

Metóda 3D tlače v tvorbe ortopedických vložiek a jej výhody

Na počiatku produkčného prelomu, ktorý determinoval vznik 3D tlačiarňí, stál pravdepodobne francúzsky vynálezca Pierre A. L. Ciraud. Ten zostrojil prvú technológiu, ktorá zodpovedá dnešnej definícii aditívnej manufaktúry. Proces formovania výrobku spočíval v aplikácii viacerých vrstiev materiálu a v následnom stuhnutí jednotlivých vrstiev pôsobením vysoko energického lúča. (Matias & Rao, 2015). Neskôr v roku 1938 Charles „Chuck“ Hull prichádza so stereografickým¹ patentom (Lipson & Kurman, 2013), nasledoval vynález SLS technológie² a v roku 1989 manželia Crumpovci predstavili v súčasnosti najrozšírenejšiu metódu FDM³ (Williams, 2015). Rôznorodé možnosti využitia technologického výtvarného 3D tlačiarne zasiahli mnohé sféry - jednou z nich je práve klinické využitie, kde nám umožňuje transformovať CAD⁴ modely v produkty meniace životy pacientov a samotný charakter trhu. 3D tlač spôsobila revolúciu vďaka viacerým faktorom: jedná sa o nízko nákladnú metódu, produkčný čas je pomerne krátky a minimalizuje materiálne straty. Okrem toho CAD modely majú digitálny charakter – jednoducho sa zdieľajú – a tým umožňujú rýchlu kooperáciu špecialistov. Nevyhnutná je v tomto prípade hlavne transdisciplinárna⁵ spolupráca, ktorá je všeobecne dominantná v biomechanike ako takej. Medicínska 3D tlač, využívaná konkrétne v ortopédii, funguje zvyčajne na báze laserov (napr. spomínaný SLS princíp) (Mordal, 2020) a vytvárajú sa vďaka nej spinálne ortézy⁶, exoskelety⁷ a rôzne formy implantátov. Veľmi nápomocná je 3D tlač aj v predoperačnom plánovaní, napríklad pokiaľ sa jedná o komplexnú výmenu kĺbu, môže si chirurg vopred vytlačiť daný 3D model, zanalyzovať potenciálne komplikácie a naplánovať operáciu. V takomto systéme nachádza svoje uplatnenie aj počítačová tomografia⁸, ktorá v tomto prípade slúži ako modalita⁹ tvorby CAD modelu (Bull, 1980). Je nevyhnutné však spomenúť, že aj pre menej sofistikované, zdravotné komplikácie v ortopédii, ktoré však môžu mať závažné dlhodobé následky, ponúka 3D tlač transformáciu zastaralých metód – jedná sa

¹ perspektívne zobrazenie povrchu geometrických telies v rovine

² „selective laser sintering“ – proces založený na zapekaní polymérového prášku vo vrstvách pomocou lasera

³ „fuseddeposition modeling“ – proces založený na zahrievaní termoplastického vlákna na danú teplotu topenia a extrudovaním termoplastickej vrstvy po vrstve

⁴ „computer-aided design“ – počítačom podporovaný návrh konštrukčnej dokumentácie

⁵ presahujúci jednotlivé obory

⁶ ortézy pre podporu chrbtice

⁷ biomechanická, vonkajšia „kostra“, slúžiaca na podporu pohybu

⁸ rádiologická vyšetrovacia metóda, využívajúca röntgenového žiarenie

⁹ spôsob

o ortopedické vložky. Tie dokážu riešiť viaceré biomechanické dysbalancie ako priečne plochonožie¹⁰, drápvité a kladivkovité prsty¹¹, hallux vagus¹² a iné.

Práve týmto smerom sa uberá mnoho výskumov v ortopedických inováciách. V roku 2018 Nikors Sivarajah z Norwegian University of Science and Technology vo svojej magisterskej práci skúmal efektivitu a účinnosť 3D tlače v tvorbe ortopedických vložiek a dospel k pozitívnym výsledkom. Túto technológiu porovnával s vákuovým lisom a „milling princípom“ (opracovanie frézou) z hľadiska produkčného procesu, štruktúry, ktorú touto metódou dokážeme dosiahnuť a dostupných materiálov.

