

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH, STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

sborník přednášek

Dolany 9. - 11. září 2024

Sborník je určen účastníkům

**50. mezinárodní vědecká konference kateder dopravních,
manipulačních, stavebních a zemědělských strojů**

Za obsahovou a jazykovou správnost odpovídají autoři jednotlivých příspěvků..

Sestavil : doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Název : 50. mezinárodní vědecká konference kateder dopravních,
manipulačních, stavebních a zemědělských strojů

Datum : září 2024

Počet stran: 176

Počet výtisků: 40

Vydal : Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství

Tisk: Tribun EU s.r.o., Brno

© VUT Brno 2024

ISBN 978-80-214-6252-6

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

OBSAH

str.

Janka Šaderová, Valeria Sulla Podliesna 3 NÁVRH AUTOMATIZÁCIE PROCESU TRIEDENIA
BATOŽINY NA LETISKU

Simona Špírková 11 ROZŠÍŘENÁ REALITA JAKO PŘEDMĚT ASISTENCE PRE VODIČOV V PREPRAVE

Marcela Malindžáková
SPECIFICATION AND TRANSPORT SOLUTION FOR THE BEVERAGE PACKAGING 20 RETURN
SYSTEM

Jozef Kulka, Martin Mantič, Anton Illéš 27 VÝPOČTOVÁ PRÍPRAVA KONŠTRUKCIE

HISTORICKÉHO EXPONÁTU ŽERIAVA *Silvia Maláková* 35 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH

ZARIADENIA NA PREPRUVU VEĽKOROZMERNÝCH FORIEM *Milan Helexa, Jozef Krilek* 41

EXPERIMENTÁLNY VÝSKUM V OBLASTI TERAMECHANIKY *Jozef Krilek, Filip Ivanič* 50

KONŠTRUKČNÝ NÁVRH HNACIEHO VÝVOZNÉHO VOZÍKA ZA MALOTRAKTOR

Marián Kučera
ANALÝZA MAZACIEHO OLEJA AKO ÚČINNÝ NÁSTROJ PREDIKTÍVNEJ ÚDRŽBY – 60
PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA

Jaroslav Matej, Marián Kučera
OPTIMAL SHAPE OF FIRE-FIGHTING ADAPTER OF FOREST SKIDDER IN TERMS 65 OF STATIC
STABILITY

Ján Dižo, Alyona Lovska, Miroslav Blatnický, Vadym Ishchuk

VÝPOČTOVÝ MODEL VIAZANEJ MECHANICKEJ SÚSTAVY KOĽAJOVÉHO VOZIDLA 71 S
PODDAJNÝCH KOMPONENTNOM

Alyona Lovska, Juraj Gerlici, Ján Dižo

SÚČASNÉ TRENDY V KONŠTRUKCII NÁKLADNÝCH VAGÓNOV PRE INTERMODÁLNU 81
DOPRAVU

Peter Holub, Ladislav Gulan, Miroslav Nagy, Martin Nagy

VERIFIKÁCIA KONŠTRUKČNÉHO NÁVRHU MANIPULAČNÉHO MECHANIZMU 93
VYUŽÍVANÉHO KRÍZOVÝM MANAŽMENTOM HASIČSKÝCH A ZÁCHRANNÝCH ZBOROV

Martin Dvořák, Robert Brázda, Karel Břemek

PARAMETRY VÝPUSTNÉHO OTVORU ZÁSOBNÍKU SYPKÝCH HMOT A JEJICH VLIV NA 104
SKLADOVÁNÍ

- 1 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Karel Břemek, Robert Brázda, Martin Dvořák 113

VIBRACE A JEJICH VLIV NA SKLADOVACÍ

SYSTÉMY SYPKÝCH HMOT *Štefan Čorňák* 122

VYBRANÉ PROBLÉMY HODNOCENÍ PALIV

VOZIDEL *Jiří Štoček, Martin Sedláček, Jakub Sokola* 128

VYUŽITÍ CHYTRÝCH OBJEKTŮ V

SIMULAČNÍM MODELU

Václav Mergl, Jaroslav Kašpárek, Lukáš Zeizinger, Jiří Frühbauer

MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ STYČNÉ PLOCHY LESNÍCH KOLOVÝCH TĚŽEBNĚ DOPRAVNÍCH 130
STROJŮ

Lukáš Zeizinger, Přemysl Pokorný 138

DETAILNÍ SIMULACE NÝTOVÉHO SPOJE

Miroslav Škopán, Jaroslav Kašpárek

VÝCHODISKA PRO VYUŽÍVÁNÍ RECYKLOVANÝCH SDO PRO VÝROBU CEMENTOVÝCH 144
KOMPOZITŮ SE SNÍŽENÝM DOPADEM NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Tomáš Pánek, Alexandre Monin, Jiří Pakosta, Gabriela Achtenová 148

ZKUŠEBNÍ STANICE

PRO TESTOVÁNÍ BEZPEČNOSTI CHODCŮ *Jaroslav Kašpárek, Václav Mergl, Lukáš Zeizinger,*

Miroslav Škopán 154 ŘÍZENÍ PÁSOVÝCH PODVOZKŮ

Jiří Frühbauer

TVORBA VIRTUÁLNÍHO MODELU ČELISTŮVÉHO DRTIČE POMOCÍ KOSIMULACE DEM-MBD 160
SIMULACE V PROSTŘEDÍ EDEM-MOTIONSOLVE

Dalibor Barta, Filip Gróf, Miloš Brezáni 166

VÝUČBOVÝ MODEL VOZIDLA S PALIVOVÝM ČLÁNKOM

NÁVRH AUTOMATIZÁCIE PROCESU TRIEDENIA BATOŽINY NA LETISKU

Janka Šaderová¹, Valeria Sulla Podliesna¹

¹Ústav logistiky a dopravy, FBERG, Technická univerzita v Košiciach,
janka.saderova@tuke.sk; valeriia.sulla.podliesna@student.tuke.sk

PROPOSAL FOR AUTOMATING THE BAGGAGE SORTING PROCESS AT THE AIRPOR

Abstract: *The paper proposes to improve the baggage handling procedure at Kosice International Airport with a focus on optimizing the processes related to the transportation and handling of passenger baggage. The current state of baggage handling procedures was analysed at Kosice International Airport. The analysis results in a few recommendations and proposals for the introduction of new procedures and technologies that could improve the efficiency, accuracy and speed of baggage handling.*

Key words: *Kosice international airport, baggage handling system, baggage sorting,*

ÚVOD

Systémy manipulácie s batožinou sú kľúčovým faktorom pre chod letiska. Systém manipulácie s batožinou a jeho účinnosť je kľúčovou súčasťou letiskovej infraštruktúry, ktorá významne ovplyvňuje prestíž letiska a jeho atraktivnosť pre letecké spoločnosti. Spokojnosť cestujúcich je neoddeliteľne spojená s dokonalým fungovaním odbavovania batožiny a patrí medzi jeden z hlavných parametrov pri výbere medzipristátia leteckých spoločností. Hlavným cieľom optimálneho systému je rýchle premiestnenie batožiny z jedného konca letiska na druhý a synchronizácia s časom cesty príslušného cestujúceho. Stredné a veľké letiská zvyčajne využívajú

automatizované zariadenia systému odbavovania batožiny, ktoré zahŕňajú dopravné pásy, strategicky umiestnené triediace systémy a pokročilé identifikačné technológie, ako sú čítačky čiarových kódov alebo štítky RFID. Integrácia týchto prvkov vytvára sofistikovaný manipulačný systém, ktorý zabezpečuje plynulý prechod batožiny cez letisko. Cieľom tohto príspevku je prezentovať výsledky systémovej analýzy systému na presun batožiny z check-inu k nástupnej bráne na vybranom letisku. Identifikovať úzke miesto a navrhnúť spôsob jeho odstránenia.

HLAVNÉ ÚLOHY SYSTÉMU NA MANIPULÁCIU S BATOŽINOU

Batožinu môžeme definovať ako osobné veci leteckého cestujúceho alebo posádky, ktoré sa v zmysle platných predpisov prepravujú na palube alebo v podpalubí lietadla [1]. Manipulačný systém má tri hlavné úlohy (Obr. 1), z ktorých každá prispieva k optimalizácii pohybu batožiny v rôznych prevádzkových fázach:

- 5 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

1. Presun batožiny z check-inu k nástupnej bráne.

2. Premiestňovanie batožiny z jednej brány do druhej počas presunov;

3. Presun batožiny z príletovej brány do priestoru na vyzdvihnutie batožiny. Prvá úloha zahŕňa systematický presun batožiny z miesta odbavenia batožiny k určenej nástupnej bráne. Tento proces si vyžaduje synchronizovanú koordináciu dopravných systémov a automatizovaných triediacich zariadení, ktoré zabezpečujú rýchly a presný postup batožiny zložitým labyrintom letiskovej infraštruktúry.

Premiestňovanie batožiny medzi bránami počas tranzitu, presun batožiny od jednej brány k druhej počas nadväzujúcich letov, je tiež mnohostranná úloha. Premiestňovanie je prispôbené, meniacim sa letovým poriadkom, tak aby sa zabezpečil včasný príchod batožiny k nasledujúcej bráne.

Po prilete lietadla má manipulačný systém zabezpečiť efektívnu prepravu batožiny od príletovej brány do oblasti preberania batožiny cestujúcim.



Obr. 1 Úlohy systému manipulácie z batožinou [2]

AKTUÁLNY SYSTÉM SPRACOVANIA BATOŽINY NA LETISKU V KOŠICIACH

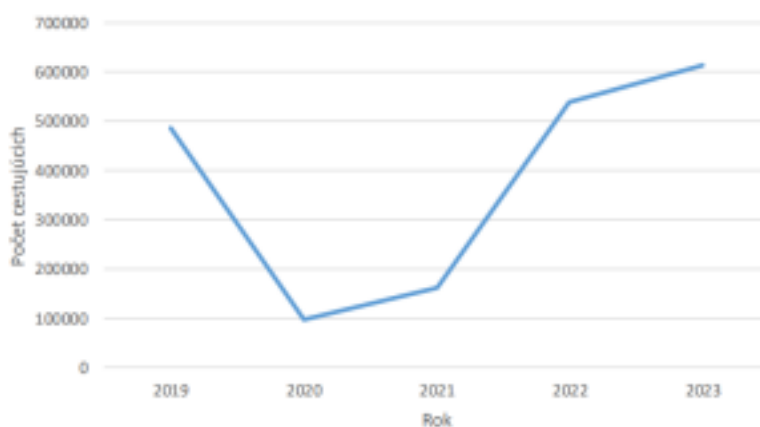
Letisko Košice (kód IATA: KSC, kód ICAO: LZKZ) je medzinárodné letisko, ktoré sa nachádza v mestskej časti Barca, približne 6 km od centra Košíc. Je druhým najväčším letiskom na Slovensku z hľadiska počtu prepravených cestujúcich ročne a počtu pravidelných letov. Z letiska Košice lietajú

pravidelne letecké spoločnosti Austrian Airlines, Ryanair, Wizz Air, LOT a Swiss International Air Lines (SWISS). Lety z letiska Košice majú nasledujúce destinácie: Londýn Luton, Londýn Stansted, Viedeň, Praha, Liverpool, Varšava, Zürich (od marca 2024), Zadar (od marca 2024) a Dublin (znovu od marca 2024). [3] Na obrázku 2 je zobrazené porovnanie celkového počtu cestujúcich za posledných 5 rokov. [4]

Počet cestujúcich je základný prvok, ktorý ovplyvňuje letiskové operácie. Prispôsobenie sa výkyvom počtu cestujúcich je nevyhnutné na zabezpečenie bezproblémového fungovania letiska, od optimalizácie počtu zamestnancov až po rozvoj infraštruktúry a špecializovaných systémov.

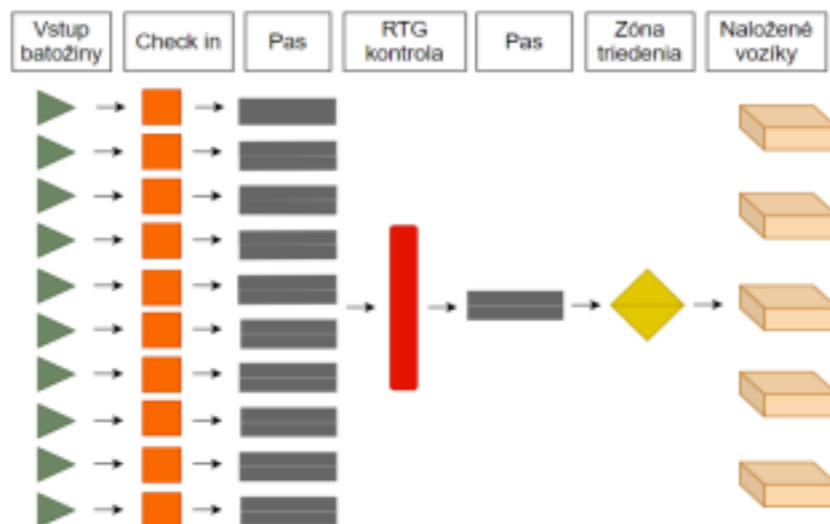
- 6 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ



Obr. 2 Počet cestujúcich od roku 2019 do roku 2023

Na obr. 3 je schéma súčasného stavu presunu batožiny na letisku. Proces presunu batožiny na letisku Košice sa začína pri desiatich odbavovacích stojanoch, ktoré sú miestom, kde cestujúci odovzdajú batožinu a táto je zaregistrovaná do leteckého systému. Odbavovacie stojany sú prvotný bod interakcie medzi cestujúcimi a personálom leteckej spoločnosti, ktorý uľahčuje potrebné postupy pred nástupom do lietadla. Proces registrácie je kľúčovou fázou pre presun batožiny, ktorá zahŕňa nalepenie štítku na každú batožinu. Tento štítok slúži ako technologický maják, ktorý umožňuje presné sledovanie a smerovanie batožiny do určeného lietadla. Personál leteckej spoločnosti pridá potrebné informácie o lete do systému na odbavenie batožiny.



Obr. 3 Schéma súčasného systému prepravy batožiny na letisku

Označená batožina s informáciami o lete, je umiestnená na dopravný pás v rámci letiskového systému na manipuláciu s batožinou. Dopravníkový pás premiestňuje batožinu k zariadeniu na röntgenovú kontrolu batožiny. Toto zariadenie je dôležitou súčasťou bezpečnostných systémov letiska a nachádza sa hneď za miestom odbavenia. Vytvorené röntgenové snímky analyzuje bezpečnostný personál alebo automatizované algoritmy na detekciu bezpečnostných hrozieb. Po skončení röntgenovej kontroly, batožina pokračuje v ceste na dopravníkovom páse a je nasmerovaná do príslušnej nakladacej oblasti pre príslušný let. Pásový dopravník je vybavený sériou

- 7 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH, STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

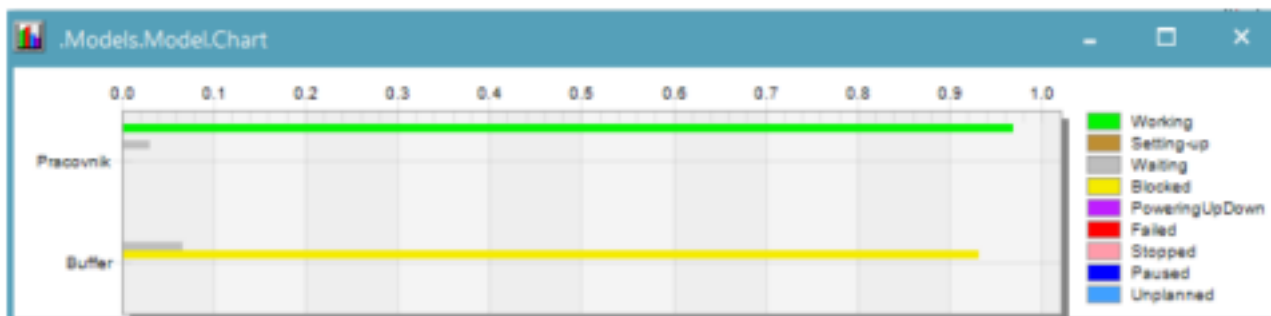
snímačov strategicky umiestnených pozdĺž pásu. Tieto snímače sú navrhnuté tak, aby monitorovali pohyb a stav batožiny počas jej presunu. Dopravníkový systém je navrhnutý tak, aby vykladal batožinu v triediacom priestore. Triediaci priestor je určený na triedenie a spracovanie batožiny. Senzory používajú infračervené snímače na zisťovanie prítomnosti a pohybu každého kusu batožiny. Hlavným účelom systému založeného na senzoroch je zabrániť prepĺneniu triediarne. Zastavením dopravníka v prípade, že batožina nie je vyzdvihnutá, systém zabezpečuje, aby sa triediaci priestor neprepĺnil batožinou bez obsluhy, čo by mohlo brániť ďalšiemu spracovaniu. Celý proces je sledovaný na monitoroch dozorným pracovníkom.

Dopravníkový pás je ukončený priamym valčekom dopravníkom. Začiatok valčkového dopravníka je vybavený súpravou snímačov. Snímače zabezpečujú, aby sa každý kus batožiny vyzdvihol tak, ako je určené. Ak snímače identifikujú, že sa batožina po určitom čase nevyzdvihne, zastavia dopravníkový pás. Po príchode batožiny do triediacej miestnosti poverený zamestnanec nasmeruje každý kus batožiny k určenému letu. Zamestnanci majú k dispozícii tzv. "kartu Bingo" (papierová dokument) na ktorej je uvedené očakávané množstvo batožiny pre každý let. Čísla na tejto karte zodpovedajú predpokladanému počtu batožiny pridelenej na konkrétne lety. Po príchode batožiny zamestnanec ručne zdvihne každý kus a prečíta štítky, oddelí lepiacu časť štítku a pripevní ju k číslu na papierovej "karte Bingo" Tento manuálny, ale presný postup zabezpečuje hmatateľné a vizuálne potvrdenie, že každá batožina je spracovaná. Následne je batožina naložená do vozíka pre príslušný let. Počas triedenia sa batožina kategorizuje na základe kritérií, ako je trieda cestujúceho (napr. biznis trieda) a to, či má prípojný let. Po kategorizácii sa týmto

Špeciálnym batožinám prideli určitý nakladací priestor v lietadle. Cieľom tohto starostlivého usporiadania je uľahčiť rýchly a jednoduchý prístup personálu pozemnej obsluhy po prilete.

Úzkym miestom súčasného systému presunu batožiny od jej prebratia od cestujúceho po jej naloženie do lietadla je súčasný spôsob manuálneho triedenia batožiny, ktorý dosahuje už svoje hraničné možnosti (vzniká hromadenie batožiny na triediacom pracovisku). Túto skutočnosť potvrdili aj simulačné experimenty, ktoré boli vykonané na simulačnom modeli súčasného systému v programe Plant Simulation , obr. 4 [4].

Z dôvodu rastúceho počtu cestujúcich a batožiny je dôležité odstrániť toto úzke miesto. Modernizácia triedenia batožiny by zabezpečila spoľahlivý a nepretržitý proces jej triedenia.



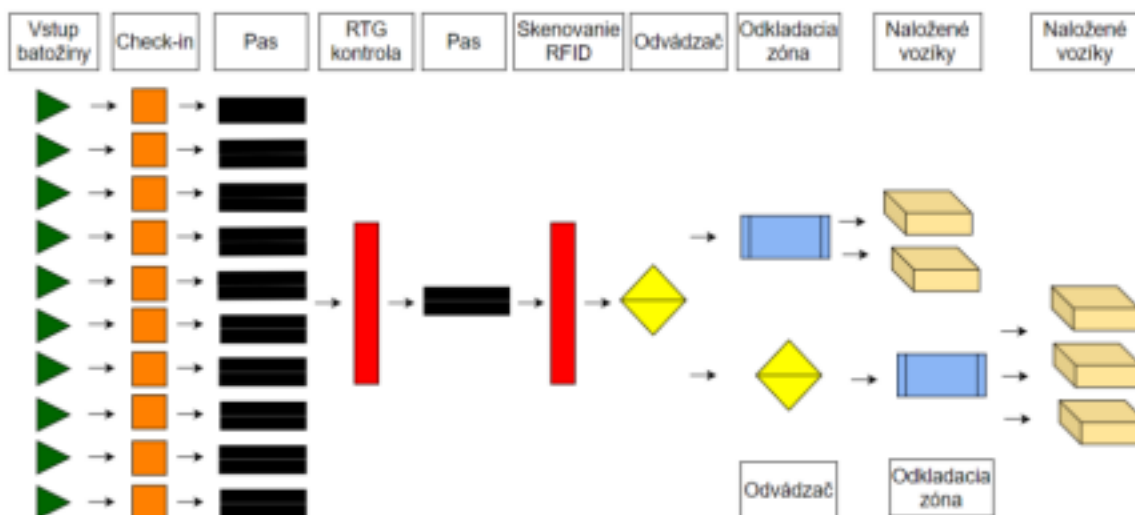
Obr. 4 Výsledky získané zo simulačného experimentu

- 8 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH, STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

NÁVRH AUTOMATIZÁCIE PROCESU TRIEDENIA BATOŽINY NA LETISKU

Na odstránenie úzkeho miesta ja navrhnutá automatizácia triediaceho procesu. Zavedením automatizácie by sa zvýšila kapacita, efektívnosť a priepustnosť batožiny cez triediace pracovisko. Na obr. 5 je zobrazená schéma prepravy batožiny s automatizovaným triedením.



Obr. 5 Schéma navrhovaného systému prepravy batožiny na letisku

Návrh zahŕňa použitie nových zariadení [4]:

Inteligentná čítačka RFID na triedenie - ktorá bude sledovať prechod batožiny, čítať a rozlišovať

Štítky RFID na batožine a poskytovať údaje o poznávacích značkách systému na triedenie. Bude umiestnená na vstupe do triediča batožiny.

Infračervené senzory – na monitorovanie úrovne naplnenia gravitačného dopravníka, na kontrolu či boli kufre vyzdvihnuté a umiestnené na vozík, na kontrolu polohy horizontálnych rozdeľovačov batožiny a vstup kufra do triediaceho systému.

Horizontálny dopravníkový odkláňač (odvádzač) – na triedenie batožiny do odkladacích zón.

Gravitačné dopravníky – zabezpečujú prechod toku batožiny z dopravníka na nakladacie zariadenie v nižších výškach.

Inteligentné obrazovky – ktoré by mali nahradiť „kartu Bingo“.

Na základe výsledkov zo simulačného modelu pre navrhovaný systém triedenia, pri použití 5 gravitačných dopravníkov, by došlo k 25% zvýšeniu maximálnej kapacity súčasného systému a odstráneniu hromadenia batožiny pred jej nakladaním do vozíka. Na grafoch, obr. 6, sú porovnané výsledky zo simulačných experimentov pre súčasný a navrhovaný stav triedenia.

Výsledky zo simulačných experimentov potvrdzujú účinnosť a efektívnosť implementácie automatizovaného systému triedenia.

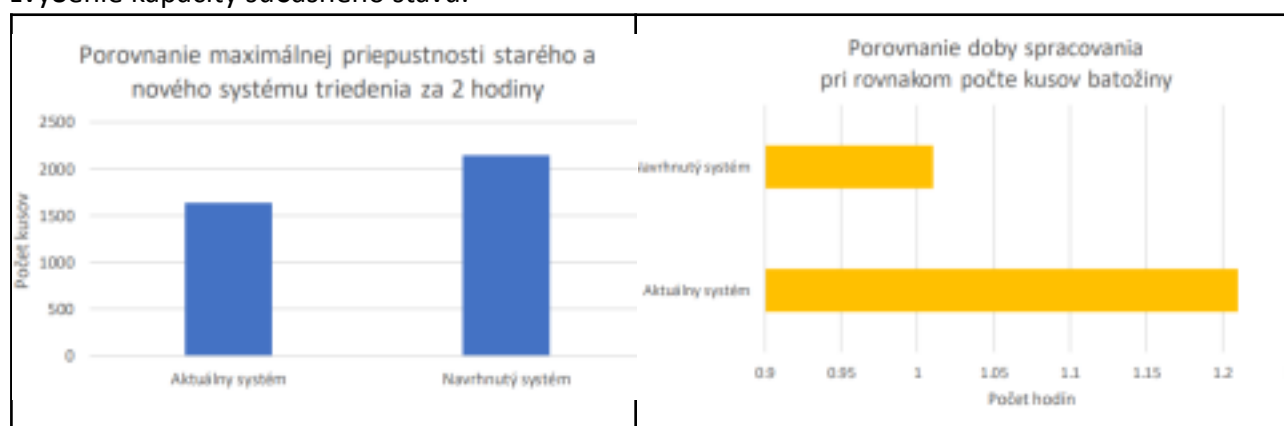
ZÁVER

V príspevku je vykonaná analýza súčasného systému prepravy batožiny na letisku v Košiciach. Na základe analýzy bolo identifikované úzke miesto systému – triedenie batožiny, ktoré bolo potvrdené aj simuláciou. Príspevok prezentuje návrh implementácie automatizácie triediaceho

- 9 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

procesu. Porovnanie simulačných experimentov pre súčasný a navrhovaný stav potvrdilo 25% zvýšenie kapacity súčasného stavu.



Obr. 6 Porovnanie vybraných parametrov

Zavedením automatizovaného systému triedenia môže letisko Košice dosiahnuť vyššiu prevádzkovú efektívnosť, skrátenie času vybavovania batožiny a zvýšenie spokojnosti cestujúcich. Navrhované zlepšenia sú v súlade s osvedčenými postupmi manipulácie s batožinou v leteckej doprave. Zavedením automatizácie a využitím moderných technológií si letisko môže zabezpečiť udržateľný rast a úspech v čoraz súťaživejšom leteckom priemysle.

LITERATURA

- [1] MELNÍKOVÁ, Lucia - PUŠKÁŠ, Tomáš - VITKOVIČOVÁ, Dominika. Postup riešenia straty zapísanej batožiny. In: New Trends in Civil Aviation 2016. - Žilina : Edis, 2016 S. 54-59. - ISBN 978-80- 554-1252-8
- [2] How does the airport luggage handling system work? [cit. 2024-05-10]. Dostupné na internete: <https://rb.gy/utextt>
- [3] FAQ. [cit. 2024-05-10]. Dostupné na internete: <https://www.letisko-kosice.sk/faq/> [4] SULLA PODLIESNA, Valeriia. Návrh na zlepšenie postupu manipulácie s batožinou na letisku v Košiciach: Diplomová práca. Košice: TUKE FBERG, 2024. 69 s.

Paďakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory projektov KEGA č. 013TUKE-4/2023 Tvorba a inovácia vysokoškolského a celoživotného vzdelávania v odbore doprava na báze rozvoja digitálnych a praktických zručností a projektu VEGA 1/0728/24 Výskum možností implementácie senzorických technológií a vizualizačných metód pre potreby digitálnej transformácie potrubných dopravníkových systémov.

- 10 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

ROZŠÍRENÁ REALITA JAKO PŘEDMĚT ASISTENCE PRO VODIČOV V PREPRAVE

Simona Špírková¹,

¹Technická univerzita v Košiciach, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Ústav logistiky a dopravy, Park Komenského 14, 040 01 Košice, simona.spirkova@tuke.sk

AUGMENTED REALITY AS A TOOL OF ASSISTANCE FOR DRIVERS DURING TRANSPORT

Abstract: *Augmented reality (AR) is an innovative technology that has the potential to fundamentally change the way drivers navigate and perceive their environment while in transit. This article explores the use of AR as an assistance tool for drivers, focusing on its applications in driving safety, efficiency and comfort. With AR, drivers can get critical real-time information about road conditions, navigational instructions and potential hazards, all projected directly onto the vehicle's windshield. This approach not only improves the driver's reaction time, but also minimizes the distractions associated with traditional navigation systems. The article also analyses the technological challenges and possibilities of integrating AR into existing automotive systems, as well as future perspectives for the development of this technology in the context of intelligent transport systems.*

Key words: *insert 3 to 5 words that best describe the task*

ÚVOD

Už od začiatku bol pokrok a vývoj našej spoločnosti výrazne ovplyvnení priemyselnou revolúciou. Terajšia vlna priemyselnej revolúcie predstavuje akúsi zmenu paradigmy v priemyselnej výrobe, pretože ponúka jedinečné príležitosti ako zefektívniť a inovovať procesy, a získať tak konkurencieschopnosť na danom trhu. Štvrtá priemyselná revolúcia, alebo Industry 4.0 je charakterizovaná digitalizáciou, kde sa do priemyslu integrujú kybernetické a fyzické systémy, internet vecí, cloud computing a umelá inteligencia. Podľa Schroedera, Bigdeliho, Zarca a Bainesa [1] je v súčasnej dobe možné Industry 4.0 definovať ako digitálnu transformáciu celého priemyselného, ale aj spotrebiteľského trhu či už v rámci prechodu na inteligentnú výrobu, alebo digitalizáciu celých reťazcov. V dnešnej dobe je možné stretnúť sa už aj s aplikáciami, kde používatelia majú možnosť vidieť svet naživo s nejakou grafickou prekrývajúcou sa šablónou, alebo modelom skutočného sveta, ktorú v praxi označujeme ako rozšírená realita (AR - Augmented Reality), pričom ju považujem za súčasť virtuálnej reality (VR – Virtual Reality). Mnohé z týchto aplikácií sú zamerané na podporu podnikom vykonávať určité operácie efektívnejšie [2]. Výnimkou nie sú ani iné odvetvia, ako napr. automobilové technológie. Ide o rýchlo vyvíjajúce sa prostredie, kde sa rozšírená realita (AR) objavuje ako transformačný nástroj, ktorý sľubuje používateľom revolúciu v zážitku z jazdy. AR bezproblémovo integruje digitálne informácie so skutočným svetom a ponúka tak vodičom intuitívnejšiu, informatívnejšiu a bezpečnejšiu jazdu. Táto technológia, ktorá prekrýva údaje v reálnom čase do pohľadu vodiča, je nastavená tak, aby preddefinoval spôsob,

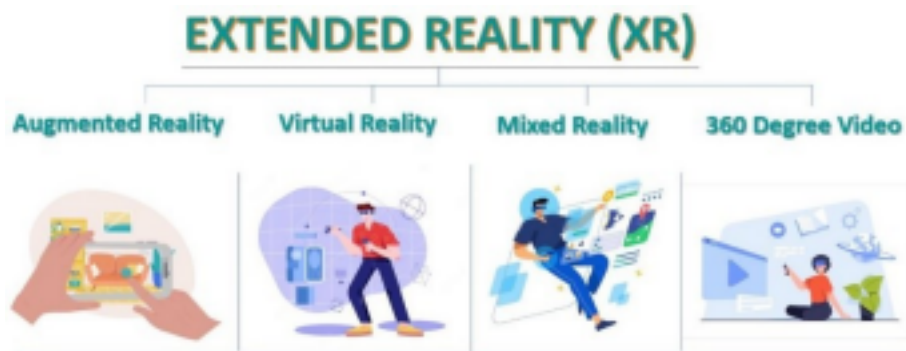
- 11 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

akým interagujeme s našimi vozidlami a ako sa pohybujeme po cestách. Potenciál AR pomáhať vodičom počas prepravy je podľa expertov obrovský a mnohostranný, či už ide o vylepšenie navigácie s presnými pokynmi až po poskytovanie kritických bezpečnostných upozornení a znižovanie kognitívnej záťaže. Keď sa ponoríme do rôznych aspektov AR v rámci jazdy, preskúmame jej súčasné aplikácie, výhody, výzvy dostaneme stručný prehľad o tom, aká budúcnosť nás v rámci tejto inovatívnej technológií v najbližších rokoch čaká.

