



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

**ÚSTAV
ŘÍZENÍ A EKONOMIKY
PODNIKU**

Název tématu výukového materiálu

Budoucí vývoj aditivní výroby a jeho bariéry

Výukový předmět

MODERNÍ NÁSTROJE VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ

Autoři

Ing. Pavel Scholz

Tvorba výukového materiálu byla podpořena interním grantem Fakulty strojní ČVUT v Praze

Vnitřní soutěž 2015

Obsah

Úvod	3
1 Bariéry rozvoje a rozšiřování aditivní výroby	4
1.1 Špatný podnikatelský model.....	4
1.2 Software	4
1.3 Materiál	5
1.4 Dlouhodobá udržitelnost.....	5
1.5 Nižší náklady – větší dostupnost.....	6
1.6 Rychlost výroby	7
1.7 Kvalita a standardizace	7
1.8 Vzdělávání	8
1.9 Dílčí závěr.....	8
2 Budoucnost v aditivní výrobě	9
2.1 Nízkonákladové kancelářské a stolní 3D tiskárny	9
2.2 Systémy určené pro zpracování kovových materiálů.....	10
2.3 Rapid manufacturing a Rapid tooling (RM&T).....	10
2.4 Nové příležitosti pro designéry a konstruktéry	12
2.5 3D skenování	13
2.6 Rozsáhlé rozšiřování zakázkové výroby.....	13
2.7 Biomedicínské inženýrství.....	14
2.8 Digitální výroba.....	14
2.9 Odstraňování bariér	15
2.10 Méně známé a nové trendy.....	15
Závěr.....	17
Seznam zdrojů	18

Úvod

Výhody aditivní výroby, která bývá často nepřesně nazývána 3D tisk, případně jako rapid prototyping, jsou ať už z předchozích kapitol či na základě všeobecných znalostí snad již dostatečně známy a v této části si tak vystačíme pouze s jejich shrnutím. Mezi nejčastěji zmiňované výhody patří: možnost vyrábět efektivně malé série výrobků, větší prostor pro přizpůsobení výrobků potřebám zákazníka, nižší výrobní náklady, schopnost rychle uspokojit poptávku, zjednodušení a zkrácení dodavatelsko-odběratelského řetězce, optimalizace výrobků za účelem zvýšení ekonomičnosti, využitelnosti, snížení hmotnosti při zachování ba dokonce zlepšení technických vlastností, a v neposlední řadě možnost vyrobit takřka cokoliv.

I přes tyto poměrně jasné výhody. Dále nad očekávání rychlý růst hodnoty projektů spojených s aditivní výrobou, kdy hodnota projektů v roce 2014 dosáhla 4,1 miliardy \$ a předčila tak odhad z Wholerovy zprávy z roku 2013, který předpokládal dosažení 4 miliardy \$ až za rok 2015. Nebo to, že přes 30 % největší světových značek a přes 200 škol a universit vyučuje předměty zaměřené na aditivní technologie. I přes toto všechno však nejsou původní očekávání, v podobě „další průmyslové revoluce“, spojená s rozvojem revoluční technologie aditivní výroby zatím úplně naplňována. Proč tomu tak je? Souvisí to, možná pro někoho trochu překvapivě, s ještě stále existující obavou a částečným nepochopením této technologie. A také tím, že aditivní technologie jsou teprve na začátku svého životního cyklu a existuje tak poměrně mnoho bariér a rizik, které neumožňují rychlejší komercializaci. Zatímco první problém se daří postupně odstraňovat díky čím dál většímu počtu nových publikací, článků a dalších materiálů. Druhý problém je složitější a jeho řešení bude trvat mnohem déle. Vždyť vzpomeňme na to, jak např. vypadal vývoj počítače: od prvního 30 t těžkého počítače z roku 1946 jsme přes první osobní počítač Altair 8800 z roku 1975 došli k masovějšímu rozšíření až v 90. letech.

[9,15,18,20]

1 Bariéry rozvoje a rozšiřování aditivní výroby

Rychlejší rozvoj a rozšiřování jakékoliv technologie jsou vždy limitovány určitými bariérami. Mnoho z těchto bariér je spojeno pouze se společností, kde má být daná technologie využita. Existují však i takové, jenž jsou společné pro celý trh (všechny společnosti). V souvislosti s aditivní výrobou mluvíme zejména o následujících 8 bariérách (Tab. 1), kdy některé z nich zároveň představují výzvu, příležitost pro rychlejší cestu vpřed. Jednotlivé bariéry jsou blíže popsány v následujících podkapitolách.

Tab. 1 Hlavní bariéry rozvoje a rozšiřování aditivní výroby [zdroj: vlastní]

Hlavní bariéry rozvoje a rozšiřování aditivní výroby	
1. Špatný podnikatelský model	5. Nižší náklady – větší dostupnost
2. Software	6. Rychlost výroby
3. Materiál	7. Kvalita a standardizace
4. Dlouhodobá udržitelnost	8. Vzdělávání

1.1 Špatný podnikatelský model

Možná trochu překvapivě, ale jednou z problematičtějších bariér je potencionálně špatné uchopení celého podnikání založeného na využití aditivní výroby. Takřka všichni uvažují o aditivních technologiích jako o prvku, který nahradí tradiční technologie. To je špatně, aditivní technologie dovolují, ba dokonce vyžadují, nový podnikatelský přístup založený na nových produktech a nových dodavatelsko-odběratelských řetězcích. [6,18]

1.2 Software

Existují v zásadě dva úhly pohledu pro posouzení této bariéry – základní a rozšířená. Základní úhel pohledu představuje bariéru. Využití aditivní výroby v průmyslu totiž vyžaduje použití 3D CAD softwaru pro vytvoření prostorového modelu výrobku, jenomže stále poměrně mnoho společností disponuje pouze 2D CAD softwarem, protože ten jejich potřebám doteď plně dostačoval. Díky dlouhodobě klesajícím cenám 3D CAD softwaru a potřebnému hardwaru se však možnost jejich pořízení jeví jako výhodnější, než kdykoliv předtím. O to větší přínos by však potom musela mít samotná implementace aditivní výroby.

Rozšířený úhel pohledu naopak představuje opravdovou výzvu. Pro co nejefektivnější využití aditivních technologií odpovídající 3D CAD software chybí a je nutné ho vyvinout čistě pro tento účel. Není to tak, že by se současné 3D CAD softwary nedaly použít. Jsou však vyvinuty pro tradiční technologie a využívány pro výrobky, jejichž konstrukce je založena na kružnicích a rovných čarách. CAD software pro aditivní technologie by měl umožňovat větší volnost v oblasti konstrukce výrobku, reflektovat Biomimetiku¹ a být uživatelsky přívětivější. Použití by tak bylo možné i pro lidi, kteří nemají s konstruováním takové zkušenosti.

[5,9,18]

¹ „Biomimetika je obor vědy (zvláště biologie), který zkoumá zajímavá konstrukční řešení v přírodě u živých organismů a snaží se je napodobit a využít k vývoji nových vynálezů, technických řešení a jejich široké využití pro pokrok atd.“ Zdroj [2].

