

## KONŠTRUKČNÝ NÁVRH LESNÍCKEJ NADSTAVBY PRE TRAKTOR SALAMANDER POMOCOU REVERZNÉHO INŽINIERSTVA

Jozef Krilek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical University in Zvolen, Faculty of Technology, Department of Environmental and Forestry  
Machinery, Študentská 26, 960 01 Zvolen, Slovakia; email: [krilek@tuzvo.sk](mailto:krilek@tuzvo.sk)

### **DESIGN OF A FORESTRY SUPERSTRUCTURE FOR THE SALAMANDER TRACTOR USING REVERSE ENGINEERING**

**Abstract:** The article presents a structural design of a forestry superstructure for the small electric Salamander tractor using reverse engineering methods. By 3D scanning the front and rear sections of the tractor, an accurate digital model was created to serve as the basis for designing load-bearing components. Emphasis was placed on using readily available and cost-effective materials, such as S235 and S355 structural steels and abrasion-resistant Hardox 450. The proposed design was verified through stress analysis in SolidWorks software, confirming its mechanical reliability. The resulting superstructure is an efficient and safe solution for forestry applications, enhancing the tractor's practical usability and demonstrating the potential of digital tools in technical design.

**Key words:** reverse engineering, 3D scanning, Salamander tractor, structural design, stress analysis

### ÚVOD

Lesnícka mechanizácia čelí rastúcim požiadavkám na efektivitu, presnosť a flexibilitu pri práci v náročných terénoch. Integrácia digitálnych technológií, ako sú 3D skenovanie a reverzné inžinierstvo, prináša nové možnosti optimalizácie konštrukčných riešení pre lesnícke nadstavby, ktoré sa môžu adaptovať na existujúce podvozky bez dostupnosti pôvodných CAD dát. Reverzné inžinierstvo (RE) umožňuje transformáciu fyzických komponentov na presné digitálne modely a následnú optimalizáciu ich konštrukčných vlastností pomocou CAE nástrojov ako SolidWorks.(hexagon.com, FARO)

V priemyselných aplikáciách je pre RE technológie kľúčové skenovanie pomocou laserových či štruktúrovaných svetelných skenerov. Napríklad spoločnosť Artec Eva umožnila skenovanie celého traktora či jeho časti za menej ako 20 minút a následnú tvorbu CAD modelu vhodného na výrobu. Reálne skenovanie tak zredukovalo výrobný čas o niekoľko týždňov.(McMillion 2025)

Štandardné metódy 3D skenovania vrátane služieb Zbieraných bodových mračien (point clouds), photogrammetrie a LIDAR-u sa čoraz častejšie využívajú v lesníctve, najmä pri digitalizácii stromových štruktúr či biomasy. Napr. metódy typu Structure-from-Motion či BLS (bicamera laser scanning) sa osvedčili pri presnom meraní kmeňov stromov.(Xu a kol., 2023)

V oblasti reverzného inžinierstva je overený prístup: (I) 3D skenovanie fyzického objektu, (II) spracovanie dát do CAD modelu, (III) návrh konštrukcie, (IV) overenie napätovou analýzou

(FEA). Tento workflow sa úspešne uplatňuje napríklad v konštrukcii častí strojov, štruktúrnych komponentov alebo náhradných dielov. (Gabštur a kol. 2025, Nedelcu & Tufisi, 2024, FARO)

Cieľom tohto článku je popísať návrh lesníckej nadstavby pre malý eklektický traktor Salamander, ktorého geometria nie je zdigitalizovaná. Metódy zahŕňajú reverzné inžinierstvo – snímanie traktora prostredníctvom 3D skenovacieho zariadenia, tvorbu digitálneho modelu v SolidWorks, konštrukčný návrh nadstavby a jeho overenie prostredníctvom napäťovej analýzy. Špeciálny dôraz sa kladie na výber materiálov so zohľadnením mechanických vlastností, dostupnosti a nákladov (oceľové typy S235, S355, Hardox 450, atď.). Efektívnosť návrhu sa hodnotí z pohľadu bezpečnosti, praktickej aplikovateľnosti v lesnom prostredí a prínosu moderných digitálnych technológií v technickom dizajne.

## 1. SÚČASNÝ PREHĽAD PROBLEMATIKY

Lesná mechanizácia dnes čelí rastúcim požiadavkám na efektívnosť, prispôsobiteľnosť a bezpečnosť pri práci v náročných terénoch. Traktory a drobné lesnícke vozidlá často nemajú pôvodné digitálne CAD modely nadstavieb, čo komplikuje ich modernizáciu. Reverzné inžinierstvo v spojení s 3D skenovaním ponúka riešenie presnej digitalizácie existujúcich komponentov a následný návrh nových nadstavieb šitých na mieru, čím sa redukuje závislosť na pôvodných výrobných dátach.

### Metodika konštruovania a význam štandardizácie

Ako uvádzajú Hošimin (2014) a Kučera (2014), metodika konštruovania predstavuje súbor organizačných, psychologických, logických a technických pravidiel, ktoré vedú k efektívnej racionalizácii konštrukčnej práce. Kľúčovým prvkom je využívanie normalizovaných dielov – ich nákup je ekonomickejší ako výroba vlastných, pričom zjednodušujú návrh a montáž.

Unifikácia podľa Hošimina (2014) predstavuje spôsob odvodenia viacerých strojov s rôznymi parametrami (výkon, účel, technológia) z jedného základného modelu. Opakované použitie rovnakých súčiastok znižuje počet konštrukčných dielov, zjednodušuje výrobu, skladovanie, údržbu i opravy.

Podľa Trebuňu (2018) môžeme 3D CAD systémy rozdeliť z hľadiska robustnosti na:

1. **Malé systémy** – základné funkcie pre jednoduché modelovanie.
2. **Stredné systémy** – rozšírené možnosti simulácií a zostáv.
3. **Veľké systémy** – komplexné platformy pre návrh, správu životného cyklu výrobku (PLM) a FEM analýzy.

Reverse engineering je systematický proces získania geometrie a dizajnového zámeru existujúceho objektu. Zahŕňa tri fázy: extrakciu informácií (3D skenovanie), modelovanie (CAD rekonštrukcia) a revíziu dizajnu (Messler 2013, Raja a kol. 2008). Moderné 3D skenovanie využíva technológie ako štruktúrované svetlo, metóda *time-of-flight (TOF)* lasery či mobilné LIDAR systémy. Štruktúrované svetlo a ručné laserové skenery poskytujú vysokú presnosť a rýchlosť pri skenovaní komplexných organických tvarov či kovových komponentov (Javaid a kol. 2021, Dassot a kol. 2011).