LITERÁRNY ROZBOR

Ľudskú integráciu vnímame rôznymi spôsobmi, zvyčajne totižto ľudia používajú takmer všetky svoje zmysly na interakciu alebo „prežitie“ nejakej situácie. Hoci rozšírená realita môže osloviť mnoho zmyslov, v praxi ju považujeme za interaktívnu [3]. Rozšírená realita je registrovaná v 3D prostredí a kombinuje skutočné a virtuálne objekty. Definujeme ju ako priamy alebo nepriamy pohľad na fyzické prostredie skutočného sveta v reálnom čase, ktoré bolo vylepšené alebo rozšírené pridaním určitých virtuálnych informácií a dát vygenerovaných pomocou počítača [4].



Obr. 1 Definovanie rozšírenej reality

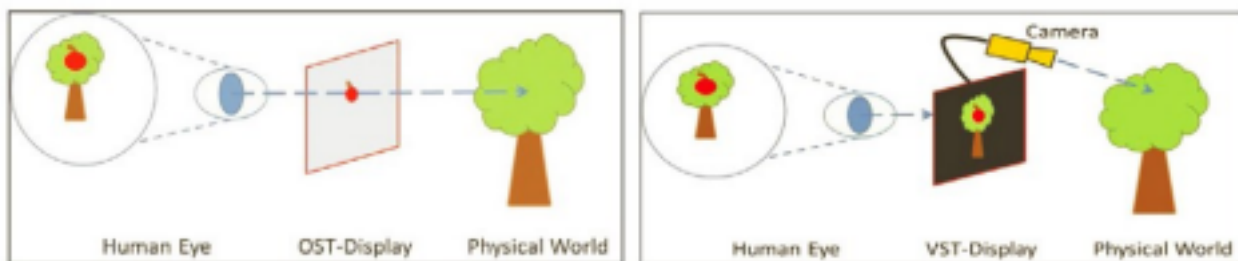
Podľa autorov Schmalstiega a Hollerera, má rozšírená realita potenciál stať sa hlavnou metaforou používateľského rozhrania pre situovanú výpočtovú techniku. Rozšírená realita má totiž jedinečnú kvalitu poskytovania priameho kontaktu resp. prepojenia, medzi fyzickou realitou (skutočnosťou) a virtuálnymi informáciami o tejto realite. Zatiaľ čo virtuálna realita umiestňuje používateľa do úplne počítačom vytvoreného prostredia, cieľom rozšírenej reality je prezentovať informácie, ktoré sú priamo zaregistrované vo fyzickom prostredí, čím sa presahuje rámec medzi virtuálnym svetom a skutočným svetom, a to ako z priestorového tak aj kognitívneho hľadiska. Zatiaľ čo sa názory na to, čo sa kvalifikuje ako výkon v reálnom čase často líšia, či už v rámci závislosti od jednotlivca alebo od úloh a ich aplikácie, interaktivita znamená, že rozhranie človek vs. počítač funguje v tesne prepojenej slučke spätnej väzby. Používateľ neustále prechádza scénou AR a ovláda tak zážitok rozšírenej reality. Systém na oplátku zachytáva vstupy používateľa sledovaním uhla pohľadu alebo pózy daného používateľa, kde následne systém zaregistruje pózu v reálnom svete spolu s virtuálnym obsahom a následne používateľovi predstaví situovanú vizualizáciu. [5]. Rozšírenú realitu možno použiť na počítačoch, tabletoch a smartfónoch. Technológia AR zahŕňa

- 12 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

hardvér a softvér, ktorý dokáže kombinovať obrázky, text, video, zvuk a animácie v 2D alebo 3D forme. Daný obsah sa následne zobrazuje virtuálne nad reálnym prostredím, ktoré je zachytené kamerou v zariadení. Rozšírená realita tak umožňuje spojiť zážitky z oboch svetov a prináša tak výhody v podobe nových metód učenia. V rámci automobilových technológií je dobré spomenúť príklad prepojenia s GPS. Technológia AR má dve typy premietania, ktoré v praxi rozoznávame:

1. Opticky priehľadné displeje (OST – Optical see-through) – ktorý využíva polopriehľadné obrazovky na zobrazenie virtuálneho obsahu, pričom spojenie reálneho a virtuálneho sveta sa deje priamo na našej sietnici, a nie na obrazovke,
2. Priehľadnosť videa (VST – Video see-through) – v tomto prípade používatelia nevidia skutočný svet priamo, no pomocou VST technológie obrazovka zobrazuje kombináciu reálneho a virtuálneho sveta, takže to čo vidíme, je svet vytvorený našim zariadením, pričom mobilné zariadenia zvyčajne používajú zadnú kameru na zachytávanie obrazov vonkajšieho sveta a aplikácia emuluje AR objekt na obrazovke [6].



Obr. 2 Premietanie v rámci AR – rozdiel medzi OST a VST

Pravidlá AR

1. Virtuálne objekty v AR – zobrazujú sa buď na obrazovkách pripevnených na hlave alebo v ruke, skutočná AR vyžaduje, aby boli virtuálne objekty fixované v reálnom prostredí, sledované v reálnom čase pomocou senzorov zariadení, ako sú napr. GPS, akcelerometre alebo gyroskopy,
2. Interakcia v AR – mobilná AR, použiteľná v interiéri aj exteriéri, sa opiera o prístupy založené na senzoch alebo videní, pričom AR založená na senzoch používa orientačné senzory na sledovanie a registráciu virtuálnych objektov (môže však trpieť nepresnosťami a oneskorením, najmä pri rýchlom pohybe), a AR založenú na videní, kde sa využíva kamera zariadenia a algoritmy počítačového videnia na presnú detekciu a umiestnenie objektov,
3. Označenie – značky (či už v 2D alebo 3D priestore) sú nevyhnutné na zobrazenie virtuálnych objektov, pretože označujú, kde by sa tieto objekty AR mali objaviť, technicky zahŕňajú používanie čiarových kódov, QR kódy, fotografie alebo skutočné 3D objekty, niektoré aplikácie AR však neobsahujú značky, a interakcia v takejto podobe môže prebiehať prostredníctvom dotykových obrazoviek na mobilných zariadeniach alebo senzorov na zariadeniach namontovaných na hlave,
4. Architektúra AR – štruktúra aplikácie je rozdelená do 3 vrstiev, prvá, aplikačná vrstva, ktorá spravuje aplikačnú logiku a aktíva, druhá vrstva, vrstva rozšírenej reality,

- 13 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

ktorá sa zaoberá prezentáciou a interakciou objektov a posledná, tretia vrstva, operačný systém, kde hovoríme o rozhraniach s operačným systémom a knižnicami súvisiacimi s AR, 5. Jednotka a herný zdroj – ide o všestranný zdroj určený na vývoj 2D/3D hier a filmového obsahu na viacerých platformách, kde medzi kľúčové vlastnosti patrí editor pre modelovanie, nástroje na tvorbu, profesionálne odstupňovanie farieb a efekty následného spracovania, robustné animačné nástroje s integráciou pre aplikácie tretích strán, dizajn na vysokej úrovni a možnosti vývoja rozšírenej reality,

6. Vuforia SDK – uľahčuje vývoj aplikácií AR pomocou databázy 2D a 3D modelov, podporuje tiež registráciu značiek na prepojenie virtuálnych objektov s fyzickými značkami [6].

MOTIVÁCIA K ŠTÚDIÍ

V posledných rokoch sa používanie automobilov ako primárneho spôsobu dopravy zvyšuje, a šoférovanie sa tak stalo dôležitou súčasťou nášho každodenného života. Vzhľadom na to, že

celosvetový počet vozidiel vzrástol na približne jednu miliardu, bezpečnosť na cestách sa stala kľúčovou výzvou pre spoločnosť, priemysel a politiku. Čoraz viac štátov sa totiž usiluje o hospodársku prosperitu a prichádzajúce a odchádzajúce toky z týchto trhov sa zvyšujú, čo na jednej strane poskytuje príležitosti pre poskytovateľov logistických služieb, ale na druhej strane komplikuje proces samotného doručovania, pretože v jednotlivých krajinách existujú značné rozdiely v obchodných pravidlách a požiadavkách, čo v konečnom následku zvyšuje aj tlak na vodičov. Rýchly rozvoj technológií priniesol nové spôsoby, ako možno rozšíriť zmysly vodičov. Riadenia vozidla sa stalo náročnou úlohou, čo dokazuje aj fakt, že viac ako 80% nehôd, je spôsobených práve chybami vodiča. Každá táto nehoda predstavuje následky zranení alebo aj strát životov. Kooperatívne systémy, ktoré umožňujú vozidlám vzájomnú komunikáciu na dosiahnutie spoločného cieľa, sú široko uznávané. Inteligentné dopravné systémy (ITS) zahŕňajú využitie informačných a komunikačných technológií v dopravnej infraštruktúre a vo vozidlách. V automobilovom priemysle už bolo navrhnutých množstvo riešení, ktoré sa zameriavajú na zber informácií o vozidlách a premávke bez efektívneho stanovenia priorít ich významu. Bezpečná jazda vyžaduje, aby vodiči spracovávali veľké množstvo dynamicky meniacich sa informácií, a to navyše pod značným časovým tlakom. Vodiči však dokážu naraz vnímať len veľmi malé percento zo všetkých vizuálnych podnetov [7].

Na riešenie tohto problému, teda na zmiernenie problémov s riadením spôsobených nadmerným množstvom informácií, navrhujeme pracovať na spôsoboch, ako uľahčiť zobrazenie navigačných pokynov bez toho, aby vodiči museli spustiť oči z cesty. Naše vízie sú zamerané na budúce scenáre, kde nové rozhrania sú kontextovo uvedomelé a prirodzené, aby efektívne sprostredkovali informácie, keď je to bezpečné, a nezvyšovali informačné preťaženie vodiča. Informácie umiestňujeme presne tam, kde ich vodiči potrebujú vo svojom zornom poli. Jednou z takýchto technológií je rozšírená realita, ktorá práve ponúka možnosť poskytovať vodičom množstvo informácií nenápadným spôsobom. Táto technológia má obrovský potenciál v optimalizácii dopravných procesov, čo vedie k výraznému zníženiu pracovného zaťaženia vodičov.

Rozšírená realita by mala tiež pomôcť vodičom vyhýbať sa dopravným zápcham, keďže práve ony často bránia hladkému priebehu dopravných procesov. Experti odhadujú, že dopravné zápchy spôsobujú každoročne stratu približne 1% HDP, a keďže cestná doprava rastie, existuje preto aj veľký dopyt po riešeniach na zlepšenie presnosti dochvilnosti dodávok. Rozšírená realita sa dá vo veľkej miere využívať ako podpora dynamickej dopravy s údajmi o premávke v reálnom čase na optimalizáciu trás alebo ich okamžitú zmenu. Aplikácie s touto podporou, napríklad ako sú okuliare alebo displej na čelnom skle, možno použiť na zobrazenie informácií v reálnom čase v zornom poli vodiča. Nástup AR v rámci dnešných navigačných systémov prináša hlavnú výhodu, kedy vodič nemusí spúšťať oči z cesty, pričom systém poskytuje vodičovi aj informácie o stave jeho vozidla a nákladu (napr. potvrdenie teploty pri preprave potravín). Vďaka použitiu zariadení s AR nie je potrebné používať tlačené zoznamy, dodacie listy alebo iné dokumenty potrebné pre distribúciu tovaru. V moderných distribučných centrách už v dnešnej dobe dostávajú nakladače na svojom zariadení v rámci AR informácie v reálnom čase o tom, ktorá paleta sa má naložiť, alebo kde je potrebné ju umiestniť a podobne. Zariadenia tiež môžu zobrazovať pokyny nakladania pomocou šípok, alebo svetiel, ktoré označujú vhodné cieľové oblasti na umiestnenie nákladu vo vozidle. Tieto informácie môžu byť generované vopred plánovacím softvérom alebo na mieste, pomocou situačného rozpoznávania objektov. Nakladač dokáže umiestniť ďalší náhodný objekt podľa jeho

tvaru tak, aby maximalizoval dostupný priestor a vyhol sa medzerám. Veľkou výhodou AR v porovnaní s klasickými papierovými dokladmi, prepravné doklady podporované systémom AR umožňujú v prípade potreby vykonať zmeny v reálnom čase, čo je v dnešnej rýchlej dobe v procese distribúcie pomerne časté. Podľa štatistík sa však 40-60% času v dodávateľských systémoch nevenuje pohybovým operáciám, ale väčšina tohto času sa spotrebuje na správne uloženie tovaru do vozidla a na ďalšiu distribúciu.

Pred začiatkom aktívneho užívania rozšírenej reality je potrebné vyriešiť dva hlavné problémy: vykresľovanie a spájanie virtuálnych objektov s vysokokvalitným videom a nájdenie transformácie virtuálnej scény na scénu vnímanú človekom. To zahŕňa umiestnenie virtuálnych objektov v správnej 3D polohe a orientácií, aby zodpovedali ľudskému vnímaniu. Pre každú snímku videa musia byť virtuálne objekty správne umiestnené a znovu vykreslené. Riešenie týchto problémov si vyžaduje pokročilé softvérové algoritmy, optimalizáciu hardvéru a integráciu senzorových technológií. To dosiahneme spoluprácou medzi výskumníkmi, inžiniermi a priemyselnými partnermi. Ďalším problémom je spracovanie veľkého množstva informácií vodičmi. Bezpečná jazda totiž vyžaduje, aby vodiči spracovávali dynamické informácie pod časovým tlakom, no môžu sa venovať len malému percentu vizuálnych podnetov naraz. Aby sa znížilo informačné preťaženie, nové rozhrania musia byť kontextovo citlivé a prirodzené, poskytujúce informácie len vtedy, keď je to bezpečné. Informácie by mali byť umiestnené presne tam, kde sú v zornom poli vodiča potrebné.

VYUŽITIE AR PRI PREPRAVE V PRAXI

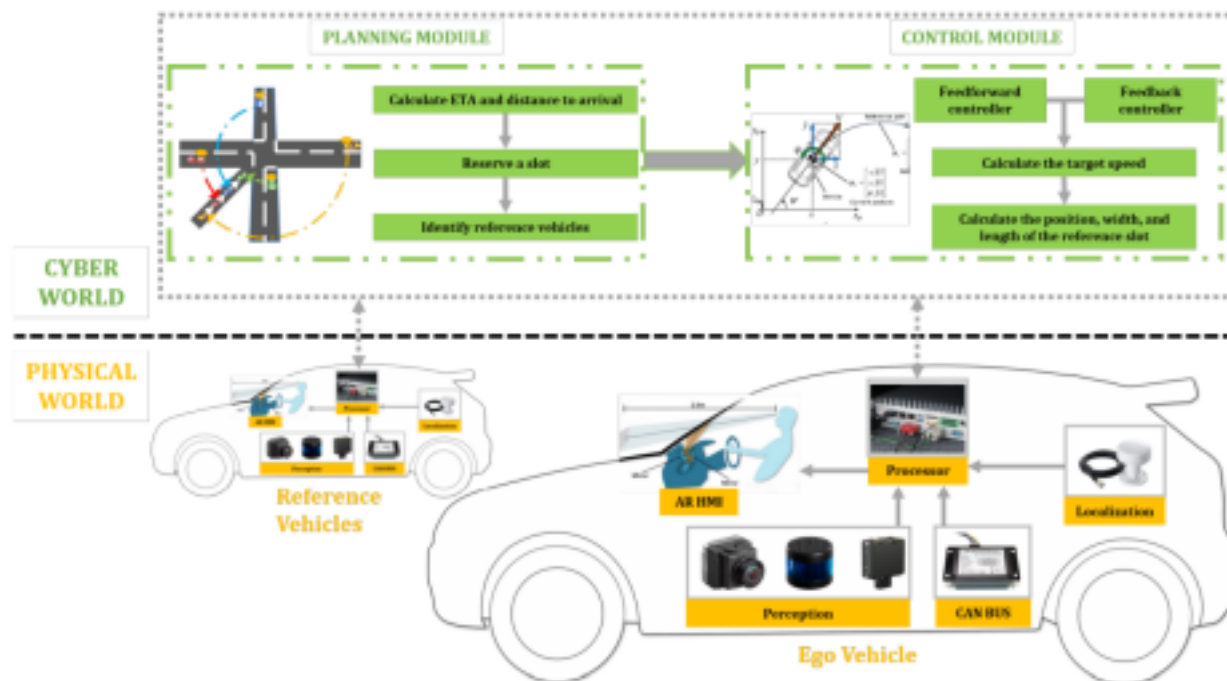
Technológia prepojených vozidiel spôsobila revolúciu v doprave v podobe zlepšenia konektivity vozidiel a umožnila tak vozidlám komunikovať medzi sebou (V2V) a s infraštruktúrou,

- 15 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

cloudom, chodcami a ďalšími (V2X). To umožňuje kooperatívne správanie medzi vozidlami. Výskum sa zamerá na komunikáciu, vnímanie, lokalizáciu, plánovanie a ovládanie, ktoré sú relevantné pre prepojené aj autonómne vozidlá. Úplná automatizácia je stále vzdialená kvôli technickým problémom so zodpovednosťou, vďaka čomu sú pripojené vozidlá poháňané človekom počas prechodu životne dôležité. Táto štúdia zdôrazňuje dôležitosť spolupráce človeka a stroja a potrebu pokročilých systémov vodiča (ADAS) s intuitívnymi rozhraniami človek-stroj (HMI). Navrhované riešenie využíva rozšírenú realitu na prekrytie navigačných informácií na čelnom skle. Skúma scenár, v ktorom vozidlá na nesignalizovaných križovatkách spolupracujú na efektívnom prejazde bez zastavenia pomocou algoritmu plánovania rezervácií slotov a riadiacich algoritmov. Systém je modelovaný pomocou herného zdroja Unity a jeho efektívnosť potvrdzujú simulácie human-in-the-loop (HITL). Štúdia od Wnaga, Hana a Tiwariho predstavuje pokročilý asistenčný systém vodiča (ADAS) pre pripojené vozidlá, ktorý zahŕňa moduly HMI komunikácie, lokalizácie, vnímania, plánovania, riadenia a rozšírenej reality. Dôraz je kladený na plánovanie, riadenie pomocou HMI rozšírenej reality, ktoré vieme použiť na vozidlá poháňané človekom, ale aj pre automatizované vozidlá. Štruktúru digitálneho dvojčaťa spája vozidlá ako vo fyzickom, tak aj v kybernetickom svete bez špecifikácií konkrétnej komunikačnej technológie. V tomto ADAS systéme, vozidlá zhromažďujú údaje prostredníctvom rôznych hardvérových modulov a zdieľajú ich prostredníctvom komunikácie V2X. Kybernetický svet sa zaoberá plánovaním a kontrolou, plánovaním manévrov s vozidlom a výpočtom riadiacich príkazov, ktoré potom vykonávajú vodiči alebo automatizované systémy.

Štúdiá kladie dôraz na dizajn zameraný na človeka, kde HMI riadi plánovacie a riadiace moduly, a nie iba zobrazovanie informácií. Rozšírená realita pokrýva navigačné informácie priamo do zorného poľa vodiča pre intuitívnu interakciu [8].



Obr. 3 ADAS systém

- 16 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH, STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Na základe tejto štúdie bolo vyvinutý ADAS systém založený na rozšírenej realite, ktorý vodičom poskytuje intuitívne vedenie. Na rozdiel od tradičných systémov, kde HMI jednoducho zobrazuje výstupy z iných modulov, tento ADAS navrhuje plánovacie a riadiace moduly okolo HMI pre prístup zameraný na človeka. Metóda rezervácie slotov umožňuje vodičom navigovať na nesignalizovaných križovatkách podľa pokynov AR. Systém je modelovaný a vyhodnotený pomocou herného zariadenia Unity, pričom simulácie človeka v slučke ukázali zlepšenia v cestovnom čase a spotrebe energie. Budúca práca by mala do modelovania a vizualizácie zahrnúť zraniteľných účastníkov cestnej premávky, ako sú chodci a cyklisti. Cieľom je vytvoriť ADAS, ktorý dokáže efektívne riadiť prostredia so zmiešanou dopravou, pričom zaisťuje bezpečnosť a spoluprácu všetkých účastníkov cestnej premávky.



Obr. 4 Ukážka systému ADAS s podporou rozšírenej reality

Naopak Štúdia od Rizova, Kjosevskiho a Tashevskiho pojednáva o výhodách používania Head Up displejov (HUD) a rozšírenej reality v pokročilých asistenčných systémoch vodiča (ADAS) pre vozidlá. Systémy HUD, ktoré premietajú informácie na čelné sklo, pomáhajú skrátiť čas a frekvenciu, keď vodiči odvracajú zrak od vozovky, čím zlepšujú bezpečnosť a časy odozvy. Hoci HUD sa používajú od roku 1988, ich prijatie bolo pomalé kvôli technologickým problémom, hoci dopyt v súčasnosti riaste. Rozšírená realita vylepšuje HUD prekrytím informácií na prvky reálneho sveta, čo vodičom uľahčuje získavanie a spracovanie informácií bez odvádzania ich pozornosti. Medzi hlavné výhody HUD s použitím rozšírenej reality patrí:

- lepšie zameranie vodiča a znížená potreba odvracať zrak od vozovky,
- rýchlejšie reakčné časy a konzistentnejšie ovládanie rýchlosti,
- lepšie situačné uvedomenie a zníženie psychického stresu, najmä u starších vodičov. Výzvy zahŕňajú potenciálnu oklúziu objektov v reálnom svete a potrebu starostlivého návrhu, aby sa predišlo preplneniu zorného poľa vodiča. Napriek tomu ponúka AR významné výhody tým, že obohacuje vizuálne prostredie a poskytuje intuitívne informácie, vďaka čomu je pravdepodobné, že systémy HUD-AR budú v budúcnosti rozšírenejšie. Príkladom HUD-AR je niekoľko systémov, či už na poskytovanie informácií o bezpečnosti jazdy, asistenčné systémy Lane Departure

alebo Night Vision alebo detekcia kritických udalostí na ceste. Systém HUD-AR totiž vo vozidle zvyšuje bezpečnosť tým, že vodičom poskytuje varovanie pred zmenami v trase a prekážkami priamo na čelnom skle. Tento systém zobrazuje navigačné informácie a sleduje jazdné pruhy, dopravné značky a vozidlá, čím poskytuje vodičovi relevantné informácie o prostredí. Funkcia Lane Departure pomáha udržiavať správnu trajektóriu vozidla, čo je užitočné najmä pre neskúsených vodičov a za zlých poveternostných podmienok [9].



Obr. 5 Ukážka HUD-AR

Systém nočného videnia HUD-AR výrazne zlepšuje viditeľnosť v tme tým, že zvýrazňuje polohu chodcov a iných prekážok, čím znižuje pracovné zaťaženie vodiča. Tieto systémy boli prvýkrát použité spoločnosťou Mercedes-Benz v roku 2011. Zobrazovanie informácií priamo na čelnom skle skraca čas potrebný na spracovanie informácií a prijatie opatrení, čím znižuje počet nehôd, najmä u starších vodičov s nižšími reflexami.

ZÁVER

Rozšírená realita má obrovský potenciál ako asistent pre vodičov a môže zaujať kľúčové miesto v dopravnej logistike. Pred rozsiahlym zavádzaním však treba vyriešiť viacero problémov. Po prvé, sú to technické problémy a vysoké náklady na vybavenie. Ďalšou významnou prekážkou je preťaženie vodičov informáciami. Informačný tok z rozšírenej reality môže byť taký intenzívny, že vodiči strácajú koncentráciu na ceste, čo môže viesť k zníženiu produktivity a zvýšeniu rizika nehôd. Na riešenie tohto problému je potrebné vyvinúť špecializované rozhranie a algoritmy na filtrovanie informácií, ktoré budú prispôbené potrebám vodičov, aby mohli efektívne spravovať údaje bez straty pozornosti. Dôležitým aspektom je aj zabezpečenie kompatibility systémov rozšírenej reality s existujúcimi technológiami a infraštruktúrou v doprave. Treba brať do úvahy rôzne modely vozidiel, typy ciest a prevádzkové podmienky, aby AR fungovala efektívne v rôznych situáciách. Ďalším problémom je školenie vodičov na používanie nových technológií. Aj pokročilé systémy AR budú efektívne len vtedy, ak budú vodiči dostatočne vyškolení a istí v ich používaní. Preto je potrebné zaviesť vzdelávacie programy a tréning na zvýšenie kvalifikácie vodičov. Okrem

toho je nutné riešiť otázky bezpečnosti údajov. Systémy AR pracujú s dôvernými informáciami o trasách, nákladoch a klientoch, preto je dôležité zabezpečiť spoľahlivú ochranu pred únikmi údajov a kybernetickými útokmi. Riešenie týchto problémov si vyžaduje komplexný výskum a vývoj, zapojenie odborníkov z rôznych oblastí, vrátane IT, logistiky, psychológie a bezpečnosti. Aktívna spolupráca s výrobcami zariadení a vývojármi softvéru je nevyhnutná na vytvorenie integrovaných a optimalizovaných riešení. Ak sa tieto problémy vyriešia, rozšírená realita sa môže stať neoddeliteľnou súčasťou dopravnej logistiky, zvýšiť efektivitu a bezpečnosť prepravy, znížiť náklady a zlepšiť zážitok vodičov a klientov, čo môže otvoriť nové perspektívy pre rozvoj odvetvia a zvýšiť konkurencieschopnosť na trhu.

LITERATÚRA

- [1] Schroeder, A., Bigdeli, A. Z., Zarco, C. G., Baines, T.: Captéuring the benefits of industry 4.0: a business network perspective. Production Planning & Control. The Management of Operations, vol. 30, 2019. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1612111>
- [2] Lavalley, S. M.: Virtual Reality. Cambridge University Press, UK, 2023. ISBN 978-107-19893-7 [3] Craig, A. B.: Understanding Augmented Reality. Concepts and applications. Morgan Kaufmann, Elsevier, 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA. 2013. ISBN 978-0-240-82408-6 [4] Carmigniani, J., Furht, B.: Augmented Reality: An Overview. Handbook of Augmented Reality. Springer, New York, USA. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0064-6_1
- [5] Schmalstieg, D., Hollerer, T.: Augmented Reality: Principles and Practice. Addison-Wesley Professional, 1900 E Lake Ave Glenview, IL 60025, USA. 2016.
- [6] Pranoto, H., Panggabean, F. M.: Increase The Interest In Learning By Implementing Augmented Reality: Case studies studying rail transportation. Procedia Computer Science, vol. 157, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.007>
- [7] Abdi, L., Abdallah, F. B., Meddeb, A.: In-Vehicle Augmented Reality Traffic Information System: A New Type of Communication Between Driver and Vehicle. Procedia Computer Science, vol 73, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.024>
- [8] Wang, Z., Han, K., Tiwari, P.: Augmented Reality – Based Advance System for Connected Vehicles. 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2020. <https://doi.org/10.1109/scm42975.2020.9283462>
- [9] Rizov, T., Kjosovski, M., Tashevski, R.: Driver Assistance Systems In Vehicles Using Augmented Reality – Benefits and Challenges. International Scientific Journal „Trans Motoauto World”, 2017. ISSN 2367-8399

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu KEGA 010TUKE-4/2023.

- 19 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

ŠPECIFIKÁCIA A RIEŠENIE PREPRAVY PRE SPÄTNÝ VÝKUP NÁPOJOVÝCH OBALOV

Marcela Malindžáková¹

¹Technical University of Košice, FBERG, Institute of Logistics and Transport,
marcela.malindzakova@tuke.sk

Abstract: The purpose of the contribution is to realize the calculation of transport costs for the return purchase of beverage packaging. Transport security is tied to the collected beverage packaging. Collected beverage containers in collection bags from all stores involved in the backup system are collected in nearby intermediate warehouses, then transported in containers to the counting and sorting center in Kočovce. The collected beverage packaging is sorted by colour and composition by means of an advanced optical line and then pressed into packages. The compressed packages go to the recycler, who will pay for the compressed commodity as well as for the transportation in terms of the commercial contract. As part of the contribution, the selection of the means of transport for the continuous operation of the transport of the collected beverage packaging will be specified.