1.3 Materiál

Počty existujících materiálů pro aditivní výrobu sice postupně rostou, jejich nabídka je však i ve vazbě na jejich mechanické, tepelné, elektrické a další vlastnosti vzhledem k tradičním materiálům nadále poměrně nedostačující. Týká se to většiny materiálů, velký problém je to však u keramiky, kompozitů a polymerů, které vyžadují mnohem hlubší výzkum a vývoj obecně, ne jenom ve vazbě na aditivní výrobu. Navíc polymery na rozdíl od kovových materiálů není možné ve většině případů recyklovat a jejich výroba je poměrně hodně energeticky náročná. Některé materiály jsou pak toxické, jako např. UV pryskyřice pro stereolitografii. Větší důraz na recyklovatelnost a koncepci Cradle to Cradle², by však měl být kladen obecně u všech materiálů pro aditivní výrobu. Dále platí, že materiály, které doporučuje jeden výrobce strojů pro použití se svým strojem, nemusí být se 100 % jistotou použitelné na typově stejném stroji od jiného výrobce. V některých případech pak také může dojít ke ztrátě záruky při použití materiálů od jiných výrobců. [5,9,10,18]

1.4 Dlouhodobá udržitelnost

Dlouhodobá (ekologická) udržitelnost aditivních technologií se skládá z několika problémů:

- Aditivní technologie přes své značné výhody ztrácí jednu z výhod tradičních technologií, kterou je zákon zhromadnění³, a nejsou tak výhodné pro výrobky vyráběné ve velkých objemech (alespoň zatím). Příkladem mohou být pojezdová kolečka různých manipulačních vozíků (např. typu VARIOfit): pokud bychom chtěli vyrábět jeden stejný typ ve velkém množství aditivní technologií, nevyplatí se nám to. Na to má vliv zejména dlouhá doba výroby a s ní spojena spotřeba energií.
- Samotná myšlenka, že díky aditivní výrobě bude snazší uspokojovat lokální potřeby, protože do dané lokality přímo umístíme aditivní výrobu byt např. jen s jedním strojem, je zjednodušená. Současné dodavatelské řetězce totiž pracují velmi efektivně.
- Výhodou aditivní výroby je sice zmenšení přebytků, 3D tisku v domácnostech se to však tak úplně netýká. Pokud člověk má tu možnost, že si něco sám vyrobí, udělá to a příliš nehodnotí dopady nebo nekalkuluje výhodnost. Naproti tomu podniky jsou donuceny k minimalizaci přebytků tlakem trhu – nutností minimalizovat náklady. Ve spojení s poměrně malou recyklovatelností v současnosti používaných materiálů hloubka problému narůstá.

Z pohledu dlouhodobé udržitelnosti je však důležité si uvědomit, že aditivní výroba sice nemusí přinášet přímo výhody při samotném procesu výroby a distribuce, ale přináší je při užití daného výrobku – viz box.

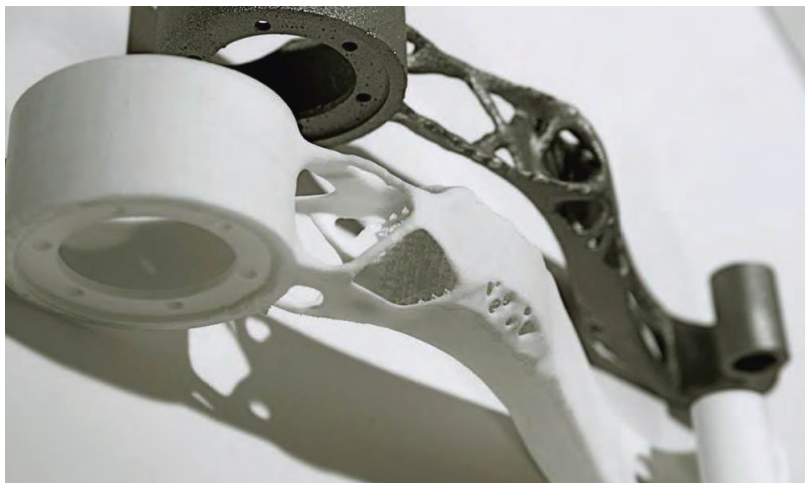
[6,18]

Případová studie – držák televize do letadel: Společnost Virgin Atlantic navrhla nový držák televize (Obr. 1), určený pro vyšší třídy v letadlech, přímo pro výrobu pomocí aditivní technologie. Oproti předchozímu modelu držáku se uspořilo 0,5 kg, což představuje při 30 letém provozu letadla a současných cenách paliva úsporu asi 45 tis. \$. [18]

² V doslovném překladu „od kolébky ke kolébce“. Materiály jsou 100 % přírodní s nulovým odpadem.

³ Blíže viz předmět Management a ekonomika podniku.

Případová studie – průmyslové filtry: Společnost Croft Filters se zaměřuje na výrobu filtrů a v roce 2012 se rozhodla zakoupit stroj na aditivní výrobu. To ji umožnilo zefektivnit konstrukci filtrů, což vedlo v praxi ke snížení spotřeby energie při pumpování až o 15 %. Vzhledem k tomu, že energie vynakládaná na pumpování představuje v průmyslu podle výzkumu až 13 % z celkové spotřeby energie, jde o značnou úsporu nejenom energie, ale i nákladů. [18]



Obr. 1 Držák televize do letadel [18]

1.5 Nižší náklady – větší dostupnost

Stále poměrně vysoké náklady, které musí podnik vynaložit, pokud chce využívat aditivní výrobu, představují jednu z bariér většího rozšíření, respektive komercializace aditivní výroby. Nejde pouze o investici do výrobního zařízení (od 50 tis. \$ přes 1 mil. \$ dle systému)⁴, kterou si všichni představíme při první myšlence na náklady aditivní výroby. Spousta dalších nákladů nám je na první pohled skryta. Zejména jde o materiál, jehož cena pro aditivní výrobu často značně převyšuje cenu pro tradiční technologie. V případě nylonu je např. cena pro vstřikování 5 £/kg a pro 3D tisk 50 £/kg. Nylon navíc není možné při laserovém spékání (laser sintering) recyklovat na rozdíl od kovového prášku, což ho dále „prodražuje“. Obecně se ceny materiálu pohybují u plastů přibližně mezi 100 až 300 \$ a u kovů mezi 300 \$ až 1 000 \$. Kromě materiálových nákladů jsou zde náklady na dodavatele, údržbu stroje, a obecně provoz (spotřeba energie, práce obsluhy, ...). V neposlední řadě si mnoho lidí neuvědomuje nutnost postprocessingu (odstranění podpor, tepelné zpracování, obrábění funkčních ploch pro zajištění potřebné drsnosti atd.), jehož náklady mohou přesahovat náklady na výrobu a materiál i několikrát (např. 3x u trysky vstřikování paliva [24]).

