

OPTIMALIZÁCIA KOMPONENTU VOZIDLA POMOCOU GENERATÍVNEHO DIZAJNU

Matúš Virostko¹, Martin Mantič²

¹matus.virostko@tuke.sk

²martin.mantič@tuke.sk

VEHICLE COMPONENT OPTIMIZATION USING GENERATIVE DESIGN

Abstrakt: Tento príspevok sa zameriava na využitie princípov generatívneho dizajnu pri optimalizácii konkrétneho komponentu vozidla. Cieľom je dosiahnuť návrh, ktorý spĺňa požiadavky na nízku hmotnosť, vysokú pevnosť a vhodnosť pre výrobu aditívnych technológií.

Kľúčové slová: generatívny dizajn, optimalizácia, aditívna výroba

ÚVOD

Generatívny dizajn (GD) je moderný prístup k návrhu výrobkov, ktorý využíva algoritmy a umelú inteligenciu na vytváranie optimalizovaných riešení podľa zadaných parametrov a obmedzení. Konštruktér neurčuje konkrétny tvar, ale definuje ciele, materiály a výrobné podmienky, zatiaľ čo algoritmus autonómne generuje množstvo alternatívnych návrhov [1]. Základ GD vychádza z evolučných a generatívnych procesov. Vďaka pokročilým technológiám, ako sú topologická optimalizácia, hlboké učenie či generatívne advérsne siete, dokáže GD navrhovať ľahké a pevné konštrukcie s vysokým výkonom [2][3]. Jeho veľkou výhodou je integrácia s CAD/CAE systémami, ktorá umožňuje automatizované testovanie návrhov už v koncepcnej fáze. Využitie GD sa osvedčilo v rôznych oblastiach – od letectva a automobilového priemyslu až po robotiku či vzdelávanie [4][5]. Prispieva nielen k zníženiu hmotnosti a zvýšeniu tuhosti technických komponentov, ale aj k zlepšeniu ergonómie a estetiky. V kombinácii s modernými technológiami, ako sú AI, cloud a big data, sa GD stáva kľúčovou súčasťou inžinierskej praxe a otvára nové možnosti spolupráce človeka a stroja [6][7][8].

V príspevku sa generatívny dizajn aplikuje na optimalizáciu volantu bezmotorovej minikáry.

VÝBER VOZIDLA A KOMPONENTU

Pre aplikáciu generatívneho dizajnu v oblasti automobilového priemyslu bol zvolený variant bezmotorovej minikáry (obr. 1) s nosnosťou do 80kg určenej na sklon svahu 5 – 7 %. Základné parametre vozidla sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Parametre bezmotorovej minikáry

Parameter	Hodnota	Jednotka
Celková hmotnosť	30	kg
Rázvor kolies	900	mm
Rozchod kolies prednej nápravy	600	mm
Priemer kolies	250	mm
Maximálna rýchlosť	45	km/h

Tieto údaje boli použité na aproximáciu maximálnych zaťažení pôsobiacich na minikáru pri jej prevádzke, ktoré budú tvoriť vstupné údaje pre optimalizáciu.



Obr. 1 Bezmotorová minikára

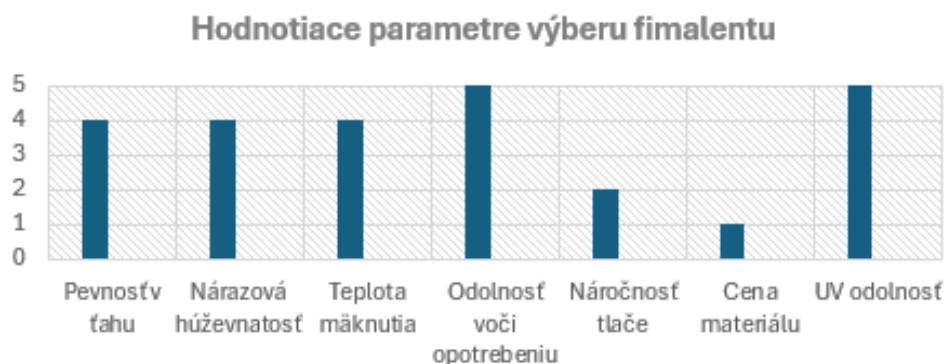
Komponent zvolený na optimalizáciu popísanú v príspevku je volant minikáry (obr. 2). Jedná sa o hliníkovú trojramennú konštrukciu s priemerom \varnothing 220 mm a hmotnosťou 432g. Pre lepší úchop je na obruči navinutý látkový grip. Konštrukcia volantu je bez výraznej optimalizácie rozloženia materiálu, kde vzniká potenciál pre generatívny dizajn.