Key words: beverage packaging, return system, transport solution

INTRODUCTION

The sustainability and transport solution for the buyback of beverage packaging is related to the increasing amount of packaging, while the demands for recycling and also for the production of new, recyclable and used materials are increasing. Currently, more attention is paid to the topic of packaging production, transportation, but especially their recycling. The priority in solving important questions in the field of buyback of beverage packaging is the solution to the transportation of collected beverage packaging. In connection with the collection and transportation of the collected beverage packaging, it is necessary to calculate the costs of transporting these packaging.

ENSURING TRANSPORT TO INTERMEDIATE WAREHOUSES

The issue of purchasing beverage packaging is also connected with the transportation of these packaging to intermediate warehouses and subsequently to the counting and sorting center. In conjunction with the above solution, it is necessary to calculate the method and costs of the specified transport. The number of removals required depends on the amount of purchased PET bottles and cans.

- 20 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Overview of estimated quantities of purchased packaging

It is assumed that 75% of beverage packaging - PET bottles and 25% of beverage packaging - cans will be purchased daily.

Estimate of purchased PET bottles per day per 1 store [pcs]:

where:

$$\frac{1000000 \cdot 75\% (1)}{1000000} \cdot 1000000 \cdot 75\% (1)$$

$$1000000 \cdot 75\% (1) = (($$

$EP_{PET\ bottles}$ - estimate of purchased PET bottles per day per 1 store [pc],
 EPP_{year} - estimate of purchased packages per year [10^6 pcs], NH - number of hypermarkets in Slovakia,
 ND - number of days when stores (hypermarkets) are open. Estimate

cans purchased per day per 1 store [pcs]:

$$\frac{EP_{PET\ bottles} \cdot 1000000}{EPP_{year} \cdot 1000000} \cdot 25\% \quad (2) \quad \text{where:}$$

EP_{cans} - estimate of purchased cans per day per 1 store [pc],
 EP_{year} - estimate of purchased cans per year [10^6 pcs],
 NH - number of hypermarkets in Slovakia,
 ND - number of days when stores (hypermarkets) are open.

Estimate of purchased PET bottles per day per 1 store [Europalette]:

$$\frac{EP_{PET\ bottles} \cdot 1000000}{EPP_{year} \cdot 1000000} = \frac{EP_{cans} \cdot 1000000}{EPP_{year} \cdot 1000000} \quad / (3)$$

where:

$EP_{PET\ bottles}$ - estimate of purchased PET bottles per day per 1 store [pc],
 $NC_{PET\ bottles}$ - number of compressed PET bottles [850 pcs].

Estimate cans purchased per day per 1 store [Europalette]:

$$\frac{EP_{cans} \cdot 1000000}{EPP_{year} \cdot 1000000} = \frac{EP_{cans} \cdot 1000000}{EPP_{year} \cdot 1000000} \quad / (4)$$

where:

EP_{cans} - estimate of purchased cans per day per 1 store [pc],
 NC_{cans} - number of compressed cans [3 500 pcs].

It is necessary to take into account the fact that in the case of using machines with a press, 850 pressed PET bottles or 3 500 pressed cans can fit into one collection bag the size of a europallet. In

the case of manual purchase (small organized stores and unorganized stores), one collection bag can hold an average of 200 unpressed PET bottles or 250 unpressed cans.

Calculation rides for a period of time:

$$NO = ENO \cdot \left(\frac{ND}{NW} \right) \quad (5) \text{ where:}$$

NO - number of operators (rides) per week,

ENO - expected number of operators (rides) per day,

ND - number of days when stores are open,

NW - number of weeks.

Number of operators per 1 truck ride:

$$NO_{Track} = NP \cdot ENO \quad (6) \text{ where:}$$

NO_{Track} - number of operators per 1 truck trip,

NP - number of pallets,

ENO - expected number of operators per day.

Calculation of annual costs:

$$AC = (C_{1 \text{ journey}} \cdot NR_{year}) + (PW \cdot NWH) \quad (7)$$

where:

AC - annual costs [Eur],

$C_{1 \text{ journey}}$ - cost of 1 journey [Eur],

NR_{year} - number of rides per year,

PW - price for work per hour [Eur],

NWH - number of hours worked.

CONDITIONS FOR THE CONTINUOUS OPERATION OF MEDICAL WAREHOUSES AND THE COUNTING AND SORTING CENTER

Backed-up beverage packaging from all over Slovakia will be transported to the counting and sorting center. PET bottles from both manual collection and compressed from machines are then sorted according to color. The sorted PET bottles and cans are then en masse compressed into

a more compact pallet-sized shape for easier handling and transport. From there, they will travel to recyclers, who will pay the system administrator for them [1, 2].

Fig. 1 PET bottles pressed together [2]

To ensure all these activities, a hall, an optical sorting line, a counting device, a magnetic separator, a press and handling equipment were needed. Due to acceptable logistics costs, one sorting and counting center was built in the village of Kočovce. Since at least 1 billion PET bottles and 350 million cans are introduced to the Slovak market annually, this amount represents approximately 40 000 tons. With a 90% expected packaging return rate, the center must be able to process at least 100 tons per day. Based on several sources, it is possible to expect the cost of the complete equipment of the counting and sorting center to be at least another 3,5 million € [1][3][4][5][6].

CONDITIONS FOR STORING COLLECTED BEVERAGE PACKAGING IN STORES

Bags full of collected beverage packaging can be stacked on top of each other. When using holding structures and forklift trucks, 3 bags can be stacked on top of each other, but for greater security in the warehouse and considering the possibility of manual collection, it is necessary to count on 2 bags in a column. Depending on the size of the store, different quantities of pallets (bags) are required for the transporter to come to the store and take away the collected packaging. Of course, to increase efficiency, the transporter would serve several stores during one trip.

The problem can be an insufficiently collected amount of packaging, especially in smaller shops in villages, i. e. from to begin with, it is not advisable to invest in slot machines. For this reason, it is necessary to transport the collected beverage containers in an uncompressed form, but this, on

the other hand, causes an increase in the total transport costs from the retail store to intermediate warehouses by a factor of two. It is advisable to introduce backhauling [7].

Backhaul represents the return movement of a means of transport from the final destination station to the original starting point. The journey back to the starting point with no cargo is not economically advantageous for carriers and therefore most of the countries with an advance use this method to reduce the transportation costs of the system. Transporters who supply the store with new goods can use the empty space to transport the collected beverage

containers and take them back to the intermediate warehouse.

When backhauling, it is important to keep in mind that even according to the Act of the National Council of the Slovak Republic no. 152/1995 Coll. on foodstuffs, the transporter is obliged to "ensure the separate transport of incompatible types of products mutually affecting their safety and quality." [8]"

Table 1 presents estimates of individual purchased packages for the respective stores. The calculated calculation assumes a return rate of beverage packaging at the level of 90%. The estimated number of PET bottles put on the market in retail stores (excluding gas stations) is 971 215 714 pcs and the number of cans is 326 692 500 pcs.

Table. 1 Overview of estimated quantities of purchased packaging

Type of store	purchased PET bottles per day at 1 store [pcs]	purchased per day at 1 store [Europallet]	purchased per day at 1 store [pcs]	purchased per day at 1 store [Europallet]	Europallets per 1 store per year [pcs]
Estimate of	Estimate cans	Estimate cans	Estimate cans	Number of full	
Hypermarket	6 884 8,10 2 398 0,685 3 075	Discount	3 689 4,34 1 285 0,367 1 647	Supermarket	1 141 1,34 397 0,114 510
Large organized	store 287 0,34 100 0,029 128	Small organized	store 98 0,49 34 0,136 219	Unorganized	store 55 0,28 19 0,077 123

Assuming that transport for larger stores with vending machines would be provided by a truck, for example a Mercedes Benz AXOR, with a capacity of 22 pallets, or 44 bags stacked two on top of each other. It is also necessary to consider the price of the work, which is 25 €.hour⁻¹, as well as the price per kilometer traveled of 1,2 €.km⁻¹. For stores with manual purchase, a smaller vehicle is considered a flatbed Iveco Eurocargo, capacity 6 pallets, or 12 bags stacked two on top of each other. For the Iveco Eurocargo vehicle, lower prices are being considered, namely the labor price of 20 €.hour⁻¹ and the price per kilometer driven 0.8 €.km⁻¹.

- 24 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH, STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Table. 2 Method and conditions for removal

Type of store	Method of redemption	Number of attendants (rides) per day	Number of attendants (rides) per week	Number of operators per 1 truck ride
Hypermarket	Automat	1 6,731 8	Discount	Automat 0,8 5,385 8
Supermarket	Automat	0,2 1,481 8	Large organized	store Automat 0,08 0,538 8
Small organized			store Manually	0,03 0,202 2

In the intermediate warehouses, the imported packaging bags will be stored in closable transport containers of the size 40" High Cube, into which it is possible to load in two layers a total of 50 Europallets, or bag. Full containers will be transported to the counting and sorting center in Kočovce, while the price of such transport per kilometer is 1,38 € and the price per hour of work is 37 €. The total transport costs are calculated as the number of necessary trips with containers per year, multiplied by the price per hour of work together with the price per kilometer and the road distance from individual stores to intermediate warehouses [9]. The amount of annual costs (Table 3) for the transportation in question is 8 302 679 Eur. The annual cost of transportation from intermediate warehouses to the counting and sorting center is 7 197 321 €. The total annual transport costs are 15 500 000 €.

Table. 3 Transport costs to intermediate warehouses

Type of store	Number of full Europallets per year	removals for all stores per year	rides (services) per year	Number of rides*Distance traveled	Annual costs [10 ⁶ Eur]
Hyper	1 store per year	Number of	Distance traveled during 1 drive	during 1 ride	
market 2 418 44 102 5 600 200 472 640 1,904					Discount 1 993 35 809 5 600 200 472 640 1,904
market 616 45 233 5 600 250 590 800 2,380					Large organized
store 155 12 097 5 600 120 283 584 1,142					Small organized
store 53 9 029 1 400 150 88 620 0,357					Unorganiz
ed store 30 2 433 3 619 100 152 734 0,615					Σ 5 266 27 419 1 819 664 8,302

- 25 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH, STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

CONCLUSION

The proper functioning of the deposit system depends not only on the active involvement of consumers, but also on the process that starts with handing over the packaging to collection points. Logistics is of key importance as it affects several important aspects:

1. has a significant impact on the overall efficiency of the backup system, while well-set and optimized processes can ensure continuous operation and minimization of losses,
2. has an impact on the satisfaction of collection points, because efficient and well-organized processes will ensure fast and reliable collection points,
3. the satisfaction of the consumers themselves is another important factor, as it ensures that the backup system is easy and acceptable to the user.

Ultimately, manufacturers have a stake in the continuous operation of the backup system, as efficient logistics can ensure lower costs and better resource management.

LITERATURA

- [1] DRÁB, Ján, SLUČIAKOVÁ, Stella. MŽP SR (IEP) *Skutočná cena zálohy*. [online]. 2018 [cit. 14.04.2024]. Dostupné z: https://www.minzp.sk/files/iep/skutocna_cena_zalohy.pdf [2]
- Smeti.sme.sk. *Recyklácia a triedenie plastov*. [online]. 2024 [cit. 14-04-2024]. Dostupné na internete: <https://smeti.sme.sk/dok/i/recyklacia-plastov>.
- [3] BILKOVÁ, Gerootto Veronika, HAUSER, Marian, KOVAČIČ, Martin. *Analýza možnosti*

- zálohovania PET obalov na Slovensku. [online]. 2018 [cit. 14-04-2024]. Dostupné na internete: https://www.minzp.sk/files/iep/analyzazalohpet_ekosplus.pdf.
- [4] BALCERS, Ojars, BRIZGA, Janis, MOORA, Harri, RAAL, Rauno. *Deposit Return Systems For Beverage Containers in the Baltic States: Green Liberty*, 2019.
- [5] Reloopplatform. [online]. 2019. [cit. 18-04-2024]. Infinitum. Dostupné na internete: <https://www.reloopplatform.org/wp-content/uploads/2019/03/Infinitum-ppt.pdf>.
- [6] KAZDA, Radovan. *Marius Pedersen spustil do prevádzky optickú linku*. [online]. 2015 [cit. 18-04-2024]. Dostupné na internete: <https://www.odpady-portal.sk/Dokument/102479/marius-pedersen-spustil-do-prevadzky-opticku-linku.aspx>
- [7] MALINDZAKOVA, Marcela, ŠTOFKOVÁ, Jana, MAJERNIK, Milan. *Economic–environmental performance of reverse logistics of disposable beverage packaging*. Dostupné na internete: <http://dx.doi.org/10.3390/su14137544>. Sustainability. Bazilej (Švajčiarsko): Multidisciplinary Digital Publishing Institute Roč. 14, č. 13, 2022, s. [1-12] [online]. ISSN 2071- 1050.
- [8] Zákon NR SR č. 152/1995 Z. z. o potravinách. [online]. 2015 [cit. 20-04-2024].
- [9] BINDZÁR, Peter, MAČUGA, Daniel, BRODNY, Jaroslaw, TUTAK, Magdalena, MALINDZAKOVA, Marcela. *Use of Universal Simulation Software Tools for Optimization of Signal Plans at Urban Intersections*. Dostupné na internete: <http://dx.doi.org/10.3390/su14042079>. In: Sustainability. Bazilej (Švajčiarsko): Multidisciplinary Digital Publishing Institute Roč. 14, č. 4, 2022, s. [1-22] [online]. ISSN 2071- 1050.

Acknowledgements

This research was funded by project KEGA 010ŽU-4/2023 Innovative approaches in teaching in the field of transport focused on railway traffic management, with the support of risk and crisis management.

- 26 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH, STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

VÝPOČTOVÁ PRÍPRAVA KONŠTRUKCIE HISTORICKÉHO EXPONÁTU ŽERIAVA

Jozef Kuľka¹, Martin Mantič², Anton Illéš³

¹KKaDI, Sjf TU Košice, jozef.kulka@tuke.sk

²KKaDI, Sjf TU Košice, martin.mantic@tuke.sk

³KKaDI, Sjf TU Košice, anton.illes@student.tuke.sk

COMPUTATIONAL PREPARATION OF THE STRUCTURE OF THE HISTORICAL CRANE EXHIBIT

Abstract: *The paper discusses the design of the wooden structure of the historical crane exhibit for the construction of fortifications. The shape and dimensions of the structure are designed for a load capacity of 1000 kg. The joints in the construction reflect contemporary joining techniques based on shaped joints. The construction is designed from oak wood and tested for strength for this material.*

Key words: *historical crane, fortification, oak wood*

Medzi najčastejšie vyskytujúce sa činnosti vo všetkých priemyselných odvetviach a najmä v stavebníctve bezprostredne patrí manipulácia s nákladom, jeho preprava a doprava, ktorá sprevádza tovar už vo forme prvotných surovín z miesta ťažby na ďalšie spracovanie. K takýmto manipulačným zariadeniam neodmysliteľne patria aj žeriavy.

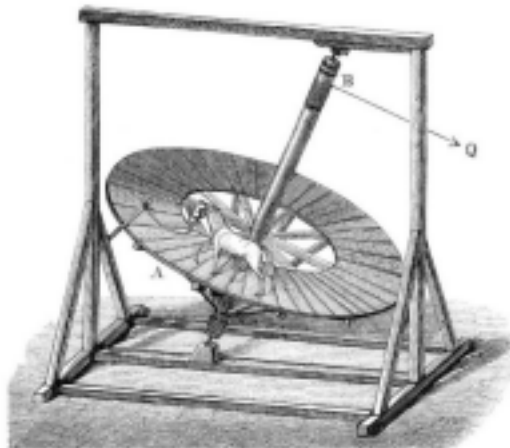
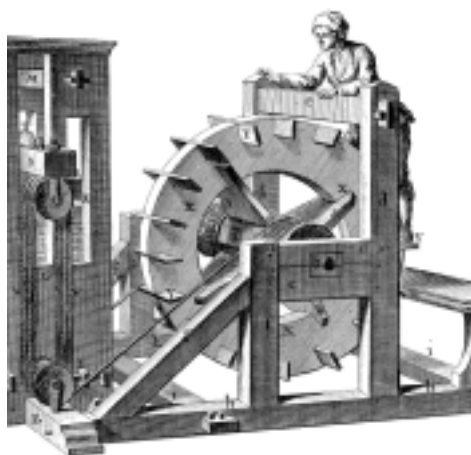
Za prvý známy žeriav možno považovať tzv. „šadúf“, čo je jednoduché drevené zariadenie využívajúce prostý princíp páky, slúžiace na vyťahovanie vody zo studní, ktoré vzniklo v starovekej Mezopotámii [1-9]. Neskôr boli rozvinuté pákové stavebné žeriavy na stavbu budov a opevnení. Tieto žeriavy boli poháňané zvieratami, či ľudskou silou. Na drevený valec určeného priemeru bolo navíjané konopné lano, na ktorom bol rôznym spôsobom upevnený náklad. Využitím systému jednej alebo viacerých kladiek na drevených ramenách bolo možné zvoliť dráhu lana, a teda aj čiastočne prispôbiť žeriav daným podmienkam. Na tomto princípe sa vyvíjali žeriavy počas celého stredoveku. Prvé vývojové kroky nahradili jednoduchú kľuku lúčmi usporiadanými do tvaru kruhu, ktoré boli stále poháňané ručnou ľudskou silou.

Prvé nákresy žeriavov používaných na stavbu budov a opevnení sa zachovali zo starovekého Grécka a Egypta. Väčšie žeriavy vznikli v Rímskej ríši, fungovali na princípe ramena a navijaku, čo zabezpečilo väčšiu nosnosť a menšie rozmery ako páka (Obr.1). Vo vrcholnom stredoveku vznikli prvé prístavné žeriavy zabudované do kamenných veží pre ich väčšiu stabilitu a pevnosť. Využívali rovnaký princíp šliapacích kolies, ktoré boli rôzne usporiadané. Prvé žeriavy boli vyrobené z dreva a kameňa, no s príchodom priemyselnej revolúcie ich nahradila liatina, železo a oceľ. Rovnako ľudskú

- 27 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

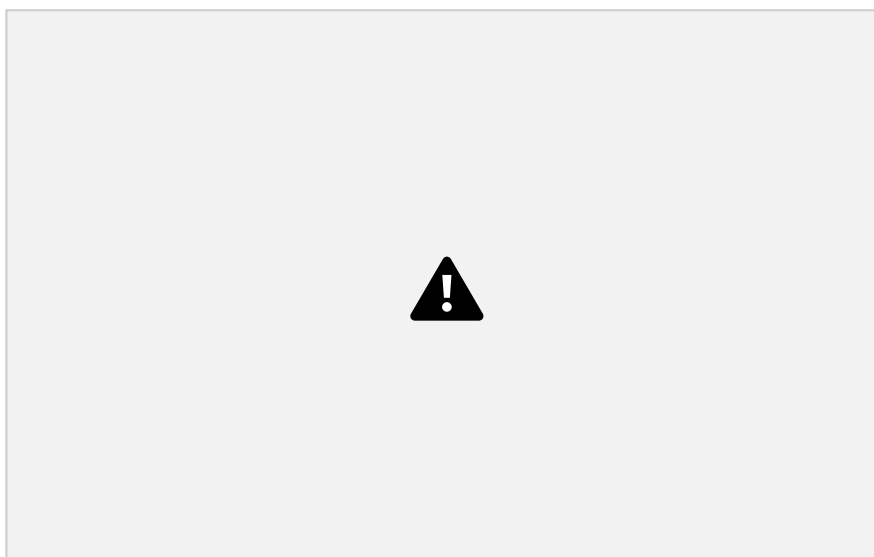
silu najprv vystriedal parný stroj, neskôr spaľovacie motory či elektromotory s hydraulickými systémami, čo zabezpečilo vysokú pevnosť, odolnosť, a najmä nosnosť žeriava.





Obr. 1 Jedny z prvých zachovaných nákresov konštrukcií žeriavov

Pre skupinu nadšencov sme navrhli konštrukciu menšieho šľapacieho dreveného žeriava (Obr.2), pri ktorej by sa použili pôvodné postupy na jeho výrobu, ale konštrukcia by bola nadimenzovaná na základe súčasných poznatkov.



Obr. 2 Predpokladaný tvar navrhnutej konštrukcie

- 28 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

2. VÝBER KOMPONENTOV KONŠTRUKCIE

Drevené konštrukčné materiály

Drevo možno považovať za najstarší konštrukčný materiál vôbec. Je jediným obnoviteľným konštrukčným materiálom, ktorý dokáže prispieť k trvalej udržateľnosti v konštruktérstve. Drevené konštrukcie majú určité vlastnosti, vďaka ktorým sú odolné a pevné. S adekvátnou protipožiarnou úpravou môže byť drevo spoľahlivým stavebným materiálom [10] s dlhou životnosťou. Veľkou výhodou dreva je jeho nízka tepelná rozťažnosť, ktorá je takmer nulová. Vďaka tomu vie drevo konkurovať oceľovým materiálom. Tiež kombinácia nízkej tepelnej vodivosti a vysokého špecifického tepla poskytuje izoláciu. Na rozdiel od kovových materiálov je drevo elektrickým izolantom, čo je pri navrhovaní a konštruovaní zariadení z dreva výhodou z hľadiska bezpečnosti. Drevo nepodlieha korózii. Ako každý iný konštrukčný materiál aj drevo má obmedzenia, ktoré je možné regulovať niekoľkými spôsobmi ochrany. V ideálnom prípade je vhodné drevo ako

konštrukčný materiál použiť na výrobu výrobku, ktorý využije jeho dobré vlastnosti, a kde obmedzenia nepredstavujú veľký problém. Drevo je hygroskopické, čo znamená, že absorbuje vlhkosť zo vzduchu, a to spôsobuje jeho napučiavanie a zmršťovanie. Keďže drevo je organický materiál, je potravou pre niektoré organizmy. Biologické poškodenie môže nastať v dôsledku napadnutia škodcami. Nebiologické znehodnotenie dreva môže byť spôsobené slnečným žiarením, vetrom, vodou, chemikáliami či ohňom. Použitie dreva väčšieho prierezu ako je potrebné môže pomôcť zmierniť poškodenie.

Na samotnú nosnú konštrukciu žeriava sme si vytipovali niektoré dostupné druhy dreva, ktorých mechanické vlastnosti sú uvedené v Tabuľke 1 [11].

Tab. 1 Mechanické vlastnosti dreva v suchom stave – vlhkosť 15% [11]

	Hustota	Ťah	Tlak	Šmyk
	kg.m ⁻³	MPa		
Jedľa	430	78	1,4	33
Smrek	440	84	1,5	30
Borovica	530	102	2,9	54
Smrekovec	600	105	2,2	54
Jaseň	700	142	6,9	51
Dub	720	108	3,3	42
Buk	720	130	3,5	46
Breza	730	134	6,9	50

Spoje drevených konštrukcií

V oblasti spájania drevených trámov [12] je považovaný zraz za najstarší a najjednoduchší prvok konektivity. Tieto spoje nemožno vnímať ako samostatný druh spojenia, avšak zrazenia sú základom

- 29 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH, STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

ďalších samostatných druhov spojov. Zraz možno využiť na tupé, šikmé, pokosové, prisadené spojenia, a tiež spoje s vloženými medzičlenmi ako sú háky, klíny, vložky, kolíky a skoby.



Obr. 3 a) Šikmý čelný zraz; b) Tupý čelný zraz; c) Francúzsky zraz

3. VSTUPNÉ PARAMETRE PRE NÁVRH ŽERIAVA

Jednotlivé vstupné parametre pre návrh konštrukcie a funkčného dizajnu zdvíhacieho

zariadenia vychádzajú z účelu použitia tohto zariadenia. Podľa informácií z dostupnej literatúry, v období stredoveku bol používaný pomer polomerov hnacieho kolesa a bubna 14:1.

Nosnosť žeriava vychádza z rozmerov najväčších kameňov používaných pri stavbe hradových a mestských opevnení a ich hustoty. Väčšina hradieb v strednej Európe je postavená z kameňov a muriva po obvode, vnútornú výplň tvoria drvené kamene a odpad vzniknutý pri opracovaní kameňa. Materiál použitý na stavbu opevnení bol zväčša lokálne sa vyskytujúci kameň, aby nebolo potrebné ho dovážať z veľkej diaľky. Najčastejšie to bola žula, pieskovec či vápenec. Najväčšie kusy mali rozmery 500x500x1500 mm, čo predstavuje objem približne 0,375 m³.

Tabuľka 2. Vybrané druhy hornín a ich hustota

Druh kameňa	Pieskovec	Vápenec	Žula	Hustota kg.m ⁻³
	1900 - 2700	2000 - 2900	2600	

Prehodnotením už uvedených informácií bolo rozhodnuté, že na konštrukciu bude použité dubové drevo a nosnosť žeriava bude 1 tona.

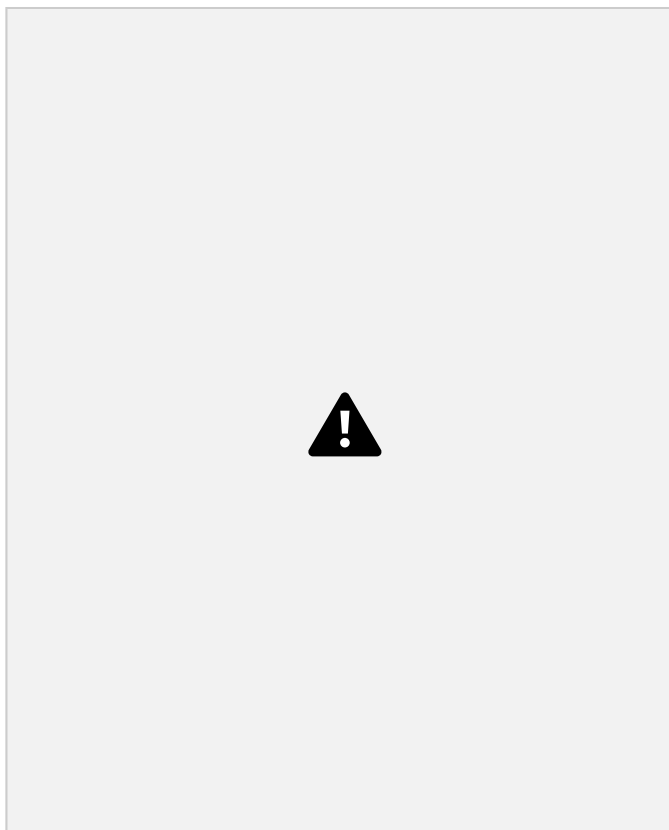
Výpočet zaťaženia pôsobiacich na hlavný hriadeľ

Sila v lane od vlastnej tiaže bremena : $F_1 = m_1 \cdot g = 1000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} = 9810 \text{ N}$ Priemer bubna (priemer kmeňa, na ktorý sa bude navíjať lano): $d_1 = 300 \text{ mm}$ ($r_1 = 150 \text{ mm}$)

- 30 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Krútiaci moment na bubne od bremena: $M_{k1} = F_1 \cdot r_1 = 1472 \text{ Nm}$



Obr.4 Schéma uvažovaných vonkajších síl pôsobiacich na žeriav

Priemer šľapacieho bubna: $d_2 = 4 \text{ m}$ ($r_2 = 2 \text{ m}$)(aby človek mohol chodiť vzpriamene) Sila, ktorou pôsobí obsluha na koleso žeriava: $F_2 = m_2 \cdot g \cdot \sin(\varphi)$

$\Phi = 30^\circ$ - uhol, pod ktorým človek pôsobí na koleso (Obr.4)(uhol používaný pri pohyblivých

schodoch)



Obr. 5 Schéma zaťaženia bubna žeriava

- 31 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Krútiaci moment, ktorý vytvorí človek tým, že kráča v kolese: $M_{k2} = m_2 \cdot g \cdot \sin(\varphi) \cdot r_2$

Pre zdvíhanie bremana musí platiť: $M_{k1} \leq M_{k2}$

Hmotnosť človeka, potrebná na zdvíhanie bremana pri daných parametroch: $m_2 \geq 150 \text{ kg}$

Podľa vyhotoveného 3D modelu navrhovaného zariadenia je objem šľapacieho kolesa $1,12 \text{ m}^3$ dreva, teda jeho hmotnosť z dubového dreva bude $806,4 \text{ kg}$.

V zaťažovacej schéme sú parametre nasledovné:

$a = 1,3 \text{ m}$, $b = 1,4 \text{ m}$, $c = 0,3 \text{ m}$

$q_{VT} = 500 \text{ N/m}$ zaťaženie od vlastnej hmotnosti bubna,

$q_{dk} = 6700 \text{ N/m}$ zaťaženie od vlastnej hmotnosti kolesa s obsluhou.

$F_1 \cdot \cos 57^\circ$ - priemet sily v lane do zvislej roviny (uhol sklonu zvislého ramena sa mení v rozmedzí 8° - 78° , obr.6).

Z pevnostnej kontroly na ohyb v mieste najväčšieho namáhania:

$$\sigma_{\max} = 1,16 \text{ MPa} \leq 116 \text{ MPa} = \sigma_{\text{dov}} (1)$$

Kontrola ramena namáhaného na vzper

Rameno, na ktorom je uchytená kladka, cez ktorú prechádza lano, je navrhnuté v tvare písmena A.