I přesto, že všechny náklady spojené s aditivní výrobou dlouhodobě klesají, není aditivní výroba pro mnohé zákazníky stále dostupná. K tomu, aby klesaly rychleji, je nutné zvýšit rychlost vývoje. Ta ovšem závisí na rychlosti růstu trhu, protože je obtížné vynakládat prostředky na vývoj, když tento vývoj nemáme podpořen odpovídajícími prodejci. Jde o dvě spojené jen velmi obtížně řešitelné věci, které potřebují svůj čas.

[5,9,10,18]

⁴ Ceny se značně odlišují dle systému. Např. cena strojů společnosti Concept Laser se pohybuje od 220 tis. EUR přes 1,5 mil. EUR podle typu systému.

1.6 Rychlost výroby

Při výrobě malých objemů je rychlost výroby mnohem rychlejší oproti konvenčním technologiím. Jak již bylo zmiňováno v předchozích kapitolách např. díky tomu, že není nutné vyrábět formy a další nástroje. Při výrobě větších množství je však z ekonomického hlediska nutné pracovní plochu co nejvíce zaplnit, aby byly průměrné náklady co nejnižší. To sebou však nese růst celkové doby výroby a postupné stírání výhody oproti tradičním technologiím. Opět jde o dvě spojitě nádoby. Řešení musíme hledat ve strojích nové generace, které budou schopny na pracovní ploše stroje paralelně vyrábět součásti v jednom cyklu (Obr. 2). To výrobu značně zrychlí. Výjimečně může být řešením zvětšení tloušťky vrstvy, musíme ale pamatovat, že to je na úkor kvality povrchu. [5,9,10,18]



Obr. 2 Rychlost výroby versus počet součástí – vlevo jedna součást na pracovní ploše, vpravo pracovní plocha zaplněna na maximum [18]

1.7 Kvalita a standardizace

Dvě kovové součásti se stejným digitálním modelem vyrobené každá na stroji jiného výrobce se mohou od sebe kvalitativně lišit. Je to způsobeno kombinací různých velikostí dávky materiálu a různou tepelnou dynamikou procesu na daných strojích. V tomto případě se bavíme o různých systémech. Problém ale může nastávat i při použití jednoho a toho samého stroje. Při výrobě malého počtu součástí obvykle nedochází k problémům s odlišnou kvalitou výrobku, v případě větších množství již k odlišnostem docházet může. Pro společnosti požadující nulové nebo alespoň malé procento zmetků se pak aditivní technologie může jevit jako méně zajímavá (případová studie – viz box).

Případová studie – využití aditivních technologií v oblasti výroby jaderné energie: I přesto, že dostupnost výrobních kapacit pro výrobu výkovků na součásti jaderných elektráren je velmi špatná a využití aditivních technologií tak představuje zajímavou možnost, jde zároveň o značné bezpečnostní riziko. Nikdo totiž přesně nezná odolnost a výdrž takových součástí. [18]

Řešení by v tomto případě měla přinést rostoucí snaha o standardizaci, která zvýší bezpečnost, kvalitu a opakovatelnost aditivní výroby. Je nutné vytyčit oblasti pro tento účel vhodné: komunikace a kompatibilita softwarů a strojů, datové formáty modelů součástí, klasifikace materiálů, metriky pro určení počátečního stavu stroje, ... Tyto standardy pak mohou pomoci lepšímu rozvoji zařízení pro monitorování konzistence součástí během výrobního procesu nebo sensorů pro metrologii apod.

[3,5,8,9,10,18]

1.8 Vzdělávání

O vzdělávání jsme již mluvili z obecného pohledu v úvodu. V této části je vzdělávání myšleno v mnohem větší hloubce. Pro lepší rozšiřování aditivní výroby do praxe je nutné se zaměřit na vytváření odpovídajících podmínek v oblasti znalostí. Jde zejména o zavádění předmětů a výzkum s tímto zaměřením do osnov škol. Nebylo by moudré v této souvislosti podcenit důležitost základního vzdělávání, ale hlavní váha samozřejmě stojí na vysokých školách a univerzitách, které by měly vychovávat odpovídající odborníky. Není vhodné se zaměřovat pouze na technická řešení jednotlivých technologií, ale také na využití potenciálu: změnu myšlení konstruktérů při návrhu výrobků, aplikaci multidisciplinárních řešení (v oblasti biologie, medicíny, módního návrhářství, ...) apod.

1.9 Dílčí závěr

Těchto 8 bariér představuje jen ty nejdůležitější bariéry. Existuje jich však ještě více. Problémem se jeví oblast financování nákupu strojů pro aditivní výrobu, kdy stát a banky jsou přece jen obezřetnější k těmto investicím a tak se jeví jako zajímavým řešením pro malé a střední podniky financování pomocí venture kapitálu. Není zatím ošetřeno riziko spojené s ochranou duševního vlastnictví, kdy si při použití 3D scanneru můžeme vyrobit protiprávně repliku nějakého výrobku/součásti či nebezpečného předmětu, jako je zbraň. Za tímto účelem je snaha vyvinout software, který by toto znemožnil. V neposlední řadě je jedním z problémů uzavřenost architektury systémů, takže uživatelé nemají možnost provádět vlastní úpravy.

[5,18]

Aby se podařilo stěžejní bariéry rychleji odstranit, nebude stačit samotná iniciativa producentů aditivních technologií, protože jak již bylo napsáno, vyšší investice do vývoje musí být podloženy odpovídajícími prodeji. A to se příliš neděje. Je tedy nezbytná podpora ze strany výzkumných organizací, fondů a států. Za tímto účelem by měly být zejména vypisovány veřejné soutěže na podporu výzkumných projektů, vytvářeny výzkumné clustery a podporováno vzdělávání. Situaci vystihuje prof. laserového inženýrství Bill O'Neil – viz box.

Profesor laserového inženýrství Bill O'Neil, Universita Cambridge: „Potřebujeme cílené investice do kritických míst, kterými jsou data a rozhraní, potřebujeme nové koncepty strojů, potřebujeme přemýšlet nad rámcem konvenčních přístupů, potřebujeme nové materiály, potřebujeme radikální transformaci.“ [18]

2 Budoucnost v aditivní výrobě

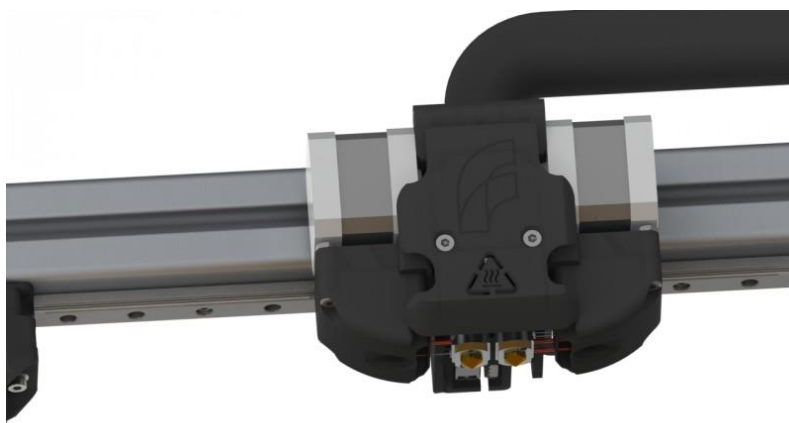
Budoucnost nebo jinými slovy trendy v aditivní výrobě se budou odehrávat zejména ve znamení dalšího rozvoje a růstu již existujících aktivit s tím, že některé trendy budou mnohem viditelnější (zjevnější) oproti minulosti. Stále se však jedná o odhad určitého vývoje, který se nemusí naplnit. V následujícím textu je blíže rozebráno primárně 9 klíčových trendů (Tab. 2) a následně krátce další méně známé a nové trendy.

