



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ADITIVNÍ TECHNOLOGIE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Beneš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Petr Beneš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.**
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Aditivní technologie v automobilovém průmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza možností aplikace aditivních technologií v oblasti automobilového průmyslu.

Cíle bakalářské práce:

Analyzovat možnosti aditivní výroby a použití těchto dílů ve vývoji a výrobě automobilů.
Zhodnotit možnosti vytvářet komponenty s významně zlepšenými vlastnostmi.
Vybrat typické příklady automobilních komponent vyráběných aditivní technologií.

Seznam doporučené literatury:

ZDENĚK, Jan, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jindřich KUBÁT. Automobily 6 - Elektrotechnika motorových vozidel II. 3. vydání. Brno: Avid, 2013. ISBN 978-80-87143-27-8.

ROUČKA, Jaromír. Metalurgie neželezných slitin. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá jednotlivými technologiemi aditivní výroby a jejich využitím v oblasti automobilové výroby a vývoje automobilových dílů. V rámci práce bylo vybráno pět konkrétních metod aditivní výroby s největším přínosem pro automobilový průmysl. Vybrané technologické postupy byly podrobně popsány, charakterizována jejich podstata a zhodnoceny jejich možnosti, klady a zápory. Následuje detailní popis, jakým způsobem jsou zmiňované technologie v současnosti v automobilové výrobě využívány. Popis je doplněn příklady konkrétních dílů a projektů, při nichž byla aditivní výroba použita. Závěrem je zhodnoceno budoucí možné směřování vývoje aditivních technologií s cílem rozšíření jejich využití ve výrobě automobilů. Práce čerpá informace převážně ze zahraničních internetových portálů publikujících články z oblasti automobilového průmyslu nebo výrobních technologií. Kvalitní zdroj informací představovaly rovněž internetové stránky výrobců 3D tiskáren a společností zabývajících se komerčním využitím aditivní výroby.

KLÍČOVÁ SLOVA

aditivní technologie, aditivní výroba, 3D tisk, automobilový průmysl, technologie aditivní výroby

ABSTRACT

The deals of this bachelor's thesis are individual technologies of additive manufacturing and their use in the field of automotive production and development of automotive parts. As part of the work, five specific additive manufacturing methods with the greatest benefit to the automotive industry were selected. The technological procedures were described and characterized their essence, possibilities, pros and cons. The following is a detailed description of how the mentioned technologies are currently used in automotive production. The description is supplemented with examples of specific parts and projects where additive manufacturing was used. In conclusion, the possible future direction of the development of additive technologies is evaluated with the aim of expanding their use in automobile production. The thesis gains information mainly from foreign internet portals publishing articles in the field of the automotive industry or production technologies. The websites of 3D printer manufacturers and companies involved in the commercial use of additive manufacturing were also a quality source of information.

KEYWORDS

additive technologies, additive manufacturing, 3D printing, automotive industry, additive manufacturing technologies

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BENEŠ, P. *Aditivní technologie v automobilovém průmyslu*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Václav Píštěk. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149743>.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 25. května 2023

.....

Petr Beneš

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval své rodinně a přátelům za veškerou podporu během bakalářského studia a vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Ing. Václavu Píštěkovi, DrSc. za jeho čas, ochotu, trpělivost a cenné rady během psaní této práce.

OBSAH

Úvod.....	10
1 Základy aditivní výroby.....	11
1.1 Extruze polymerního materiálu	11
1.2 Stereolitografie.....	14
1.3 Slinování a postupné natavování	17
1.4 Binder jetting	19
1.5 Kontinuální nanášení vlákna.....	21
2 Aditivní výroba v současnosti.....	23
2.1 Vývoj a výroba prototypů	23
2.1.1 Designové studie a koncepty	23
2.1.2 Optimalizace výrobního procesu	25
2.2 Výroba komponent	27
2.2.1 Výroba pomocných přípravků.....	27
2.2.2 Výroba finálních dílů pomocí aditivních technologií.....	27
2.2.3 Výroba polotovarů.....	29
2.2.4 Odlévání	31
2.2.5 Výroba forem pro lisování a vstřikování polymerů.....	32
2.2.6 Využití při výrobě dílů z kompozitních materiálů	33
2.3 Využití pro provoz, údržbu a opravy vozidel	34
2.3.1 Servis vozidel	34
2.3.2 Úpravy a tuning vozidel	34
2.3.3 Restaurování vozidel	35
3 Budoucnost aditivní výroby v automobilismu	37
3.1 Metoda navařování	37
3.2 Technologie material jetting	38
3.3 Tisk forem a zápusťek	39
3.4 Rozšíření metody Binder jetting	40
3.5 Personalizace automobilů	40
Závěr.....	41
Použité informační zdroje.....	42
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	47

ÚVOD

Aditivní výroba, dnes spíše známá pod označením 3D tisk, je jednou z nejmladších technologií výroby. První patent ve spojitosti s touto technologií byl podán teprve v roce 1985. Konkrétně si Charles Hull nechal patentovat metodu Stereolitografie [1]. Od té doby toto odvětví urazilo dlouhou cestu. Díky pokročilým počítačovým technologiím, které tvoří nedílnou součást procesu 3D tisku, se aditivní výroba posouvá vpřed mílovými kroky. Nepřetržitý vývoj a stále se rozšiřující portfolium metod výroby komponent pomocí 3D tisku zvyšuje využitelnost této technologie. Díky tomu aditivní výroba za velmi krátký časový úsek pevně zakořenila v nejrůznějších odvětvích - počínaje stavebnictvím, přes medicínu a konče např. letectvím. Nejinak tomu je i v automobilovém průmyslu. V současné době je 3D tisk v tomto oboru využíván při vývoji, sériové i kusové výrobě a rozšiřuje se i jeho uplatnění při opravách osobních i nákladních automobilů. Rovněž nelze opomenout jeho využití u vozidel pro motorsport. V neposlední řadě je stále častěji využíván nejrůznějšími tuningovými společnostmi a dílnami.

Celé odvětví se rozvinulo do současné podoby za relativně krátkou dobu a nic nenasvědčuje tomu, že by se tempo rozvoje mělo zpomalit. Stále vyšší nároky na efektivitu a ekologickou udržitelnost kladené na výrobce, stavějí před vývojáře a konstruktéry nové výzvy. Jedním z řešení, by mohla být, díky své variabilitě, aditivní výroba. Ta nám umožňuje vytvářet takřka neomezeně tvarově složité díly z téměř libovolného materiálu. Využitelnost aditivních technologií díky tomu postupně vzrůstá, a to nejen v automobilovém průmyslu.

Bakalářská práce se skládá ze tří částí:

- První část slouží k seznámení s jednotlivými metodami aditivní výroby a 3D tiskem obecně. Definuje jejich hlavní charakteristiky, možnosti, výhody a slabiny.
- Ve druhé části je zpracován přehled, jakým způsobem dochází k využití aditivní výroby v automobilovém průmyslu v současné době.
- Třetí část se zabývá naznačením nových směrů využití jednotlivých technologií 3D tisku v automobilovém průmyslu, případně možným vývojem úplně nových metod aditivní výroby v budoucnu.

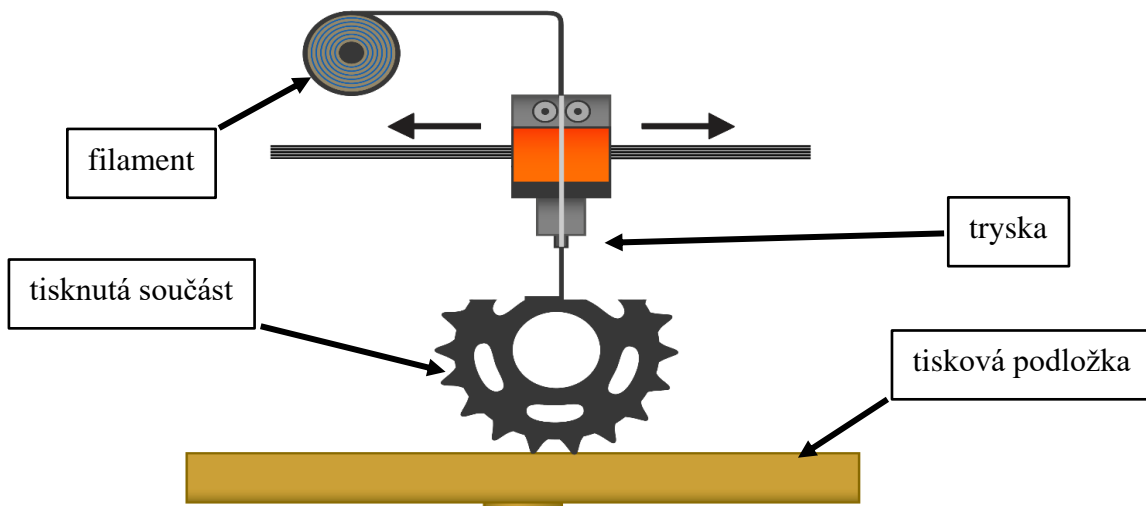
1 ZÁKLADY ADITIVNÍ VÝROBY

U většiny základních technologických procesů, jako je tváření, odlévání nebo svařování, se celkový objem vyráběné součásti v průběhu procesu výrazněji nemění. Kromě technologie obrábění, kdy výsledný výrobek vzniká zmenšováním objemu součásti (odebíráním materiálu). Naproti tomu při aditivní výrobě, jak již vyplývá z názvu, vzniká součást postupným přidáváním materiálu. Objem součásti tedy postupně roste. Pro všechny metody aditivní výroby je společné spojování velmi tenkých vrstev většinou tekutého nebo sypkého materiálu, který následně vytváří pevný výrobek. Vytvrzení materiálu probíhá fyzikálně nebo chemicky.

Samotný proces 3D tisku sestává z několika fází. Nejprve je nutné na základě požadovaných rozměrů nebo výkresů vytvořit virtuální 3D model požadované součásti. Programů pro tvorbu 3D modelu existuje celá řada. Mezi nejznámější patří: Blender, Sketch up, SolidWorks, Cinema 4D, Autocad nebo Inventor. Model se poté vyexportuje jako univerzální 3D model, nejčastěji ve formátu STL nebo OBJ. Následně se z tohoto vyexportovaného souboru vytvoří soubor informací, které už dokáže samotná 3D tiskárna zpracovat. K tomu je zapotřebí program, který na základě geometrie a vlastností tiskárny propočítá dráhy pohybu prvků tiskárny, podávání materiálů a tím pádem vytvoří program pro výrobu dané komponenty. Takovému programu se říká slicer (od slova slicovat – řezat model na jednotlivé vrstvy) a samotný soubor tiskových dat se nazývá G-kód. Slicerů existuje celá řada. Pro FDM/FFF tiskárny existují programy přímo od výrobce, volně stažitelné, ale i profesionální, za poměrně vysoké ceny. V případě ostatních technologií je v drtivé většině případů využíván slicer přímo od výrobce samotné tiskárny. Po přehrání G-kódu a vytištění modelu následuje vyjmutí výrobku z tiskové podložky nebo tiskového prostoru, jeho následné očištění a případné opravení. Tento postup se zpravidla vztahuje na všechny technologie aditivní výroby.

1.1 EXTRUZE POLYMERNÍHO MATERIÁLU

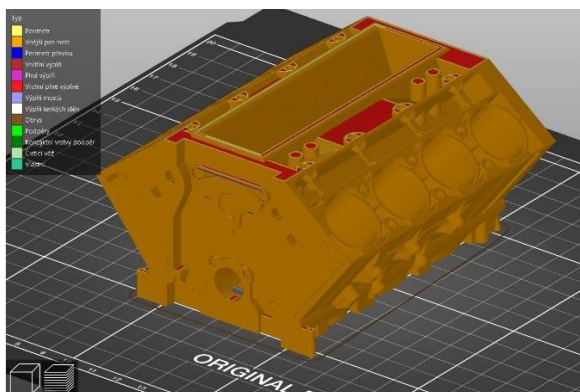
Metody FDM (Fused deposition modeling) a FFF (Fused filament fabrication) jsou zřejmě nejrozšířenějším typem aditivní výroby. Obě technologie jsou založeny na pokládání jednotlivých nízkých vrstev roztaveného materiálu na tiskovou podložku. Materiál je nanášen pomocí tiskové hlavy obsahující extruder, která se pohybuje v trojrozměrném prostoru (viz obr. 1) [2], [3]. Hlavním rozdílem mezi technologiemi FDM a FFF je tzv. tiskové prostředí. To je v případě FDM technologie tepelně regulované, což znamená, že tiskárna jako taková pracuje s vyhřívanou tiskovou podložkou nebo je celý tiskový prostor zakrytován a teplotu uvnitř lze měnit podle potřeby tisku [2]. Uvedené konstrukční řešení umožňuje snazší přichycení první tisknuté vrstvy a celkově zvyšuje kvalitu tisku. Nejvíce je to viditelné na materiálu ABS, který má velkou tepelnou roztažnost a je velice náchylný na jakékoliv teplotní změny během tisku. Jako tiskový materiál technologie FDM a FFF používají tiskovou strunu tzv. filament. Ten je vytvořen z nejrůznějších typů polymerů, nejčastěji to jsou již zmiňované ABS, dále PLA, PET, PETG, ale stále častěji se také používá např. ASA, Nylon a PP [4]. Jedná se o materiály pevného charakteru. Zajímavou alternativou mohou představovat tzv. FLEXI (flexibilní) materiály. Vyrábí se s nejrůznějšími stupni tvrdosti. Díky tomu lze s pomocí těchto materiálů vytvářet náhrady původně pryžových komponent.



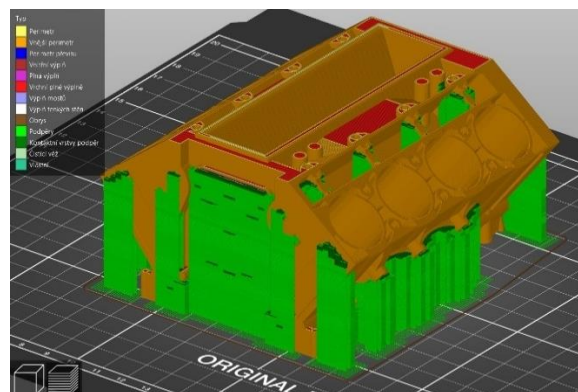
Obr. 1 – Znázornění podstaty technologie FDM/FFF (upraveno) [5]

Zvláštní kategorii tvoří tzv. hybridní materiály. Jedná se o směsi tvořené polymerní maticí (nejčastěji z PLA, ale používá se i např. ABS) a práškovými nebo vláknitými plnivými [6]. Tímto způsobem lze vytvořit např. materiály s příměsí dřevěných pilin. Výsledný výtisk vzhledově připomíná skutečné dřevo a do určité míry s ním sdílí i např. jeho akustické vlastnosti. Je tedy možné z něj vytvořit např. části v originále dřevěných hudebních nástrojů. Dalším typem kompozitních materiálů jsou filamentsy s příměsí kovů. Jako základní materiál je standardně použito PLA. To je doplněno vysokým podílem kovových částic. Nejčastěji bronzu, mědi, mosazi nebo oceli. Obsah daného kovu ve výsledné směsi se pohybuje kolem 80 % [7]. Součást vytištěná z těchto materiálů je zhruba třikrát těžší než klasické PLA a má téměř kovový lesk [7]. Díky tomu jsou tyto materiály velmi dobře použitelné pro nejrůznější uměleckou tvorbu. Neméně zajímavým hybridním materiálem jsou také tiskové struny s příměsí uhlíku. První je varianta, kdy je PLA, ABS nebo PETG vyztuženo karbonovými vlákny a výsledný materiál má už poměrně značnou pevnost [8]. Tudiž se hodí zejména k tisku mechanicky namáhaných součástí. Druhým typem uhlíkového kompozitu je materiál, který díky přítomnosti směsi tohoto prvku dokáže vést elektrický proud. Je tedy možné jej využít pro tisk nízkonapěťových součástek, zejména senzorů a čidel [9].

