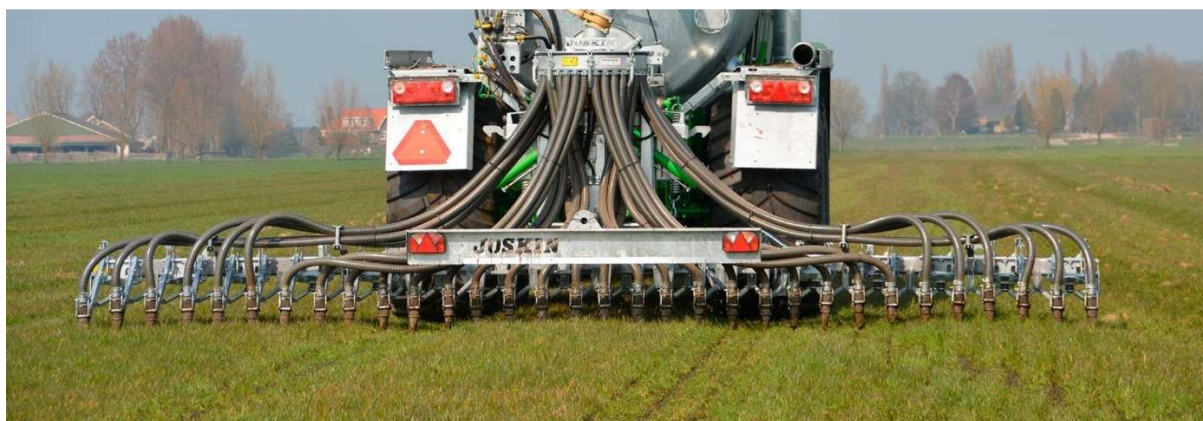
Kejda, případně močůvka, je aplikována pomocí rámu s kypřícími radličkami. Jednotlivé hadice jsou od rozdělovače přivedeny pod kypřící radličky a hnojivo je ukládáno pod nadzvednutou půdu. Pracovní šířka radličkových aplikátorů bývá 3 až 5,5 m. Obdobou je diskový aplikátor, kde disk je postaven ve směru jízdy (obr. 4). Půda je pouze naříznuta a do vytvořené spáry je uloženo hnojivo. Šířka záběru u tohoto provedení se pohybuje mezi 6,4 až 7,2 m. Výhodou je nižší potřebná tahová síla oproti radličkovému aplikátoru. U obou variant je hlavní předností minimální ztráta živin emisemi, které vznikají při aplikaci na povrch. Nevýhodou je energetická náročnost a dražší pořizovací náklady. [13]



Obr. 4 Fekální cisterna Joskin s diskovým aplikátorem [12]

ŠTĚRBINOVÝ VLEČNÝ APLIKÁTOR

Aplikované hnojivo je přiváděno od rozdělovače jednotlivými hadicemi ke speciálním štěrbinovým koncovkám, které jsou vlečené po povrchu zeminy (obr. 5). Tvarované aplikační botky rozhrnou porost a aplikují hnojivo přímo na povrch půdy. Po aplikaci dojde k okamžitému uzavření porostem a tím se emise redukuje na minimum. Pracovní záběr štěrbinových aplikátorů se pohybuje od 5,3 do 10 m. Využití nacházejí zejména u hnojení pastvin, kde díky minimálnímu znečištění rostliny, lze dosáhnout vyšší kvality zeleného krmení skotu. Botka půdu neprořezává, což se kladně projevuje na nízkém tahovém odporu. [13]



Obr. 5 Fekální cisterna Joskin se štěrbinovým vlečným aplikátorem [12]



2 ZPŮSOBY PLNĚNÍ A VYPRAZDŇOVÁNÍ CISTEREN

Způsob plnění a vyprazdňování cisteren můžeme rozdělit na vlastní a cizí. Vlastní plnění a vyprazdňování cisterny, které bude dále rozepsáno, bývá zajištěno vývěvou, nebo čerpadlem. Tato plnicí zařízení bývají zpravidla umístěna na podvozku, případně přímo na cisternové nástavbě. Jejich pohon zajišťuje mechanická vývodová hřídel traktoru nebo hydromotor poháněný z hydraulického okruhu traktoru. Druhou možností je cizí plnění přes některý z plnicích otvorů v cisternové nástavbě pomocí stacionárního čerpadla nebo přívozní cisterny.

2.1 PLNĚNÍ A VYPRAZDŇOVÁNÍ VÝVĚVOU

Schéma plnění a vyprazdňování cisternové nástavby vývěvou je znázorněno na obrázku č. 6. Nádrž (1) je dle předpisů pro plnění vývěvou vybavena příslušenstvím pro provoz tlakových nádob. Vybavení obsahuje hladinomě (8), plovákový ventil (2), manometr (7) a pojistný ventil (9). Během plnění nádrže musí být vrchní otvor (10) hermeticky uzavřený. Sací hadice je připevněna na výpustný otvor (6), u kterého se otevře ventil. Vzduch z nádrže je vysáván přes plovákový ventil (2) a čtyřcestný kohout (3) pomocí vývěvy (5). Z vývěvy je vzduch dále veden přes čtyřcestný kohout (3), čistič oleje a tlumič (4) do ovzduší. V nádrži vytvořený podtlak nasává kapalinu. Maximální objem naplnění nádrže je určen polohou plovákového ventilu (2), který při naplnění cisterny zamezí vysávání vzduchu nad nasátou hladinou kapaliny. Po naplnění je nutné okamžitě vypnout pohon vývěvy a zavřít výtokový ventil. Rychlost plnění nádrže je závislá na rozdílu atmosférického tlaku a tlaku v nádrži, na svislé vzdálenosti hladin nasávané a nasáté kapaliny, na hydraulických odporech v savici a na měrné hmotnosti kapaliny.

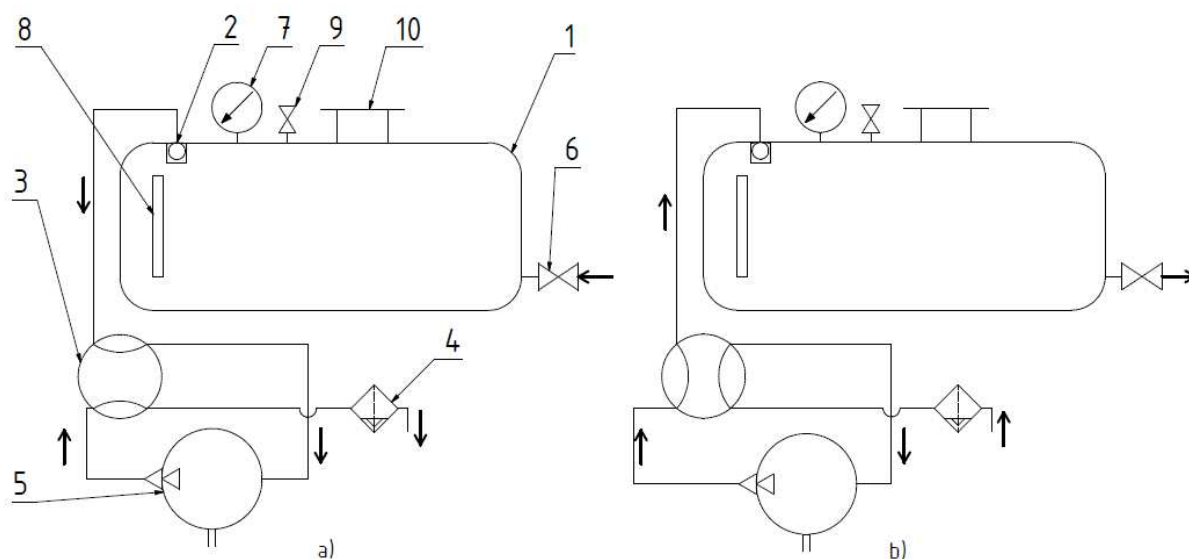
Při vyprazdňování nádrže se čtyřcestný kohout přepne na pozici výtlač, zapne se pohon vývěvy a otevře se výtokový ventil. Vzduch je vývěvou nasáván přes čistič a čtyřcestný kohout a dále je vývěvou tlačěn přes čtyřcestný kohout a plovákový ventil do nádrže. Vytvořený přetlak působí na hladinu kapaliny, a ta je po otevření výtokového ventilu rozstřikována koncovkou, případně vedena do připojeného aplikátoru. [16]

Výhody:

- Nízká pořizovací cena v poměru s dosaženým výkonem
- Nízké náklady na opravu
- Nízké nároky na čistotu nasávaného materiálu

Nevýhody:

- Limitovaný tlak daný konstrukcí nádrže
- Omezená sací výška



Obr. 6 Schéma plnění (a) a vyprazdňování (b) vývěvou, 1- nádrž, 2 - plovákový ventil, 3 – čtyřcestný kohout, 4 - filtr, 5 - vývěva, 6 - výpustný otvor, 7 - manometr, 8 - hladinometr, 9 - přetlakový ventil, 10 - vrchní otvor

2.1.1 TLAKOVÁ NÁDRŽ

Tlaková nádrž je nádoba, jejíž plnění a vyprazdňování je uskutečňováno pomocí tlaku a podtlaku působícího nad hladinou kapaliny. Zvláště nebezpečný je podtlak, který může mít za následek zborcení stěn nádrže, proto se tlakové nádrže obvykle vyrábějí válcového tvaru s klenutými čely. Tuhost nádrže je možné zvýšit prstencovými výztuhami na vnější, nebo vnitřní straně válcové části. Další možností je využití vyztužujících příček. Požadavky na výstroj tlakových nádob stanovuje norma ČSN 69 0010. Tlakové nádoby musejí být opatřeny uzavírací a vypouštěcí armaturou, tlakoměrem, pojistným zařízením, odvětrávacím uzávěrem a hladinoměrem. [3]

2.1.2 DRUHY POUŽÍVANÝCH VÝVĚV

Vývěvy používané u cisternových nástaveb jsou zařízení, sloužící k odčerpávání vzduchu z uzavřených prostor, přičemž se vytváří částečné vakuum. V opačném případě fungují jako kompresor a vytvářejí přetlak. Přepínání mezi sáním a výtlakem se provádí změnou polohy čtyřcestného kohoutu. Používána jsou lopatková čerpadla, nebo Roots vývěvy. Nejznámějšími výrobci jsou firmy Jurop a Battioni Pagani.

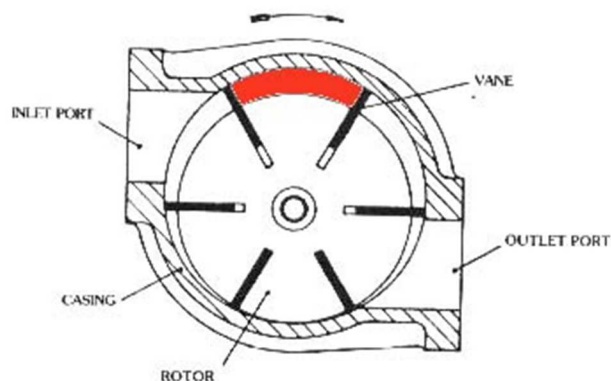
LOPATKOVÉ ČERPADLO S KLUZNÝMI LOPATKAMI

Princip lopatkového čerpadla umožňuje mimo jiné dobře čerpat plynné látky, jelikož má velmi dobré sací schopnosti. Konstrukce spočívá v excentricky uloženém rotoru, který se otáčí uvnitř válcové dutiny statoru (obr. 7). V rotoru jsou zhotoveny drážky, ve kterých se radiálně pohybují lopatky (provedení s kluznými lopatkami), v závislosti na velikosti mezery mezi rotorem a stěnou čerpadla. Vysouvání lopatek zajišťuje odstředivá síla, která na ně při otáčení působí. Médium je unášeno v prostorech vzniklých mezi lopatkami od sacího vstupu k výtláčnému výstupu. Lopatky musejí být vyrobeny z pevného a otěruvzdorného materiálu, u čerpadla sloužícího jako vývěva je navíc nutnost mazacího systému, aby nedošlo k zadření. Výhodou čerpadla je tichý chod, dobré utěsnění meziprostoru a tím daný vysoký výtláčný tlak a dobrý sací efekt. Dosahovaný průtok vzduchu se pohybuje v rozmezí 4 000 až 15 500 l/min. [17]

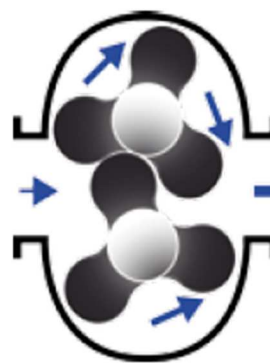


ROOTS VÝVĚVA

Vývěva se skládá ze statoru a dvou rychle se otáčejících rotorů (obr. 8). Při pohybu rotorů, které se otáčejí proti sobě, se mezi rotorem a státorem uzavře objem plynu, který je přenášen z prostoru sání k výstupnímu otvoru, tím se na výstupu vytváří požadovaný tlak. Mezi rotory a stěnou statoru nevzniká žádný kontakt, proto není nutné mazání olejem. Vývěvy od výrobce Jurop, dosahují průtoku vzduchu 14 750 až 20 850 l/min. [17]



Obr. 7 Lopatkové čerpadlo s kluznými lopatkami [17]



Obr. 8 Roots vývěva [12]

2.1.3 OCHRANNÁ ZAŘÍZENÍ VÝVĚV

Z důvodu ochrany vývěvy, před vniknutím nasávané kapaliny nebo nečistot z ovzduší, se umísťují do vzduchového vedení ochranná zařízení. V části vedení od nádrže k vývěvě se jedná o plovákový ventil a sifonový dělič. Čistotu nasávaného vzduchu pak zajišťuje filtr.

PLOVÁKOVÝ VENTIL

Plovákový ventil má za úkol přerušit nasávání vzduchu vývěvou, pokud je nádrž naplněna a tím zabránit vniknutí kapaliny do pracovního prostoru vývěvy. Nachází se v nejvyšším místě nádrže, aby bylo možné maximální naplnění kapalinou. V koši umístěná plovoucí koule je při naplnění médiem natlačena proti otvoru s přírubou, tím se přeruší podtlak a plnění nádrže. Po naplnění je nutné okamžitě vypnout vývěvu.

SIFONOVÝ DĚLIČ

Sifonový dělič se montuje jako přídatné jistící zařízení mezi plovákový ventil a vývěvu. Při plnění nádrže chrání vývěvu před vniknutím kejdy nebo pěny. V děliči se všechny vniklé nečistoty zachytí a uloží. Stav naplnění sifonového děliče je možné kontrolovat průhlednou částí, případné zachycené nečistoty je nutné pravidelně odpouštět pomocí výpustného kohoutu. Pokud dojde k naplnění sifonového děliče, nasávací proces se přeruší natlačením plovoucí koule do příruby a je nutné neprodleně vypnout vývěvu.

2.2 PLNĚNÍ A VYPRAZDŇOVÁNÍ ČERPADLEM

Schéma plnění a vyprazdňování nádrže vybavené čerpadlem s rotačními písty je znázorněno na obr. č. 9. Vybavení nádrže je z velké části obdobné jako u cisteren plněných vývěvou. Při plnění cisterny je kejda z jímky (5) nasávána čerpadlem (2) přes první čtyřcestný kohout (3) a rota-cut (4), ve kterém dochází k rozmělnění kejdy řezací hlavou. Následně je kejda pod tlakem dopravována přes druhý čtyřcestný kohout (3) do nádrže (1).



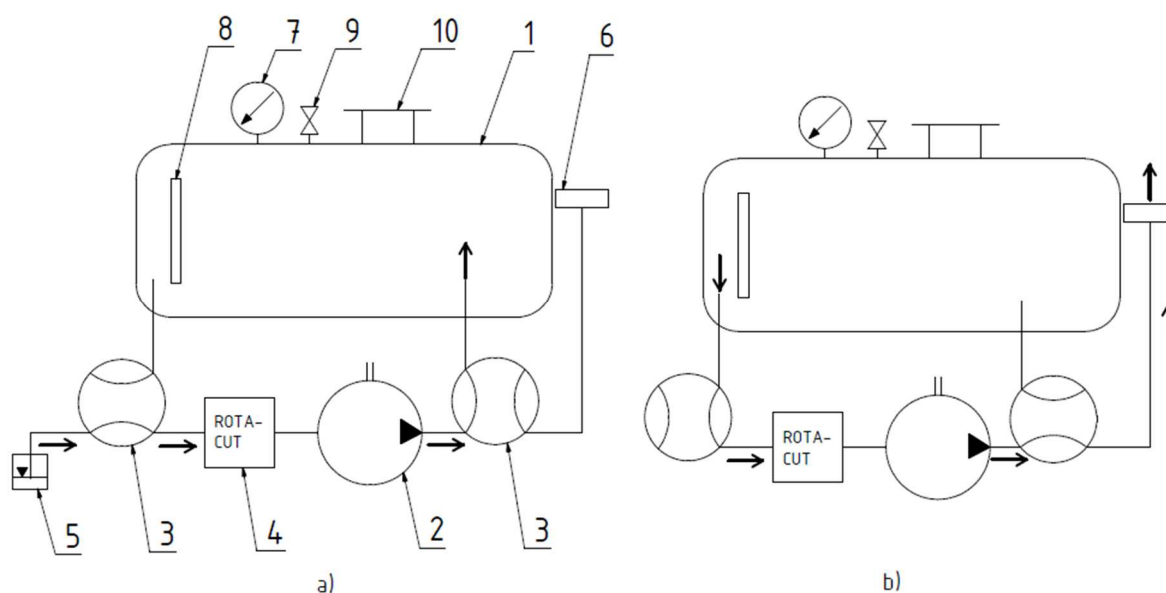
Při vyprazdňování se čtyřcestné kohouty otočí na pozici výtlak. Čerpadlo tak nasává kejdu z nádrže a dále ji vytlačuje k rozdělovači (6), ve kterém je kejda rozmělněná a přiváděna k jednotlivým hadicím aplikačního zařízení. [16]

Výhody:

- Vyšší rychlost plnění a vyprazdňování než u vývěv
- Schopnost nasátí kapaliny s vyšší měrnou hmotností
- Sání z větších hloubek než u vývěv
- Poskytnutí vyššího tlaku pro široké hadicové aplikátory
- Možnost naplnění nádrže včetně prostoru plnění

Nevýhody:

- Vysoká cena
- Náchylnost na nečistoty v nasáté kapalině
- Možnost zamrznutí v zimním období



Obr. 9 Schéma plnění (a) a vyprazdňování (b) čerpadlem, 1 - nádrž, 2 - čerpadlo, 3 - čtyřcestný kohout, 4 - ochranné zařízení, 5 - jímka, 6 - rozdělovač, 7 - manometr, 8 - hladinoměr, 9 - přetlakový ventil, 10 - vrchní otvor

2.2.1 NÁDRŽ

Vybavení nádrže je obdobné jako u cisteren plněných vývěvou, konstrukce nádrže však nutně nevyžaduje válcový tvar, protože zde nehrozí zborcení stěn vlivem podtlaku. Můžeme se tak setkat s různými tvarovými úpravami, které umožňují snížit těžiště a zlepšit tak jízdní vlastnosti cisternové soupravy.

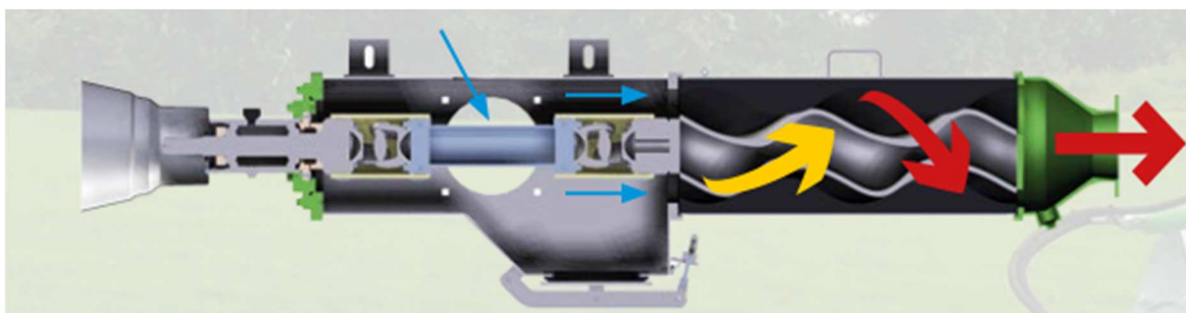
2.2.2 DRUHY POUŽÍVANÝCH ČERPADEL

U fekálních cisteren jsou používána excentrická šneková čerpadla a čerpadla s rotačními písky. Dále pak odstředivá čerpadla, která jsou obvykle používána jako vyprazdňovací a pomocná.



EXCENTRICKÉ ŠNEKOVÉ ČERPADLO

Excentrické šnekové čerpadlo (obr. 10) patří do skupiny rotačních čerpadel. Stator excentrického šnekového čerpadla je vyroben z pružného materiálu (elastomeru) a má závit s dvojitým chodem. V něm umístěný rotor je proveden jako oblý závit s velkým stoupáním a malou výškou závitu. Rotor vyrobený z kovu se excentricky otáčí uvnitř statoru. Součásti jsou lícovány s přesahem, tím vzniknou velmi dobře utěsněné prostory, ve kterých je kapalina dopravována. Toto čerpadlo se vyznačuje dobrou odolností, velkými průtoky, možností čerpat málo i vysoce viskózní kapaliny, případně kapaliny citlivé na pění. Je také schopno čerpat kapaliny s vysokým obsahem vzduchu nebo plynů. Nevýhodou je nutnost kompenzovat excentrické otáčení rotoru, náročnost výroby a velké zástavbové rozměry. [17]



Obr. 10 Excentrické šnekové čerpadlo [18]

ČERPADLO S ROTAČNÍMI PÍSTY

Funkci zajišťují dva identické rotory, otáčející se uvnitř statoru proti sobě. Kapalina je unášena v prostorech vzniklých mezi rotorem a stěnou statoru, a to směrem od sacího k výtlačnému otvoru. Tím je kapalině udávána tlaková energie (obr. 11). Mezi pohybujícími tělesy není žádné těsnění ani mazací kapalina, funkce je zajištěna pouze velmi malou tolerancí. Správné načasování a synchronizace obou rotorů zajišťuje, že nedochází k vzájemnému kontaktu. Čerpadlo s rotačními písty je vhodné pro vysoce viskózní kapaliny, které mohou obsahovat pevné částice. Čerpadlo se jen minimálně opotřebovává, může tedy běžet na prázdko a lze s ním tak čerpat i plynné látky. Je odolné proti korozi a kapalina na výstupu je tlakově i průtokově stála. Výhradními výrobci čerpadel používaných u cisternových souprav jsou firmy Vogelsang a HiFlo, jejichž čerpadla dosahují tlaku až 16 bar při průtoku 1420 l/min. [17]



Obr. 11 Čerpadlo s rotačními písty [17]

ODSTŘEDIVÉ ČERPADLO

Funkce tohoto čerpadla je založena na využití odstředivé síly působící na kapalinu, která je přiváděna od středu oběžného kola sacím otvorem. Oběžné kolo (rotor) se zahnutými lopatkami uděluje kapalině rotační pohyb a vzniklá odstředivá síla jí pak vymrští z výstupního otvoru



do potrubí. Při následném zbrzdění kapaliny v potrubí se pak její kinetická energie transformuje na tlak. Běžná odstředivá čerpadla mají slabý sací efekt, proto se využívají jako vyprazdňovací v kombinaci s vývěvou, popřípadě jiným druhem čerpadla, nebo jako tzv. turboplňič, který je vhodné použít u silně pěnicí kejdy. Předností je jednoduchá konstrukce, velmi vysoký nepulsující průtok a dlouhá životnost. [17]

2.2.3 OCHRANNÁ ZAŘÍZENÍ ČERPATEL

U čerpadel proudí kapalina skrz pracovní prostor, kde je jí udělována tlaková (v případě odstředivého čerpadla kinetická) energie. To s sebou přináší i nutnost ochrany proti poškození. Možnou variantou ochrany je řezací hlava, případně lapač kamenů.

