
Konštrukčný návrh rámu korby pre jednonápravový príves za traktor

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Vadym Ishchuk, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2563

Denis Molnár, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: denis.molnar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Jakub Kurtulík, Ing.

A design of a single-axle trailer superstructure frame for a tractor

Abstract: This article is focused on the results of the research, which is intended to design of a single-axle tipping tractor trailer. The trailer consists of two main parts, a frame and a superstructure. Both parts of the trailer must undergo strength analyses under determined loading conditions. While results of strength analyses of the frame were already presented on the previous event, this work shows an overview of the strength analysis of the tipping superstructure of the trailer. The structure has been analysed under static loads and dynamical effects have been considered by means of a dynamic coefficient. The task has been performed by application of the *Finite Element Method (FEM)*. Some chosen load cases have been analysed and the distribution of stresses in the structure has been evaluated. Results have shown that the designed structure of the tipping superstructure is able to withstand the given loads and it can be used in practice.

Keywords: 3D model, design, trailer, tractor

ÚVOD

Poľnohospodárstvo je veľmi dôležitou súčasťou ekonomiky krajiny. Nezaobíde sa to bez dopravných strojov. Traktory a ich príslušenstvo k nim patrí. Prívesy sú štandardným a neoddeliteľným dopravným prostriedkom, ktorý umožňuje prepravu tovaru mnohých druhov. V poľnohospodárstve využívajú prívesy rôznych rozmerových a hmotnostných kategórií podľa individuálnych potrieb. Používajú sa jednonápravové prívesy až po troj- až štvornápravové prívesy, buď s jednoduchou nápravou alebo s

riadenými nápravami umožňujúcimi zlepšiť riadiace vlastnosti celej súpravy ťahača a prívesu.

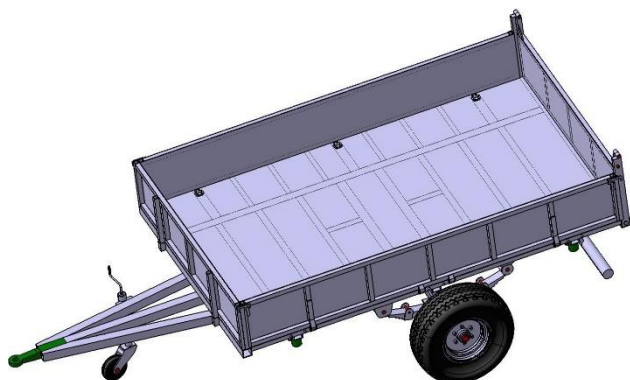
Všeobecne platí, že jednonápravový príves je dopravný prostriedok s nižšou celkovou hmotnosťou, ktorý má uplatnenie v menších farmách na prepravu materiálu na kratšie vzdialenosti, má lepšie riadiace vlastnosti v menších priestoroch. Trojstranný sklápací príves sa javí ako najuniverzálnejší typ prívesu. V zásade sa dá použiť na prepravu takmer všetkých druhov tovaru, ako sú sypké materiály, pevné produkty, balíky slamy, drevo (vo vhodnej forme),

paletizovaný materiál a iné. Jedinou výnimkou sú tekuté produkty.

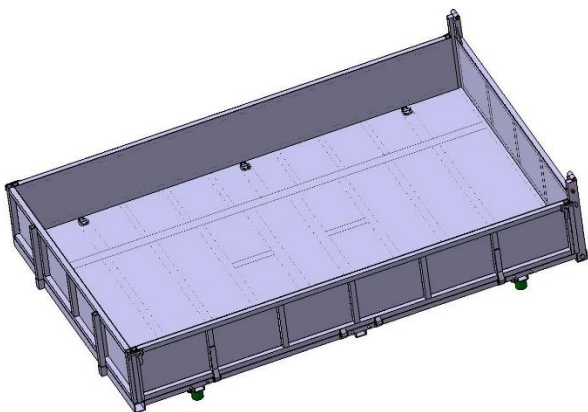
Cieľom tohto výskumu je statická analýza rámu nadstavby takéhoto trojstranného sklápacieho jednonápravového traktorového prívesu. Ide o pokračovanie výskumných aktivít s týmto trailerom, ktorý bol predstavený na predošlom podujatí. Keďže rám, ako podvozku, tak aj nadstavby, je veľmi dôležitý a hlavná nosná časť prívesu, musí byť starostlivo navrhnutý a overený z hľadiska rozloženia namáhania v konštrukcii. Konštrukcia musí spĺňať dané kritériá [4-7], aby sa predišlo vážnym škodám pri jej dlhodobej prevádzke v ťažkých terénnych prevádzkových podmienkach.