V případě tisku do volného prostoru, kdy stěna tisknutého objektu má velmi vysoký sklon nebo je její plocha rovnoběžná s tiskovou podložkou, jsou mezi modelem a tiskovou podložkou vytvářeny tzv. podpory. Jedná se o sloupce tvořené velmi tenkými vrstvami tiskového materiálu (viz obr. 2 a 3). Jejich jediným účelem je dočasně podržet část tištěného objektu, která volně visí v prostoru, dokud nedojde k dostatečnému zchladnutí a zpevnění okolního materiálu. Po dokončení výrobku se podpory odstraňují. Podpory mohou být tvořeny stejným materiálem jako tištěný model, ale stále častěji se používají materiály speciálně určené pro tisk podpor, aby bylo zjednodušeno jejich odstraňování. Mnoho tiskáren umí pracovat s více různými typy materiálů najednou. Tiskárna tedy nejdříve vytiskne část vrstvy tvořenou vlastním tištěným modelem, poté vymění materiál a vytiskne podpory. Mezi materiály, určené pro tisk podpor, patří HIPS [10], PVA [10] nebo BVOH [11]. V případě, že jsou podpory tvořeny stejným materiálem jako finální produkt, je třeba je odstranit mechanicky. U speciálních materiálů probíhá separace chemicky rozpuštěním podpor v kapalině. PVA a BVOH se rozpouští ve vodě [10] a HIPS v Lemonesolu [12].



Obr. 2 – Náhled tisku v programu PrusaSlicer bez použití podpor



Obr. 3 – Náhled tisku v programu PrusaSlicer s použitím podpor

FDM i FFF je založeno na pokládání souvislých linek termoplastu, které se na sebe postupně vrství. Tím pádem je pevnost výtisků v osách X a Y srovnatelná, ale pevnost v ose Z je výrazně nižší, protože jednotlivé vrstvy mají tendenci se od sebe oddělovat. Při návrhu součásti je třeba na toto brát ohled. Pokud se tedy bude touto metodou vytvářet např. páka, je třeba, aby tisknutá součást byla položena na tiskovou desku, aby nositelka teoretické působící síly nebyla rovnoběžná s osou Z, ale aby ideálně byla rovnoběžná s tiskovou podložkou. Z hlediska kvality tisku je nejvhodnější umístit model na tiskovou podložku co největší plochou. Dosáhne se tak velmi dobrého přilnutí k tiskové podložce. Všeobecně si tato zařízení dokážou velmi dobře poradit s tiskem velkých ploch rovnoběžných s tiskovou deskou. Výsledný produkt do rozměrů 100×100×100 mm vytvoří tiskárny se standardním nastavením v řádu hodin. Tisk větších komponent může zabrat i celé dny. Teoretická přesnost je dána samotnou konstrukcí tiskárny a jejích komponent a přesností slicovacího programu. Reálná přesnost a konečná detailnost výtisků je dána dvěma parametry, a to šířkou trysky pokládající filament a výškou pokládané vrstvy. Standardní průměr trysky FDM/FFF tiskáren je 0,4 mm. Zajímavou alternativou představuje tryska šířky 0,6 mm, která při podobné úrovni detailů výrazně zrychluje tisk. Okrajově se používají také 0,25mm trysky pro vysoce detailní modely, případně 1mm trysky použitelné pro velmi rozměrné objekty. Výška tisknuté vrstvy je běžně 0,2 mm, ale lze ji téměř u všech moderních tiskáren měnit v rozmezí od 0,05 mm do 0,35 mm. Změna výšky vrstvy nebo průměru trysky značně ovlivňuje celkový čas tisku. Čím vyšší detailnost, tím delší doba tisku.

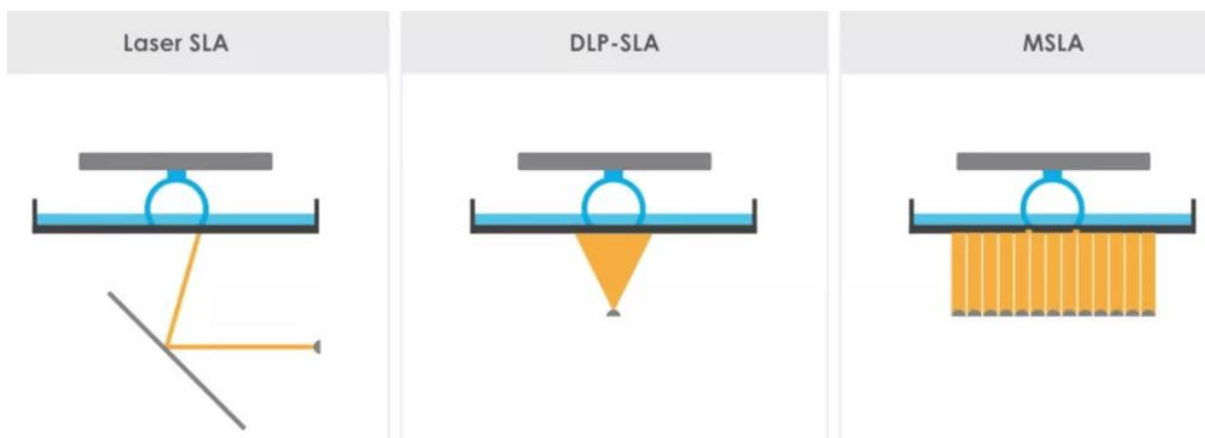
Náklady na pořízení a provoz zařízení tohoto typu nejsou v současné době příliš vysoké. Pořizovací cena nejlevnějších stolních FDM tiskáren se pohybuje v řádu několika tisíc Kč. Jeden z nejznámějších výrobců český Prusa má v současnosti v nabídce nejlevnější model MINI+ za částku zhruba 12 000 Kč. Cena běžnějších materiálů je v rozmezí od 300 do 600 Kč za cívku o hmotnosti 1 kg. Méně používané a exotičtější materiály se mohou vyšplhat až k cenovce 1500 Kč za 1 kg. Vzhledem k poměrně nízké energetické náročnosti není ani provoz příliš nákladnou záležitostí. Uvádí se, že průměrná stolní tiskárna s tiskovým prostorem 250×250×200 mm má spotřebu přibližně stejnou jako jedna 100W žárovka. Provoz takového zařízení je tedy mnohem levnější než např. provoz soustruhu nebo CNC frézky.

1.2 STEREOLOGRAFIE

Jedná se o metody nazývané SLA, DLP, MSLA. Stereolitografie je nejstarším typem aditivní výroby. Její počátky sahají do osmdesátých let minulého století [1]. Princip výroby spočívá v postupném vytváření vrstev fotopolymeru pomocí elektromagnetického záření. Samotná konstrukce stereolitografické tiskárny je zpravidla stejná pro všechny tři metody 3D tisku. Základ tvoří obrazovka, skrz kterou směrem vzhůru prochází EM záření. Pod obrazovkou je zdroj záření a veškerá ovládací elektronika. Veškeré prvky jsou zakrytované, aby se EM vlny nešířily do okolí. Nad obrazovkou je umístěna nádržka s kompletně průhledným dnem, obsahující tekutý tiskový materiál. Nad nádržkou je pohyblivá tisková základna, ovládaná nejčastěji šroubovým mechanismem. Vše je uzavřeno v průhledném obalu, pohlcujícím EM paprsky. Ve chvíli zahájení tisku sjede tisková deska až na dno nádržky a pak se posune nahoru o zvolenou výšku vrstvy. Zapne se EM zdroj a vytvoří se první vrstva, poté se základna s modelem opět posune o výšku vrstvy nahoru, lampa následně vytvrdí druhou vrstvu. Celý proces se stále opakuje, dokud není vytvořen kompletní model. Po dokončení tisku je nutně model odejmout z tiskové podložky, očistit od fotocitlivé pryskyřice a následně finálně vytvrdit pod UV lampou. Následuje odstranění podpor a opracování výtisku.

U drtivé většiny tiskáren se model tiskne tímto způsobem „hlavou dolů“ a posouvá se směrem vzhůru. Existuje i varianta, kdy je model orientován standardně jako např. u FDM technologie. V takovém případě je zdroj UV paprsků umístěn nad nádržkou s fotopolymerem a celá tisková plocha s modelem se postupně posouvá směrem dolů, tím pádem zajíždí hlouběji do nádržky. Výše uvedená metoda je teoreticky možná, ale postupně se od ní upouští. Nádržka musí být totiž v takovém případě dostatečně velká, aby se do ní vešel celý model. U takové tiskárny je buď extrémně zmenšen tiskový prostor, anebo musí být použito velmi mnoho fotopolymeru a jeho hladina nesmí příliš klesat. Z těchto důvodů se uvedená varianta téměř nepoužívá.

Hlavní rozdíl mezi jednotlivými technologiemi stereolitografického tisku je ve zdroji záření (viz obr. 4). Nejstarší technologie SLA využívá jako zdroj EM paprsků laser [13]. Metoda DLP vznikla modifikací základní SLA technologie tím, že jako zdroj šíření EM záření je použita místo laseru bodová UV lampa, někdy nazývaná projektor [13]. Laser je paprskový zdroj, tím pádem dojde najednou k vytváření jednoho velmi malého bodu vrstvy. Poté se laser zaměří na vedlejší bod a vytvrdí další malou oblast. Uvedený proces pokračuje, dokud se nevytvoří celá vrstva. Projektor je bodový zdroj, ale elektronický čip s mikrozrcadly láme řízeně UV záření do všech možných směrů a promítá už výsledný tvar vrstvy [14]. Celá jedna vrstva se tedy tvoří najednou. Hlavní výhodou UV lampy oproti laseru spočívá ve výrazném zkrácení doby tisku. Zároveň zde oproti FDM/FFF nebo SLA tiskárnám neplatí, že větší počet objektů na tiskové ploše se tiskne delší dobu. Ať už je na tiskové základně jeden objekt nebo pět totožných objektů, tisknou se stejnou dobu. Celkový čas tisku je dán pouze výškou nejvyššího tisknutého objektu. Třetí technologie MSLA využívá ke generování UV záření LCD obrazovku s velmi vysokým počtem LED diod [14]. Jedná se tedy o další vývoj metody DLP. Hlavním přínosem tohoto vývoje je zjednodušení konstrukce tiskárny, a tedy snížení její pořizovací ceny. Stejně jako u DLP platí i u MSLA pravidlo, že doba tisku nezávisí na velikosti tisknuté vrstvy.

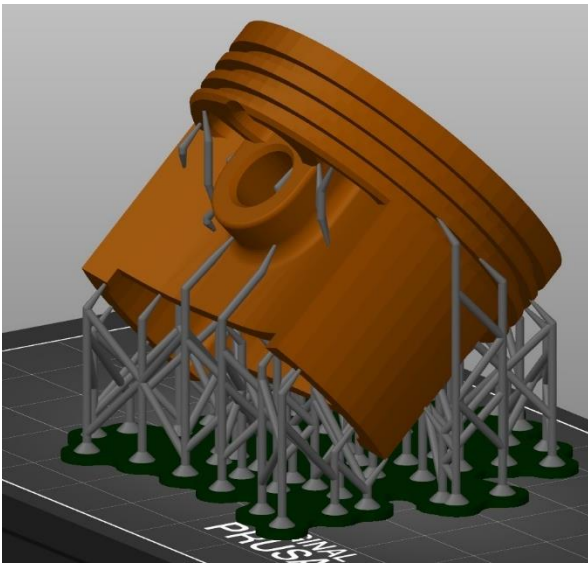


Obr. 4 – Grafické znázornění podstaty jednotlivých tiskových metod [14]

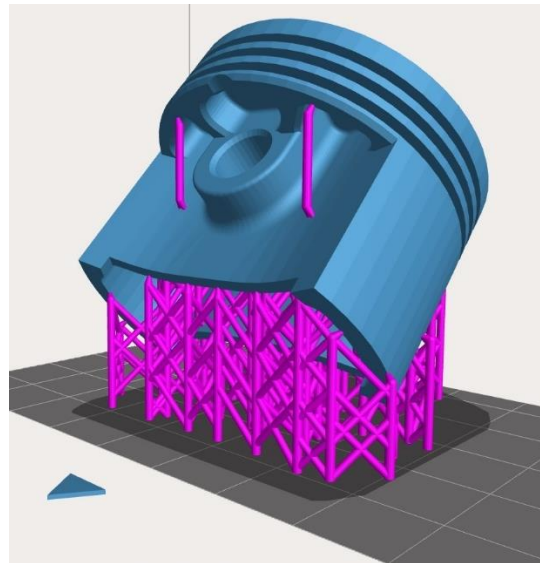
Z hlediska používaných materiálů je nejpoužívanější klasická pevná pryskyřice v nejrůznějších barvách a s různou průhledností. Rovněž existují materiály se zvýšenou pevností použitelné pro výrobu více namáhaných dílů. Lze použít také flexibilní materiály s vlastnostmi podobnými pryži. Zajímavější možnost však představují vytavitelné resiny. Jedná se o fotopolymerní termoplasty. Po vytvrzení získá materiál vlastnosti podobné vosku. Materiál je díky nízké teplotě tavení a dobré zabíhavosti možno použít na výrobu vytavitelných slévárenských modelů. Po sejmutí výtisku z tiskové desky je nutné výtisk očistit od přebytečného materiálu. U všech zmiňovaných materiálů probíhá čištění s pomocí chemikálií. Nejčastěji se jedná o IPA. Ruční čištění modelů je tedy poměrně „špinavá práce“ a je při ní zapotřebí ochranných pomůcek. Vzhledem ke snaze snížit nadměrné používání chemikálií se v praxi stále častěji využívají vodou omyvatelné resiny. Materiály postačuje po vytvrzení omýt běžnou kohoutkovou vodou, jsou rovněž méně toxické, práce s nimi je jednodušší a následná likvidace jejich zbytků snazší.

Teoretická přesnost stereolitografické tiskárny je na dána velikostí molekul použitých tiskových materiálů. Skutečnou přesnost určuje konstrukce tiskárny, v závislosti na použité metodě tisku. U SLA je určující přesnost laseru. V případě DLP rozhoduje přesnost čipu s mikrozrcadly. U MSLA hraje hlavní roli rozlišení LCD obrazovky. Její značení rozlišení je totožné s rozlišením televizorů nebo monitorů (2K, 4K, 8K). Ve všech třech případech se jedná o určující parametry přesnosti v osách X a Y. Stejně jako u FDM/FFF tisku i zde je pro přesnost v ose Z určující výška tisknuté vrstvy, zde pohybuje v řádu desítek μm . Nejčastěji se používají hodnoty 20–30 μm . Menší výška vrstvy zde opět prodlužuje dobu tisku. Z toho vyplývá, že stereolitografická tiskárna dokáže vytvořit mnohem detailnější součásti než zařízení pracující na principu FDM/FFF. Pevnost výtisků ze standardního materiálu je menší oproti klasickým FDM/FFF materiálům [15]. Pevnostní resiny jsou však svými mechanickými vlastnostmi s nimi srovnatelné [15]. Neplatí tedy, že by nebylo možné součásti z fotopolymerů využít pro výrobu mechanicky namáhaných součástí, ale je mnohem jednodušší pro výrobu těchto komponent použít FDM/FFF technologií. Technologie založené na SLA jsou tedy zpravidla využívány pro součásti s požadovanou vyšší přesností a detailností.

Umístění modelu vůči tiskové desce je u této metody extrémně důležité a od FDM/FF tisku se výrazně liší. U FDM/FFF je snaha tisknutý model pokládat jeho největší plochou na tiskovou podložku. U stereolitografického tisku je naopak tendence umisťovat tisknutý objekt do vzduchu nad tiskovou podložku na podpory. Ty mají v tomto případě stejnou funkci jako u FDM/FFF zařízení. Zde však jsou mírně odlišné svou konstrukcí a svým tvarem připomínají soustavu válcových prutů (viz obr. 5 a 6). Navíc je žádoucí, aby měly plochy tisknutého modelu vůči tiskové desce větší úhel (úhel menší než 30° už by mohl představovat problém). V tomto případě však není třeba brát v potaz orientaci součásti, když uvažujeme její pevnost. Na rozdíl od FDM/FFF tisku je výsledný objekt izotropní [13]. Což znamená, že rozdíl v pevnosti výtisku v jednotlivých tiskových osách je zcela zanedbatelný [13].