ŘEZACÍ HLAVA ROTA-CUT

Firma Vogelsang vyrábí řezací hlavy Rota-Cut, které mohou být součástí výbavy cisteren (obr. 12), nebo se umísťují před stacionární čerpadla u jímek. Kapalina nepřetržitě proudí přes Rota-Cut, kde se kamínky a nedělitelné části díky své hmotnosti odloučí a lze je později odstranit čistícím otvorem. Ostatní plovoucí látky (sláma, dřevo apod.) jsou proudem tekutiny vedeny k řeznému sítu a zde rozmělněny rotujícími samoostřicími noži. [19]



Obr. 12 Rota-cut 5000 MXL [20]



3 PŘÍSLUŠENSTVÍ CISTEREN

V této kapitole jsou popsána některá přídatná zařízení, která napomáhají ke správné funkci aplikačních cisteren.

3.1 POMOCNÉ TURBOPLNĚNÍ

Pro zvýšení výkonnosti nasávání je možné opatřit cisternu odstředivým čerpadlem (obr. 13), které dokáže snížit dobu plnění až na polovinu oproti samotnému plnění vývěvou. Zároveň při chodu odstředivého čerpadla nedochází k pěnění, což umožňuje maximální naplnění nádrže.



Obr. 13 Pomocné turboplnění [18]

3.2 MÍCHACÍ ZAŘÍZENÍ

Cisterny, ve kterých je převážena silně sedimentující kejda, jsou vybaveny míchacím zařízením, které zabraňuje usazování kejdy a ucpávání výpustných otvorů. Míchání napomáhá také k homogenizaci hnojiva a tím přispívá k jeho správné aplikaci. Míchací zařízení se vyrábí v hydraulicko-mechanickém nebo pneumatickém provedení.

HYDRAULICKO-MECHANICKÉ MÍCHÁNÍ

Uvnitř nádrže u dna je vedena hřídel s lopatkami, případně šneková hřídel (obr. 14), která je poháněna pomocí samostatného rotačního hydromotoru. Při zapnutí dochází k homogenizaci objemu cisterny. Výhodou hydraulicko-mechanického provedení je, že kejda může být míchána jak při přepravě, tak i během její aplikace.

PNEUMATICKÉ MÍCHÁNÍ

Pneumatické míchání (obr. 15) je k dispozici pouze u cisteren s vývěvou a může být v provozu pouze při vyprazdňování cisterny. Vzduch je veden vířicí rourou u dna a skrz otvory víří kejdu v rozsahu celé délky nádrže. Při sání je vniknutí kejdy do vířicí roury a následně do vývěvy chráněno zpětným ventilem a speciální manžetou.



Obr. 14 Hydraulicko-mechanické míchání [14]



Obr. 15 Pneumatické míchání [18]



3.3 PLNÍCI OTVORY

Vrchní otvor cisternové nástavby (obr. 16) je určen pro cizí gravitační plnění nebo pro odvzdušnění nádrže při plnění bočním otvorem. Otvor bývá opatřen víkem ovládaným ručně, hydraulicky, nebo pneumaticky.

Stranový otvor (obr. 17) slouží pro vlastní nebo cizí plnění. Standardní průměr otvoru je 6" (150 mm) a u vyšších průtoků 8" (200 mm). Otvírání a zavírání je zajištěno pomocí ventilu, který je přišroubován k otvoru s přírubou. Ovládání ventilů může být ruční pákou, případně pomocí hydraulického nebo pneumatického válce. Samotné spojení se sací hadicí zajišťují fekální spojky. Na výběr je několik možných variant. Známé systémy spojek jsou Italský, Perrot, Bazzoli Siegerle a další. [18]

Zadní otvor (obr. 18) se používá pro vlastní nebo cizí plnění, stejně jako stranový otvor. Dále lze s tímto otvorem propojit různá aplikační a rozstřikovací zařízení sloužící k aplikaci kejdy. Zadní otvor je umístěn ve víku nádrže, které také umožňuje čištění vnitřního prostoru nádrže.



Obr. 16 Hydraulicky uzavíratelný vrchní otvor [18]



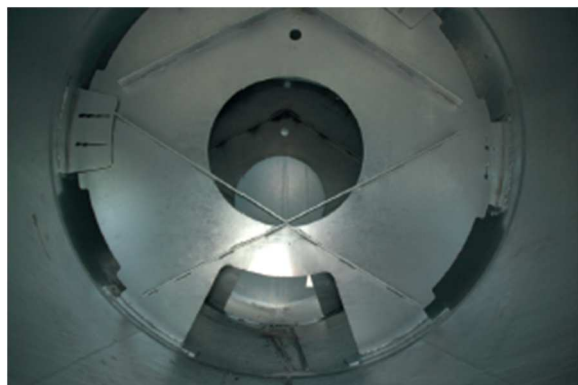
Obr. 17 Stranový otvor s ventilem a spojkou Perrot [18]



Obr. 18 Zadní otvor s rozstřikovací koncovkou [18]

3.4 VLNOLAMY

Vlnolamy jsou profily montované do vnitřního prostoru nádrže, kde zabraňují volnému přelévání kapaliny a následnému narážení do čela nádrže. Mění lineární proudění kapaliny na turbulentní, díky čemuž kapalina rychleji ztrácí kinetickou energii. Jejich použití je nezbytné u cisteren větších objemů, kde by setrvačné síly kapaliny mohly nepříznivě ovlivnit jízdní vlastnosti a způsobit až převrácení cisternové soupravy. Dle normy ČSN EN 707+A1 [5] musí být vlnolamy umístěny kolmo ke směru pohybu stroje a každý musí mít plochu rovnu nejméně 2/3 příčného průřezu nádrže. Norma rovněž stanovuje počet vlnolamů na základě objemu nádrže. Na obrázku č. 19 je možné vidět vlnolam v cisterně od výrobce Joskin, na obrázku č. 20 pak vlnolam montovaný na cisterně od firmy Fliegl.



Obr. 19 Vlnolam fekální cisterny Joskin [12]



Obr. 20 Vlnolam fekální cisterny Fliegl [14]

3.5 HLADINOMĚR

Hladinoměř bývá umístěn na čelní straně nádrže a poskytuje obsluze informaci o aktuálním stavu naplnění cisterny. Nejčastěji používaným je plovákový hladinoměř, který prostřednictvím plováku a plovákové tyče znázorňuje výšku hladiny na ukazateli. Další možnou variantou je vizuální hladinoměř (obr. 21), který je přímo propojený s nádrží. Výšku hladiny kapaliny v nádrži lze pak pozorovat v průhledné trubici z plexiskla.



Obr. 21 Průhledný hladinoměř [12]

3.6 PLNÍCÍ RAMENA

Plnicí rameno umožňuje nasátí kapaliny z těžko dostupných míst bez nutnosti obsluhy opustit kabinu. Při volbě ramena je zapotřebí zvážit v jakých podmínkách se bude cisternová souprava pohybovat a zvolit nejvhodnější variantu.

JEDNODUCHÉ PLNÍCÍ RAMENO

Jednoduché plnicí rameno (obr. 22) je nejčastěji umístěno v přední části cisterny a je ovládáno přímočarým hydromotorem. V přepravní poloze je pístní tyč hydromotoru zasunuta a rameno je zajištěno proti uvolnění. Při plnění se rameno vyklopí do strany a přes připravený sací trychtýř nasává kapalinu do nádrže. Pro vyšší plnicí výkon bývá cisterna často vybavena navíc odstředivým čerpadlem.



KLOUBOVÉ PLNÍCÍ RAMENO

Kloubové plnicí rameno ovládané dvěma přímočarými hydromotory nasává kapalinu přímo z jímek umístěných v úrovni země nebo podzemí. Odstředivé čerpadlo může být montováno do kloubového spoje nebo na konec ramene (ponorné čerpadlo). Při vybavení teleskopickým ramenem může být kapalina nasávána z hloubky až 5,5 m. [12]

VÝLOŽNÍKOVÉ PLNÍCÍ RAMENO

Výložníkové plnicí rameno je nejuniverzálnější z používaných variant. Používá se pro sání kapalin z nadzemních nebo podzemních jímek. Rameno bývá v přepravní poloze uloženo v držácích na vrchní části cisterny. Stejně jako kloubové plnicí rameno může být vybaveno pomocným turboplněním nebo ponorným čerpadlem. Na obrázku č. 23 lze vidět koncept Flowmaster od firmy Pichon s ponorným čerpadlem umístěným na konci ramene. Čerpadlo dokáže rozmíchat objem jímky, naplnit cisternu pěnicí kejdou (za pomoci vývěvy) a umožňuje vnitřní míchání uvnitř nádrže během transportu. [15]



Obr. 22 Jednoduché rameno se sacím trychtýřem [21]



Obr. 23 Fekální cisterna Pichon s ponorným čerpadlem [15]

3.7 PŘIPOJENÍ APLIKÁTORU

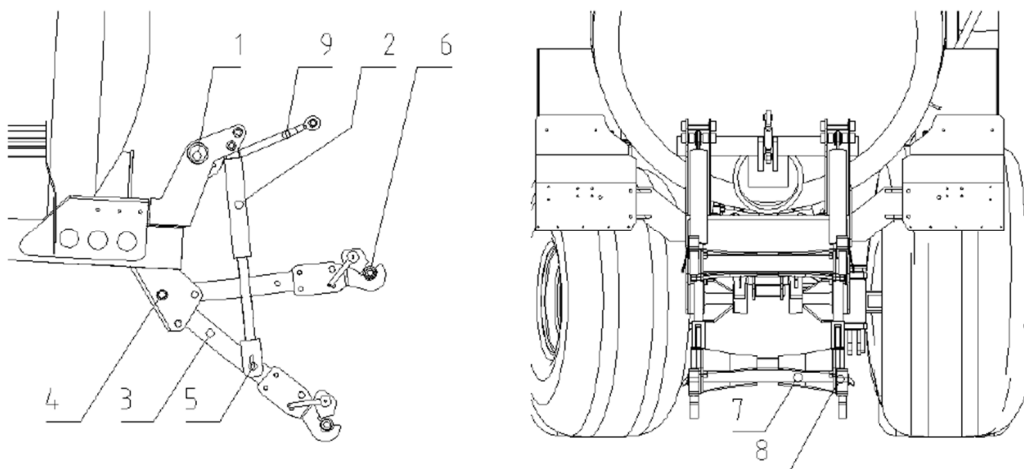
Pro aplikaci kejdy do porostu nebo přímo do půdy se používají různé druhy aplikátorů. Je-li cisterna v provozu pouze s hadicovým aplikátorem, pak je možné použít pevný typ závěsu. V případě, že aplikátor bude měněn za jiný, je nutné vybavit cisternu tříbodovým nebo čtyřbodovým závěsem.

TŘÍBODOVÝ ZÁVĚS

Tříbodový závěs (obr. 24) je nutné vybavení pro připojení některých aplikačních zařízení, jako je například radličkový aplikátor. Na rámu cisterny jsou nosná ramena (1), která drží zvedací přímočarý hydromotor (2). Pístní tyč zvedacího hydromotoru je zakončena vidlicí, která je propojena se spodním ramenem závěsu (3) pomocí čepu (5). Čep je zajištěn pružnou pojistkou, což umožňuje změnu polohy pro daný typ aplikačního zařízení. Poloha je jiná pro adaptéry s pevnou pracovní polohou (např. hadicový aplikátor) a pro volně tažené (např. kypřiče). Na spodním konci ramen závěsů se nachází spojení pomocí koulí (6). Ramena se pohybují paralelně díky příčnému stabilizátoru (7). Vzdálenost koulí lze změnit pomocí vymezovací tyče (8). Mezi nosná ramena je upevněna příčná trubka, na kterou se připojuje třetí bod (9). Zvedací



hydromotory jsou ovládány pomocí dvojčinné hydrauliky, která musí být vedle blokovací nulové pozice zapojena při práci do plovoucí polohy. [22]



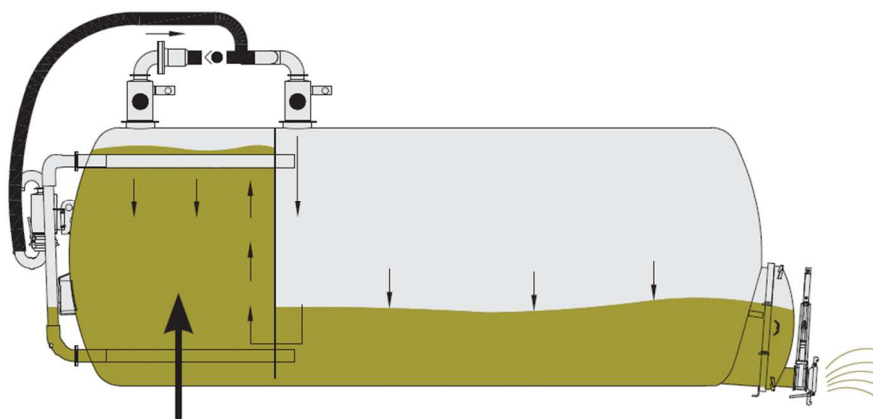
Obr. 24 Schéma tříbodového závěsu firmy Annaburger [22]

ČTYŘBODOVÝ ZÁVĚS

Je-li pracovní šířka hadicového aplikátoru větší než 15 m a bude-li cisterna provozována i s jiným tříbodovým zařízením, je nutná montáž čtyřbodového závěsu. Během aplikace lze pomocí hydrauliky individuálně nastavovat zdvih. V případě potřeby lze nasadit do integrovaného tříbodového závěsu jakékoliv tříbodové zařízení. [22]

3.8 SYSTÉM PŘENOSU VÁHY

Systém je založen na principu spojených nádob. Vnitřní prostor nádrže je rozdělen na dvě části přepážkou, která zadržuje kapalinu v její přední části (obr. 25). Při plnění jsou obě části cisterny naplňovány stejnoměrně. Při aplikaci je vyprázdněna nejprve zadní část nádrže a teprve až hladina dosáhne úrovně otvoru v přepážce, přetéká kapalina do zadního prostoru. Přenos váhy má významný vliv na trakční schopnosti tažného zařízení. [15]



Obr. 25 Systém přenosu váhy firmy Pichon [15]



4 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY NÁDRŽÍ

Přepravované látky ve fekálních cisternách jsou obvykle vysoce agresivní vůči konstrukci nádrže, a proto je nutné dbát na ochranu proti korozi. Hlavním předpokladem je volba vhodného materiálu odolného vůči působení agresivních látek, případné použití vhodné povrchové úpravy zvoleného materiálu. Dále je to také konstrukční řešení, které zamezí zachytávání nečistot ve vnitřních prostorách nádrže. Nádrže se obvykle vyrábějí ze zinkované oceli, z oceli s ochranným nátěrem nebo ze syntetických materiálů vyztužených skelnými vlákny. [4]

OCELOVÁ NÁDRŽ ZINKOVANÁ

Důležitým předpokladem správně provedené povrchové úpravy je čistota základního materiálu. U žárového zinkování tvoří předpovrchovou úpravu odmašťování a moření. Následně se konstrukce ponoří do lázně s tavídem, osuší a ponoří do lázně roztaveného zinku (suché zinkování). Tloušťka povlaku je 0,03 – 0,05 mm, to odpovídá spotřebě zinku 0,4 – 0,8 kg/m². Pozinkované nádrže se vyznačují dobrou korozní odolností, značnou odolností vůči mechanickému poškození, poměrně nízkou cenou a dlouhou životností. Tyto nádrže není vhodné používat pro přepravu průmyslových dusíkatých hnojiv (DAM). [4]

OCELOVÁ NÁDRŽ S OCHRANNÝM NÁTĚREM

Nátěrové hmoty jsou nejstarším a nejpoužívanějším prostředkem k povrchové ochraně proti korozi. Ochrana spočívá v izolaci kovového předmětu od vnějšího prostředí a v inhibičním působení protikorozních pigmentů. U aplikačních cisteren se pro nátěr vnitřního prostoru nádrže používá například kombinace základové barvy S 2003 a čtyřikrát email S 2850. Tloušťka nátěru musí být minimálně 0,15 mm. Pro vnější povrch je doporučován nátěr na konstrukce, například S 2005 a třikrát email S 2013, celková tloušťka musí být minimálně 0,12 mm. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady ochranných nátěrů a jejich snadná aplikace. [4]

OCELOVÁ NÁDRŽ S NÁSTŘIKEM PROTI DAM

Jedná se o speciální povrch odolný proti průmyslovým hnojivům. Na očištěný povrch cisterny je nanesen speciální primer ve vrstvě 0,35 mm, na ten se po zaschnutí nastříká aromatická polyurea v celkové vrstvě 3,5 mm. Aromatická polyurea je dvousložkový materiál, který je aplikován vysokotlakým zařízením. Výsledkem je nepropustná, otěruvzdorná vrstva, která představuje trvalou antikorozi ochranu proti dusíkatým průmyslovým hnojivům (DAM). Životnost materiálu je uváděna 20 a více let. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena oproti běžným nátěrům. [23]

SKLOLAMINÁTOVÁ NÁDRŽ

Sklolaminát je kompozitní materiál, jehož matici tvoří polymer a disperzi skelná vlákna. Tento materiál umožňuje výrobu nádrží různých tvarů, oproti ocelové má sklolaminátová nádrž značně nižší hmotnost při zachování stejné pevnosti. Nádrže vyrobené ze sklolaminátu se vyznačují dlouholetou stálostí a nulovou reakcí s převáženým materiálem, díky čemuž nekoroďují a jsou vhodné i pro převoz průmyslových hnojiv. Nevýhodou je vyšší cena ve srovnání s ocelovou nádrží a dále pak náročnost výroby.



5 PŘEHLED VÝMĚNNÝCH CISTERNOVÝCH NÁSTAVEB

Ze známých výrobců se produkcí výměnných cisternových nástaveb spolu s nosičem zabývá firma Annaburger, Joskin a také Agrostar cisterny ve spolupráci s firmou ZDT Nové Veselí.

ANNABURGER HTS 29.79 + CISTERNA 21 M³

Nádrž od Německé firmy Annaburger je vyrobena ze sklolaminátu (obr. 26), který zajišťuje vysokou stálost a odolnost proti korozi. Vnitřní prostor nádrže je oddělen třemi vlnolamy. Válcová část nádrže má průměr 2000 mm. Nosným prvkem nástavby je mezirám, který představuje spojení mezi nádrží, vývěvou a podvozkem. Nádrž je připevněna k mezirámu pomocí pásovin a hákových šroubů. Pohon je zajištěn vývěvou od firmy Jurop, která je uložena před nádrží a je poháněna mechanicky vývodovým hřídelem z traktoru. [22]



Obr. 26 Výměnný systém HTS 29.79 s cisternovou nástavbou [22]

JOSKIN CARGO TRM 6.6 + VACU 21.000

Belgická firma JOSKIN používá k ochraně svých ocelových nádrží modelové řady VACU před korozi proces galvanického pokovování (obr. 27). Uvnitř nádrže jsou instalovány tři vlnolamy. Uložení nástavby na podvozek je zajištěno pomocí zámků Twist-Lock. Standardně je cisternová nástavba dodávána s vývěvou JUROP PN130/D, která je poháněna mechanicky vývodovým hřídelem, případně hydraulicky. Průtok vzduch dosahuje maximálně 12900 l/min. Vývěva je uložena z důvodu omezeného zástavbového prostoru na bočnímu stojanu, který tvoří s nádrží svarový spoj. [12]



Obr. 27 Cisternová nástavba VACU [12]

MEGA 33 + NTF 22NV

Česká firma Agrostar cisterny vyrábí cisternové nástavby, které jsou firmou ZDT Nové Veselí montovány na nosič nástaveb Mega 33 (obr 28). V nabídce je jak ocelová, tak i laminátová varianta nádrže s vnitřním objemem 22 m³. Uložení nástavby je realizováno pomocí čtyř úložných bodů. Cisternové nástavby pracují s maximálním přetlakem 0,5 bar, nepodléhají tak tlakovým zkouškám a revizím. Nástavba je vybavena mechanicky poháněnou vývěvou přes řetězový převod, průtok vzduchu dosahuje max. 15000 l/min. [24] [25]



Obr. 28 Cisternová nástavba NTF 22NV s nosičem nástaveb Mega 33 [24]



6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH CISTERNOVÉ NÁSTAVBY

V této části práce je popsán koncepční návrh cisternové nástavby (obr. 29), včetně uložení k nosiči výměnných nástaveb MEGA 33, dle zadaných parametrů. Pro návrh cisterny byl zvolen způsob plnění vývěvou, od čehož se odvíjí i vybavení cisterny jako je plovákový ventil, přetlakový a podtlakový ventil, sifonový dělič a další. Nádrž je navržena na maximální dovolený přetlak do 0,05 MPa a je na nosiči uložena pomocí mezirámu. Spojení nádrže s mezirámem tvoří svarový spoj.