Obr. 2 Pôvodný volant minikáry

VÝBER MATERIÁLU A SPÔSOBU VÝROBY OPTIMALIZOVANÉHO VOLANTU

Pri návrhu volantů minikáry pomocou generatívneho dizajnu bola zvolená aditívna výroba prostredníctvom technológie FDM 3D tlače. Vzhľadom na možnosť špecifikácie materiálu pri generovaní sa vyhodnocoval vhodný materiál filamentu použitého pre volant z vybraných bežne dostupných druhov. Analyzovali sa nasledovné materiály: PLA, PETG, ASA, Nylon 6/6, Nylon 12, ASA a PA-CF. Pri výbere sa hodnotili kritéria ako pevnosť v ťahu, nárazová húževnatosť, teplota mäknutia, odolnosť voči opotrebeniu, UV odolnosť, náročnosť tlače, cena materiálu, ktorým boli priradené hodnotiace čísla v škále 0 až 5 (obr. 3), pričom pričom 0 vyjadruje najnižšiu a 5 najvyššiu mieru posudzovanej vlastnosti.



Obr. 3 Grafické znázornenie hodnotenia filamentov

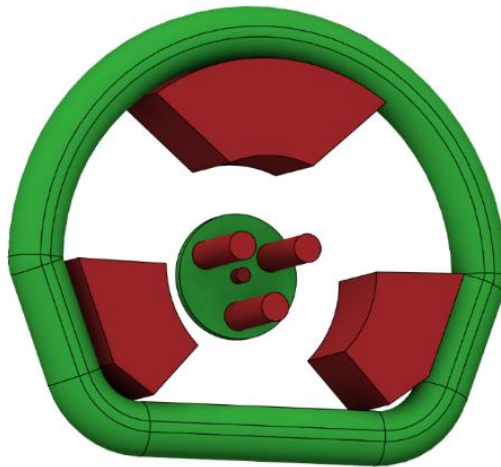
Po preskúmaní vybraných vlastností a charakteristík na základe multikriteriálneho hodnotenia bol ako ideálny materiál pre optimalizovaný volant zvolený ASA (akrylonitril-styrén-akrylát) (obr. 4). Najvyššie hodnotenia získal hlavne v kategóriách, ktoré sú pre volant používané v exteriéry najpodstatnejšie (UV odolnosť, stabilné vlastnosti, dobré pevnostné charakteristiky).



Obr. 4 Grafické znázornenie celkového výsledku filamentov

GENERATÍVNY NÁVRH VOLANTU

Optimalizácia volantu bola riešená pomocou generatívneho dizajnu v softvéri Autodesk Fusion 360, ktorý dokáže spojiť viacero scenárov zohľadňujúcich zaťaženia ale aj výrobné obmedzenia a následne generovať niekoľko jedinečných variant riešenia. Ako vstupné parametre je potrebné zadať pôsobiace zaťaženia a následne geometrické obmedzenia. Veľkosť sily potrebnej pre otočenie volantu bolo stanovené pri statickom stave, čo predstavuje nepriaznivejší stav ako je to pri pohybe minikáry. Cieľom je vybrať vyhovujúce riešenie s minimalizáciou hmotnosti a zachovaním požadovaných pevnostných a bezpečnostných faktorov. Pri optimalizácii bola upravená taktiež aj základná kruhová obruč na tvar so zrezanou spodnou časťou volantu.