Obr. 5 – Náhled tisku ve slicer programu Longer3D pro tiskárnu Longer Orange 10

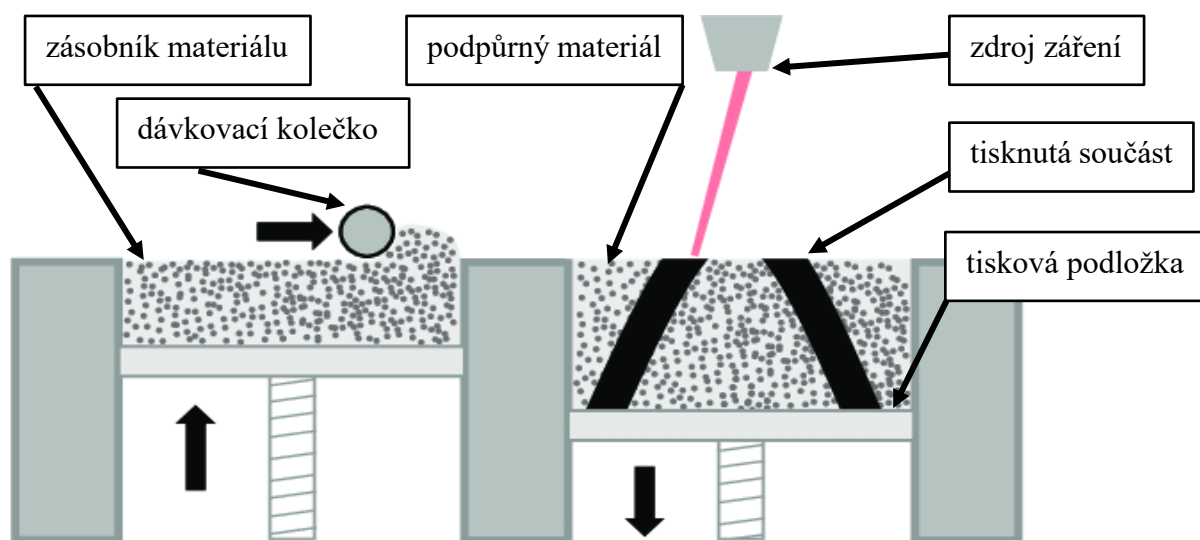


Obr. 6 – Náhled tisku v programu PrusaSlicer pro tiskárnu Prusa SL1

Tiskový prostor se u tohoto typu zařízení pohybuje většinou kolem rozměrů $127 \times 80 \times 150$ mm, které má česká tiskárna Prusa SL1S SPEED [16]. Na trhu jsou k dispozici i modely s možností tisku větších dílů. Příkladem může být zařízení Creality LD-006 s maximálními rozměry výtisků $192 \times 120 \times 250$ mm [17]. Větší tiskárny už se takřka nevyrábějí, protože tisk komponenty by zabral mnoho dní, možná i více než týden. Nákladnost tohoto druhu 3D tisku je srovnatelná s předchozími FDM/FFF metodami. Česká Prusa SL1S SPEED v současnosti stojí v základu 49 990 Kč [16]. Pro porovnání, Creality LD-006 s velkým tiskovým prostorem však už stojí pouze 11 951 Kč [17]. Nejlevnější modely lze pořídit už za částku několika tisíc Kč. Cena tiskové pryskyřice se pohybuje v rozmezí od 500 Kč za nejběžnější tvrdé pryskyřice do zhruba 5000 Kč za vytavitelný resin určený k odlévání. Ceny jsou uvedeny za 1 l pryskyřice. Samotný provoz tiskárny je opět poměrně levný. Jedná se o stolní zařízení s nízkou energetickou náročností, zejména v případě MSLA tiskáren.

1.3 SLINOVÁNÍ A POSTUPNÉ NATAVOVÁNÍ

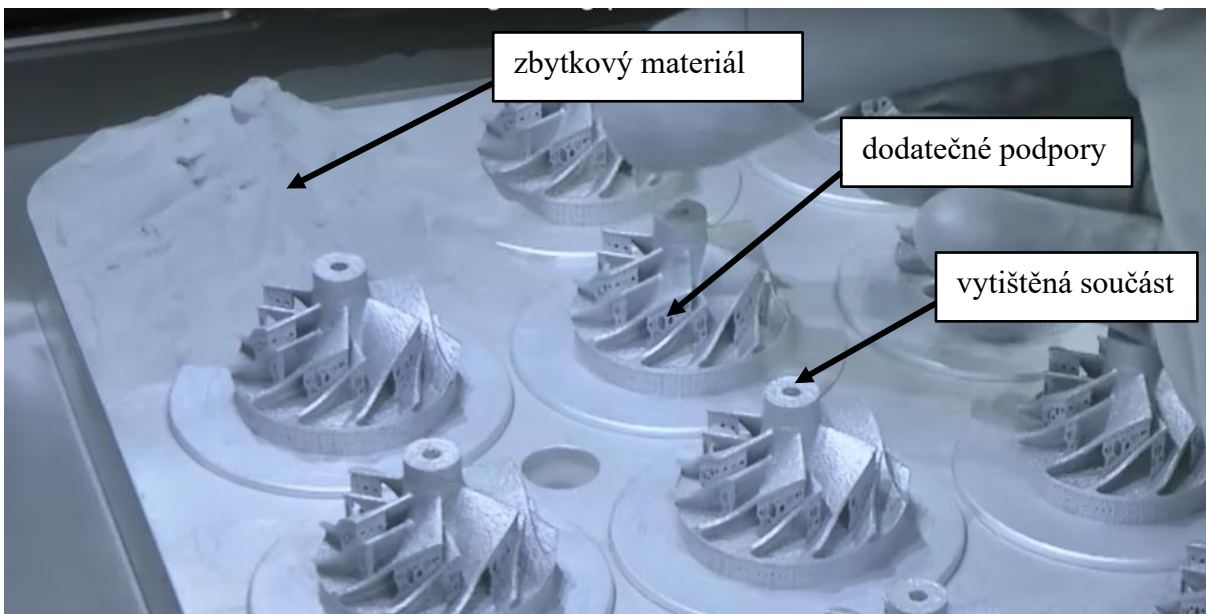
Jedná se o metody DMLS, MLS, DMLM, LPBF, EBM, DMP, SLS, SLM, SHS atd. Tyto metody spadají pod technologii Powder bed fusion PBF, přeloženo z angličtiny jako fúze práškového lože. Tento výčet výrobních a obchodních zkratků označuje technologii aditivní výroby vytvářející výrobky z práškových materiálů za použití tepelného zdroje. Metoda pracuje na principu spékání tenkých vrstev kovového prášku pomocí laseru nebo elektronového paprsku [18], [19]. Základ tiskárny tvoří tisková deska orientovaná směrem nahoru. Nad tiskovou komorou je umístěn laser nebo elektronové dělo orientované směrem dolů. Na tiskovou desku je ze zásobníku pomocí dávkovacího elementu (stěrky nebo kolečka) nanášena velmi tenká vrstva tiskového materiálu v podobě jemného prachu. Pro zrychlení a zefektivnění procesu je tiskový materiál zahříván na teplotu blízkou teplotě slinování kovů [19]. Poté laser nebo elektronové dělo začnou působit na určitou oblast a vlivem extrémních teplot vytvoří tvar jedné vrstvy. Následně se celá tisková platforma posune o výšku jedné vrstvy dolů. Dojde k nanesení další vrstvy tiskového materiálu a celý proces se opakuje, dokud není vytvořen kompletní výtisk (viz obr. 7). Po dokončení tisku je model vytažen z tiskové komory. Následuje odstranění přebytečných vrstev tiskového materiálu a případné opracování a očištění modelu.



Obr. 7 – Grafické znázornění technologie Powder bed fusion (upraveno) [20]

V případě této technologie není nezbytně nutná tvorba podpor, jako u předchozích technologií, protože okolí výtisku bývá vyplněno přebytečným tiskovým materiálem, který většinou poskytuje modelu dostatečnou oporu. V některých případech jsou podpory i tak používány (viz obr. 8) – zejména u materiálů využívajících pro tisk kovový materiál. Hlavním důvodem je efektivnější odvod tepla z tištěného dílu do podpor než do zbytkového materiálu. Jednotlivé technologické zkratky se v některých případech odlišují nejen výrobcem, jenž si danou technologii zaregistroval, ale také mechanickými vlastnostmi spoje a použitými materiály. U technologie EBM dochází vlivem elektronového paprsku k natavování materiálu v celém jeho objemu. Mechanické vlastnosti výsledného výtisku jsou velmi podobné vlastnostem součásti vzniklé odléváním. Podobná situace nastává v případě technologií DMLM, DMP, DMLS a SLM. Zde opět dochází k celkovému natavení materiálu, ale jako zdroj tepla je použit laser. U všech těchto technologií je jako materiál použit jednosložkový kovový prach. Existuje také varianta, kdy je použit plastový prach. Tato metoda se nazývá SLS a je

nejstarší z těchto technologií. V tomto případě už však nedochází k natavování materiálu, ale pouze k jeho slinování za teplot nižších, než je bod tání materiálu [21]. Mechanická odolnost takového výtisku je o něco nižší než v případě metody, kdy je materiál nataven. Důvodem je vyšší poréznost uvnitř výtisku [21]. Existuje také metoda SLS, s možností použití kompozitních materiálů pro tisk. Jedná se nejčastěji o polymerní matrici, zpravidla nylon, s příměsí karbonových nebo skelných vláken. Mohou být dokonce kombinované kovové a nekovové materiály. Dobrým příkladem je materiál zvaný Alumide, což je směs hliníkového a polyamidového prachu. Zde dochází pouze ke slinování a ne protavení, protože ve většině případů má materiál dvě složky s velmi rozdílnou teplotou tavení. Posledním příkladem je metoda SHS. Opět se jedná o slinování polymerního prachu [19]. Jako zdroj tepla zde však není použit laser nebo svazek elektronů, ale termální tisková hlava [19].



Obr. 8 – Díly vytištěné technologií Powder bed fusion (upraveno) [22]

Pevnost tohoto druhu tisku je zpravidla podobná pevnosti součástí vyráběných odléváním nebo lisováním a slinováním. Nejedná se tedy o komponenty s nejvyšší mechanickou odolností, ale rozhodně už se nejedná o choulostivé díly obtížně průmyslově využitelné. Konkrétní hodnoty se však liší v závislosti na konkrétní tiskové technologii a použitém tiskovém prachu. Výsledné výtisky mají zpravidla izotropní charakteristiku [19]. Pouze v případě slinování kompozitů s příměsí karbonových nebo skelných vláken je třeba brát v potaz anizotropii mechanických vlastností v závislosti na směru vláken [19]. Portfolio materiálů používaných pro tisk pomocí těchto technologií je opět poměrně rozsáhlé. Kromě již zmiňovaných kompozitních nebo čistě polymerních materiálů pro technologii SLS se používají nejrůznější typy kovových materiálů. Pro laserové slinování/natavování lze použít: nerezové oceli, čistý titan, slitiny na bázi niklu, kobalt-chromové, bronzové, hliníkové a titanové slitiny [23]. Teoreticky je možné použít i stříbro, žluté, růžové a bílé zlato, či platinu [23]. Přesnost výsledných výtisků záleží zejména na použité technologii. Pro technologii tisku polymerních nebo kompozitních materiálů se přesnost pohybuje kolem 0,3 mm [24]. Tisk kovových materiálů probíhá s přesností okolo 0,1 mm [24].

Oproti předchozím technologiím 3D tisku se výroba slinováním a natavováním pohybuje ve zcela jiných cenových relacích. Samotná pořizovací cena těchto tiskáren se pohybuje v řádu mnoha desítek i stovek tisíc Kč. Ani tiskový materiál není levný. Tiskové prášky pro SLS tiskárny se prodávají v cenách několika tisíc Kč za kilogram. Ceny kompozitních materiálů nebo kovových prášků budou ještě vyšší. Energetická náročnost tiskáren tohoto typu je už na úrovni průmyslových strojů, srovnatelná s CNC obráběcími stroji nebo i vyšší. Během tisku je potřeba velké množství elektřiny nejen k napájení laseru nebo jiného tepelného zdroje, ale energie se rovněž spotřebovávána k vyhřívání tiskového materiálu. Velikostí se rozhodně nejedná o stolní zařízení, maximální rozměry tiskárny už rozhodně nejsou srovnatelné s větší kopírkou. Mohou narůstat do velikosti mnoha metrů a být větší než mnoho soustruhů a CNC obráběcích center.

1.4 BINDER JETTING

Pojem Binder jetting lze z angličtiny přeložit jako nástřik pojiva. Někdy se také označuje pojmem Powder-bed and inkjet z důvodu podobnosti s klasickým inkoustovým tiskem. Daná technologie se v některých ohledech podobá metodám slinování a natavování. I zde je výchozím tiskovým materiálem práškový základ. Na rozdíl od předchozích technologií, spojování materiálu neprobíhá fyzikálně pomocí vysoké teploty, ale chemicky pomocí pojiva. Proces probíhá tak, že stejně jako v předchozích případech tiskárna nanese na tiskovou plochu velmi tenkou vrstvu práškového tiskového materiálu. Poté přichází na řadu tisková hlava, která na místo budoucí součásti nanese pojivo, následně se tisková plocha posune směrem dolů o výšku jedné vrstvy. Dojde k nanesení další vrstvy práškového materiálu a celý proces se opakuje (viz obr. 9). V místech, kde není naneseeno pojivo, zůstává materiál sypký a slouží jako podpora tisknutého objektu. Na rozdíl od spojování vlivem tepla není materiál vůbec zahříván a celý proces probíhá při pokojové teplotě [25].



Obr. 9 – Postup tisku technologie Binder jetting [26]

V závislosti na tisknuté součásti a použitém tiskovém materiálu mohou být využity různé typy pojiva, podle toho se liší i způsob vytvrzování výsledného objektu. Nejčastěji se používají pryskyřice na bázi fenolu nebo furanu a vodní sklo [27]. Ke zpevnění modelu dochází většinou vlivem působení vzduchu. Po dotištění součásti následuje apretace výtisku a v mnoha případech i postprocessing, tedy některá z dokončovacích metod. Model je vyjmut z tiskové komory a pomocí štětce odstraněn přebytečný tiskový materiál. V případě tisku z kovových materiálů a pokud to použití dané součásti vyžaduje, může být díl vložen do pece a pojivo vypáleno [25]. Tím samozřejmě vzniknou volná místa po vypálení pojiva. Pro snížení poréznosti součásti a zlepšení jejich mechanických vlastností jsou jednotlivé mezery vyplňovány bronzem nebo jiným kovem s nízkou teplotou tavení [28]. Často se používají kovy určené pro pájení. Pokud je požadována ještě vyšší mechanická odolnost, je součást vložena do pece na delší dobu s teplotou blízko bodu tání daného materiálu [28]. Vlivem tepla dojde ke slinování daného kovového prachu. Poréznost takové součásti se pohybuje kolem 3 % [28]. U tohoto procesu je nutné počítat se zmenšením dané součásti vlivem absence pojiva a zmenšením vzdálenosti mezi jednotlivými zrny materiálu. Obecně se uvádí snížení objemu zhruba o 20 % [28]. Navíc díky tomu mohou vznikat nepřesnosti po tisku [28]. S tím vším je nutné počítat při návrhu technologického procesu. Díky těmto procesům však daný díl může získat mechanické vlastnosti velice podobné těm, kterými se vyznačují díly tištěné pomocí metody slinování.

Množství použitelných tiskových materiálů je velmi rozsáhlé. Prvním z nich je polymer, při jehož použití tiskové materiály kopírují možnosti technologie SLS [25]. Druhou možností je kovový prach, v tom případě se použité materiály velice podobají těm, užívaným u metod DMLM, DMP, DMLS, SLM a dalších. Jedná se o hliníkové, titanové, měděné, chrom-niklové slitiny, nejrůznější typy ocelí a podobně. Posledním z užívaných materiálů jsou nejrůznější typy jemných písků, zejména křemičitý písek.