1 PODMIENKY EXPERIMENTOV

Výskum jednotlivých zaťažovacích stavov si vyžaduje analýzu hlavných konštrukčných celkov navrhovaného prívesu (obr. 1). Hlavnými skúmanými časťami prívesu sú rám prívesu a rám nadstavby (obr. 2). Práve tieto dva rámy sú najdôležitejšie, pretože sú zaťažované jednotlivými zaťažovacími a súvisiacimi silovými reakciami v plnom rozsahu. Oba konštrukčné celky boli vystavené zaťažovacím prípadom. Keď sa príves pohybuje po ceste, dynamický súčiniteľ δ_D vyjadruje dynamický efekt, ktorý vzniká v dôsledku nerovností vozovky a iných dodatočných vplyvov súvisiacich s jazdou.



Obr. 1. CAD model navrhovaného jednonápravového prívesu za traktor



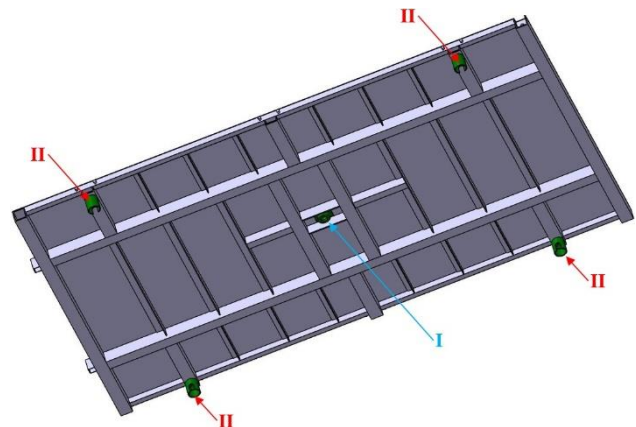
Obr. 2. CAD model analyzovanej konštrukcie korby

Základné parametre navrhovaného prívesu (vrátane analyzovanej nadstavby), ktoré sú dôležité z hľadiska statickej analýzy, sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1. Parametre navrhnutého jednonápravového prívesu za traktor

Parameter	Jednotka	Hodnota
Pohotovostná hmotnosť	kg	1500
Užitočné zaťaženie	kg	3000
Celková hmotnosť	kg	4500
Maximálna rýchlosť	km·h ⁻¹	40
Dynamický koeficient	-	1,5

Nižšie sú popísané záťažové stavy. Bola vykonaná analýza rozloženia napätí v ráme prívesu v dôsledku zaťaženia pre tri rôzne stavy zaťaženia. Tento výskum teda prináša detaily analýzy rámu nadstavby. Ide o analýzu sily. Pevnostná analýza bola vykonaná pomocou *metódy konečných prvkov (MKP)* s pomocou modulárneho softvéru *Ansys*. Tento softvér umožňuje vykonávať požadované analýzy a zabezpečuje požadovanú spoluprácu s použitým CAD softvérom *Catia*. Hlavným cieľom je identifikovať rozloženie napätia v rámovej konštrukcii, ktoré vzniká v dôsledku dynamických účinkov zaťaženia.



Obr. 3. Konštrukcia korby, pohľad zospodu

Analýzovaná vyklápacia nadstavba je znázornená na obr. 3. Rám nadstavby je výrobok, ktorý je vyrobený z ocele *EN S355J0*. Tento materiál má medzu klzu $R_e = 355$ MPa a medzu pevnosti $R_m = 470 \div 630$ MPa. Hlavnými nosnými prvkami sú dva pozdĺžne hranaté profily s rozmermi 70 mm x 70 mm x 5 mm. Tieto profily sú spojené a zakončené ďalšími dvoma profilmi s rovnakým tvarom a rozmermi, ktoré sú orientované priečne. Táto hlavná konštrukcia je doplnená o niekoľko ďalších doplnkových pozdĺžnych a bočných profilov tiež so štvorcovým prierezom, ale s menšími rozmermi, a to 35 mm x 35 mm x 3 mm. Stredná časť rámu nadstavby je spevnená bočnými profilmi a medzi nimi je zvarovaný profil *U160*. Tu je umiestnená polgul'ová príruha (*I*) pre montáž čapu hydraulického valca (funkcia sklápania). Bočné, prípadne koncové

časti nadstavby obsahujú polguľové prvky (II). Celá nadstavba bude spočívať len na dvoch bočných pologuľových prvkoch a strednej prírubе pri bočnom sklápaní alebo na dvoch zadných pologuľových prvkoch a strednej prírubе pri spätnom sklápaní. Ložná plocha vyklápacej nadstavby je pokrytá oceľovým plechom hrúbky 3 mm.