Vákuové lisovanie funguje na nasledovnom princípe: vytvorí sa otláčok chodidla pacienta do kopírovacej hmoty, ktorá neskôr slúži ako forma, do ktorej sa naleje sadra. Model zo sadry sa uloží do vákuového lisu, na jeho povrch sa uloží špecifický plát materiálu, z ktorého chceme vytvoriť vložku a spustí sa lis. Výsledný produkt sa opracuje a zahladí. Výroba pomocou frézovania sa tiež začína otláčkom do kopírovacej hmoty, ktorá sa ale skenuje 3D skenerom. Na spracovanie skenu sa použije určitý software (napr. Ortowear a neskôr FootMill) a vložka, ktorá prejde takouto technickou korekciou sa odošle do frézy, ktorá opracuje blok vybraného materiálu. Z jeho komparatívnej štúdie vyplýva, že 3D skenovanie a 3D tlač diametrálne skracujú výrobný proces, znižujú chybovosť a sú revolučné, čo sa týka materiálnych strát (Nikors, 2018).

Okrem toho na 35. konferencii International Society of Biomechanics in Sports v Kolíne v roku 2017 predstavila výsledky svojho výskumu skupina kórejských výskumníkov (Young-Kwan Kim a Ji-Yong Joo), ktorí sa pokúšali vytvoriť nízko nákladné, personalizované vložky pre ľudí s plochými nohami pomocou 3D tlače a sledovať ich efekt. Skúmaná skupina pozostávala z 15 ľudí so zdravými chodidlami a 15 ľudí s plochými nohami. Využili ručný skener (EinScan-Pro, Hustem, Korea) a sken bol spracovaný pomocou komerčného softvéru SculptGL® a vytlačený 3D tlačiarňou z TPI¹³. V štúdiu boli pozorované subjekty s aplikovanými vložkami v stoji, počas chôdze a behu na silovej plošine, pričom ich pohyb bol zachytávaný pomocou 5 vysokorychlostných kamier. Pozitívny výsledok tejto štúdie zaznamenal normalizáciu ťažiska u ľudí s plochou nohou vďaka ortopedickým vložkám (Kim & Joo, 2017).

¹⁰ „ploché nohy“

¹¹ deformita prstov, ktorá vzniká svalovou dysbalanciou šliach podielajúcich sa na ohýbaní prstov

¹² „vybočený palec“

¹³ termoplastický polyimid

Mojim vlastným výskumom som chcela v obmedzených podmienkach potvrdiť vyššie uvedené objavy. Hypotéza znela nasledovne: stredoškolský študent je schopný v domácich podmienkach vytvoriť model ortopedickej vložky na mieru vo formáte, ktorý dokáže spracovať 3D tlačiareň za minimálne náklady. Išlo teda o výskum, ktorý sa neopiera o konkrétne výsledné numerické hodnoty, ale skôr o predstavenie metód, ktoré dokazujú dostupnosť výskumu v oblasti 3D tlače a fakt, že ide o metódu, ktorú je schopná ovládať aj osoba bez technického pozadia.

