

Využití 3D tisku ve zdravotnictví

Martina KOLLEROVÁ

Centrum 3D tisku 3Dees, Pernerova 35, 186 00 Praha 8, kollerova@3dees.cz

***Anotace:** Vnímejte technologii 3D tisku jako jedinečnou příležitost pro zhotovení úplně nových věcí a ne pouze jako nový způsob výroby již známých předmětů. Jako příležitost pro zhotovení předmětů, které prostě nelze vyrobit žádným jiným způsobem. V medicíně tato příležitost představuje úplně nové metody léčby, které častokrát pomáhají pacientům, jimž dosud nebylo pomoci. Shrnuje podstatu a přínos 3D tisku britský dentista a kreativní uživatel technologie 3D tisku v medicíně Dr. Andrew Dawood. 3D tisk v segmentu medicínských technologií roste rychleji než celkový trh 3D tisku a co je důležitější, přináší čím dál více užitku konkrétním pacientům. Tedy z univerzitních laboratoří a experimentálních pracovišť se přesouvá do lékařské praxe. V příspěvku představíme samotnou technologii 3D tisku, pak některé zajímavé ukázky využití 3D tisku ve zdravotnictví ze světa a na závěr se zaměříme na dva konkrétní příklady využití 3D tisku na českém trhu. Jedním z nich je 3D tisk krytu protězy nohy iniciovaný právě pozvánkou na konferenci INSPO 2015.*

Představme si 3D tisk

Informace o 3D tisku dnes nalezneme nejen v rubrikách o technologických novinkách. A to je dobře. Velký, a nutno dodat, že zasloužený zájem o tuto technologii pomáhá šířit informace a zajímavosti o využití 3D tisku mezi širokou veřejností. Prudký nárůst zájmu o tuto problematiku během posledních pár let může vyvolat dojem, že se jedná o horkou novinku. Historie 3D tisku se přitom začala psát již v druhé polovině 20. století, kdy si Charles W. Hull, později spoluzakladatel společnosti 3DSystems, nechal v roce 1986 patentovat technologii stereolitografie. Hull je ve svých 75 letech stále aktivním členem vedení 3DSystems jako její technický ředitel. Je vlastníkem 60 patentů, v roce 2014 byl uveden do americké Národní síně slávy vynálezců a ve stejném roce se stal vítězem Evropské ceny pro vynálezce udělované Evropským patentovým úřadem.

Jak jednoduše popsat 3D tisk? Je to proces zhotovení předmětu z počítačového 3D modelu. Tento proces se také nazývá aditivní výroba. Při tomto procesu totiž vzniká výsledný produkt postupným nanášením stavebního materiálu po velmi tenkých vrstvách, které se vzájemně spojují např. tavením nebo lepením. Na rozdíl od běžných způsobů výroby, jako je třeba třískové obrábění, při kterém je materiál naopak odebírán, lze s pomocí technologie 3D tisku vytvářet náročné tvary a konstrukce, jež by nebylo možné zhotovit žádným jiným způsobem. Tento proces je z důvodu rychlé přípravy vhodný především pro kusovou a malosériovou výrobu. Často je proto využíván pro výrobu funkčních prototypů, designových modelů a nástrojů v různých odvětvích.

K samotnému 3D tisku je potřeba nejdříve vytvořit tisknutelný 3D model. Ten je nejčastěji vymodelován v počítači pomocí tzv. CAD software nebo získán metodou trojrozměrného skenování. 3D skenování je především ve zdravotnictví velmi cenným a často používaným zdrojem pro vytvoření 3D modelu. Pro tento účel se dnes v medicíně využívají také zobrazovací metody jako je výpočetní tomografie a magnetická rezonance. Rozšiřování 3D tisku sebou přináší i zpřístupnění způsobů pořízení dat vhodných pro 3D tisk. Takovým je například fotogrammetrický software, který umožňuje vytvoření 3D modelu z dat pořízených digitální kamerou nebo fotoaparátem, tedy dnes běžně chytrým telefonem. 3D model vytvořený některým z uvedených způsobů je potřeba upravit a převést do formátu .STL nebo .OBJ, které jsou srozumitelné pro ovládače 3D tiskárny. V závislosti na velikosti, složitosti a materiálu se 3D model tiskne v řádech hodin. Posledním krokem je úprava vytisknutého předmětu. U domácích tiskáren se nejčastěji jedná pouze o ulomení tiskových podpor. U profesionálních tiskáren patří mezi post-tiskovou úpravu například vymývání podpor ve speciálním roztoku, broušení a hlazení, povrchová úprava nastříkáním, anebo také pokovování.