Základom statickej analýzy je vygenerovanie geometrie

Zaťaženie pre prvý zaťažovací stav F_{1st} sa vypočíta takto:

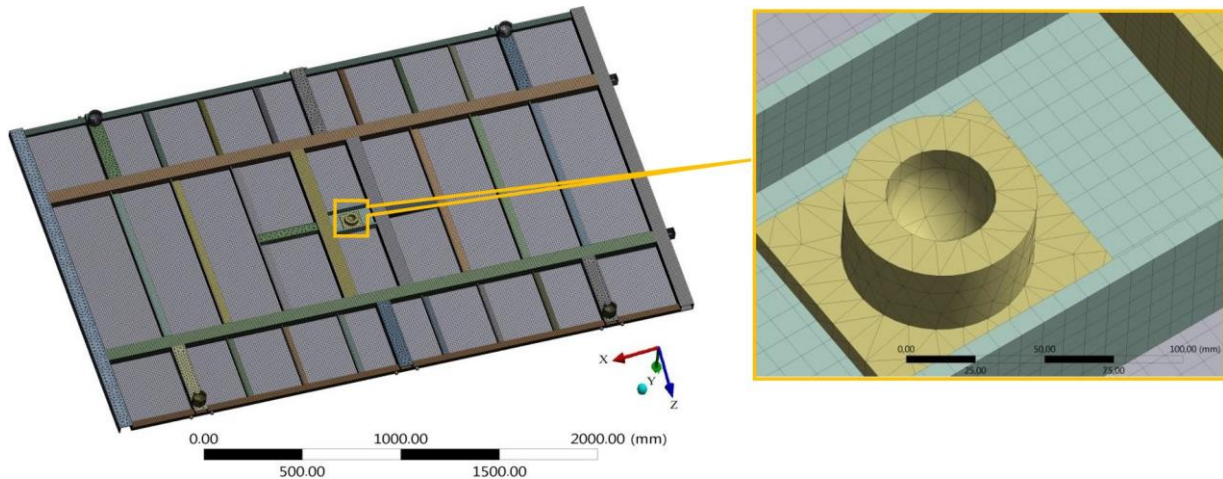
$$F_{1st} = m \cdot g \cdot \delta_D \quad (1)$$

kde m [kg] je hmotnosť nadstavby,

g [$m \cdot s^{-1}$] je gravitačné zrýchlenie,

δ_D [-] je súčiniteľ dynamického zaťaženia.

Dosadením známych hodnôt (tab. 1) dostávame



Obr. 4. MKP sieť vytvorená v konštrukcii korby a jej detail

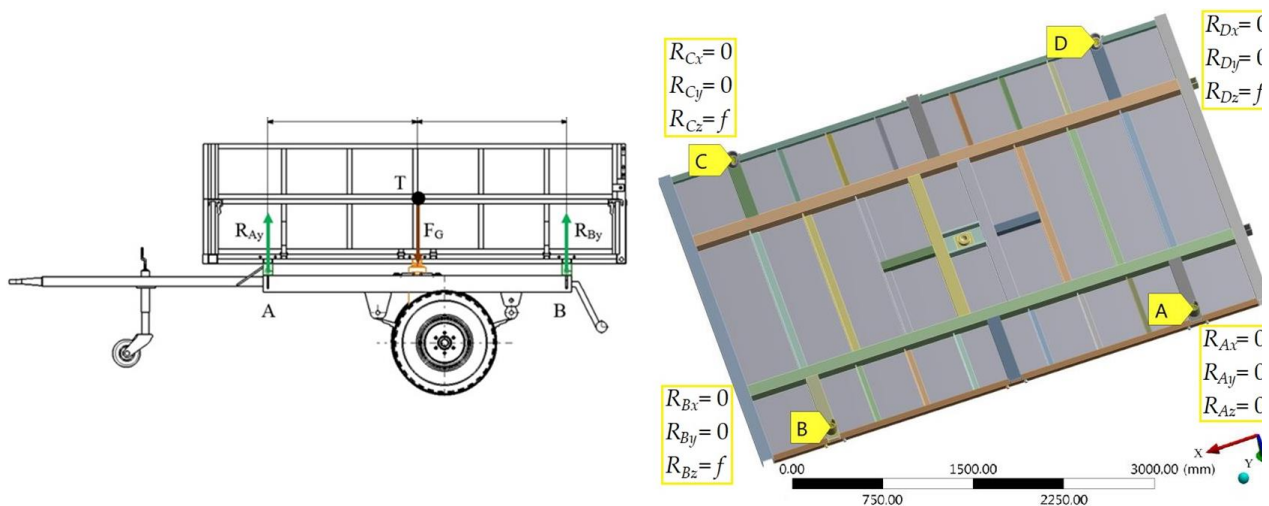
modelu a určenie jednotlivých spojov danými prvkami modelu. Kvadratické šesťstenné prvky boli definované v sieti konečných prvkov s veľkosťou prvku 10 mm. Vytvorená sieť konečných prvkov v nadstavbe ako aj jej detail je na obr. 4.

