

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: N0413A050001 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: Specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

Potenciál implementace technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu

Diplomová práce

Bc. Dominik Tvrzický

Vedoucí práce: prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Bc. Dominik Tvrzický**

Studijní program: **Ekonomika a management**

Specializace: **Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců**

Název tématu: **Potenciál implementace technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu**

Cíl: Cílem této diplomové práce je analyzovat a vyhodnotit technologii 3D tisku a možnosti implementace této technologie v automobilovém průmyslu. Na základě systematické literární rešerše odborných zdrojů a případových studií z praxe shrnout možnosti současného uplatnění a navrhnout a vyhodnotit budoucí inovativní směry implementace této technologie.

Rámcový obsah:

1. Shrňte inovativní technologie, nové výrobní postupy a nástroje používané v automobilovém průmyslu.
2. Charakterizujte současný stav technologie 3D tisku, využívané materiály a oblasti uplatnění.
3. Proveďte systematickou literární rešerši odborných zdrojů a případových studií zaměřených na současné a budoucí uplatnění 3D tisku v automobilovém průmyslu.
4. Analyzujte a vyhodnoťte současné a budoucí možnosti uplatnění 3D tisku, vyhodnoťte jeho potenciální přínosy a rizika pro automobilový průmysl.

Rozsah práce: 55 – 65 stran

Seznam odborné literatury:

1. *Smart Factory and Industry 4.0: The Current State of Application Technologies*. München: GRIN Verlag GmbH, 2016. 170 s. ISBN 978-3946458968.
2. ROSS, A. *Obory budoucnosti*. 1. vyd. Argo, 2019. 330 s. Crossover ;. ISBN 978-80-257-2881-9.
3. *Wohlers Report 2016: 3D printing and additive manufacturing state of the industry : annual worldwide progress report*. Wohler Associates, 2016. 335 s. ISBN 978-0-9913332-2-6.
4. BRYNJOLFSSON, E. – MCAFEE, A. *Druhý věk strojů.: Práce, pokrok a prosperita v éře špičkových technologií*. 1. vyd. Brno: Jan Melvil Publishing, 2015. ISBN 978-80-87270-71-4.
5. HEŘMAN, J. *Průmyslové technologie pro ekonomy*. 1. vyd. Praha: Oeconomica, 2013. ISBN 978-80-245-1907-4.

Datum zadání diplomové práce: únor 2021

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2022

L. S.

Elektronicky schváleno dne 15. 9. 2022

Bc. Dominik Tvrzický

Autor práce

Elektronicky schváleno dne 15. 9. 2022

prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.

Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 16. 9. 2022

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.

Garant studijní specializace

Elektronicky schváleno dne 22. 9. 2022

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.

Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

.....
Bc. Dominik Tvrzický

Děkuji panu prof. Ing. Radimu Lenortovi, Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce, poskytování rad a informačních podkladů.

Zároveň bych rád poděkoval mé rodině a přátelům, kteří mi byli oporou po dobu psaní této diplomové práce i během celého navazujícího studia.

Obsah

Úvod	9
1 PRŮMYSLOVÁ VÝROBA.....	11
1.1 Vývojová stádia průmyslové výroby	11
1.2 Průmyslová revoluce	12
1.3 Vznik iniciativy Průmyslu 4.0	17
1.4 Digitalizace a robotizace v průmyslovém odvětví	21
1.5 Nové technologie a způsoby výroby	26
2 TECHNOLOGIE 3D TISKU.....	28
2.1 3D Tisk.....	28
2.2 Historické souvislosti	28
2.3 Výrobní proces aditivní výroby	30
2.4 Přehled a princip jednotlivých tiskových metod	32
2.4.1 FDM (FFF).....	32
2.4.2 SLA (Stereolitografie)	34
2.4.3 SLS / SLM	36
2.5 Používané materiály.....	37
2.5.1 Plasty a termoplasty	38
2.5.2 Pryskyřice (resiny)	40
2.5.3 Kovové materiály	41
2.6 Možnosti uplatnění aditivní výroby	42
3 ANALÝZA SOUČASNÉHO UPLATNĚNÍ 3D TISKU V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	45
3.1 Současné uplatnění zmíněné technologie v automobilovém průmyslu	45
3.1.1 Předvýrobní produkce (prototypování)	46
3.1.2 Funkční díly pro koncové použití.....	48
3.1.3 Montážní přípravky	54
3.1.4 Náhradní díly	60
3.2 Vyhodnocení současné implementace technologie v automobilovém průmyslu.....	65
4 BUDOUCÍ POHLED NA UPLATNĚNÍ 3D TISKU V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	68
4.1 Transformace dodavatelského řetězce.....	71

4.1.1	Decentralizace výroby	72
4.1.2	Výroba na zakázku (kustomizace)	74
4.1.3	Environmentální aspekty	75
4.2	Potenciál využití aditivní technologie	76
4.2.1	Výroba pneumatik pro automobily.....	77
4.2.2	Automobily (výroba karoserií)	78
4.3	Klíčové faktory pro implementaci technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu.....	79
4.4	Vlastní doporučení pro implementaci	82
4.4.1	Analýza nákladů pro vybranou technologii.....	83
	Závěr.....	86
	Seznam literatury	88
	Seznam obrázků a tabulek.....	98
	Seznam příloh	100