Od počátků 3D tisku neustále přibývá materiálů, ze kterých je možné tisknout. K různým typům termoplastů postupně přibývaly materiály jako sádrový kompozit, keramika, písek, kovový prášek, vosk a v neposlední řadě různé zdravotně nezávadné materiály a lidské kmenové buňky. To umožnilo rozšíření uplatnění 3D tisku ve zdravotnictví. Materiály používané pro 3D tisk ve zdravotnictví musí splňovat zákonem dané normy a řadíme mezi ně licí pryskyřici používanou při výrobě dentálních korunek či můstků, materiály na

dlouhodobé zubní náhrady, průhlednou bio-kompatibilní pryskyřici používanou pro přesné chirurgické návody, bio-kompatibilní fotopolymery a foto-reaktivní akryláty pro výrobu naslouchátek nebo v otolaryngologii.

3D tisk ve zdravotnictví

Různé analytické reporty se shodují na obrovském potenciálu globálního trhu 3D tisku. V roce 2020 dosáhne trh 3D tisku více než pětinašobku své velikosti z roku 2013. Poroste podíl finálních výrobků a služeb, které již v roce 2013 tvořily více než třetinu, přitom v roce 2003 to byl sotva 4procentní podíl. Segment zdravotnictví a medicínských technologií včetně dentálních pomůcek tvoří největší specializovaný segment průmyslového 3D tisku a jeho podíl na celkovém trhu 3D tisku dosáhl v roce 2013 více než 35 %. Tento segment navíc poroste rychleji než ostatní a v roce 2020 dle odhadů přesáhne 40 % podíl.

Nabídka 3D tisku ve zdravotnictví a medicínských technologiích zahrnuje produkty pro diagnostiku, léčbu a monitorování lidských nemocí a kompenzační pomůcky pro lidi s různými handicap. 3D tisk už dnes nabízí významnou alternativu k tradičním výrobním metodám ve zdravotnictví. Především v individualizaci výroby nebo ve snížení nákladů či zefektivnění dodavatelského řetězce. Jedna z nejslibnějších příležitostí růstu 3D tisku v medicíně pochází z rozšiřování digitálních technologií v rámci diagnostických procesů jako jsou výpočetní tomografie, magnetická rezonance, 3D ultrazvuk a dnes už také intraorální skenování. Tato digitální data budou v budoucnosti podstatně častěji sloužit k personalizaci zdravotní péče prostřednictvím 3D tisku.

Z experimentálních pracovišť se do běžné lékařské praxe již v současnosti úspěšně přesouvá zhotovování zubních náhrad i čelistí na míru, výroba kyčelních a kolenních implantátů, výroba naslouchadel pro sluchově postižené, produkce protéz končetin, výroba dioptrických brýlí anebo produkce ortopedických vložek do obuvi na dálku pomocí dat z chytrého telefonu zaslaných pacientem přímo výrobcem.

Pokud pomineme velmi specifický vývoj a prototypování medicínských nástrojů, tak můžeme klíčové oblasti použití 3D tisku ve zdravotnictví rozdělit do 5 skupin:

1. Medicínské modelování

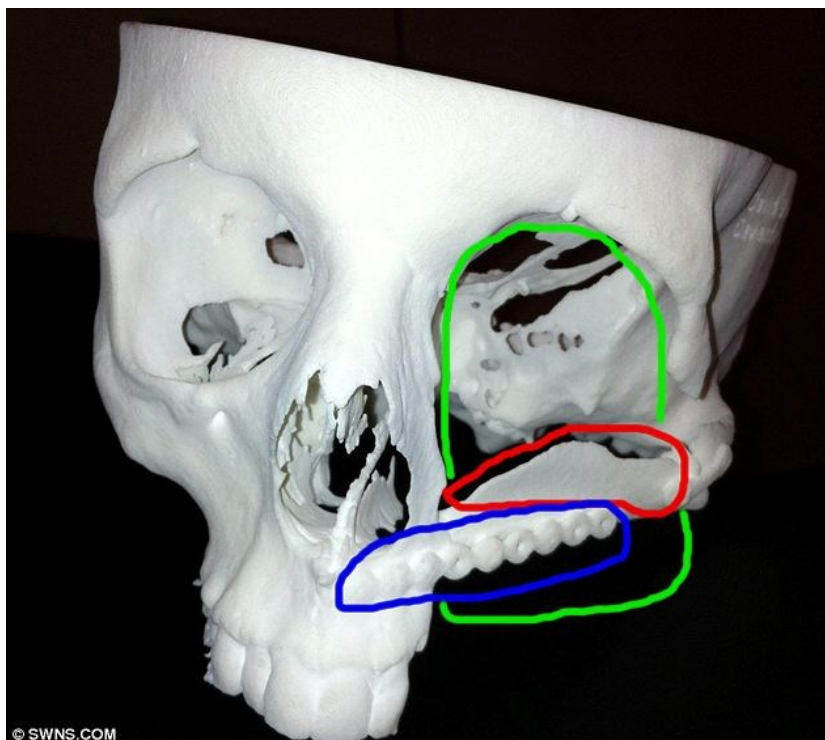
Do modelování v medicíně pomocí 3D tisku lze zařadit širokou škálu činností jako jsou výroba výukových modelů, individualizované předoperační přípravy pomocí virtuálního operačního plánování a různé klinické nástroje ovlivňující rekonstruktivní chirurgii.

K minimalizaci operačních rizik je velmi důležité, aby chirurgové měli dostatek praxe, z níž velká část pochází z provádění zkušebních operací na modelech pacientům podobných. S rostoucí náročností chirurgických zákroků se mnozí lékaři spoléhají na podrobné plány a individualizované operační postupy vytvořené pomocí 3D tisku. Trojrozměrné chirurgické návody pomáhají lékařům pochopit strukturální prvky anatomie, s nimiž se pravděpodobně potkají během operace. Z CT snímků nebo záznamů magnetické rezonance lze například vytisknout model jater z průhledné pryskyřice, který umožňuje prostudovat vnitřní strukturu orgánu, umístění nádoru nebo přesně vidět rozmístění cév. S touto pomůckou může operační tým předem rozhodnout o přesném postupu, aniž by klíčové rozhodnutí odložil až na sál. Tím se zkracuje délka operace, dochází k finančním úsporám a především ke snižování chirurgických komplikací i rychlejšímu zotavování pacientů. Dle zprávy Gabelli&Company bylo v roce 2013 zhotovených na 70.000 operačních návodů prostřednictvím 3D tisku.



Obr 1: Fyzický 3D model srdce s vrozenou vadou pro předoperační přípravu vytisknutý pomocí 3D tiskárny, zdroj Materialise

Na 3D Printshow v Londýně v září 2014 představil Dr. Andrew Dawood, britský dentista a kreativní uživatel 3D tisku, zajímavý případ využití medicínského modelování v rekonstruktivní medicíně. Přivedl svého pacienta, kterému díky 3D tisku mohli zrekonstruovat obličej po velmi vzácném melanomu. Tento zhoubný nádor ho připravil o oko, horní čelist a část kostí lebky. Pacient Josh je módním návrhářem, a jak sám tvrdí, pohybuje se v prostředí, kde zjev hraje velkou roli. O to důležitější pro něj bylo, aby po život zachraňující operaci, při které byla odstraněna nádorem zasažená tkáň, mohl podstoupit rekonstrukci čelisti a zubů. Tento případ potvrzuje, že technologie 3D tisku definitivně mění praxi zubního lékařství současnosti.