Obr. 6 Navrhované zdvíhacie rameno s kladkou

- 32 -

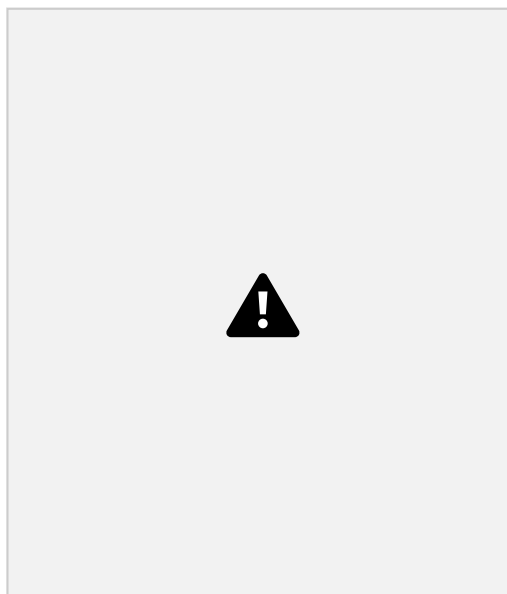
50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Prierez hranolov, z ktorých je rameno navrhnuté, má tvar obdĺžnika 100x200 mm. Navrhované je klbové uloženie ramena so základňou. Rameno je namáhané silami pôsobiacimi v lane na vzper. Výsledná vzperná sila, ktorá pôsobí na rameno, je závislá od uhla, ktorý zvierá rameno s vodorovnou osou v roviny XY. V najvyššej polohe je hodnota tohto uhla 78°, v najnižšej iba 8°, čo zaručuje celkový možný pohyb bremena vo vodorovnej osi v rozmedzí 0 až 6,22 m.

Pre žeriav je navrhované použitie spletaného konopného resp. jutového lana priemeru 14 mm, ktoré má nosnosť $1734 \pm 5\%$. Rovnaké lano je možné použiť na polohovanie zdvíhacieho ramena, ku ktorému bude pevne uchytené, na druhej strane bude zakončené v novodobom kovovom navijaku. Navrhovaná kladka, ktorou lano prechádza, má rozmery $\phi 300 \times 40$ mm.

Kritická vzperná sila v roviny menšej tuhosti: $F_{krit} = 29\,814,4$ N

Výsledná sila pôsobiaca v jednej nohe: $F_3 = 9400$ N



Obr. 7 Čelný pohľad na 3D model navrhnutého žeriava

ZÁVER

Aj keď takáto konštrukcia žeriava nedokáže konkurovať moderným zdvíhacím zariadeniam, uplatnenie stále nájde pri rekonštrukciách historických stavieb použitím dobových technológií. Zároveň mladá generácia má možnosť poučiť sa a oceniť umenie a schopnosti starých majstrov, ktorí nemali toľko špičkových technológií, a napriek tomu dokázali tvoriť dych berúce diela.

LITERATURA

- [1] MATTHIES, A. 1992. *Technology and culture : Medieval Treadwheels: Artists' Views of Building Construction* 33(3). Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press.
- [2] DE DECKER, K. 2010. *The sky is the limit: human powered cranes and lifting devices*. [cit. 2024-06-19]. Dostupné na: < <https://www.resilience.org/stories/2010-03-31/sky-limit-human-powered-cranes-and-lifting-devices/> >.
- [3] *CRANEAHOLICS: The Evolution of Crane and Rigging: A Historical Deep Dive*. 2023, [cit. 2024-06-19]. Dostupné na: < <https://www.linkedin.com/pulse/evolution-crane-rigging-historical-deep-dive-craneahoils> >.

- [4] TRELOAR, S. *Best Practices for Bridge Crane Implementation and Installation: A Case Study. California, 2021*. [cit. 2024-06-19]. Dostupné na :
< <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1485&context=cmsp> >.
- [5] *PWI UltraLite Freestanding Bridge Crane*. [cit. 2024-06-19].
Dostupné na: < <https://hoistzone.com/shop/pwi-ultra-lite-freestanding-bridge-crane/> >.
- [6] BRAIN, M. *How Tower Cranes Work*. 2023. [cit. 2024-06-19].
Dostupné na: < <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/tower-crane.htm> >.
- [7] CARROL, J. *The really weird history of the treadmill*. 2021, [cit. 2024-06-19]. Dostupné na: < <https://www.runnersworld.com/uk/training/motivation/a36164386/weird-history->
- [8] HILLEWAERT, H. *Medieval crane replica*. Brugge, Belgicko, 2007, [cit. 2024-06-19].
Dostupné na:<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Medieval_crane_-_Brugge_.jpg > .
- [9] BINNENDIJK, H. *The crane on the Motlawa*. Gdańsk, Poľsko, 2018, [cit. 2024-06-19].

Dostupné na: < <https://www.flickr.com/photos/henk/40065778004> >.

[10] AMBEGAONKAR, R. *Wood: A Sustainable Construction Material*. Miami, Florida, [cit. 2024-06-19]. Dostupné na: < <https://www.ny-engineers.com/blog/wood-a-sustainable-construction-material> >.

[11] NOVÁK, P. *Mechanické vlastnosti dřeva domácích dřevin*. Brno, 2013, [cit. 2024-06-19]. Dostupné na: < <https://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin> >.

[12] GERNER, M. *Tesařské spoje*. Praha: Grada Publishing, a.s, 2003. 1. vydanie, 220 s. ISBN 978-80-247-0076-2.

Podakovanie

Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA 044TUKE-4/2024 Aplikácia virtuálnej a rozšírenej reality do vzdelávania s cieľom inovácie konštrukčných študijných programov.

- 34 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

KONŠTRUKČNÝ NÁVRH ZARIADENIA NA PREPRAVU VEĽKOROZMERNÝCH FORIEM

Silvia Maláková¹

¹Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, e-mail: silvia.malakova@tuke.sk

CONSTRUCTION DESIGN OF EQUIPMENT FOR TRANSPORTATION OF LARGE-DIMENSIONAL MOLDS

Abstract: *The paper is devoted to the issue of the design of transport equipment for the transport of large-sized molds to plastic injection presses. The work is devoted to the structural design of the welded supporting structure, the design of the sprung fixed rear axle with anti-tilt stabilization, the design of the steered, sprung front axle with steered wheels and functional Ackermann geometry*

and with the anti-tilt stabilization of the transport equipment and the design of adjustable arresting devices that are able to secure the forms different dimensions.

Key words: design, equipment, transport

ÚVOD

Pre automobilový priemysel v dnešnej dobe je veľa podnikov, ktoré sa venujú výrobkom z plastu, napríklad výrobe veľkorozmerových plastových výliskov ako sú palubová doska, obklady dverí auta a pod. [1] Tieto výlisky sa vyrábajú na veľkorozmerových vstrekovacích lisoch, s mohutnými vstrekovacími formami. Jeden s problémov týchto podnikov je manipulácia s týmito mohutnými formami, ktoré môžu vážiť aj desiatky ton [2]. A práve konštrukčnému návrhu takéhoto zariadenia je venovaný tento príspevok. Ako inšpirácia pri návrhu takéhoto prepravného zariadenia slúžili konštrukčné prevedenia cestných vozidiel, konkrétne podvalníkmi na prepravu ťažkej civilnej a vojenskej techniky, automaticky riadené manipulačné vozíky a konštrukčné riešenia, ktoré sa používajú pri nákladných autách.

Pri návrhu nosnej konštrukcie sa vychádzalo z toho, že tá musí byť navrhnutá a zmontovaná tak, aby počas navrhovanej životnosti, s patričným stupňom spoľahlivosti odolala všetkým zaťaženiám a vplyvom, ktoré môžu nastať pri zhotovovaní a prevádzkovaní a zároveň aby spĺňala náležité požiadavky používateľnosti vyšpecifikované pre nosnú konštrukciu alebo nosný prvok [3 – 5]. Nosná konštrukcia bola nadimenzovaná tak, aby mala zodpovedajúcu odolnosť, trvanlivosť a používateľnosť.

Pri konštrukčnom návrhu nosnej ocelevej konštrukcie sa postupovalo tak, aby možné poškodenia boli odstránené alebo zamedzené a to výberom vhodného materiálu, zodpovedajúcim návrhom konštrukcie a dodržaním overených konštrukčných zásad ako aj určením postupov kontroly návrhu, výroby, montovania a používania v súlade s konkrétnym projektom.

- 35 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Príspevok je venovaný problematike návrhu prepravného zariadenia na prepravu veľkorozmerových foriem do vstrekovacích lisov na plasty pre zadané parametre a to konkrétne konštrukčnému návrhu zvaranej nosnej konštrukcie, návrhu odpruženej pevnej zadnej nápravy so stabilizáciou proti naklápaniu, návrhu riadenej, odpruženej prednej nápravy s riadenými kolesami a funkčnou Ackermannovou geometriou a so stabilizáciou proti naklápaniu prepravného zariadenia a návrhu nastaviteľných aretačných prípravkov, ktoré sú schopné zaistiť formy rôznych rozmerov.

PARAMETRE PRE NÁVRH PREPRAVNÉHO ZARIADENIA

Na základe požiadaviek z praxe bolo potrebné navrhnuť prepravné zariadenie, na prepravu formy od vstrekovacieho lisu na plasty do skladu a naopak zo skladu k lisu. Jednalo sa o vstrekovací lis Engel duo 1500, s uzatváracou silou 1500 ton, pre formy s maximálnymi rozmermi 1400x700x3750mm a s maximálnou váhou formy 30 ton.

Bol požadovaný kompletný konštrukčný návrh prepravného zariadenia, jeho nosnej konštrukcie,

ktorá musí byť dostatočne tuhá kvôli veľkým ohybom a prídavným zaťaženiám. Návrh odpružených pevných náprav, ktoré sú schopné vydržať dvojnásobne preťaženie konštrukciu bez toho, aby došlo k ich poškodeniu. Návrh riadenia prednej nápravy, kde kolesa dodržiavajú pri zabáčaní Ackermannovu geometriu a návrh mechanického nastaviteľného zaistovacieho prípravku na vstrekovacie formy rôznych rozmerov.

NÁVRH KONŠTRUKČNÉHO RIEŠENIA PREPRAVNÉHO ZARIADENIA

Nosná oceľová konštrukcia vozíka bola navrhnutá ako zváraná konštrukcia z oceľových profilov UPE 300, oceľovej platne o hrúbke 15mm a menších oceľových plechov o hrúbke 15mm. Z dôvodu zníženia celkovej výšky vozíka boli UPE profily na oboch koncoch znížené o 185mm. Spodné platne boli navrhnuté tak, aby slúžili na uchytenie lôžka pružiny. V UPE profiloch boli navrhnuté odľahčovacie otvory. Celková váha navrhnutej nosnej konštrukcie nosníka bola 2,1 ton a jeho rozmery 4500x1800x315mm. Materiál UPE profilov a plechov je oceľ S355 (obr.1).

Obr. 1 Model nosnej oceľovej konštrukcie pre prepravné zariadenie

- 36 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Predná náprava bola navrhnutá ako odpružená s riadenými kolesami a funkčnou kinematikou. Riadenie zabezpečuje tiahlo vozíka ktoré, sa napája za ťahací voz (obr.2). Predná náprava je zložená z týchto častí: nosník prednej nápravy, pravá kolesová poloos, ľavá kolesová poloos, kolesový čap, upínacia platňa prednej nápravy, riadiaca tyč dlhá, úchyt, riadiace tiahlo, riadiaca tyč krátka, pružinové lôžko a skrútková valcová pružina.

Obr. 2 Konštrukčný návrh prednej nápravy

Konštrukčné riešenie zadnej nápravy je zobrazené na obrázku 3. Jedná sa o jednoduchú pevnú nápravu s otáčajúcimi sa kolesami. Na náprave je priamo uložené lôžko pružiny. Kolesá zadnej nápravy sú brzdené samostatnými pásovými brzdami.

Obr. 3 Konštrukčný návrh zadnej nápravy

- 37 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Na zadnej náprave sa nachádza dvojica pásový bŕzd. Brzdy slúžia ako stavacie v čase nepoužívania vozíka (obr.4).

Obr. 4 Konštrukčný návrh odstavnej pásovej brzdy zadnej nápravy (1. stojan brzdy, 2. brzdový pás, 3. páka brzdy, 4. závitové lôžka, 5. závitová tyč, 6. poistná matica závitového lôžka, 7. brzdový kotúč, 8. čap páky brzdy, 9. poistná matica čapu)

Obr. 5 Konštrukčné riešenie uloženia kolies (1. kolesový náboj, 2. pojazdné kolesové obruče, 3. prítlačné veko kolesových obručí, 4. vonkajšie veko náboja kolesa, 5. čap nápravy, 6. valčekové ložiská, 7. malý vymedzovací krúžok, 8. valčekové ložiská, 9. veľký vymedzovací krúžok, 10. príruba, 11. brzdny kotúč, 12. brzda.

Kolesá boli navrhnuté ako zložené z náboja, na ktorom je nalisovaná dvojica kolesových obručí (pozícia 2. , Obr. 5). Kolesové obruče sú riešené ako oceľové prstence, na ktorých je navulkanizovaná guma. Každé koleso je schopné uniesť 6,4 ton, čiže dvojica na náboji má nosnosť

12,8 ton. Výrobca garantuje pevnosť kolies do rýchlosti 6km/hod. Sú použité dve sady valčekových ložísk z dôvodu rovnomerného rozloženia záťaže na kolesový čap. Vnútorná sada ložísk je zaistená KM maticou a MB podložkou, keďže nie je namáhaná axiálnou silou je zaistená poistnými krúžkami.

Zadný aretačný prípravok pre poistenie a fixáciu prepravovaného nákladu funguje na princípe pevnej steny s posuvnými upinacími prípožkami, ktoré sa posúvajú vo vodorovných vedeniach a zaisťujú sa jednoduchým dotiahnutím skrutiek. Prípravok aj príložky sú zvárané z 15mm prelov. Zadný aretačný prípravok je na pevno priskrutkovaný k hlavnému nosníku (obr.6).

Obr. 6 Zváraná konštrukcia zadného aretačného prípravku

Obr. 7 Zaistenie prepravovanej formy aretačnými prípravkami

Predný aretačný prípravok funguje na princípe posuvnej steny s posuvnými upinacími príložkami podobne ako zadný aretačný prípravok. Predný prípravok je podobnej konštrukcie ako zadný, taktiež je zváraný z 15mm plechov, rozdiel spočíva v tom že predný prípravok je možné posúvať pozdĺž nosníka, aby bolo možné prepravovať aj formy iných rozmerov. Predný aretačný

prípravok, má na spodnej platni vybratia, kvôli zníženiu odporu pri posúvaní, a na bočných stranách má kĺzne vedenie s zaistovacím zámkom.

ZÁVER

Práca prezentovala konštrukčný návrh prepravného zariadenia podľa požiadaviek z praxe. Bola navrhnutá zváraná nosná konštrukcia, pevné nápravy so stabilizáciou proti naklápaniu zariadenia a odpružených vinutými pružinami. Kolesá boli navrhnuté s nalisovanými pojazdvými obručami, kde každé koleso je uložené vo štvorici ložísk a každé koleso je schopné trvale prenášať 12,8 tony. Návrh riadenia predných kolies s použitím Ackermanovej geometrie na prednej náprave a návrhom nastaviteľných, mechanických aretačných prípravkov, ktoré sú schopné zaistiť formy rôznych rozmerov. Navrhnutá konštrukcia bola pevnostne skontrolovaná, všetky jej časti boli podrobené pevnostnej analýze s vyhovujúcim záverom. Bol vytvorený manuál pre používanie navrhnutého prepravného zariadenia.

LITERATURA

- [1] FIGLUS, Tomasz, KOZIOL, Mateusz, KUCZYNSKI, Lukasz: Impact of Application of Selected Composite Materials on the Weight and Vibroactivity of the Upper Gearbox Housing. In: Materials, Vol. 12, No. 16, pp. 2517-2517, 2019.
- [2] SULKA, Peter a kol.: Static structural analysis of rolling ball bearing. In: Innovative technologies in engineering production, vol. 244, 2018, p. 1- 8.
- [3] SAPIETOVA, Alzbeta a kol.: Contribution to numerical study of vehicle vertical stochastic vibration. In: Machine Modelling and Simulations, 2017, p. 1-7.
- [4] CZECH, Piotr: Autonomous vehicles: basic issues. In: Scientific Journal of Silesian University of Technology = Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Series Transport: Seria Transport., 100, pp. 15–22.
- [5] MANTIČ, Martin a kol.: Autonomous online system for evaluating steel structure durability. Diagnostyka. 2016, Vol. 17, no. 3 pp. 15-20. - ISSN 1641-6414.

Pod'akovanie

Tento príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu KEGA 037TUKE 4/2024 „Vytvorenie interaktívneho nástroja pre zvýšenie zručností a kompetencií študentov v rámci výučby predmetov zameraných na tvorbu konštrukčnej dokumentácie“.

- 40 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

EXPERIMENTÁLNY VÝSKUM V OBLASTI TERAMECHANIKY

Milan Helexa¹, Jozef Krilek²

¹Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta techniky, Technická univerzita vo Zvolene,

EXPERIMENTAL RESEARCH IN THE FIELD OF TERRAMECHANICS

Abstract: *The article briefly describes the construction of soil test bin and their equipment at various workplaces around the world. It focuses on their construction and experimental possibilities. The conclusion of the article is devoted to the description of the basic problems of terramechanics from the point of view of current research. The article also describes in more detail the soil test bin designed and built at Technical University in Zvolen.*

Key words: *terramechanics, experiment, soil bin, wheel chassis, crawler chassis*

ÚVOD

Teramechanika je relatívne mladá vedná disciplína skúmajúca všestranné vzťahy medzi bezkoľajovými podvozkami rôznych strojov pri ich pohybe po neupravených cestách alebo vo voľnom teréne a zeminou tvoriacou jazdný podklad. Teramechanika je hraničným odborom medzi klasickou mechanikou zemín a teóriou mobilných pracovných strojov a vozidiel. Začiatky teramechaniky siahajú do roku 1944 a veľmi sa teramechanika rozvinula v prvom desaťročí po druhej svetovej vojne. V rokoch 1956 až 1959 sa stala v bývalom Sovietskom zväze a v USA riadnym vysokoškolským predmetom.

V roku 1945 spoločnosť TARDEC založila Land Locomotion Laboratory a najala M. G. Bekkera aby ju viedol. Zatiaľ čo k pohybu lodí vo vode a lietadiel vo vzduchu sa dalo pristupovať teoreticky, neexistovala žiadna teória, ktorá by dovedy opisovala pohyb terénnych vozidiel voľným terénom. Tak sa začal výskum v oblasti pohybu vozidiel na rôznych nespevnených terénoch. Ďalším významným krokom bolo založenie Laboratória pozemnej trakcie, ktoré zriadila americká armáda v roku 1954 s počiatočným poslaním študovať problém mobility vozidiel v ťažkých pôdnych až rozbahnených podmienkach. Počiatočný laboratórny personál bol malý, pričom významnú úlohu v ňom zohrával opäť Dr. M. G. Bekker. Pre laboratórium sa postupne vybudoval väčší personál, pričom Bekker poskytoval organizácii odborné vedenie a inšpiráciu. Začiatkom roku 1957 bol personál laboratória doplnený o šesť inžinierov, ktorí prišli do Spojených štátov z Maďarska. Súčasný personál tohto laboratória pozostáva z jedenástich inžinierov podporovaných technikmi, strojníkmi a administratívnym personálom. Poslanie laboratória sa rýchlo zmenilo zo štúdia pohyblivosti

v rozbahnenom teréne (alebo presnejšie nepohyblivosti) na štúdium výkonu vozidiel v nepriaznivých terénnych podmienkach. Použitie termínu „terén“ si vyžiadalo zváženie širokého spektra problémov vrátane mäkkej pôdy, drsnosti povrchov, vplyvu vegetácie, prudkých svahov a vnútrozemských vodných ciest [1].

Pre jazdu v teréne sú určené samohybné a automobilové žeriavy, kolesové a pásové lopatové nakladače, osobné a nákladné terénne automobily, rýpadlá všetkých druhov, portálové

obkročné vozidlá, poľnohospodárske traktory a nosiče poľnohospodárskeho náradia a vojenské vozidlá. Výpočet týchto strojov končí celkom špeciálnymi vozidlami pre jazdu na snežných pláňach či ľadových kryhách a konečne na povrchu rôznych planét a mesiacov.

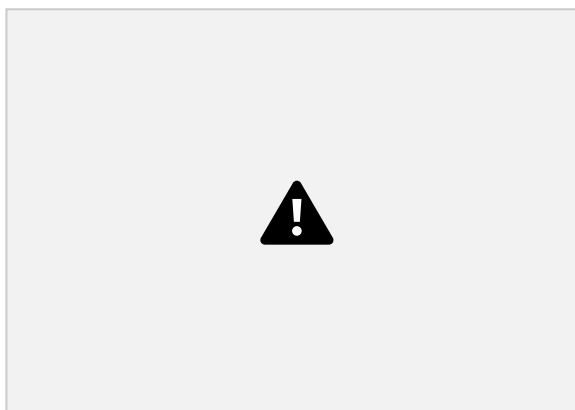
EXPERIMENTÁLNE ZARIADENIA

Zeminy, na ktorých povrchoch sledujeme pohyb mobilných prostriedkov sú v podstate trojfázové suspenzie, ktoré majú fázu tuhú, tekutú a plynnú. Vlastnosti zeminy sa líšia od seba predovšetkým tým v akom pomere sú jej jednotlivé zložky. Základnými veličinami, ktoré popisujú vlastnosti zemín, sú ich merná hmotnosť, uhol vnútorného trenia a kohézia. Kohézia má význam šmykového napätia, ktorým sa udržiava súdržnosť zŕn.

Základný experimentálny výskum v oblasti teramechaniky sa v súčasnosti realizuje na zariadeniach nazývaných pôdne skúšobné kanály. V ďalšom texte budú predstavené niektoré pracoviská, ktoré disponujú daným vybavením.

Asian Institute of Technology:

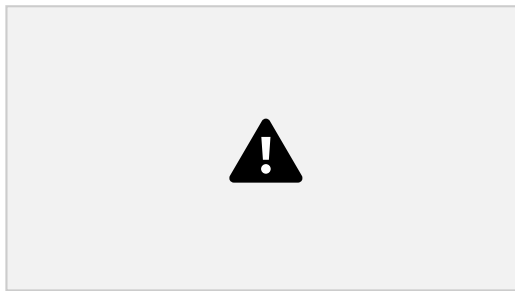
Experimentálne skúšobné zariadenie, znázornené na obrázku 1, obsahuje úzky rám nádoby pôdneho kanála, pevné koleso, vertikálny zaťažovací systém s prevodníkom sily, snímač zahĺbenia kolesa a silomer horizontálnej ťahovej sily. Úzky zásobník na zeminu (pôdny kanál) bol špeciálne vyrobený pre výskum v Agricultural Research Laboratory, Asian Institute of Technology, Thajsko. Snímač sily s nominálnou hodnotou 0,981 kN sa použil na meranie horizontálnej ťahovej sily pri experimentovaní s pevným kolesom. Snímač vertikálneho zaťaženia kolesa je umiestnený tesne nad tuhým kolesom a je pripevnený k vertikálnemu hriadeľu, ktorý drží a zaťažuje testované tuhé koleso [2].



Obr. 1 Experimentálny pôdny kanál AIT Thajsko [2]

Carnegie Mellon University:

Experimentálne zariadenie na Carnegie Mellon University pozostáva zo sklenenej nádoby na zeminu naplnenej regolitom. Zariadenie obsahuje testované koleso, zariadenie pre úpravu povrchu, ovládanie horizontálnej osi pohybu kolesa a vysokorýchlostnú kameru, ako je to znázornené na obrázku 2.



Obr. 2 Sklenená nádoba na zeminu na CMU s horizontálnou osou pohybu (vľavo) a výstupom spracovanej vzorky pre hnane koleso [3]

Keď je modul vybavený kolesom, jeho otáčky sú riadené polohou alebo rýchlosťou v koordinácii s horizontálnou osou, aby sa vytvoril požadovaný konštantný sklz. Lineárna vodiaca koľajnica umožňuje, aby sa koleso voľne posúvalo vo vertikálnom smere, čo umožňuje prirodzené zabáranie kolesa do testovaného materiálu. Na meranie reakčného zaťaženia testovaného kolesa vo všetkých smeroch je zavesenie kolesa vybavené združeným snímačom sila/krútiaci moment. Zaborenie kolesa sa tiež meria pomocou optického snímača pripevneného k vertikálnej voľnej lineárnej osi. Všetky snímané veličiny ako je uhlová rýchlosť kolesa, rýchlosť pohybu, sklz, zaborenie kolesa, zaťaženie a výkon sa zaznamenávajú súčasne pri frekvencii 20 Hz alebo vyššej. Digitálna zrkadlovka s 50 mm makro objektívom sa používa na zobrazenie deformácie pôdy pri interakcii so sledovaným materiálom v pôdnom kanáli [3].

German Aerospace Center:

German Aerospace Center využíva dve rôzne testovacie stanovištia. Jedno určené na sledovanie pohybu jedného kolesa a druhé na hodnotenie trakčného výkonu na úrovni systému lunárnych roverov, ako je to znázornené na obrázku 3. Obe testovacie zariadenia obsahujú zásobníky pôdy (pôdne kanáli) naplnené vhodným pôdnym simulátorom, ktorý má predovšetkým simulovať povrchy rôznych planét (najmä však planéty Mars). Hlavným účelom testovania je meranie ťahovej schopnosti vozidla (to je ťah oja) na homogénnych povrchoch a za kontrolovaných podmienok. Výsledkom experimentálnych výskumov na tomto zariadení bolo zavedenie niekoľkých odlišných modifikácií teramechanických modelov systému koleso-pôda, ktoré sa týkali predovšetkým modelovania preklzu a zaborenia kolesa [4].

Harbin Institute of Technology:

Testovací systém interakcie kolesa s pôdou, znázornený na obrázku 4, bol vyvinutý v Čínskom štátnom laboratóriu robotiky a Harbinským technologickým inštitútom. Skúšobný kanál má rozmery 1700 mm x 850 mm x 900 mm. Môže sa použiť na vykonávanie experimentov na kolesách s

polomerom od 50 mm do 200 mm a šírkou od 60 mm do 300 mm. Skúšobné zariadenie obsahuje tri motory (hnací motor testovaného kolesa, motor smerového riadenia a motor pohonu vozíka), vybavené snímačmi posuvu, združeným snímačom sila/krútiaci moment a snímačom hnacieho momentu. Hnací motor zabezpečuje pohyb testovaného kolesa dopredu. Motor pohonu vozíka sa používa za účelom imitácie vplyvu karosérie vozidla na koleso, aby sa vytvorili rôzne pomery sklzu. Motor riadenia poháňa smerové riadenie testovaného kolesa. Zabáranie kolesa je merané vysoko

presným lineárnym potenciometrickým snímačom posunu. Snímač sila/krútiaci moment môže merať ťah oja, krútiaci moment riadenia, bočnú silu, normálovú silu atď., zatiaľ čo krútiaci moment hnacieho motora testovaného kolesa meria samostatný snímač krútiaceho momentu. Na snímanie polohy každého člena pojazdu sa používajú rôzne snímače polohy [5].

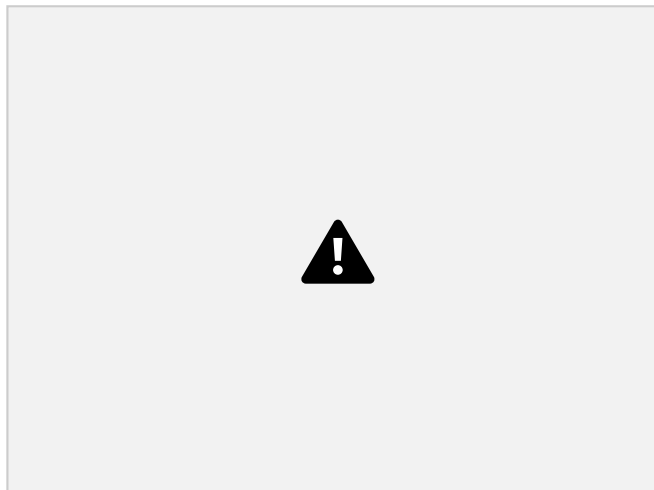
Obr. 3 *Jednokolesové zariadenie (vľavo) a sledovaný lunárny modul (vpravo) [4]*

Obr. 4 Testovacie zariadenie HIT [5]

Illinois Institute of Technology:

Obrázok 5 znázorňuje jednokolesové testovacie zariadenie na Illinois Institute of Technology, ktoré sa používa na výskum zahĺbenia kolesa pri malých zaťaženiach a priemeroch kolies. Koleso je vybavené nezávislým pohonom a môže sa voľne pohybovať vo vertikálnom smere. Pohonom kolesa a vozíka rôznymi rýchlosťami je možné dosiahnuť celý rozsah sklzových pomerov. Steny pôdneho

kanála sú navrhnuté tak, aby nezasahovali do rozloženia napätia pod kolesom, ktoré závisí od typu pôdy, rozmerov kolesa a zvislého zaťaženia [6].



Obr. 5 Testovacie zariadenie IIT [6]

Testovacie zariadenie využíva tri typy snímačov na zaznamenávanie potrebných veličín: šesťosový snímač sily a krútiaceho momentu, lineárny potenciometer a tachometre pripojené k hnacím motorom a hnacej remenici testovaného kolesa. Združený snímač sily a krútiaceho momentu, ktorý meria výkonové a silové parametre na testovanom kolese, je dimenzovaný na 200 N axiálneho zaťaženia a 20 N.m krútiaceho momentu. Lineárny potenciometer sa používa na meranie posunutia vo vertikálnom smere, pričom poskytuje údaje o zahĺbení sledovaného kolesa. Namerané údaje zo senzorov, ako aj riadenie pohonných motorov sa ďalej realizujú a spracovávajú pomocou softvérového produktu LabView [7].