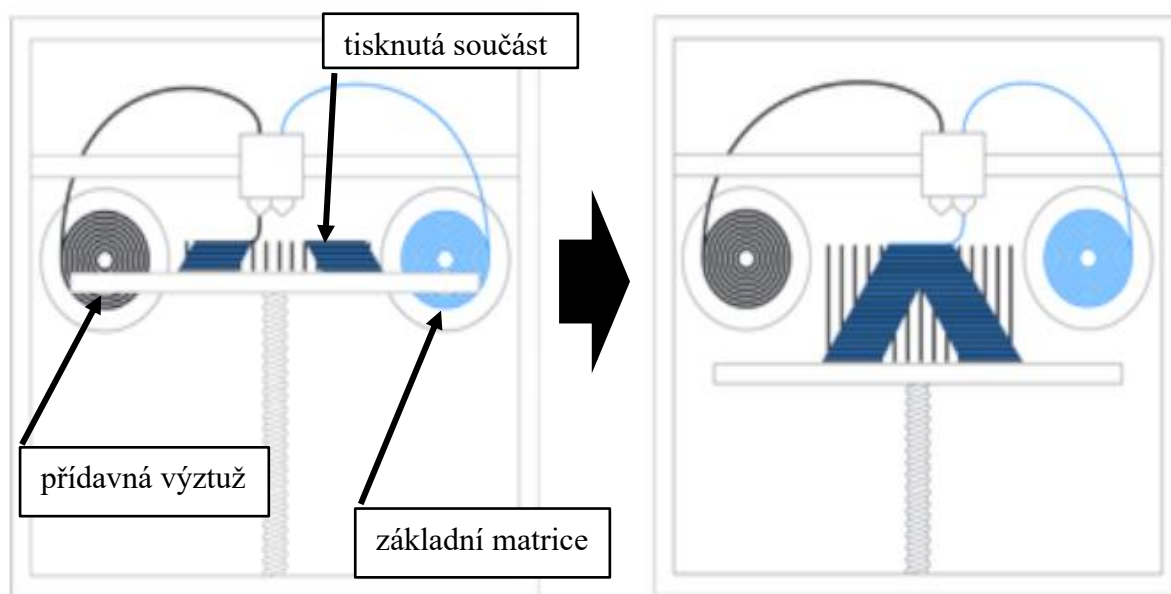
Přesnost tisku pomocí pojiva je, stejně jako mnoho dalších vlastností, podobná tisku spékáním nebo natavováním. Pro představu, společnost Fast radius, zabývající se aditivní výrobou na zakázku, uvádí u svých výtisků přesnost $\pm 0,3$ mm při použití písku a u kovů $\pm 0,2$ mm. Mechanické vlastnosti součásti se odvíjí od tiskového materiálu, použitého pojiva a v neposlední řadě od možného použití dokončovací metody. Součást vytvořená z polymeru má mechanickou odolnost srovnatelnou s dílem vytvořeným pomocí metody SLS, tisk z kovu byl již zmiňován a při tisku z písku není mechanická odolnost nijak extrémně vysoká, ale ve srovnání se součástmi z polymerů rozhodně není zanedbatelná.

Tento typ aditivní výroby se často porovnává s předchozí metodou tisku slinováním a natavováním pomocí tepelného zdroje. V obou případech je tisk velice nákladný. Pořizovací cena takové tiskárny je značně vysoká. Navíc u metod typu Binder jetting je potřeba k provozním nákladům připočítat částku za použité pojivo, které představuje další materiál navíc. Samotný tiskový materiál však bývá levnější, rozměry tiskových zařízení jsou porovnatelné. Doposud nákladové srovnání obou metod vychází poměrně jednostranně. Zásadně rozdílná je ovšem jejich energetická náročnost. Díky absenci tepelného zdroje a skutečnosti, že celý proces probíhá při pokojové teplotě, lze tiskárny typu Binder jetting zařadit mezi zařízení s poměrně nízkou energetickou náročností. Navíc je možné tisknout i z materiálů, jejichž použití při tepelném spojování by bylo velice energeticky náročné a obtížně proveditelné. Jedná se zejména o písek. Celkově při započítání všech proměnných, je metoda Binder jetting levnější než tisk spékáním pomocí tepelného zdroje. Hlavní nevýhodou představuje tisk kovových dílů. Pro dosažení požadovaných mechanických vlastností je třeba vytištěnou součást vypálit v peci, což představuje další technologický proces navíc, včetně nákladů s tím spojených. I po připočtení těchto dodatečných nákladů vychází ze srovnání

metoda tisku pomocí pojiva z ekonomického hlediska zřetelně výhodněji. Dle společnosti Fast radius je tisk kovového dílu metodou Binder jetting asi desetkrát levnější než pomocí SLM [28]. Metoda natavováním a spékáním, ale dokáže vytvořit požadovaný kovový díl za kratší dobu, přičemž čas je rozhodně důležitou proměnou. Navíc odpadají problémy spojené s vypékáním pojiva a slinováním v peci.

1.5 KONTINUÁLNÍ NANÁŠENÍ VLÁKNA

Poslední z metod s velkým potenciálem pro automobilový průmysl, je technologie CFF/CFC. Jednoduše řečeno, jedná se o technologii schopnou vytvářet výtisky z kompozitních materiálů plněných vlákny, jako např. CFRP. Jedná se vlastně o úpravu standardní FFF tiskárny, proces výroby dílu tedy probíhá podobně. Tiskárna tohoto typu potřebuje minimálně dvě oddělené tiskové trysky. První z nich prochází termoplastický filament a je prakticky totožná s tryskou použitou u FFF tiskárny [29]. Druhá je užší, není vyhřívána a prochází jí vlákno sloužící jako výztuž [29]. Při tisku nejprve první z trysek na tiskovou podložku nanese tenkou vrstvu polymerní matrice ve tvaru tisknuté součásti [29]. Následně druhá tryska do vrstvy nanese vláknitou výztuž [29]. Poté první tryska nanese další vrstvu matrice a celý proces se opakuje (viz obr. 10). Tištěný díl tedy obsahuje dvě odlišné části. Matrici, která dodává tvar dílu, a je nosným prvkem součásti, druhou část představuje vláknitá výztuž, která dodává součásti potřebnou pevnost. Na rozdíl od FFF tisku z filamentu s příměsí karbonových vláken, je výztuž obsažena ve formě dlouhých vláken procházejících celou šířkou součásti, a ne ve formě drobných nasekaných vláken v celém objemu součásti.



obr. 10 – Postup tisku metodou CFR (upraveno) [30]

Používané tiskové materiály, pokud jde o vláknité výztuže, existují v podstatě čtyři. Jedná se primárně o karbonové vlákno, následuje skelné vlákno, textilní a čedičové vlákno. Jako základní matrici lze použít takřka jakýkoliv materiál používaný při standardním FFF tisku, počínaje základními materiály typu PLA, přes odolnější jako ABS nebo PETG, až po velmi odolné jako Nylon nebo PC [31]. Přesnost tištěných součástí je dalším společným rysem obou technologií. Základní široké trysky se používají úplně stejně. Standardem je i zde průměr trysky 0,4 mm. Minimální výška vrstvy se u metody CFF uvádí 0,2 mm [32].

Mechanická odolnost tištěných dílů je hlavní výhodou této technologie. Společnost Anisoprint uvádí pro součásti vytištěné na svých strojích maximální pevnost v tahu až 900 MPa [31]. To je hodnota vyšší než u mnoha konstrukčních ocelí, při mnohem nižší hmotnosti. Je zde i jedna zásadní nevýhoda, pramenící z původu v FFF technologii. Mechanické vlastnosti výtisků jsou silně anizotropní [29]. Stejně jako u technologie FFF zde platí, že maximální mechanická odolnost je v osách X a Y, pro osu Z se dramaticky snižuje. Opět zde nastává problém, že jednotlivé vrstvy mají tendenci se od sebe vzájemně oddělovat. Navíc vláknitá výztuž je oddělena pro každou vrstvu a výztuže v jednotlivých vrstvách nejsou vlastně s výjimkou temoplastu nijak propojené, na což je třeba při návrhu tisku součásti brát zvláštní ohled. Směr napětí musí být kolmý na osu Z.

Značný rozdíl u dílů vyráběných pomocí CFF oproti dílům z FFF je v ceně. Tisk samotný není z energetického hlediska nijak zvlášť nákladný, takřka se rovná FFF tisku. Základní materiál je v podstatě identický s materiálem používaným u klasického FFF tisku, ani samotná karbonová vlákna nejsou zvlášť nákladným materiálem. Nejdražší položku představuje u technologie CFF samotná pořizovací cena tiskárny. Oproti velice dostupným FFF zařízením se CFF tiskárny prodávají za částky začínající na 100 000 Kč a stoupají do řádu mnoha set tisíc Kč. Metody FFF a CFF jsou mezi sebou natolik provázané, že výrobci často nabízejí tiskárny schopné tisknout díly pomocí obou technologií. Nezřídka je taková tiskárna vybavena ještě větším počtem tiskových hlav, což umožňuje multimateriálový FFF tisk [31]. Rozdíl v ceně tiskárny při použití jedné, dvou nebo tří FFF tiskových hlav je totiž oproti celkové pořizovací ceně tiskárny často zanedbatelný.

2 ADITIVNÍ VÝROBA V SOUČASNOSTI

V současné době je již 3D tisk nevratně spojen i s automobilovým průmyslem. Je používán v kompletně celém procesu vývoje, produkce a provozu osobních, nákladních i speciálních automobilů. Nic nenasvědčuje tomu, že by se tento trend měl jakýmkoliv způsobem měnit. Naopak, uplatnění těchto technologických postupů neustále roste. Jejich výhody jsou nesporné, ať už se jedná o přesnost, schopnost zhotovit výrobek v rekordně krátkém čase od změny designu, či možnost vytvářet vysoce tvarově složité nebo jiným způsobem nevyrobitelné díly.

2.1 VÝVOJ A VÝROBA PROTOTYPŮ

Vývojová fáze představuje pro aditivní technologie největší uplatnění při výrobě jakéhokoliv složitějšího zařízení či stroje. Naplno se zde projevuje hlavní výhoda v rychlosti posunu od editovaného 3D modelu k reálnému výrobku. V současnosti je možné, na základě změny požadavků zákazníka, 3D model daného dílu (např. věnec volantů) upravit, díl vytisknout a upravený díl v ten samý den předvést zákazníkovi, který dané úpravy zhodnotí. Díky aditivním technologiím je výše popsaný proces dnes každodenní realitou. Navíc výroba jednoho dílu pomocí aditivní technologie je v tomto případě nesrovnatelně levnější než obrábění z plastu, které by v tomto případě bylo zřejmě použito, pokud by nebyla využita některá z aditivních technologií.

2.1.1 DESIGNOVÉ STUDIE A KONCEPTY

Vytváří je každý výrobce automobilů a existuje jich neskutečně velké množství v závislosti na typu a jejich účelu. Některé jsou vytvářeny, aby ohromovaly veřejnost na autosalonech, o existenci jiných ví pouze hrstka vyvolených lidí a slouží k internímu testování. Nicméně při vývoji konceptu nebo prototypu samotného automobilu je v dnešní době takřka vždy nějakým způsobem uplatněna některá z metod aditivní výroby.

Již při rané vývojové fázi je zapotřebí zhotovení prototypů. I v dnešní době virtuální reality drtivá většina automobilových výrobců odmítá opustit fyzické automobilové koncepty v rané fázi vývoje a nahradit je virtuální projekcí. Konkrétně např. japonská Mazda Motor Corporation se k projekcím pomocí virtuální reality staví poněkud zdráhavě. Jo Stenuit, šéf vývoje Mazdy pro Evropu, řekl, že virtuální model nedokáže poskytnout stejný emoční zážitek vytvářený odlesky povrchů, nebo požadovanou designovou kvalitou [33]. Většina automobilek tedy stále používá pro raný vývoj fyzické modely, aby bylo zcela jasné, jakým způsobem na člověka dané vozidlo působí, jak se láme světlo o jednotlivé hrany karoserie, jaké pocity mají lidé z interiéru atd.

V současnosti je stále základ většiny raných automobilových konceptů vytvářen z jílu. Automobilky se poněkud zdráhají přejít na kompletně 3D tištěné koncepty. Hlavními důvody jsou určitá nostalgie k tradiční ruční řemeslné výrobě [34], desítkami let prověřená funkčnost tohoto řešení [34] a nutnost potenciální tištěný model sestavovat z většího množství dílů [35]. Nicméně i při tvorbě jílového modelu je mnoho částí tvořeno z jiného materiálu než z jílu. Jedná se většinou o menší součásti jako např. zrcátka, loga, znaky, světlometry a další prvky.

Velkým průkopníkem v této oblasti je Čína, jejíž automobiloví výrobci se spoléhají mnohem více na novodobé technologie. Značnou roli zde hraje důraz na vysokou efektivitu výrobního procesu. Čínské automobilky nicméně používají aditivní technologie při návrhu konceptů v mnohem větší míře než většina evropských, amerických, japonských nebo korejských výrobců.

Dobrým příkladem může být prototyp EP9 (viz obr. 11) od čínské automobilky NIO. Velká část karoserie a mnoho dalších dílů tohoto, na zakázku britskou společností Vital Auto zhotoveného konceptu, je tvořena pomocí technologií aditivní výroby [36]. Vital Auto je společnost zabývající se výrobou automobilových konceptů a prototypů [37]. Jejich hlavní devízou je velké zastoupení aditivních technologií při výrobě v kombinaci s tradičními technologiemi [37]. Vital Auto použila na výrobu 3D tištěných dílů EP9 tiskárny od americké společnosti Formlabs s technologiemi SLA a SLS [36]. U tiskárny Fuse 1, pracující na základě technologie SLS, byl použit tiskový prach Nylon 12 [36]. Tohoto typu tisku bylo použito pro tvorbu strukturálních částí a více namáhaných drobných dílů, jako např. závěsy dveří, kliky a výplně dveří atd. [36]. Tiskárna Form 3L naproti tomu používala technologii SLA. U ní byla nejdříve použita základní tvrdá pryskyřice Draft resin a s její pomocí vytištěny díly s extrémně hladkým povrchem nebo např. výdechy klimatizace [36]. Dalším materiálem, použitým u tiskárny Form 3L, byl pružný materiál Flexible 80A, který posloužil pro tisk různých tvarově složitých flexibilních dílů, jako např. těsnění dveří.



Obr. 11 – Koncept NIO EP9 vyvinutý společností Vital Auto [37]

Prvotní koncepty se využívají nejen pro vizuální představení daného vozu, ale také ve většině případů slouží jako testovací vzorek pro různé studie a zkoušky, testující parametry závislé na rozměrech daného vozidla. Zřejmě nejznámější je testování ve větrném tunelu. Zkouška zjišťuje, jakým způsobem bude proudící vzduch obtékat vůz při dané rychlosti. Umožňuje zjistit, zda bude vozidlo stabilní při vyšších rychlostech, jaký má dané vozidlo aerodynamický odpor, či otestovat případné prvky a komponenty generující přítlačnou sílu. V této fázi, kdy už je zhruba znám základní tvar automobilu, se v mnohem větší míře používají modely vytvořené pomocí aditivní technologie. Nejedná se pouze o celá vozidla, ale také o nové části již existujících automobilů, kdy nově upravené díly jsou dnes v podstatě vždy vytištěny. Jedním z mnoha výrobců, používajících aditivní technologie pro součásti testované ve větrném tunelu, je britský McLaren Automotive. McLaren používá flotilu SLA tiskáren Neo 800 od výrobce Stratasys a s její pomocí vytváří více než 9 000 tištěných dílů ročně [38]. Jedná se nejčastěji o části boků karoserie, přední a zadní přítlačné prvky a části zadního křídla [38]. Všechny tyto díly jsou testovány a vyvíjeny ve větrném tunelu [38]. McLaren využívá těchto tištěných dílů jak v osobních, tak závodních vozech, včetně vozů série Formule 1 [38].