Seznam použitých zkratk a symbolů

ABS	Akrylonitril butadien styren (<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>)
AI	Umělá inteligence (<i>Artificial Intelligence</i>)
AM	Aditivní výroba (<i>Additive Manufacturing</i>)
ASA	Akrylonitril styren akrylát (<i>Acrylonitrile Styrene Acrylate</i>)
BMW	Bayerische Motoren Werke
CAD	Počítačem podporované projektování (<i>Computer Aided Design</i>)
CPS	Kyberneticko-fyzikální systémy (<i>Cyber-Physical Systems</i>)
CRM	Řízení vztahů se zákazníky (<i>Customer Relationship Management</i>)
CSAIL	Computer Science and Artificial Intelligence Lab
DHL	Dalsey, Hillblom a Lynn
DLP	Působení světla z digitálního projektoru (<i>Digital Light Processing</i>)
DMLS	Technologie spékání práškového lože (<i>Direct Metal Laser Sintering</i>)
EOS	Německá společnost (<i>Electro Optical Systems</i>)
ERP	Řízení a plánování zdrojů (<i>Enterprise Resource Planning</i>)
EV	Elektromobil (<i>Electric Vehicle</i>)
FDM	Výroba taveným vláknem (<i>Fused Deposition Modeling</i>)
FFF	Výroba taveným vláknem (<i>Fused Filament Fabrication</i>)
HP	Hewlett-Packard
IoT	Internet věcí (<i>Internet of Things</i>)
LCD	Displej z tekutých krystalů (<i>Liquid Crystal Display</i>)
M2M	Přímá komunikace mezi zařízeními (<i>Machine to Machine</i>)
MSLA	Maskovaná stereolithografie (<i>Mask Stereolithography</i>)
PA	Polyamid (<i>Polyamide</i>)
PC	Osobní počítač (<i>Personal Computer</i>)
PC	Polykarbonát (<i>Polycarbonate</i>)

PET	Polyetylen tereftalát (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)
PETG	Polyetylen tereftalát glykol (<i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>)
PLA	Kyselina polyléčná (<i>Polylactic Acid</i>)
PLC	Programovatelný logický automat (<i>Programmable Logic Controller</i>)
SLA	Stereolitografie (<i>Stereolithography</i>)
SLM	Selektivní laserové tavení (<i>Selective Laser Melting</i>)
SLS	Selektivní laserové slinování (<i>Selective Laser Sintering</i>)
STL	Datový formát souboru (<i>Standard Template Library</i>)
ŠA	ŠKODA AUTO a.s.
TPU	Termoplastický polyuretan (<i>Thermoplastic Polyurethane</i>)
Uptis	Unique Puncture-proof Tire System
VR	Virtuální realita (<i>Virtual Reality</i>)
VW	Volkswagen AG

Úvod

Dnešní moderní svět se poměrně rychle mění. Stále větší důraz je totiž kladen na vývoj nových technologií, které usnadní a zároveň optimalizují nejen výrobu, ale i každodenní život. Rovněž automobilový průmysl se vyznačuje vysokou inovativností, pokrokem a konkurenceschopností a zahrnuje velké dodavatelské řetězce. V současné době je srdcem automobilového průmyslu - Průmysl 4.0, který těží z digitálních technologií a měnících se požadavků na služby mobility, autonomního řízení a elektrifikace. Jedním z „devíti pilířů“ Průmyslu 4.0 je aditivní výroba, známá také jako „3D tisk“.

3D tisk je druh aditivní (přídavné) výroby, při kterém se vytváří fyzický model z digitální předlohy – CAD modelu. Požadovaného tvaru objektu je dosaženo postupným přidáváním materiálu v tenkých vrstvách na sebe. Tím se liší od konvenčních metod, jako je obrábění či frézování, kde je materiál z polotovaru naopak postupně odebírán. Výsledkem je pak trojrozměrný předmět, u kterého lze dosáhnout velmi dobré kvality, a to i u složitějších tvarů. U těchto dílů se ve většině případů nesmí zapomenout na dokončovací povrchové úpravy pro zlepšení kvality.

Tato diplomová práce je zaměřena na potenciál implementace technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu. Hlavním cílem diplomové práce je analyzovat a vyhodnotit technologii 3D tisku a možnosti implementace této technologie v automobilovém průmyslu. Na základě systematické literární rešerše odborných zdrojů a případových studií z praxe shrnout možnosti současného uplatnění a navrhnout a vyhodnotit budoucí inovativní směry implementace této technologie. Práce je rozdělena do dvou částí, na část teoretickou a část empirickou.