Parametry cisternové nástavby:

- Objem nádrže: 22000 litrů
- Maximální šířka: 2375 mm
- Maximální výška: 3660 mm (včetně nosiče)
- Průtok vzduchu vývěvy: 13845 l/min
- Pohotovostní hmotnost: 4200 kg (bez nosiče)



Obr. 29 Konstrukce cisternové nástavby spolu s nosičem nástaveb MEGA 33

6.1 NOSIČ NÁSTAVEB MEGA 33

Výchozím bodem návrhu je nosič nástaveb MEGA 33 (obr. 30), od kterého se odvíjejí základní rozměry cisternové nástavby. Jedná se o nosič s třinápravovým podvozkem, kde první a třetí náprava jsou samočinně říditelné. Odpružení náprav může být parabolickými pery, případně hydraulické v závislosti na přání zákazníka. Výškově nastavitelná oj je odpružená listovými pery. Brzdění nosiče zajišťuje souprava vzduchových, jednookruhových brzd a mechanicky ovládaná parkovací brzda. Na výběr je několik možných variant pneumatik, pro nosič s cisternovou nástavbou se jeví jako nejvhodnější volba radiálních pneumatik od firmy Mitas 600/55R26,5 zajišťující dobrou příčnou stabilitu. Nástavba je na nosiči uchycena ve čtyřech



úložných bodech. V přední části se jedná o uložení na dvou čepech, v zadní pak na dvou kulových kloubech. [24]

Parametry nosiče:

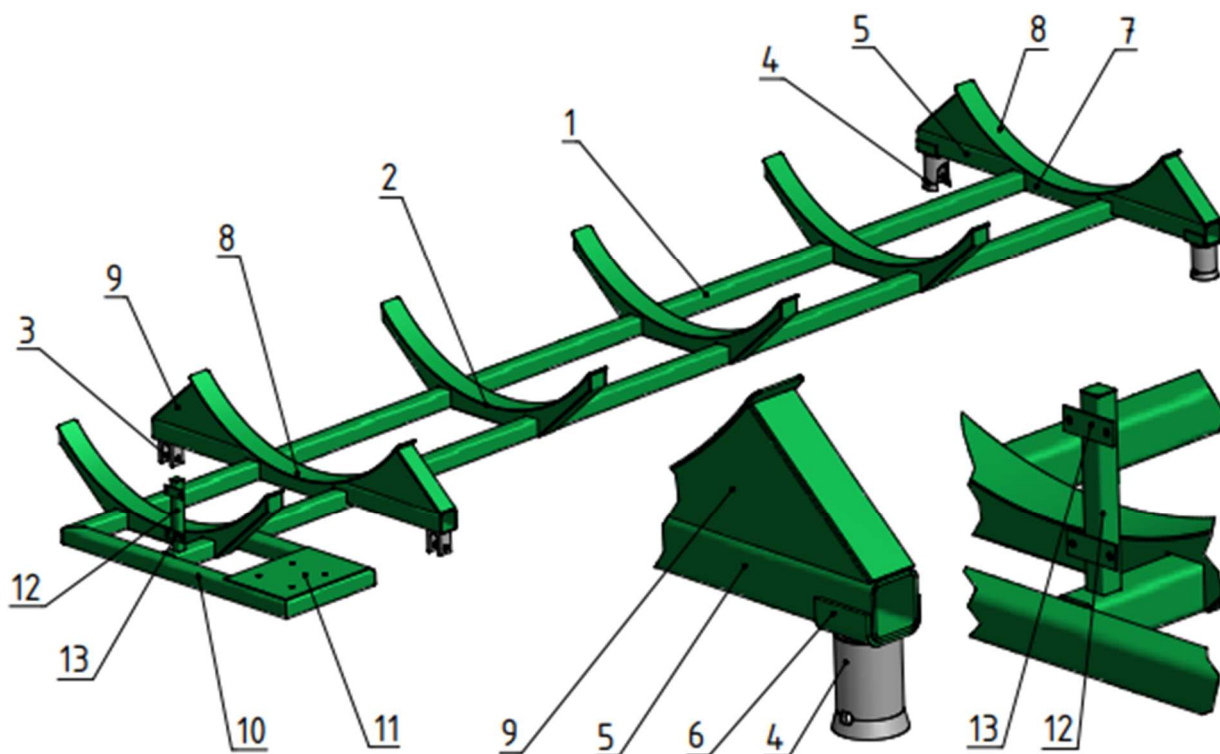
- Maximální délka: 9100 mm
- Maximální šířka: 2550 mm
- Provozní hmotnost: 5050 kg
- Užitečná povolená hmotnost: 27950 kg
- Celková maximální hmotnost: 33000 kg



Obr. 30 Nosič nástaveb MEGA 33 [24]

6.2 MEZIRÁM

Mezirám (obr. 31) je navržen jako svařenec a tvoří nosný prvek cisternové nástavby. Umožňuje spojení nástavby s nosičem a zároveň zvyšuje tuhost nádrže. Základ tvoří dvojice tenkostěnných podélných profilů čtvercového průřezu (1) s rozměry 100x100x8 mm. Na tyto profily je váha nádrže přenesena přes svařence plechů (2) tloušťky 5 mm. Plechy svařenců jsou vypáleny tak, aby mohly být do podélných profilů zasazeny a přivařeny. Protikusy čepů (3) jsou připojeny na přední dva příčné profily čtvercového profilu (5) o rozměrech 120x120x8 mm, které zároveň slouží k zasunutí odstavných noh při odstavení nástavby. Protikusy kulových kloubů (4) jsou přivařeny na zadní dva příčné profily (5), přes ohýbanou podložku (6), která zajišťuje plné zavaření a spojení s profily. Prostor mezi předními a zadními dvojicemi příčných profilů vyztužují vypálené a ohnuté U-profilů (7) tloušťky 8 mm tak, že do nich zasedá zakružený plech (8) vyztužující konstrukci nádrže. Příčné profily jsou připojeny k podélným profilům a prostor mezi nimi a nádrží vyztužují plechy (9) o tloušťce 8 mm. Mezirám slouží také pro uchycení vývěvy a filtru. V levé přední části je k podélným profilům přivařen stojan vývěvy (10) vyrobený z profilů stejných rozměrů jako podélné profily a úložného plechu tloušťky 8 mm (11). Úchyt filtru tvoří zaslepený profil 50x50x3 (12) a dva samotné úchyty (13). Materiál použitých tenkostěnných profilů a plechů je navržen z konstrukční oceli S355J0 (ČSN 11 523), vyznačující se zaručenou svařitelností a minimální mezí kluzu 355 MPa.



Obr. 31 Konstrukce mezirámu

6.3 NÁDRŽ

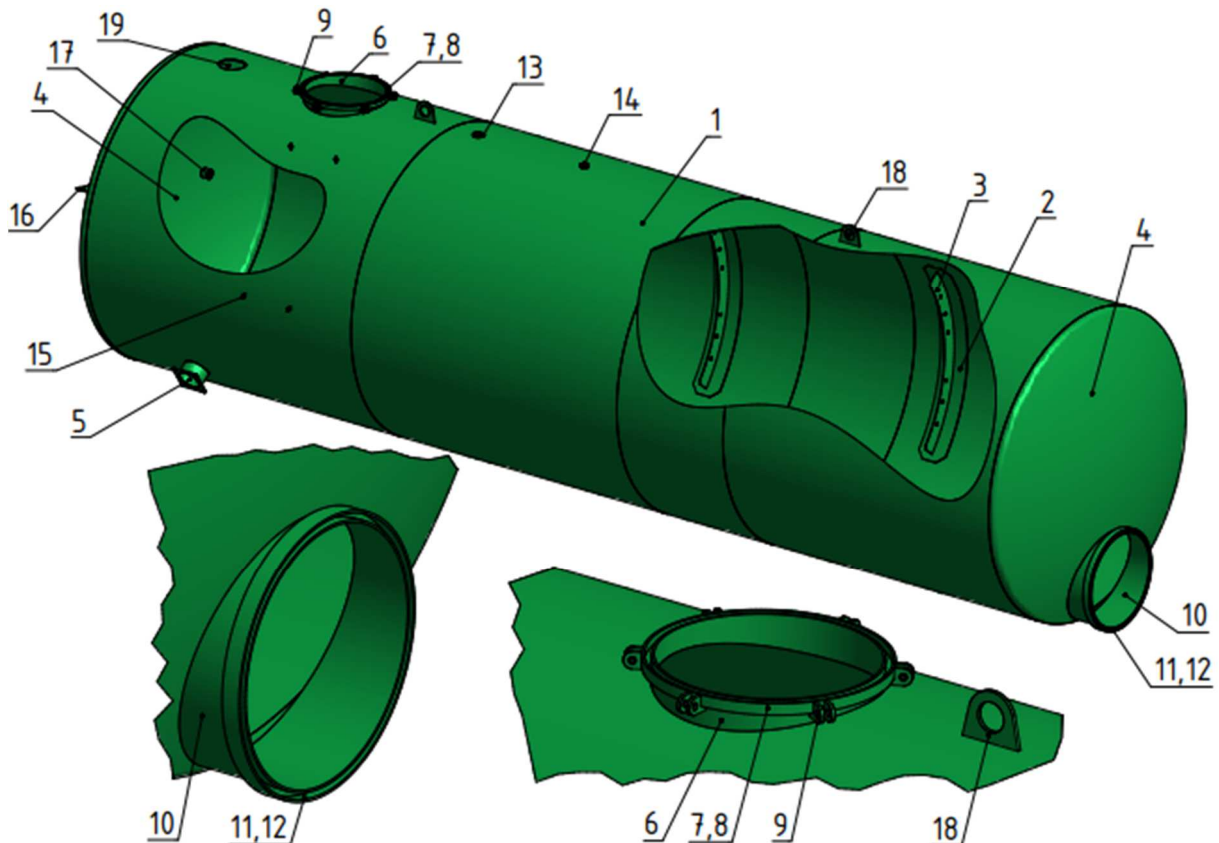
Hlavní částí cisternové nástavby je ocelová nádrž (obr. 32) vyrobená jako svařenec. Při návrhu byl kladen důraz na spolehlivou a jednoduchou konstrukci, která zajistí během přepravy bezpečné uložení dopravované kapaliny a dále během plnění a vyprazdňování odolá vlivům působícího podtlaku a přetlaku. Nádrž je koncipována na přetlak do 0,5 bar, čímž se stává tlakovou nádobou, která nepodléhá tlakovým zkouškám a revizím. Materiál použitých polotovarů je navržen z konstrukční oceli S355J0 (ČSN 11 523).

Válcová část nádrže je svařena ze zakružených lubů (1) o vnějším průměru 2000 mm a má celkovou délku 6800 mm. Výchozím polotovarem je plech tloušťky 6 mm. V místech uložení vlnolamů jsou ve vnitřní části nádrže navařeny tři páry vyztužujících plechů (2) o tloušťce 5 mm, ke kterým jsou připojeny vypálené úchyty (3). Přední a zadní část nádrže tvoří nízce klenutá dna (4).

Nádrž je po obou bocích vybavena přírubami (5) s jmenovitým průměrem 150 mm. Tyto příruby umožňují uchycení šoupěte, případně zaslepující koncovky. Ve vrchní části nádrže se nachází gravitační plnicí otvor o jmenovitém průměru 500 mm vyrobený ze zakruženého plechu (6) tloušťky 6 mm a dále dvou pásnic (7,8), které slouží pro uložení těsnění. Po obvodu jsou navařeny úchyty vrchního víka (9). Víko bude při kompletaci připevněno k otvoru pomocí otočných šroubů. Zadní otvor s jmenovitým průměrem 600 mm je určen pro kontrolu vnitřního prostoru nádrže obsluhou. Na zadní klenuté dno s vypáleným otvorem je navařen zakružený plech (10) o tloušťce 6 mm a na jeho konci jsou pak připojeny dvě pásnice (11,12) připravené pro vložení těsnění. Zadní otvor následně umožňuje uchycení zadního víka několika hákovými šrouby.



Dalšími částmi svařence nádrže jsou dvě armatury (13,14), ve kterých bude uložen přetlakový a podtlakový ventil, úchyty pro žebřík (15), sifonový dělič (16), návarek pro uložení stavoznaku (17) a dvě závěsná oka (18) pro manipulaci jeřábem. Otvor plovákového ventilu (19) připravený pro navaření jeho příruby je vypálen ve vrchní části prvního stočeného lubu.



Obr. 32 Konstrukce nádrže

6.4 PLNÍCI A VYPRAZDŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ

V kapitole č. 2 (Způsoby plnění a vyprazdňování cisteren) jsou popsány možné způsoby plnění a vyprazdňování cisteren. Z možných variant se jeví jako nejvhodnější volba vývěvy s výsuvnými lopatkami. Výhodou jsou rozměrové důvody a možnost uložení vývěvy na nástavbu, kde oproti tomu například uložení spirálního čerpadla by bylo velmi složité. Dalším aspektem je využitelnost cisternové nástavby, kde vývěva dostatečné výkonnosti obstojí ve srovnání s dražšími a na poruchy náchylnějšími čerpadly. Pohon vývěvy je zajištěn hydromotorem z hydraulického okruhu traktoru z důvodu omezeného prostoru v přední části nástavby. Pro cisternu daných parametrů, zejména pak objemu cisterny cca. 22000 litrů, byla zvolena olejová vývěva s výsuvnými lopatkami od firmy BATTIONI & PAGANI, model MEC 13500 H (obr. 33).



Parametry vývěvy MEC 13500 H [26]:

- | | |
|--|--------------|
| • Průtok vzduchu: | 13845 l /min |
| • Max. relativní přetlak: | 1,5 bar |
| • Max vakuum bez podtlakového ventilu: | -0.95 bar |
| • Max. vakuum s podtlakovým ventilem: | -0.80 bar |
| • Příkon při max. vakuu: | 24 kW |
| • Příkon při max. relativním přetlaku: | 36 kW |
| • Hmotnost: | 173 kg |



Obr. 33 Vývěva MEC 13500 H [26]

6.5 VYBAVENÍ A PŘÍSLUŠENSTVÍ CISTERNOVÉ NÁSTAVBY

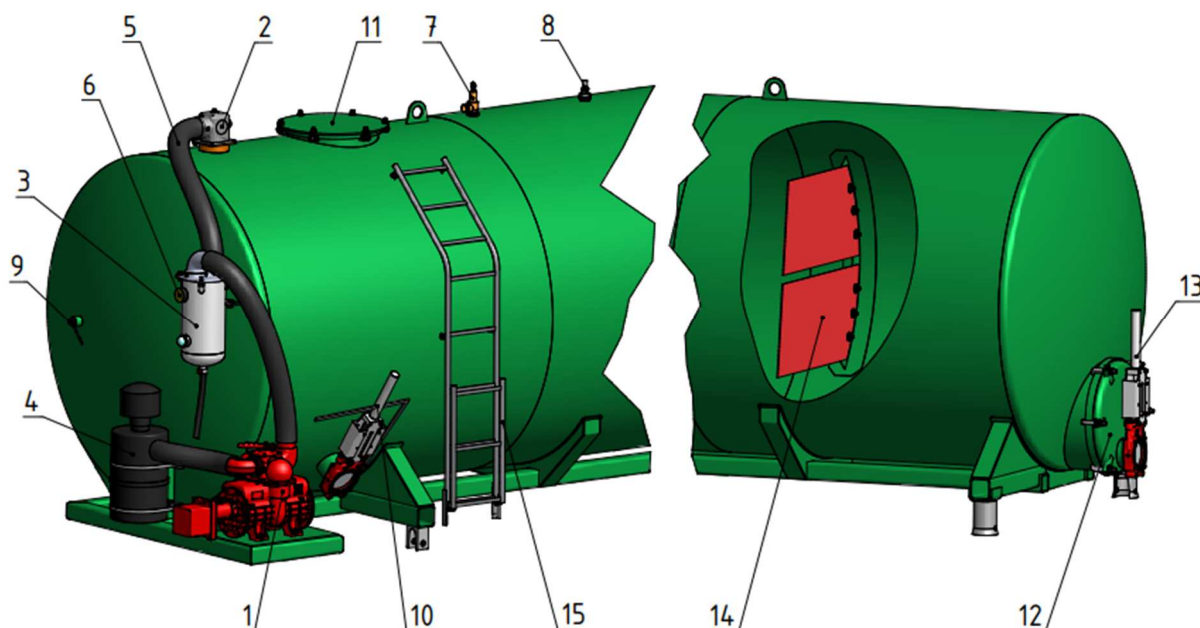
Vybavení cisternové nástavby (obr. 34) bylo sestaveno s ohledem na zvolenou vývěvu (1). Jedná se především o její ochranné prvky jako je plovákový ventil (2), sifonový dělič (3) a ochranný filtr (4). Vzduch je vháněn do nádrže přes PVC hadice (5) s jmenovitým průměrem 102 mm, které bezpečně odolávají přetlaku 2,5 bar a podtlaku až 0,88 bar. Hodnotu aktuálního tlaku v nádrži je možné sledovat na manometru (6) umístěném na sifonovém děliči. Nádrž před vysokým tlakem chrání přetlakový ventil (7) nastavitelný v rozsahu 0,3 až 1,5 bar. Podtlakový ventil (8) je nastavitelný na podtlak 0,3 až 0,8 bar. Stav naplnění nádrže kapalinou zprostředkovává obsluze plovákový hladinoměr (9).

Boční otvory sloužící k plnění cisternové nástavby jsou vybaveny ventily ovládané ruční pákou (10), na které se připevní spojka umožňující připojení a odpojení savic. Vrchní otvor pro gravitační plnění je hermeticky utěsněn přes těsnění pomocí vrchního víka (11) spojeného se svařencem nádrže pomocí šesti otočných šroubů. Otvor zadního víka (12) je opatřen hydraulicky ovládaným šoupětem (13), ke kterému se připojí aplikační koncovka. Víko je spojeno se zadním otvorem šesti hákovýšrouby.

Vnitřní prostor nádrže rozdělují vlnolamy (14) na tři části. Zabraňuje se tak volnému přelévání kapaliny během přepravy. Vlnolamy jsou k nádrži připojeny přes úchyty pomocí šroubového



spoje. Cisternová nástavba je vybavena žebříkem (15). Ten je navržen jako svařenec dvou ohnutých trubek TR 30 x 3 a příček z tyčového obdélníkového materiálu 20 x 10. Žebřík je dělený na dvě části, spodní díl je při přepravě zajištěn proti uvolnění.



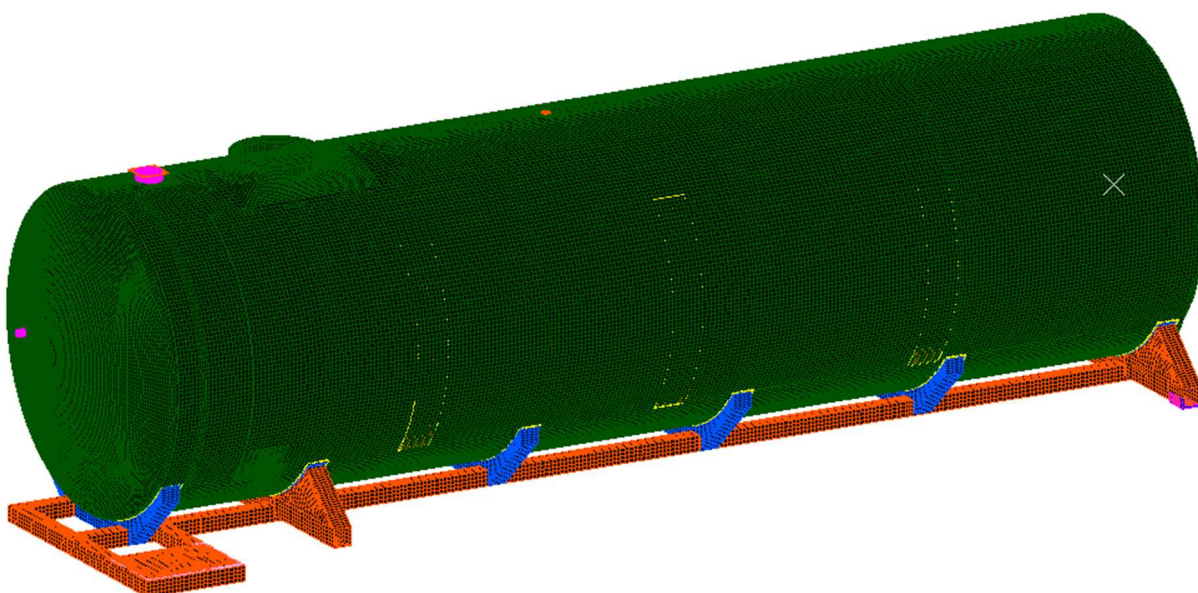
Obr. 34 Vybavená cisternová nástavba včetně příslušenství

Takto vybavená cisterna může aplikovat hnojivo rozstřikovací koncovkou, která se připojí k zadnímu otvoru přes hydraulicky ovládané šoupě. V případě použití jiného aplikačního zařízení by bylo nutné cisternovou nástavbu dovybavit pevným, případně stavitelným typem závěsu. Ten by bylo možné snadno připevnit k zadní části mezirámu.



7 PEVNOSTNÍ VÝPOČET

Pro pevnostní kontrolu navrženého konstrukčního řešení cisternové nástavby bylo využito prostředí programu NX IDEAS, ve kterém byla provedena lineární analýza metodou konečných prvků (MKP). Konstrukci nástavby tvoří převážně tenkostěnné profily, proto byl vytvořen skořepinový model, který je pro podobné výpočty nejvhodnější. Jedná se především o časovou úsporu, kde je oproti objemovému modelu, zachována požadovaná přesnost výsledných hodnot. Skořepinový model tvoří plochy, kterým se přiřadí pomocí čtyřuzlových prvků (Thin Shell) tloušťka odpovídající skutečné velikosti. Následné zobrazování výsledků je možné pozorovat na obou stranách materiálu, kde zpravidla vnitřní stranu materiálu zobrazuje Bottom-shell a vnější stranu Top-shell. To je důležitá vlastnost při kontrole výsledků, protože výsledné napětí se při kombinovaném namáhání může na jednotlivých stranách lišit. Při modelování bylo zavedeno několik zjednodušení, která nemají velký vliv na získané výsledky. Těmito zjednodušeními je například neuvažování zaoblených, případně sražených hran jednotlivých profilů a nahrazení svarových spojů jednou plochou. Nasíťovaný skořepinový model je možné vidět na obrázku č. 35.



Obr. 35 Finální podoba nasíťovaného skořepinového modelu bez vazeb a náhrad

7.1 NÁHRADY VYBRANÝCH KONSTRUKČNÍCH ČÁSTÍ

Konstrukční celky, u kterých není požadováno dosažení výsledků nebo u nich není předpoklad zvýšeného namáhání nebyly modelovány. Jejich působení na konstrukci je ve výpočtu zastoupeno pomocnými prvky a vazbami. Jedná se především o náhradu nosiče nástaveb spolu s odpruženými napravami. Dále byla provedena náhrada vrchního a zadního víka, šroubových spojů a uložení vývěvy. Jednotlivých náhrad bylo docíleno za využití níže popsanych prvků.

Constraint – jedná se o tuhé nehmotné spojení, používá se k rozložení sil mezi jednotlivé uzly. Tento prvek se vyznačuje konečnou tuhostí.

Rigid – virtuální nehmotný prvek s nekonečnou tuhostí, může spojovat dva uzly nebo řídicí uzly s více uzly (násobný Rigid).



Beam – přímý prut v prostoru, kterému je přiřazen průřez a dané materiálové vlastnosti.

Coupled DOF – tento prvek se definuje mezi jednotlivými uzly, kterým chceme určit vzájemný počet přenášených stupňů volnosti.

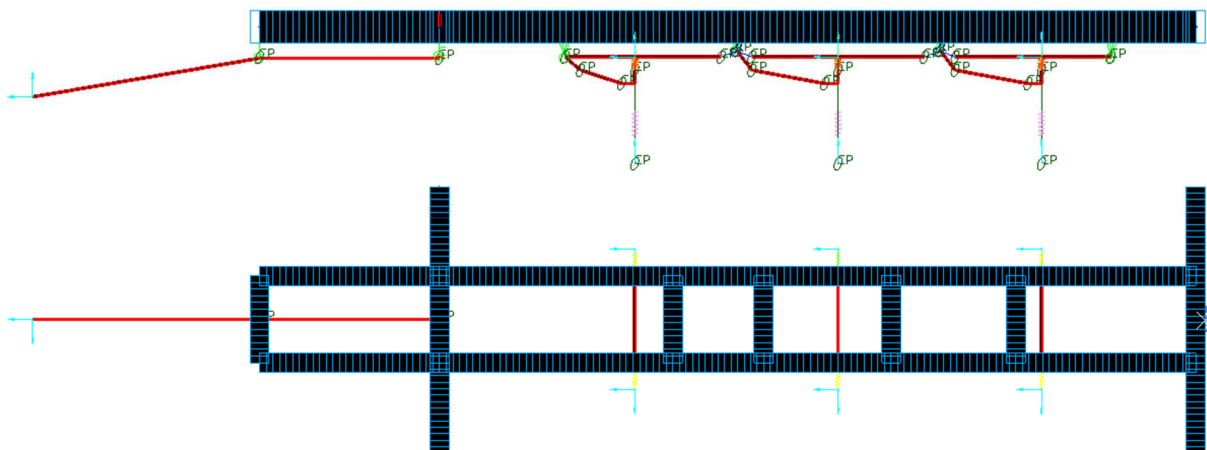
Spring – pružný prvek umožňuje definovat tuhost a tlumení mezi dvěma uzly, svými vlastnostmi nahrazuje pružinu (tlumič).