Japan Aerospace Exploration Agency:

Šikmé testovacie lôžko pozostávajúce zo širokého zásobníka na zeminu s efektívnymi vnútornými rozmermi 1,5 m (šírka), 2,0 m (dĺžka) a 0,2 m (hĺbka), ktoré je možné nakláňať, bolo skonštruované v Chofu Aerospace Center v Japonsku (obr.6). Pôdny kanál sa môže axiálne otáčať pomocou lineárneho elektricky ovládaného pohonu. Vodorovný rám na umiestnenie kolesa bol postavený nad šikmým zásobníkom na zeminu. Sledované koleso pripevnené na konci mechanizmu sa môže voľne vertikálne zahĺbiť, pričom jeho zaťaženie je regulované protizávažím. Ďalšie protizávažie je upravené tak, aby pôsobilo proti odpor pohybu systémového nosiča s kolesom a aby bolo možné správne ovládať ťahové zaťaženie testovaného kolesa. Pohybový odpor testovaného kolesa je sledovaný združeným snímačom sily/krútiaci moment. Vertikálne zahĺbenie kolesa sa meria nepriamo prostredníctvom snímačov uhlového natočenia ako rozdiel uhla v bode závesu paralelného článku mechanizmu. Prejdená horizontálna dráha testovaného kolesa je monitorovaná prostredníctvom laserového snímača vzdialenosti [8].

Virginia Polytechnic Institute and State University:

Hlavnou testovacou platformou na skúmanie interakcie pneumatiky s pôdou je zariadenie teramechaniky v laboratóriu Advanced Vehicle Dynamics Lab. vo Virginia Polytechnic Institute. Toto

jednokolesové testovacie zariadenie v podstate simuluje model vozidla s pevným odpružením, ktorý je vyrobený tak, aby dôkladne skúmal dynamiku pneumatík pri aplikácii na širokú škálu terénov, ako je znázornené na obrázku 7. Súprava je poháňaná dvoma motormi - jeden zabezpečuje pozdĺžnu rýchlosť testovaného kolesa aktiváciou pásového systému, ktorý pohybuje

vozíkom po testovanom teréne, a druhý motor riadi uhlovú rýchlosť testovaného kolesa, čo umožňuje výskumníkom preddefinovať rôzne hodnoty pozdĺžneho sklzu. Komplexné silové pomery v náboji testovaného kolesa sú zaznamenávané prostredníctvom viacosového snímača sily a krútiaceho momentu, ktorý meria všetky tri sily a momenty pôsobiace na testované koleso. Na meranie vertikálnej dráhy kolesa (zahĺbenia) sa tiež používa potenciometrický snímač dráhy [9].

Obr. 6 Pohľad na skúšobné zariadenie s meraným kolesom v JAEA [8]

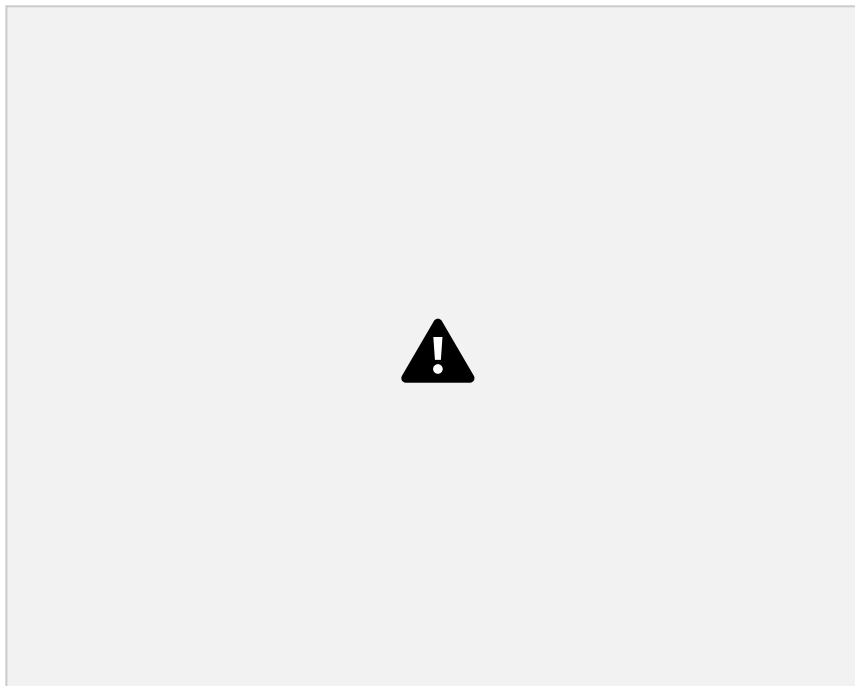
Obr. 7 Pôdny skúšobný kanál VPI [9]

PÔDNY SKÚŠOBNÝ KANÁL TU ZVOLEN

Základom nami navrhnutého zariadenia je pôdny kanál skriňovej konštrukcie (obr.8, poz.1) [10]. Jeho dĺžka dosahuje 6 550 mm, šírka 690 mm a hĺbka 500 mm. Jeho pracovný objem je 2,26 m³. Konštrukcia je riešená modulovo, takže v prípade potreby je možné ho predĺžiť na požadovanú dĺžku. Z dôvodu zabezpečenia pracovnej polohy sú nosné piliere kanála ukotvené do betónovej podlahy laboratória pomocou závitových kotiev.

Hlavný rám kolesa 3 obsahuje pohonový mechanizmus kolesa a zároveň nesie prídavné závažia prostredníctvom ktorých je možné meniť zvislé zaťaženie kolesa. Samotný hlavný rám kolesa má hmotnosť 450 kg, pričom pomocou prídavných závaží je možné túto hmotnosť zvýšiť až na 1 300

kg. Pohon skúšaného kolesa zabezpečuje elektromotor Siemens 1LA7 133-4AA výkonu 7,5 kW s menovitým krútiacim momentom 49,2 N.m. Násobenie krútiaceho momentu je tu zabezpečené prostredníctvom prevodovky STM ARP 100/3 s celkovým prevodovým pomerom 40,6 a reťazovým prevodom s celkovým prevodovým pomerom 2. Celkový prevodový pomer mechanizmu náhonu kolesa teda je 81,2.



Obr. 8 Pôdny skúšobný kanál TU Zvolen (foto autor)

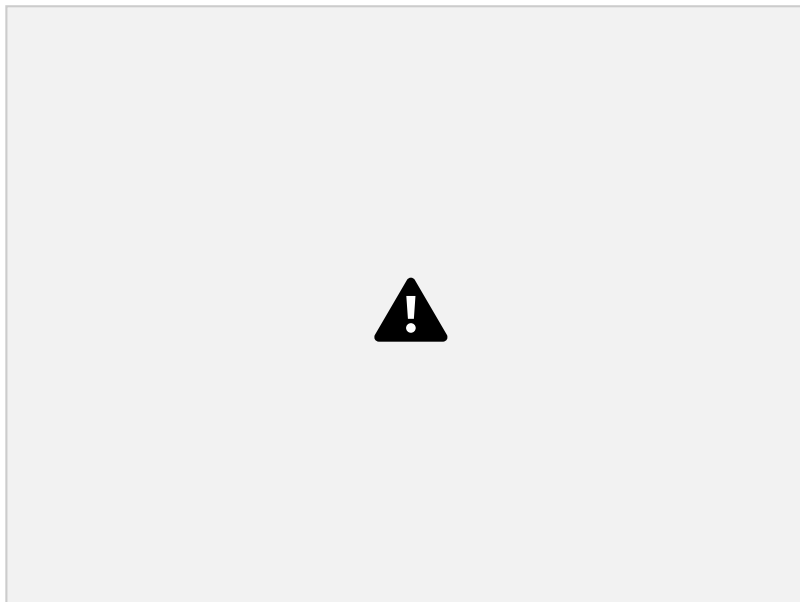
a) Pohľady na zariadenie, b) Vratný navijak

1. Teleso pôdneho kanála, 2. Bočné vedenie, 3. Hlavný rám s testovaným kolesom,
4. Vodiaci rám, 5. Brzdné a vratné zariadenie

Ťahový odpor pri pojazde kolesa v kanály je vyvođený prostredníctvom brzdného zariadenia 5 umiestneného na konci pôdneho kanála. To pozostáva z navijáka a navijacieho elektromotora Siemens 1LA7 113-4AA výkonu 4 kW. Brzdny účinok je tu vyvođený mechanicky prostredníctvom brzdnych čeľustí, ktoré sú pritláčané na obvod brzdnych bubnov prostredníctvom pákového mechanizmu so závažiami. Takto vyvođená brzdna sila môže dosiahnuť veľkosti až 10 000 N. Navijací elektromotor slúži na spätný pohyb celého mechanizmu vedenia a pohonu kolesa. Zároveň umožňuje vykonávať merania aj na pneumatikách vlečených kolies, kedy motorický pohon kolesa je vyradený z činnosti a celý mechanizmus sa môže pohybovať len prostredníctvom navijania elektromotorom brzdy. Funkcia brzdy pri trakčných skúškach a navijania do východzej polohy prostredníctvom elektromotora navijáka je zabezpečená dvoma elektromagnetickými ovládanými spojkami, ktoré podľa potreby zapájajú do činnosti brzdu alebo elektromotor navijania.

Pre potreby zisťovania trakčných, ťahových a iných energetických závislostí, bolo uvedené skúšobné zariadenie vybavené nasledovnými snímačmi fyzikálnych veličín. Za elektromotorom pohonu kolesa (obr.9, poz.1) bol osadený združený snímač krútiaceho momentu a otáčok 2 firmy ESA DR 2212 R menovitej veľkosti 100 N.m, pomocou ktorého je možné zisťovať celkový výkon privedený na skúšanú pneumatiku (koleso). Preklz skúšanej pneumatiky (kolesa), ako aj reálnu

rýchlosť jej pohybu môžeme sledovať prostredníctvom dvoch indukčných snímačov Sensortech ISPT 118 R osadených na hnacom reťazovom kolese. Veľkosť vyvodenej ťahovej sily je sledovaná prostredníctvom tenzometrického snímača sily firmy HBM S9M menovitej veľkosti 10 kN. Signály z uvedených snímačov fyzikálnych veličín sú privádzané do meracieho záznamového zariadenia Quantum X MX 840 A a ďalej spracované vo výpočtových produktoch Catman Easy a MS Excel.



Obr. 9 Mechanizmus pohonu kolesa (foto autor)
1. Hnací elektromotor, 2. Snímač krútiaceho momentu a otáčok, 3. Remeňový prevod,
4. Prevodovka, 5. Reťazový prevod

ZÁVER

Napriek veľkému množstvu experimentálnych zariadení po celom svete pretrvávajú nedostatok pochopenia kľúčových javov teramechaniky, ako sú účinky vlhkosti, vplyv rýchlosti a vplyv veľkosti sledovaného modelu. Deje sa tak aj z dôvodu obmedzenosti súčasných experimentálnych možností. Zameranie sa však na uvedené javy prinesie vedeckej komunite značný pokrok vpred.

Napriek konštrukčným podobnostiam súčasných experimentálnych zariadení má každé laboratórium svoje jedinečné schopnosti, ktoré by mohli byť užitočné pri výskume v oblasti teramechaniky. Riadené laboratórne testy v uzavretých priestoroch (budovách) poskytujú praktické prostriedky na vykonávanie experimentálneho výskumu počas celého roka. Pôda však v tomto prípade nikdy nebude skutočne reprezentovať reálne poľné podmienky. Preto je potrebné tieto laboratórne testy doplniť materiálovým a terénnym výskumom.

Čo sa týka vojenských aplikácií tieto v čisto suchom, piesočnatom teréne nikdy nereprezentujú skutočnú realitu. Je potrebné vedieť predvídať výkon a prejazdnosť vozidla na vlhkej pôde. Vplyv rýchlosti pohybu vozidla v teréne nemožno zanedbať. Na vykonanie týchto experimentov sú potrebné väčšie pôdne skúšobné kanály než tie ktoré sme prezentovali a testy realizované v reálnom teréne.

LITERATURA

- [1] CVEKL, Z. – DRAŽAN, F. – BOLEK, A. – CAIS, O. – HAVELKA, Z. – ZÝMA, J.: Teoretické základy transportních zařízení. Praha/Bratislava: SNTL/Alfa, 1976, 320s.
- [2] KHOT, L.R. – SALOKHE, V.M. – JAYASURIYA, H.P.W. – NAKASHIMA, H.: Experimental validation of distinct element simulation for dynamic wheel-soil interaction. In: Journal of Terramechanics, 2007, vol.44, No.6, pp.429-437

- [3] SKONIECZNY, K. – MORELAND, S. – CREAGER, C. – WETTERGREEN, D.: Novel experimental technique for visualizing and analyzing robot-soil interactions. In: Earth and Space, 2012, pp.495-504
- [4] PARAMSOTHY, J. – MELANZ, D. – SMITH, W.: Recommendation of a next generation terramechanics experimentation capability for ground vehicle systems. In: Proceedings of the 7th Americas Regional Conference of the ISTVS 2013, 22p.
- [5] DING, L. – GAO, H. – DENG, Z. – NAGATANI, K. – YOSHIDA, K.: Experimental study and analysis on driving wheels performance for planetary exploration rovers moving in deformable soil. In: Journal of Terramechanics, 2011, vol.48, No.1, pp.27-45
- [6] MEIRION-GRIFFITH, G. – SPENKO, M.: An empirical study of the terramechanics of small unmanned ground vehicles. In: 2010 IEEE Aerospace Conference, pp.1-6, Mar.2010
- [7] MEIRION-GRIFFITH, G. – SPENKO, M.: A modified pressure-sinkage model for small, rigid wheels on deformable terrains. In: Journal of Terramechanics, 2011, vol.48, No.2, pp.149-155
- [8] NAKASHIMA, H. – FUJII, H. – OIDA, A. – MOMOZU, M. – KANAMORI, H. – AOKI, S. – YOKOYAMA, T. – SHIMIZU, H. – MIYASAKA, J. – OHDOI, K.: Discrete element method analysis of single wheel performance for a small lunar rover on slope terrain. In: Journal of Terramechanics, 2010, vol.47, No.5, pp.307-321
- [9] SANDU, C. – PINTO, E. – NARANJO, S. – JAYAKUMAR, P. – ROSS, B.: Soft soil tire model development and experimental testing. In: 12th European Regional Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems, 2012
- [10] HELEXA, M. – MIKLEŠ, M.: Pôdny skúšobný kanál pre výskum interakcie pružného kolesa a podložky. In: Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie: 38. medzinárodná konferencia kateder dopravných, manipulačných, stavebných a zemědělských strojů, Plzeň, 5 – 7 septembra 2012, ES ZČU, 2012, s.27-30 ISBN 978-80-261-0141-3

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol za podpory projektu Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry MŠVVaM SR KEGA 007TU Z-4/2023 „Inovácia a edukačná podpora predmetov v oblasti technickej diagnostiky poľnohospodárskej a lesníckej techniky s orientáciou na prax,

KONŠTRUKČNÝ NÁVRH HNACIEHO VÝVOZNÉHO VOZÍKA ZA MALOTRAKTOR

Jozef Krilek¹, Filip Ivanič²

¹ Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta techniky, T. G. Masaryka 24, 960 01, Zvolen, Slovensko,
e-mail: jozef.krilek@tuzvo.sk

CONSTRUCTION DESIGN OF THE DRIVEN FOREST TRAILER FOR A SMALL TRACTOR

Abstract: *The article deals with the design of the construction design of a driving forest truck with a handling arm behind a small tractor. Based on the concept, the structural design of the carriage and drive mechanism was proposed. A stress-strain analysis was performed, and the locations with the largest values are presented. After carrying out all cases of static analysis, the maximum stresses were below the limit of the yield point, where the parts of the trolley designed by us in combination with the selected material meet the loads.*

Key words: *timber export, manipulator arm, driven forest timber trailer, boogie axle, diagnostics*

ÚVOD

V súčasnosti sa v oblasti ťažby dreva začína dostávať do popredia sústreďovanie vyvážaním. Pre tento spôsob sú vyvinuté dopravné prostriedky v rôznych rozmerových a výkonových prevedeniach. Vhodnosť výberu prostriedku pre dané miesto je podmienená viacerými faktormi, kde môžeme zaradiť únosnosť pôdy, hustotu, vek porastu a iné. Práve pre miesta s malou únosnosťou je potrebné voliť prostriedky určené na takého aplikácie. Jednou z možností je použitie univerzálneho kolesového traktora s vývozným vozíkom, resp. vyvážacím príviesom. Súčasťou príviesov býva hydraulická manipulačná ruka, označovaná tiež hydraulický žeriav. Dôležitou výhodou tohto výberu je aj univerzálnosť traktora, ktorý možno použiť aj na iné činnosti. Daný príspevok sa zameriava na konštrukčný návrh hnacieho vývozného vozíka za malotraktor od spoločnosti WIM s.r.o.

Pri vyvážaní spočíva náklad dreva úplne na transportnom prostriedku, na jeho ložnej ploche, uložený medzi klanicami. Vyvážanie je technologická fáza, pozostávajúca z operácií vynášania, zostavenia nákladu, vyvážania, triedenia na odvozné miesto, ukladania na skládku a jazdy do porastu. Pretože sú vyvážacie súpravy aj vyvážacie traktory (vyvážače, forvardery) vybavené hydraulickým žeriavom (označovaný tiež hydraulická ruka) s drapákom, môžu byť všetky tieto operácie vykonané jedným strojom. V tom prípade je drevo vynesené z porastu hydraulickým žeriavom na vzdialenosť danú jeho dosahom, a náklad je priebežne zostavovaný nakladaním na ložnú plochu (Neruda a kol., 2022). Pri tvorbe vývozných súprav s malotraktorom ide najčastejšie o motorové vozidlá s ťažnou silou do 6 kN. Malotraktory sa používajú na približovanie dreva v

- 50 -

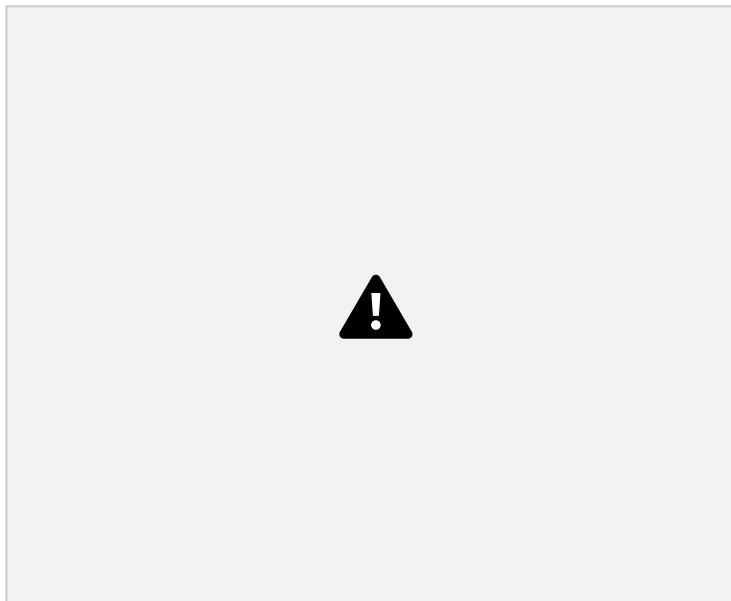
50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

špeciálnych podmienkach a všeobecne na vykonávanie malých poľnohospodárskych úloh. Ich výhodou sú malé rozmery, malá hmotnosť a s tým spojené veľmi nízke tlaky na pôdu. Z tohto dôvodu sa využívajú najmä na približovanie dreva v mladých porastoch, najmä v rovinatých oblastiach s nízkou únosnosťou pôdy (Więsik a kol., 2015).

KONŠTRUKČNÝ NÁVRH

Konštrukčný návrh vozíka je na malotraktor Salamander 600 4x4 (Obr. 1). Salamander 600 4x4 je malý elektrický kolesový traktor s čelným nakladačom. Disponuje tiež predným a zadným

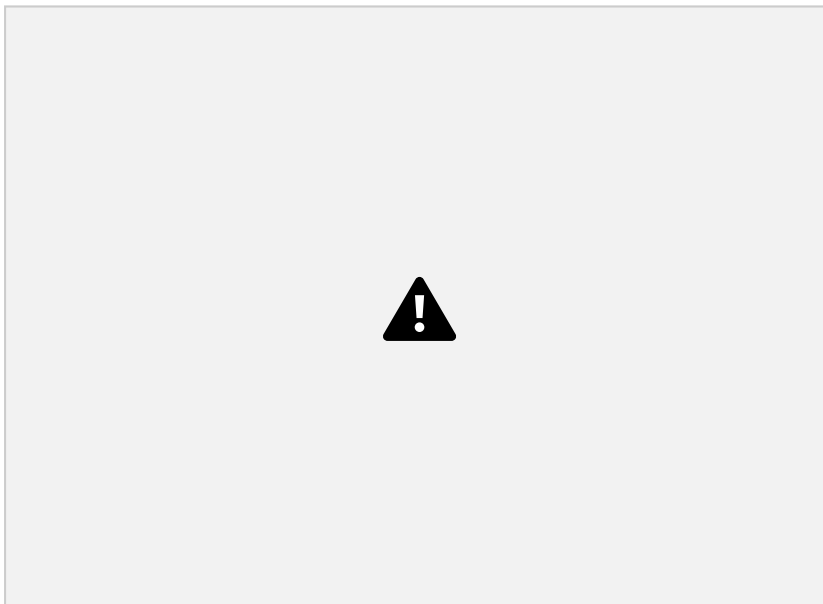
závesom, kde je možné pripojiť rozličné elektrické a hydraulické prídavné zariadenia, čo výrazne rozširuje možnosti jeho použitia. Malé rozmery spolu so zlomovacím a výkyvným rámom mu umožňujú výbornú manévrovateľnosť v náročných terénoch (Wim, 2024). Vďaka tomu je predurčený pre aplikáciu v poľnohospodárskych, lesníckych, pestovateľských, a komunálnych oblastiach.



Obr. 1 Salamander 600 4x4

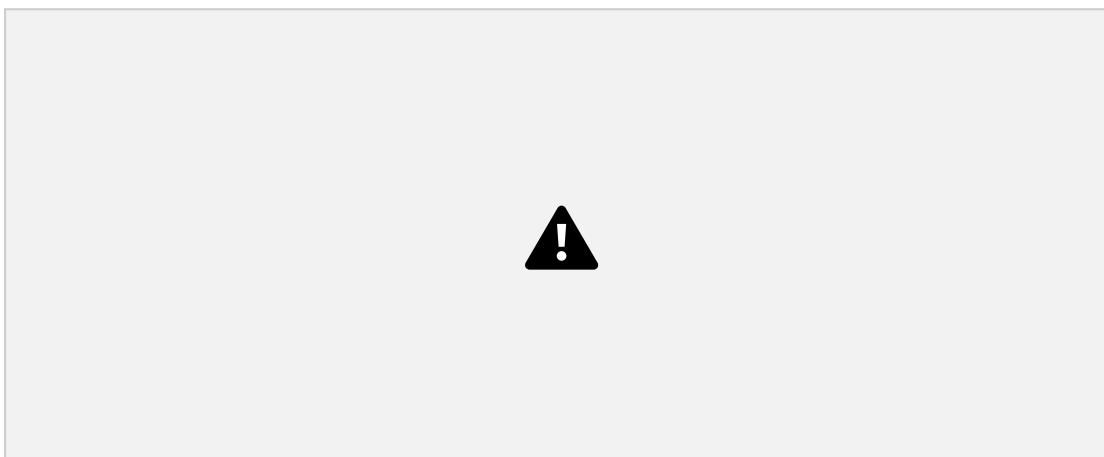
Pri vývoji nových konštrukcií strojov a zariadení treba dnes vychádzať z poznatkov, ktoré dostatočne predikujú v tejto oblasti vývoja na najbližšie obdobie. Jedným z možných zdrojov poznatkov, okrem najnovšej odbornej literatúry a firemnej literatúry, je konfrontácia výrobcov strojov na medzinárodných výstavách a veľtrhoch. Tieto podujatia dávajú možnosť získania najnovších poznatkov nielen v oblasti konštrukcie, ale aj o najnovších technológiách s ktorými konštrukcia vzájomne súvisí. Výrobca zároveň získava spätnú väzbu – informáciu o úspešnosti svojho výrobku na konkurenčnom trhu (Kučera, Helexa, 2014). Konštrukčný návrh hnacieho vývozného vozíka s manipulačnou rukou (obr. 2), vytvoreného v 3D modelovacom programe Autodesk Inventor Professional 2024. 3D model zobrazuje detailné riešenie, avšak vynechané sú hydraulické spojovacie prvky a hadice, elektroinštalácia, lanovod uzávierky diferenciálu a čiastočne zvarové spoje. Konštrukcia hnacieho vývozného vozíka je pomerne komplikovaná myšlienka, ktorá si vyžaduje vopred stanoviť určité podmienky. Vo všeobecnosti najdôležitejšia je nosnosť, objem ložného

priestoru, ťažná sila nápravy, hmotnosť a celkové rozmery. Podmienky, ktorým sme sa snažili vyhovieť pri návrhu konštrukcie hnacieho vývozného vozíka za Salamander 600 4x4.



Obr. 2 3D model vývozného vozíka – pohľad 1

Rám vozíka je riešený modulárne, čo znamená že prípadná zmena jeho rozmerov je veľmi jednoduchá. Pozostáva z troch základných častí, ktoré sú spolu zoskrutkované, pričom obsahujú otvory pre vedenie elektroinštalácie a lanovodu uzávierky diferenciálu. Stredná časť rámu (obr. 3) pozostáva predovšetkým zo stredného zvarenca (1), na ktorom sú priskrutkované komponenty. V strede je uložená pohonná jednotka (3), pričom je upevnená skrutkami a vypodložená štvorcovým profilom (4). Toto upevnenie znamená, že pohonná jednotka netvorí nosný prvok, prenáša len krútiaci moment. Na nábojoch jednotky sú priskrutkované zostavy hnacích reťazových kolies (5) pre prenos krútiaceho momentu na kolesá náprav. Súčasťou rámu je úchyt pre pútač popruhu (2) a montovaná priečka (6), ktorá drží tvar zvarenca a vystužuje rám. Na krajoch rámu sú umiestnené konzoly náprav (7) a vo vnútri sa nachádzajú aj elektronické komponenty: frekvenčný menič (8) a stykač (9).



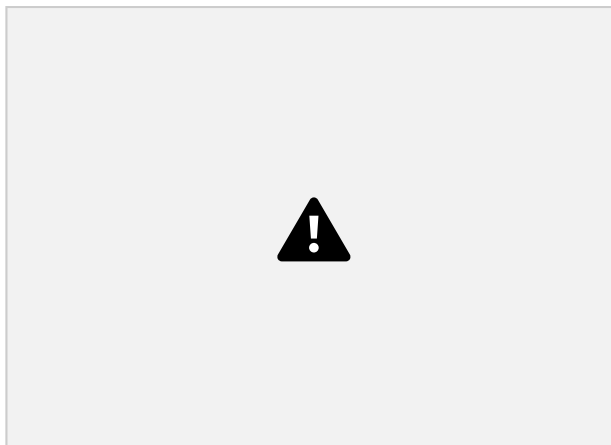
- 52 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Obr. 3 Stredná časť rámu – pohľad zdola: 1-stredný zvarenec, 2-úchyt pre pútač popruhu, 3-pohonná jednotka, 4-uzavretý štvorcový profil 45x45x4, 5-zostava hnacích reťazových kolies, 6-priečka, 7-konzola nápravy, 8-frekvenčný menič AC F2-A 36-48V 240A, 9-stykač LEV200A5NAF

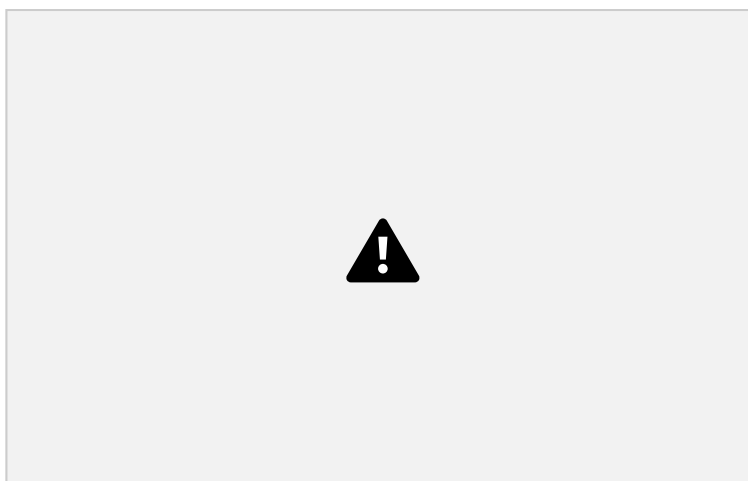
Obe boogie nápravy vozíka sú identické, vkladajú sa do strednej časti rámu (obr. 4), konkrétne do konzol náprav (2). Otáčanie zabezpečuje čap nápravy (3), pričom rozsah pohybu náprav je 13° do oboch smerov. Aby sa toto vychýlenie neprekročilo a jazdné koleso nenarazilo do nákladu, má stredná časť rámu dorazy, zobrazené na obr. 4. Z náprav vystupujú hriadele, na ktoré

sa montujú náboje kolies (4) a neskôr jazdné kolesá, toto uloženie zobrazuje obr. 4.



Obr. 4 Uchytenie nápravy: 1-náprava, 2-konzola nápravy, 3-čap nápravy Ø45, 4-náboj kolesa

Hlavnú nosnú časť nápravy (obr. 5) predstavuje zvarenec nápravy (1), na ktorom sú priskrutkované kryty (2,3). Dištančný stĺpik (4) sčasti upevňuje bočný kryt (2), a tiež sa naň skrutkuje vnútorný kryt. Reťazový prevod v tejto časti pozostáva z dvojice hnacích reťazových kolies (5), valčekových reťazí (6) a zostáv napínania (7). Zostavy napínania sú identické, obe slúžia pre napínanie jednej z reťazí (6), napínanie a uvoľňovanie je možné skrutkami s maticami (8). Komponenty reťazového prevodu boli vytvorené generátorom prevodov modelovacieho programu, ktorý pre šetrenie grafickej pamäte zobrazuje reťaze len základnými obrysami.