Teoretická část práce poskytuje teoretický základ a definuje pojem „průmyslová výroba“. Charakterizuje jednotlivá stádia průmyslové výroby, popisuje průběžné průmyslové revoluce, včetně významných objevů a industriálních technologií. Kapitola také blíže představuje Průmysl 4.0 a zmiňuje digitalizaci a robotizaci v průmyslovém odvětví. Nakonec také zmiňuje nové technologie a způsoby výroby. Následuje kapitola zaměřená na samotnou technologii 3D tisku. Zde jsou popsány okolnosti jejího vzniku a vysvětlen obecný princip fungování. Pozornost je věnována používaným tiskovým materiálům. Zde jsou podrobně popsány tři hlavní skupiny materiálů, vysvětlena vhodnost použití a doplněny základní chemické a mechanické

vlastnosti. V závěru teoretické části jsou představeny možnosti uplatnění aditivní výroby v různých výrobních i nevýrobních oblastech.

Empirická část práce vychází ze systematické literární rešerše odborných zdrojů a případových studií zaměřených na současné a budoucí uplatnění 3D tisku v automobilovém průmyslu. V rámci analýzy současného uplatnění jsou představeny a detailně prozkoumány reálné praktické příklady u různých automobilových společností. Tuto část doplňuje podkapitola vyhodnocení současné implementace v podobě porovnání výhod a nevýhod. Budoucí pohled na uplatnění 3D tisku v automobilovém průmyslu přináší analýzu vývoje této oblasti a budoucí prognózu tržeb. Analýza následně zmiňuje přijetí polymerní a kovové aditivní výroby a naznačuje její zaměření s ohledem na použité materiály. Následuje podkapitola zabývající se transformací dodavatelského řetězce. Zde jsou popsány tři budoucí výhledy, které ilustrují, jak mohou automobilové společnosti spolupracovat s poskytovateli logistických služeb na integraci 3D tisku do svých dodavatelských řetězců. V neposlední řadě jsou zmíněny oblasti, které představují budoucí potenciál pro implementaci nebo již nějakým způsobem technologii adoptovaly.

Ke konci empirické části jsou autorem detailně popsány klíčové faktory pro implementaci technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu. Na úplný závěr přidává autor vlastní doporučení pro implementaci, včetně konceptu analýzy nákladů pro vybranou technologii.

1 PRŮMYSLOVÁ VÝROBA

V úvodu této kapitoly je představen pojem průmyslové výroby. Dále se kapitola věnuje jednotlivým průmyslovým revolucím, které nastaly za dobu lidské existence, a to včetně současného trendu - Průmyslu 4.0. V další části kapitoly jsou pak popsány základní definice pojmů digitalizace a robotizace. Nakonec jsou představeny nové technologie a způsoby výroby.

1.1 Vývojová stádia průmyslové výroby

Výroba patří obecně k jedné z nejdůležitějších činností lidstva. Při výrobě typicky vznikají statky a služby, které mají uspokojit lidské potřeby. Moderní ekonomie chápe výrobu jako přeměnu výrobních faktorů do finálních produktů. Mezi hlavní výrobní faktory se dnes řadí kromě práce, půdy a kapitálu také informace (Heřman a Horová, 2013).

Pojem výroba je poměrně obsáhlý. Z tohoto pohledu je například rozeznávána výroba rukodělná, klasická, sériová, malovýroba, velkovýroba nebo výroba na zakázku atd. (Stehlík a Kapoun, 2008).

Díky dobře uspořádané a orientované výrobě jsou často naplňovány předem stanovené cíle podniku. Ať už se jedná o cíle obecné, jako je maximalizace zisku nebo maximalizace hodnoty podniku, tak o cíle specifické, jako je například dosahování konkurenceschopnosti v odvětví (Heřman a Horová, 2013).

Průmyslová výroba je jedním z klíčových odvětví světové ekonomiky, postavená na dlouhodobé historii nejtradičnějšího oboru strojírenské výroby. Typ výroby na průmyslový způsob započal v některých oborech již v 16. století, a to hlavně v zemích s nejrozvinutější ekonomikou a obchodem – Nizozemsku a Velké Británii. V průběhu 19. století se pak výrobní procesy přeorganizovaly na průmyslové linky a typickou pásovou výrobu. Výroba v manufakturách tak byla přenesena do továren dnešního typu (Počta, 2012).

Samotná průmyslová výroba je chápána jako postupná přeměna výchozí suroviny nebo materiálu v konečný vyhovující výrobek. Tyto přeměny jsou prováděny především fyzikální cestou – působením vnějších sil na zpracovávané suroviny a materiály. Tímto způsobem je dosahováno změny tvaru a velikosti. Nebo cestou

chemickou, biochemickou, kdy dochází ke změnám ve složení zpracovávaného produktu (Heřman a Horová, 2013).