Dalším typem automobilového konceptu jsou designové studie. Jedná se o automobilové koncepty, sloužící k prezentaci širokému publiku. Jsou tvořeny za účelem propagace dané automobilky, naznačení směřování designu automobilů daného výrobce a v některých případech jsou i „předobrazem“ nového modelu určité automobilky. Ve většině případů se jedná o částečně funkční prototypy vybavené klimatizací, infotainmentem (v překladu informační a zábavní systém) a světlomety. Koncepty určené pouze pro statickou ukázkou jsou ve většině případů vybaveny drobnými elektromotory, které usnadňují manipulaci s nimi. Může se však jednat také o koncept s funkční poháněcí soustavou, to znamená elektromotory a bateriemi nebo vodíkovými články nebo také spalovacím motorem. Vzhledem k tomu, že daná vozidla nemusí být určena k provozu na pozemní komunikaci a tím pádem se na ně nevztahují pravidla co se týče ochrany chodců a další normy, mají designéři a konstruktéři při návrhu a výrobě těchto konceptů výrazně volnější ruce. Navíc se jedná pouze o kusovou výrobu často jediného exempláře. To vše poskytuje aditivním technologiím ideální příležitost zapojit se naplno do výroby těchto vozidel. Koncepty jako Škoda Vision iV, Lamborghini Terzo Millennio nebo Volkswagen I.D. Wizzion jsou toho jasným příkladem. Při stavbě všech těchto konceptů bylo v menší nebo větší míře použito aditivních technologií k výrobě jejich částí [39]. Konkrétní příklad může poskytnout také Bugatti Bolide (viz obr. 12). Výrobce použil při sestavování tohoto konceptu technologii SLM na interiér i exteriér vozidla [40], přitom byly použity materiály na bázi titanu, karbonu a také keramiky [40]. Tímto způsobem byly zhotoveny např. ramena podvozku a další nosné díly, nebo části brzd [40].

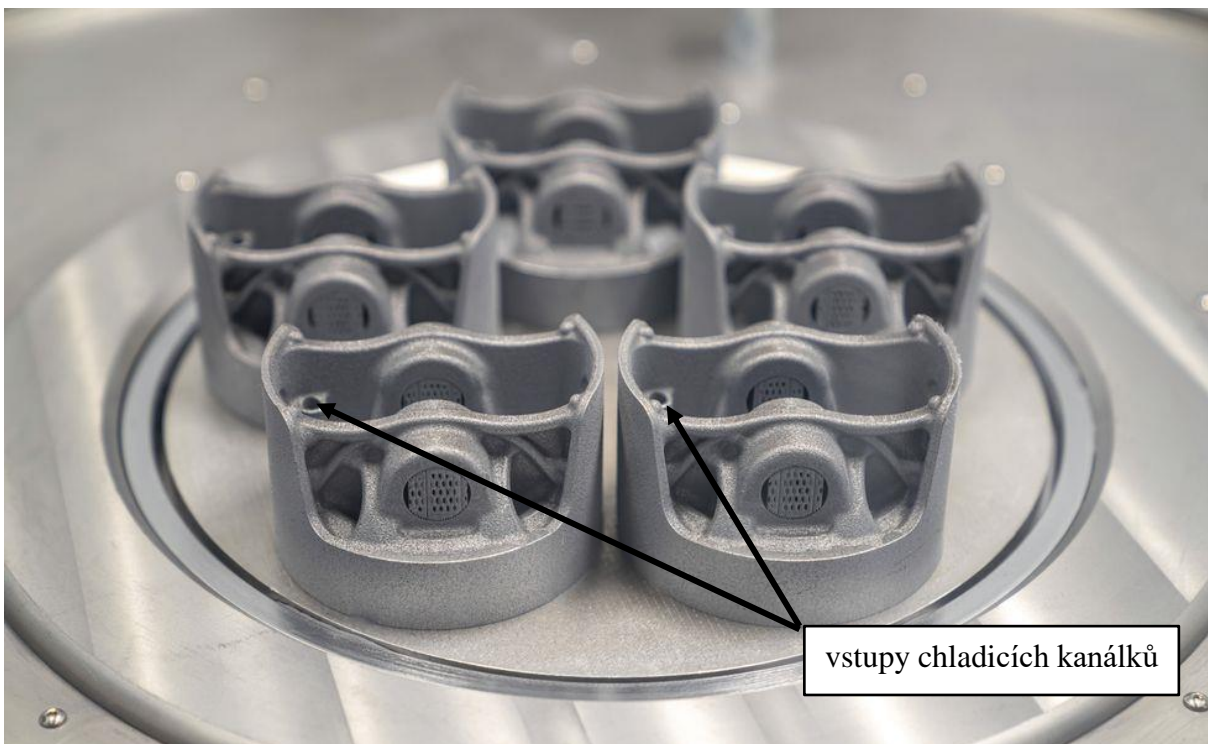


Obr. 12 – Koncept Bugatti Bolide [41]

2.1.2 OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU

Prototypy neznamenají pouze zcela nová vozidla nebo nové komponenty. Mezi prototypy lze zařadit také různě upravené již existující díly, které jsou vytvářeny za účelem úpravy výrobního procesu pro zvýšení jeho efektivity. Tento proces je další možností využití 3D tisku. Při výrobě komponent je zcela běžné, že vyvstane otázka, zda by nebylo možné daný díl vyhotovit lehčí, při zachování jeho mechanických vlastností. Na základě daného požadavku konstruktér vytvoří upravený 3D model daného dílu a ten se následně vytiskne. Díl se odešle na testování a pokud výsledky odpovídají požadovaným parametrům, díl se vyhotoví z požadovaného materiálu a rovněž se otestuje. Pokud i finální díl vyhovuje zadaným požadavkům, upraví se tímto způsobem výrobní proces. Mezi nejčastější požadavky patří kromě snižování hmotnosti také větší kvalita povrchu, úprava tvaru, připojovacích rozměrů a dalších parametrů. Současná doba, kladoucí velký důraz na efektivitu výroby, snižování výrobních nákladů a snižování hmotnosti komponentů, poskytuje prakticky neomezené možnosti využití aditivních technologií pro tento

účel. Jedním z mnoha příkladů může být automobilka Porsche, která ve spolupráci se společností Mahle and Trumpf nechala navrhnout a pomocí metody Powder bed fusion z hliníkové slitiny vytisknout písty pro vůz Porsche 911 GT2 RS. Výsledky testů Porsche ukázaly, že tištěné písty mají kratší čas výroby, vyšší pevnost a jsou zhruba o 10 % lehčí než původní kované a následně obráběné písty [42]. Navíc bylo značně vylepšeno chlazení díky implementaci drobných chladicích kanálků (viz obr. 13), které nejsou bez použití aditivní technologie vyrobitelné [42]. Testy ukázaly, že teplota v oblasti pístních kroužků se díky tomu snížila o více než 50 °C [42]. Podle Franka Ickingera z oddělení vývoje pohonných soustav, by použití těchto pístů umožnilo zvýšit výkon šestiválcového motoru 3,8 TwinTurbo Boxer o 30 koní z původních 700 koní [42]. Tyto písty byly primárně vytvořeny za účelem instruktáže a demonstrace, čeho jsou v Porsche za pomoci aditivních technologií schopni. Do současné generace Porsche 911 GT2 RS se tedy nedostaly. Nicméně vývoj v Porsche stále probíhá a výsledky tohoto experimentu byly nad očekávání dobré.



Obr. 13 – Vytisknuté písty pro motor Porsche 911 GT2 RS (upraveno) [42]

2.2 VÝROBA KOMPONENT

Ve výrobě komponent a při montáži je aditivní technologie rovněž silně zastoupena. V dnešní době takřka neexistuje automobil, při jehož výrobě nebyla nějakým způsobem využita alespoň jedna z metod aditivní výroby. Obecně lze využití 3D tisku, či jakékoliv jiné technologie při výrobě, rozdělit na dva až tři oblasti. První oblastí je využití 3D tisku pro samotnou výrobu požadovaných dílů. To znamená, že je využit 3D model konkrétního dílu, např. ramena zavěšení podvozku, a tiskárna na základě 3D modelu vytiskne požadovaný díl. Tento postup se uplatňuje především při kusové nebo malosériové výrobě. Druhou oblastí využití je výroba přípravků či nástrojů, používaných pro výrobu dané komponenty. Příkladem může být model pro odlévání. Dílna nemá k dispozici model pro vytvoření formy, do které se následně bude odlévat finální díl. Zhotoví se 3D model součásti, ten se následně vytiskne na tiskárně a poté použije při výrobě formy. Třetí oblast představuje využití aditivních technologií pro výzkum a vývoj nových komponent a procesů.

2.2.1 VÝROBA POMOCNÝCH PŘÍPRAVKŮ

Stále častěji se provádí tisk finálních komponentů automobilů. Nicméně většinou se jedná o komponenty automobilů s nízkou roční produkcí. Automobilky s velkým objemem výroby, používají tištěné díly do svých automobilů jako konečný komponent jen v omezené míře. Je to dáno především dobou tisku jednotlivých komponent. Při velkosériové výrobě je ve většině případů stále vhodnější použít tradiční technologické postupy. Nicméně 3D tisk může být velice dobře použit pro výrobu různých přípravků, měrek nebo nástavců, které jsou následně použity při výrobě komponent, ale hlavně při finální montáži celého automobilu. Největší výrobce automobilů na světě, japonská automobilka Toyota, používá ve výrobním závodě v polském městě Wałbrzych celou tiskovou farmu FDM zařízení Zortrax M300 Plus [43]. Tato tisková farma je určena primárně pro tisk přípravků pomáhajících s montáží. Díly vyprodukované tiskovou farmou spadají do čtyř kategorií: polohové přípravky, montážní přípravky, nástroje pro montáž a kryty [43]. Přípravky jsou ve většině případů kombinovány s díly vyrobenými pomocí některé z tradičních výrobních metod. Kupříkladu jedna z měrek je vyrobená tak, že tělo měrky je vytištěno z materiálu PLA a kontaktní hroty, které přicházejí do kontaktu s kovovým povrchem dílů, jsou zhotoveny na CNC soustruhu [43]. Díky tomuto řešení se značně zvýšila životnost těchto přípravků.

2.2.2 VÝROBA FINÁLNÍCH DÍLŮ POMOCÍ ADITIVNÍCH TECHNOLOGIÍ

Metoda FDM je v současnosti jednou z nejpoužívanějších a nejvariabilnějších metod aditivní výroby. Jinak tomu není ani při tisku finálních komponent do automobilů. Velká většina dílů použitých v automobilech, které byly vytvořené pomocí některé aditivní technologie, vznikla tiskovou metodou FDM nebo FFF. Pomocí této technologie lze vytvořit téměř cokoliv. Počínaje částmi interiéru, konče krytkami v motorovém prostoru, či gumovou nálevkou nádoby pro kapalinu do ostřikovačů. Nejčastěji se používá pro výplně dveří nebo panely přepážky mezi řidičem a spolujezdcem.

Pro výrobu finálních komponent se rovněž používá metoda Stereolitografie. Oproti ostatním metodám aditivní výroby je její využití ovšem spíše okrajové. Její hlavní výhody, přesnost a detailnost tištěných dílů, dávají konstruktérům téměř neomezené možnosti, co se týká

složitosti dílů. Navíc díky vysoce kvalitnímu povrchu SLA výtisků není nutné výsledné díly nikterak výrazně povrchově upravovat. Z těchto důvodů, stále více automobilek používá tohoto typu 3D tisku pro konečnou výrobu detailních dílů. Ve většině případů se jedná o spíše menší designové prvky, mezi které patří například drobné nápisy, loga, odznaky a podobně. Jedním z příkladů může být mimo jiné čínský automobilový koncern Great Wall Motor, který používá při výrobě automobilu WEY VV7 komponenty tištěné na tiskárně ProtoFab SLA 600 [44]. Mezi tyto díly patří např. části interiéru nebo dokonce mřížka chladiče [44].

Další technologií, hojně využívanou pro tisk konečných dílů, je některá z metod Powder bed fusion. Používají se pro nejrůznější účely a využívají nejrůznější materiály. Takto vyrobené díly mohou zahrnovat např. základy výplně dveří z materiálu na bázi nylonu nebo další části z polypropylenu. Dalším materiálem, který se často využívá pro tisk konečných dílů, jsou prášky na bázi kovových slitin. Ty bývají použity na součásti s vysokými nároky na pevnost nebo tepelnou odolnost. Velmi často se používají také např. na ramena podvozku u vozidel s omezenou produkcí. Jedním z příkladů je např. Ford Motor Company, který použil tuto technologii pro tisk, podle svých slov, největšího kovového 3D tištěného dílu použitého ve funkčním vozidle v automobilové historii [45]. Jednalo se o kompletní sání speciálně navržené a vyrobené pro motor 3,5 Twin-Turbo EcoBoost V6 původně z Fordu GT. Tento motor byl spolu se sáním implementován do speciálu Ford F-150 Hoonitruck automobilového jezdce Kena Blocka. Sání bylo vytištěno z hliníkové slitiny a díky upravenému sání a dalším komponentům, se výkon motoru zvedl z původních 647 koní na celkových 913 koní [45]. Dalším příkladem mohou být brzdové třmeny vozu Bugatti Chiron (viz obr. 14). Brzdové třmeny, vytvořené z titanové slitiny, jsou natolik tvarově složité, že je možné je pouze vytisknout [46]. Každý třmen se tiskne 45 hodin a dalších 11 hodin zabere finální obrábění [46]. Díky svým rozměrům a hmotnosti 2,9 kg, se ve své době se jednalo o největší 3D tištěný kovový díl použitý ve funkčním automobilu, před vytvořením zmíněného sání pro speciál Ford F-150 [46]. Posledním z mnoha příkladů je švédský výrobce supersportovních automobilů Koenigsegg. Pro svůj model Koenigsegg One:1 se automobilka rozhodla vytisknout uložení turbodmychadel pro motor 5.0L Twin-Turbo V8 [46]. Jednalo se o turbodmychadlo s variabilní geometrií lopatek patentované přímo automobilkou [46]. Celá produkce automobilu byla omezena na pouhých 7 kusů. Použití aditivní výroby pro vytvoření potřebných 14 uložení, bylo tedy jasně nejvhodnější volbou.



Obr. 14 – Brzdové třmeny automobilu Bugatti Chiron [46]

Poslední metoda aditivní technologie často používaná pro tisk finálních komponent, je metoda CFF. Tato technologie se prakticky nepoužívá na prototypování. Naproti tomu je velmi dobře použitelná pro tisk vysoce namáhaných dílů. Kompozitní materiály se v dnešních sportovněji laděných automobilech vyskytují velice často, u některých z nich je z kompozitních materiálů vytvořena celá karoserie. Mnohé díly, které se vyrábí v malých počtech a plní pouze funkci mechanické pevnosti, nikoliv estetickou, mohou být vyrobeny metodou CFF místo klasického formování a lisování kompozitních dílů.

2.2.3 VÝROBA POLOTOVARŮ

Jednou z dalších možností, jak 3D tisk využít, je vytvářet s jeho pomocí polotovary pro výrobu a další zpracování. V tomto případě není aditivní výroba použita pro zhotovení např. zadního křídla zvyšujícího přítlak vozu, ale spíše pro vytvoření korpusu, se kterým se bude dále pracovat. Nejlepším příkladem jsou zřejmě panely obložení interiéru, palubní deska, výplně dveří části sedaček, volant, hlavice řadící páky a další komponenty. Tohoto využívají spíše automobilky zaměřující se na malosériovou výrobu, zejména supersportovních až hypersportovních automobilů či velmi luxusních vozů. Jedná se o automobilky jako je Bentley, Rolls Royce, Aston Martin, Bugatti, Rimac, Lamborghini, Pagani a další. Výroba částí interiéru se tímto způsobem provádí tak, že je nejprve vytištěn požadovaný díl. Ten se následně zbrousí, ošetří tmelem, případně jiným typem povrchové úpravy. Poté je ošetřený díl použit jako korpus pro obsazení požadovaným typem materiálu. Může se jednat o recyklované materiály, speciální látky, kůži nebo třeba alcantaru. Nejčastěji se kvůli velikosti tištěných dílů používá technologie FFF. Dobrým příkladem je produkce vozu Lotus Type 62-2. Každý z těchto vozů, vzešlých z kooperace výrobce luxusních automobilů Radford Motors a automobilky Lotus, obsahuje

více než 500 vytištěných dílů [47]. Tyto díly byly vytvořeny na zakázku výrobcem 3D tiskáren Stratasys [48]. V tomto konkrétním případě byla pro výrobu jednotlivých dílů použita technologie FFF a tiskovým filamentem byl materiál ASA [48]. Jedná se o materiál, který je svými mechanickými vlastnostmi velice podobný ABS. Části interiéru jsou v tomto případě potaženy černou kůží se žlutým prošíváním, konkrétně se jedná se o palubní desku (viz obr. 15 a 16), výplně dveří, věnec a střed volantu.