***Obr. 5** Vnútorne časti nápravy: 1-zvarenec nápravy, 2-bočný kryt, 3-čelný kryt, 4-dištančný stĺpik 2213X60, 5-hnané reťazové koleso, 6-valčeková reťaz, 7-zostava napínania, 8-napínacia skrutka s maticou M10*

Vzhľadom na nedostatok priestoru nie je reťazový prevod kompletne krytý. Je chránený na najzraniteľnejších miestach, napriek tomu očakávame, že do vnútra nápravy pri prevádzke vnikne voda, bahno a iné cudzie predmety, z toho dôvodu obsahuje zvarenec otvory pre únik týchto látok.

Výpočet stability a napäťová analýza

Táto časť kapitoly obsahuje výpočet priečnej stability navrhnutého vozíka, takisto napäťovo – deformačnú analýzu.

Výpočet stability

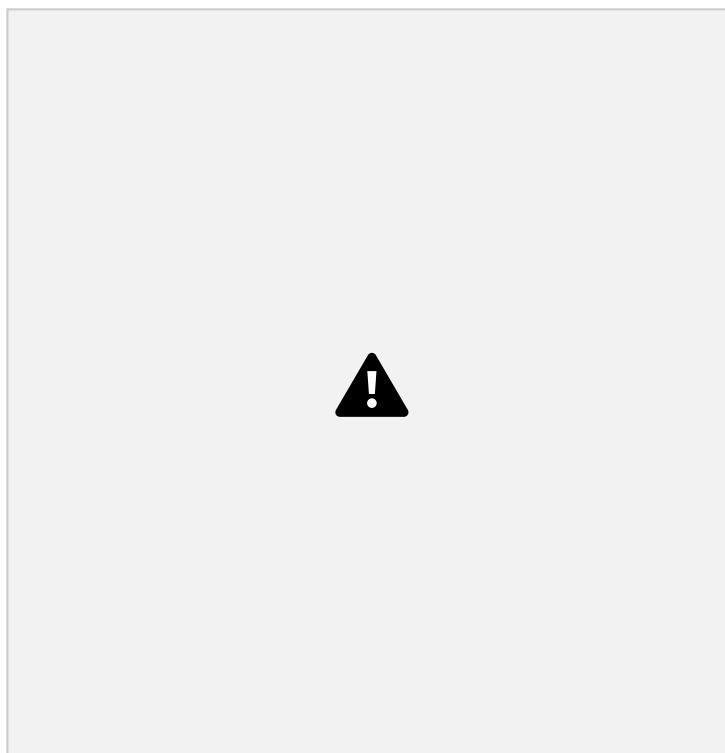
Salamander 600 4x4 spolu s hnacím vývozným vozíkom sú navrhnuté pre sústreďovanie dreva predovšetkým v rovinatých oblastiach. Kvôli rôznorodosti terénu lesného prostredia je ale potrebné určiť hranicu prevrátenia, a to najmä v priečnom smere (vzhľadom na rozmery vozíka). Tento limitný uhol zároveň považujeme za kľúčový pre bezpečnú prevádzku vznikutej súpravy, vypočítame ho dosadením číselných hodnôt do vzťahu č. 1 (Danko, Krilek, 2014):

$$\operatorname{tg} \beta_{\lim} = \frac{B}{2h_T} = \frac{990}{2 \cdot 770} \quad (1)$$

kde: B – rozchod kolies [mm]

h_T – výška ťažiska pri maximálnom zaťažení (určené modelovacím softvérom) [mm]

Výsledný maximálny uhol, ktorý vozík dokáže prekonávať s maximálnym nákladom bez prevrátenia je 32,6° (obr. 6).

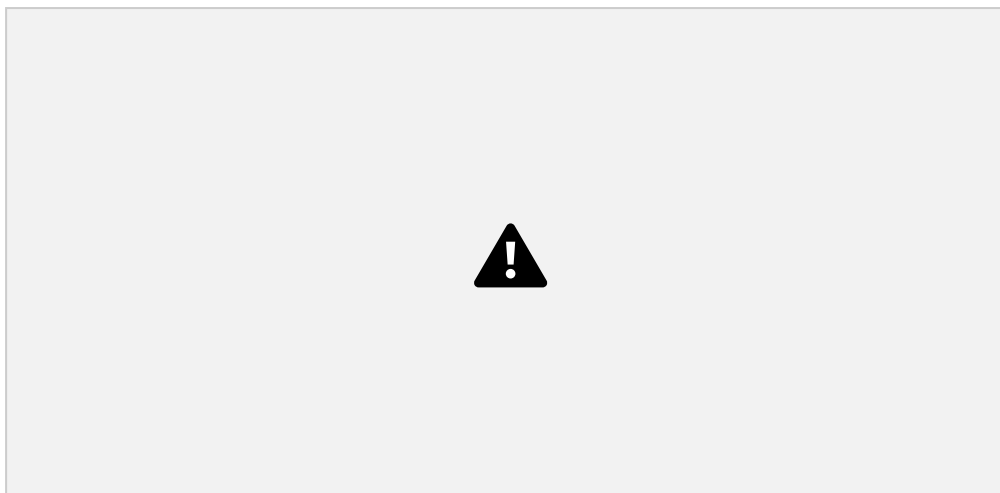


Obr. 6 Limitný priečny uhol vozíka

Napät'ovo – deformačná analýza

Spôľahlivá prevádzka vývozného vozíka si vyžaduje overenie navrhnutých konštrukčných celkov. Za najdôležitejšie považujeme základné časti rámu (obr. 7) s nápravami, vrátane ich spojenia. Vo všetkých prípadoch sa jedná o montované celky, pričom najväčší podiel tvoria zvarané časti. Komponenty, ktoré nemajú vplyv na výsledok analýzy sme do simulácie nezahrnuli. Prevažnú väčšinu týchto modelov tvoria profily, výpalky a výlisky z ocele 11 523, medza klzu tohto materiálu je 355 MPa. Statickou analýzou v prostredí modelovacieho programu zisťujeme napätia a deformácie, zároveň sledujeme miesta s najväčšou koncentráciou týchto hodnôt.

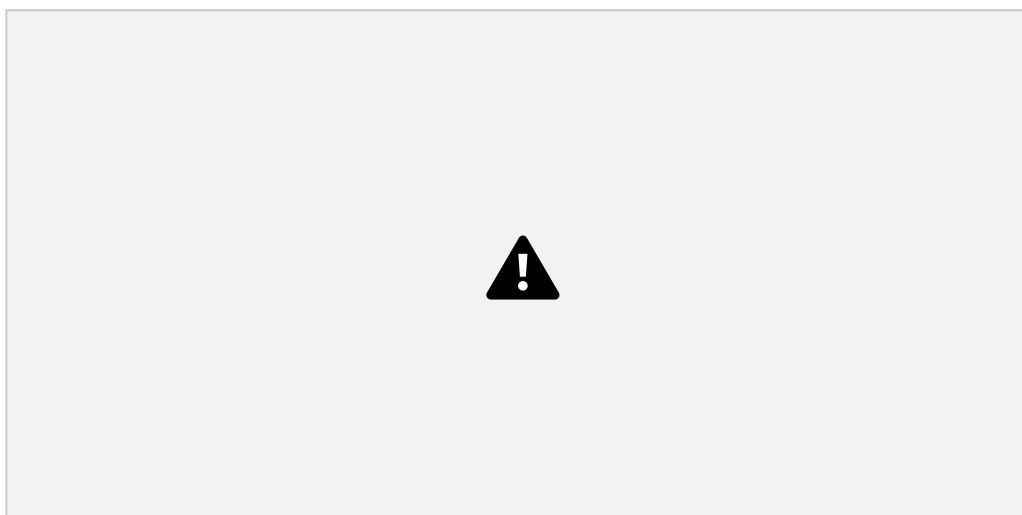
Celok sme zaväzbili tak, aby sa približoval najreálnejším statickým podmienkam. Votkli sme plochu profilu (v mieste kde sa nachádza spojovací prvok) a stykové plochy nábojov a jazdných kolies. Vrchné plochy rámov sme zaťažili silou, ktorá zodpovedá hmotnosti nákladu a samotného vozíka. S ohľadom na objem ložnej plochy a nosnosť prívesu uvažujeme s hmotnosťou nákladu vo výške 1 300 kg, táto hodnota predstavuje hmotnosť najčastejšie vyvážanej drevnej suroviny (vzhľadom na nominálny objem nákladu vozíka). Výsledná hmotnosť vyvolá zaťaženie 18 120 N, pričom túto hodnotu zvyšujeme o 20 %, berúc do úvahy dynamické zaťaženie a zvýšenie bezpečnosti, teda výsledné zaťaženie predstavuje 21 750 N. Hustotu mriežky „mesh“ sme ponechali v predvolenom režime, ktorý ju nastaví čo možno najhustejšiu, vzhľadom na presnosť a rýchlosť výpočtu.



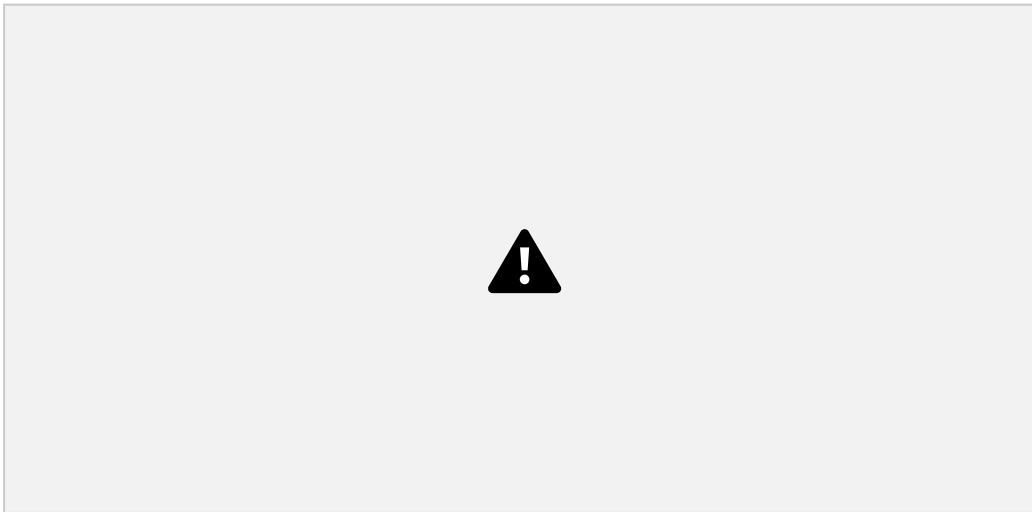
Obr. 7 Zobrazenie mriežky vrátane väzieb a pôsobiacich síl

- 55 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ



Obr. 8 Výsledok statickej analýzy kompletnej nosnej časti – zobrazenie napätí

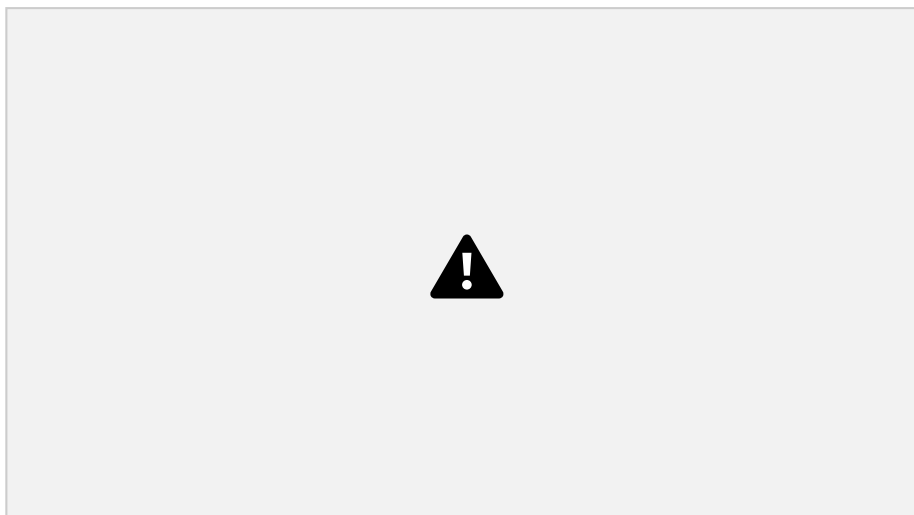


Obr. 9 Výsledok statickej analýzy kompletnej nosnej časti – zobrazenie deformácií

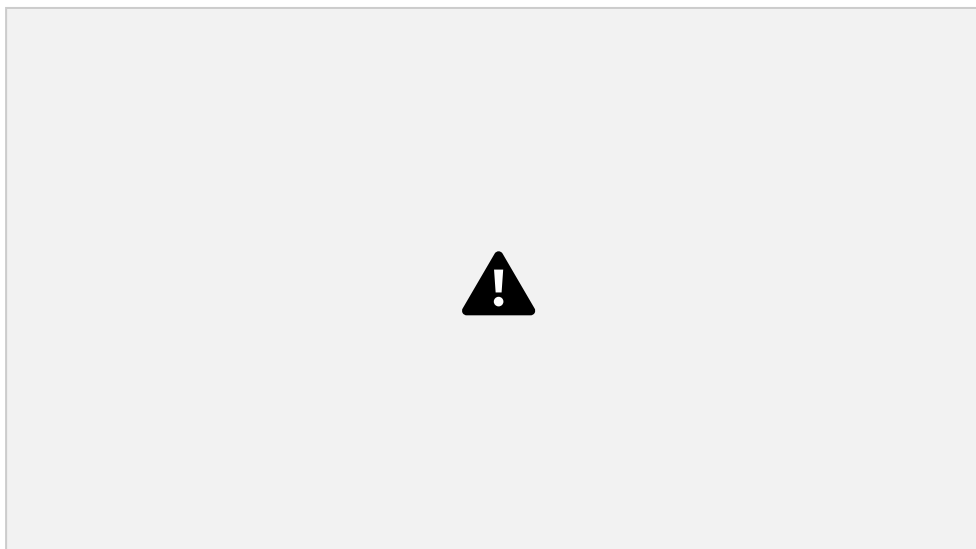
Vysoko dôležitá je pevnosť a tuhosť navrhnutej nápravy, z toho dôvodu sme simulovali aj zaťaženie tejto časti. V tomto prípade sú votknuté stykové plochy nábojov a jazdných kolies, zaťažovaná je vrchná plocha stredného rámu.

- 56 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ



Obr. 10 Výsledok statickej analýzy stredného rámu a náprav – zobrazenie napätí

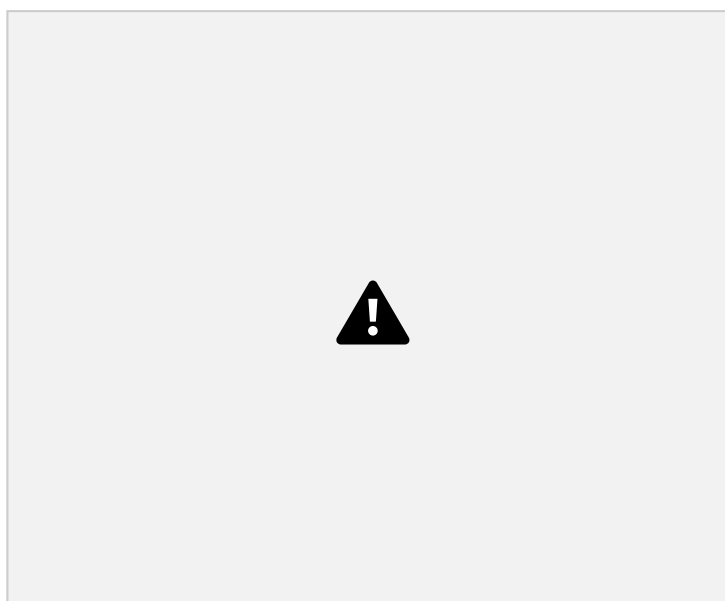


Obr. 11 Výsledok statickej analýzy stredného rámu a náprav – zobrazenie deformácií

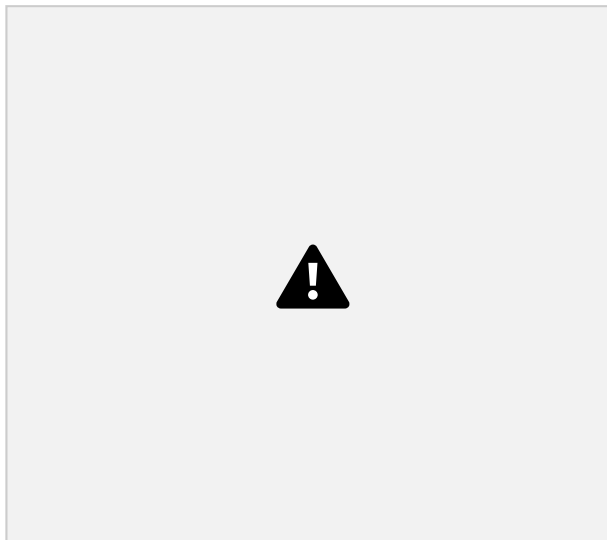
Simulácia odhalila aj miesta s najväčšou koncentráciou napätí, jedná sa o rozhranie spojenia výstupných hriadeľov (obr. 12) s nábojmi kolies a jedného z rebier nápravy (obr. 13). V oboch prípadoch tieto napätia dosahujú približne 110 MPa, čo je hlboko pod hranicou medze klzu ich materiálu.

- 57 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ



Obr. 12 Výsledok statickej analýzy – zobrazenie miest s najväčšími napätiami 1



Obr. 13 Výsledok statickej analýzy – zobrazenie miest s najväčšími napätiami 2

Po vykonaní všetkých prípadov statickej analýzy boli maximálne napätia pod hranicou medze klzu a teda môžeme konštatovať, že navrhnuté časti vozíka v kombinácii s vybraným materiálom vyhovujú zaťaženiám.

ZÁVER

Príspevok sa venuje predovšetkým vypracovaniu konštrukčného návrhu hnacieho vývozného vozíka za traktor Salamander 600 4x4, čo bolo zároveň hlavným cieľom. Čiastkovým

- 58 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

cieľom bolo spracovanie problematiky vývozných prívesov, pri oboch sa postupovalo presne podľa navrhnutých krokov, a teda môžeme konštatovať, že stanovený cieľ bol splnený. V kapitole konštrukčný návrh sa predstavil vytvorený 3D model hnacieho vývozného vozíka. Návrh je vytvorený s ohľadom na podmienky koncepcie dané spoločnosťou WIM s.r.o. Jeho najvýznamnejšie časti sa detailne popísali a najdôležitejšie konštrukčné celky sa overili statickou analýzou, ktorá odhalila miesta s najväčšou koncentráciou napätí. Vypočítali sa maximálne hodnoty priečneho náklonu, na základe ktorej je možné rozhodnúť o vhodnosti nasadenia do daného lesného prostredia.

Prínosom práce je predovšetkým samotný hnací vývozný vozík určený za Salamander 600 4x4, ktorý výrazne rozširuje možnosti použitia tohto traktora. Vozík s traktorom vytvárajú súpravu, ktorou je možné sústreďovať drevo v miestach, kde je potrebné minimalizovať narušenie pôdy, pričom táto požiadavka je dnes veľmi aktuálna. Medzi ďalšie prínosy zaraďujeme nadobudnuté technické zručnosti v oblasti návrhu a overovania vytvorených konštrukčných celkov, taktiež návrhu elektricky poháňaného prostriedku. Neodmysliteľným faktom je aj rozšírenie vedomostí ohľadne konštrukcie vývozných prívesov, používaných riešeníach, ich výhod, nevýhod a opodstatnení. Rovnako sem patria aj získané skúsenosti s identifikáciou a riešením problémov, ktoré sa naskytli počas procesu návrhu.

LITERATURA

- [1] DANKO, B., KRILEK, J. Experimentálne metódy a skúšanie strojov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2014, ISBN: 978-80-228-2728-7.
- [2] KUČERA, M., M. HELEXA. Metodika konštruovania strojov. 2. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2014. 150s. ISBN 978-80-228-2657-0.
- [3] NERUDA, J. a kol. Technika a technologie v lesnictví, díl druhý. [online], [cit. 2024-03-02], 2022, ISBN: 978-80-7509-192-5. Dostupné na: https://ut.ldf.mendelu.cz/wcd/w-ldf/ut/soubory/skripta_ttl_2022_2dil.pdf.
- [4] WIĘSIK, J. a kol., 2015. Urządzenia techniczne w produkcji leśnej, Tom 2, Maszyny i urządzenia do pozyskiwania i transportu drewna. Warszawa: SGGW. ISBN: 978-83-7583-574-8. [5] WIM, Interné materiály spoločnosti WIM s.r.o, 2024.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu KEGA 007TU Z-4/2023 „Inovácia a edukačná podpora predmetov v oblasti technickej diagnostiky poľnohospodárskej a lesníckej techniky s orientáciou na prax“.

- 59 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

ANALÝZA MAZACIEHO OLEJA AKO ÚČINNÝ NÁSTROJ PREDIKTÍVNEJ ÚDRŽBY – PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA

Marián Kučera

¹Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta techniky, Katedra mechaniky, strojnictva a dizajnu,
Študentská 26, 960 01 Zvolen, kucera@tuzvo.sk

LUBRICATING OIL ANALYSIS AS AN AFFORDABLE PREDICTIVE MAINTENANCE TOOL: A CASE STUDY

Abstract: *The aim this experiment was to analyse the chemical-physical properties of the hydraulic oil as well as the state of the machine elements that come into contact with the oil during operation using one the key monitoring techniques of technical diagnostics, tribodiagnostics. To illustrate the benefits of employing this technique, a case study of forest wheelled tractor is presented. In the study four basic lubricant parameters (kinematic viscosity, water content, particle contamination and total acid number) for the hydraulic system of tractor were analysed. The measured values were compared to the limit values. Based on the processing and evaluation of these analyses, the*

overall condition of the oil was assessed and subsequently the optimal exchange interval of the examined oil was determined.

Key words: *predictive maintenance, forest wheeled tractor, chemical-physical properties, oil aging*

ÚVOD

Pri údržbe strojov a zariadení je hlavným cieľom zabezpečiť bezporuchovú prevádzku po čo najdlhšiu dobu a maximalizovať životnosť zariadení [1]. Pri preventívnej údržbe je snaha o dosiahnutie tohoto cieľa nastavením pravidelných servisných intervalov, v rámci ktorých sa vykonávajú drobné opravy a kontrola samotného zariadenia [2]. Kritickým miestom tohoto postupu je však práve určenie toho správneho intervalu. Príliš časté servisné zásahy zvyšujú náklady na údržbu a majú tiež výrazný dopad na produkciu, keďže počas takéhoto zásahu nie je možné daný stroj prevádzkovať. Naopak, ak však pravidelný servis zanedbáme, môže dôjsť až k nenávratnému poškodeniu [3]. Prediktívna údržba sa snaží adresovať práve problém určenia správneho momentu pre údržbu s využitím bezdemontážnej diagnostiky, ktorá zisťuje stav stroja a jeho častí v zmontovanom stave ako aj v bežných prevádzkových podmienkach [4]. Jednou z týchto monitorovacích techník je tribodiagnostika, ktorá predstavuje vysokoúčinný nástroj na sledovanie kvality mazacieho oleja v hydraulických mechanizmoch s využitím pokročilých štatistických metód a umelej inteligencie [5]. Tribodiagnostika sleduje vplyv nosiča energie na kvalitu mazania. Prebiehajúce trenie spôsobuje vznik opotrebovania, ktoré sa prejavuje primeranou emitáciou častíc nečistôt. V prípade, že množstvo týchto nečistôt pravidelne sledujeme je možné zachytiť ich nárast

- 60 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

resp. trend a diagnostikovať blížiacu sa poruchu [6]. Úroveň čistoty hydraulickej kvapaliny je z tohoto dôvodu jedným z najdôležitejších ukazovateľov, pomocou ktorého dokážeme predpovedať poruchy hydraulických komponentov a následne celého systému [7].

MATERIÁL A METÓDY

Na overenie teoretických predpokladov a po konzultácií s vedením spoločnosti sa realizoval experiment na kolesovom traktore John Deere 6115M, ktorý pracuje v náročných lesných podmienkach s olejovými hydraulickými náplňami MADIT OH-HM46 a PANOLIN HLP SYNTH46. V prvom prípade sa jedná o hydraulický olej na ropnom základe s prísadami proti peneniu a s obsahom modifikátora viskozity s depresantným účinkom. Druhý typ hydraulického oleja je plne syntetický, ľahko rozložiteľný s prísadami proti starnutiu, korózií a opotrebovaniu. Technická špecifikácia analyzovaných olejových náplní, ich základné parametre kvality a metódy testovania sú zobrazené v tabuľke 1. Pri výbere experimentálnych strojov sa do úvahy brala a) primeraná náhrada za stroje, b) vysoká úroveň zložitosti pracovného mobilného prostriedku, c) vysoké náklady pri servise strojov a napokon za d) skutočnosť, že poruchy stroja výrazným spôsobom ovplyvňujú produktivitu spoločnosti. Odbery vzoriek olejov boli realizované každé 3 mesiace rovnakým spôsobom a za približne rovnakých prevádzkových podmienok práce v priebehu 1 roka.

****KV** $_{40^{\circ}\text{C}}$ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ STN EN ISO 3104 44,5 46,7 $\pm 10 \%$ Číslo kyslosti $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$ STN EN ISO 660 0,72 0,38 *

Obsah vody ppm ISO 12937 53,25 50,83 < 300

Distribúcia Častíc trieda čistoty ISO 4406 - - 19/17/14 *Poznámka: * nárast o 0,4 mg KOH.g⁻¹ alebo hodnota vyššia ako 50% hodnoty nového oleja, ** kinematická viskozita pri teplote 40°C*

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnoty sledovaných parametrov olejových náplní a príslušného traktora zaznamenané v rámci experimentálnych meraní sú podrobne spracované v tabuľke 2 a 3. Pri vyhodnotení stavu hydraulických náplní použitých v hydraulickom systéme traktorov sme spolupracovali so špecializovanými tribologickými laboratóriami. Každá sledovaná vzorka nosiča energie bola meraná trikrát a ako výsledok sa uviedla vždy stredná hodnota. Okrem toho výsledné hodnoty boli kvôli prehľadnosti farebne rozlíšené, aby bolo hneď viditeľné či spĺňajú všeobecne platné limity stanovené akreditovanými skúšobňami. Zelená farba označuje namerané hodnoty sledovaných parametrov v prijateľnom rozsahu, tj. normal. Žltou farbou sú označené hodnoty s výstrahou.

- 61 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Tab. 2 Výsledky analýzy hydraulického minerálneho oleja na základe pravidelného odberu vzoriek oleja z traktora

Monitorovanie oleja	Kinematická viskozita	Celkové číslo kyslosti	Obsah vody v oleji	Distribúcia častíc v oleji
Nový olej	44,5 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,72 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	50,25 ppm	19/17/14
Inštalácia	45,69 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,68 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	68,58 ppm	21/19/14
Odber č.1	46,09 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,93 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	71,52 ppm	19/17/13
Odber č.2	45,46 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,87 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	63,24 ppm	19/16/13
Odber č.3	45,75 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,91 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	70,46 ppm	18/16/14

Tab. 3 Výsledky analýzy hydraulického biooleja na základe pravidelného odberu vzoriek oleja z traktora

Monitorovanie oleja	Kinematická viskozita	Celkové číslo kyslosti	Obsah vody v oleji	Distribúcia častíc v oleji
Nový olej	46,7 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,38 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	50,83 ppm	19/17/14
Inštalácia	46,47 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,26 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	60,02 ppm	20/18/14
Odber č.1	46,44 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,33 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	39,66 ppm	18/17/13
Odber č.2	46,25 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,35 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	46,65 ppm	17/15/12
Odber č.3	46,28 $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,41 $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	55,21 ppm	17/16/13

V prípade rutinných analýz v rámci stratégie údržby pracovného stroja je veľmi dôležité vybrať dominantné parametre tak, aby pri čo najmenších prevádzkových nákladoch poskytli dostatočne verný obraz o stave olejovej náplne i stroja [8]. Kinematická viskozita je základným parametrom každej hydraulickej kvapaliny. Každý stroj má výrobcom odporúčanú viskozitnú triedu oleja, ktorú je možné v stroji použiť. Degradáciou oleja dochádza k zmenám viskozity, ktoré sa prejavujú znížením alebo zvýšením viskozity nad hranicu tolerancie uvedenej v tabuľke 1. Zvýšená viskozita spôsobuje zvýšenú teplotu mazania, spomalenie riadenia ventilov či kavitáciu hydrogenerátorov. Na druhej strane znížená viskozita spôsobuje nedostatočné mazanie a tým nadmerné opotrebovanie trecích dvojíc, zvyšujú sa netestnosti, zhoršuje sa riadenie a presnosť [9].