1.2 Průmyslová revoluce

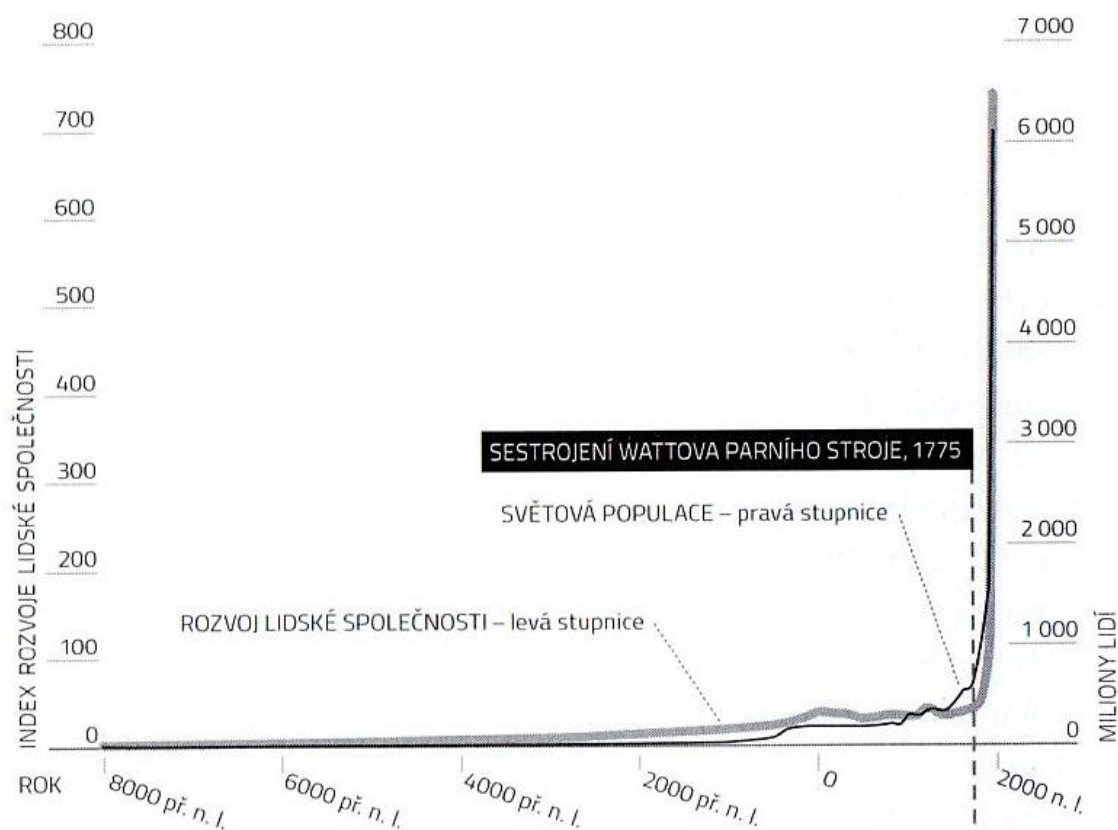
V úvodu je nutné blíže specifikovat samotný pojem revoluce, který je nejčastěji možné chápat jako situaci nebo období, kdy v našem světě dochází k tak velkým a zásadním změnám, které svým dopadem ovlivňují celou lidskou společnost (Cejnarová, 2015). V několika publikacích se lze s tímto termínem také setkat ve spojitosti s první průmyslovou revolucí, která započala v druhé polovině 18. století v Anglii. Mezi vědci a historiky panuje přesvědčení o velké důležitosti tohoto období.

Například jeden z nich Ian Morris tvrdí: *„I když trvalo několik desetiletí, než revoluce pokročila, šlo bezpochyby o největší a nejrychlejší proměnu v dějinách celého lidstva“* (Brynjolfsson a McAfee, 2015, str. 15). Morris při svém výzkumu a později i ve své knize použil pro srovnání stupně civilizačního rozvoje měření pomocí čtyř atributů (ČMKOS, 2017):

- získávání energie (k životu, pro pohon strojů atd.),
- organizace (velikost největšího města),
- schopnost válčit (počet vojáků, síla a rychlost zbraní),
- informační technologie (rozsah jejich využití).

Každý z těchto atributů je podle speciálních měřítek následně převeden na číslo v rozsahu od nuly do 250. Celkový civilizační rozvoj je pak součtem těchto čtyř jednotlivých číselných hodnot. Získané číselné hodnoty v podobě indexu rozvoje lidské společnosti, které jsou měřeny v horizontu 10 tisíc let až do nedávné současnosti – roku 2000, převedl nakonec Morris do přehledné grafické podoby (viz Obr. 1).

Na vodorovné ose x je uvedena časová osa a na levé svislé ose y jsou vyneseny odhadnuté hodnoty zmíněného indexu rozvoje lidské společnosti. Poslední údaj je zobrazen na pravé svislé ose y, kde se nacházejí odhady absolutního počtu světové populace (ČMKOS, 2017).