Definovanie okrajových podmienok závisí od daného zaťažovacieho stavu, ktorý sa skúma. Posudzovali sa tri prípady zaťaženia, a to zaťaženie na rovnej ceste, zaťaženie pri spätnom preklápaní a nakoniec zaťaženie pri bočnom vyklápaní.

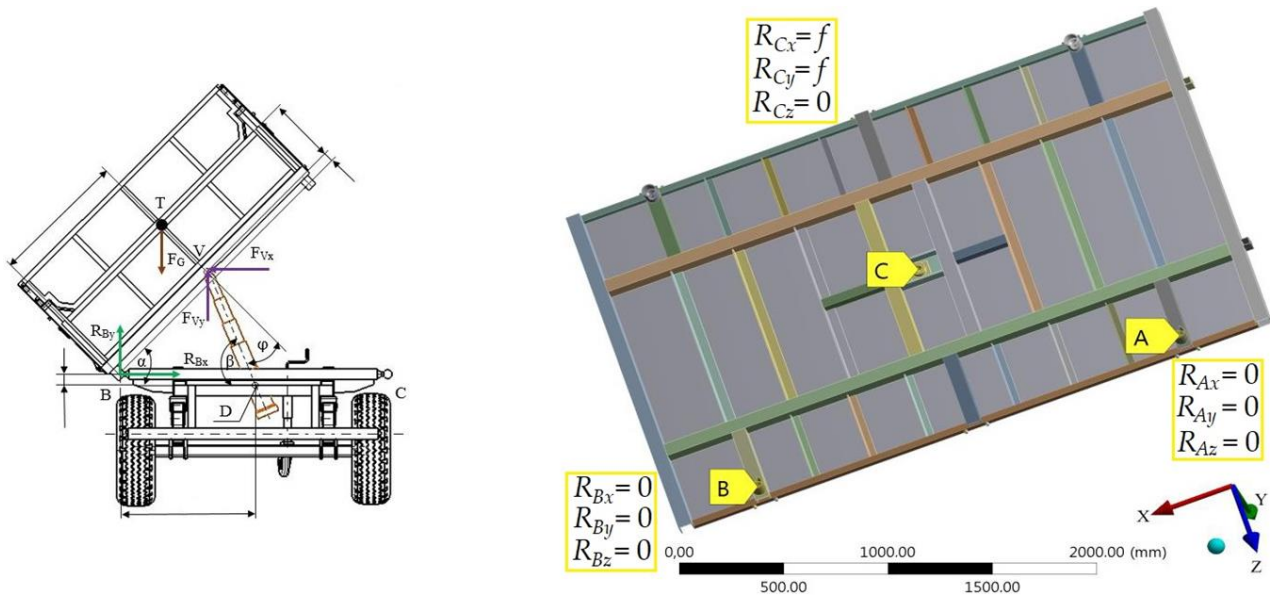
Prvý prípad zaťaženia je pre jazdu po rovnej ceste (obr. 5). Nadstavba spočíva na štyroch pologuľových prvkoch umiestnených po stranách nadstavby. Preto sú v týchto miestach definované stupne voľnosti (obr. 5).

hodnotu zaťaženia $F_{1st} = 44145$ N.