Lumped Mass – prvek, který se umísťuje přímo do uzlu. Nahrazuje hmotnost, případně moment setrvačnosti.

Gap – virtuální nehmotný kontaktní prvek, který je definován mezi dvěma body v prostoru. Tomuto prvku je možné přiřadit součinitel tření a vzdálenost kdy má dojít k vymezení vůle.

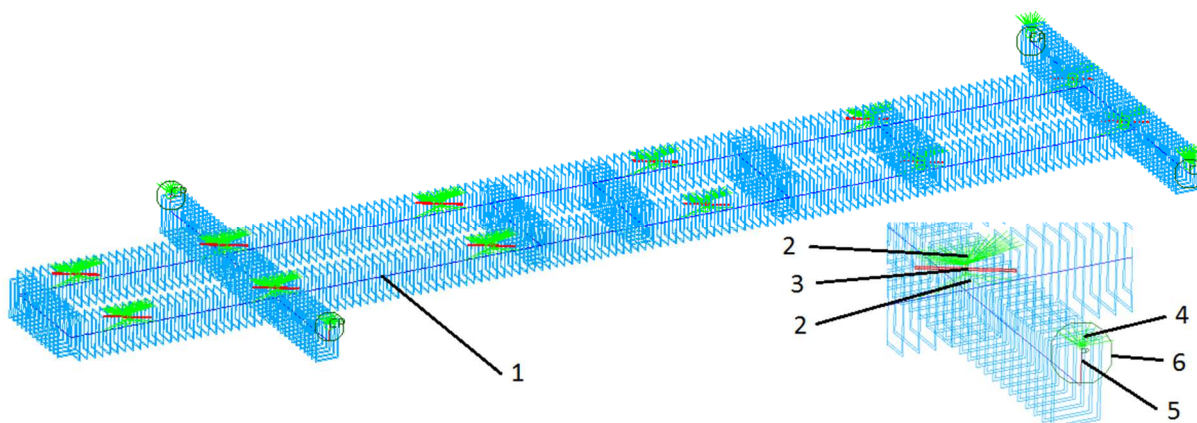
7.1.1 NÁHRADA NOSIČE NÁSTAVEB

Pevnostní analýza podvozku není vyžadována, nicméně tuhost podvozku se promítá do výsledných hodnot cisternové nástavby, proto byla vytvořena jeho kompletní náhrada (obr. 36).



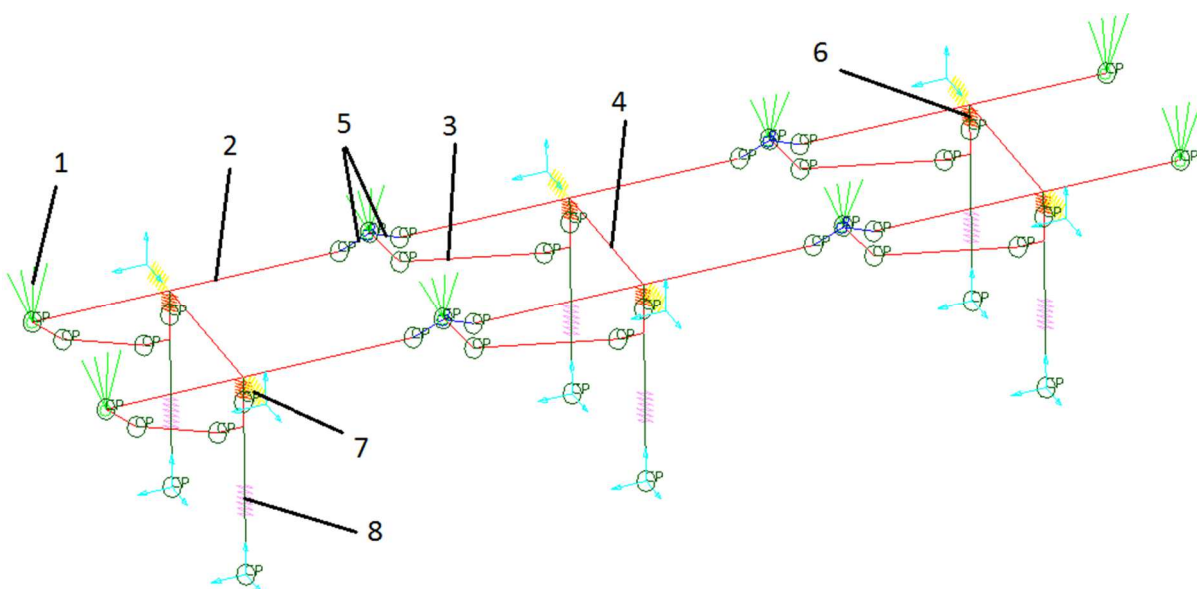
Obr. 36 Náhrada nosiče nástaveb MEGA 33

Rám podvozku je svařený z tažených obdélníkových profilů (obr. 37). Jejich náhrada je provedena prvky Beam s odpovídajícími průřezovými charakteristikami (1). Mezi podvozkem a podélnými profily nástavby je použito prvků Constraint (2) a Gap (3), ty nahrazují vzájemný kontakt v místech dotyků. Protikusy čepů a kulových kloubů jsou nahrazeny prvky Constraint (4), výškový rozdíl uložení čepu a kulového kloubu vyrovnává prvek Rigid (5). Odpovídající přenášené stupně volnosti jsou definovány prvky Coupled DOF (6).



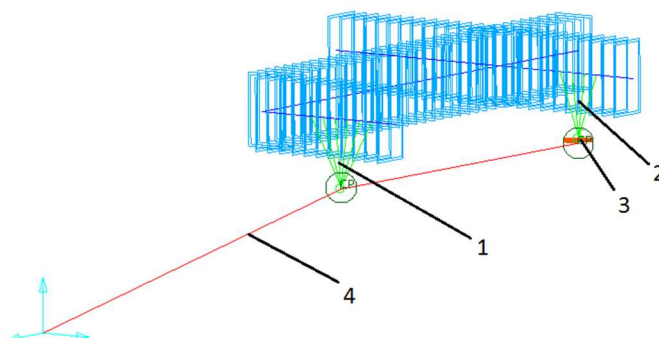
Obr. 37 Náhrada rámu nosiče včetně uložení a kontaktních ploch

Nosič nástaveb je vybaven třemi parabolicky odpruženými nápravami od firmy ADR. Jejich náhrada (38) odpovídá dle skutečných kinematických vazeb a rozměrů. Prvek Constraint (1) zastupuje konzoly pro uchycení parabolických pružin a vyrovnávacích táhel. Listové pružiny (2), vyrovnávací táhla (3) a příčné spojení náprav (4) tvoří prvky Rigid. Násobný Rigid pak nahrazuje vahadla parabolického odpružení (5). Tuhost listových pružin (6) spolu s jejich bočním vedením (7) nahrazují prvky Spring se zadanou tuhostí. Tuhost a tlumení pneumatik (8) zastupuje taktéž prvek Spring.



Obr. 38 Náhrada parabolicky odpružených náprav

Oj nosiče odpruženou listovými pery (obr. 39) nahrazují prvky Constraint, Rigid a Spring. Prvky Constraint zastupují uložení v konzolách připojených k podvozku (1,2). Parabolická pera jsou nahrazena prvkem Spring (3) se zadanou tuhostí. Tělo samotné oje tvoří dokonale tuhý prvek Rigid (4).



Obr. 39 Náhrada odpružené oje

Pro přenesení požadovaných stupňů volnosti mezi vybranými uzly je využito prvků Coupled DOF. Jednotlivé vazby zamezují translačním a rotačním pohybům dle uvažovaného zatěžování. Hodnoty tuhostí a tlumení zadané jednotlivým prvkům Spring byly spočítány na základě dostupných hodnot.

TUHOST PNEUMATIK

$$k_p = \frac{\frac{m_c}{n} \cdot g}{\Delta l_p} = \frac{\frac{33000}{6} \cdot 9,81}{30} = 1799 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

k_p ... tuhost pneumatiky

$m_c = 33000 \text{ kg}$, celková hmotnost soupravy [24]

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

$\Delta l_p = 30 \text{ mm}$, hodnota stlačení pneumatik [28]

TLUMENÍ PNEUMATIK

$$k_b = \frac{k_p}{100} = \frac{1798,5}{100} = 18 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{mm}^{-1}$$

k_b ... tlumení pneumatiky (vypočteno jako 1 % z tuhosti pneumatiky)[6]

$k_p = 1799 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$, tuhost pneumatiky

TUHOST PARABOLICKÉHO PRUŽENÍ

$$k_{pp} = \frac{\frac{m_c}{n} \cdot g}{\Delta l_{pp}} = \frac{\frac{33000}{6} \cdot 9,81}{40} = 1349 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

k_{pp} ... tuhost parabolické pružiny

$m_c = 33000 \text{ kg}$, celková hmotnost soupravy [24]

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

$\Delta l_{pp} = 40 \text{ mm}$, hodnota stlačení parabolických pružin [27]

TUHOST BOČNÍHO VEDENÍ

$$k_{bv} = \frac{2}{3} \cdot k_{pp} = \frac{2}{3} \cdot 1349 = 899 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

k_{bv} ... tuhost bočního vedení [6]

$k_{pp} = 1349 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$, tuhost parabolické pružiny



TUHOST ODPRUŽENÍ OJE

$$k_{oj} = \frac{F}{\Delta l_{oj}} = \frac{38000}{50} = 760 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

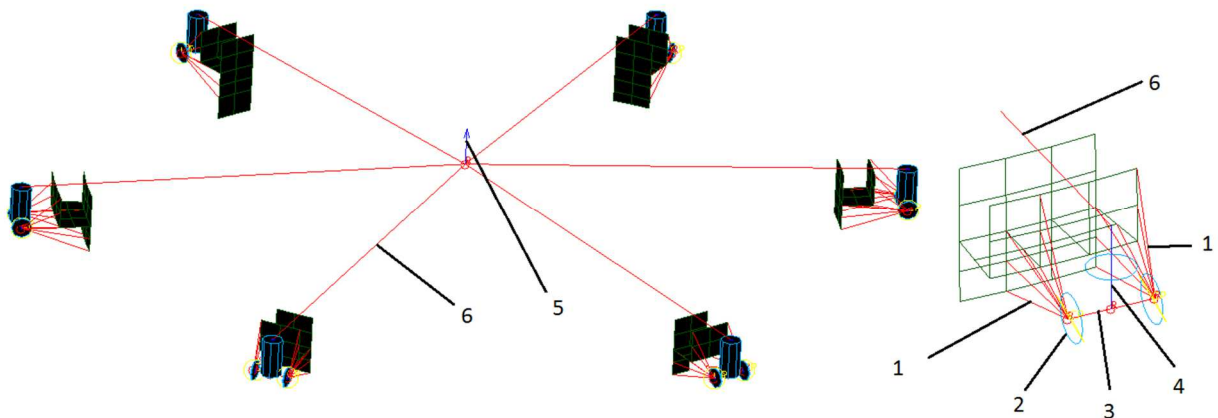
k_{oj} ... tuhost odpružené oje

$F = 38000 \text{ N}$, zatížení pružiny [27]

$\Delta l_{oj} = 50 \text{ mm}$, stanovená hodnota propružení oje

7.1.2 NÁHRADA VRCHNÍHO VÍKA

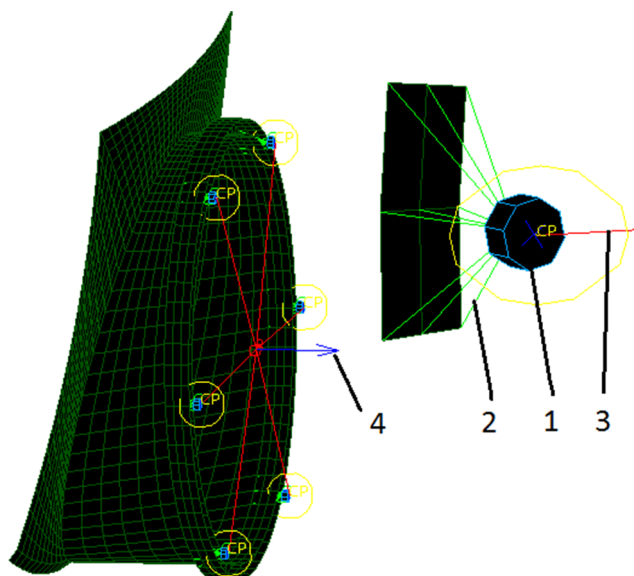
Vrchní víko je nahrazeno z důvodu vnesení silového účinku vzniklého při vytvoření přetlaku, který má za následek namáhání konstrukce nádrže v okolí vrchního otvoru (obr. 40). Úchyty vík zastupují násobné prvky Rigid (1). Jejich řídicí uzly představují středové otvory. Do těchto uzlů je natažen přes prvky Beam (2) násobný Rigid (3) zastupující oko otočného šroubu otáčející se na čepu. Na jeho centrální uzel navazuje prvek Beam (4) nahrazující tělo šroubu. Samotné rozložení síly umístěné do středu víka (5) pak obstarávají prvky Rigid (6). Přenesení potřebných stupňů volnosti mezi požadovanými uzly umožňuje prvek Coupled DOF. Velikost síly působící na vrchní víko je dopočítána dle velikosti přetlaku.



Obr. 40 Náhrada vrchního víka

7.1.3 NÁHRADA ZADNÍHO VÍKA

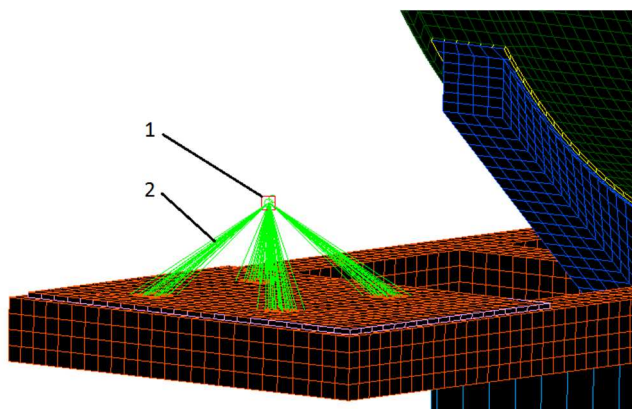
Další nutnou náhradou je nahrazení zatížení zadního víka (obr. 41), na které působí při zaplnění nádrže hydrostatický tlak kapaliny, případně přetlak vyvolaný vývěvou. Tělo hákové šroubu nahrazuje prvek Beam (1). Spolu s prvkem Constraint (2) rozkládají silové působení šroubu. Samotné víko je pak zastoupeno prvkem Rigid (3), z jehož centrálního uzlu působí síla (4) nahrazující působení tlaku. Tato síla je dopočítávána pro různé zatěžovací stavy.



Obr. 41 Náhrada zadního víka

7.1.4 NÁHRADA ULOŽENÍ VÝVĚVY

Vývěva o hmotnosti 173 kg je trvale uložena k cisternové nástavbě pomocí šroubových spojů. Při náhradě uložení (obr. 42) její hmotnost zastupuje prvek Lumped Mass (1) umístěný v uzlu odpovídajícím těžišti vývěvy. K rozložení silového působení na plech uložení je využito prvků Constraint (2).



Obr. 42 Náhrada uložení vývěvy

7.1.5 NÁHRADA ŠROUBOVÝCH SPOJŮ

Nahrazení šroubových spojů je použito u spojení bočního otvoru se zaslepujícím víkem a u vlnolamů připevněných k úchytům. Prvek Beam spojuje vždy dva uzly, ze kterých rovnoměrně rozkládá zatížení po obvodu otvoru v oblasti šroubového spoje prvek Constraint. Prvku Beam je přiřazen průřez odpovídající velikosti šroubu a předpětí, vzniklé při utažení šroubového spoje. V okolí díry šroubových spojů je využito kontaktu, který je zadáván mezi dvě nasíťované plochy.



7.2 ZÁTĚŽOVÉ STAVY

Pro pevnostní výpočet je třeba stanovit zatěžovací stavy, kterým bude cisternová nástavba během výpočtu podrobena, a ty by měly co nejvíce odpovídat reálnému zatížení v provozu. Cisternová nástavba je využívána k přepravě kapalin, a to zejména tekutých statkových hnojiv nebo vody. Ve skutečnosti dochází v situacích, kdy na nástavbu působí zrychlující síly, k přelévání kapaliny a jejímu proudění. V těchto případech dojde ke zjednodušení na hydrostatické úlohy. Vliv dynamického chování kapaliny a vzniklé silové působení je zohledněno v uvažovaném zrychlení. Hodnota zrychlení je oproti reálným provozním hodnotám navýšena na patřičnou mez.

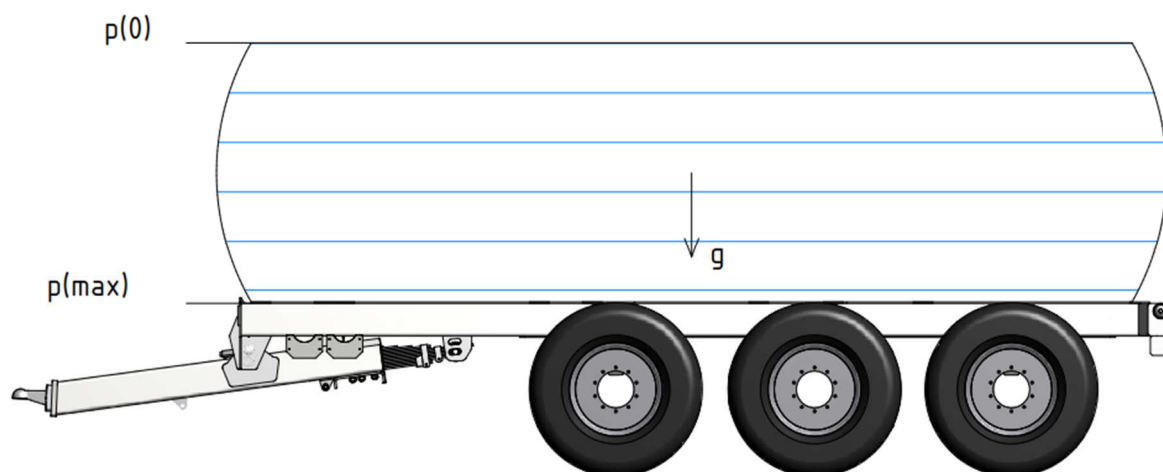
Hydrostatické úlohy se zabývají jak rovnováhou sil působících na kapalinu v klidu, tak případy relativního klidu, kdy je kapalina vůči stěnám nádrže v klidu, ale celá soustava vykonává pohyb. Výpočtové stavy mohou být rozděleny do dvou částí. První dva stavy uvažují hydrostatickou rovnováhu v absolutním prostoru (statická poloha, vyprazdňování), další pak nacházejí hydrostatickou rovnováhu v relativním prostoru (zrychlení, brzdění, průjezd zatáčkou). Důležitou fyzikální vlastností kapaliny je její měrná hmotnost, od které se odvíjí i velikost setrvačné síly působící na konstrukci cisternové nástavby. Měrná hmotnost statkového hnojiva je uváděna $990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, ve výpočtech je uvažováno s měrnou hmotností vody $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [1] [7]

K zadávání hydrostatického tlaku v programu NX-IDEAS slouží příkaz Hydrostatic pressure, který vybraným elementům přiřadí požadovaný tlak. Po vybrání elementů je nutné definovat počáteční rovinu a směr pozitivního nárůstu tlaku. Následně se určí počáteční rovině referenční tlak, pomocí kterého může být navýšen hydrostatický tlak o hodnotu tlaku v nádobě. Této možnosti je využito u zatěžovacího stavu vyprazdňování, kde je nutné přičíst přetlak vytvořený vývěvou. Poslední zadávanou hodnotou je konstanta úměrnosti (součin měrné hmotnosti a tíhového zrychlení), podle které je dopočítáván nárůst tlaku.

Ve výpočtech není uveden stav plnění podtlakem. Jedná se o zatěžovací stav, u kterého by výsledné hodnoty z programu, ve kterém byl výpočet realizován, nebyly adekvátní skutečným hodnotám. Návrh cisternové nástavby byl však proveden dle zvyklostí podobných konstrukčních řešení a je vyztužen mezirámem. Cisternová nástavba je navíc vybavena pojistným zařízením v podobě podtlakového ventilu.

7.2.1 STATICKÁ POLOHA

Tento stav simuluje situaci, kdy nosič stojí s naplněnou cisternovou nástavbou nehybně na místě, případně se pohybuje konstantní rychlostí. Na kapalinu v nádrži působí z hmotnostních sil jen gravitační zrychlení. Zrychlení v podélném a příčném směru jsou nulová. Tlakové hladiny (hladiny konstantního tlaku) jsou vodorovné a nárůst tlaku je ve směru výsledného zrychlení. Viz obr. č. 43.



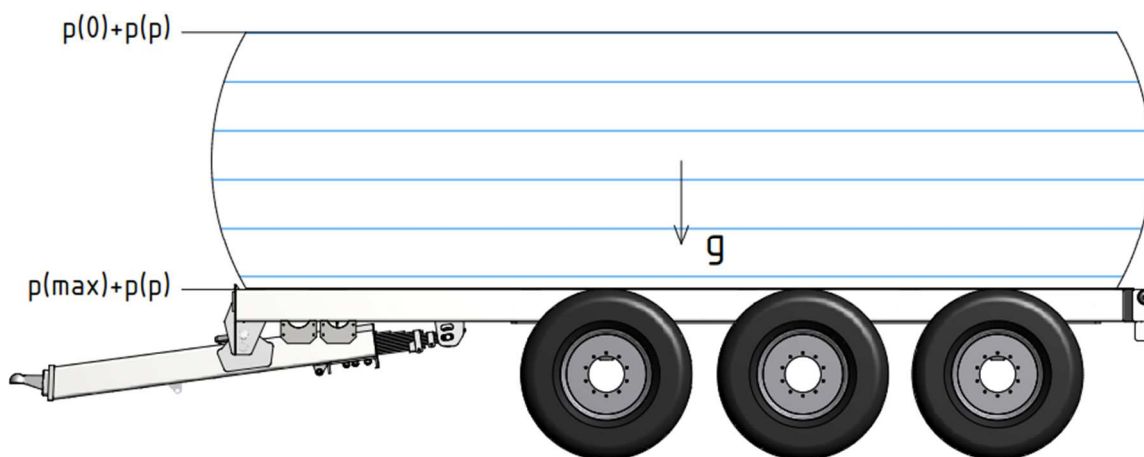
Obr. 43 Zatěžovací stav statické polohy, g - gravitační zrychlení, $p(0)$ - tlaková hladina s minimálním tlakem, $p(max)$ - tlaková hladina s maximálním tlakem

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Pohyb náprav nosiče je zamezen ve svislém a příčném směru se zadanou tuhostí a tlumením pomocí prvků Spring. Na tažné kouli je použita vazba zamezující translacím ve třech směrech a povolující rotace kolem všech os.

7.2.2 VYPRAZDŇOVÁNÍ

Stav představuje situaci, kdy souprava stojí nehybně na místě nebo se pohybuje konstantní rychlostí. Na kapalinu v nádrži působí pouze gravitační zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Zrychlení v podélném a příčném směru jsou nulová, tudíž tlakové hladiny jsou vodorovné. K hydrostatickému tlaku je přičten výpočtový tlak 1 bar (dvojnásobek provozního tlaku), který představuje přetlak vyvolaný vývěvou. Viz obr. č. 44.