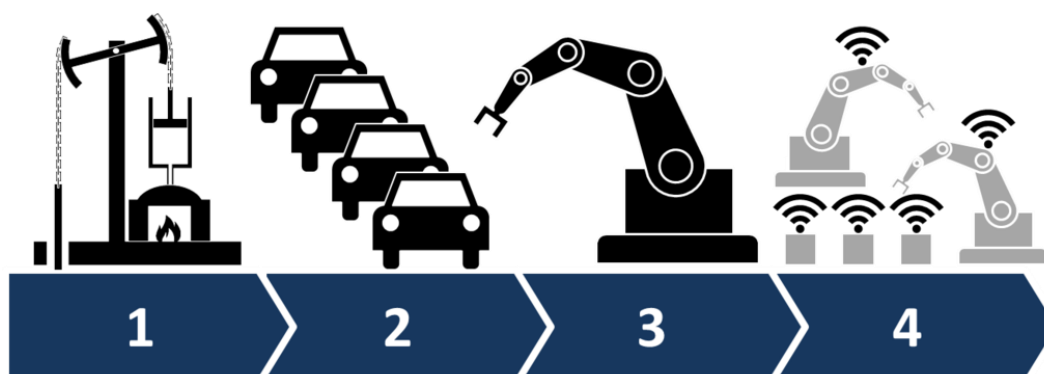


Zdroj: (Brynjolfsson a McAfee, 2015, str. 16)

Obr. 1 Index rozvoje lidské společnosti

Z obrázku 1 je patrné, že lidstvo se po mnoho tisíc let vyvíjelo pozvolna a jeho rozvoj byl poměrně pomalý, téměř neviditelný. Ovšem na konci 18. století došlo k náhlé změně a ohnutí obou křivek – populace a společenského rozvoje téměř o devadesát stupňů. Tento zásadní zlom byl způsoben fenoménem, který byl pojmenován jako období první průmyslové revoluce, které odstartovalo i etapu prvního věku strojů (Brynjolfsson a McAfee, 2015).

V novodobé historii byla pak každá průmyslová revoluce charakterizována nástupem klíčové industriální technologie (viz Obr. 2).



Zdroj: (Roser, 2018)

Obr. 2 Vývojové etapy průmyslových revolucí

První průmyslová revoluce

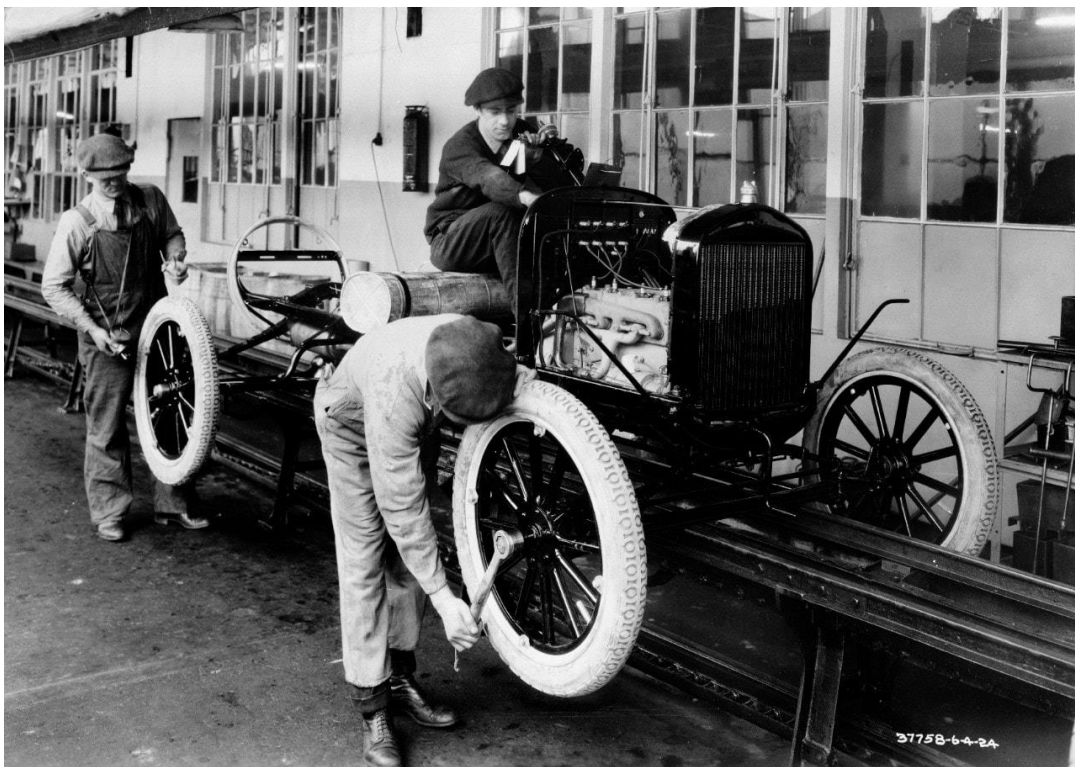
Jak už bylo výše zmíněno, první průmyslová revoluce – taktéž někdy nazývaná technicko-vědecká revoluce byla odstartována ke konci 18. století. V rámci této revoluce byly masivně využívány nové zdroje energie, a to zejména uhlí (resp. pára), díky čemuž se hlavním symbolem této revoluce stal právě parní stroj, který vynalezl v roce 1765 skotský vynálezce James Watt. V této době také docházelo k zásadním změnám v zemědělství, v těžbě nebo k přechodu od ruční ke strojní velkovýrobě v manufakturách. V souvislosti s tímto obdobím se často proto hovoří o tzv. industrializaci. To vše mělo obrovský dopad na celou společnost a také velmi ovlivnilo celé národní hospodářství (Cejnarová, 2015).