Tab. 2 Trendy v aditivní výrobě [zdroj: vlastní]

Trendy v aditivní výrobě	
1. Nízkonákladové kancelářské a 3D tiskárny	6. Rozsáhlé rozšiřování zakázkové výroby
2. Systémy určené pro zpracování kovových materiálů	7. Biomedicínské inženýrství
3. Rapid manufacturing a Rapid tooling (RM&T)	8. Digitální výroba
4. Nové příležitosti pro designéry a konstruktéry	9. Odstraňování bariér
5. 3D skenování	10. Méně známé a nové trendy

2.1 Nízkonákladové kancelářské a stolní 3D tiskárny

Nízkonákladové kancelářské a stolní 3D tiskárny představují výborný nástroj pro výrobu prototypů ať už za účelem určitého testování nebo vizualizace. Nedosahují sice ani zdaleka přesnosti, kvality povrchu a rozlišení, které nabízí higher-end systémy pro aditivní výrobu, ale jsou na druhou stranu rychlé a o dost levnější. Jejich cena poklesla za 12 let o 100 %. Zatímco v roce 2003 stála 3D tiskárna 50 tis. \$, v roce 2006 už jen 20 tis. \$, v roce 2014 se daly tiskárny osvědčených výrobců Cube®3 a ProJet® 1500 koupit za 1,5 tis. \$ a v roce 2015 už stála tiskárna XYZprinting da Vinci Junior 1.0 okolo 500 \$.



Obr. 3 Duální tisková hlava – umožňuje tisk dvou různých materiálů [23]

Vzhledem k tomu, že propastný rozdíl v kvalitě povrchu, přesnosti a rozlišení postupně klesá⁵ a klesá také cena a náklady na servis, očekává se, že bude tento typ tiskáren získávat čím dál větší část trhu doted vyhrazeného pouze higher-end systémům. Kvalitní 3D tisk si tak budou moci dovolit i společnosti a vzdělávací instituce, pro které to doted bylo příliš

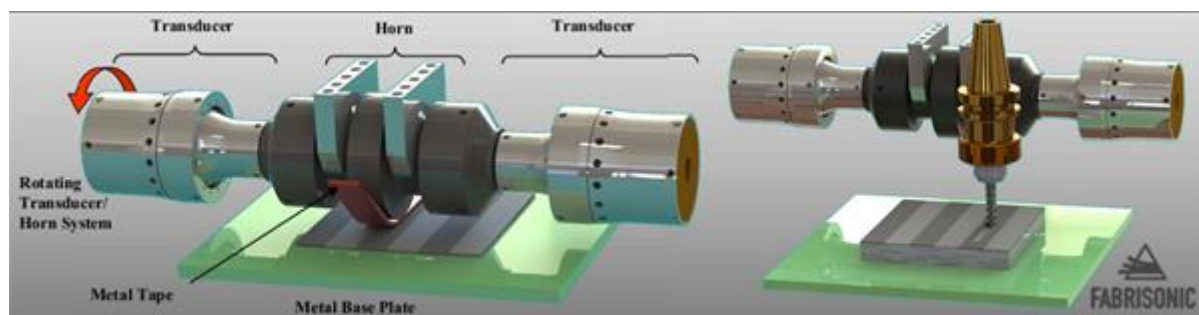
⁵ Nejlevnější 3D tiskárny pracují běžně s tloušťkou vrstvy do 0,1 mm. Mezi nízkonákladovými tiskárnami se však již objevují i tiskárny s tloušťkou vrstvy 0,0254 mm – série 3Z od Solidscape.

finančně náročné. Postupně budou i levnější tiskárny získávat vlastnosti těch dražších jako např. možnost používat různé materiály najednou⁶ (Obr. 3) apod. Díky růstu trhu s nízkonákladovými tiskárnami budou vznikat malé obchody specializující se na služby v některých oblastech – šperkařství, móda, bytové doplňky atd.

[10,13]

2.2 Systémy určené pro zpracování kovových materiálů

Výrobci (3D Systems, EOS, Concept Laser, MCP, Phenix Systems, Arcam, Optomec, Solidica) a jejich systémy určené pro zpracování kovových materiálů v současnosti zažívají a budou zažívat postupný vzestup. Oproti systémům vyrábějícím prototypy z pryskyřice nebo plastu jejich systémy nabízejí prototypy s vlastnostmi a kvalitou umožňující otestování v praxi. Jsou to zároveň předpoklady pro to, aby se z nich v budoucnu staly rapid manufacturing systémy. Chybí jim k tomu však jedna zásadní věc a tou je kvalita povrchu srovnatelná s tou po CNC obrábění nebo přesném lití, v současnosti se blíží té při lití do písku. Řešení zde tak může nabízet Solidica, která kombinuje oba způsoby (CNC obrábění i aditivní technologii – princip Obr. 4). Kromě prototypů pak budou tyto systémy využívány čím dál více k výrobě nástrojů a forem. Takto velký počet firem by měl vést k otevřené tržní soutěži, což bude mít za následek zlepšení kvality, rychlosti a snížení ceny těchto systémů. Vítězně z této soutěže však vyjdou pouze některé podniky. Zákazník tak bude podstupovat riziko, že si koupí systém, jehož dodavatel zkrachuje, čímž by přišel o servis a zákaznickou podporu. [13]



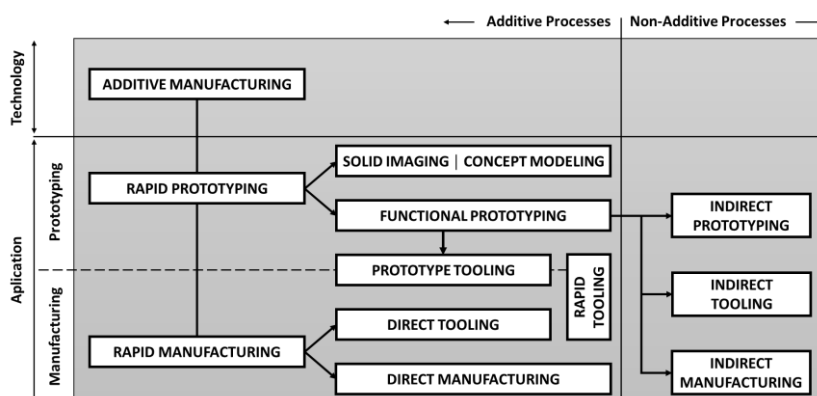
Obr. 4 Princip kombinace aditivní technologie a CNC obrábění [16]