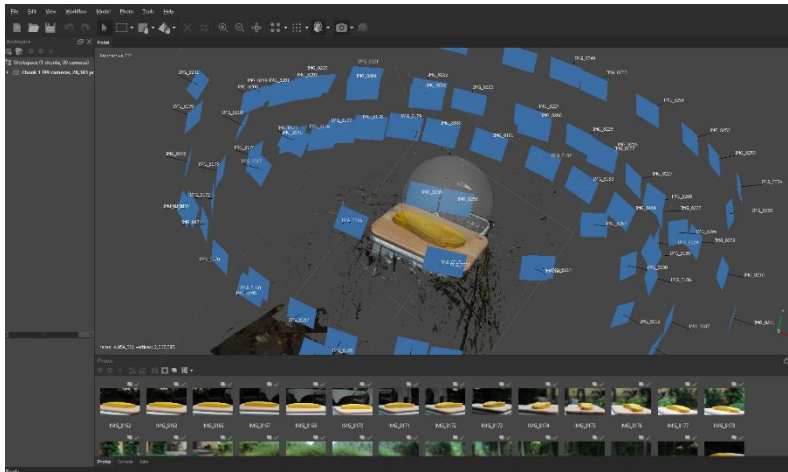
Presnejšie šlo o vytvorenie vložky pre moje pravé chodidlo. Kopírovaciu hmotu som nemala k dispozícii ale nahradila som ju primitívnou hmotou z bežne dostupných látok. Vytvorenú hmotu som upravila do roviny a chodidlo v nej rovnomerne otláčila. Na získanie 3D geometrických dát môjho subjektu som nevyužila laserové skenovanie končatiny, pretože zariadenie využívajúce spomínanú technológiu nevlastním. Pre zníženie nákladov sa stala základom môjho prístupu k danej problematike metóda fotogrametrie. Tá spája viacero metód (fotografické, geometricko-matematické a optické) a vďaka nim dokážeme vytvoriť 3D CAD modely pomocou 2D fotografií. Pomocou DLSR kamery som nasnímala môj otláčok v rôznych uhloch a vďaka približne 90 snímkam som v programe Agisoft Metashape vytvorila CAD model. Podobný model dokážu vytvoriť aj viaceré mobilné aplikácie, ktoré fungujú na veľmi podobnom princípe (v minulosti sa často používal open-source program 123D Catch). Ten som následne upravila viacerými úkonmi v programe Meshmixer, vytvorila jeho verziu v stereoligrafickom formáte a nastavila jeho mierku v programe Fusion 360.



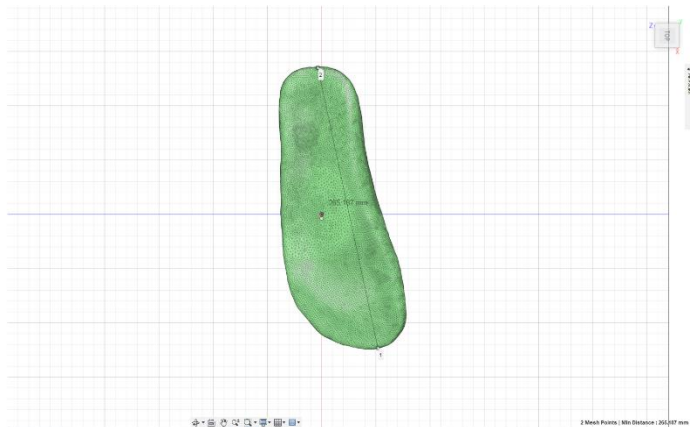
Obrázok 1: Otláčok chodidla



Obrázok 2: Snímanie otláčku pomocou DLSR kamery



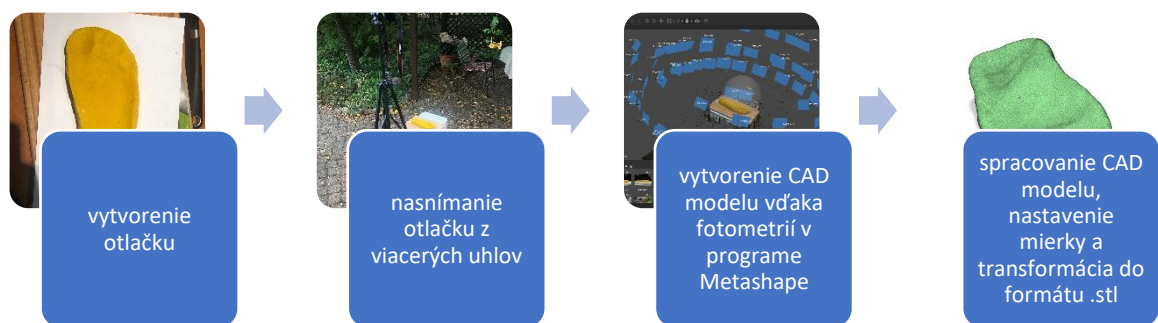
Obrázok 3: Proces tvorby CAD modelu v programe Metashape