Druhá průmyslová revoluce

Druhá průmyslová revoluce započala o necelých sto let později a je datována mezi lety 1870 – 1914. Podobně jako se pára stala symbolem první průmyslové revoluce, symboly druhé průmyslové revoluce se stávají zejména elektrická energie, spalovací motory, telefon nebo chemie.

Zásadními milníky této revoluce byly především rok 1870, kdy společnost Cincinnati instalovala ve svém závodě první montážní linku, díky čemuž započala tzv. dělba práce. Později byla tato linka elektrifikována, což znamenalo další prudký rozvoj masové výroby. Velkou zásluhu na vývoji druhé průmyslové revoluce měli také pánové T. A. Edison se svým vynálezem žárovky v roce 1879 a N. Tesla s konstrukcí transformátoru, který se používá dodnes při napájení elektrických spotřebičů (ČMKOS, 2017).

Konec 19. století a začátek 20. století je také spojen se vznikem zcela nového odvětví – automobilismu. V roce 1886 přichází C. F. Benz s patentem prvního vozu se spalovacím motorem na benzín. Dochází k založení mnoha automobilek, jako je např. Benz & Co (v současné době Mercedes-Benz) nebo Daimler Motoren Gesellschaft či Peugeot. Bohužel většina výrobců vyráběla vozy v této době pouze kusově, a proto se jednalo o výrobky, které si mohla dovolit jen bohatší vrstva obyvatel. Tohoto faktu si však všiml americký průmyslník Henry Ford, zakladatel firmy Ford Motor Company, jenž měl zásluhu také na zavedení první pohyblivé montážní linky a pásové výroby (viz Obr. 3).



Zdroj: (Ford Motor Company, 2013)

Obr. 3 Pohyblivá montážní linka firmy Ford

Ačkoliv rozvoj druhé průmyslové revoluce nastal převážně v zahraničí, bezpochyby měla vliv i na vývoj průmyslu na území Čech. Například Václav Laurin a Václav Klement, Emil Škoda nebo jedna z nejuznávanějších průmyslových osobností Tomáš Baťa se postarali o to, že Československo patřilo v tomto období mezi silné hospodářské země (Tesařík, 2014).

Třetí průmyslová revoluce

Mezi hlavní znaky této „digitální“ revoluce je považována především automatizace a rozmach elektroniky společně s informačními technologiemi. Obecně je počátek třetí průmyslové revoluce nejčastěji spojován s rokem 1969, kdy byl vyroben první programovatelný logický automat neboli PLC (angl. Programmable Logic Controller). Toto konkrétní zařízení bylo možné považovat za jakýsi malý průmyslový počítač, využitelný pro automatizaci procesů v reálném čase (Cejnarová, 2015).

V polovině 70. let 20. století uvedly firmy jako Apple, IBM či Hewlett-Packard postupně na trhy nový produkt – osobní počítač PC (angl. Personal Computer). Ovšem asi neznámější firmou 90. let se stala americká společnost Microsoft, která se zaměřila na vývoj a produkci operačních softwarů a umožnila Billu Gatesovi, jakožto spoluzakladateli společnosti, stát se jedním z nejbohatších lidí světa.

Vedle automatizace je pro tuto dobu typická také robotizace, digitalizace nebo vývoj nových progresivních materiálů, které se vyznačují vysokou houževnatostí, pevností a vynikajícími fyzikálními i mechanickými vlastnostmi. Velké změny proběhly také ve výrobě, ale i v dalších odvětvích, kde byly představeny první elektronicky řízené stroje, a došlo k celkové digitalizaci průmyslových oblastí (Konstrukter, 2015).

Čtvrtá průmyslová revoluce

V pořadí již čtvrtá průmyslová revoluce probíhá právě nyní a někdy je také nazývána uceleným názvem jako – Průmysl 4.0 (Industry 4.0). Nestojíme však na jejím úplném začátku, tato samotná revoluce už dávno započala a předpokládá se, že bude trvat zhruba dalších 10 – 30 let. Jejím hlavním znakem je především masové rozšíření internetu a jeho postupný průnik do téměř všech oblastí lidských činností moderního světa. Pojem „*Internet*“ vznikl už v roce 1987 a k jeho komercializaci došlo v roce 1994. Koncem 90. let pak započal extrémní nárůst uživatelů internetu, který i v dnešní době zažívá stále větší boom. K síti se však nyní začínají kromě lidí připojovat také stroje a věci obecně. Jinak řečeno, reálné a virtuální světy se začínají propojovat, do hry vstupují CPS (tzv. kyber-fyzikální systémy), které výhledově zastanou opakující se rutinní činnosti dosud vykonávané lidmi (Cejnarová, 2015).