Technológie mobilného laserového skenovania (TLS, LiDAR) nachádzajú čoraz širšie využitie v lesnom a poľnohospodárskom sektore. Umožňujú neinvazívnu digitalizáciu veľkých objektov či prostredí a sú spoľahlivým východiskom pre 3D modelovanie nástrojov či nadstavieb (Di Stefano a kol. 2021, Dassot a kol. 2011, Calders a kol. 2020).

V lesníctve sa 3D technológie aplikujú najmä pre inventarizáciu stromovej biomasy, meranie kmeňov, aj monitorovanie ekologických procesov. Používajú sa metódy ako Structure-from-Motion (SfM), close-range photogrammetry a T-LiDAR. Tieto metódy dokážu vytvoriť presné digitálne reprezentácie stromov a terénu, čo môže byť adaptované aj pre rekonštrukciu technických objektov, ako sú nadstavby traktorov (Zaimovic-Uzunovic, a kol. 2007, 2014).

Podľa analýz, 3D skenovanie výrazne zrýchľuje proces reverse engineeringu – niektoré štúdie udávajú zníženie vývojového času až o 80 % v porovnaní s tradičnými metódami merania a CAD modelovania (FARO). Z pohľadu kvality poskytuje úplné pokrytie povrchu dielu, zachytávajúce krivky, netradičné tvary a detaily, ktoré by boli inak ťažko dostupné analógovým meraním (Haala a kol. 1998, Javaid a kol. 2021).

Medzi významné výzvy patrí veľkosť skenovaných objektov, nutnosť viacerých pohľadov, registrácia viacerých skenov a spracovanie rozsiahlych bodových mračen. Tieto faktory zvyšujú náročnosť na softvér a hardvér, predovšetkým pri väčších objektoch, ako napr. traktory. Štúdie evidujú potrebu optimalizácie procesu skenovania veľkých objektov a splňania presnosti potrebnej pre konštrukčné plánovanie (Duic a kol. 2023).

### **1.1. Použitie reverzného inžinierstva v strojárstve**

Trebuňa (2018) definuje reverzné inžinierstvo ako proces získavania poznatkov z existujúcich objektov, najmä v prípadoch, keď nie je dostupná pôvodná dokumentácia. Cieľom je rekonštrukcia 3D modelu objektu na účely údržby, výmeny alebo opätovnej výroby komponentov. Využíva sa v priemyselných odvetviach s podporou CAD systémov a 3D skenovacích technológií. V strojárskom dizajne sa workflow RE bežne skladá z fáz: skenovanie dielu → spracovanie bodového mračna → prechod do CAD modelu → návrh a optimalizácia → FEA (finite element analysis) overenie. Takýto prístup bol aplikovaný v automobilovom, leteckom a poľnohospodárskom priemysle, kde bolo potrebné reprodukovať nezdigitalizované diely alebo optimalizovať tvary pre lepší výkon (Helle a kol. 2021, Zaimovic-Uzunovic, a kol. 2007, 2014).

Príkladom je štúdia optimalizácie závesu, ktorý sa používa na upevnenie ťažného lana pri preprave dreva – kombinácia CAD/CAE a rapid prototypingu viedla k zníženiu hmotnosti o 20 % a zlepšeniu rozloženia napätia až 3,5-násobne (Zaimovic-Uzunovic, a kol. 2007, 2014).

### **1.2. Napätová analýza a hodnotenie konštrukcií**

FEA metódy sú štandardom pre overenie mechanickej spoľahlivosti navrhovaných konštrukcií. Počínajúc CAD modelom zložitej geometrie z 3D skenovania, softvér ako SolidWorks umožňuje simulovať zaťaženie, napätie a deformácie. Tento prístup je základom pri návrhoch strojových doplnkov, nadstavieb a bezpečnostných prvkov. (Zaimovic-Uzunovic, a kol. 2007, 2014, Helle a kol. 2021)

Pri návrhu nadstavieb je rozhodujúci vhodný výber materiálov. V praxi sa používajú ocele typu S235 a S355 pre nosné rámové časti, pričom pre časti vystavené opotrebeniu je využívaný

Hardox 450. Pre klzné uloženia zase ocele s vhodnou mechanickou a tribologickou špecifikáciou. Mechanické vlastnosti, cena a dostupnosť týchto materiálov podmieňujú ich praktické použitie v lesníckych zariadeniach.

Súčasný vývoj potvrdzuje, že kombinácia 3D skenovania, reverzného inžinierstva a následnej FEA analýzy umožňuje efektívny návrh nadstavieb bez pôvodných CAD dát. Technológie znižujú chyby spôsobené manuálnym meraním, zrýchľujú vývoj a zvyšujú presnosť výsledného modelu. Výzvy zostávajú v spracovaní veľkých bodových mračien, koordinácii viacerých skenov a robustnosti workflow, najmä pri veľkých alebo komplexných objektoch. Tento prehľad zároveň podporuje relevanciu riešenia pre traktor Salamander – aj bez existujúceho digitálneho modelu je možné vytvoriť bezpečnú, mechanicky spoľahlivú nadstavbu vhodnú pre lesné prostredie.