2.3 Rapid manufacturing a Rapid tooling (RM&T)

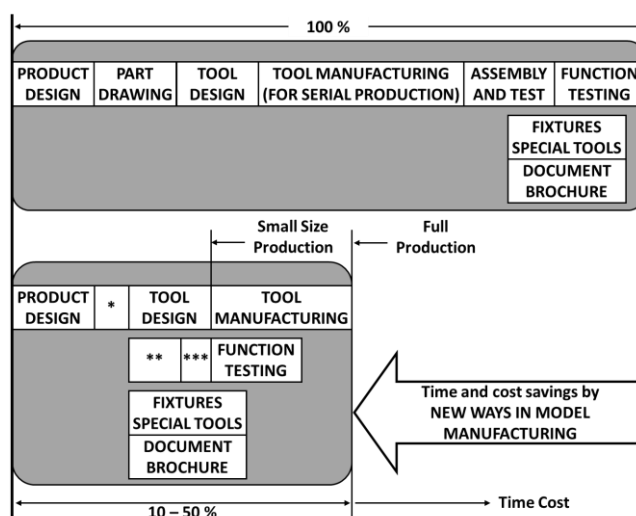
Pro některé je to stále o sen, který se nikdy nenaplní, pro jiné je to jasná budoucnost. Každopádně přínosy jsou natolik zásadní, že je není možné přehlížet. RM&T vznikly jako konkrétní aplikace aditivních technologií za účelem vyrobít formu pro malý počet kusů pro tváření nebo slévání (pozice RM&T v rámci aditivní výroby – Obr. 5). Použití RM&T se na výrobku projeví zkrácením času nutného pro výrobu formy, poklesem nákladů na formu⁷ a případným snížením nákladů vzniklých v důsledku nutnosti upravit design výrobku ve fázi záběhu výroby. (Poznámka: Obecný dopad integrace aditivní výroby (nikoliv čistě RM&T) do procesu vývoje výrobku a jeho výroby z hlediska času a časových nákladů je možné vidět na Obr. 6.)

⁶ Tiskárna má vícenásobnou tiskovou hlavu umožňující tisk více různých barev/materiálů současně (Obr. 3).

⁷ Náklady na formu při použití RM&T 1 000 \$, při použití tradičních technologií 300 000 \$. [13]



Obr. 5 Aditivní výroba – technologie a aplikační úrovně [vlastní dle 7]



Obr. 6 Dopad integrace aditivní výroby (* AM model; ** AM tools and patterns; *** assembly) [vlastní dle 13]

Prozatím se však příliš neočekává, že by RM&T v budoucnu začala konkurovat technologiím s velkou kapacitou, jako je vstřikování plastu, protože by se použití RM&T ekonomicky nevyplatilo.⁸ I přesto se předpokládá, že RM&T se stane nejrozšířenější aplikací aditivních technologií. Očekává se optimistický růst, který již teď potvrzují podniky z oblasti letectví a kosmonautiky, architektury, motorsportu, medicíny, zubní medicíny apod. Největší potenciál RM&T totiž spočívá v zakázkové výrobě složitých produktů malých objemů. Současný handicap je spojen zejména s nedostatkem vhodných materiálů. Dokud nebudou hlavní nedostatky odstraněny, budou podniky cítit určité obavy a riziko. Nikdy ale není jednoduché otevřít trh novým věcem.

[9,13]

„Aktivní postoj je spojený s náklady a riziky. Ty jsou však o mnoho menší, než dlouhodobé náklady a rizika spojená s pohodlnou pasivitou.“ -- John F. Kennedy [9]

⁸ Předpovídat vývoj v oblasti aditivních technologií je v aktuální fázi životního cyklu, kdy jsou vlastně aditivní technologie stále v plenkách, velmi obtížné.

2.4 Nové příležitosti pro designéry a konstruktéry

Někteří stávající či potencionální výrobci si postupně začnou uvědomovat potenciál, který aditivní výroba reálně přináší a budou se snažit ho více využít. Perspektiva aditivní výroby je mnohem širší. Zaměří se především na jiný přístup v oblasti vývoje výrobků⁹, který se projeví novým neotřelým designem, lepší funkcí, nižší hmotností apod. Přístupy budou využívat jednu či kombinovat více následujících směrů:

- Integrovaná geometrie – Aplikuje se již dnes např. pro odstranění montáže nebo snížení počtu výrobních operací u stávajících dílů! V tomto případě nebude přínos nikdy takový, protože jsme již omezeni určitými podmínkami montážního celku.
- Složitá a komplexní geometrie – Postupně se bude přecházet k novým výrobkům, navrhovaným čistě pro výrobu pomocí aditivních technologií, které by bylo dříve absolutně nemyslitelné navrhovat.
- Integrace funkcí – Výrobek, který využívá nějakých kinematických funkcí, je nutné smontovat z různých dílů, které se musí zvlášť vyrobit. Aditivní technologie však umožňují takový výrobek vyrobit najednou, a tak zjednodušit a zkrátit výrobu (Obr. 7).



Obr. 7 Klíč vyrobený na jednu operaci [21]

- Výrobek z více materiálů – Celistvé součásti se budou navrhovat a vyrábět z více různých materiálů, což bude mít za výhodu různé vlastnosti napříč součástmi (Obr. 8).



Obr. 8 Holící systém vyrobený z více materiálů najednou [17]

⁹ Na výrobku. Důvody mohou být různé: získání si zákazníka zajímavým designem, snížení hmotnosti výrobku, zvýšení funkčnosti apod.

- e. Nové struktury – Výrobky budou využívat nové vnitřní struktury vycházející z přírody podobné mřížkám a včelím plástvím.
- f. Nové materiály – Díky novým materiálům budou vznikat nové konstrukce a řešení. Kromě vývoje zaměřeného na rozšíření nabídky materiálů, se začínají objevovat další vývojové tendence v podobě materiálů, jejichž vlastnosti se dají např. přeprogramovat (teplotou, tlakem, ...). Toho by se mohlo využívat např. při montáži.