Obr. 15 – Opracovaný polotovar palubní desky vozu Lotus Type 62-2 [47]



Obr. 16 – Výsledná očalouněná palubní deska s dalšími částmi interiéru vozu Lotus Type 62-2 [49]

2.2.4 ODLÉVÁNÍ

Společnost Tatra Metalurgie, dceřiná společnost české automobilky Tatra Trucks, využívá FDM tiskárny od českého výrobce Prusa Research v oblasti slévárenství mnoha způsoby [50]. Nejjednodušším z nich je prostý tisk modelu či modelové desky, pomocí kterých se následně lisováním vyrábí netrvalé formy. Materiál používaný při těchto procesech nemusí splňovat vysoké nároky na mechanickou odolnost. Společnost Tatra Metalurgie používá při tisku těchto dílů klasické běžně dostupné PLA, které je pouze povrchově ošetřeno [50]. Tento proces je ve většině případů iterační [50], což znamená, že se nejprve vytiskne požadovaný model se základním návrhem sestavy technologických přídavek, vtokové soustavy a dalších nezbytných prvků. Následně dojde k testovacímu zaformování a odlití prvního dílu. Poté zpravidla následuje další úprava modelu přidáváním jednotlivých vytištěných prvků. V případě, že se na testovacím odlitku vytvoří v určitém místě např. staženina, je vymodelován a vytištěn díl představující model nálitku, který je následně přilepen na původní model. Celý proces se opakuje, dokud není vytvořen odlitek s požadovanými vlastnostmi a kvalitou. Při tomto procesu se samozřejmě používají nejen fyzické tištěné modely, ale také nejrůznější počítačové programy, schopné simulovat tok tekutého kovu uvnitř dutiny a další různé parametry.

Při odlévání se hojně využívá metoda Stereolitografie. Její největší potenciál je v oblasti výroby netrvalých modelů, konkrétně modelů vytavitelných. Při odlévání se používá metoda Lost Wax casting. Stereolitografické tiskárny dokáží pracovat s fotopolymerem, který má po vytvrzení vlastnosti velice podobné vosku. Díky tomu se v současnosti při odlévání dílů v menších sériích často přistupuje k tištění vytavitelných modelů. Forma na voskové odlitky se vyrábí z kovových slitin většinou pomocí obrábění. V případě složitějších tvarů by výroba takové formy byla velice nákladná. Proto se model vytiskne, zaformuje a před odléváním se celá forma vloží do pece a model se následně vytaví. Poté je možné do čisté formy odlít požadovanou součást. Metoda Stereolitografie může být použita i pro tvorbu trvalých modelů. Díky svým možnostem v oblasti přesnosti a detailnosti výtisku může být tato metoda velice užitečná při výrobě modelů pro odlévání drobných vysoce detailních dílů. Není však příliš vhodná pro tvorbu rozměrnějších výtisků.

Modely vytištěné pomocí technologie FDM mohou být rovněž použity jako netrvalé. Nejedná se však už o modely vytavitelné, ale vypalitelné. Proces je nicméně velice podobný. Díl se vytiskne, zaformuje a celá forma se následně vloží do pece. Z formy se poté odstraní zbytkový popel a díl se odlije. Při tomto postupu se nejčastěji používají nejlevnější materiály jako je ABS nebo PLA. Při těchto procesech je však třeba brát v potaz generování spalin během vypalování modelu. Spaliny mohou působit problémy v rámci ekologie. V některých případech se model z PLA nebo ABS používá i jako vypařitelný, což znamená, že se model po zaformování nevypaluje v peci, ale přímo do formy s modelem je nalit tekutý kov a model se při kontaktu s ním vlivem extrémní teploty vypařuje. Tato metoda je teoreticky použitelná, ale je potřeba při jejím použití brát v potaz další vliv spalin, které mohou způsobovat nejen problémy z hlediska ekologie, ale i co se týká kvality odlitku. V závislosti na použitém materiálu mohou generovat nejrůznější vady odlitků, jako jsou plynné bubliny v odlitku, zadrobeniny a jiné problémy. V některých případech může docházet i k celkovému zborcení vnitřní struktury formy.

Další metodou aditivní výroby, hojně využívanou ve slévárenství, je metoda Binder jetting. V tomto případě se už nejedná o tisk modelů a jejich zaformování. Při použití této technologie úplně odpadá nutnost použití modelu, protože je uzpůsobena k tomu, že dokáže zhotovit do formy vkládaná jádra, a dokonce kompletní slévárenské formy. V případě potřeby větších forem je možné vyhotovit menší části formy a jednotlivé díly poté k sobě slepit. Jednou ze

specialit metody Binder jetting, oproti jiným tiskovým technologiím, je tisk za použití křemičitého písku nebo jiných jemných materiálů používaných pro formovací směsi. Jedná se samozřejmě o jádra a formy netrvalé. S pomocí metody Binder jetting je možné vytvářet velice kvalitní a tvarově složité odlitky, jako jsou např. bloky motorů, převodové skříně, uložení diferenciálu a další části. Formy pro tyto díly se z důvodu složitosti odlitku ve většině případů skládají z velkého množství částí. Použití 3D tisku pro výrobu forem umožňuje snížit počet těchto částí na nezbytné minimum. V některých případech se může jednat o jeden jediný díl formy. Americká slévárna Humtown Products, patřící ke světové špičce ve výrobě a použití 3D tištěných slévárenských forem, [51] používá tiskárny S-Max od výrobce ExOne [51]. Formy vytištěné na této tiskárně byly použity např. pro odlitek tělesa turbodmychadla (viz obr. 17).



Obr. 17 – Složená forma pro odlitek tělesa turbodmychadla [52]

2.2.5 VÝROBA FOREM PRO LISOVÁNÍ A VSTRÍKOVÁNÍ POLYMERŮ

Tisk z kovových materiálů pomocí metody Powder bed fusion je nejčastěji zaměřen na výrobu funkčních mechanicky namáhaných dílů. Jednou z dalších možností jejího využití je tisk forem. Pro výrobu plastů za pomoci vstřikování jsou nutné formy z nástrojové oceli. Jejich standardní proces výroby je povětšinou pomocí CNC obrábění. Z tohoto důvodu jsou tyto formy extrémně nákladné. Kromě požadovaného tvaru konkrétního dílu jsou totiž do forem vkládány prvky sloužící k ohřívání nebo naopak chlazení vloženého polymerního materiálu. V současnosti některé z firem, které se dříve zabývaly výrobou forem pomocí CNC obrábění, nyní naopak na zakázku vyrábí formy pro lisování a vstřikování plastů pomocí metody Powder bed fusion. Výroba formy pomocí 3D tisku zabere mnohem méně času než výroba tradičními metodami. Navíc je možné vytvářet mnohem komplexnější tvary a tím pádem zefektivnit výrobu lisovaných dílů. Nejlépe je to vidět na chladicích a ohřevných kanálcích, procházejících celou formou. Při standardní výrobě mohou mít pouze jednoduchý tvar, aby je bylo možno vyvrtat. Pomocí 3D tisku je však možné vytvářet formu s velice tvarově složitými kanálky, které zrychlují ohřev a chlazení formy. Arumugam Narayanaswami, technolog z indické společnosti

Salcomp, uvedl, že díky použití 3D tištěných forem se chlazení jednoho určitého lisovaného dílu snížilo z původních 14 sekund na 8 sekund, a díky tomu roční produkce daného dílu vzrostla o 56 000 kusů [53]. Tyto formy jsou použitelné nejen pro společnosti zabývající se výrobou vstřikovaných nebo lisovaných platových dílů, ale 3D tištěné formy zaznamenaly velice dobré výsledky při lisování pryže. Z toho vyplývá jejich možné použití v gumárenském průmyslu pro výrobu pneumatik, gumových koberečků do interiéru automobilů nebo pro lisování nejrůznějších druhů těsnění.

Kromě technologie Powder bed fusion, která používá kovový prach, je technicky možné tisknout formy pro formování plastů i pomocí metody Stereolitografie. K tomuto účelu existují tiskové materiály s velmi vysokou tepelnou stálostí. Výrobce MSLA tiskáren Formlabs uvádí pro své pevné pryskyřice odolnost 238 °C za tlaku 0,45 MPa [54]. Materiál je tedy schopen ustát teplo a tlak při procesu vstřikování plastů. Formy vyrobené pomocí některé metody Stereolitografie samozřejmě zdaleka nemají takovou životnost jako formy vytištěné z ocelového prachu. Na druhou stranu je tisk pomocí SLA, MSLA technologie mnohánásobně levnější než tisk pomocí metody Powder bed fusion.

2.2.6 VYUŽITÍ PŘI VÝROBĚ DÍLŮ Z KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Automobilový průmysl v současnosti prahne po efektivitě, snižování emisí a spotřeby paliva. Velkým tématem je snižování hmotnosti vozidel, z čehož plyne, že kompozity na bázi vláken, zejména těch karbonových, jsou velmi žádané. Tyto díly se vyrábí tak, že se do formy vloží vrstvy tkanin z karbonových nebo jiných vláken [55]. Mezi tyto vrstvy se nanese pryskyřice, součást se zaformuje a díl se nechá vytvrdit [55]. Výrobních postupů při výrobě kompozitních dílů je několik, ale tento základ platí pro všechny. Používané formy jsou často velmi tvarově složité. Jedná se často o střechy automobilů, zpětná zrcátka, skořepiny sedaček, volanty, palubní desky a podobné díly. Dokonce se používají ráfky kol z CFRP. U některých vozidel je použito CFRP v takové míře, že je z něj vytvořena celá karoserie automobilu a jednotlivé karbonové díly jsou pospojovány k sobě v jeden celek. Jedná se zejména o sportovní až supersportovní vozy. Příkladem mohou být např. Koenigsegg Regera nebo Lexus LFA. Výroba formy pro takové díly pomocí obrábění např. z kovů by byla velmi nákladná a v některých případech až neproveditelná. Proto nejjednodušší způsob, jak takovou formu vytvořit, je její tisk. K tomuto účelu mohou být použity technologie FDM/FFF nebo v případě menších dílů např. technologie SLS. Po vytištění stačí povrch jednotlivých forem dokončit na požadovanou drsnost a součást je připravena k použití. Při samotném formování nedochází k nikterak velkému namáhání formy, takže ani použité materiály nemusí mít vysokou mechanickou odolnost [56]. Vlastnosti materiálu PLA nebo PETG při použití technologie FDM jsou plně dostačující.

2.3 VYUŽITÍ PRO PROVOZ, ÚDRŽBU A OPRAVY VOZIDEL

Životní cyklus každého automobilu začíná vývojem a výrobou. V dnešní spotřební době, kdy mnohé výrobky mají tendenci selhat hned po uplynutí záruční doby, je nutné produkovat náhradní součástky a poskytovat servis po celý životní cyklus automobilu. 3D tisk je využíván pro servis, opravy a provoz vozidel. Ačkoli to není na první pohled patrné, 3D tisk velice přispívá ke kvalitnímu provozu automobilů. Jedná se zejména o výrobu netypických náhradních dílů či přípravků pro autorizované servisy, úpravu vozidel na zakázku či restaurování vozidel. To vše jsou oblasti, ve kterých 3D tisk hraje v dnešní době stále větší roli.

2.3.1 SERVIS VOZIDEL

Servis vozidel je nezbytně nutnou součástí životního cyklu každého vozidla. Pouze pravidelný a kvalitní servis umožňuje dlouhodobý provoz automobilu a plnění jeho dané funkce. Servisování vozidel vyžaduje nejen použití náhradních dílů a provozních kapalin, ale také adekvátní vybavení včetně různých zařízení, přístrojů, nástrojů a přípravků. První a nejčastější využití aditivních technologií pro servis vozidel je tisk nástrojů nebo přípravků. Při údržbě vozidla je nutné používat různé měrky, nástavce, držáky a další nářadí, které umožňuje provádět servis daného vozidla. Může se jednat např. o měrku napnutí rozvodového řemene, nástavce na klíče nebo třeba dočasnou montážní spojku zjednodušující sešroubování jednotlivých dílů. Další možností využití aditivní technologie v této oblasti je výroba samotných náhradních dílů. Tímto způsobem mohou být zhotoveny různé tvarově složité spojky, klipy na svazky kabelů a další plastové díly. Takové díly sice jsou sice jednoduše vyráběné v ohromném množství, ale při zpoždění dodávky takových dílů do servisu hrozí zpoždění oprav a rozpad časového harmonogramu. Jsou tedy pro údržbu automobilů nezbytně nutné. Jednou z mnoha automobilek, využívajících 3D tisku těmito způsoby, je i Škoda Auto [57]. V současnosti je v závodu v Mladé Boleslavi provozována tisková farma o zhruba 50 FDM tiskárnách Prusa, povětšinou Typu i3 Mk3 [57]. Tiskárny jsou navíc napojeny na internetovou síť, což umožňuje i jejich vzdálenou obsluhu [57]. Tato tisková farma je používána pro výrobu nástrojů a přípravků pro jednotlivé výrobní provozy, ale také na tisk nástrojů pro centrální technický servis a výstupní kontrolu [57].

2.3.2 ÚPRAVY A TUNING VOZIDEL

K automobilismu neodmyslitelně patří také zakázkový tuning (netovární úpravy vozidla) automobilů. Možnost nechat si na zakázku upravit vlastní automobil, je zde už velmi dlouho. Navíc díky důrazu na individualitu a složitost dnešních moderních automobilů, kdy už není příliš reálné, aby si člověk sám upravoval svoje auto, popularita zakázkového tuningu neustále roste. Automobilový tuning má své příznivce i odpůrce. Faktem však je, že dnes si nechává na zakázku své auto upravovat stále větší množství lidí. Velice populární je zejména již zmíněná výroba karbonových dílů pomocí forem vytištěných na FDM tiskárně. Těto metody využívají nejen subdodavatelé automobilek, ale především menší úpravci, kterým toto řešení poskytuje vysokou flexibilitu. Navíc jim toto řešení umožňuje při kusové výrobě cenově konkurovat zavedeným a renomovaným úpravcům. Díly tímto způsobem vytváří např. český úpravce Muraena Carbon [58].

Ve většině případů se však jedná více o estetické než funkční úpravy. U těchto dílů je kladen důraz hlavně na vizuální atraktivitu a nejsou na ně kladeny zvýšené nároky, co se týká mechanické odolnosti. Další kapitolu úprav představují úpravy podvozku, poháněcí soustavy a dalších kritických částí vozidel. Těmito úpravami se zabývá podstatně méně výrobců oproti vizuálním úpravám. Zejména kvalitní motorové úpravy poskytuje relativně málo úpravců, zejména kvůli výraznému zásahu do celého systému automobilu. V případě výrazného zvyšování výkonu motoru je nutné používat extrémně pevné motorové díly. Základem bývají kované písty a ojnice, které je velmi často nutné nechat vyrobít na zakázku. Existují určité automobily a určité motory, pro které jsou kvůli velkému zájmu zákazníků upravené díly vyráběny i na sklad. Není jich však příliš mnoho. Jednou z alternativ ke kovaným dílům mohou být komponenty s příměsí karbonových vláken vytištěné na 3D tiskárně. Takto lze vytvořit díly, které nejsou přímo tepelně namáhané žářem spalovací komory. Této možnosti využil např. řecký úpravce Extreme Tuners, kdy společnost vytvořila ojnice pro motor automobilu Mitsubishi Lancer Evolution (viz obr. 18 a 19) [59]. Ojnice byly vytvořeny upravenou metodou CFF, která kombinuje polymerní matici a karbonová vlákna [59]. Výsledné parametry jsou velice působivé. Ojnice jsou schopné pracovat při výkonu motoru do 3000 koní a do 15 000 otáček za minutu [59]. Oproti tomu motor Mitsubishi 2,0 Turbo MIVEC 4B11T měl v tovární verzi nejvyšší výkon 440 koní [59].