Obr. 5 Vstupná geometria štúdie pre GD

Vstupná geometria štúdie zahŕňa (obr. 5):

- Zelené časti reprezentujúce telesá, ktoré majú byť prepojené a zachované pri optimalizácii
- Červené časti reprezentujúce objekty, ktorým sa má štúdia pri optimalizácii vyhnúť. Nami vytvorené časti vytvárajú manipulačný priestor na skrutky a miesto pre úchop rúk na volante.

V ďalšom kroku sa špecifikovali zaťaženia a okrajové podmienky, kde sa uvažovalo s rázovou silou a krútiacim momentom na volante s druhým stupňom bezpečnostného faktora. Pri voľbe spôsobu výroby sa uvažovalo s 3D tlačou a materiálom ASA. Na základe vstupných dát generatívny dizajn vygeneroval viacero variant, ktoré spĺňali nami definované požiadavky. Z týchto variant bolo potrebné vybrať jeden, ktorý sa následne vyrobí a otestuje. Pre výber nám poslúžil filter hodnotení jednotlivých kritérií, ktorým sme priradili ich váhu od 0 do 100%. Dostupné kritéria boli nasledovné:

- **Minimalizácia hmotnosti:** 100 %
- **Dosiahnutie požadovaného faktora bezpečnosti:** 100 %
- **Minimalizácia posunov (deformácií):** 60 %
- **Jednoduchosť výroby:** 30 %
- **Náročnosť výpočtu:** 10 %

Vzhľadom na tieto kritéria nám 5. variant dosahujúci naplnenie nami zvolených parametrov dosahuje 96,06 % zhodu (obr. 6).



Obr. 6 Vygenerované varianty volantu štúdie

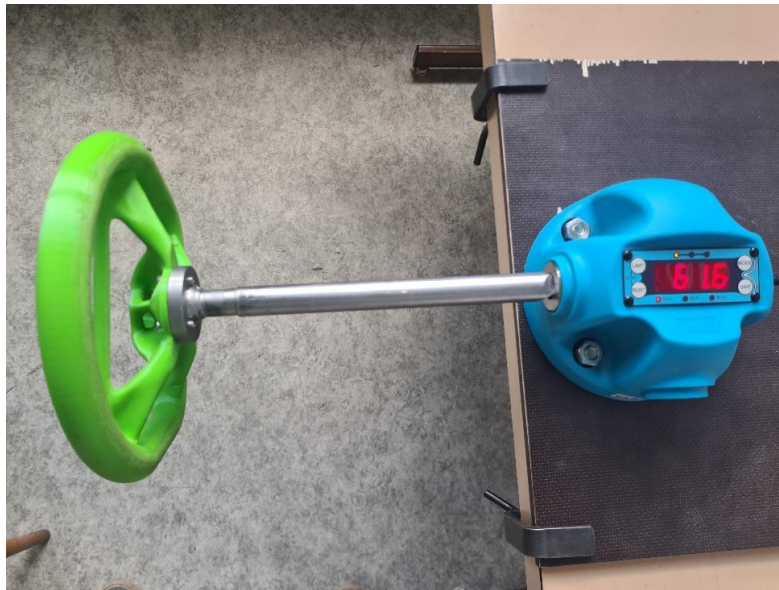
Následne sa výsledný variant exportoval a vytvoril vo fyzickej podobe pomocou 3D tlačne s použitím filamentu ASA. Na obrázku (obr. 7) je vytvorený prototyp optimalizovaného volantu bezmotorovej minikáry pre finálne testovanie.



Obr. 7 Optimalizovaný volant vytvorený aditívnou výrobou 75% výplň materiálu ASA

TEST ODOLNOSTI OPTIMALIZOVANÉHO VOLANTU

Pre test overenie funkčnosti a rezervy z pohľadu rezervy sa použilo etalónové meradlo krútiaceho momentu, kde bol volant pripevnený na provizórnu tyč riadenia reprezentujúcu vizuálne skutočnosti (obr. 8). Výsledky ukázali, že volant ostal bez viditeľných deformácií a narušení štruktúry a zniesol moment až 61,6 Nm, čo predstavuje až 8-násobok vypočítanej hodnoty potrebnej na pootočenie volantu analytickým výpočtom.