Obr. 44 Zatěžovací stav vyprazdňování, $p(0)$ - tlaková hladina s minimálním tlakem, $p(max)$ - tlaková hladina s maximálním tlakem, $p(p)$ - přetlak vyvolaný vývěvou

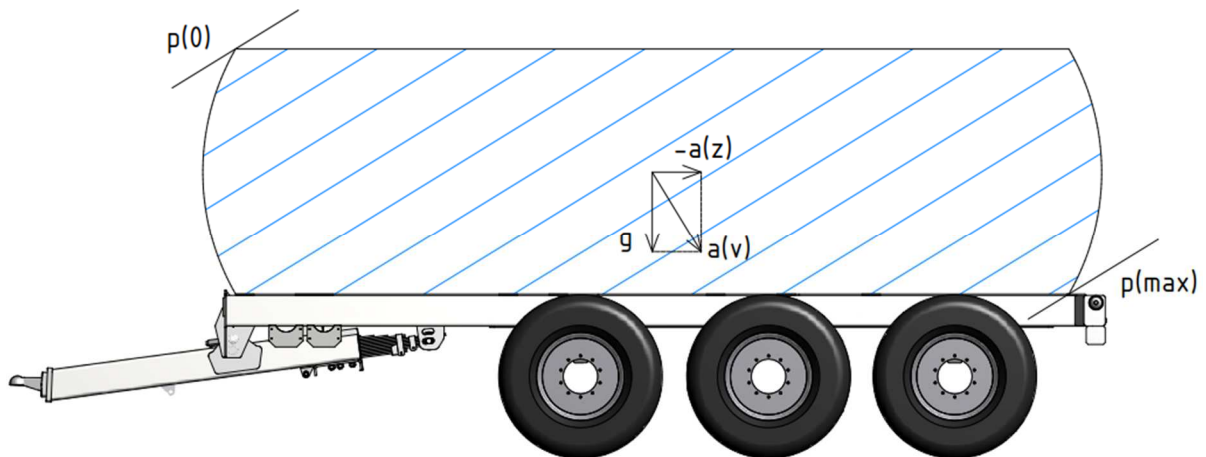
OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Pohyb náprav nosiče je zamezen ve svislém a příčném směru. Na tažné kouli je použita kulová vazba.



7.2.3 ZRYCHLENÍ

Stav představuje situaci, kdy se nosič spolu s naplněnou cisternou rozjíždí po rovné přímé dráze. Spolu s tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ na soupravu působí zrychlení ve směru jízdy. Dle [8] je rozjezd moderních užitkových vozidel a jejich souprav v počáteční fázi prováděn se zrychlením maximálně do $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. S ohledem na dynamické účinky bylo stanoveno návrhové zrychlení na hodnotu $a_z = 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Na soustavu tedy působí další hmotnostní síla, a to síla setrvačná od vlastního pohybu soupravy. Tlakové hladiny jsou kolmé na výsledné setrvačné zrychlení, v zadní části nádrže je tak možné zaznamenat nejvyšší tlak. Příčné zrychlení zůstává nulové. Viz obr. č. 45.



Obr. 45 Zatěžovací stav zrychlení, g - gravitační zrychlení, $-a(z)$ - setrvačné zrychlení v podélném směru, $a(v)$ - výsledné setrvačné zrychlení, $p(0)$ - tlaková hladina s minimálním tlakem, $p(max)$ - tlaková hladina s maximálním tlakem

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

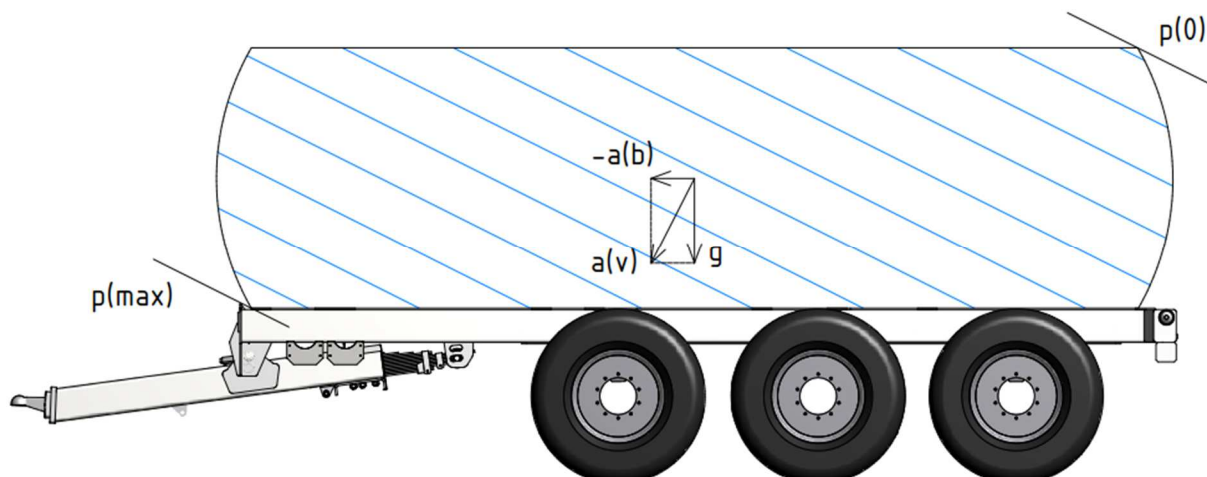
Nápravy nosiče mají pomocí prvků Spring se zadanou tuhostí a tlumením zamezen pohyb v příčném a svislém směru. Na tažné kouli je vazba zamezující translacím a povolující rotacím kolem všech tří os.

7.2.4 BRZDĚNÍ

Na soupravu pohybující se konstantní rychlostí přímým směrem působí spolu s tíhovým zrychlením také brzdné zrychlení, které bylo stanoveno na hodnotu $a_B = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Tato hodnota byla získána dle [9], kde je výpočet návrhového brzdného zrychlení uveden jako $a_B = 0,5 \cdot g$. Tlakové hladiny jsou kolmé na výsledné setrvačné zrychlení od hmotnostních sil. Zvýšený nárůst tlaku je tedy v přední části cisterny. Příčné zrychlení zůstává nulové. Viz obr. č. 46.

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

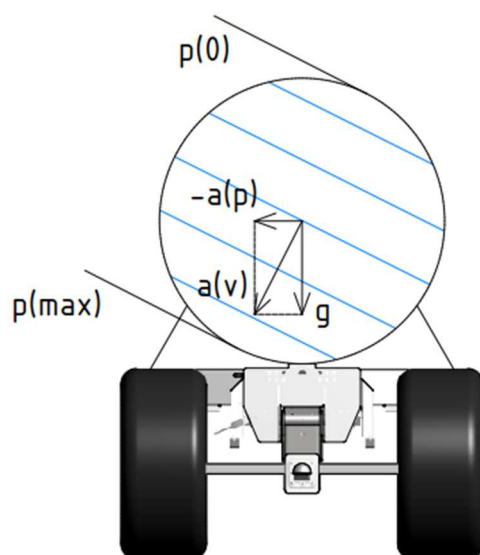
Pohyb náprav je omezen v příčném, svislém i podélném směru. Na tažném prostředku je použita kulová vazba.



Obr. 46 Zatěžovací stav brzdění, g - gravitační zrychlení, $-a(b)$ - setrvačné brzděné zrychlení v podélném směru, $a(v)$ - výsledné setrvačné zrychlení, $p(0)$ - tlaková hladina s minimálním tlakem, $p(max)$ - tlaková hladina s maximálním tlakem

7.2.5 PRŮJEZD ZATÁČKOU

Stav představuje situaci, kdy na soupravu spolu s gravitačním zrychlením začne působit také dostředivé zrychlení vzniklé při průjezdu levotočivou zatáčkou. Příčné zrychlení bylo stanoveno na hodnotu $a_p = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ získané dle [9], kde je výpočet návrhového příčného zrychlení uveden jako $a_p = 0,5 \cdot g$. Tlakové hladiny jsou kolmé na výsledné setrvačné zrychlení. To má za následek zvýšení tlaku po boku pravé dolní části nádrže. Podélné zrychlení je nulové, souprava se tedy pohybuje v podélném směru konstantní rychlostí. Viz obr. č. 47.



Obr. 47 Zatěžovací stav průjezd zatáčkou (pohled ze předu), g - gravitační zrychlení, $-a(p)$ - setrvačné zrychlení v příčném směru, $a(v)$ - výsledné setrvačné zrychlení, $p(0)$ - tlaková hladina s minimálním tlakem, $p(max)$ - tlaková hladina s maximálním tlakem

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Pohyb náprav je zamezen ve svislém a příčném směru. Na tažné kouli je použita vazba zamezující translacím ve třech směrech a povolující rotace kolem všech os.



8 STANOVENÍ MEZNÍCH STAVŮ ÚNOSNOSTI

Konstrukce podléhající pevnostnímu výpočtu je navržena z konstrukční oceli S355J0 (ČSN 11 523). Pro posouzení výsledných hodnot byl proveden návrh mezních stavů únosnosti dle normy ČSN 73 1401.

HODNOTA NÁVRHOVÉ PEVNOSTI

$$f_{yd} = \frac{R_e}{\gamma_M}$$

$$f_{yd} = \frac{255}{1,15} = 308,7 \text{ MPa}$$

f_{yd} ...návrhová pevnost

R_e = 355 MPa, minimální mez kluzu

γ_M = 1,15, součinitel spolehlivosti materiálu [10]

DOVOLENÉ NAPĚTÍ ZAHRNUJÍCÍ DYNAMICKÝ SOUČINITEL

$$f_d = \frac{f_{yd}}{k_d}$$

$$f_d = \frac{308,7}{1,05} = 293 \text{ MPa}$$

f_d ...dovolené napětí zahrnující dynamický součinitel

f_{yd} = 308,7 MPa, návrhová pevnost

k_d = 1,05, dynamický součinitel

Hodnota dovoleného napětí zahrnující dynamický součinitel (**f_d = 293 MPa**), byla zvolena jako porovnávací napětí s výsledky dosaženými při pevnostní analýze.



9 VÝSLEDNÉ HODNOTY NAVRŽENÉ KONSTRUKCE

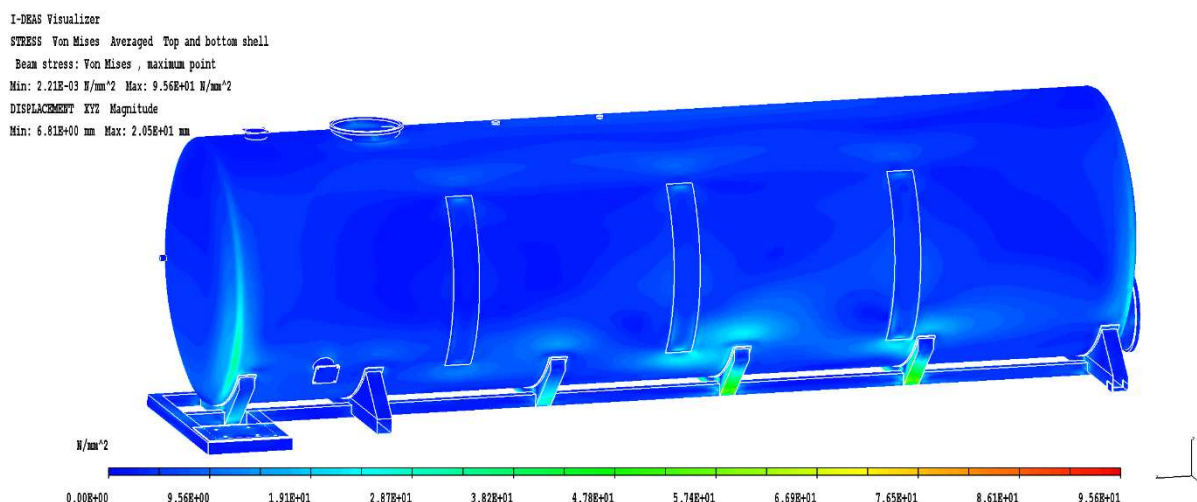
Výsledné hodnoty jsou vyhodnoceny pro jednotlivé zatěžovací stavy, u kterých jsou následně vybrána jejich kritická místa. Výsledky jsou zobrazeny v deformovaném stavu s měřítkem zvětšení 3:1 a porovnány s hodnotou dovoleného napětí zahrnující dynamický součinitel ($f_d = 293 \text{ MPa}$). Stav napjatosti jsou určeny podle teorie HMH. Kontrola je provedena na obou stranách elementu, přičemž zobrazeny jsou vždy výsledky s vyšší hodnotou napětí v daném místě.

9.1 STATICKÁ POLOHA

Výsledky pevnostní analýzy pro zatěžovací stav statické polohy (obr. 48) dokládají, že hodnoty maximálních napětí nepřesahují hodnotu dovoleného napětí zahrnující dynamický součinitel. **Tento stav je tedy vyhodnocen jako vyhovující.**

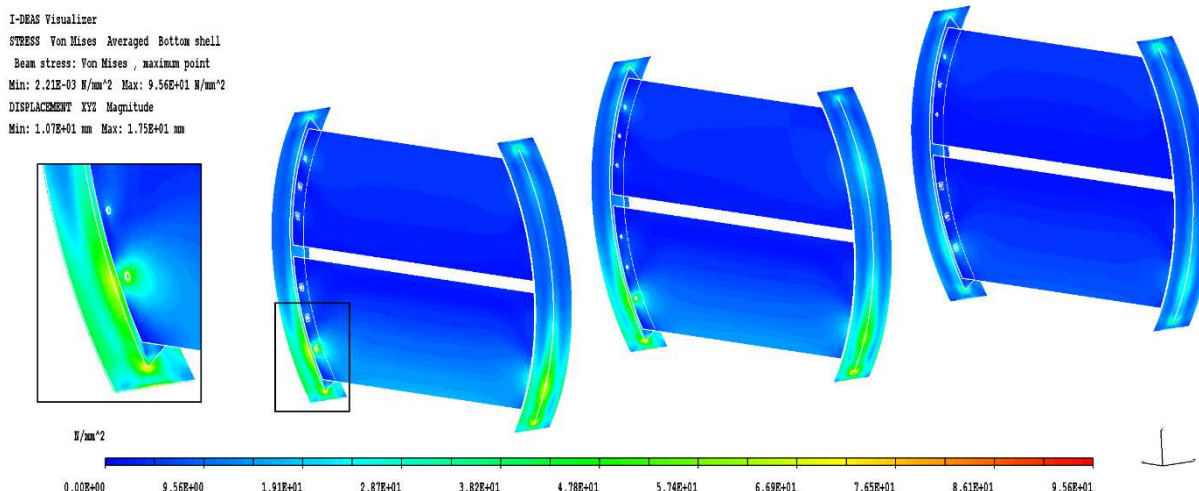
Vybraná místa s nejvyšším napětím:

- Napojení výztuh ve vnitřní části nádrže na úchyty vlnolamů (95,6 MPa)
- Kontaktní plocha podélných profilů nástavby s nosičem (82,8 MPa)
- Přejechod válcové části nádrže na klenuté dno (48,7 MPa)



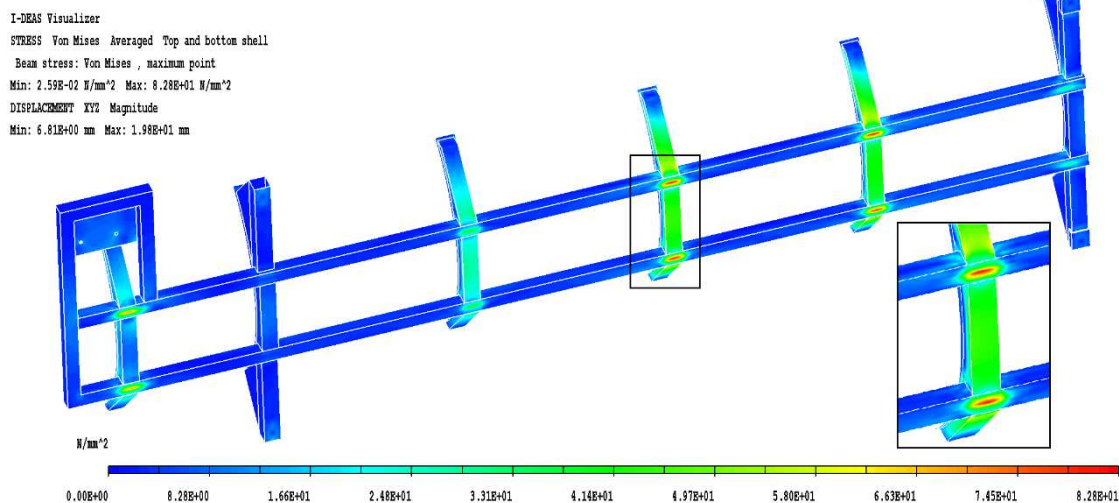
Obr. 48 Redukované napětí HMH, Konstrukce cisternové nástavby, statická poloha, max. napětí 95,6 MPa, stupnice 0 – 95,6 MPa, měřítko deformace 3

Maximální hodnoty napětí se nacházejí v místech napojení výztuh ve vnitřní části nádrže na úchyty vlnolamů (obr. 49). Jedná se o špičková napětí dosahující hodnot do 95,6 MPa, která jsou koncentrována vždy v místě kolmému napojení, kde došlo ke zjednodušení svarových spojů jednou plochou. Napětí vzniká důsledkem snahy válcové části nádrže o roztažení působením kapaliny, přičemž právě v místě napojení úchyty dochází k výraznému zvýšení tuhosti v příčném směru. Nejvyšších hodnot napětí je dosaženo v uložení zadního vlnolamu, nejnižší pak předního vlnolamu.



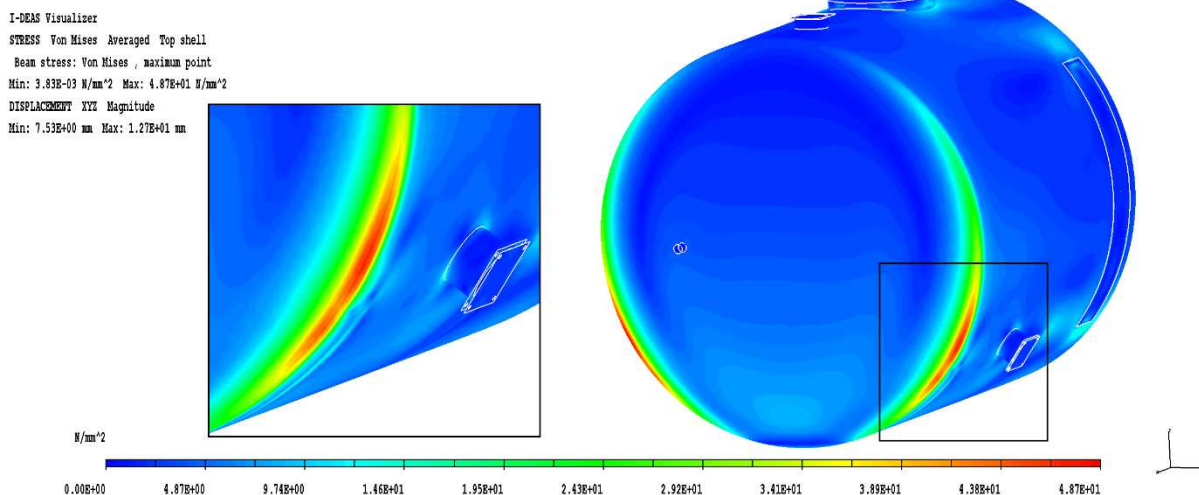
Obr. 49 Redukované napětí HMH, Uložení vlnolamů – pohled zezadu, statická poloha, max. napětí 95,6 MPa, stupnice 0 – 95,6 MPa, měřítko deformace 3

Zvýšené napětí je také možné zaznamenat v oblasti kontaktního spojení cisternové nástavby s nosičem nástaveb a na svařencích plechů vyztužující konstrukci nádrže (obr. 50). Napětí dosahuje nejvyšší hodnoty v místě kontaktu pod třetím svařencem plechů 82,8 MPa. Podobně je namáhán podélný profil pod čtvrtým svařencem plechů. Ostatní místa kontaktu vykazují nižší hodnoty, což je dáno způsobem uložení cisternové nástavby v úložných bodech. Na svařencích plechů vyztužujících konstrukci nádrže pak hodnota nejvyššího napětí nepřesahuje 63 MPa.



Obr. 50 Redukované napětí HMH, Mezírám, statická poloha, max. napětí 82,8 MPa, stupnice 0 – 82,8 MPa, měřítko deformace 3

Dalším místem cisternové nástavby, kde je patrný nárůst napětí, se nachází v přechodu válcové části na klenuté dno (obr. 51), napětí v přední části nádrže zde vykazuje hodnotu 48,7 MPa. V zadní části nádrže je zaznamenáno o něco nižší napětí a to 34,7 MPa.