Obr. 18 – Ojnice vyráběné společností Extreme Tuners (upraveno) [59]



Obr. 19 – Ojnice vyráběné společností Extreme Tuners připojené ke klikové hřídeli (upraveno) [59]

2.3.3 RESTAUROVÁNÍ VOZIDEL

Další oblastí, kde aditivní technologie představují vítaného pomocníka, jsou opravy a restaurování historických vozidel. Aditivní technologie jsou v těchto případech pevně propojeny s další moderní technologií, a to s 3D skenováním. Díky jejich vzájemné symbióze, je v dnešní době zakázková výroba již nevyráběných dílů velice jednoduchá. Nejprve je nutné získat data o rozměrech požadovaného dílu nebo v ideálním případě získat konkrétní díl, který zdaleka nemusí být ve špičkovém nebo restaurovatelném stavu. Místo toho, aby se díl přímo použil na restaurované vozidlo, může velice dobře posloužit pro 3D skenování. Daný díl se pomocí skeneru naskenuje, a tím vznikne 3D model, se kterým je možné dále pracovat. Po dalších úpravách v některém z modelovacích softwarů a po porovnání s technickými nebo historickými daty popisující rozměry daného dílu, vznikne 3D model požadovaného dílce. Poté už jen zbývá zvolit metodu aditivní výroby, která je pro výrobu konkrétní komponenty nejvhodnější a hotový 3D model vytisknout. Jednou ze společností, které tento postup při renovaci historických vozidel využívají, je ES Products & Design Ltd. Tato společnost s dlouholetými zkušenostmi v motorsportu, se zabývá restaurováním historických vozidel na

zakázku [60]. Na základě poškozeného referenčního dílu či na základě několika nákrešů dokáže jejich tým vyhotovit požadovaný 3D model a následně zařídit jeho výrobu. Ve většině případů používají při práci 3D skener Peel 2 [60]. Toto zařízení dokáže vyhotovit základní model ve formátu STL nebo STEP [60]. Následuje úprava digitálního modelu a poté objednávka výroby konkrétního dílu.

3 BUDOUCNOST ADITIVNÍ VÝROBY V AUTOMOBILISMU

Technologie aditivní výroby jsou známé teprve zhruba 30 let, ale už si dokázaly vydobýt své místo pod sluncem. Jejich popularita neustále roste. 3D tisk umožňuje výrobu dílů s větší přesností, tvorbu složitějších komponent, zvýšení efektivity výroby atd. Využití aditivní výroby může znamenat v současnosti pro firmu rozdíl mezi ekonomickou prosperitou a neúspěchem. Stejně jako ostatní výrobní postupy se aditivní technologie stále vyvíjejí. Díky nezbytnému propojení s počítačovými systémy se vyvíjí ještě rychleji než většina jiných výrobních technologií.

3.1 METODA NAVAŘOVÁNÍ

Poměrně novou technologií aditivní výroby je metoda postupného navařování, která je založena na postupném natavování přídavného materiálu. Zjednodušeně řečeno se jedná o svářečku, s velkou zásobou přídavného materiálu, kontrolovanou počítačovým programem, která se pohybuje v trojrozměrném prostoru. Na tiskovou podložku je navařena „housenka“ prvního svaru. K ní je následně přivařena další vrstva, tedy svar. Tento proces se neustále opakuje, dokud není vytvořen hotový výtisk. Po ukončení tisku je nutné vyjmout celou tiskovou základnu a model ze základní desky odstranit, nebo pro další výtisk použít jinou tiskovou podložku. Svou konstrukcí tiskárny velice připomínají FDM zařízení. Jediný rozdíl je v tom, že tisková hlava nepokládá linku nahřátého plastu, ale kapky tekutého kovu. Výsledkem jsou kovové pevné výtisky. Struktura takového výtisku je velice podobná struktuře běžného svaru spojujícího dva díly. Tomu odpovídá pevnost a další mechanické vlastnosti vytištěného dílu. Hlavní nevýhoda této technologie spočívá v energetické náročnosti. Stejně, jako např. tisk kovů pomocí metody Powder bed fusion, spotřebovává tisk natavováním velké množství elektrické energie na ohřátí a roztavení kovového materiálu. Z těchto důvodů se tato technologie v současnosti v automobilovém průmyslu nepoužívá nebo používá jen velmi okrajově.

Její zřejmě nejznámější využití je v současnosti tisk pláště vesmírných raket. K tomuto účelu je tato technologie ideální. Jedná se takřka o kusovou výrobu. Použití jednoho nebo několika málo výtisků, místo velkého množství různých panelů a částí spojovaných šrouby, pásovými spojkami a dalšími díly, extrémně zjednodušuje konstrukci. Proces samotného tisku trvá mnoho dní. Tisk samotného hlavního pláště trvá zhruba 2 měsíce [61]. To se může zdát jako velmi dlouhá doba, nicméně v dnešní době se vesmírné rakety mohou vyrábět i několik let [61]. Hmotnost první, pomocí 3D tisku vyráběné rakety Terran 1, je z 85 % tvořena 3D tištěnými díly [61]. V současnosti je tato technologie poměrně nová a málo používaná. Na rozdíl od dříve popsaných tiskových metod jako Binder jetting nebo Powder bed fusion, je metoda natavování velice jednoduchá. Zručnější „kutil“ si tento typ tiskárny dokáže vyrobit ze svářečky a standardní FDM tiskárny. Je tedy možné, že během několika málo let bude možné koupit tiskárnu pracující s technologií navařování za stejné částky, za které jsme dnes schopni pořídit levnou stolní FDM tiskárnu. V tom případě už cena rozhodně nebude bránit většímu využití této technologie v automobilovém průmyslu. Její použití by umožnilo vytvářet zejména termálně a mechanicky namáhané díly. Potom by tato technologie představovala alternativu k metodě Powder bed fusion používající kovový prach.

3.2 TECHNOLOGIE MATERIAL JETTING

Poměrně novou, a ne příliš rozšířenou tiskovou technologií, je metoda Material Jetting. Uvedená technologie je někdy nazývána inkoustovým tiskem v trojrozměrném prostoru. Technologie je natolik málo rozšířená, že se výrobou 3D tiskáren, pracujících tímto způsobem, zabývají pouze dva velcí výrobci na světě. Jedná se o Stratasys a 3D Systems [62]. Obě společnosti mají patentovanou vlastní verzi této technologie, ale základ je stejný. Tisková hlava vrství na tiskovou podložku malé kapičky tekutého materiálu a pomocí UV záření je okamžitě vytvrzuje. Průměr kapiček je extrémně malý (zhruba 70 μm) [62]. Tím, co odlišuje od sebe tiskárny jednotlivých výrobců, je použitý materiál. Stratasys používá jako tiskový materiál fotopolymer a jejich metoda nese název PolyJet [62]. 3D Systems využívá pro tisk vosk a svou technologii nazývá MultiJet [62].

Technologie je poměrně technicky složitá a velice finančně náročná. Hlavně co se týká pořizovací ceny tiskárny a použitých materiálů. Nejnižší ceny tohoto typu tiskárny začínají na hodnotě okolo 50 000 \$ [62]. Na druhou stranu se v mnoha ohledech jedná o technologii velice výjimečnou. Mezi hlavní přednosti patří rychlost tisku, která je vyšší než u technologie SLA, extrémní detailnost výtisků nebo možnost použití více materiálů najednou při tisku jedné součásti. Porovnání jednotlivých vlastností s metodou SLA je uvedeno níže v tab. 1. Hlavním rozdílem mezi touto technologií a metodou SLA je tisk mnohobarevných součástí. Tento typ tiskáren dokáže kombinovat jednotlivé tiskové materiály a tím vytvářet nejrůznější typy barev podobně jako klasická inkoustová tiskárna. Další zvláštností je možnost tisku kompletně transparentních součástí.

Tab. 1 – Porovnání vlastností technologií SLA a Material Jetting (upraveno) [62]

Stereolitografie (SLA)	Material Jetting (M-Jet)
Výtisk z jednoho materiálu	Vícemateriálové výtisky (až 6 typů materiálů)
Jednobarevné výtisky	Vícebarevné výtisky (více než 100 000 barev)
Tiskové podpory z pevné pryskyřice	Tiskové podpory z rozpustného materiálu
Minimální výška vrstvy 20 μm	Minimální výška vrstvy 10 μm
Vyžaduje dodatečné vytvrzování UV zářením	Není třeba dodatečné vytvrzování UV zářením

Hlavní využití technologie M-Jet je pro prototypování a pro tisk extrémně detailních dílů. Všechny tyto vlastnosti už využila automobilka Audi [62]. Za použití zařízení od výrobce Stratasys začali využívat této technologie pro výrobu prototypů některých automobilových dílů, zejména krytů světel (viz obr. 20) [62]. Dr. Tim Spiering, vedoucí centra Audi pro 3D tisk plastů, uvedl, že při výrobě prototypů krytů zadních světel očekávají úsporu času až 50 %, oproti původním výrobním postupům [62]. Je velice pravděpodobné, že časem dojde k většímu rozšíření technologie Material Jetting a tato metoda bude mnohem více používána ostatními automobilovými výrobci a dalšími společnostmi působícími v automobilovém průmyslu.



Obr. 20 – Prototyp krytu zadního světla Audi A3 vytištěný na tiskárně StratasysJ750 [63]

3.3 TISK FOREM A ZÁPUSTEK

V současnosti je pro tisk forem využíváno hned několik metod aditivní výroby. Jedná o technologie Binder jetting, Sterolitografie, nebo FDM. V současnosti se vyrábí formy pro lisování a vstřikování plastů, výrobu dílů z kompozitních materiálů zaformováním a pro gravitační odlévání. Všechny tyto technologie představují alternativní způsob výroby forem k výrobě pomocí CNC obrábění. Největší zastoupení v tisku forem má metoda Powder bed fusion, používající ocelový prach. Využívá se jak pro vstřikování a lisování plastů, tak pro formování z kompozitních materiálů. Metodu by bylo teoreticky možné použít také pro výrobu forem pro tlakové lití. Při tlakovém lití jsou pro výrobu trvalých forem použity různé vysokolegované oceli a hotová forma je ještě navíc tepelně zpracovávána, aby vydržela namáhání stovek až tisíců licích cyklů. Navíc se jedná o vysokotlaké lití, při kterém je tekutý kov vtlačován do formy pod tlakem až 250 MPa. Výhoda kovových výtisků vyrobených pomocí metody Powder bed fusion spočívá v tom, že je možné výrobky chemicky nebo tepelně zpracovávat stejně jako díly z kované, obráběné nebo odlévané oceli. Struktura materiálu 3D tištěných kovových dílů je nejvíce podobná právě struktuře odlitku. Použití 3D tisku pro výrobu forem pro vysokotlaké lití by mohlo značně snížit dobu výroby samotné formy, a tedy i s tím spojené náklady na výrobu. Zároveň by bylo možné vytvářet formy komplexnějších tvarů. Forma pro tlakové lití je navíc protkána sítí kanálků tvořících chladicí a temperovací soustavu. Aditivní výroba by umožnila vytvářet komplexnější tvary chladicí a temperovací soustavy oproti klasické formě. Tím by mohlo dojít ke snížení tepelného namáhání formy a ke zkrácení doby výroby daného dílu stejně jako v případě 3D tištěných forem pro vstřikování plastů (viz část 2.2.5).

Další možné využití metody Powder bed fusion by mohl být 3D tisk zápusťek pro zápusťkové kování. Stejně jako v předchozím případě jsou i zápusťky vyráběny nejčastěji pomocí CNC obrábění a obrobek je následně chemicky nebo tepelně zpracován. Hlavním požadavkem na

zápustku je vysoká pevnost a tepelná odolnost, ale také extrémní tvrdost. Stejně, jako v případě jiných forem pracujících s ohřátým materiálem, je třeba i zápustky chladit a temperovat. Výroba zápustky pomocí 3D tisku by se tedy příliš nelišila od výroby forem. Technologický postup by byl v zásadě stejný, jen požadavky na mechanickou a tepelnou odolnost by byly větší.

3.4 ROZŠÍŘENÍ METODY BINDER JETTING

Jedná se v současnosti o nepříliš rozšířenou technologii aditivní výroby. Největší přínos pro strojírenství a potažmo pro automobilový průmysl je zřejmě tisk netrvalých slévárenských „pískových“ forem a jader (viz část 2.2.4). Do budoucna se pravděpodobně jedná o velice perspektivní technologii. Na rozdíl od většiny ostatních technologií, které jsou schopné tisknout z jednoho typu materiálu, dokáže tato metoda používat takřka jakýkoliv jemný práškový materiál bez nutnosti výraznější úpravy technologického postupu. Ve všech případech je základní materiál spojován pryskyřicí, která se následně vytvrzuje. Navíc je možné dané materiály kombinovat. Mezi používané materiály patří polymery, kovy, keramika a další. Prakticky vše, co má dostatečně malá zrna, lze použít jako tiskový materiál. Navíc tato technologie je oproti jiným „průmyslovým“ tiskovým metodám méně energeticky náročná. V budoucnu se tato technologie bude zřejmě rozvíjet a vzhledem ke své jednoduchosti je možné, že se bude jednat o další technologii dostupnou i širokému spektru domácích uživatelů. Kromě použití této technologie jako alternativy k metodě Powder bed fusion při tisku kovových dílů nebo také polymerů, existuje ještě další možnosti využití. Jednu z možností by mohla představovat výroba dílů z keramických materiálů, mimo jiné by se mohlo jednat o části keramických brzd atd.

3.5 PERSONALIZACE AUTOMOBILŮ

Konfigurace a personalizace nového automobilu při jeho pořízení jsou fenomény staré prakticky jako automobilový průmysl samotný. V současné době se různé automobilky značně rozcházejí v možnostech konfigurace svých modelů. Někteří, zejména japonští výrobci, umožňují své automobily konfigurovat velmi omezeně nebo téměř vůbec. Jiné automobilky naopak umožňují své vozy konfigurovat na přání velice podrobně a katalog příplatkové výbavy obsahuje desítky až stovky položek na mnoha stránkách. Samostatnou kategorii tvoří výrobci luxusních či supersportovních vozů, kdy vlastně neexistuje žádný oficiální seznam příplatkové výbavy. U těchto automobilek typu Bentley, Rolls Royce nebo Maybach závisí možnosti příplatkové výbavy do velké míry pouze na zákaznické fantazii a na jeho finančních možnostech. Uvedené automobilky využívají aditivních technologií v rámci personalizace svých výrobků už nějakou dobu. Výrobci s velkým objemem výroby, aditivních technologií při personalizaci automobilů příliš nevyužívají, protože při jejich velkém objemu výroby by se toto řešení nevyplatilo finančně. V současnosti se individualizace za použití 3D tisku začíná přesouvat i směrem k dostupnějším automobilům. Jednou z více mainstreamových automobilek, která tohoto začala využívat, je Porsche. U modelů Boxster, Cayman a 911 nabízí v rámci doplňkové výbavy přední sedačky, kdy části polštářů a opěrky zad jsou vytvořeny pomocí aditivní výroby [64]. Tyto sedačky je navíc možné nakonfigurovat ve třech stupních tvrdosti podle požadavku zákazníka [64].

ZÁVĚR

Současný tlak na snižování emisí škodlivin a „nucená“ elektrifikace znamená neustálé zvyšování prodejních cen automobilů. V dlouhodobém horizontu to může znamenat razantní pokles prodejů nových automobilů, což může vést ke snížení produkce automobilek s velkým objemem produkce. Výrazně nižší produkce znamená nutnost přehodnotit ekonomickou efektivitu výrobního procesu při výrobě menšího množství automobilů. Tento stav by mohl znamenat příležitost pro rozšíření aditivních technologií. Při menším objemu výroby jsou aditivní technologie relevantním řešením pro koncovou výrobu.