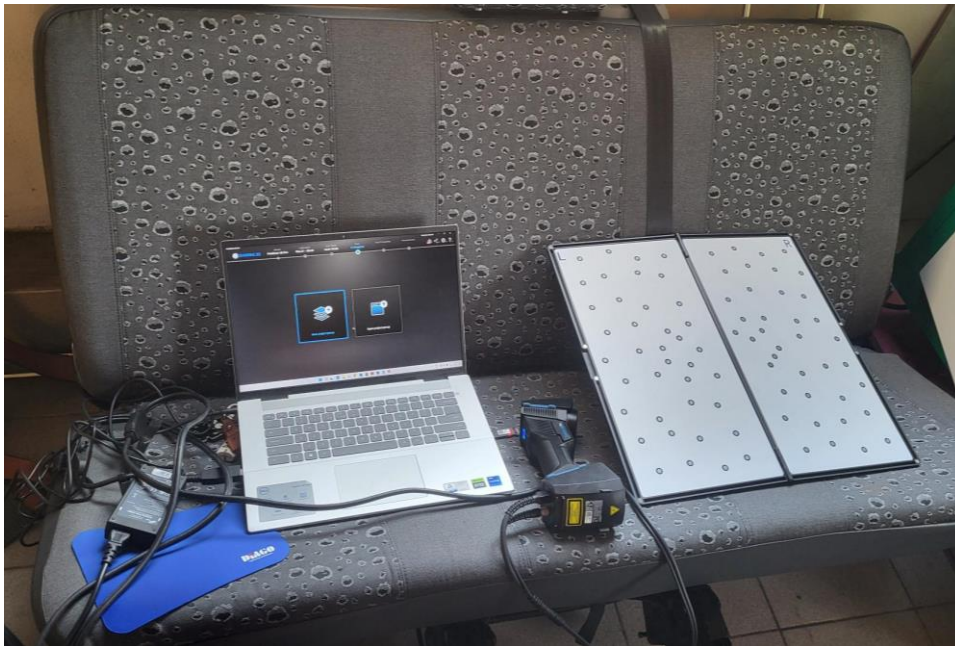
## 2. METODIKA A MATERIÁL

Skúmaným objektom je malý elektrický traktor Salamander (Obr. 1) bez dostupných CAD dát nadstavby. Bol zvolený pre svoju kompaktnosť, nízku hmotnosť a potrebu bezpečnej lesníckej nadstavby, ktorá rozšíri jeho funkčnosť v náročnom prostredí. Geometria traktora bola dostupná len v reálnom fyzickom tvare, čo motivovalo použitie reverzného inžinierstva.



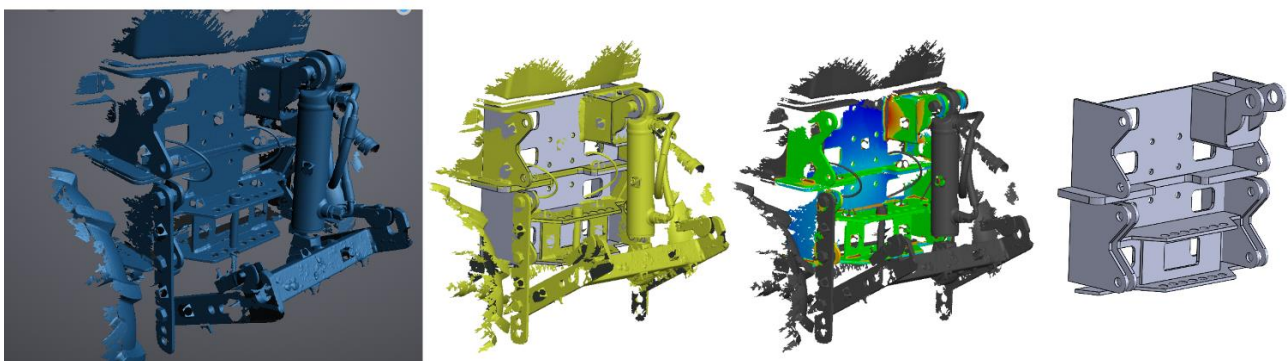
**Obr. 1** Traktor Salamander

Pre skenovanie sme si museli zvoliť skener ktorý nám dokáže vykonať naše merania v požadovaných toleranciách a ktorý máme možnosť využiť. K práci sa použije prístroj Freescan UE Pro (Obr. 2) od spoločnosti Shining 3D. Tento prístroj sa využíva na reverzné inžinierstvo a taktiež na kontrolu vyrobených dielov.



*Obr. 2 Prístroj s príslušenstvom a kalibračná podložka*

Na základe naskenovanej siete vytvárame 3D model, ktorý priebežne porovnávame s pôvodným skenom. Týmto spôsobom môžeme vizuálne identifikovať odchýlky – ako je znázornené na obrázku 3. Rovnaký princíp sa uplatňuje aj pri kontrole vyrobených dielov počas výrobného procesu. Kontrola kvality tak prebieha digitálne, bez potreby manuálneho merania a zaznamenávania hodnôt. Operátor pracuje s kalibrovaným vzorom a porovnáva reálny diel s jeho digitálnym modelom v reálnom čase, čím dokáže rýchlo a presne identifikovať nepresnosti a výrobné chyby. Tento prístup výrazne zrýchľuje proces kontroly a zároveň minimalizuje riziko chýb spôsobených ľudským faktorom.

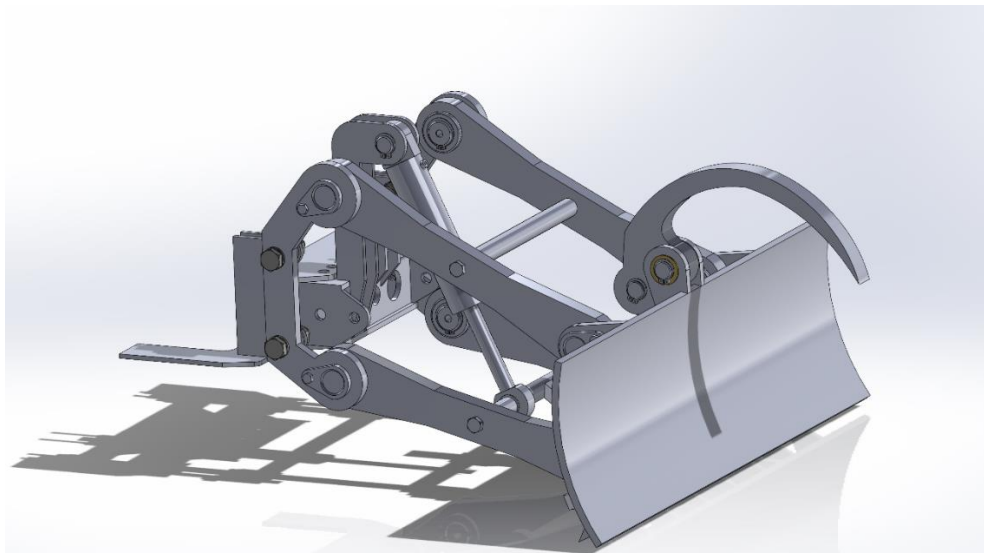


*Obr. 3 Postup skenovania zadnej časti traktora*

### 3. KONŠTRUKČNÝ NÁVRH

Pre návrh prednej nadstavby sme zvolili rampovač s jedným zubom určeným na uchytenie materiálu. Na obrázku 4 je znázornená úprava rozmeru medzi uložením ramien v základnom ráme

a zmenšeným rozstupom uloženia v samotnom rampovači. Táto konštrukčná zmena umožňuje naklápanie rampovača, čím sa zlepšuje kontakt zuba s manipulovaným materiálom. Zadná časť rampovača je doplnená o zuby, ktoré slúžia ako podpora pri práci navijaka zadného štítu a zároveň zvyšujú odpor pri ťahu, čo zlepšuje stabilitu a efektivitu manipulácie.