Ačkoli čtvrtá průmyslová revoluce nepřináší zcela nové, převratné technologie, lze zcela jistě hovořit o další vývojové epoše. Základním principem Průmyslu 4.0 je totiž co nejefektivněji využít možností technologií současných. A to hlavně díky komunikaci výpočetní techniky – potažmo strojů a zařízeními mezi sebou navzájem (Mařík a kol., 2016).

1.3 Vznik iniciativy Průmyslu 4.0

Koncept Industrie 4.0 (originální název) vznikl podle metodické příručky ČMKOS (Člověk a stroj, 2017) na základě zadání německé vlády, která v roce 2006 spustila projekt „*High Tech strategy*“, reprezentující první národní koncept, jež měl spojit klíčové odborníky za účelem posunu ve vývoji nových špičkových technologií. Poté byl v roce 2013 na strojírenském veletrhu v Hannoveru představen první koncept chytré továrny a tím vše odstartovalo.

Samotný základ iniciativy Průmyslu 4.0 vytvořila velice úspěšná firma Siemens ve spolupráci s německou vládou. Účelem vytvoření byla především propagace technologického pokroku a zavedení nových technologií nejen do průmyslu, ale i do běžných domácností (vznik termínu Smart house neboli chytrý dům). Následně se k této iniciativě přidaly další evropské země a firmy, které sympatizují s myšlenou rozšíření automatizace, robotizace a digitalizace v průmyslovém odvětví. Podstatou Průmyslu 4.0 je mimo jiné také snaha o rozšíření konkurenceschopnosti a nezávislosti evropských zemí proti rostoucím ekonomickým supervelmocem jako Čína nebo Indie (Grunow, 2015).

Mezi největší propagátory Průmyslu 4.0 patří například společnosti: Bosch, Siemens AG, Deutsch Bank, Wittenstein, SAS Automotive Systems, BMW, Volkswagen Group (Volkswagen, Seat, Audi, Škoda, Ducati) atd.

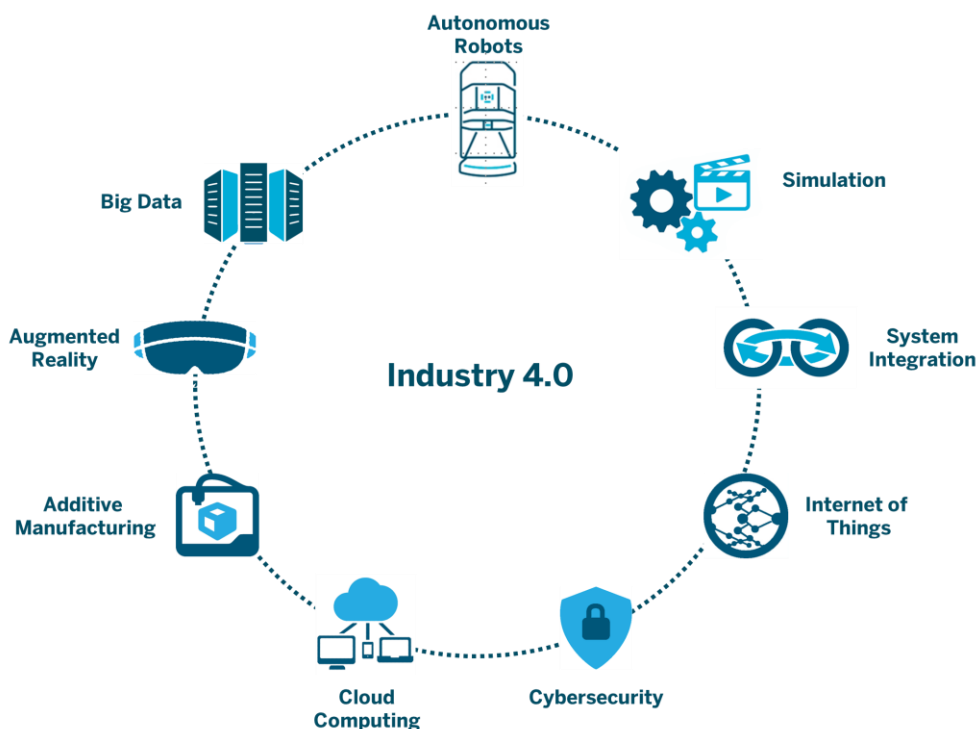
Technologie Průmyslu 4.0

Přirozeným místem, ve kterém je uplatňován koncept Průmyslu 4.0, je takzvaná „**Chytrá továrna**“ (Smart factory). Chytré továrny jsou klíčovým prvkem přechodu k digitalizovanému a automatizovanému podnikání. Tyto továrny budou schopny zvládnout výkyvy poptávky, budou více odolné vůči poruchám a zároveň dokážou vyrábět maximálně efektivně podle zákaznických požadavků. Stroje, lidé a prostředky spolu dokážou nejen přirozeně komunikovat, ale i spolupracovat (ČMKOS, 2017).