[5,6,7]

2.5 3D skenování

3D skenování, tak jako aditivní výroba, zažívá rozmach v posledních několika letech a v oblasti 3D tisku představuje důležitý prvek podporující růst tohoto trhu. Je to spojeno se zájmem lidí vyrábět si kopie věcí za účelem opravy nebo čistě jejich nové výroby. Růst bude zažívat zejména trh s nízkonákladovými 3D skenery (jako je např. Microsoft Kinect) a odpovídajícími aplikacemi. [5,6]

2.6 Rozsáhlé rozšiřování zakázkové výroby

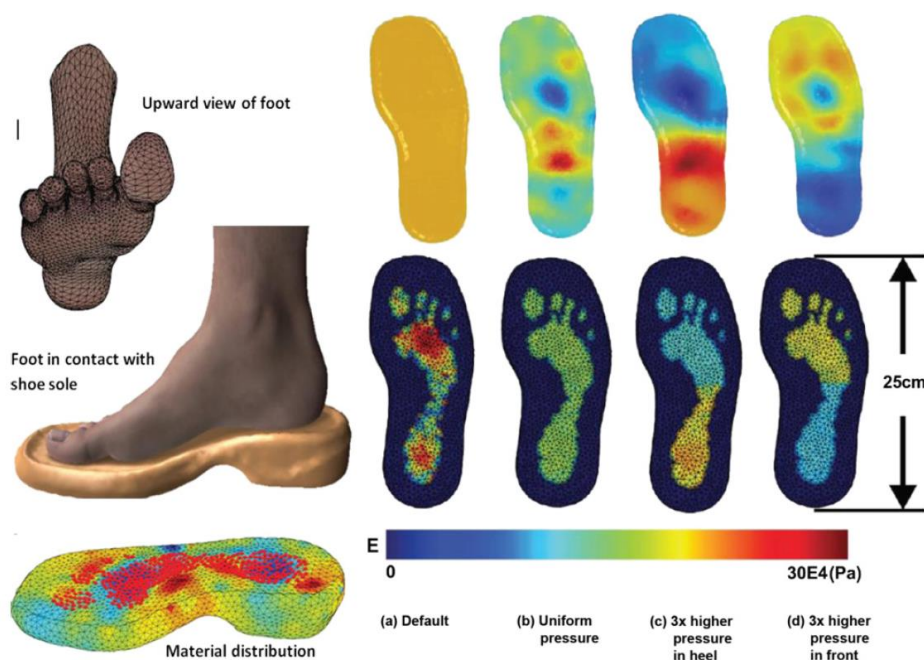
Jinými slovy půjde o masovou customizaci, tzn., že zákazníci si budou mnohem častěji než v minulosti moci nechat vyrobit produkt podle svých přání a potřeb. Mluvíme o jednom z nejviditelnějších rysů, který je výsledkem aditivní výroby.

Na trhu v současné době již existuje několik prvotních zajímavých příkladů. V automobilovém průmyslu umožňují aditivní technologie velmi rychle a osobitě přizpůsobit vozidlo podle přání. Společnost Ford Motor nebo BMW Severní Amerika umožňují svým zákazníkům, aby si přizpůsobily auto výběrem některých součástí z předem dané nabídky dílů vyráběných aditivními technologiemi – např. různá boční obložení, lišty apod. Nemusí však jít jen o luxusní a drahé výrobky – společnosti Z Corp a SolidWorks realizovali společný projekt Cosmic Modelz. Děti si mohly pomocí softwaru SolidWorks' Cosmic Blobs namodelovat figurku a její model zaslat Z Corpu, který ji vyrobil, jak jinak než pomocí aditivní technologie, za 25 až 50 \$. V oblasti medicíny jde o výrobu různých lebečních plátů, kloubních náhrad nebo skořepin¹⁰ pro naslouchadla přímo jedincům na míru.

Díky flexibilitě, rychlosti, přímosti a postupnému poklesu nákladů aditivních technologií bude tento jev k viděním čím dál častěji. Za tímto účel budou muset společnosti nejdříve vybrat vhodné oblasti (části produktu), kde bude customizace přinášet největší hodnotu, a dále stupeň customizace, zda půjde o individualizaci nebo personalizaci. Individualizace představuje strategii, kdy je výrobek navržen výrobcem na základě rozhovoru se zákazníkem (šperkařství, móda, nábytek). Personalizace může být pasivní a jedná se o přizpůsobení zákaznickovy podle jeho biometrických údajů (biomedicína – Obr. 9)). Nebo aktivní, kdy si zákazník sám navrhne výrobek na základě svého kreativního potenciálu (šperky, móda, hračky, strojírenství, ...).

[5,6,7,13]

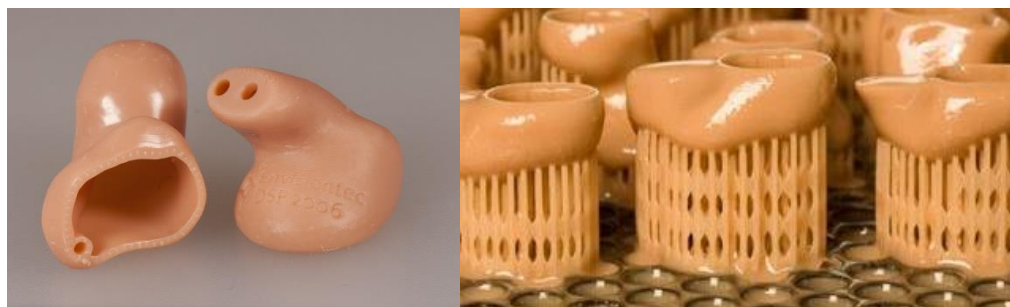
¹⁰ Pomocí aditivních technologie se vyrábí až 95 % těchto skořepin. Zdroj [5].



Obr. 9 Rozvrstvení materiálu na podrážce dle potřeb zákazníka [6]

2.7 Biomedicínské inženýrství

Aditivní technologie se využívají také v oblasti biomedicínského inženýrství – jak je napsáno výše, jde nejčastěji o různé kloubní náhrady, protézy, lebeční pláty, reprodukce kostí, skořepiny naslouchadel (Obr. 10) apod. V posledních několika letech se pak realizovaly a nadále realizují studie zaměřené na nové oblasti aplikace aditivních technologií (výroba orgánů – ledviny, drobné žíly, srdce; živých tkání nebo tzv. scaffoldů¹¹), vyhodnocení aditivních technologií a jejich porovnávání s tradičními metodami. Trh s aplikací na bioinženýrství bude růst tím více, čím více bude klesat cena jednotlivých zařízení. [5,13]



Obr. 10 Skořepina naslouchadel [11,22]

2.8 Digitální výroba

Zatím stále spíše fikce, avšak ve vazbě na v poslední době velmi čilý ruch kolem konceptu „Průmysl 4.0“ by nebylo dobré tuto oblast opomenout. „Průmysl 4.0“ je reakcí na 4. průmyslovou revoluci, která přichází právě teď. Celá výroba bude digitalizována a vzniknou chytré továrny. Důležitou roli zde může hrát právě aditivní výroba, která dokáže jednoduše z modelu vyrobit na jednu operaci rychle a ekonomicky komplexní součást. Neméně

¹¹ Jde o nosnou konstrukci pro pěstování buněk a tkání. Zdroj [12]

důležitou roli zde bude hrát internet věcí a nutnost rozsáhlých inovací v oblasti datové infrastruktury, což je a bude jeden z největších zádrhelů, protože to bude představovat pro podniky extrémní finanční zátěž. [10,19]