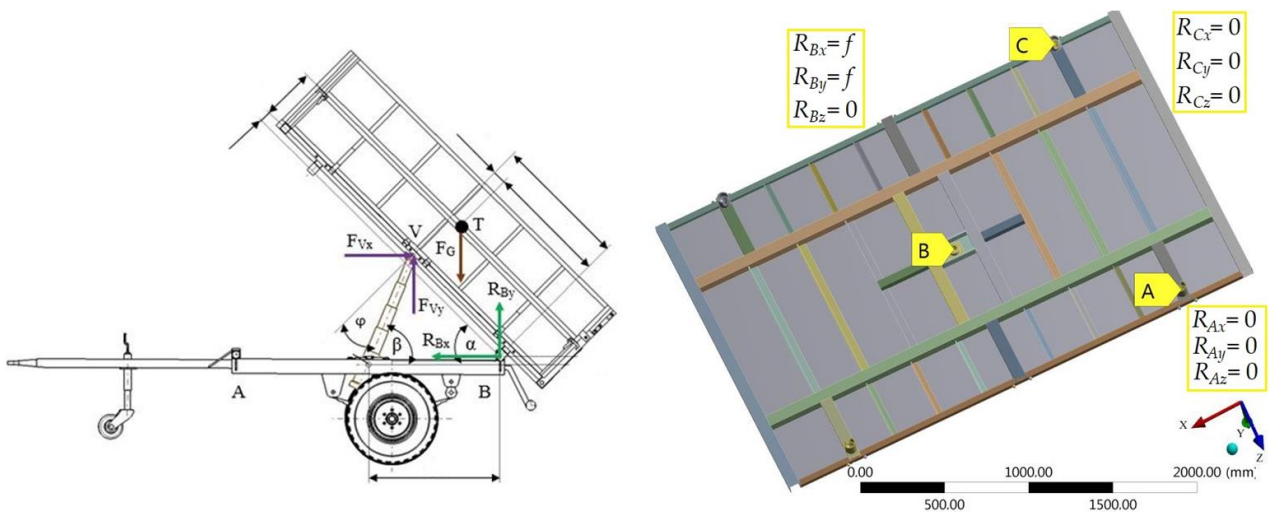
Druhý prípad zaťaženia je pri bočnom sklápaní. Na tento účel sa nadstavba opiera o strednú prírubu a bočné pologuľové prvky (obr. 6). V opísaných miestach sú definované stupne voľnosti (obr. 6), pri ktorých nezáleží na tom, či uvažujeme s pravostranným preklápaním alebo ľavostranným preklápaním. Je to vďaka symetrickému dizajnu nadstavby. Je potrebné poznamenať, že obr. 6 znázorňuje ilustračnú situáciu. Najnepriaznivejší prípad zaťaženia je však pre moment, keď sa nadstavba začne zdvíhať, teda pre veľmi malý uhol sklonu α ($\alpha = 1^\circ$). Keďže preklápanie je počas jazdy zakázané, dynamický koeficient δ_D sa neberie do



Obr. 5. Sily a reakcie definované v konštrukcii pre prvý zaťažovací prípad



Obr. 6. Sily a reakcie definované v konštrukcii pre druhý zaťažovací prípad



Obr. 7. Sily a reakcie definované v konštrukcii pre tretí zaťažovací prípad

úvahy a zaťaženie pre druhý prípad zaťaženia F_{2nd} je dané formuláciou:

$$F_{2nd} = m \cdot g \quad (2)$$

Dosadením známych hodnôt (tab. 1) dostávame hodnotu zaťaženia $F_{2nd} = 29430$ N.

Posledným zaťažovacím stavom (tretím zaťažovacím stavom) je situácia, keď sa nadstavba nakloní dozadu (obr. 9). Nadstavba spočíva na dvoch zadných bočných pologuľových prvkoch a na strednej prírubke (obr. 10). Obrázok 10 znázorňuje definíciu stupňov voľnosti. Podobne ako v predchádzajúcom prípade, aj obr. 9 predstavuje názornú situáciu. To znamená, že najnepriaznivejší prípad zaťaženia je aj v momente, keď sa nadstavba začne zdvíhať a uhol sklonu je $\alpha = 1^\circ$. Dynamický koeficient δ_D sa opäť neuvažuje. Zaťaženie pre tretí zaťažovací stav F_{3rd} je dané formuláciou:

$$F_{3rd} = m \cdot g \quad (3)$$

Hodnota zaťaženia je rovnaká ako pre druhý zaťažovací stav, teda $F_{3rd} = 29430$ N.