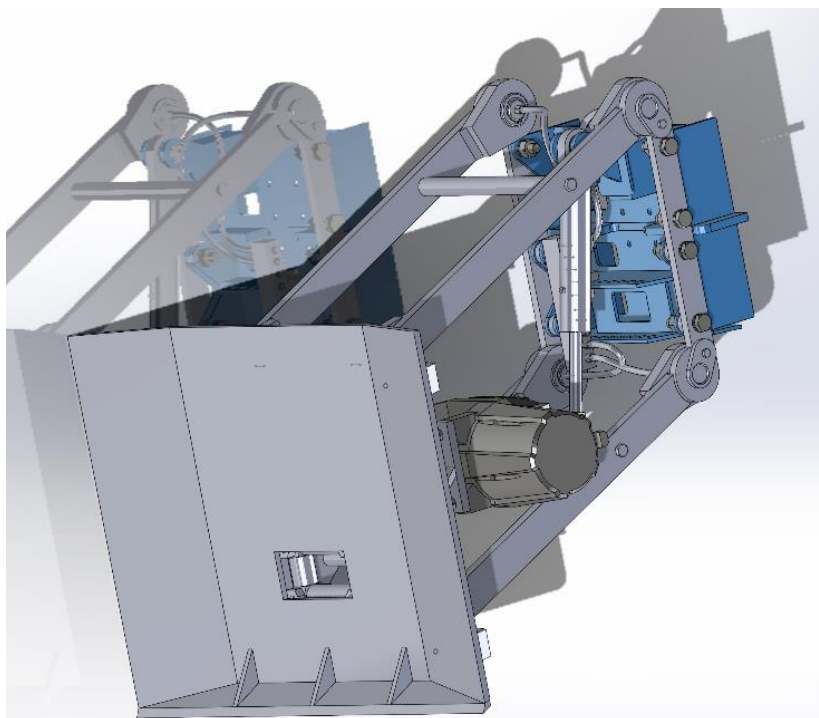


**Obr. 4** Zostava rampovača

Pre zadnú časť traktora sme navrhli konštrukciu štítu s integrovaným navijakom, ktorého funkčnosť a pevnosť bolo potrebné overiť numerickou simuláciou s cieľom posúdenia únosnosti pri zaťažení. Ako navijacie zariadenie sme zvolili model ZEON 8 od spoločnosti Warn, ktorý predstavuje osvedčené riešenie pre ťažké podmienky v lesnom hospodárstve.

Pri návrhu nosnej konštrukcie zadnej nadstavby sme využili rovnaké materiály ako pri prednom rampovači – ocele triedy S235, S355 a Hardox 450 – a zároveň sme zachovali unifikáciu komponentov, ako sú čapy, podložky, klzné ložiská a ďalšie štandardizované prvky. Takýto prístup zabezpečuje nižšie výrobné náklady, zjednodušenie montáže a ľahšiu údržbu.

Počas činnosti navijaka je zadný štít spustený až na zem, pričom jeho hmotnosť zabezpečuje stabilné pritlačenie k terénu. V kombinácii so špecifickým tvarom štítu dochádza k jeho zapretiu do podložia, čím vzniká kotviaci efekt (obr. 5). Tento odpor pôsobiaci proti ťažnej sile navijaka výrazne zvyšuje stabilitu traktora počas navíjania a zabezpečuje bezpečný a efektívny chod zariadenia aj pri vyššom zaťažení.



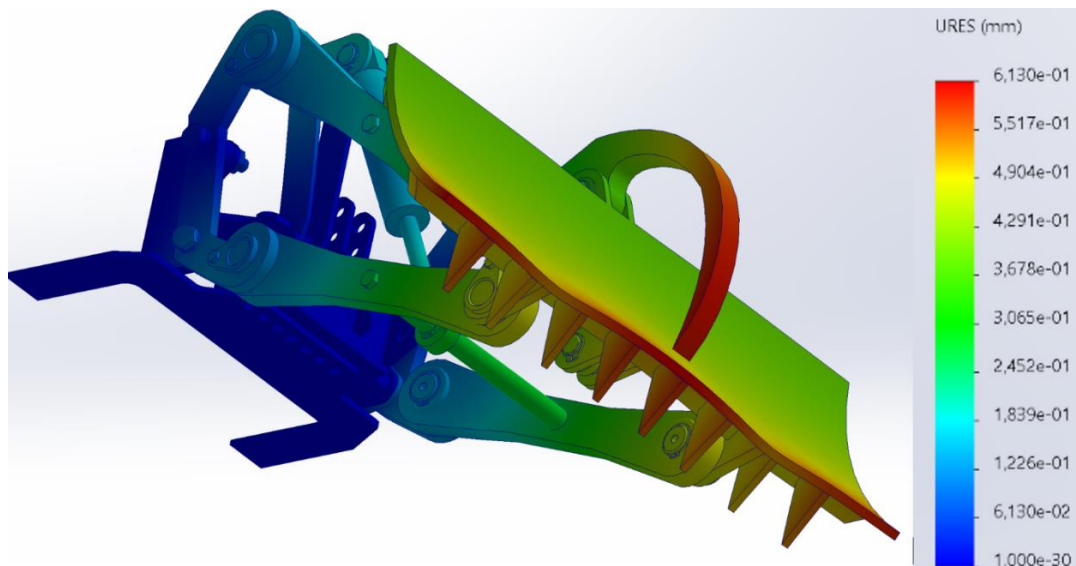
*Obr. 5 Zostava zadného štítu*

#### **4. NAPÄŤOVÁ ANALÝZA**

Napätovú analýzu je potrebné vykonať s cieľom overiť správnosť koncepčného návrhu a posúdiť bezpečnosť navrhovanej konštrukcie. Analýza bude realizovaná pomocou modulu SolidWorks Simulation, ktorý umožňuje numerické výpočty metódou konečných prvkov (MKP). Pre zabezpečenie spoľahlivých a presných výsledkov je nevyhnutné zadať všetky vstupné parametre – definovať materiálové vlastnosti použitých častí, uplatniť pôsobiace sily a zaťaženia, nastaviť okrajové podmienky, spôsob uloženia, ako aj priestorovú orientáciu modelu. Správne definovanie týchto vstupov má zásadný vplyv na kvalitu a výpovednú hodnotu simulácie.