2.9 Odstraňování bariér

Další trendy jsou spojeny s odstraňováním dříve zmíněných bariér a existují od samého počátku vzniku aditivních technologií. Nesou se v duchu zjednodušení využívání aditivních technologií – vytváření uživatelsky přívětivého softwaru s automatickými funkcemi, snaha minimalizovat či dokonce odstranit dokončovací operace apod. V duchu zvyšování rychlosti, kvality, vývoje nových materiálů atd. Pokračovat budou snahy o standardizaci, která je důležitá pro vyvolání jistoty u zákazníka, bez níž může docházet k zastarávání technologií v důsledku zpomaleného růstu. [5,13,14]

Ruku v ruce s rozvojem aditivních technologií půjde vývoj nových 3D CAD softwarů (obdobně jako Autodesk 123D Suite – Obr. 11) a softwarů pro simulaci aditivní výroby, což zároveň podpoří prodeje aditivních technologií. [5,14]



Obr. 11 Autodesk Tinkerplay součást Autodesk 123D Suite – umožňuje vytvářet modely pro 3D tisk [1]

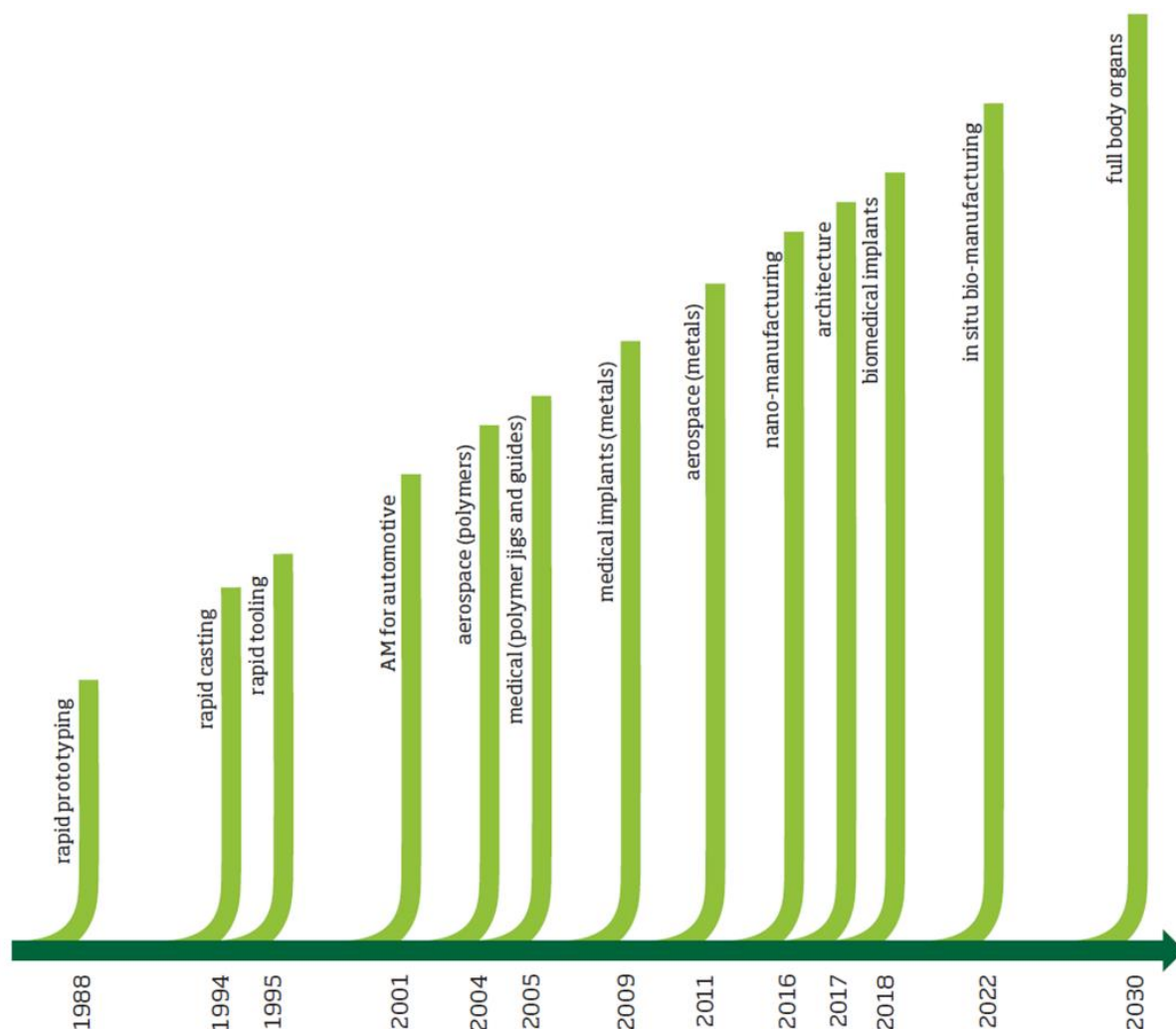
2.10 Méně známé a nové trendy

Objevují se ale i trendy takřka neznámé nebo nové, zaměřující se na nové oblasti aplikace/specializace aditivních technologií. Souvisí to jednak s tím, že nově rozvíjející trh s aditivními technologiemi láká s vidinou velkých zisků nové společnosti, a dále s tím, že snaha uspokojit všechny potřeby univerzálním strojem, je jako nenabízet nic. Neznamená to však automaticky, že aditivní technologie s univerzální aplikací nemohou uspět (je to však spíše nepravděpodobné). Neustálý vývoj je totiž spojen s obtížností správně odhadnout, co má pro trh největší potenciál. [9]

Aktuálně se objevují první pokusy aplikovat aditivní technologie ve stavebnictví. V březnu 2013 byl nizozemskou společností DAS vyroben první dům jménem Canal House. Ten byl následován v roce 2014 domy v Shanghai. Tloušťka jedné vrstvy je 3 cm a její tvrdost je 5x větší než u běžných technologií. V oblasti energetiky a elektroniky se provádí pokusy o pokrývání tištěných spojů ochrannou vrstvou proti prachu, vlhkosti, chemikáliím, a extrémním teplotám, což by mohlo v budoucnu vést ke zvýšení kvality a snížení ceny. Dále

pak jde např. o výrobu korálů pomocí aditivních technologií, oblečení, šperků nebo nanospecializací. Na Obr. 12 je možné vidět časovou linku vývoje jednotlivých aplikací z roku 2013 tak, jak ji naznačila Královská inženýrská akademie [18].

[5,13]



Obr. 12: Časová přímka aplikace aditivních technologií [18]

Nesmíme zapomínat ani na vznik nových aditivních technologií založených na nových nebo modifikovaných principech. S takovou přišla v poslední době např. společnost Carbon3D.¹² [4]

¹² Prezентaci technologie výkonným předsedou Josephem DeSimonem je možné shlédnout zde: http://www.ted.com/talks/joe_desimone_what_if_3d_printing_was_25x_faster#t-335791

Závěr

Aditivní technologie již využívají tisíce společností po celém světě, stále však jde o kapku v moři. Často proklamované výhody totiž ještě nejsou 100 % naplňovány a zároveň existuje příliš mnoho bariér nesoucích zvýšené riziko pro zákazníka. Nejčastěji se mluví o nedostatku materiálů, nízkých rychlostech pro větší počty kusů, vysokých nákladech, pokulhávající kvalitě, chybějící standardizaci nebo nedostatku vzdělaných pracovníků. Pokud si podniky již nyní stěžují na nedostatek technických pracovníků, co by měli říkat v souvislosti s aditivními technologiemi. Velký problém pro rychlejší růst však může být i nepochopení nutnosti změnit podnikatelský model při využití aditivních technologií.