Obr. 2: 3D výtisk lebky Joshe. Zelenou barvou označena odstraněná část lebky, červeně implantovaná část z lopatky, modře je označen kovový implantát k upevnění zubní náhrady

2. Implantáty

Trend individualizace zdravotní péče a snaha o snížení nákladů v důsledku zkrácení času stráveného na operačním sále zvýšily poptávku po implantátech na míru vyrobených pomocí 3D tisku. Největší budoucnost se

předpovídá ortopedickým implantátům, zejména kyčelním a kolenním kloubům na míru. Americká FDA schválila první implantát společnosti Oxford Performance Materials v únoru 2013. Byla to náhrada části lebky ze speciálního polymeru, který dostal název Osteofab. Od té doby má firma schválené další podoby použití Osteofabu pro náhradu čelisti či páteřního obratle.

3D tisk byl použit také při výrobě méně obvyklých implantátů. Vědci z michiganské univerzity například zhotovili tracheální implantát na míru mladému chlapci se vzácnou nemocí způsobující kolaps plic. Vědci vytiskli speciální vstřebatelnou dlahu na základě CT snímků průdušnice. Již týden po operaci bylo možné malého pacienta odpojit z ventilátoru. Vědci předpokládají, že implantát se do tří let úplně vstřebá.

Známý je případ 83leté pacientky, které vědci vytiskli na míru čelist z titanu. Klíčový přínos na míru zhotoveného implantátu v tomto konkrétním případě znamenal zkrácení pobytu na operačním sále zhruba na čtvrtinu obvyklého času. U 3D tisku implantátu na míru totiž odpadá časově náročné přizpůsobování na sále.

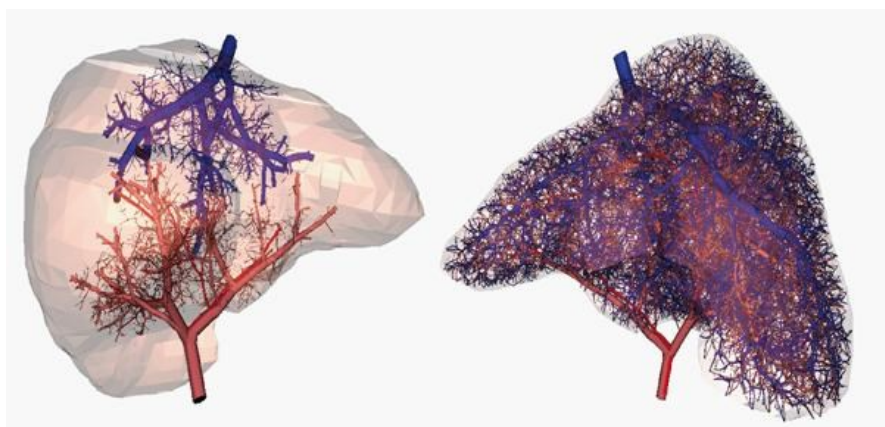
3. Biotisk

Každých 30 vteřin zemře pacient, kterému by transplantace tkáně mohla zachránit život. Tento statistický údaj ze studie 3DSystems sám o sobě motivuje vědce a investory k vývoji biotisku. V oblasti tisku tkáně, cév, kostí a orgánů má pochopitelně 3D tisk velkou budoucnost. Ještě než uvedeme některé slibné experimenty, je nutné zdůraznit etickou a legální otázku pěstování lidské tkáně. Použití lidských kmenových buněk k vědeckým účelům je regulováno a není ve všech zemích povoleno.

Pro lepší představu - 3D biotisk je proces generování prostorově kontrolovaného rozmístění buněk pomocí technologie 3D tisku, přičemž buněčné funkce a životaschopnost jsou zachovány uvnitř nosné konstrukce. Tisková hlava tedy umísťuje organický inkoust neboli buněčnou hmotu v tenkých vrstvách do nosné konstrukce. Dočasná nosná konstrukce je tisknuta z hydrogelu, biokompatibilního polymeru nebo také obyčejného cukru dle precizního počítačového 3D modelu. V podmínkách vhodných pro dělení buněk se organická tkáň spojí, dočasná nosná konstrukce se vstřebá nebo odstraní a vzniká organická tkáň. Mezi technologie 3D tisku používané při biotisku patří fotolitografie, magnetický biotisk, stereolitografie a přímý tisk buněk.