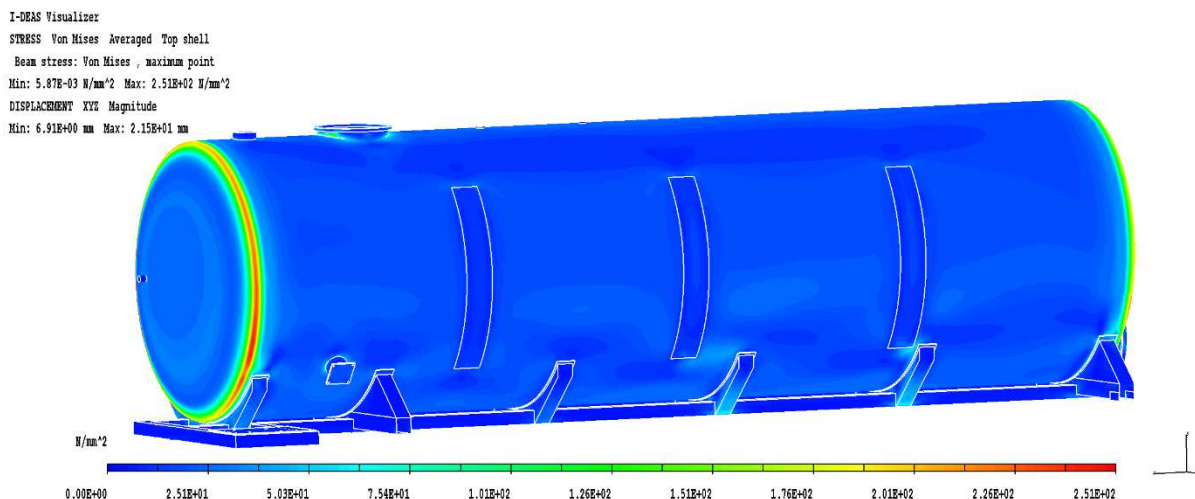
Obr. 51 Redukované napětí HMM, Přední část konstrukce nádrže, statická poloha, max. napětí 48,7 MPa, stupnice 0 – 48,7 MPa, měřítko deformace 3

9.2 VYPRAZDŇOVÁNÍ

Zatěžovací stav vyprazdňování byl dimenzován na dvojnásobek provozního přetlaku. I přes tento fakt žádná z výsledných hodnot nepřesahuje hodnotu dovoleného napětí zahrnující dynamický součinitel (obr. 52). **Tento stav je tedy vyhodnocen jako vyhovující.**

Vybraná místa s nejvyšším napětím:

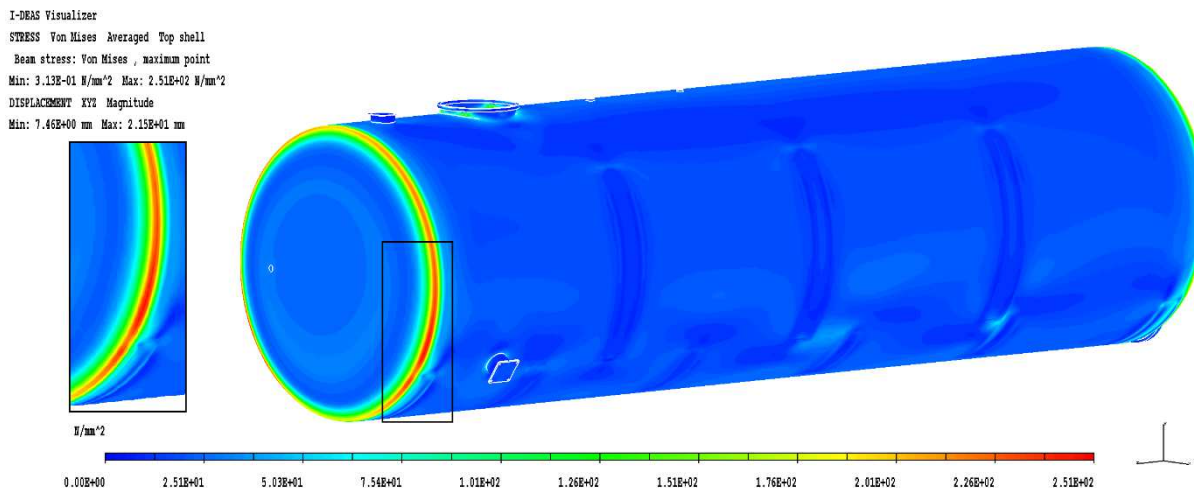
- Přejechod válcové části nádrže na klenuté dno (251 MPa)
- Připojení úchytnů víka k vrchnímu otvoru (216 MPa)
- Přejechod zadního otvoru do klenutého dna (168 MPa)



Obr. 52 Redukované napětí, Konstrukce cisternové nástavby, vyprazdňování, max. napětí 251 MPa, stupnice 0–251 MPa, měřítko deformace 3

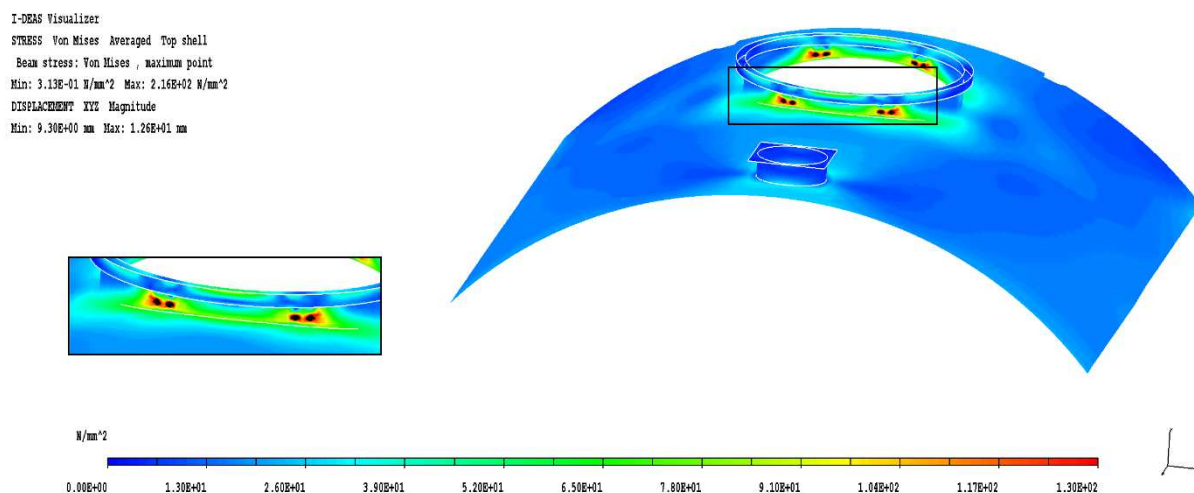


Nejvyšší hodnoty napětí 251 MPa je dosaženo v místě napojení klenutého dna na válcovou část (obr. 53). Je to dáno vlastností samotné konstrukce, kdy ve válcové části je předpoklad membránové napjatosti, v přechodu na klenuté se uplatňuje momentová napjatost, u které při vnesení momentů dojde k proměnlivé hodnotě normálového napětí po tloušťce materiálu.



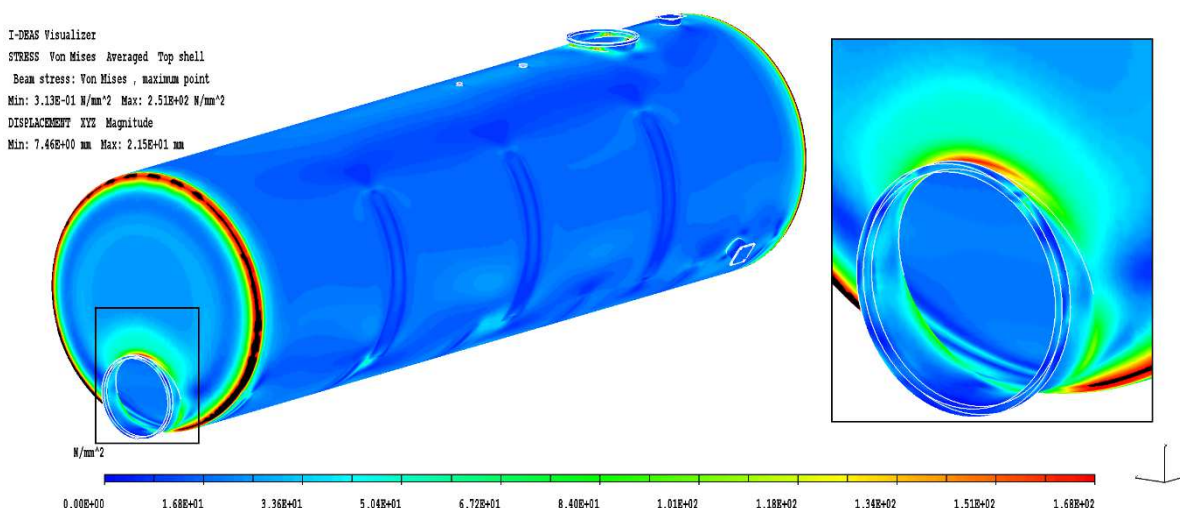
Obr. 53 Redukované napětí HMM, Konstrukce nádrže, vyprazdňování, max. napětí 251 MPa, stupnice 0–251 MPa, měřítko deformace 3

Dalším místem se zvýšeným napětím je okolí připojení úchytů k vrchnímu otvoru (obr. 54). Jedná se o napětí dosahují hodnot do 216 MPa. Vzhledem k tomu že se jedná o špičková napětí koncentrovaná do míst napojení dokonalého prvku Rigid, je zde předpoklad, že skutečné napětí bude podstatně nižší. V místě přechodu vrchního otvoru na válcovou část nádrže pak napětí dosahuje 76,2 MPa.



Obr. 54 Redukované napětí HMM, Vrchní otvor nádrže, vyprazdňování, max. napětí 216 MPa, stupnice 0–130 MPa, měřítko deformace 3

Na obrázku zadní části konstrukce nádrže (obr. 55), v detailu zadního otvoru navařeného do klenutého dna, je možné sledovat nárůst napětí na hodnotu 168 MPa.



Obr. 55 Redukované napětí HMH, Zadní část konstrukce nádrže, vyprazdňování, max. napětí 168 MPa, stupnice 0–168 MPa, měřítko deformace 3

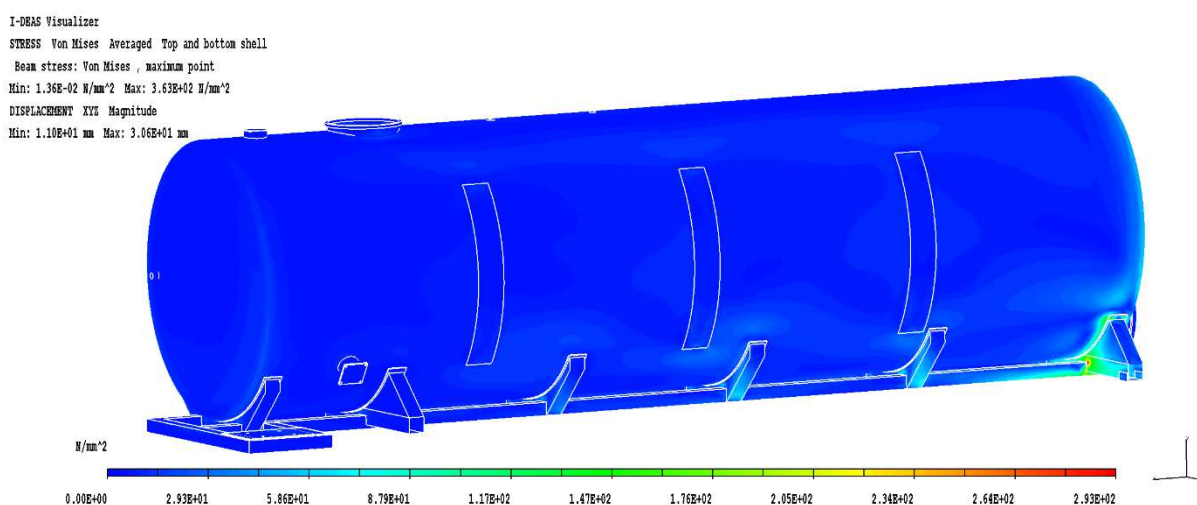
V místech kontaktů podélných profilů s nosičem nástaveb a napojení vnitřních výztuh k úchytným vlnolamů je hodnota napětí přibližně stejná jako u zatěžovacího stavu statické polohy.

9.3 ZRYCHLENÍ

Výsledné hodnoty zatěžovacího stavu zrychlení (obr. 56) poukazují na kritické místo s maximálním napětím dosahující hodnoty 363 MPa přesahující hranici dovoleného napětí obsahující dynamický součinitel. **Tento stav je vyhodnocen jako nevyhovující.**

Vybraná místa s nejvyšším napětím:

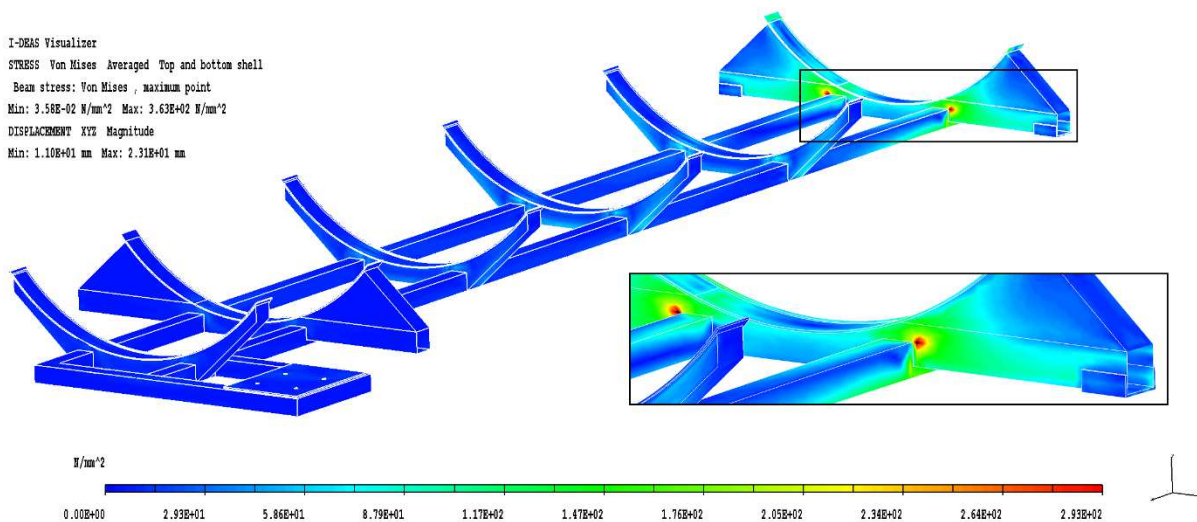
- Napojení podélného profilu do zadního příčného profilu (363 MPa)
- Viz kapitola 11.1



Obr. 56 Redukované napětí HMH, Konstrukce cisternové nástavby, zrychlení, max. napětí 363 MPa, stupnice 0–293 MPa, měřítko deformace 3



Nejvyššího napětí 363 MPa je dosaženo v místě napojení podélných profilů na zadní příčné profily (obr. 57). Jedná se o špičkové napětí, které vzniká v důsledku zachycení setrvačné síly naplněné cisternové nástavby v podélném směru. Koncentraci napětí v rohu napojení je možné opodstatnit tím, že podélný profil s vysokou tuhostí v podélném směru, navazuje na oproti němu velmi poddajný příčný profil, a právě v tomto místě se koncentruje nejvyšší napětí. Možnou úpravou je využití správně profilovaného žebra, které rozloží napětí rovnoměrněji do příčného profilu.



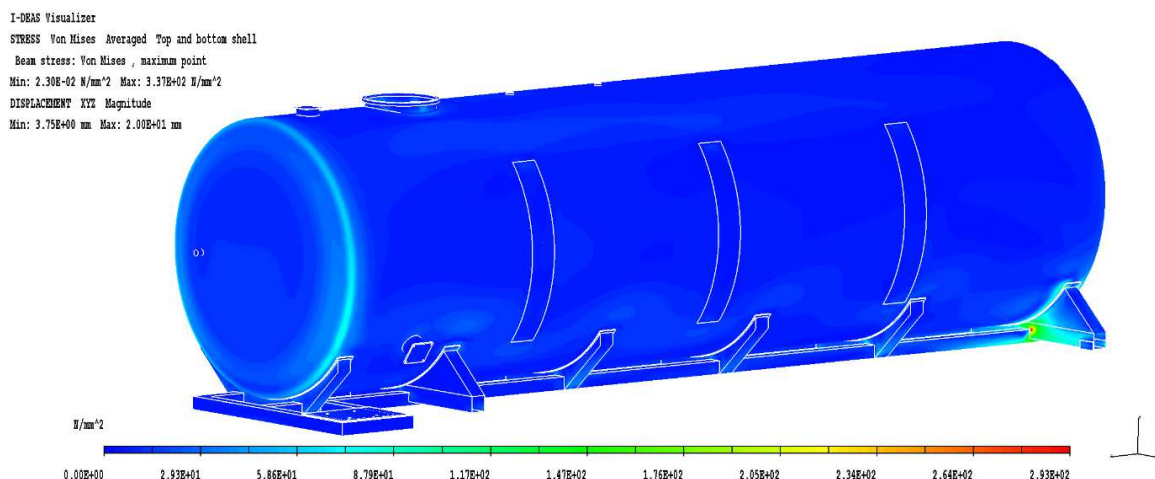
Obr. 57 Redukované napětí HMH, Konstrukce mezirámu, zrychlení, max. napětí 363 MPa, stupnice 0–293 MPa, měřítko deformace 3

9.4 BRZDĚNÍ

Výsledky pevnostní analýzy pro zatěžovací stav brzdění (obr. 58) potvrzují kritické místo konstrukce v přechodu podélného do příčného profilu zadního uložení. Zbylé části konstrukce cisternové nástavby pro tento zatěžovací stav vyhovují dovolenému napětí zahrnující dynamický součinitel. **Přesto je nutné tento stav vyhodnotit jako nevyhovující.**

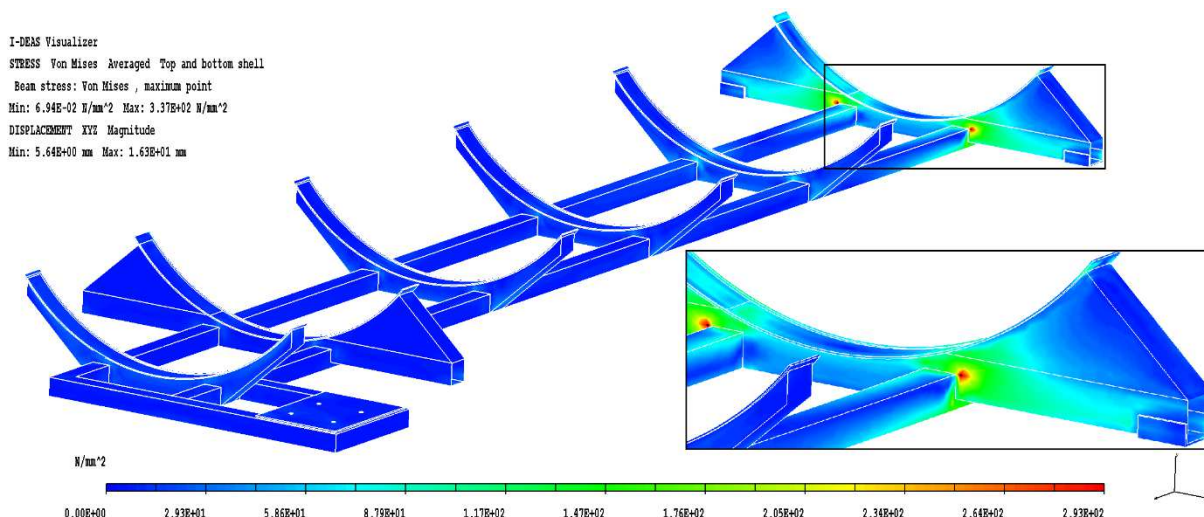
Vybraná místa s nejvyšším napětím:

- Napojení podélného profilu do zadního příčného profilu (337 MPa)
- Viz kapitola 11.2



Obr. 58 Redukované napětí HMM, Konstrukce cisternové nástavby, brzdění, max. napětí 337 MPa, stupnice 0–293 MPa, měřítko deformace 3

Špičkové napětí v místě napojení podélného profilu do zadního příčného profilu (obr. 59) nabývá hodnoty 337 MPa. Příčina vzniku takto vysokého napětí je obdobná jako u zatěžovacího stavu zrychlení.



Obr. 59 Redukované napětí HMM, Konstrukce mezirámu, brzdění, max. napětí 337 MPa, stupnice 0–337 MPa, měřítko deformace 3

9.5 PRŮJEZD ZATÁČKOU

Výsledné hodnoty zatěžovacího stavu průjezd zatáčkou (obr. 60) v žádném místě nepřesahují hranici dovoleného napětí obsahující dynamický součinitel. **Tento stav je tedy vyhodnocen jako vyhovující.**

Vybraná kritická místa:

- Napojení výztuh vnitřní části nádrže na úchyty vlnolamů (262 MPa)
- Napojení levého podélného profilu do zadního příčného profilu (162 MPa)
- Kontakt pravého podélného profilu s nosičem (150 MPa)
- Napojení protikusu čepu uložení na levý příčný profil (142 MPa)



I-DEAS Visualizer

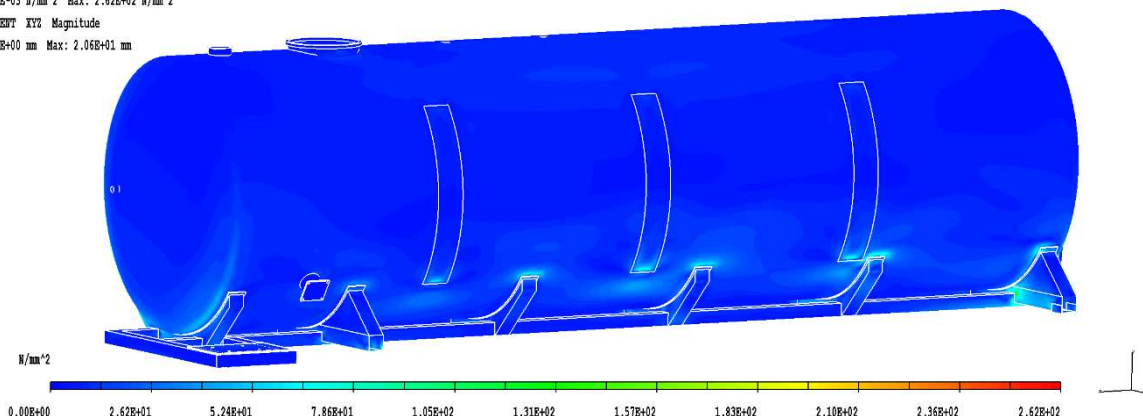
STRESS Von Mises Averaged Top and bottom shell

Beam stress: Von Mises , maximum point

Min: 2.76E-03 N/mm² Max: 2.62E+02 N/mm²

DISPLACEMENT XYZ Magnitude

Min: 4.67E+00 mm Max: 2.06E+01 mm



Obr. 60 Redukované napětí HMM, Konstrukce cisternové nástavby, průjezd zatáčkou, max. napětí 262 MPa, stupnice 0–262 MPa, měřítko deformace 3

Maximální napětí s hodnotou 262 MPa se nachází v levé části nádrže v místech napojení vyztužujících plechů na plechy úchytných vlnolamů (obr. 61). Jedná se o špičková napětí koncentrovaná do míst kolmému napojení dvou profilů, která jsou způsobena snahou kapaliny o roztažení pravé části nádrže (levá část úchytnů je tažená).