Ač to bude znít trochu vtipně, aditivní výroba je i přesto, že vznikla již takřka před 27 lety (v roce 1988), stále v plenkách, stále na začátku svého životního cyklu a díky tomu je stále velmi pravděpodobné, že dokáže zmíněné bariéry odstranit. K tomu přispívá v poslední době také končící patentová ochrana některých technologií, např. v červnu 2014 u SLS technologie [5]. Navíc kosmonautika a letectví potvrzují, že využití aditivní výroby má smysl a je výhodné, a tak se dá očekávat, že aditivní technologie naleznou podobně úspěšné uplatnění i jinde.

Mezi hlavními proudy, kterými se bude ubírat budoucnost, můžeme nalézt tři oblasti: zlepšování (odstraňování bariér), pokročilá aplikace stávajících systémů a hledání nových aplikací. Lze spatřovat hlavně trendy v podobě růstu trhu s nízkonákladovými 3D tiskárnami, další rozvoj aditivních technologií založených na využití kovu, rozvoj RM&T, vývoj výrobků čistě pro aditivní technologie, hromadná customizace, z těch méně známých trendů pak např. výstavba domů, a v neposlední řadě půjde o snahu o odstranění bariér.

Nesmíme však zapomínat, že aditivní technologie doplňuje nástroje jiné a ač představuje mocný nástroj, je „jen“ jedním z mnoha.

Seznam zdrojů

1. Autodesk Tinkerpaly: Design, customize and 3D print for play!. *Autodesk 123D* [online]. 2015 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.123dapp.com/tinkerplay>
2. Biomimetika. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-08-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Biomimetika>
3. COYKENDALL, John, Mark COTTELEER, Jonathan HOLDOWSKY a Monika MAHTO. 3D opportunity for aerospace and defense: Additive manufacturing takes flight. In: Deloitte University Press [online]. 2014 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://dupress.com/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-aerospace/>
4. DESIMONE, Joseph. What if 3D printing was 100x faster? TED Ideas worth spreading [online]. 2015 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: http://www.ted.com/talks/joe_desimone_what_if_3d_printing_was_25x_faster#t-335791
5. Ford, Sharon. *Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness*. Journal of International Commerce and Economics. USA, September 2014. 35 s. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: http://www.usitc.gov/journals/Vol_VI_Article4_Additive_Manufacturing_Technology.pdf
6. GAO, Wei, Yunbo ZHANG, Devarajan RAMANUJAN, Karthik RAMANI, Yong CHEN, Christopher B. WILLIAMS, Charlie C.L. WANG, Yung C. SHIN, Song ZHANG, et al. The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design* [online]. 2015 [cit. 2015-08-09]. DOI: 10.1016/j.cad.2015.04.001
7. GEBHARDT, Andreas. *Understanding additive manufacturing: rapid prototyping - rapid tooling - rapid manufacturing*. Munich: Hanser, c2012, ix, 164 s. ISBN 978-1-56990-507-4.
8. GIFFI, Craig A., Bharath GANGULA a Pandarinath ILLINDA. 3D opportunity for the automotive industry: Additive manufacturing hits the road. In: *Deloitte University Press* [online]. 2014 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://dupress.com/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/#end-notes>
9. GRIMM, Todd. *User's guide to rapid prototyping*. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, c2004, xvi, 404 p. ISBN 0872636976.
10. HARRISON, Mark. U.S. SMALL BUSINESS ADMINISTRATION OFFICE OF ADVOCACY. *Small innovative company growth: barriers, best practices and big ideas: Lessons from the 3D printing industry* [online]. USA, January 2015, 55 s. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: https://www.sba.gov/sites/default/files/advocacy/FINAL_Innovation_Report.pdf
11. E-Shell® 200 Series. EnvisionTEC [online]. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://envisiontec.com/3d-printing-materials/perfactory-materials/e-shell-200-series/>
12. HORÁKOVÁ, Jana. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. Úvod do tkáňového inženýrství [online]. 2011 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/2754/mod_resource/content/0/prednaska%2011.pdf
13. CHUA, Chee Kai a Kah Fai LEONG. *3D printing and additive manufacturing: principles and applications*. Fourth edition of Rapid prototyping. xxviii, 518 pages. ISBN 9789814571418.
14. MARTIN, Holly B. What's the Future of Additive Manufacturing Technology? *The American Society of Mechanical Engineers* [online]. 2015 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/manufacturing-processing/whats-future-additive-manufacturing-technology>
15. MCCUE, TJ. 3D Printing Is Changing the Way We Think. Harvard Business Publishing [online]. 2015 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <https://hbr.org/2015/07/3d-printing-is-changing-the-way-we-think>
16. NEWMAN, John. Fabrisonic Produces Industrial 3D Printing Systems. *Rapid Ready* [online]. 2012 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.rapidreadytech.com/2012/06/fabrisonic-produces-industrial-3d-printing-systems/>
17. Rigid opaque photopolymer: 3D printing material. *The Printing House* [online]. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.tph.ca/3d-printing/materials/rigid-opaque-photopolymer>
18. ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. *Additive manufacturing: opportunities and constraints: A summary of a roundtable forum held on 23 May 2013 hosted by the Royal Academy of Engineering* [online]. Londýn: Royal Academy of Engineering, 2013, 38 s. [cit. 2015-07-24]. ISBN 978-1-909327-05-4. Dostupné z: <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/additive-manufacturing>
19. TECHNODAT. "Industry 4.0" odstartovala [online]. 2015 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: http://download.technodat.cz/elektro/podpora/tdel_clanky/EB_industry_4.pdf
20. Wohlers Associates, Inc. [online]. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.wohlersassociates.com/>
21. 3D Print. *Digico Imaging* [online]. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.digicoimaging.com/gallery/3d-print/>
22. 3d Printed Hearing Aid for the Perfect Fit. *3d Printing Era* [online]. 2013 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.3dprintingera.com/3d-printed-hearing-aid-for-the-perfect-fit/>
23. 3D tiskárna Felix 3.0 dual extruder. *NC Computers* [online]. 2015 [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: http://www.nc.cz/3d-tiskarna-felix-3-0-dual-extruder-dve-tiskove-hlavy-stavebnice-lcd-displej-dvoubarevný-tisk_d271225.html
24. *Additive Manufacturing – next generation AMnx: Study* [online]. Roland Berger, 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <https://docplayer.net/39208444-Additive-manufacturing-next-generation-amnx.html>