O první patent v oblasti biotisku zažádal v roce 2003 Dr. Thomas Boland z Clemson University. Ten se později stal spoluzakladatelem texaské společnosti TeVido BioDevices, která v současnosti vyvíjí tkáň pro kultivaci organických prsních implantátů pro ženy po rakovině prsu.

Známějším vědcem věnujícím se 3D biotisku je Prof. Gabor Forgacs z University of Missouri–Columbia díky propojení se společností Organovo, která se jako první zabývala komerčním biotiskem. Forgacs se věnuje 3D tisku živých buněk už 10 let. Platformu pro 3D biotisk NovoGen™ patentoval se svými kolegy v roce 2004. Dnes stojí tým Prof. Forgacsa za úspěšným tiskem kožní tkáně, cév, jaterní tkáně a srdeční tkáně, která je schopna kontrakcí.



Obr. 3: Cévní systém jater – bez zvládnutí této složité struktury nelze orgán vytisknout

Další americký tým Wake Forest Institute for Regenerative Medicine představil v roce 2010 první prototypy orgánů (měchýř, ledvina). Také pracuje na postupu „in situ“ aplikace kožních buněk, tedy na těle pacienta. Kožní buňky se natisknou pacientovi přímo na poranění. Tělo by mělo fungovat jako vlastní inkubátor a natištěné buňky by mělo kultivovat do výsledné celistvé tkáně. Podobné experimenty s kožní tkání, ale zatím „in vitro“, se provádějí také v Laser Zenter v Hannoveru. Lothar Koch se svým týmem z toho samého institutu vytiskl štěp z kmenových buněk, který se může vyvinout v kost nebo chrupavku.

4. 3D tisk tkáně pro personalizaci farmakologické péče a 3D tisk léčiv

Výše uvedené příklady biotisku jsou sice velmi slibné, ale do cíle mají pořád daleko. Nicméně takto zhotovené tkáně z biotiskárny budou v blízké budoucnosti běžně využívány k testování nových léků a není vyloučeno, že jednou plně nahradí pokusy na zvířatech. Technologií 3D biotisku bude možné vytvořit prostorovou tkáň podle specifických znaků pacienta. Je to velmi efektivní cesta pro ověření účinnosti, nastavení dávkování a zjištění vedlejších účinků léku, který chceme podat konkrétnímu pacientovi.

3D tisk poslouží nejen k testování léků, ale také k jejich personalizované výrobě. Vědecký tým na University of Central Lancashire testuje metodu výroby léků specificky pro určitého pacienta. Technici týmu sestrojili speciální 3D tiskárnu, která používá místo obvyklých 3D materiálů lékový polymer. Poprvé byl použit při výrobě tablet určených pro léčbu respiračních onemocnění. Farmaceutické společnosti plánují tímto způsobem vyrábět léky do pěti let. Vývoj směřuje k tomu, aby si lidé sami doma tiskli pilulky podle dat, které dostanou na lékařský předpis.

5. Zubní náhrady, dentální chirurgie, protetika a kompenzační pomůcky

Využití 3D tisku v zubním lékařství je nejvíce rozšířené ze všech aplikací této technologie ve zdravotnictví. Trh 3D tisku v dentálním segmentu je zhruba stejně veliký jako trh veškerých dalších aplikací technologie 3D tisku v medicíně. Díky dostupným skenovacím technologiím, CAD/CAM modelování a 3D tisku přímo v dentálních laboratořích mohou tato pracoviště nabízet precizní a rychlou výrobu korunek, můstků a celou řadu ortodontických aparátů. V dentální chirurgii se také využívají předoperační plány zhotovené pomocí modelů z 3D tiskárny.



Obr. 4: Ukázka intraorálního skeneru s modelem, jak je představován na výstavách

V oblasti protetiky a kompenzačních pomůcek se přednosti 3D tisku využívají čím dál častěji. Zde se může plně uplatnit jedna z klíčových výhod 3D tisku a tou je tzv. masivní customizace. Masivní customizace kombinuje výhody nízkých jednotkových nákladů při masivní výrobě a flexibilitu individuálního přizpůsobení produktu. 3D tisk se v oblasti protetiky a kompenzačních pomůcek využívá při výrobě protéz končetin, zhotovování dlah na míru pacientům, výrobě naslouchátek, rámu na brýle a dioptrických skel a v neposlední řadě produkci ortopedických vložek do bot. Dle Econolystu je aktuálně v oběhu až 10 milionů naslouchadel vytištěných na 3D tiskárně.