I-DEAS Visualizer

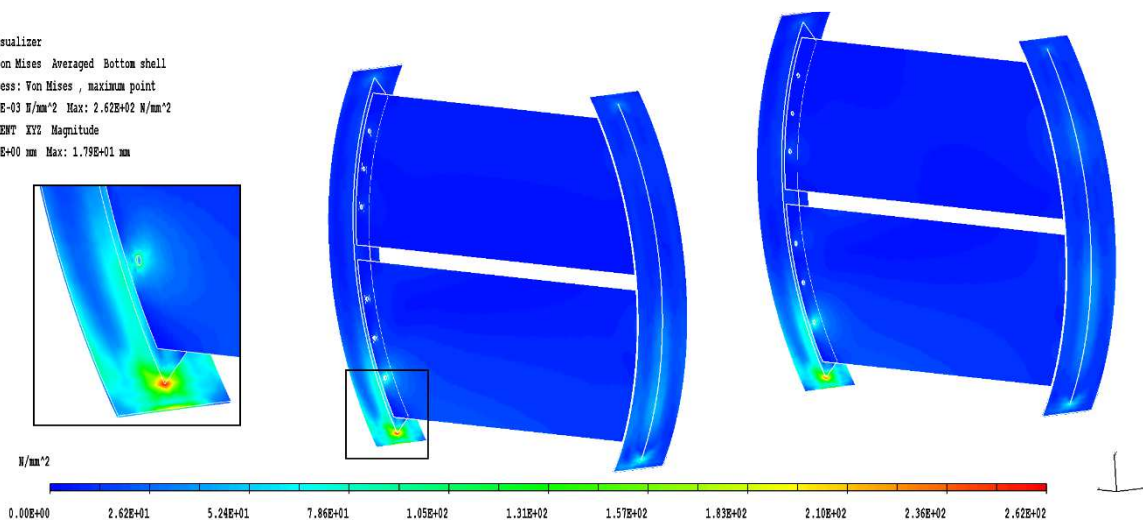
STRESS Von Mises Averaged Bottom shell

Beam stress: Von Mises , maximum point

Min: 2.76E-03 N/mm² Max: 2.62E+02 N/mm²

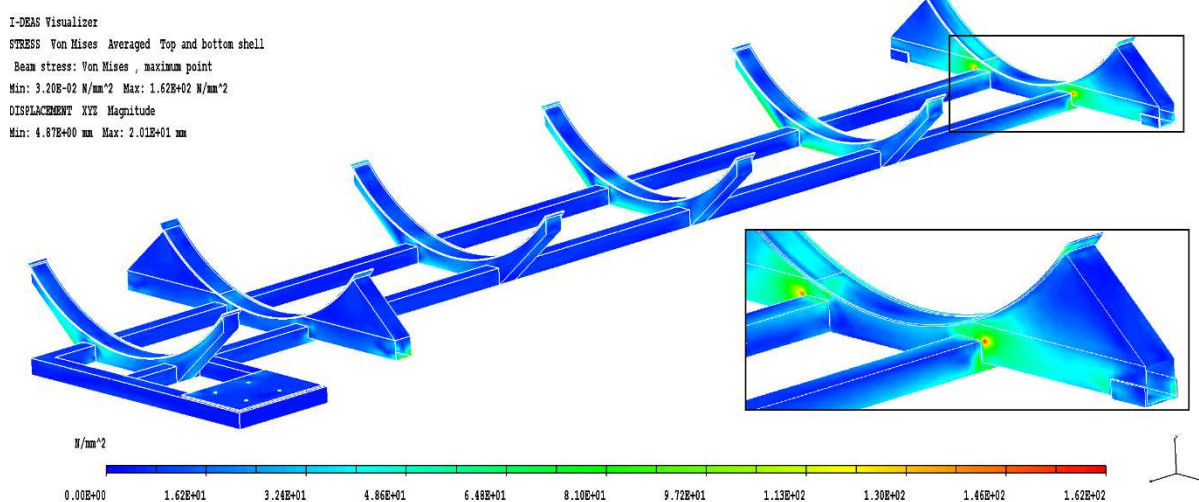
DISPLACEMENT XYZ Magnitude

Min: 8.47E+00 mm Max: 1.79E+01 mm

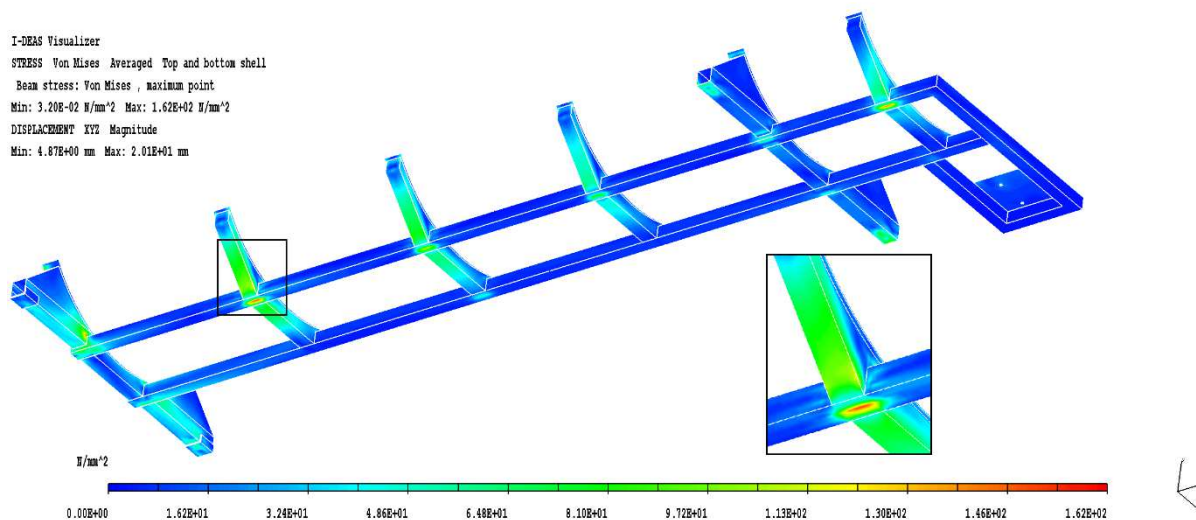


Obr. 61 Redukované napětí HMM, Uložení vlnolamů – pohled zezadu, průjezd zatáčkou, max. napětí 262 MPa, stupnice 0–262 MPa, měřítko deformace 3

Na levé straně napojení podélných profilů k zadnímu příčnému profilu (obr. 62) dosahuje napětí hodnoty 162 MPa. V místě kontaktů pravého podélného profilu s nosičem nástavby (obr. 63) pak vzniká napětí nepřevyšující hodnotu 150 MPa. Na čtvrtém svařenci vyztužení dosahuje hodnota napětí do 116 MPa.

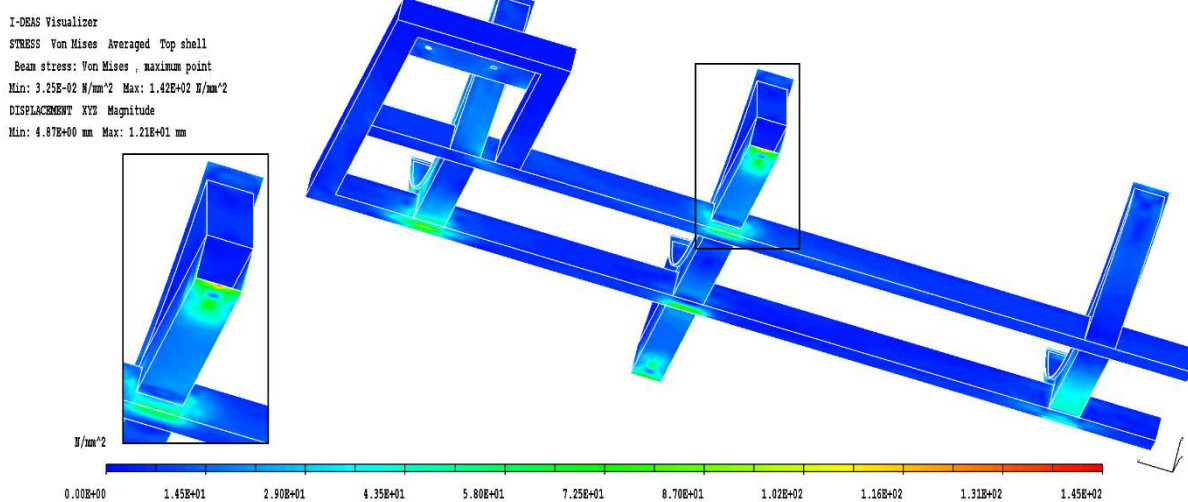


Obr. 62 Redukované napětí HMM, konstrukce mezirámu, průjezd zatáčkou, max. napětí 162 MPa, stupnice 0–162 MPa, měřítko deformace 3



Obr. 63 Redukované napětí HMM, konstrukce mezirámu, průjezd zatáčkou, max. napětí 162 MPa, stupnice 0–162 MPa, měřítko deformace 3

V místě napojení protikusu čepu uložení na levý příčný profil (obr. 64) dosahuje hodnota špičkového napětí 142 MPa. V tomto místě došlo k nahrazení protikusu čepu prvky Constraint, skutečné napětí nebude dosahovat takto vysokých hodnot.



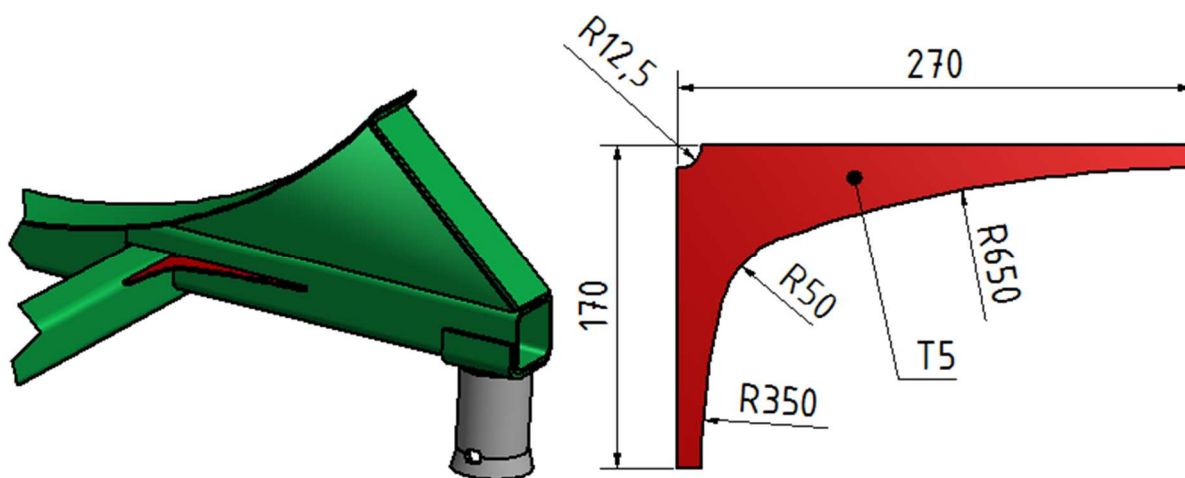
Obr. 64 Redukované napětí HMM, konstrukce mezirámu, průjezd zatáčkou, max. napětí 142 MPa, stupnice 0–145 MPa, měřítko deformace 3



10 NÁVRH KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY

Na základě výsledků pevnostní analýzy je nutné provést konstrukční úpravu, která povede ke snížení napětí při nevyhovujících zatěžovacích stavech v místě napojení podélných profilů do zadních příčných profilů. Popis příčiny vzniku takto vysoké hodnoty špičkového napětí byl popsán v kapitole 9.3. Jako nejjednodušší a nejefektivnější variantou možné úpravy se jeví použití správně tvarovaného žebra s potřebnou tuhostí, které rozloží napětí koncentrované z místa napojení profilů do plochy příčného profilu (obr. 65). Při návržení nesprávného tvaru žebra, které by mělo příliš vysokou tuhost by došlo pouze k posunutí místa se špičkovým napětím.

Materiál plechu, z kterého bude žebro vypáleno je konstrukční ocel S355J0 (ČSN 11 523).



Obr. 65 Uložení žebra a navržené rozměry



11 VÝSLEDNÉ HODNOTY PO KONSTRUKČNÍ ÚPRAVĚ

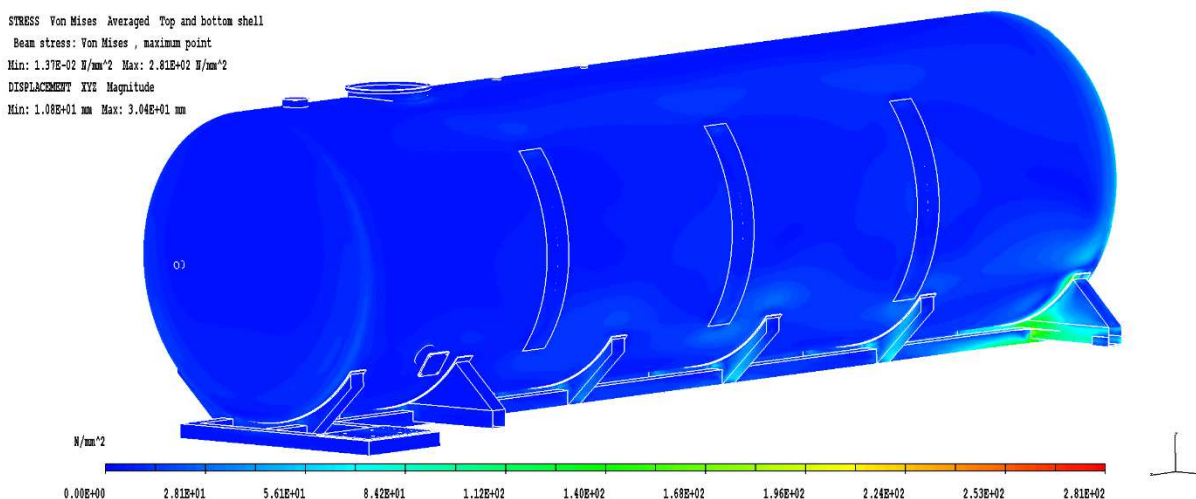
V této kapitole jsou vyobrazeny výsledky zatěžovacích stavů, u kterých byl patrný zvýšený nárůst napětí v kritickém místě zadního napojení profilů. Jedná se tedy o výsledky zatěžovacích stavů zrychlení, brzdění a průjezd zatáčkou.

11.1 ZRYCHLENÍ

Po provedené konstrukční úpravě výsledky pevnostní analýzy u zatěžovacího stavu zrychlení (obr. 66) ukazují, že hodnoty maximálních napětí nepřesahují hodnotu dovoleného napětí zahrnující dynamický součinitel. **Tento stav je vyhodnocen jako vyhovující.**

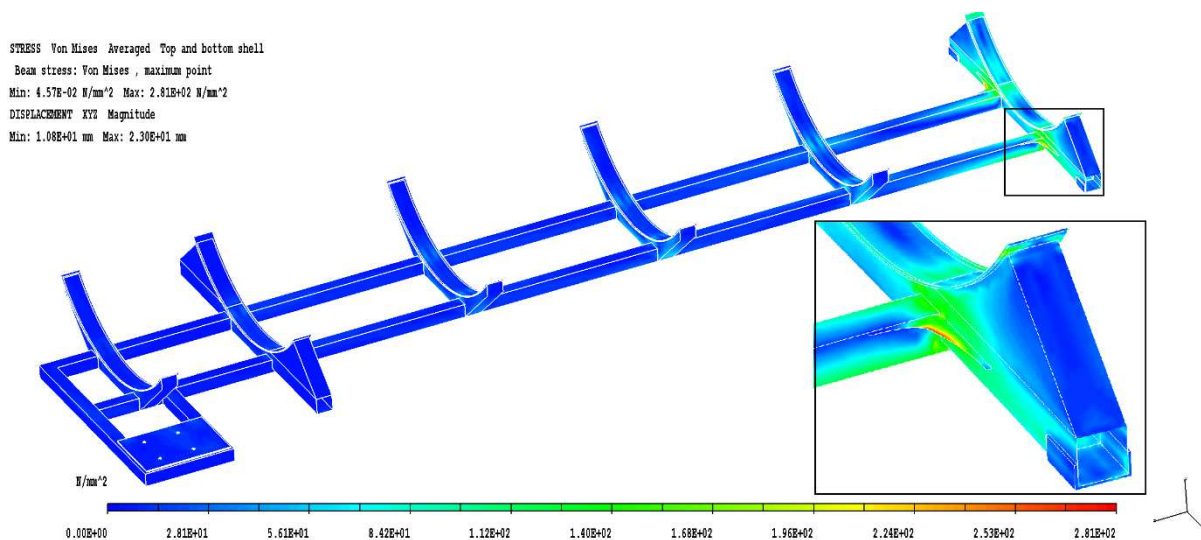
Vybraná místa s nejvyšším napětím:

- Žebro vyztužující podélný a zadní příčný profil (281 MPa)
- Napojení zakružené výztuhy k zadní části válcové nádrže (178 MPa)
- Kontaktní plocha podélných profilů s nosičem (97,4 MPa)

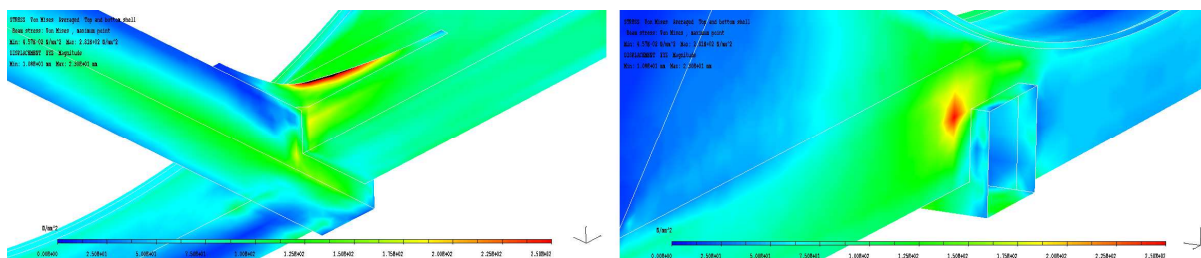


Obr. 66 Redukované napětí HMM, konstrukce cisternové nástavby, zrychlení, max. napětí 281 MPa, stupnice 0–281 MPa, měřítko deformace 3

Nejvyššího napětí 281 MPa je nyní dosaženo v místě zaoblení žebra (obr. 67). Špičkové napětí z místa napojení podélných a příčných profilů je rozloženo do plochy příčného profilu (obr. 68). Nejvyšší napětí vyskytující se nyní na příčném profilu nepřevyšuje 250 MPa.

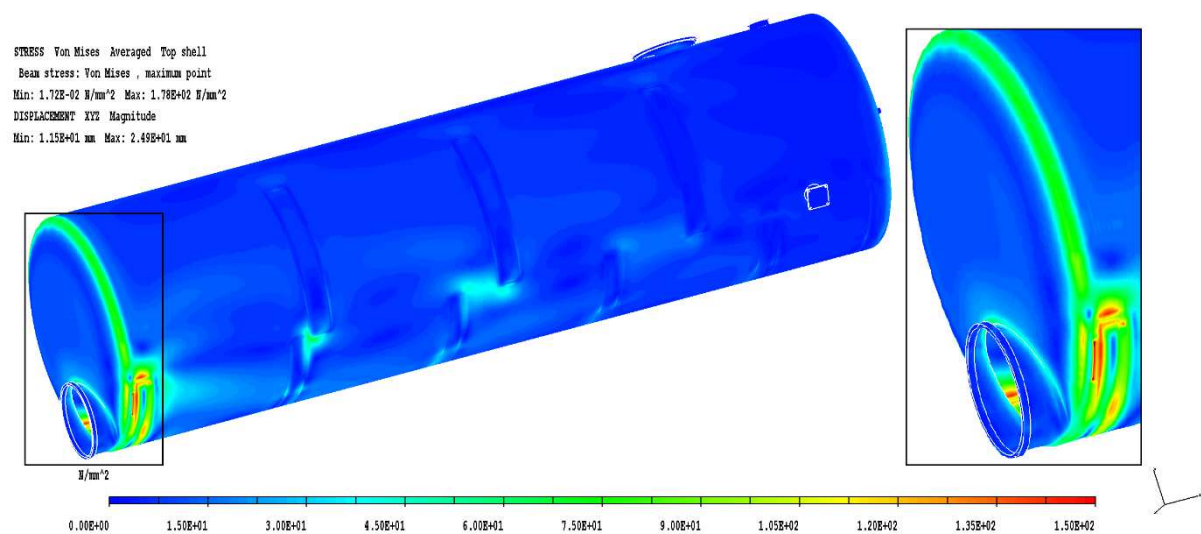


Obr. 67 Redukované napětí HMM, konstrukce mezirámu, zrychlení, max. napětí 281 MPa, stupnice 0–281 MPa, měřítko deformace 3



Obr. 68 Redukované napětí HMM, detail napojení podélného na příčný profil, zrychlení, max. napětí 281 MPa, stupnice 0–250 MPa, měřítko deformace 3

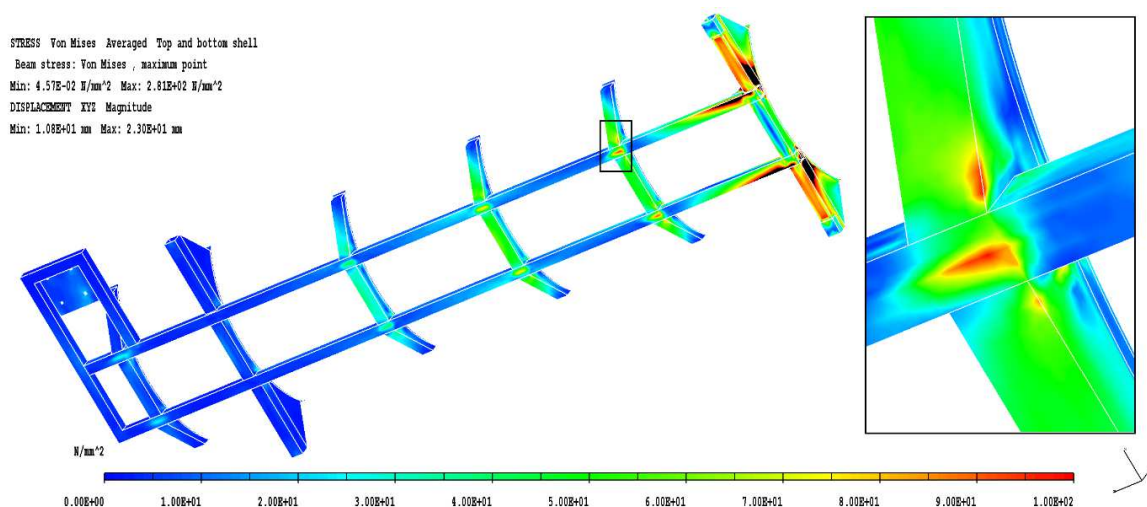
Napětí o velikosti 178 MPa se nachází v místě napojení zakružené výztuhy k zadní části válcové nádrže (obr. 69). V místě přechodu válcové části na klenuté dno dosahuje napětí maximální hodnoty 121 MPa.



Obr. 69 Redukované napětí HMM, konstrukce nádrže, zrychlení, max. napětí 178 MPa, stupnice 0–150 MPa, měřítko deformace 3



V místě kontaktu podélných profilů s nosičem (obr. 70) pod čtvrtým svařencem plechů dosahuje napětí hodnoty 97,4 MPa. Napětí 89,6 MPa se pak nachází na čtvrtém svařenci uložení v místě napojení na podélný profil.