V případě masového rozšíření elektrifikovaných vozidel bude třeba vyřešit problémy spojené s vyšší hmotností těchto vozidel. Vyšší hmotnost se negativně projevuje ve spotřebě pohonných látek vozidla a má vliv na přímo nebo nepřímo generované emise škodlivin. Vyšší hmotnost vozidel také razantním způsobem zvyšuje opotřebení pneumatik a tím i uvolňování jejich mikročástic do ovzduší. To se týká zejména bateriových elektromobilů, na které je v současnosti nahlíženo jako na budoucí hlavní koncepční řešení pohonu automobilů. Jejich hmotnost je však v současnosti z důvodu těžkých baterií tak vysoká, že bude třeba použití všech dostupných mechanismů pro snížení jejich hmotnosti. Příležitosti pro budoucí uplatnění aditivní výroby stále existují a vznikají nové problémy, k jejichž řešení by tato technologie mohla významně přispět.

Hlavními cíli bakalářské práce bylo charakterizovat nejvýznamnější metody aditivní výroby použitelné v automobilovém průmyslu, popsat jejich podstatu, technické možnosti a následné výrobní výstupy. Dalším cílem bakalářské práce bylo specifikovat využití jednotlivých metod aditivní výroby v jednotlivých „podoblastech“ automobilového průmyslu současnosti. Ze zjištěných informací vyplývá, že aditivní výroba, jako většina ostatních výrobních technologií, má na výrobu v automobilovém průmyslu tři rozdílné vlivy. První, tzv. primární vliv je případ, kdy se technologie aditivní výroby používají přímo pro výrobu komponent automobilů. Druhý, sekundární vliv, je využití 3D tisku pro výrobu nástrojů, přípravků, slévarenských forem a modelů, pomocí kterých jsou následně vyráběny nebo sestavovány jednotlivé díly automobilů. Třetí, terciální vliv, představuje využití 3D tisku pro optimalizaci výroby, tisk prototypů či modelů pro testování a další pomocné činnosti. Z následné syntézy vyplývá, že u většiny výrobců jsou zastoupeny všechny tři vlivy aditivní výroby. S tím, že terciální vliv je zastoupen prakticky v jakémkoliv automobilce, sekundární vliv je patrný u drtivé většiny výrobců a primární vliv je zastoupen nejméně. Navíc, čím je objem produkce dané automobilky větší, tím je primární vliv méně patrný a je více patrný sekundární vliv. Třetím cílem bakalářské práce bylo na základě zjištěných možností jednotlivých metod aditivní výroby a jejich současného použití stanovit pravděpodobné směřování a budoucí vývoj aditivních technologií v automobilové výrobě v následujících letech. Ze zjištěných informací vyplývá, že aditivní výroba je již v současnosti nedílnou součástí automobilového průmyslu a význam této technologie bude nadále růst. Další vývoj této technologie navíc poskytuje nové možnosti při řešení budoucích, či již v dnešní době diskutovaných problémů. Cíle bakalářské práce, byly splněny.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] 3D tisk na zakázku: Historie a současnost 3D tisku [online]. 2015 [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <http://www.3dtisknazakazku.cz/9-clanky/15-historie-a-soucasnost-3d-tisku.html>
- [2] Cotu: Fused deposition modelling [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/134/fdm-fused-deposition-modeling>
- [3] Xometry: FDM vs. FFF: Differences and Comparison [online]. North Bethesda, 2023 [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/fdm-vs-fff-3d-printing/>
- [4] GRIFFEY, Jason. ALA Tech Source: The Plastics of 3D Printing [online]. Chicago, 2014 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.ala.org/tools/article/ala-techsource/plastics-3d-printing>
- [5] 3DEO Metal 3D printing: An Introductory Overview of Metal Extrusion 3D Printing [online]. Torrance, 2020 [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.3deo.co/featured/metal-3d-printing-processes-metal-extrusion-fff-fdm/>
- [6] Materiál pro 3D: Wood [online]. Brno, 2016 [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/woodfill/>
- [7] Materiál pro 3D: Metal [online]. Brno, 2021 [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/metal--filament-s-primesi-kovu/>
- [8] Materiál pro 3D: Carbon [online]. Brno, 2020 [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/s-karbonem/>
- [9] Sharplayers: Vodivé filamenty [online]. Buštěhrad, 2023 [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://eshop.sharplayers.cz/vodive-filamenty>
- [10] KONDO, Hironori. All3DP: 3D Printer Support Material: Which One to Use for My Project [online]. Mnichov, 2019 [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-support-material-which-one-to-use-for-my-project/>
- [11] Materiál pro 3D: BVOH [online]. Brno, 2019 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/bvoh/>
- [12] Materiál pro 3D: HIPS [online]. Brno, 2016 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/hips/>
- [13] Formlabs: Validating Isotropy in SLA 3D Printing [online]. Boston, 2020 [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://formlabs.com/eu/blog/isotropy-in-SLA-3D-printing/>
- [14] Liqcreate: Is MSLA the same as DLP [online]. Utrecht, 2023 [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.liqcreate.com/supportarticles/dlp-same-msla-resin/>
- [15] CAROLO, Lucas. All3DP: SLA Resin Strength [online]. Mnichov, 2022 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/sla-3d-printing-how-strong-is-resin/>

- [16] Prusa3D: Original Prusa SL1S SPEED 3D tiskárna [online]. Praha, 2022 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-sl1s-speed-3d-tiskarna/#specs>
- [17] Alza: Creality LD-006 [online]. Praha, 2022 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/creality-ld-006-levne-d6742394.htm>
- [18] Additive blog: Laser sintering, melting and others – SLS, SLM, DMLS, DMP, EBM, SHS [online]. 2020 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.additive.blog/knowledge-base/3d-printers/laser-sintering-melting-sls-slm-dmls-dmp-ebm-shs/>
- [19] All3DP: Metal Laser Sintering (LPBF, SLM, DMLS) – Simply Explained [online]. Mnichov, 2023 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/direct-metal-laser-sintering-dmls-simply-explained/>
- [20] WIBERG, Anton. Towards Design Automation for Additive Manufacturing: A Multidisciplinary Optimization approach. Linköping: Linköping University, 2019 [cit. 2023-03-11]. ISBN 9789179299859. Dostupné z: 10.3384/lic.diva-160888
- [21] Hubs: What is SLS 3D printing [online]. Amsterdam, 2022 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sls-3d-printing/>
- [22] PLAZA, Paul. Cad crowd: Additive Manufacturing Materials: 3D Printing in 2018 [online]. Glendale, 2018 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.cadcrowd.com/blog/additive-manufacturing-materials-in-2018-beyond-3d-printing/>
- [23] Additive blog: 3D Printing Materials [online]. 2020 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.additive.blog/knowledge-base/3d-printing-materials/#slm-metal>
- [24] E-Plus-3D: Accuracy of 3D Printed Parts [online]. Peking, 2022 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.eplus3d.com/accuracy-of-3d-printed-parts.html>
- [25] ExOne: What is Binder Jetting [online]. North Huntingdon, 2021 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.exone.com/en-US/Resources/case-studies/what-is-binder-jetting>
- [26] 3D Tech valley: Binder Jetting 3D Printing Technology [online]. Houston, 2021 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.3dtechvalley.com/binder-jetting-3d-printing/>
- [27] Voxeljet: 3D sand printing for casting molds & cores [online]. Friedberg, 2021 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.voxeljet.com/3d-printing-solution/sand-casting/>
- [28] Fast radius: An overview of binder jetting [online]. Michigan, 2022 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.fastradius.com/resources/overview-binder-jetting/>
- [29] LANGNAU, Leslie. Make parts fast: What is Continuous Fiber Fabrication (CFF) [online]. 2017 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://www.makepartsfast.com/continuous-fiber-fabrication-cff/>

- [30] Markforged: 3D Printer Types & Technologies [online]. Waltham, 2020 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-introduction/3d-printer-types-technologies>
- [31] Tecnotrade, obráběcí stroje: Anisoprint [online]. Kuřim, 2021 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://www.objet.cz/anisoprint>
- [32] Markforged: Carbon fiber [online]. Waltham, 2020 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://markforged.com/materials/continuous-fibers/continuous-carbon-fiber>
- [33] MALAN, Andrea. Automotive news Europe: Clay models stay relevant in era of virtual reality and 3D modeling [online]. Detroit, 2019 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://europe.autonews.com/automakers/clay-models-stay-relevant-era-virtual-reality-and-3d-modeling>
- [34] BOROCZKY, Ferenc. Anet360: Why car companies still use clay models: A look into the art of car design [online]. London, 2023 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.anet360.com/post/clay-car-models>
- [35] Hackaday: Will carmakers switch clay for computers [online]. Pasadena, 2023 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://hackaday.com/2023/03/03/will-carmakers-switch-clay-for-computers/>
- [36] CARNEY, Dan. Design news: Just how did Vital Auto 3D print those concept cars [online]. Santa Monica, 2022 [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.designnews.com/automotive-engineering/just-how-did-vital-auto-3d-print-those-concept-cars>
- [37] HAFEEZ, Imani. Solid print 3D: Discover how 3D Printing helps to develop the concept cars of tomorrow in this customer success story [online]. Kenilworth, 2022 [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.solidprint3d.co.uk/vital-auto-story/>
- [38] EVANS, Rachel. Automotive testing technology international: 3D printing enhances aerodynamics testing for McLaren Racing [online]. 2022 [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.automotivetestingtechnologyinternational.com/news/3d-printing-enhances-aerodynamics-testing-for-mclaren-racing.html>
- [39] 3D with us: The role of 3D printing in concept car creation [online]. 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://3dwithus.com/the-role-of-3d-printing-in-concept-car-creation>
- [40] QUAN, Tori a Leo GREGURIĆ. All3DP: The 10 coolest 3D printed cars [online]. Mnichov, 2022 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/coolest-3d-printed-cars/>
- [41] FIŠER, Adam. Autosalon.TV: Z klidu na 500 km/h za pár sekund. Bugatti představilo extrémní model Bolide [online]. 2020 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.autosalon.tv/novinky/nova-auta/z-klidu-na-500-km-h-za-par-sekund-bugatti-predstavilo-extremni-model-bolide>

- [42] BALDWIN, Roberto. Car and driver: Porsche's 3D-Printed Pistons Could Add 30 HP to the 911 GT2 RS [online]. 2020 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.caranddriver.com/news/a33289636/porsches-3d-printed-pistons-911-gt2-rs/>
- [43] Make parts fast: How Toyota cuts manufacturing costs with 3D printers [online]. 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.makepartsfast.com/how-toyota-cuts-manufacturing-costs-with-3d-printers/>
- [44] 3D Protofab: SLA 3D Printing in the Automotive Industry [online]. Xiamen, 2019 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.3dprotofab.com/sla-3d-printing-in-the-automotive-industry.html>
- [45] WILLIAMS, Adrian. 3D printing industry: Ford creates “largest 3D-printed metal part” for a vehicle in five days [online]. 2019 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/ford-creates-largest-3d-printed-metal-part-for-a-vehicle-in-five-days-148284/>
- [46] O'KANE, Tony. Which car: 3D printing and the automotive industry [online]. Melbourne, 2020 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.whichcar.com.au/car-style/3d-printing-and-the-automotive-industry>
- [47] NEHLS, Grace. Composite world: Stratasys produces 500 3D-printed parts for the Lotus Type 62-2 coachbuilt sports car [online]. Cincinnati, 2022 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.compositesworld.com/news/stratasys-produces-500-3d-printed-parts-for-the-lotus-type-62-2-coachbuilt-sports-car>
- [48] Javelin tech: Custom automotive manufacturing with Stratasys large format printers [online]. Oakville, 2022 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.javelin-tech.com/blog/2022/02/custom-automotive-manufacturing-with-stratasys-large-format-printers/>
- [49] DAY, Lewin. The drive: Take a Look at the Hand-Built Interior of the Radford Lotus Type 62-2 [online]. 2021 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.thedrive.com/news/43091/take-a-look-at-the-hand-built-interior-of-the-radford-lotus-type-62-2>
- [50] KMOŠEK, Jakub. Blog Prusa 3D: Tatra metalurgie – Desktop 3D printer in a heavy industry [online]. Praha, 2019 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: https://blog.prusa3d.com/tatra-metalurgie-desktop-3d-printer-in-a-heavy-industry_56701/
- [51] Humtown: 3D printed sand cores and molds [online]. Leetonia, 2019 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.humtown.com/3d-printed-sand-cores-molds>
- [52] CHANDAVARKAR, Aditya. AM chronicle: Opportunities for 3D Printing in foundry and casting applications [online]. Bombaj, 2020 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.amchronicle.com/insights/opportunities-for-3d-printing-in-foundry-and-casting-applications/>

- [53] EOS: Industrial 3D printing for molds and tools [online]. Krailling, 2023 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.eos.info/en/innovations/all-3d-printing-applications/production-and-industry/tooling-diecast-molding>
- [54] Formlabs: How to use 3D printing for injection molding [online]. Boston, 2020 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/3d-printing-for-injection-molding/>
- [55] Formlabs: How to manufacture carbon fiber parts [online]. Boston, 2021 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://formlabs.com/eu/blog/composite-materials-carbon-fiber-layup/>
- [56] SMI Composites: Carbon fiber production and carbon fiber parts [online]. Comer, 2021 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://smicomposites.com/carbon-fiber-production-and-carbon-fiber-parts-what-are-the-basics/>
- [57] SERTOGLU, Kubi. 3D printing industry: Škoda leverages 3D printing technology to streamline automotive production [online]. 2021 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/skoda-leverages-3d-printing-technology-to-streamline-automotive-production-201197/>
- [58] MAKRIDENKOV, Aleks. Asleshka artstation: BMW M2 Competition F87 restyling custom carbon parts [online]. 2022 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://asleshka.artstation.com/projects/5XNdL8>
- [59] VIALVA, Tia. 3D printing industry: Extreme tuners create lightweight 3D printed carbon composite connector rods [online]. 2019 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://3dprintingindustry.com/news/extreme-tuners-create-lightweight-3d-printed-carbon-composite-connector-rods-165641/>
- [60] AUERBACH, Alejandro. All3DP: Reverse engineering & 3D printing classic car parts [online]. Mnichov, 2021 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/reverse-engineering-3d-printing-classic-car-parts/>
- [61] Relativity space: Factory of the future [online]. Long Beach, 2023 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.relativityspace.com/stargate>
- [62] KAUPPILA, Ile. All3DP: What Is Material Jetting [online]. Mnichov, 2022 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/what-is-material-jetting-3d-printing-basics/>
- [63] MOLITCH-HOU, Michael. Engineering: Audi leverages full-color, Multi-material 3D printing for tail light testing [online]. Mississauga, 2018 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/story/audi-leverages-full-color-multi-material-3d-printing-for-tail-light-testing>
- [64] TOBERER, Nadine. Newsroom Porsche: Sales launch for innovative 3D-print bodyform full bucket seat [online]. Stuttgart, 2021 [cit. 2023-05-05]. Dostupné z: <https://newsroom.porsche.com/en/2021/products/porsche-innovative-3d-print-bodyform-full-bucket-seat-sales-launch-26060.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ABS	Akrylonitril butadien styren
ASA	Akrylonitril styren akrylát
BVOH	Butenediol vinylalkohol kopolymer
CFC	Continuous fiber coextrusion
CFF	Continuous fiber fabrication
CFRP	Carbon fiber reinforced polymer
DLP	Digital light processing
DMLM	Direct metal laser melting
DMLS	Direct metal laser sintering
DMP	Direct metal printing
EBM	Electron beam melting
EM	Electromagnetic
FDM	Fused deposition modeling
FFF	Fused filament fabrication
HIPS	High impact polystyrene
IPA	Izopropylalkohol
LCD	Liquid crystal display
LPBF	Laser powder based fusion
MLS	Metal laser sintering
MSLA	Masked Stereolithography Apparatus
PBF	Powder bed fusion
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylén tereftalát
PETG	Polyethylén tereftalát glykol
PLA	Polyactic acid
PP	Polypropylén
PVA	Polyvinyl alkohol
SHS	Selective heat sintering
SLA	Stereolitografie
SLM	Selective laser melting
SLS	Selective laser sintering
UV	Ultraviolet