Obr. 8 Testovacia zostava s pripojeným volantom a momentovým etalónovým meradlom pri overovaní maximálneho momentu.

ZÁVER

V štúdiu bol navrhnutý a optimalizovaný volant pre bezmotorovú minikáru s cieľom znížiť hmotnosť pri zachovaní pevnosti a bezpečnosti. Pomocou generatívneho dizajnu s využitím softvéru Fusion 360 vznikol variant s organickou geometriou a upraveným tvarom venca, ktorý zlepšil ergonómiu. Na výrobu bol zvolený filament ASA, vhodný pre exteriér, a prototyp bol vytlačený metódou FDM. Testovanie potvrdilo viac než osemnásobnú rezervu pevnosti oproti prevádzkovému zaťaženiu, čo dokazuje, že riešenie spája bezpečnosť, funkčnosť a výraznú úsporu hmotnosti.

LITERATÚRA

- [1] GRADIŠAR, Luka, Robert KLINC, Žiga TURK a Matevz DOLENC. Generative Design Methodology and Framework Exploiting Designer-Algorithm Synergies. *Buildings*. 2022, 12(12), 2194. ISSN 2075-5309. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/buildings12122194>.
- [2] JANSSEN, P. A generative evolutionary design method. *Digital Creativity*. 2006, 17(1), 49–63. ISSN 1462-6268. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14626260600665736>.
- [3] OH, Sangeun, Yongsu JUNG, Seongsin KIM, Ikjin LEE a Namwoo KANG. Deep Generative Design: Integration of Topology Optimization and Generative Models. *Journal of Mechanical Design*. 2019, 141(11, SI), 111405. ISSN 1050-0472. Dostupné z: <https://doi.org/10.1115/1.4044229>.
- [4] YOO, Soyoung, Sunghye LEE, Seongsin KIM, Kwang Hyeon HWANG, Jong Ho PARK a Namwoo KANG. Integrating deep learning into CAD/CAE system: generative design and evaluation of 3D conceptual wheel. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2021, 64(4), 2725–2747. ISSN 1615-147X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00158-021-02953-9>.

- [5] MARINOV, Martin, Marco AMAGLIANI, Tristan BARBACK, Jean FLOWER, Stephen BARLEY, Suguru FURUTA, Peter CHARROT, Iain HENLEY, Nanda SANTHANAM, G. Thomas FINNIGAN, Siavash MESHKAT, Justin HALLET, Maciej SAPUN a Pawel WOLSKI. Generative Design Conversion to Editable and Watertight Boundary Representation. *Computer-Aided Design*. 2019, 115, 194–205. ISSN 0010-4485. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2019.05.016>.
- [6] BORDAS, Antoine, Pascal LE MASSON, Maxime THOMAS a Benoit WEIL. What is generative in generative artificial intelligence? A design-based perspective. *Research in Engineering Design*. 2024, 35(4), 427–443. ISSN 0934-9839. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00163-024-00441-x>.
- [7] VAISMAN MUNIZ, Carlos Eduardo a Wagner Luiz OLIVEIRA DOS SANTOS. Generative Design applied to Cloud Modeling. In: *2021 20th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGAMES 2021)*. Gramado, Brazil, 18.–21. október 2021. IEEE, 2021, s. 79–86. ISBN 978-1-6654-0189-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/SBGames54170.2021.00019>.
- [8] LI, Xueyang, Minyang XU a Xiangdong ZHOU. Twins-Mix: Self Mixing in Latent Space for Reasonable Data Augmentation of 3D Computer-Aided Design Generative Modeling. In: *2023 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*. Brisbane, Australia, 10.–14. júl 2023. IEEE, 2023, s. 906–911. ISBN 978-1-6654-6891-6. ISSN 1945-7871. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ICME55011.2023.00160>

Podakovanie

Tento článok bol vypracovaný v rámci projektov KEGA 044TUKE-4/2024 Aplikácia virtuálnej a rozšírenej reality do vzdelávania s cieľom inovácie konštrukčných študijných programov a financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I03-03-V05-00015