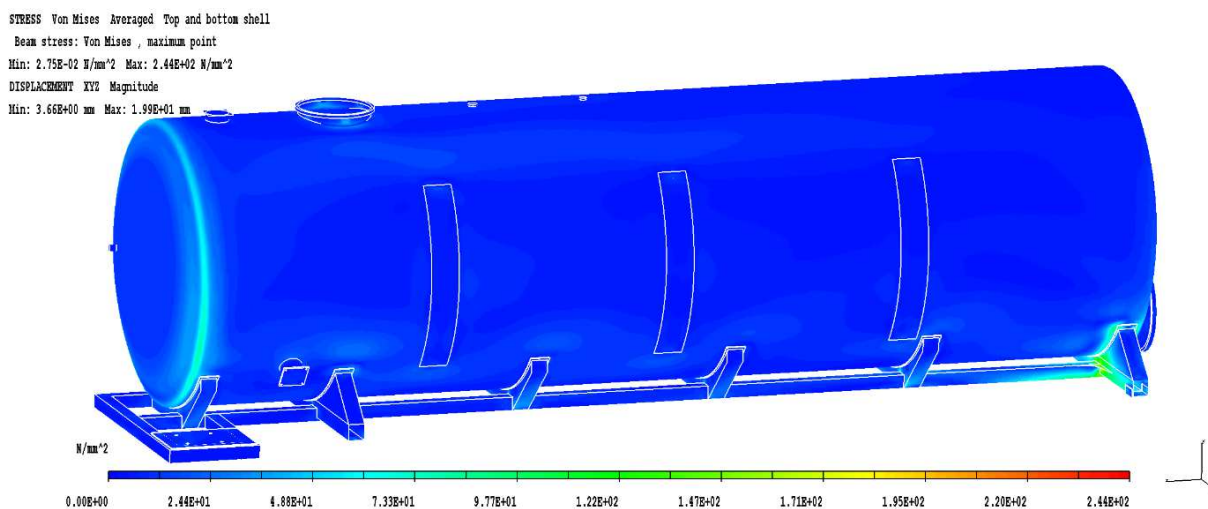
Obr. 70 Redukované napětí HMM, konstrukce mezirámu, zrychlení, max. napětí 281 MPa, stupnice 0–100 MPa, měřítko deformace 3

11.2 BRZDĚNÍ

Po provedené konstrukční úpravě výsledky pevnostní analýzy u zatěžovacího stavu brzdění (obr. 71) ukazují, že hodnoty maximálních napětí nepřesahují v žádném místě hodnotu dovoleného napětí zahrnující dynamický součinitel. **Tento stav je tedy vyhodnocen jako vyhovující.**

Vybraná místa s nejvyšším napětím:

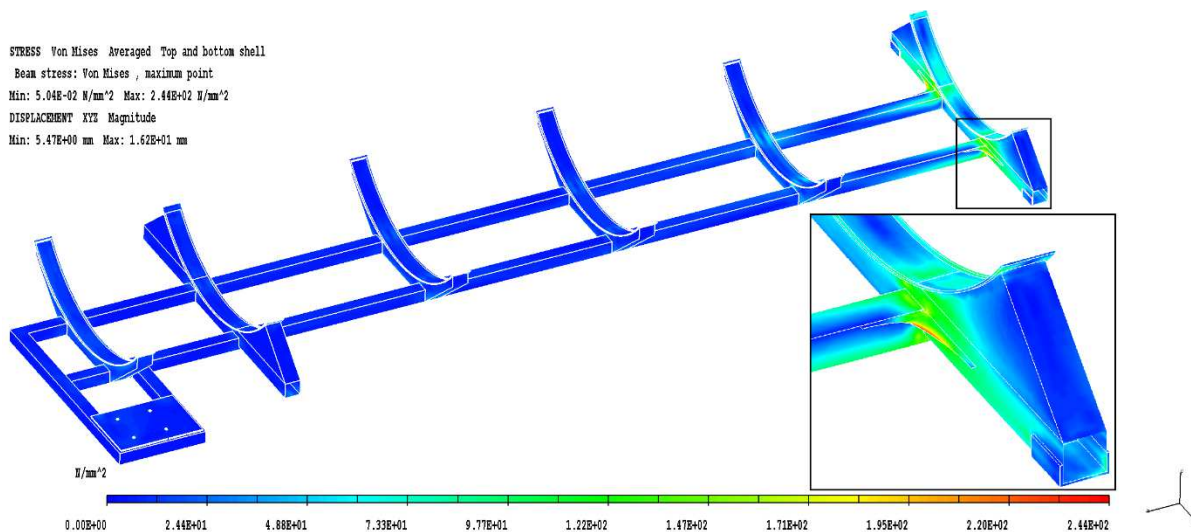
- Žebro spojující podélný a zadní příčný profil (244 MPa)
- Napojení zakružené výztuhy k zadní části válcové nádrže (135 MPa)
- Přejechod válcové části nádrže na klenuté dno (112 MPa)
- Kontaktní plocha podélných profilů s nosičem v přední části (73,9 MPa)



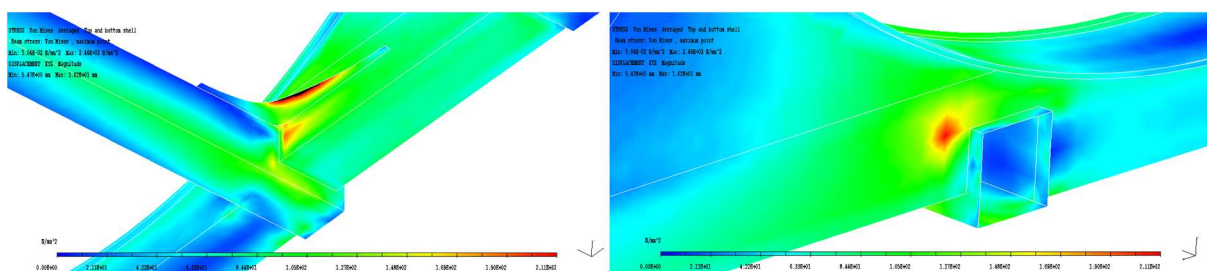
Obr. 71 Redukované napětí HMM, konstrukce cisternové nástavby, brzdění, max. napětí 244 MPa, stupnice 0–244 MPa, měřítko deformace 3



Maximální napětí o hodnotě 244 MPa se nachází v místě zaoblení vyztužujícího žebra (obr. 72). Na příčných profilech zadního uložení (obr. 73) dosahuje napětí maximální hodnoty 211 MPa.

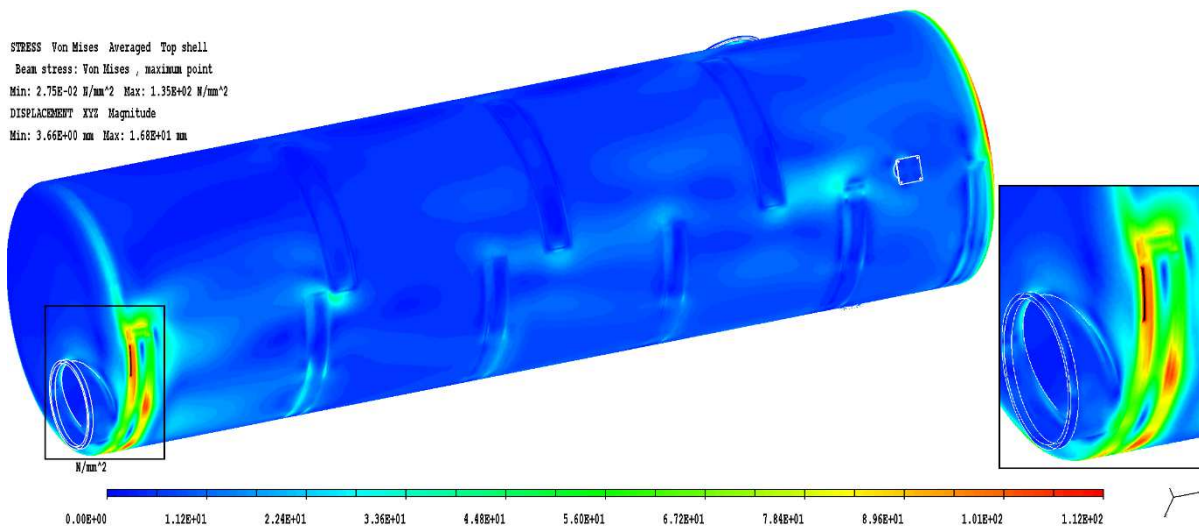


Obr. 72 Redukované napětí HMM, konstrukce mezirámu, brzdění, max. napětí 244 MPa, stupnice 0–244 MPa, měřítko deformace 3



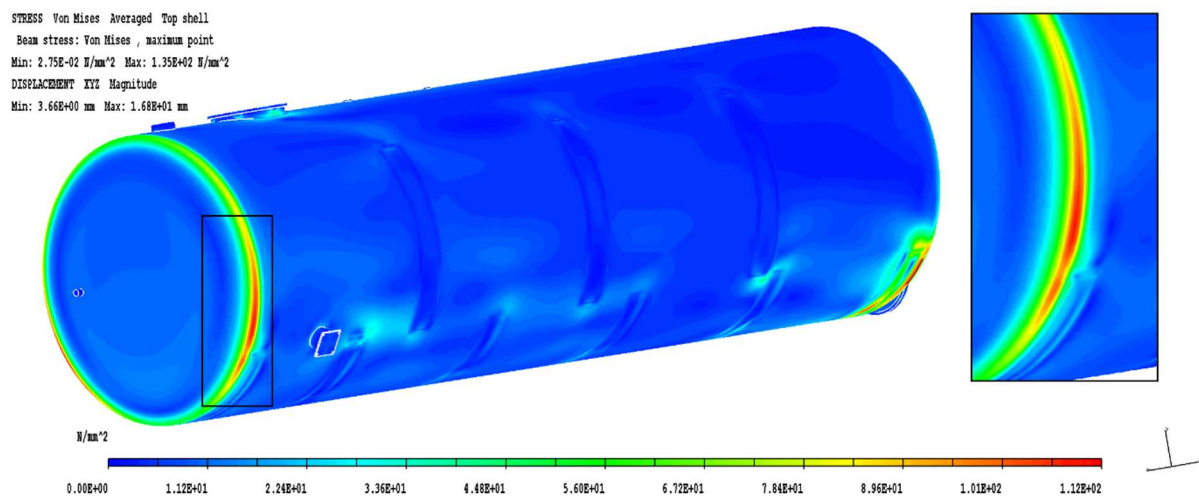
Obr. 73 Redukované napětí HMM, detail napojení podélného na příčný profil, brzdění, max. napětí 244 MPa, stupnice 0–211 MPa, měřítko deformace 3

Napětí o velikosti 135 MPa se nachází v místě napojení zakřivené výztuhy k válcové části nádrže (obr. 74). V místě přechodu válcové části na klenuté dno dosahuje napětí maximální hodnoty 121 MPa.



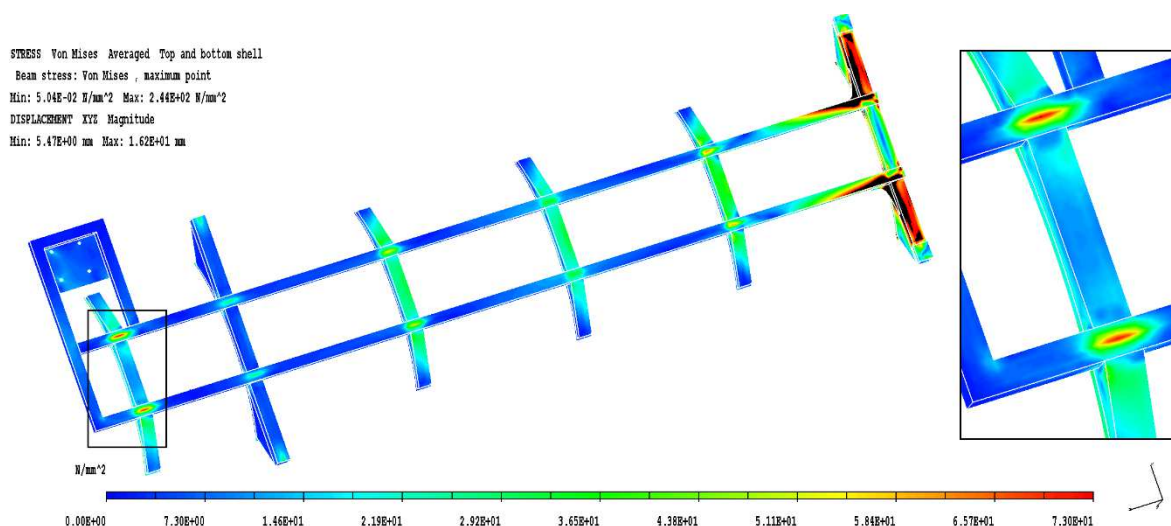
Obr. 74 Redukované napětí HMH, konstrukce nádrže, brzdění, max. napětí 135 MPa, stupnice 0–112 MPa, měřítko deformace 3

Místo se zvýšenou hodnotou napětí 112 MPa se nachází v přední části přechodu válcové části na klenuté dno (obr. 75), což je způsobeno tlakem kapaliny, který při brzdění dosahuje v přední části nádrže nejvyšších hodnot.



Obr. 75 Redukované napětí HMH, konstrukce nádrže, zrychlení, max. napětí 135 MPa, stupnice 0–112 MPa, měřítko deformace 3

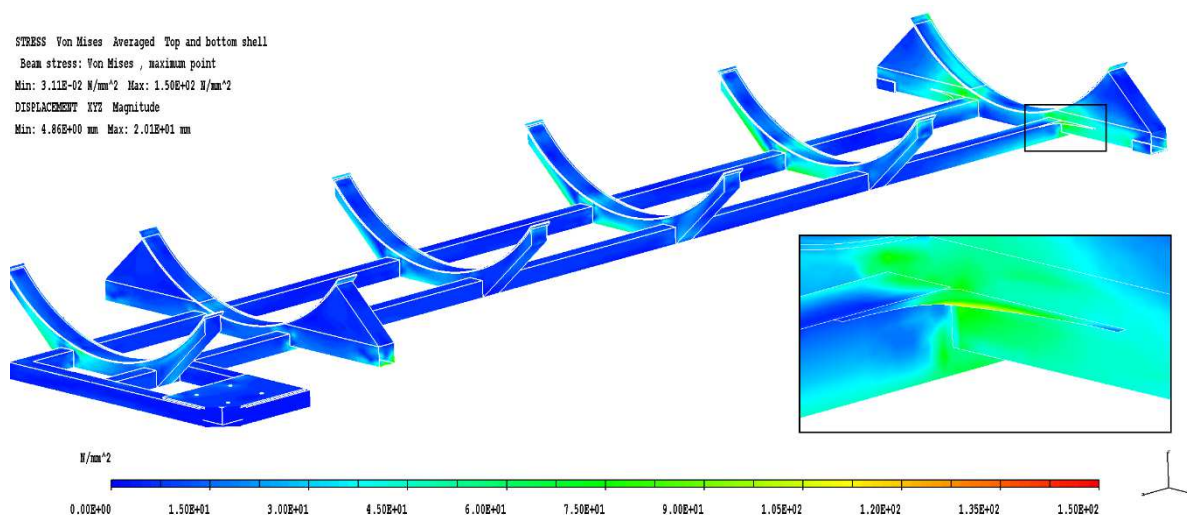
Nejvyšší napětí vzniklé v místech kontaktů mezi cisternovou nástavbou a nosičem se nachází v přední části mezirámu (obr. 76) a nepřevyšuje hodnotu 73,9 MPa.



Obr. 76 Redukované napětí HMH, konstrukce mezirámu, brzdění, max. napětí 244 MPa, stupnice 0–73 MPa, měřítko deformace 3

11.3 PRŮJEZD ZATÁČKOU

Zatěžovací stav průjezd zatáčkou byl vyhodnocen jako vyhovující již před provedenou úpravou, avšak v místě napojení podélných profilů do zadních příčných profilů docházelo ke zvýšení napětí na hodnotu 162 MPa. Z toho důvodu je vyobrazeno toto místo, kde po úpravě došlo k rozložení napětí do plochy příčného profilu. Na žebro se nyní nachází napětí do 114 MPa a na zadním příčném profilu napětí nepřekračuje hodnotu 87,6 MPa (obr. 77).



Obr. 77 Redukované napětí HMH, konstrukce mezirámu, průjezd zatáčkou, max. napětí 114 MPa, stupnice 0–150 MPa, měřítko deformace 3



ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá problematikou zemědělské techniky určené k aplikaci tekutých statkových hnojiv, zejména aplikačních cisteren. V první části práce je pojednáno o samotné aplikaci tekutých statkových hnojiv a možných aplikačních zařízeních, která jsou používána. Dále jsou uvedeny možné varianty plnění a vyprazdňování aplikačních cisteren a používané materiály nádrží včetně jejich povrchových úprav, které zamezují agresivnímu působení látek na samotnou konstrukci nádrže. V neposlední řadě byla také popsána obdobná konstrukční řešení cisternových nástaveb, včetně konkrétních modelů, které jsou konstruovány jako výměnné.

Hlavním cílem práce bylo navržení koncepčního návrhu aplikační cisterny pro nosič výměnných nástaveb MEGA 33. Konstrukci cisternové nástavby tvoří nosný mezirám, sloužící k uložení na nosič nástaveb, spolu s ocelovou nádrží. Z důvodu využitelnosti a velikosti zástavbových rozměrů byl zvolen způsob plnění olejovou vývěvou s výsuvnými lopatkami s průtokem vzduchu 13845 l/min od firmy Battioni a Pagani, která je uložena na mezirámu a poháněna hydromotorem. Nádrž je koncipována na maximální dovolený přetlak do 0,05 MPa, čímž se stává tlakovou nádobou nepodléhající tlakovým zkouškám a revizím. Ochrana proti přetlaku a podtlaku je zajištěna pojistnými ventily. Maximální naplnitelný objem cisternové nástavby činí 22 m³, přičemž hmotnost plně vybavené nenaplněné cisternové nástavby je 4200 kg.

Pro navrženou konstrukci byl proveden pevnostní výpočet pro několik vybraných zatěžovacích stavů metodou konečných prvků, a to v prostředí systému NX-IDEAS. Jednotlivými zatěžovacími stavy jsou statická poloha, vyprazdňování, zrychlení, brzdění a průjezd zatáčkou cisternové soupravy. Na základě získaných výsledků napětí, které byly porovnány s hodnotou dovoleného napětí zahrnující dynamický součinitel, bylo lokalizováno kritické místo konstrukce nacházející se na mezirámu v místě napojení podélných profilů do zadních příčných profilů. Kritických hodnot bylo dosaženo u zatěžovacích stavů zrychlení a brzdění z důvodu vzniklé setrvačné síly v podélném směru, která je zachycena v zadní části uložení nástavby na kulových kloubech. Na základě těchto nevyhovujících výsledků byla navržena konstrukční úprava v podobě vhodně tvarovaného žebra přivařeného v místě napojení profilů. Žebro mělo za úkol roznést špičkové napětí z místa napojení profilů do plochy zadního příčného profilu, čehož bylo dle ověřujícího pevnostního výpočtu dosaženo a zatěžovací stavy zrychlení a brzdění cisternové soupravy mohly být vyhodnoceny jako vyhovující.

Poslední částí práce, která je zahrnuta v přílohách, bylo zhotovení výkresové dokumentace vybraných konstrukčních celků.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

LITERATURA:

- [1] SYROVÝ, Otakar. Doprava v zemědělství. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-30-4.
- [2] ROH, Jiří, František KUMHÁLA a Petr HEŘMÁNEK. Stroje používané v rostlinné výrobě. Vyd. 2. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2003. ISBN 8021306149.
- [3] Česká technická norma: ČSN 69 0010 Tlakové nádoby stabilní. Praha: Český normalizační institut, 1993
- [4] ŠČERBEJOVÁ, Marta. Strojírenská technologie. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993. ISBN 8071570834.
- [5] Česká technická norma: ČSN EN 707+A1 Zemědělské stroje – Kejdovače – Bezpečnost. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2010
- [6] NEPOVÍM, O. Návrh konstrukce překládacího vozu, Brno: Vysoké technické učení v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 80 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.
- [7] ŠOB, František. Hydromechanika. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-214-3578-0. PTÁČEK, Petr a Aleš KAPLÁNEK. Přeprava nákladu v silniční nákladní dopravě. Brno: CERM, 2002. ISBN 8072042572.
- [8] PTÁČEK, Petr a Aleš KAPLÁNEK. *Přeprava nákladu v silniční nákladní dopravě*. Brno: CERM, 2002. ISBN 8072042572.
- [9] Česká technická norma: ČSN EN 12195-1 Zajišťování břemen na silničních vozidlech. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2010, 48 s.
- [10] Česká technická norma: ČSN 73 1401 Návrh ocelových konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 1998, 136 s.

INTERNETOVÉ STRÁNKY:

- [11] ZUHNAMMER: Schleudertankwagen [online]. [cit. 2016-10-06]. Dostupné z: <http://www.zunhammer.de/de/produkte/schleudertankwagen/tandem/k-serie>
- [12] Joskin: Slurry tankers: [online]. [cit. 2017-25-04]. Dostupné z: http://www.joskin.com/?page=epandeurs_de_lisier&user_lang=en
- [13] Mechanizace zemědělství 07/2004 [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://profipress.cz/>
- [14] Fliegl: Agrar Technik [online]. [cit. 2017-25-04]. Dostupné z: <http://web1.fliegl.nbsp.de/tschechisch-startseite/158/3226>



- [15] Pichon: Kejdové cisterny [online]. [cit. 2017-25-04]. Dostupné z: <http://www.pichonindustries.cz/Kejdove-cisterny>
- [16] Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky: Výukový text stroje pro hnojení [online]. [cit. 2017-25-04]. Dostupné z: <http://kzt.zf.jcu.cz/>
- [17] Antonín Vojáček: Principy průmyslových čerpadel [online]. [cit. 2016-10-06]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/>
- [18] Bauer: Slurry Technology [online]. [cit. 2017-10-01]. Dostupné z: <http://www.bauer-at.com/en/products/slurry-technology/slurry-tankers>
- [19] Vogelsang: Rozměňovací technika [online]. [cit. 2017-10-01]. Dostupné z: <http://www.vogelsang.info/cz/vyrobky-sluzby/rozmelnovaci-technika/maceratory-rotacut/>
- [20] Landwirt: Vogelsang Rotacut 5000 MXL [online]. [cit. 2017-10-01]. Dostupné z: <https://www.landwirt.com/gebrauchte,1277821,Vogelsang-Rotacut-5000-MXL.html>
- [21] Garant Kotte: Aplikační technika [online]. [cit. 2017-10-01]. Dostupné z: <http://www.garant-kotte.de/cs/produkty/vyvezeci-technika/tridemove-cisterny/prehled/>
- [22] Annaburger: Tank trailer with compressor: [online]. [cit. 2017-10-01]. Dostupné z: <https://www.annaburger.de/en/products#12>
- [23] WIELTON AGRO: Ochranný nástřik cisteren [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.wielton-agro.cz/produkt/ostatni-ochranny-nastrik-cisteren>
- [24] ZDT: Výmenný systém MEGA [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.zdt.cz/c/vymenny-system-mega-3>
- [25] Agrostar cisterny: Cisternové nástavby na podvozky [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.agrostar.cz/cisternove-nastavby-na-podvozky>
- [26] Battoni Pagani: Pompe [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.bapag.it/it-IT/prodotti/mec-ii-1.aspx>
- [27] Firemní literatura ADR. Dostupné z: <http://www.adrnapravy.cz/>
- [28] Firemní literatura Mitas. Dostupné z: <http://www.mitas-tyres.com/cz/>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Δl_{oj}	[mm]	hodnota pro pružení oje
Δl_p	[mm]	hodnota stlačení pneumatiky
Δl_{pp}	[mm]	hodnota stlačení parabolické pružiny
a_b	[m·s ⁻²]	brzdné zrychlení cisternové soupravy
a_p	[m·s ⁻²]	příčné zrychlení cisternové soupravy
a_z	[m·s ⁻²]	zrychlení cisternové soupravy
f_d	[MPa]	dovolené napětí zahrnující dynamický součinitel
f_{yd}	[MPa]	návrhová pevnost
g	[m·s ⁻²]	gravitační zrychlení
k_b	[N·s·mm ⁻¹]	tlumení pneumatiky
k_{bb}	[N·mm ⁻¹]	tuhost bočního vedení
k_d	[-]	dynamický součinitel
k_{oj}	[N·mm ⁻¹]	tuhost odpružení oje
k_p	[N·mm ⁻¹]	tuhost pneumatiky
k_{pp}	[N·mm ⁻¹]	tuhost parabolické pružiny
m_c	[kg]	celková hmotnost soupravy
R_e	[MPa]	minimální mez kluzu
γ_M	[-]	Součinitel spolehlivosti materiálu



SEZNAM PŘÍLOH

Sestavný výkres cisternové nástavby	00-00-0
Kusovník cisternové nástavby	00-00-4
Výkres svařence cisterny a mezirámu	01-00-1
Výkres svařence mezirámu	05-00-1
Výrobní výkres plechu podstavce vývěvy	05-02-4
Výrobní výkres žebra vyztužení	05-09-4