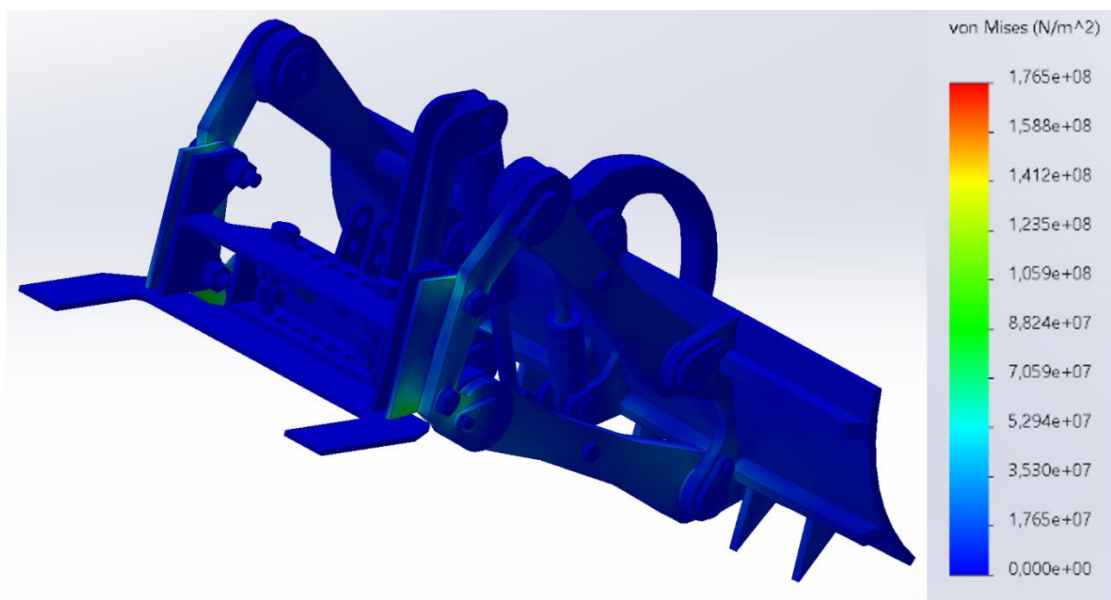
##### **4.3. Napätová analýza prednej časti**

Na základe vypracovania modelu sme si spravili simuláciu taktiež v programe Solidworks. Ako môžeme vidieť na Obrázku 6 je výstup z merania Displacement, kde si určujeme deformáciu pričom sme si zvolili 1,5 t na zuby rampovača ako odpor pri zachytení bremena zadným navijakom. 300kg odporu na zub rampovača ako odpor zachyteného bremena a tlak v hydraulických valcoch 200 bar pre zistenie tuhosti uložení. Pre posunutie vykazuje zostava hodnoty 0,61 mm.



**Obr. 6** Simulacia rampovača displacement v Solidworks

Ďalšia simulácia je von Mises pri ktorej si na zostave s vyvinutým rovnakým tlakom nasimulujeme zaťaženie na všetky diely v sústave ako samé to urobili v simulácii displacement. Najväčšie zaťaženie je v spojoch rámu a uloženiach, ale je to v limitoch materiálu a tým je zostava vyhovujúca ako je viditeľné na obrázku 7, kde môžeme vidieť, že sústava nedosahuje maximálne možné zaťaženie ktoré je  $2,75e+08 \text{ N/m}^2$  ale len  $1,765e+08 \text{ N/m}^2$ .

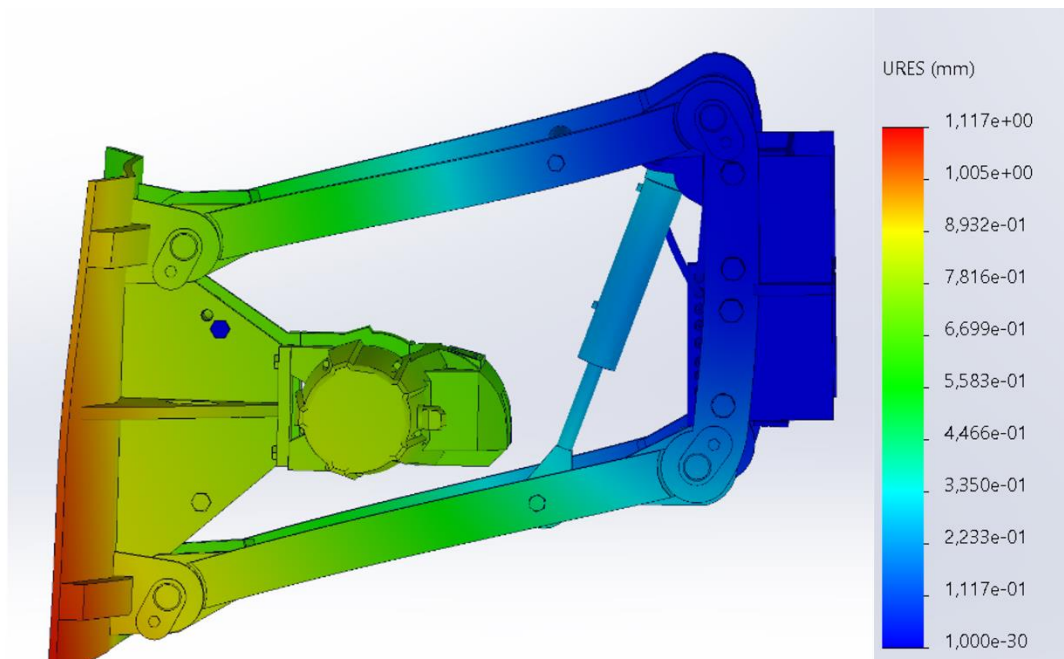


**Obr. 7** Simulacia rampovača von Mises v Solidworks

Pre prednú časť sme vykonali konštrukčný návrh, ktorý spĺňa požiadavky a sústava je dostatočne pevná a odolná pre výkon práce.