2 VÝSLEDKY A DISKUSIA

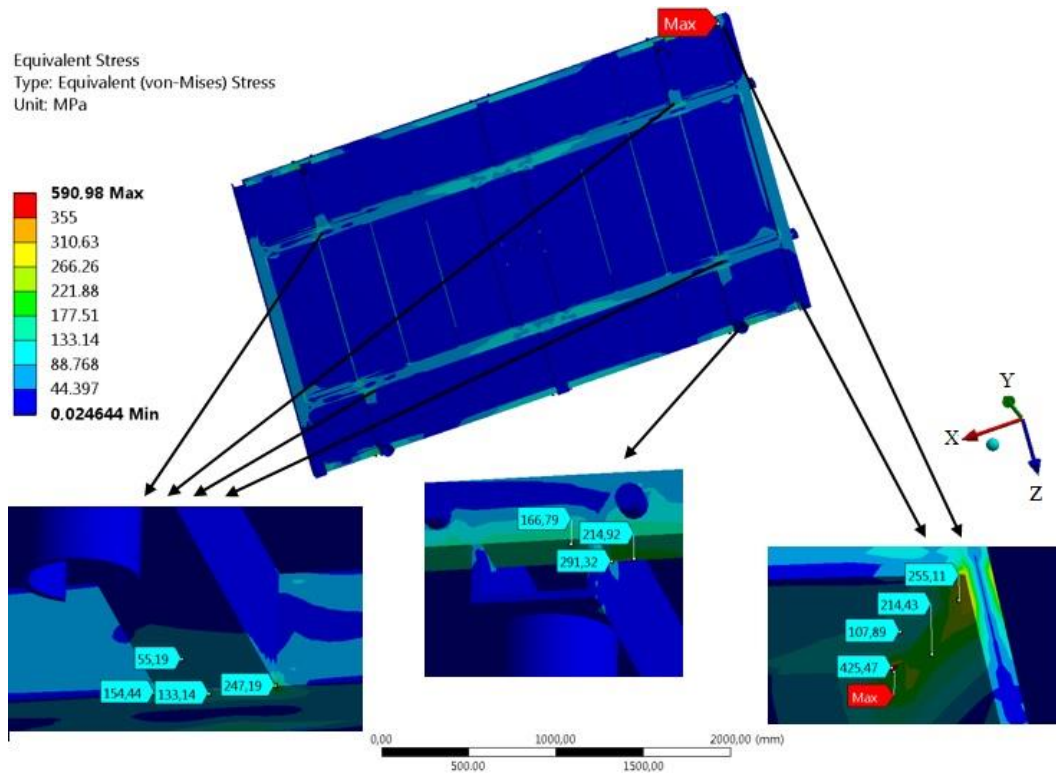
Táto časť obsahuje výsledky pevnostných výpočtov nadstavby pre jednotlivé vyššie popísané zaťažovacie stavy.

Obrázok 8 zobrazuje rozloženie napätí v konštrukcii pre prvý prípad zaťaženia. Možno konštatovať, že maximálne redukované napätie (*von Mises*) sa sústreďuje v oblasti, kde sú pozdĺžne bočné profily (s rozmermi 35 mm x 35 mm x 3 mm) spojené s bočnými profilmi (s rozmermi 70 mm x 70 mm x 5 mm). Detailne je to vidieť na obr. 8. V strednej časti je najviac zaťažených pár pozdĺžnych profilov. Číselné hodnoty ukázali, že nie sú prekročené maximálne dovolené napätia a konštrukcia spĺňa pevnostné podmienky pre prvý zaťažovací stav.