Najvyššia odchýlka hodnôt viskozity olejovej náplne oproti novému oleju bola pri hydraulickom oleji na ropnom základe (cca 1 %) po prvom odbere vzorky oleja. Druhým sledovaným parametrom kvality bol obsah vody, nakoľko voda v oleji a strojných systémoch je nežiadúca. Zvýšený obsah vody a najmä jej stále rastúci trend je pre životnosť kľúčových komponentov hydraulického systému kritická z dôvodu tvorby vodných emulzií v oleji, čo má za následok zhoršenie mazacích vlastností oleja a urýchlenie jeho chemickej degradácie za vzniku kalov a usadenín [10]. Taktiež spôsobuje vymývanie aditív čo zvyšuje viskozitu a číslo kyslosti a vedie ku koróziám hydraulických systémov. Podľa odporúčenia spoločnosti Noria je pre hydraulické oleje maximálny prijateľný obsah vody do 300 ppm, z čoho vyplýva, že všetky analyzované vzorky hydraulických olejov, ktoré patria do skupiny hydraulických kvapalín HM mali oveľa nižší obsah vody ako je tolerovaná hodnota, tabuľka 1. Posledným sledovaným parametrom kvality olejovej náplne bolo číslo kyslosti. Udáva podiel kyslých produktov v oleji, ktoré vznikajú ako produkty starnutia oleja alebo jeho chemickej degradácie. Počas experimentálnych meraní sa jeho hodnota pohybovala pri všetkých analyzovaných vzorkách v rámci odporúčaných tolerancií, tabuľka 1. Vzhľadom k tomu, že viac ako 75 % porúch hydraulického systému možno priamo pripísať nebezpečnej úrovni kontaminácií v hydraulickom

- 62 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

oleji, stanovenie obsahu pevných mechanických kontaminantov bol ďalším testom, ktorý bol vykonaný v rámci tejto štúdie. Pre vyhodnotenie stavu hydraulických náplní použitých v hydraulickom systéme strojov bol použitý automatický čítač a klasifikátor častíc LaserNet Fines-C (Spectro Inc., USA). Obsah pevných častíc vo vzorkách hydraulických olejov bol stanovený kódom čistoty podľa metodiky ISO 4406:21, pričom boli kľúčové horné výstražné hranice jednotlivých veľkostných tried väčších ako 4, 6 resp. 14 μm v 1 ml oleja. Údaje zo vzoriek obidvoch olejových náplní ukazujú, že počas experimentov bol obsah pevných častíc väčšinou konštantný v rámci povolených limitov stanovený pre daný hydraulický systém. V obidvoch vzorkách oleja bol zaznamenaný zvýšený nárast pevných častíc iba pri vzorke 0 (inštalácia), kde sa jednalo iba o častice veľkostných tried > 4 a $> 6 \mu\text{m}$. V závislosti od triedy čistoty sa výrazne mení aj životnosť jednotlivých komponentov hydraulických systémov, čo dokumentuje skutočnosť, že pri typickej triede čistoty nového hydraulického oleja sa znižuje až o jednu štvrtinu.

ZÁVER

V prezentovanej práci bola vykonaná prevádzková skúška dvoch hydraulických olejov v hydraulickom okruhu kolesového traktora - olej na ropnom základe a syntetický bioolej, v ktorých boli počas 12 mesiacov sledované štyri základné parametre (kinematická viskozita, obsah vody, číslo kyslosti a kumulatívna distribúcia častíc). Správna a spoľahlivá práca mobilných hydraulických zariadení či prevodových systémov je prirodzene odlišná od priemyselných aplikácií, je totiž prispôbena ich mobilite a tiež sťaženým pracovným podmienkam. Tieto zariadenia sú oveľa viac namáhané účinkom vplyvu počasia, veľkými rozdielmi teplôt, sú vystavované pôsobeniu drsného vonkajšieho prostredia - dažď, sneh, prach, vlhkosť, otrasy apod. Tomu odpovedá i väčšie namáhanie olejovej náplne a väčšia kontaminácia oleja dominantnými indikátormi prevádzkového režimu pracovného stroja - nečistoty, produkty degradácie oleja a voda. Významnú úlohu pri chode zariadení zohráva ich efektívna údržba. Znalosť okamžiku, v ktorom je potrebné vykonať údržbu, je v prevádzke strojov a zariadení kľúčová. V prípade kolesového traktora analýzy vzoriek

olejových náplní ako i analýzy trendov zmien každého z monitorovaných parametrov naznačujú, že ich je možné naďalej používať bez možnosti výmeny.

LITERATÚRA

- [1] LEGÁT, V., MOŠNA F., ALEŠ, Z., JURČA, V. Preventive maintenance models – higher operational reliability. In: Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 2017, s. 134-141. ISSN 1507-2711 .
- [2] KARANOVIĆ, V. V. – JOCANOVIĆ, M. T. – WAKIRU, J. M. – OROŠNJAK, M. D. Benefits of lubricant oil analysis for maintenance decision support: A case study. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 7 s.
- [3] PAN, Yan, LIANG, B., YANG, L., LIU, H., WU, T., WANG, S. Spatial-temporal modeling of oil condition monitoring: A review. In: Reliability Engineering and System Safety, 2024, s. 11. ISSN 1879-0836.

- 63 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

- [4] HNILICOVÁ, M., KUČERA, M. Tribotechnická diagnostika hydraulických olejov v laboratórnych a prevádzkových podmienkach. In: Acta facultatis Technicae, 2013, s. 65 – 76. ISSN 1336-4472.
- [5] RAPOSO, H., FARINHA, J.T., FONSECA, I., GALAR, D. Predicting condition based on oil analysis—A case study. In: Tribology International, 2019, s. 65–74. ISSN 0301-679X.
- [6] KOPČANOVÁ, S., SEJKOROVÁ, M., KUČERA, M., HNILICOVÁ, M. Wear of hydraulic system components assessment based on the analysis of hydraulic oil degradation degree. In: Przemysel Chemysny, 2020, s. 1000–1004. ISSN 0033-2496.
- [7] NOVAK, N., TRAJKOVSKI, A., POLAJNAR, M., KALIN, M., MAJDIČ, F. Wear of hydraulic pump with real particles and medium test dust. In: Wear, 2023, 13 s. ISSN 0043-1648.
- [8] KUČERA, M. – HNILICOVÁ, M. Changes In The Key Physicochemical Parameters And Selected Trace Elements Of Oil Due To Its Use In Hydraulic System Of Woodworking Equipment. In: Acta Technologica Agriculturae, 2022, s. 137-143. ISSN 1338-5267.
- [9] TKÁČ, Z., ČORNÁK, Š., KOSIBA, J., JANOUŠKOVÁ, R., MICHALIDES, M., VOZÁROVÁ, V., CSILLAG, J. Investigation Of Degradation Of Ecological Hydraulic Fluid. In: Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers: Part C – Journal Of Mechanical Engineering Science, 2021, s. 7925–7933. ISSN 0954-4062.
- [10] BACZEWSKI, K., SZCZAWIŃSKI, P. Investigation of the process of ageing of hydraulic oil during its use. In: The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji, 2016, s. 5–18. ISSN 1234-754X.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol za podpory projektu VEGA č.1/0121/24 Predikcia reziduálnej životnosti energetických nosičov v prevádzke obehových systémov technických zariadení pre obrábanie a spracovanie dreva s využitím štatistických degradačných modelov.

OPTIMAL SHAPE OF FIRE-FIGHTING ADAPTER OF FOREST SKIDDER IN TERMS OF STATIC STABILITY

Ing. Jaroslav Matej, PhD¹, doc. Ing. Marián Kučera, PhD²

¹KMSD/FT, Technická univerzita vo Zvolene, jaroslav.matej@tuzvo.sk

²KMSD/FT, Technická univerzita vo Zvolene, marian.kucera@tuzvo.sk

OPTIMÁLNY TVAR NÁDRŽE HASIČSKÉHO ADAPTÉRA LESNÍCKEHO KOLESOVÉHO TRAKTORA Z HĽADISKA STATICKEJ STABILITY

Abstract: *The article solves the optimal shape of the water tank of the fire-fighting adapter equipped with the 2000 l water tank mounted on a rear shield of a wheeled skidder. In the past was presented a method for determination of stability, implemented in Python language. It is based on known physical principle, which says, that a vehicle is stable if a gravity vector placed in a center of gravity lays inside of a stability triangle. The gravity vector combines weights of the skidder's front and rear half-frames, and an additional weight, in form of the water tank. The contribution deals with the design of a shape of the water tank in terms of static stability. The method is based on splitting the possible space into small 1l volumes and analyzing their influence on stability independently, considering them as pieces of the new tank.*

Keywords: *wheeled skidder, static stability, fire-fighting adapter, water tank, gravity vector, optimal shape*

INTRODUCTION

The research of the fire-fighting adapter started before 2020 and results were published in 2020 [1], 2022 [2][3]. The adapter (Fig.3) consists of a 2000-liter water tank with equipment, mounted on a wheeled skidder LKT-81, behind the rear axle, on the rear shield. The solution has been physically realized and tested and found usable. The water tank is supposed to be filled with water repeatedly, after its final or temporary placement in a place accessible from a wildfire area. We successfully tried this with a helicopter equipped with a Bambi bucket. From firefighting point of view, the bigger tank, the better tank, however the bigger tank behind the rear axle, the bigger influence on stability. The method covers all the possible ranges of an articulation of the frame and positions of the skidder on an inclined plane as a function of two independent variables. In the papers mentioned above, the results were presented in graphical form using a heat map (Fig.4). This way, the final plots provide full information about the stability, as it is described below. They are usable, however not accurate, since the dimensions of the LKT-81 skidder were not quite accurate, only approximated. In previous work [3] were considered slight modifications of the tank and evaluated influence of the modifications on static stability. The results of the modifications (Fig.1)

- 65 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

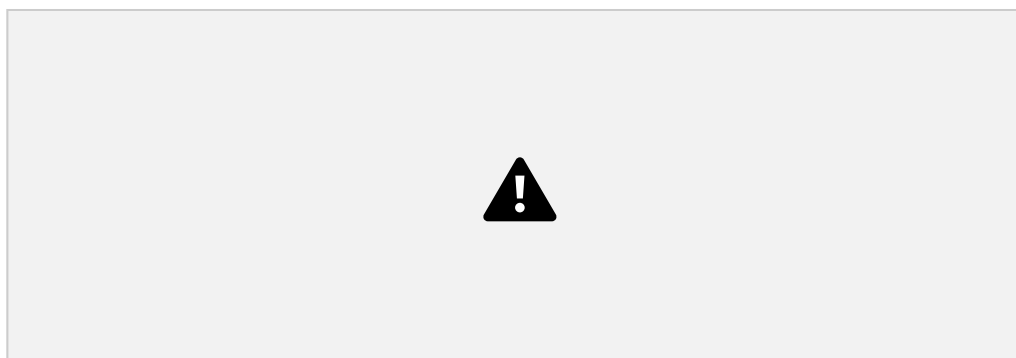


Figure 1 Original water tank and its simplified possible shape modifications. RAW, RAW1, RAW2 – Centers of gravities of the tanks, and dimensions for 2000 l water tanks (see also Tab.1). Width is 1390 mm for all the tanks.

are mixed. That created a room to investigate an ideal shape of the tank.

MATERIALS AND METHODS

In [3] were considered whole tanks as additional weights reduced to their centers of gravity. It produced only one or two additional weights. However, the shape of the tanks was created by a simple box. The algorithm, described in [2] can use unlimited number of additional weights. To find an optimal shape of the tank, the available space (Fig.5) was divided into small volumes and their influence on stability was investigated individually, using brute-force method.

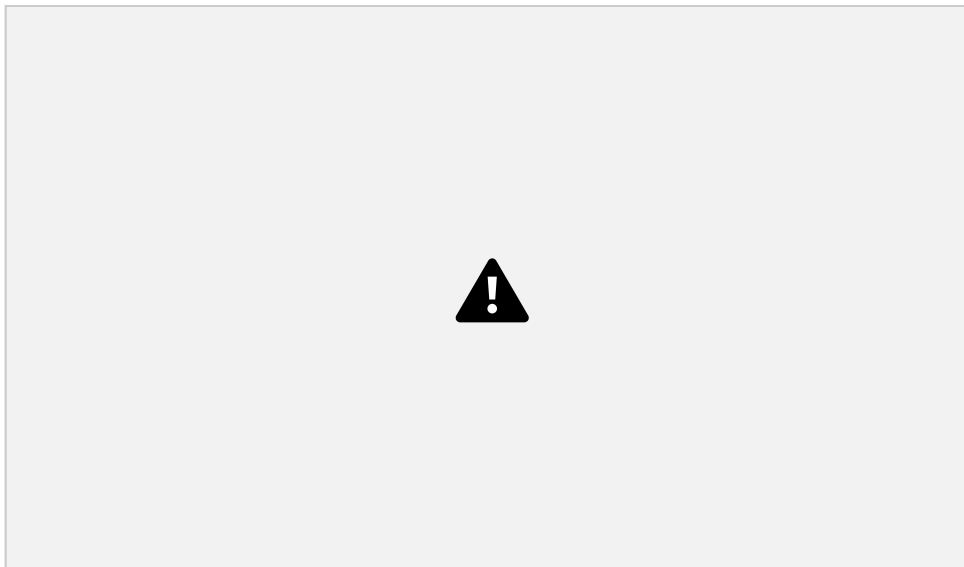


Figure 2 Position of skidder

with front axle oscillation on slope: α – articulation of frame [°], β – slope angle [°], γ – rotation (or position) of skidder on slope [°], $l1_z, l2_z, l3_z$ – distances to sides of stability triangle (left, right, and rear one). FRW, FLW, RLW, RRW – coordinates of contact points of tires with slope/terrain, FG, RG – coordinates of centers of gravities for front and rear frames of skidder, T – center of gravity of skidder, FAW, RAW – coordinates of front and rear mount points for additional weights/loads, FPP - coordinates of front axle pivot point. Three green lines show distances of gravity vector (through T, center of gravity) to sides of stability triangle (= tipping lines) in 3D space ($l1_z, l2_z, l3_z$)

- 66 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

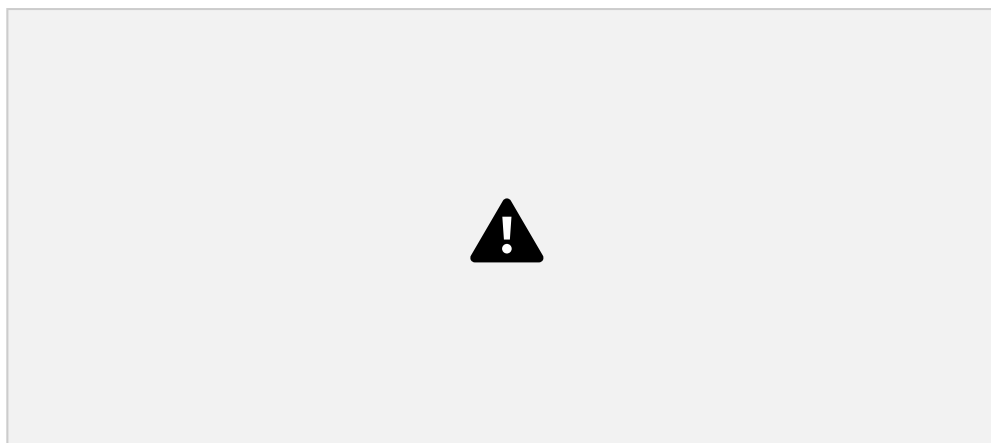


Figure 3 The firefighting adapter based on skidder with front axle oscillation. Filling the water tank with Bambi bucket.

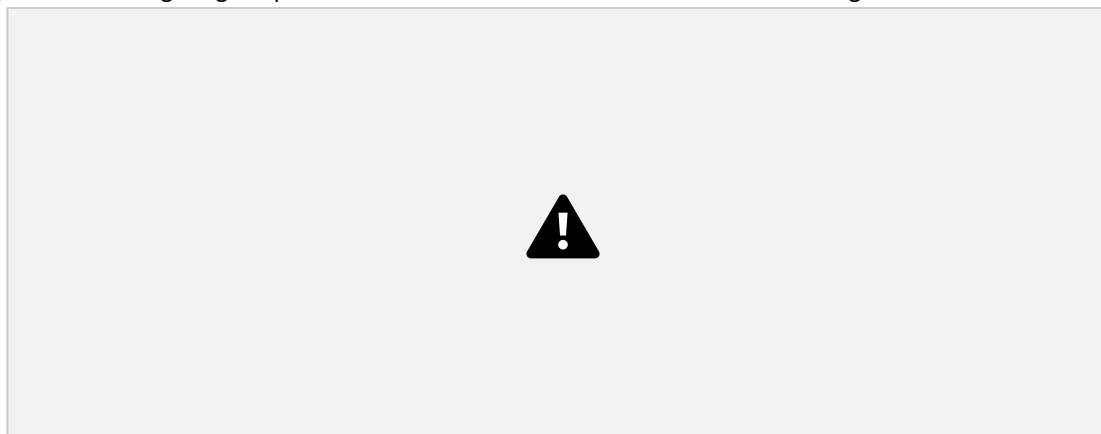


Figure 4

Stability of skidder without tank. 1st and 2nd plots – lateral stability, 3rd plot – longitudinal stability

The available/possible space is shown on Figure 5, where blue areas approximately correspond with manufactured tank (Fig.3), and green areas represent possible areas/volumes. As shown on Figure 4, the results of stability evaluations are distances of the gravity vector to the tipping lines.

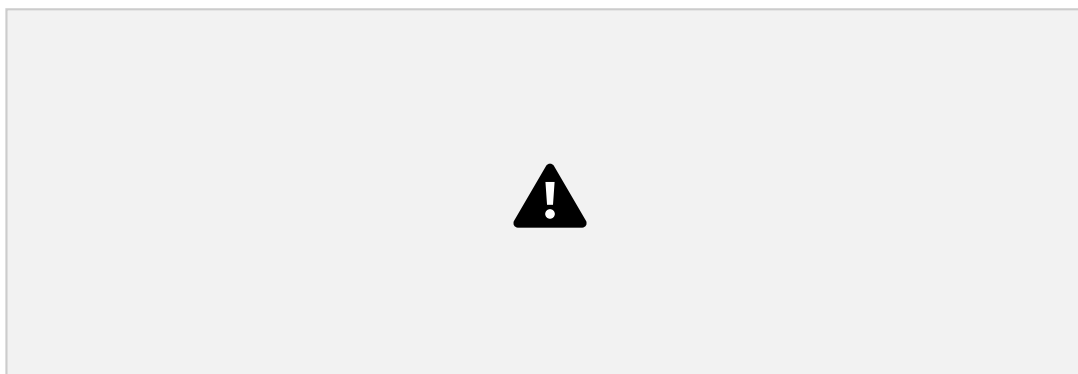


Figure 5

All the available areas/volumes for a new shape of the water tank. Third dimension corresponds with vehicle's width (2450 mm)

Since we have three values ($l1_z$, $l2_z$, $l3_z$), we chose minimal one. As mentioned above the available space was divided and influence of each piece on stability was evaluated independently.

- 67 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

Weight of such a "tank candidate" (1l) was estimated to be 1,68 kg, which includes water, tank and a carrying construction.

RESULTS

When suitability of all the pieces was evaluated, the pieces were reordered due to suitability. Then the pieces with the highest suitability create required volume of the new, optimized water tank, as it is shown on Figure 6. The results show that higher width and smaller length are better. The manufactured tank has width of 1390 mm, while the new one occupies all the available space of 2450 mm. Length of the old tank is 1149 mm, while the new one's length is 500 mm. The height of the old tank is 1252 mm, while the one's height is 1700 mm. In addition, there is an overhang there visible.

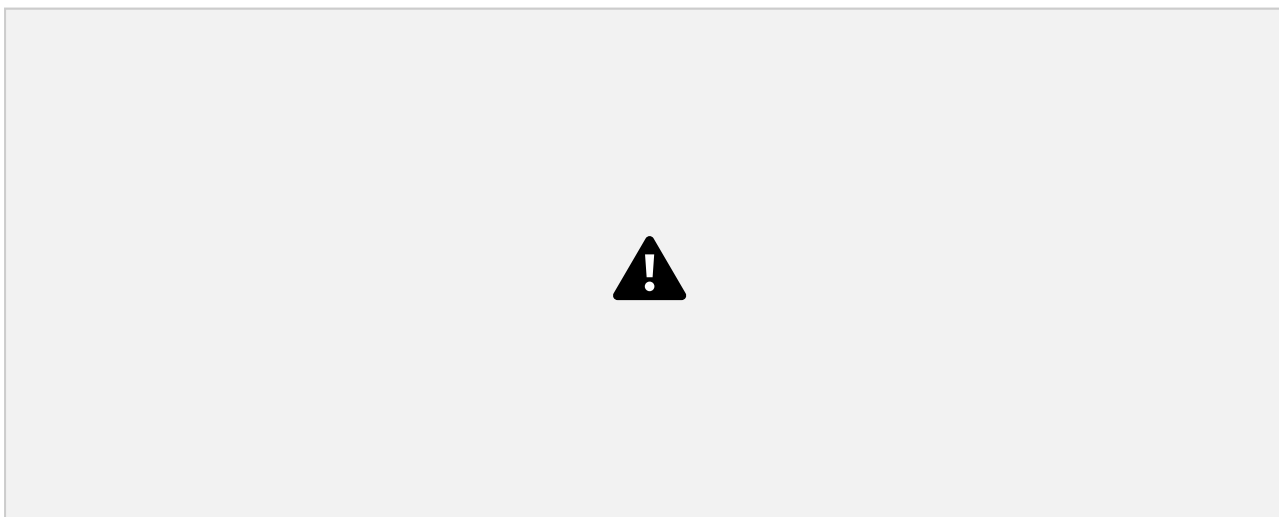


Figure 6 New, optimized shape of the tank (half, left or right side)

If a bigger tank is required, the more pieces of the array will be used, as it is shown on Figure 7.

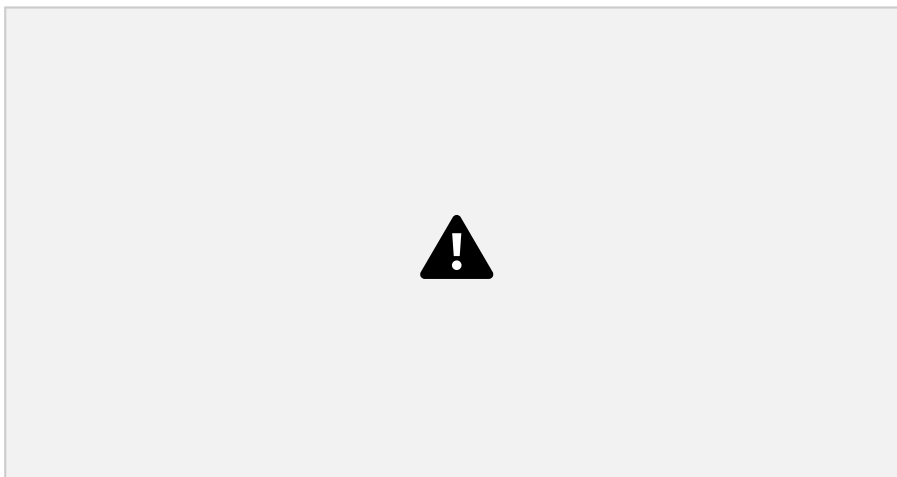


Figure 7 New, possible shapes of bigger tanks

- 68 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

CONCLUSIONS

Based on the new, modified shape of the water tank can be stated that its center of gravity is translated closer to vehicle's center of gravity. If the new tank is created of laminate and carried the same way as the old one, it seems feasible. What can be problematic is the method of producing a tank with a rounded upper. Also, the overhanging part of the tank would probably be eliminated in practice. Also, big width of the tank seems to be problematic from point of view of carrying construction. The research however provided interesting information about the ideal shape of water tank and raised new questions.

REFERENCES

- [1] HNILICA, R., ŤAVODOVÁ, M., HNILICOVÁ, M., MATEJ, J., MESSINGEROVÁ, V. The Innovative Design of the Fire-Fighting Adapter for Forest Machinery, *Forests* 2020, 11, 843; <https://doi:10.3390/f11080843>
- [2] MATEJ, J., HNILICA, R., HNILICOVÁ, M. Research on Static Stability of Firefighting Adapter. *Forests* 2022, 13, 1180. <https://doi.org/10.3390/f13081180>
- [3] MATEJ, J., Static Stability of Firefighting Adapter. 48. mezinárodní konference kateder dopravních, manipulačních, stavebních a zemědělských strojů, září 14.- 16., 2022 – osada Jizerka, Česká republika, Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
- [4] GIBSON, H.G., ELLIOTT, K.C., PERSSON, S.P.E.: Side Slope Stability of Articulated-Frame Logging Tractors. *Journal of Terramechanics*, 1971, Vol.8, No.2, pp.65 to 79, Pergamon Press. [5] FRANCESCHETTI, B., RONDELLI, V., CAPACCI, E. Lateral Stability Performance of Articulated Narrow-Track Tractors. *Agronomy* 2021, 11, 2512. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122512> [6] BIETRESATO M., MAZZETTO F. Definition of the Layout for a New Facility to Test the Static and

Dynamic Stability of Agricultural Vehicles Operating on Sloping Grounds. Appl. Sci. 2019, 9, 4135, <https://doi.org/10.3390/app9194135>

- [7] BOŁOZ, Ł., KOZŁOWSKI, A. Methodology for Assessing the Stability of Drilling Rigs Based on Analytical Tests. Energies 2021, 14, 8588. <https://doi.org/10.3390/en14248588> [8] TOMAŠIĆ, Ž., ŠUŠNJAR, M., HORVAT, D., PANDUR, Z. Forces Affecting Timber Skidding. Croat. j. for. eng. 30(2009)2
- [9] DUKA, A., PORŠINSKY, T., PENTEK, T., PANDUR, Z., VUSIĆ, D., PAPA, I. Mobility Range of a Cable Skidder for Timber Extraction on Sloped Terrain. Forests 2018, 9, 526, <https://doi.org/10.3390/f9090526>
- [10] BIETRESATO, M., MAZZETTO, F. Increasing The Safety of Agricultural Machinery Operating on Sloping Grounds by Performing Static and Dynamic Tests of Stability on a New-Concept Facility. Int. J. of Safety and Security Eng., Vol. 8, No. 1 (2018) 77–89
- [11] MAZZETTO, F., BIETRESATO, M., GASPARETTO, A., VIDONI, R. Simulated stability tests of a small articulated tractor designed for extreme-sloped vineyards. Journal of Agricultural Engineering 2013; volume XLIV(s1):e133

- 69 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

- [12] BIETRESATO M., MAZZETTO F. Stability Tests of Agricultural and Operating Machines by Means of an Installation Composed by a Rotating Platform (the “Turntable”) with Four Weighting Quadrants. Appl. Sci. 2020, 10, 3786; doi:10.3390/app10113786
- [13] DEMŠAR, I., BERNIK, R., DUHOVNIK, J. A Mathematical Model and Numerical Simulation of the Static Stability of a Tractor. Agric. conspec. sci. Vol. 77 (2012) No. 3
- [14] MAJDAN, R., ABRAHÁM, R., TKÁČ, Z., DRLIČKA, R., MATEJKOVÁ, E., KOLLÁROVÁ, K., MAREČEK, J. Static Lateral Stability of Tractor with Rear Wheel Ballast Weights: Comparison of ISO 16231-2 (2015) with Experimental Data Regarding Tyre Deformation. Appl. Sci. 2021, 11, 381. <https://doi.org/10.3390/app11010381>

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by “Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR VEGA č.1/0121/24 Predikcia reziduálnej životnosti energetických nosičov v prevádzke obehových systémov technických zariadení pre obrábanie a spracovanie dreva s využitím štatistických degradačných modelov.

VÝPOČTOVÝ MODEL VIAZANEJ MECHANICKEJ SÚSTAVY KOĽAJOVÉHO VOZIDLA S PODDAJNÝCH KOMPONENTNOM

Ján Dižo¹, Alyona Lovska², Miroslav Blatnický³, Vadym Ishchuk⁴

¹Katedra dopravnej a manipulačnej techniky techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline, jan.dizo@fstroj.uniza.sk

²Katedra dopravnej a manipulačnej techniky techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline, alyona.lovska@fstroj.uniza.sk

³Katedra dopravnej a manipulačnej techniky techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline, miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk

⁴Katedra dopravnej a manipulačnej techniky techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline, vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk

***A COMPUTATIONAL MODEL OF A RAIL VEHICLE MULTIBODY MODEL
WITH A FLEXIBLE COMPONENT***

Abstract: *Computer tools for performing simulation calculations are widely used in the field of design and construction of rail vehicles. These virtual reality tools make it possible to carry out static analyses of rail vehicles components as well as dynamic analyses of the multibody system of rail vehicles. Static analyses are most often performed using the finite element method, and dynamic analyses can be performed through simulations of the movement of multibody systems. This contribution is aimed at presenting a method and procedures enabling the implementation of a flexible body of a part of a rail vehicle into a rail vehicle multibody model. Such incorporation of a flexible body into the multibody model of a rail vehicle enables the expansion of the use of computer simulations aimed at analysing the dynamic properties of rail vehicles when running on a real track and evaluating them in terms of operational properties.*

Key words: *rail vehicle, multibody model, flexible component, computational method*

ÚVOD

V modernom procese vývoja koľajových vozidiel sa využívajú počítačom podporované simulácie. Týmto spôsobom je možné znížiť nákladné experimenty a prototypy. Výroba koľajového vozidla pozostáva z niekoľkých fáz. Ide o fázu návrhu, fázu vývoja a fázu optimalizácie, ďalej samotnú výrobu koľajového vozidla, overenie a validáciu koľajového vozidla a na záver uvedenie koľajového vozidla do prevádzky. V súčasnosti počítačové softvéry umožňujú vykonávať komplexné simulácie. Kratšie vývojové obdobia a rastúce požiadavky, ako je trvanlivosť, účinnosť alebo redukcia hmotnosti, ktoré zintenzívňujú používanie ľahkých konštrukcií, si vyžadujú presné simulácie.