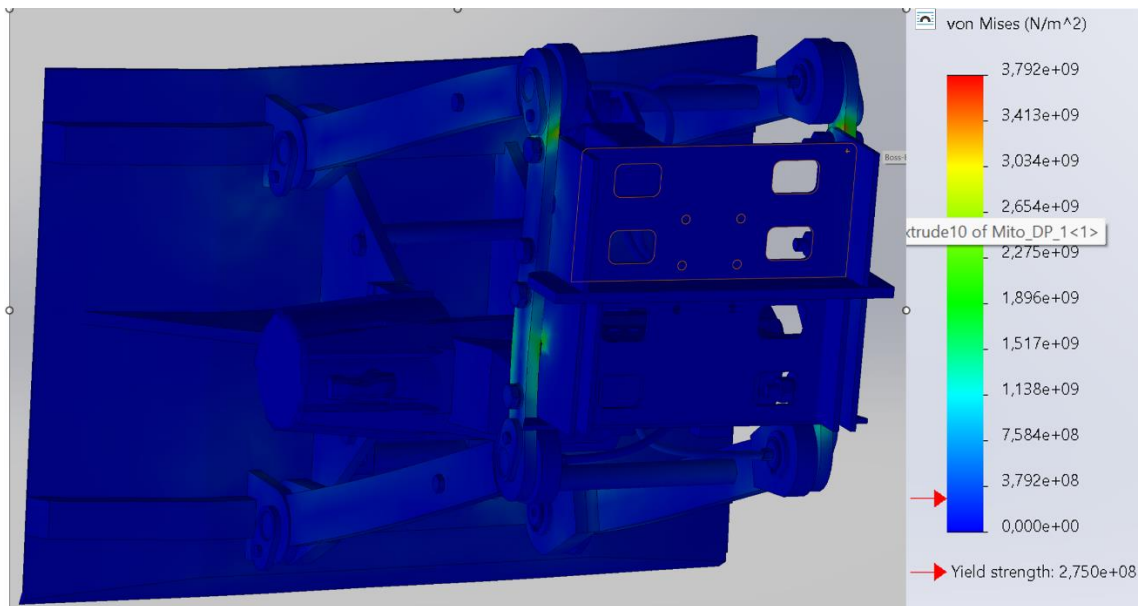
#### 4.4. Napätová analýza zadnej časti

Po vypracovaní a konštrukcii modelu sme vytvorili simulácie pre zistenie či je naša konštrukcia vhodná pre požadované zaťaženie a prevádzku nadstavby. Ako prvé sme vytvorili simuláciu Displacement (Obr. 8), aby sme zistili či je naša konštrukcia dostatočne odolná a či nie je potrebné vystuženie alebo zosilnenie niektorej z konštruovanej časti. Pre naše zaťaženie sme si určili maximálnu silu navijaka a 70% sily navijaka na zub štítu, zvyšná sila bude pri práci s navijakom rozložená medzi odpor trenia kolies a prednej časti rampovača. Avšak pre simuláciu sme nastavili 100% sily na zub štítu pre určenie tuhosti sústavy a jej samotnú deformáciu. Deformácia dosahuje nízke hodnoty a tým je vhodná pre konštrukciu.



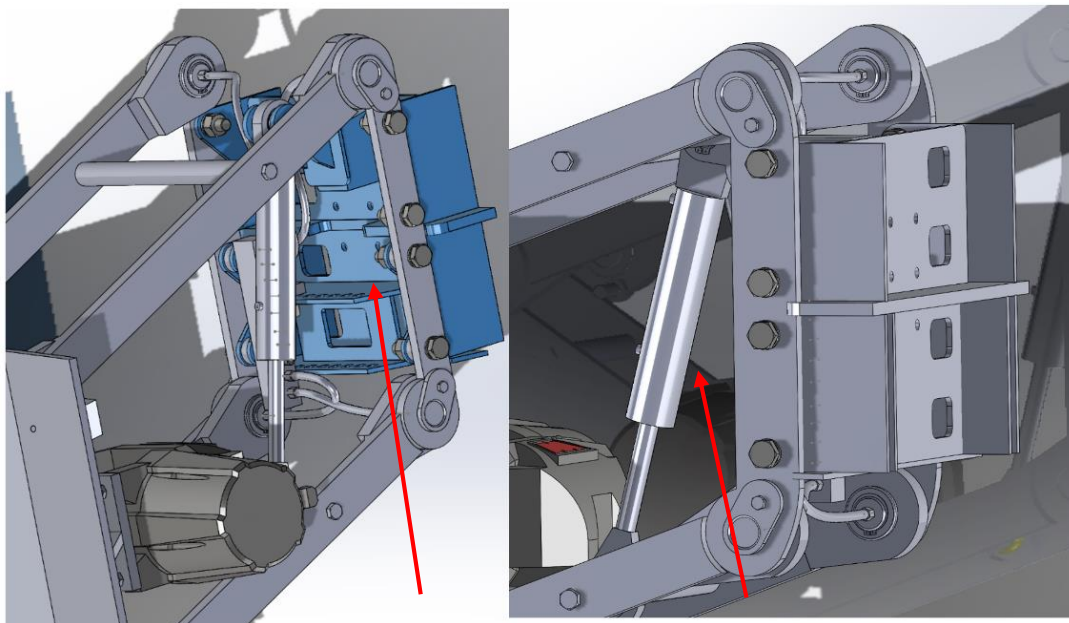
*Obr. 8 Displacement zadnej nadstavby*

Na zadnej nadstavbe sme taktiež vykonali simuláciu von Mises pre zistenie sily pôsobiacej na jednotlivé časti zostavy. Pri našej simulácii sme dospeli k záveru, že naša prvá konštrukcia je nevyhovujúca z dôvodu ostrých hrán a malej konštrukcie, ako môžeme vidieť na obrázku 9 tak hodnoty konštrukcie presiahli konštrukčné maximum ktoré je  $2,75e+08 \text{ N/m}^2$  ale dosiahlo až  $3,792e+09 \text{ N/m}^2$ . Na základe výsledkov je potrebné optimalizovať konštrukciu.