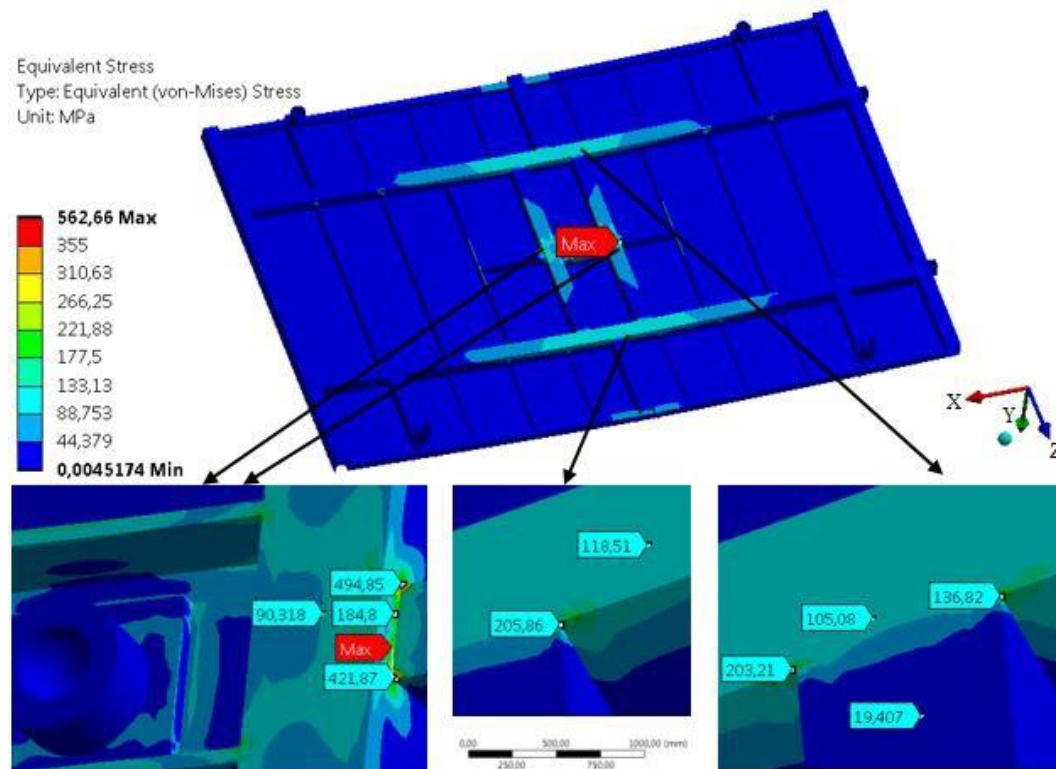
Výsledky pevnostnej analýzy pre druhý zaťažovací stav sú znázornené na obr. 9. Po pevnostných analýzach je

zrejme, že stredná časť nadstavby patrí k najviac zaťaženej konštrukčnej časti nadstavby. V tomto mieste sa uvažuje o montáži hydraulického valca. Vyššie hodnoty redukovaných napätí (*von Mises*) sú spôsobené spojením menších pozdĺžnych profilov (50

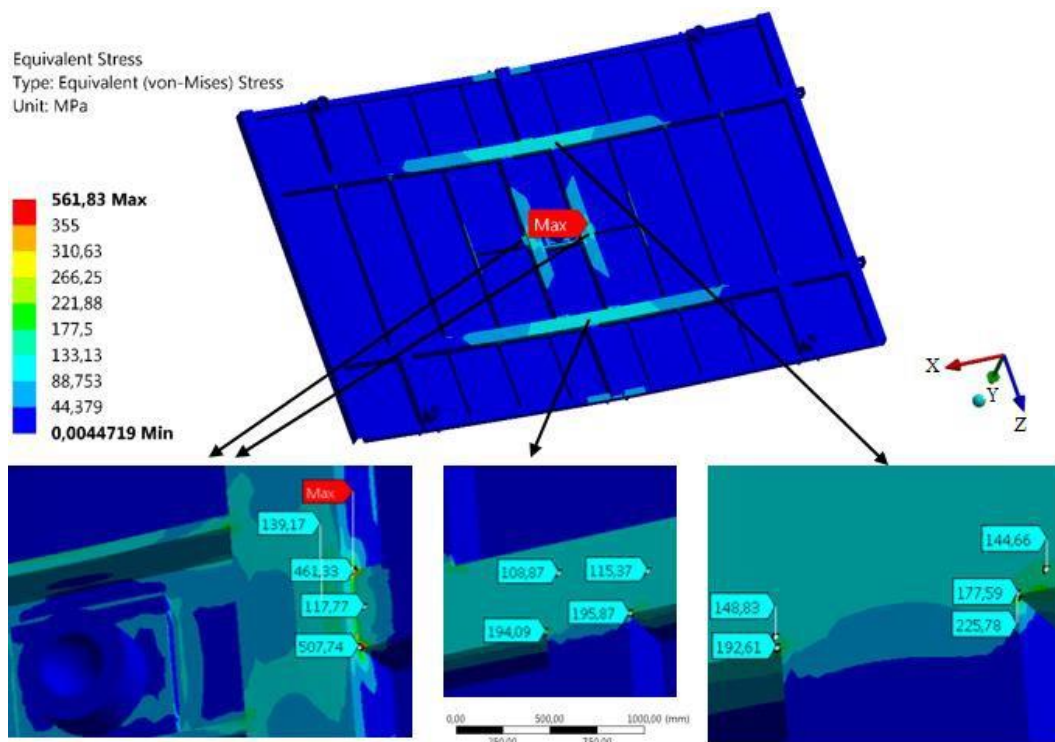
mm x 50 mm x 5 mm) s bočnými nosnými profilmi (70 mm x 70 mm x 5 mm). Toto je zobrazené na obr. 10. Tieto pevnostné analýzy ukázali, že žiadne zaťaženie zodpovedajúce druhému zaťažovaciemu stavu neprekračujú hodnotu dovoleného napätia použitého materiálu.