Obrázok 4: Výsledky snímky 3D modelu ortopedickej vložky v programe Fusion 360

V tejto podobe je pripravený na tlač, má mierku nastavenú podľa veľkosti môjho chodidla a dokáže ho vytlačiť akákoľvek 3D tlačiareň. Môj výskum dokazuje hypotézu – už v dnešnej dobe je schopný jednotlivec so smartphonom a počítačom s dostatočnou RAM¹⁴ vytvoriť vložky do topánok na mieru. Spomínané technologické postupy sú minimálne nákladné a zachovávajú štruktúru chodila.

Môj vlastný výskum a predošlé štúdie v tejto oblasti potvrdzujú prínosnú implementáciu 3D tlače vo výrobnom procese ortopedických vložiek. Táto inovácia ponúka zvýšenie efektivity, presnejšie výsledky, znižuje náklady a zjednodušuje celý výrobný proces. Vďaka týmto faktorom by mohla prispieť k zlepšeniu zdravotného stavu pacientov zo sociálne slabších skupín a zamedziť u nich rozvoji závažnejších ochorení (napr. kyfózy¹⁵). Za spomenutie stojí inovácia skenovania vo forme LiDAR¹⁶ kamier (podporovaná napr. modelom iPhone 12 pro), ktorá dramaticky minimalizuje tvorbu CAD modelov (Vogt, Rips, Emmelman, 2021) a z môjho osobného hľadiska, by ju mali budúce výskumy zohľadniť. Tiež je dôležitá otázka výrobných materiálov, ktoré by boli biologicky rozložiteľné a pohodlné na dlhodobé nosenie.



Ilustrácia celého procesu tvorby ortopedickej vložky

¹⁴ „random access memory“ - operačná pamäť počítača

¹⁵ nadmerný ohyb v oblasti hrudnej chrbtice

¹⁶ „light detection and ranging - metóda merania vzdialenosti založená na základe výpočtu doby šírenia impulzu laserového lúča odrazeného od snímaného objektu

ZDROJE:

1. Matias, Elizabeth and Rao, Bharat 3D Printing: On Its Historical Evolution and the Implications for Business, New York University Polytechnic School of Engineering, Technology Management and Innovation Department, New York, NY - USA, 2015
2. Lipson, H., & M. Kurman. (2013). *Fabricated: The New World of 3D Printing - The promise and peril of a machine that can make (almost) anything*. Indianapolis, IN: John Wiley & Sons Inc.
3. Williams, Linda D. "Additive Manufacturing or 3d Scanning and Printing," in *Manufacturing Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill, 2015.
4. Mordal, Katarzyna (2020) THE APPLICATION OF 3D PRINTING IN DIFFERENT AREAS OF MEDICINE, Department of Technology and Automation, Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, University of Technology, Czestochowa
5. Bull J. (1980) The History of Computed Tomography. In: Caillé JM., Salamon G. (eds) *Computerized Tomography*. Springer, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-67513-3_1
6. Sivarajah, Nikors (2018) Implementing 3D Printing in the Production Process of Individual Insoles, Trøndelags Ortopediske Verksted, AS Department of Mechanical and Industrial Engineering
7. Kim, Young-Kwan and Joo, Ji-Yong (2017) "EFFECTS OF CUSTOM-MADE 3D PRINTED INSOLES FOR FLAT-FOOT PEOPLE ON GAIT PARAMETERS: A PRELIMINARY STUDY"
8. Vogt, M.; Rips, A.; Emmelmann, C. Comparison of iPad Pro®'s LiDAR and TrueDepth Capabilities with an Industrial 3D Scanning Solution. *Technologies* 2021, 9, 25. <https://doi.org/10.3390/technologies9020025>