Obr.5: Ukázka 3D tisknutých komponentů naslouchadel společnosti EnvisionTec

Protetika končetin získává díky 3D tisku nový rozměr. K funkčnosti a individualizaci pro potřeby pacienta teď může vyhovět i estetickým nárokům. Na tento atribut se zaměřila i společnost BeSpoke Innovations, která se specializuje na vývoj a testování protetických náhrad. Jejich produkty splňují zdravotní a technické požadavky a navíc mají atraktivní design.



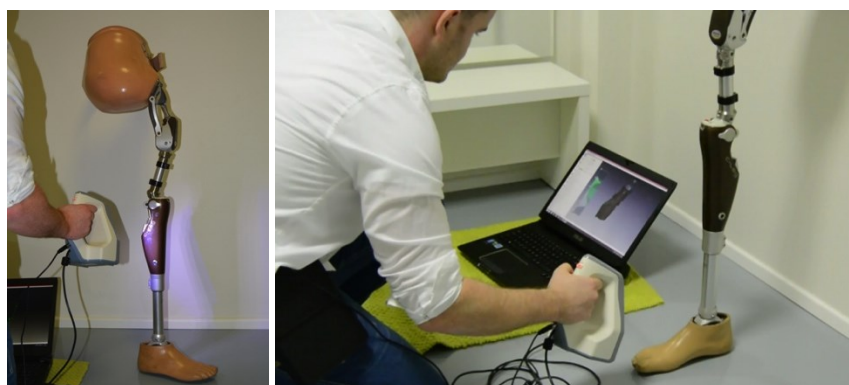
Obr. 6: Ukázky protéz od společnosti BeSpoke Innovations, zdroj 3D Systems

3D tisk kompenzačních pomůcek v 3Dees

3Dees je specializované centrum zaměřené na inovace v oblasti vývoje nových produktů, designu výrobků a dekorativního umění pomocí profesionální technologie 3D tisku. Poskytuje služby 3D tisku pro firmy a současně je jejím záměrem přiblížit technologii 3D tisku co největšímu počtu lidí. Nejsme zaměřeni na zdravotnické pomůcky, ani na 3D tisk v medicíně, i když nás tato oblast velmi zajímá. V 3Dees vidíme velký přínos 3D tisku pro lidi s různými handicap v tom, že tato technologie nabízí jedinečnou možnost přizpůsobení produktu na míru klientovi. Nabízí dělat výrobky přesně ergonomicky padnoucí a vyrábět každý jednotlivý kus přímo pro konkrétního člověka. Člen týmu 3Dees, Adam Řehák, se v nedávné minulosti podílel na projektu, který se zabývá vývojem brýlí na včasnou diagnostiku dyslexie u dětí. Brýle se prototypovaly na 3D tiskárnách a prvních 5 prototypů se vytisklo přímo na 3D tiskárně a používaly se na testování.

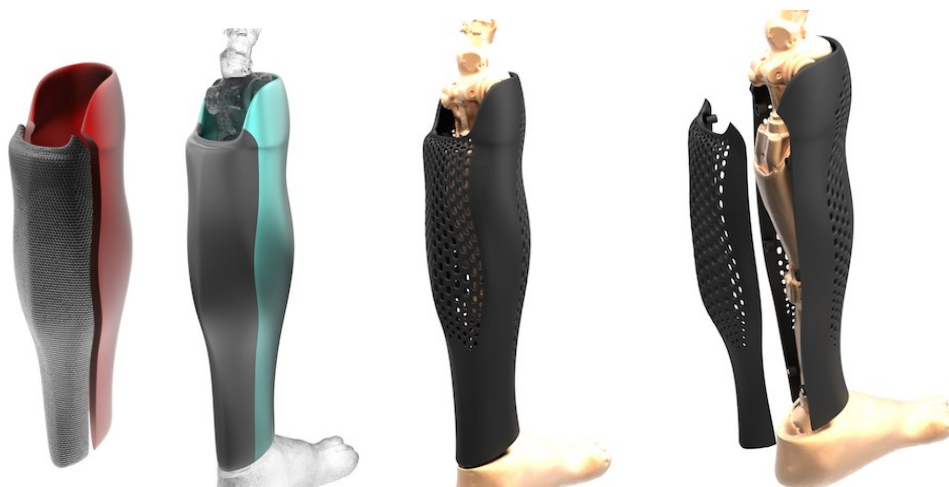
Naše zaměření na inovace s využitím 3D tisku jsme plně uplatnili při plánované účasti na konferenci INSPO 2015, kde jsme se rozhodli představit konkrétní pomůcku pro handicapované, na které ukážeme vysokou míru individualizace výroby, kterou právě 3D tisk umožňuje.