Obr. 8. Grafické zobrazenie rozloženia napätí v konštrukcii korby pre prvý zaťažovací stav



Obr. 9. Grafické zobrazenie rozloženia napätí v konštrukcii korby pre druhý zaťažovací stav



Obr. 10. Grafické zobrazenie rozloženia napätí v konštrukcii korby pre tretí zaťažovací stav

Numerické analýzy nadstavby pre tretí zaťažovací stav viedli k rozloženiu napätia v konštrukcii, ako je zobrazené na obr. 10. Ako je možné vidieť, vyklápanie do strany spôsobuje najväčšie hodnoty redukovaného napätia (von Mises) v stredovej časti nadstavby rámu, kde je montovaný hydraulický valec a tiež v oblasti konštrukcie, kde sú umiestnené hlavné pozdĺžniky rámu. Ani v prípade tohto zaťažovacieho stavu neboli prekročené maximálne hodnoty napätí v konštrukcii nadstavby.

Dosiahnuté výsledky pevnostných analýz rámu nadstavby pre jednotlivé záťažové stavy ukázali, že hlavné nosné profily rámu sú zaťažené najmä v strednej časti nadstavby, kde je namontovaný hydraulický valec. Tieto napätia sú v rámci prípustných hodnôt napätia.

ZÁVER

Konštrukcia nadstavby pre jednonápravový prívos bola navrhnutá spolu so samotným prívosom. Navrhnutá nadstavba je určená pre použitie ako univerzálna trojstranná sklápacia korba pre prepravu materiálu rôzneho druhu. Príspevok prezentuje statickú analýzu rámu nadstavby a celej konštrukcie pre tri zaťažovacie stavy, ktoré reprezentujú hlavné druhy zaťaženia, ktoré sa môže vyskytnúť počas prevádzky prívosu. Výsledky statických analýz ukázali, že konštrukcia prívosu spĺňa požiadavky z hľadiska predpísaných limitných hodnôt.

Pod'akovanie

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 031ŽU-4/2023: „Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného programu Vozidlá a motory.“

LITERATÚRA

- [1] GERLICI, J. - SAKHNO, V. - YEFYMENKO, A. - VERBITSKII, V. - KRAVCHENKO, A. - KRAVCHENKO, K. (2018): *The stability analysis of two-wheeled vehicle model*. In: MATEC Web of Conferences, vol. 157.
- [2] HARUŠINEC, J. - SUCHÁNEK, A. - LOULOVÁ, M. - STRÁŽOVEC, P. (2018): *Design of a device to simulate environmental influences on the course of brake tests*. In: MATEC Web of Conferences, vol. 157.
- [3] FOMIN, O. - GERLICI, J. - LOVSKA, A. - KRAVCHENKO, K. - PROKOPENKO, P. - FOMINA, A. - HAUSER, V. (2019): *Durability determination of the bearing structure of an open freight wagon body made of round pipes during its transportation on the railway ferry*. In: Communications – Scientific Letters of the University of Zilina, vol. 21, pp. 28-34.
- [4] ŠTASTNIAK, P. - KURČÍK, P. - PAVLÍK, A. (2018): *Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform*. In: MATEC Web of Conferences, vol. 235.
- [5] JAKUBOVICOVA, L. - SAPIETOVA, A. - MORAVEC, J. (2018): *Static analysis of transmission tower beam structure*. In: MATEC Web of Conference, vol. 244.