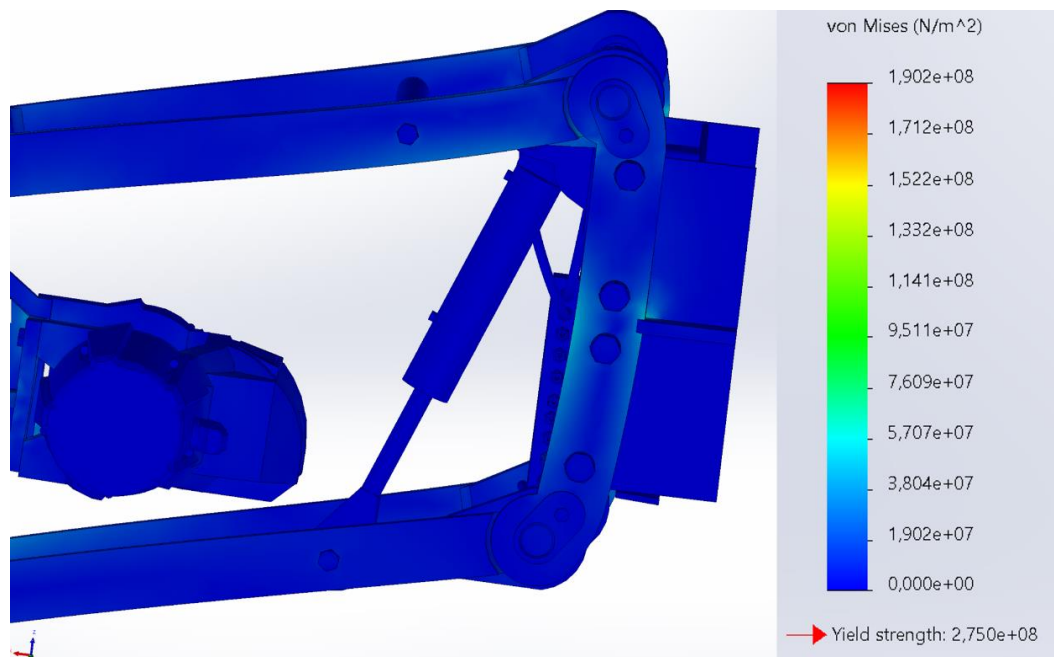
**Obr. 9** Simulácia von Mises nevyhovujúcej zadnej nadstavby

Po zmene konštrukcie základového ramena sme znížili zaťaženie na rameno a tým zlepšili konštrukciu, ktorá dokáže zniesť maximálny ťah navijaka. V zmene konštrukcie sme vykonali úpravu tvaru ramena ako je ukázané na obrázku 10.



**Obr. 10** Porovnanie starej (ľavá strana) s novou (pravá strana) konštrukcie

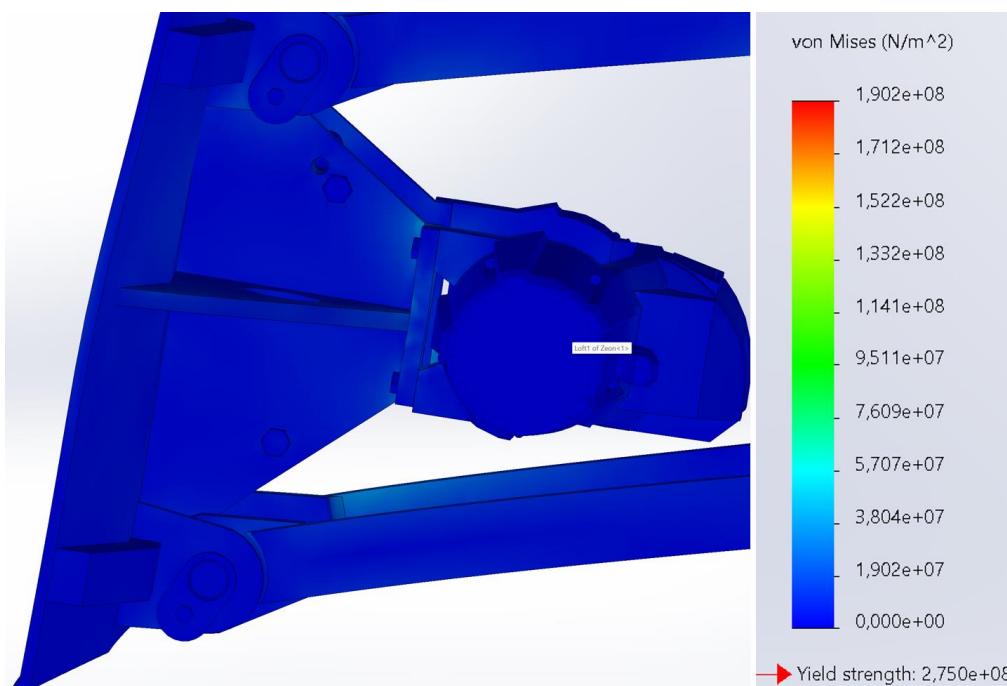
Optimalizáciou sme výrazne znížili zaťaženie konštrukcie a zlepšili jej vlastnosti ako môžeme vidieť na obrázku 11, kde maximálna hodnota nepresahuje  $2,75e+08 \text{ N/m}^2$ , ale hodnotu napätia  $1,902e+08 \text{ N/m}^2$ .



**Obr. 11** von Mises upravenej zadnej nadstavby

Po úpravách návrhu konštrukcia spĺňa požadované parametre a je vhodná na použitie s traktorom typu Salamander.

Súčasne boli preverené aj všetky ostatné časti zostavy, vrátane podstavca navijaka (obr. 12), s cieľom overiť ich odolnosť voči pôsobiacemu zaťaženiu. Na základe vykonanej analýzy vyhovuje celá konštrukcia požiadavkám na pevnosť a bezpečnosť.



**Obr. 12** Napätová analýza uloženia navijaka

## ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo navrhnúť a analyzovať lesnícku nadstavbu pre malý elektrický traktor Salamander s využitím reverzného inžinierstva, 3D skenovania a numerickej simulácie. Celý proces návrhu bol založený na digitálnej rekonštrukcii existujúcej geometrie traktora, ktorá umožnila vytvoriť presný CAD model ako základ pre vývoj prednej aj zadnej konštrukčnej nadstavby.