S návrhem spolupráce oslovilo 3Dees Tomáše Vacka, vynikajícího mladého designéra, který se shodou okolností nedávno zúčastnil jednoho charitativního projektu. Tam se seznámil s příběhem hokejisty Romana Bernata, který před necelými 3 lety při nehodě přišel o pravou nohu. Tomáše napadlo, že v rámci testování technologie 3D tisku by rád zkusil vytisknout krycí část protézy pro Romana. Ten nabídku bez váhání s nadšením přijal a doufá, že výsledek bude inspirací i pro další handicapované. Romanova protéza dostane výjimečný rozměr. Designový prvek, který má potenciál usnadnit překonání jistého studu nejen ze strany handicapovaného, ale i ze strany jeho okolí.



Obr. 7: Ukázka skenování protézy v 3D centru 3Dees

Prvním důležitým krokem pro design a modelování bylo skenování protézy a zdravé nohy. Podklady z 3D skenování se upravily pro účely modelování ve speciálním 3D počítačovém programu. V dalším kroku měl klíčovou roli designér Tomáš Vacek. Navrhnul a vymodeloval podobu protézy s novým krytem.



Obr. 8: První vizualizace 3D modelu - kryt je inspirován tvary vysportované lidské nohy a funkčně je složen ze dvou částí spojených speciálními magnety.

Po dokončení návrhu byl 3D model upraven pro potřeby samotného tisku. Optimalizovaly se technické parametry jako jsou pevnost a pružnost a také spotřeba materiálu, která má vliv na cenu tisku. Po úpravě 3D modelu proběhl zkušební tisk a testování uchycení krytu na protézu. Zkušební tisk v provedení bez perforace trval 37 hodin a 24 minut. Zdá se to být hodně, ale zkuste za den a půl zhotovit kryt protézy na míru jinou metodou. Po drobných úpravách proběhne finální tisk na profesionální tiskárně FORTUS 360 mc z materiálu ABS-M30, což je mimořádně odolný termoplast. Stehenní část krytu protézy je konstrukčně náročnější a je potřeba ještě propracovat detaily pro docílení uživatelského komfortu.



Obr. 9: Zkušební tisk na FORTUS 360 mc v 3Dees

Dle dostupných informací kryt protézy technologií průmyslového 3D tisku u nás zatím nebyl zhotoven. Způsob uchycení krytu na protézu je jedinečný. Při realizaci projektu klademe mimořádný důraz na praktickou stránku a uživatelské pohodlí krytu protézy. Stehenní část bude díky rozsahu amputace absolutně unikátní. Zde se plně uplatní výhody profesionální tiskárny, která je běžně používána pro zhotovení funkčních prototypů v automobilovém či leteckém průmyslu.



Obr. 10: Testování zkušebního výtisku s Romanem Bernatem v 3Dees

Literatura

Snyder, G. H., Cotteleer, M., Kotek, B.: 3D opportunity in medical technology: Additive manufacturing comes to life, Deliotte University Press, 2014

Dawood, A.: Transformative Technologies, Transforming Lives, 4. 9. 2014, 3DPrintShow Londýn, VB

Bates, C.: Man who lost half his face to cancer has it rebuilt from parts of his thigh & soulder, MailOnline, 2012

3D Systems, Manufacturing the future: Additive Manufacturing for healthcare, 2014

3D printed drugs could revolutionise prescriptions, The Telegraph, 31. 10. 2014