- 71 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

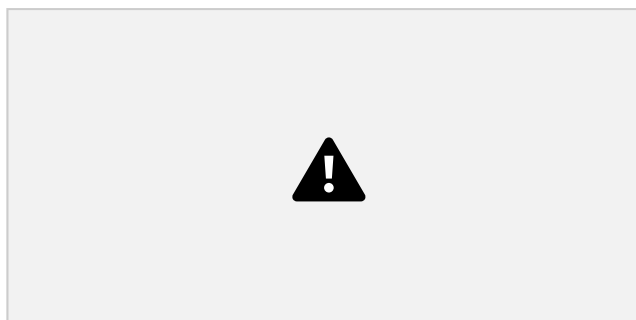
PRINCÍPY VIACTELESOVÉHO SYSTÉMU KOĽAJOVÉHO VOZIDLA S OHYBNOU SKRIŇOU

Potreba presnejších modelov koľajového vozidla na opis komplexného správania poddajných systémov motivovala vývoj mnohých výpočtových prístupov. Na opísanie dynamického správania mechanického systému koľajového vozidla je najčastejšie používaný prístup viazanej mechanické sústavy (VMS) (angl. multibody system MBS) [1]. Klasická VMS koľajového vozidla pozostáva z tuhých prvkov a mechanických a kinematických väzieb. Pre aplikácie v oblasti analýzy koľajových vozidiel, kde nemožno zanedbať deformáciu telies, je potrebné použiť metódu poddajných VMS. Vo VMS s poddajným telesom je model koľajového vozidla rozšírený o poddajné teleso. Aplikáciou poddajných telies pomocou metódy konečných prvkov do VMS koľajového vozidla sa do modelu koľajového vozidla vnáša veľké množstvo dodatočných stupňov voľnosti. Zníženie stupňov voľnosti poddajného telesa (tzv. redukcia telesa) je základným krokom pre efektívnu simuláciu VMS koľajového vozidla s poddajným telesom.

FORMULÁCIE V DYNAMIKE

Na kinematický popis pohybu poddajných telies sa používa niekoľko metód, ktoré sú

uvedené pre lepšiu výstižnosť v anglickom jazyku: floating frame of reference, convected coordinate system, finite segment method a the large rotation vector. V absolútnom vyjadrení súradníc uzla sa ako súradnice prvku nepoužívajú žiadne infinitezimálne alebo konečné rotácie. Polohy a deformácie hmotných bodov na konečnom prvku sú definované v globálnom súradnicovom systéme pomocou funkcie tvaru prvku a uzlových súradníc (obr. 1).



Obr. 1 Reprezentácia kinematiky poddajného telesa

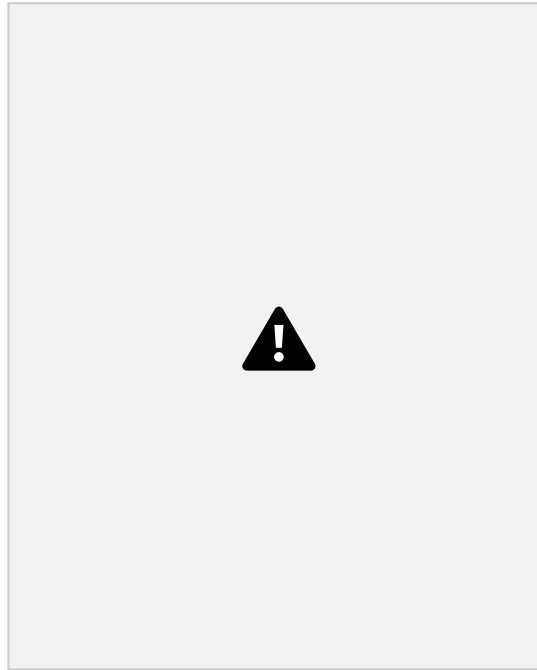
Formulácia „floating frame of reference“ je v súčasnosti najpoužívanejšou metódou [2-4]. Používa sa pre systémy, kde je pružná deformácia malá v porovnaní s tuhým pohybom telesa. Základnou myšlienkou je rozdeliť pohyb telesa na veľký nelineárny pohyb referenčnej sústavy a malú lineárnu pružnú deformáciu vzhľadom na referenčný systém. Pohyb jediného ohybného telesa B^i je reprezentovaný pohybom konkrétneho bodu P (obr. 1). Poddajné teleso môže byť napr. rám podvozka, skriňa vozňa atď. Pomocou tejto formulácie sa pohyb $\mathbf{r}_{B^i}^P(\mathbf{q})$ bodu rozdelí na zvyčajne nelineárny pohyb $\mathbf{r}_{K_i}^P(\mathbf{q})$ referenčného rámu K_i a lineárnu pružnú deformáciu $\mathbf{u}_{B^i}^P(\mathbf{q}) = \mathbf{u}(\mathbf{r}_{K_i}^P, \mathbf{q})$ vzhľadom k referenčnej sústave [4]:

- 72 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

$$\mathbf{r}_{B^i}^P(\mathbf{q}) = \mathbf{r}_{K_i}^P(\mathbf{q}) + \mathbf{u}_{B^i}^P(\mathbf{q}) + \mathbf{r}_{K_i}^P(\mathbf{q}) \quad (1)$$

Vektor $\mathbf{r}_{K_i}^P$ zodpovedá polohe bodu P v nedeformovanom stave. Podobný prístup týkajúci sa orientácie súradnicového systému v bode P vedie k malému rotačnému pohybu $\mathbf{r}_{K_i}^P(\mathbf{q}) = \mathbf{r}_{K_i}^P(\mathbf{r}_{K_i}^P, \mathbf{q})$. Keď deformácia zanikne, táto kinematická formulácia vedie k presnému modelovaniu dynamiky tuhého telesa koľajového vozidla. Pri použití tejto formulácie možno modelovanie VMS s poddajným telesom koľajového vozidla rozdeliť na dve časti (obr. 2) [4].



Obr. 2 Postup modelovania VMS podvozka nákladného vagóna s poddajným telesom

MODELOVANIE VIACTELESOVÉHO SYSTÉMU KOĽAJOVÉHO VOZIDLA S PRUŽNÝMI KAROSÉRIAMI

Metóda konečných prvkov (MKP) je jedným z najčastejšie používaných nástrojov na popis poddajnosti telies [5, 6]. V dynamike sa pole posunutia kontinua aproximuje Ritzovým prístupom a d'Alambertovým princípom, aby sa získala pohybová rovnica modelu konečných prvkov. Lineárna elastická deformácia $u(x, y, z)$ a $v(x, y, z)$ je špecifikovaná Ritzovým prístupom [4]:

$$u(x, y, z) = \sum_{i=1}^n \phi_i(x, y, z) q_i(t), \quad v(x, y, z) = \sum_{i=1}^n \psi_i(x, y, z) q_i(t) \quad (2)$$

kde $q_i(t)$ sa týka uzlových posunov modelu konečných prvkov a $\phi_i(x, y, z)$ a $\psi_i(x, y, z)$ sú funkcie poddaného tvaru [2]. Výsledkom je pohybová rovnica poddajného telesa:

$$M \ddot{q} + C \dot{q} + K q = F(t) \quad (3)$$

ako je formulované v [2]. Matice M a K sú matice hmotnosti a tuhosti pružnej konštrukcie. Zovšeobecnené povrchové a objemové sily sú zhrnuté vo vektore sily $F(t)$. Na zváženie disipatívnych

- 73 -

50. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE KATEDER DOPRAVNÍCH, MANIPULAČNÍCH,
STAVEBNÍCH A ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

účinkov sa často zavádza dodatočná tlmiaca matica D , ktorú možno aproximovať, napr. viskóznym tlmením (Rayleighovo tlmenie):

$$D = \alpha M + \beta K \quad (4)$$

s proporcionálnymi faktormi $0 \leq \alpha, \beta \in \mathbb{R}$. Pohybovú rovnicu jedného poddajného telesa možno formulovať ako lineárny časovo invariantný systém druhého rádu s viacerými vstupmi a viacerými výstupmi:

$$\mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} = \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}},$$

$$(5) \mathbf{K}_{\text{el}}(\mathbf{u}_{\text{el}}) = \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}}. (6)$$

Veľký počet stupňov voľnosti poddajných telies (súradníc) $\mathbf{u}_{\text{el}} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ aproximovaný v podpriestore $\mathbf{u}_{\text{el}}$ menšieho rozmeru $n < n$ redukovaným vektorom posunutia $\mathbf{u}_{\text{el}} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$:

$$\mathbf{u}_{\text{el}} \approx \mathbf{u}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}}. (7)$$

Tento podpriestor $\mathbf{u}_{\text{el}}$ je opísaný projekčnou maticou $\mathbf{u}_{\text{el}} \in \mathbb{R}^{n \times n}$. Použitie tohto vzťahu v pohybovej rovnici MKP (5), (6) vedie k preurčenému systému a zanecháva rezíduum, pretože presné riešenie $\mathbf{u}_{\text{el}}$ vo všeobecnosti nie je prvkom podpriestoru $\mathbf{u}_{\text{el}}$. Na získanie jedinečného riešenia by mal byť zvyšok ortogonálny na druhom podpriestore $\mathbf{u}_{\text{el}}$ reprezentovanom $\mathbf{u}_{\text{el}} \in \mathbb{R}^{n \times n}$. Podmienky ortogonalít alebo Petro-Galerkinove podmienky vedú k redukovaným rovniciam:

$$\mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} = \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}}, (8)$$

s redukovanými maticami $\mathbf{K}_{\text{el}} := \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}}$, $\mathbf{K}_{\text{el}} := \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}}$, $\mathbf{K}_{\text{el}} := \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ a $\mathbf{K}_{\text{el}} := \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $\mathbf{K}_{\text{el}} := \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} \in \mathbb{R}^{n \times n}$.

Priemet sa nazýva ortogonálny, ak sú podpriestory identické $\mathbf{u}_{\text{el}} = \mathbf{u}_{\text{el}}$ a inak šikmé. Tento postup vedie k redukovaným pohybovým rovniciam jedného pružného telesa:

$$\mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} = \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}},$$

$$[\mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}}] = [\mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}} + \mathbf{K}_{\text{el}} \cdot \mathbf{u}_{\text{el}}]. (9)$$

Úlohou rôznych redukčných techník je nájsť projekčné matice $\mathbf{u}_{\text{el}}$ a $\mathbf{u}_{\text{el}}$.

PRINCÍP REDUKCIE KOMPONENTU KOĽAJOVÉHO VOZIDLA

Na simuláciu viactelesového systému koľajového vozidla s pružnými telesami sú potrebné niektoré kroky predbežného spracovania na získanie redukovaného flexibilného telesa. Tie sa vykonávajú v MKP softvéri, napríklad v Ansyse [7]. Všeobecný proces integrovania poddajných telies do VMS koľajových vozidiel pozostáva z niekoľkých operácií:

- nastavenie modelu konečných prvkov,

- integrácia modelu konečných prvkov do softvéru VMS,
- nastavenie modelu koľajového vozidla VMS.

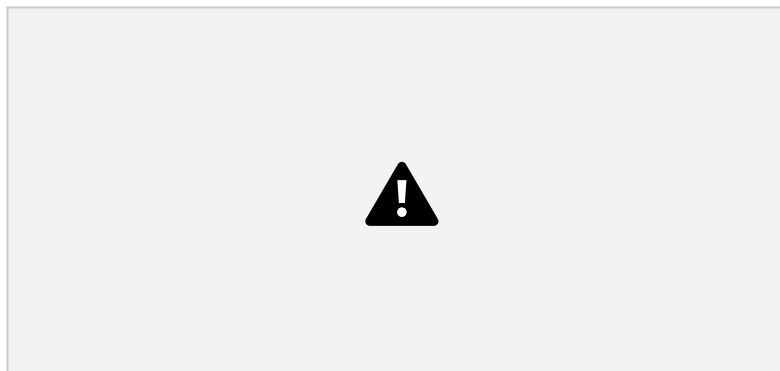
Pred prácou s rozhraním MBS je potrebné znížiť počet stupňov voľnosti MKP modelu (redukcia modelu). Na to je potrebné vykonať niekoľko operácií:

- definovať uzly pre VMS model,
- prepojiť tieto uzly s telesami VMS modelu,
- definovať spojovacie uzly ako ponechané uzly,
- definovať ponechané stupne voľnosti. Tento krok je dôležitý v procese redukcie na získanie presných matíc superprvkov [8].

Nevyhnutným krokom je vykonanie modálnej analýzy uvažovaného poddajného telesa. Pre potreby simulácie koľajového vozidla bol vytvorený MKP model rámu podvozka nákladného vozňa, konkrétne typ Y25 ako najpoužívanějšího podvozka v strednej a východnej Európe [9-11].

MODÁLNA ANALÝZA RÁMU PODVOZKA

V súčasnosti sa modálna analýza mechanických systémov vykonáva v počítačových programoch, ktoré najčastejšie pracujú na princípe metódy konečných prvkov. Analyzovaný rám je hlavnou konštrukčnou časťou podvozka Y25. Na obr. 3 je znázornený rám podvozka Y25 nákladného vozňa vytvoreného v softvéri Catia.



Obr. 3 Priestorový model rámu podvozka Y25

V prípade modálnej analýzy riešime charakteristické kmitanie rámu bez tlmenia. Potom pohybová rovnica opisujúca tento systém je:

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{0}, \quad (10)$$

kde $\mathbf{M}$ je matica hmotnosti, $\mathbf{K}$ je matica tuhosti a $\mathbf{x}$ predstavujú vektory zrýchlení a posunutí. Ak predpokladáme, že dynamický systém sa pohybuje harmonicky a všetky stupne voľnosti majú rovnaký fázový uhol, riešenie rovnice (10) je nasledovné:

$$\mathbf{x} = \mathbf{v} \cdot e^{i\omega t}, \quad (11)$$

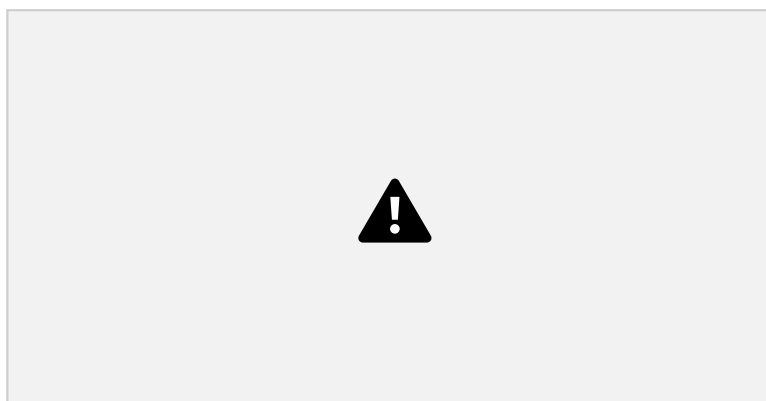
kde $\mathbf{v}$ je vektor amplitúd kmitania a ω je vlastná uhlová frekvencia. Z rovníc (10) a (11) dostaneme rovnicu pre vlastné módy a výpočet vlastnej frekvencie:

$$(\omega_1^2 - \omega_2^2) \cdot \omega_1^2 = \omega_1^2, (12)$$

kde ω^2 predstavuje druhé mocniny želaných vlastných frekvencií.

Rám je spravidla vyrobený z kombinácie ocelí S235 a S355, ktorých medza klzu R_e je 340 MPa až 440 MPa a medza pevnosti R_m 520 MPa až 630 MPa. Materiál je homogénny, izotropný, lineárny a elastický, Youngov modul pružnosti $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Pa a Poissonov číslo $\mu = 0,3$.

Definícia okrajových podmienok je ďalším nevyhnutným krokom pred analýzou. V našom prípade sme definovali okrajové podmienky v stredovom čape, kde sú všetky odobrané stupne voľnosti (voľné posunutie a tri rotácie) (obr. 4) [12].



Obr. 4 Definícia okrajovej podmienky pre modálnu analýzu

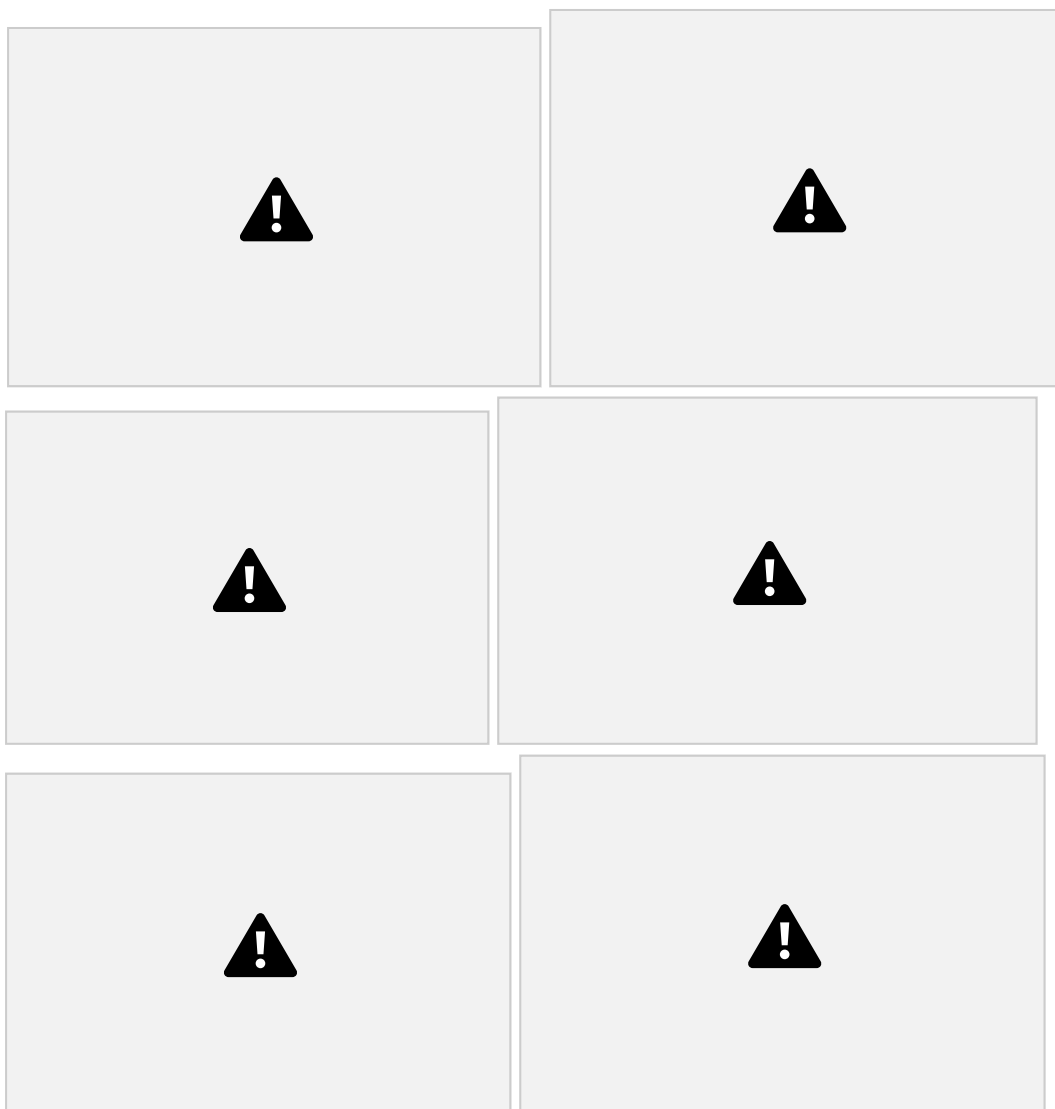
Vypočítané vlastné frekvencie (prvých šesť) z modálnej analýzy, ktoré možno priradiť prvým vlastným tvarom kmitania, sú uvedené v tab. 1 [12].

Tab. 1 Výsledky modálnej analýzy rámu podvozka

Vlastný tvar	Vlastná frekvencia [Hz]
1.	29.717
2.	32.107
3.	35.457
4.	39.904
5.	41.537
6.	48.311

Grafické znázornenie vlastných tvarov je na obr. 5 [12].

Modálna analýza je dôležitým krokom pre hodnotenie dynamických vlastností, či už ide o odozvu štruktúry, spektrálnu analýzu alebo náhodné kmitanie. Modálna analýza umožňuje lepšie pochopiť správanie sa konštrukcie. Výpočet vlastných tvarov môže pomôcť pri modelovaní identifikácie porúch, napr. nesprávne okrajové podmienky, nesprávne pripojenia uzlov atď.

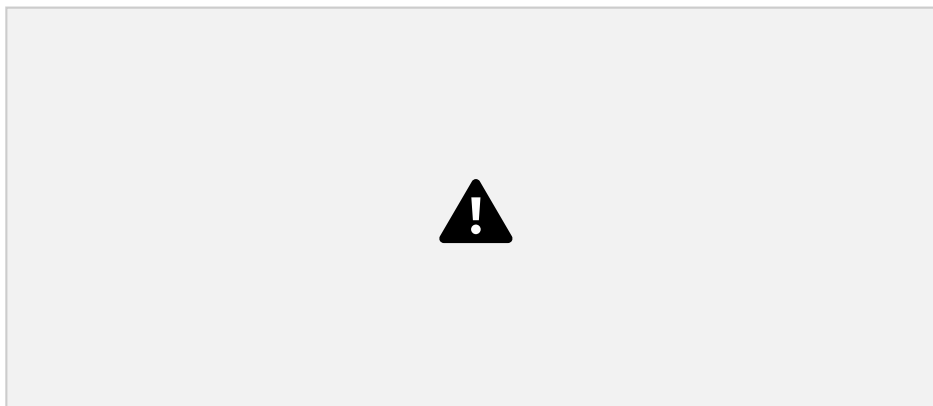


Obr. 5 Zobrazenie prvých šesť vlastných tvarov kmitania rámu podvozka

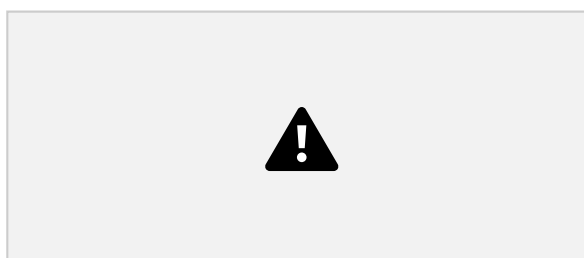
REDUKCIA RÁMU PODVOZKA NÁKLADNÉHO VAGÓNA

V tejto časti príspevku je opísaný postup prípravy poddajného modelu rámu podvozka nákladného vagóna. CAD model rámu podvozku bol importovaný do MKP softvéru. Na prípravu MKP modelu rámu bol použitý softvér Ansys. V Ansyse bola definovaná MKP sieť a vykonaná modálna analýza (predchádzajúca kapitola). Pre uzly rozhrania sa použil prvok tuhého telesa. Uzly rozhrania boli definované v miestach, v ktorých sú definované väzby a silové prvky (obr. 6). Na obr. 6 sú znázornené uzly rozhrania na ráme podvozku (INode) vytvoreného použitím tuhých prvkov.

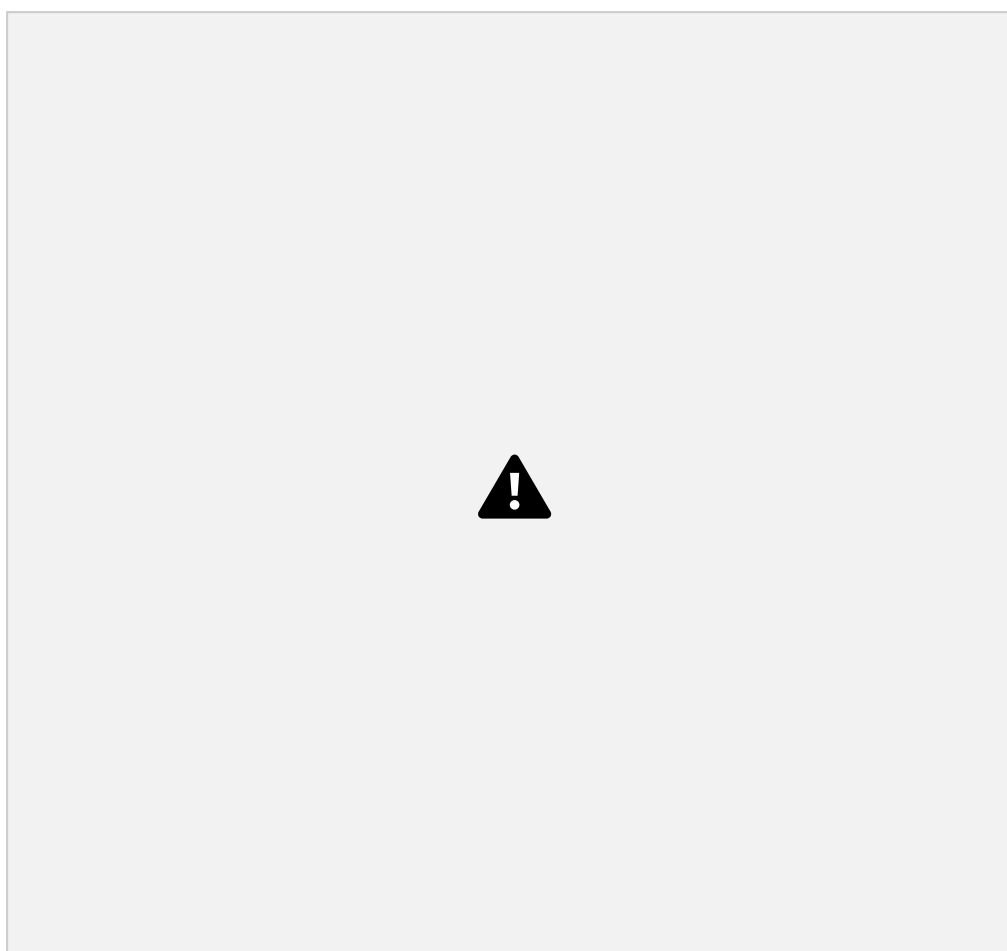
Akonáhle je zostavený poddajná VMS nákladného podvozka, je možné vykonať rôzne analýzy pre overenie korektnosti modelu, posúdenie jazdných vlastností modelu, môžu byť porovnané výsledky simulačných analýz nákladného podvozka s poddajným telesom s výstupmi dynamických vlastností nákladného podvozka s tuhým rámom atď.



Obr. 6 Redukovaný model rámu podvozka a definovanie uzlov rozhrania pre VMS model



Obr. 7 Ukážka geometrie trate pre simulačné výpočty



Obr. 8 Výsledky simulačných výpočtov – priebeh koeficientu bezpečnosti proti vykoľajeniu

V tejto kapitole sú porovnané výsledky simulačných analýz podvozka nákladného s tuhým rámom a poddajným rámom so zameraním na bezpečnosť proti vykoľajeniu. Pre vykonanie simulačných analýz bol použitý jednoduchý model trate. Bola zvolená testovacia trať – S-oblúk. Testovacia trať je zobrazená na obr. 7 [13]. testovacia trať má normálny rozchod 1435 mm s profilom koľajníc UIC60. Všetky kolesá nákladného podvozka sú vybavené profilom S1002. Analýzy boli vykonané s jedným nákladným podvozkom bez zaťaženia. Nákladný podvozok sa pohyboval konštantnou rýchlosťou 40 km/h. Bola analyzovaná jazda nákladného podvozka na S-oblúku aj s tuhým aj poddajným rámom.

Výsledky z analýz sú zobrazené na obr. 8. Ten zobrazuje hodnoty bezpečnosti proti vykoľajeniu (Derailment quotient Y/Q). Bezpečnosť proti vykoľajeniu je pomer vodiacich a kolesových síl Y/Q vyjadrujúca bezpečnosť jazdy koľajového vozidla. Je možné vidieť, že maximálne hodnoty sú dosiahnuté, keď podvozok prechádza oblúkmi. Z porovnania simulácií jazdy nákladného podvozka s tuhým a poddajným telesom môžeme tiež pozorovať vplyv poddajnosti rámu podvozka na sledované veličiny. Poddajnosť podvozka spôsobuje väčšie tlmenie kmitania.

ZÁVER

Prezentovaný príspevok bol zameraný na prípravu MKP modelu rámu podvozka nákladného vagóna pre import do VMS podvozka nákladného vagóna. Počítačová simulácia je v súčasnosti neoddeliteľnou súčasťou procesu vývoja koľajových vozidiel. Simulácie VMS s poddajnými telesami umožňujú podrobnejšiu analýzu správania sa koľajového vozidla. Zaradenie poddajného telesa do simulácie umožňuje lepšie optimalizovať návrh koľajových vozidiel a predchádzať prípadným problémom pri ich dlhodobej prevádzke. Ďalej boli ukázané výsledky výpočtov vlastných frekvencií a vlastných tvarov kmitania poddajného rámu podvozka. Počet požadovaných vlastných tvarov pri modálnej analýze závisí od hodnôt vlastných frekvencií systému a tiež od pôsobiacich zaťažení. Dynamické zaťaženia, ktorých frekvencie sú blízke vlastným frekvenciám, významne ovplyvňujú odozvu konštrukcie. Nakoniec boli odprezentované výsledky simulácií jazdy nákladného podvozka s poddajným telesom.

LITERATURA

- [1] SÁGA, Milan, ŽMINDÁK, Milan, DEKÝŠ, Vladimír, SAPIETOVÁ, Alžbeta, SEGLA, Štefan. *Selected methods of analysis and synthesis of mechanical systems*, VTS: University of Zilina, 2009, s. 360, ISBN 978-80-89276-17-2.
- [2] FEHR, Jörg, EBERHARD, Peter. Simulation process of flexible multibody systems with non modal model order reduction techniques. In: *Multibody System Dynamics*, 2011, Vol. 25, No. 3, ISSN 1384-5640, s. 313-334.
- [3] SHABANA, Ahmed. A. Flexible Multibody Dynamics: Review of Past Recent Developments. In: *Multibody System Dynamics*, 1997, Vol. 1, No. 2, ISSN 1384-5640, s. 189 - 222.