Predná časť traktora bola vybavená rampovačom s jedným zubom, ktorého konštrukcia umožňuje efektívne uchytenie materiálu a naklápanie pre lepší záber. Zadná časť obsahovala štít s navijakom typu Warn ZEON 8, pričom tvar a hmotnosť štítu boli navrhnuté tak, aby pri práci vytvárali kotviaci efekt a zvyšovali odpor voči ťažnej sile navijaka. V celom návrhu sa využívali unifikované diely a materiály (S235, S355, Hardox 450), čo prispelo k zjednodušeniu výroby a údržby.

Pomocou MKP analýzy v prostredí SolidWorks Simulation bola overená pevnosť a stabilita navrhnutých prvkov. Výsledky preukázali, že konštrukcia vyhovuje požiadavkám na bezpečnosť a funkčnosť. Zvolený návrh je tak z hľadiska konštrukčného riešenia aj technologickej realizovateľnosti vhodný na praktické nasadenie v lesnom prostredí.

Realizovaný postup preukázal výhody digitalizácie konštrukčných procesov, najmä v kombinácii 3D skenovania, reverzného inžinierstva a softvérovej simulácie. Tieto nástroje umožnili efektívne navrhnúť robustnú, funkčnú a ekonomickú lesnícku nadstavbu s potenciálom ďalšieho vývoja či sériovej výroby.

## LITERATÚRA

- [1] CALDERS, K., J. ADAMS, J. ARMSTON, H. BARTHOLOMEUS, S. BAUWENS, L. P. BENTLEY, J. CHAVE, F. M. DANSON, M. DEMOL, M. DISNEY, R. GAULTON, S. M. K. MOORTHY, S. R. LEVICK, N. SAARINEN, C. SCHAAF, A. STOVALL, L. TERRY, P. WILKES, H. VERBEECK. *Terrestrial laser scanning in forest ecology: Expanding the horizon*. Remote Sensing of Environment, 2020, vol. 251, 112102. ISSN 0034-4257. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112102>
- [2] DASSOT, M., CONSTANT, T. & FOURNIER, M. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of Forest Science* 68, 959–974 (2011). <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0102-2>
- [3] DI STEFANO, F., CHIAPPINI, S., GORREJA, A., BALESTRA, M., & PIERDICCA, R. (2021). Mobile 3D scan LiDAR: a literature review. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2387–2429. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1964617>
- [4] DUIC, A., & ANDREASSON, J. (2023). Exploring the Challenges of Reverse Engineering and 3D-Scanning of Large Objects: With a Product Development Perspective (Dissertation). Retrieved from <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mdh:diva-63652>
- [5] Faro, 3D Scanning Efficiency in Reverse Engineering, [online]. 2025 [cit. 25.07.2025]. Dostupné z: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/3D-Scanning-Efficiency-in-Reverse-Engineering>

- [6] GABŠTUR, P.; KOČIŠKO, M.; KAŠČAK, J.; POLLÁK, M. Methodology for Verification of Geometrically Complex Components Through Reverse Engineering. *Appl. Sci.* 2025, *15*, 3963. <https://doi.org/10.3390/app15073963>
- [7] HAALA, N.; BRENNER, C.; ANDERS, K.-H. "3D Urban GIS from Laser Altimeter and 2D Map Data" (PDF). (1998). Institute for Photogrammetry (IFP).
- [8] HEXAGON, Reverse engineering, Scan and digitise physical objects to 3D CAD models for reverse engineering. [online]. 2025 [cit. 25.07.2025]. Dostupné z: <https://hexagon.com/solutions/reverse-engineering>
- [9] HOŠIMIN J. a kolektív. Základy konštruovania v strojnícťve, Košice, Strojnícka fakulta TU v Košiciach 2014. 328s. ISBN: 978-80-553-1593-5
- [10] JAVAID, M.; HALEEM, A.; PRATAP SINGH, R.; SUMAN, R. Industrial perspectives of 3D scanning: Features, roles and it's analytical applications, *Sensors International*, Volume 2, 2021, 100114, ISSN 2666-3511, <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100114>.
- [11] KUČERA, M.; HELEXA, M. Metodika konštruovania strojov, 2.vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2014, 150s. ISBN 978-80-228-2657-0.
- [12] MESSLER, R. Reverse Engineering: Mechanisms, Structures, Systems & Materials. McGraw Hill. (2013). ISBN 978-0-07-182516-0. (introduction to hardware teardowns, including methodology, goals)
- [13] MCMILLION, M. Slashing weeks off reverse engineering farm equipment with Artec Eva [online]. 2025 [cit. 25.07.2025]. Dostupné z: <https://www.artec3d.com/cases/reverse-engineering-farm-equipment>
- [14] NEDELCU, A.-P. & TUFISI, C. Reverse Engineering of a Toothed Gear. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Engineering*. (2024). 69. 76-86. 10.24193/subbeng.2024.1.7.
- [15] RAJA, VINESH; FERNANDES, KIRAN J. Reverse Engineering – An Industrial Perspective. Springer. (2008). p. 242. ISBN 978-1-84628-855-5
- [16] ROBIN H. HELLE, HIRPA G. LEMU, A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control, *Materials Today: Proceedings*, Volume 45, Part 6, 2021, Pages 5255-5262, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.828>.
- [17] TREBUŇA, P.; TROJAN, J.; MIZERÁK, M.; KLIMENT, M. 3D SKENOVANIE – TECHNOLOGIA A REKONŠTRUKCIA 2018 TUKE Košice
- [18] XU, Z.; SHEN, X.; CAO, L. Extraction of Forest Structural Parameters by the Comparison of Structure from Motion (SfM) and Backpack Laser Scanning (BLS) Point Clouds. *Remote Sens.* 2023, *15*, 2144. <https://doi.org/10.3390/rs15082>
- [19] ZAIMOVIĆ-UZUNOVIĆ, Nermina, et al. Rapid Prototyping for sling design optimization. In: *Proceedings of The 1st DAAAM International Specialized Conference on Additive Technologies, Celje, Slovenia*. 2007.
- [20] ZAIMOVIC-UZUNOVIC, Nermina, et al. Rapid prototyping for sling design optimization. *arXiv preprint arXiv:1404.5062*, 2014.

**Podakovanie**

*Tento príspevok vznikol s podporou projektu KEGA 12SPU-4/2025 „Implementácia moderných metód v koncepte Smart Farm 4.0 pri zdieľaní spoločných dát v rámci výučby pre poľnohospodárske a lesnícke vedy“.*