Z definice výše je patrné, že chytrá továrna přináší řadu výhod, jako je například (ČMKOS, 2017):

- snížení výrobních nákladů,
- efektivní využití zdrojů,
- individualizované produkty v jedno-kusové výrobní dávce,
- flexibilní, autonomní a adaptivní výrobu,
- vyšší produktivita,
- orientaci na zákazníka,
- poskytování lepšího servisu nebo zkrácení procesů i průběžných časů.

Aby se tradiční průmysl stal chytrou továrnou, vyžaduje to většinou zapojení a motivaci vedení společnosti, stejně jako profesionálně znalé pracovní týmy, které mohou vést transformaci. Samotná chytrá továrna není jen o nasazení jednoho softwaru na celém pracovišti a okamžitém zlepšení výrobního procesu. K optimalizaci chytré výroby přispívá kombinace devíti klíčových technologií (viz Obr. 4).



Zdroj: (Aethon, 2018)

Obr. 4 Klíčové technologie Průmyslu 4.0

Jak už bylo výše zmíněno, Průmysl 4.0 je postaven na devíti technologických pilířích. Tyto inovace spojují především fyzické a digitální světy a umožňují řízení inteligentních a autonomních systémů. Podniky a dodavatelské řetězce již používají některé z těchto pokročilých technologií, ale plný potenciál Průmyslu 4.0 přichází k životu, až když se používají všechny společně. Dále jsou blíže popsány a vysvětleny jednotlivé technologické pilíře:

Velká data (Big Data) jsou veškeré informace získané spojením mezi stroji, zařízeními a nástroji, přes informace z podnikových systémů například ERP a CRM až po aplikace pro počasí a provoz, které musí být shromažďovány a analyzovány v reálném čase.

Cloudové monitorování (Cloud Computing) je virtuální místo, kde je možné ukládat všechny informace a velký objem dat, která jsou generována jak v zařízení (roboti, senzory atd.), tak v konkrétních nástrojích (MES, ERP atd.).

Cloudová úložiště navíc umožňují podnikům flexibilně reagovat na kapacitní požadavky a toky zboží.

Internet věcí (Internet of Things) je klíčovou součástí chytrých továren. Stroje v továrně jsou vybaveny senzory, které mají vlastní IP adresu, která umožňuje počítačům připojit se k jiným zařízením s podporou webu. Tato konektivita mezi stroji umožňuje koordinovat systémy, zachycovat data, mít dálkově řízenou výrobu a také vyměňovat si informace mezi systémy a produkty (Nexus Integra, 2020).

Kybernetická bezpečnost (Cyber-security) je základní technologií v inteligentní továrně, protože ochrana soukromí a dat je pro průmyslová odvětví nejdůležitějším aspektem. Například implementací architektury nulové důvěry (anglicky Zero Trust) a technologií, jako je strojové učení a Blockchain, mohou společnosti automatizovat detekci hrozeb, prevenci a minimalizovat tak riziko narušení dat a zpoždění výroby v jejich sítích.

Autonomní roboti (Autonomous robots) jsou většinou naprogramováni tak, aby prováděli úkoly s minimálním zásahem člověka. V zásadě se liší velikostí a svými funkcemi – od dronů pro skenování inventáře až po autonomní mobilní roboty pro operace vyzvedávání a umístování. Autonomní roboti jsou vybaveni špičkovým softwarem, umělou inteligencí, senzory a strojovým viděním. Jsou schopni provádět

náročné a přesné úkoly a dokážou rozpoznat, analyzovat a reagovat na informace, které dostávají od svého okolí.

Virtuální a rozšířená realita (Virtual and Augmented reality) pomáhá operátorům s organizací produktů, výrobními úkoly, údržbou a opravami zařízení. Není možné však oba pojmy zaměňovat. Když mluvíme o rozšířené realitě, odkazujeme na technologii, která překrývá tzv. digitální obsah ve skutečném prostředí, který je vnímán očima člověka. V tomto případě je pro funkci vyžadován pouze smartphone. Zatímco virtuální realita vyžaduje speciální brýle, aby se uživatel přímo dopravil do virtuálního světa (Nexus Integra, 2020).

Systémová integrace (System Integration) je procesem propojení různých podsystémů (komponent) do jediného většího systému, který funguje jako jeden. Pokud jde o softwarová řešení, systémová integrace je obvykle definována jako proces propojení různých IT systémů, služeb nebo softwaru s cílem zajištění jejich funkčnosti.

Hlavním důvodem, proč organizace používají systémovou integraci, je jejich potřeba zlepšit produktivitu a kvalitu svých operací. Systémová integrace se však používá nejen k propojení interních systémů organizace, ale také třetích stran, se kterými organizace většinou úzce spolupracuje – dodavatelé, odběratelé, obchodní partneři.

Simulace a digitální dvojče (Simulation and Digital Twins). Pomocí simulací výrobního procesu mohou například výrobci testovat změny v procesu a najít způsoby, jak minimalizovat prostoje nebo zlepšit kapacitu.

Digitální transformace nabízená Průmyslem 4.0 také umožnila výrobcům vytvářet tzv. digitální dvojčata, která jsou virtuálními replikami procesů, výrobních linek, továren a dodavatelských řetězců. Digitální dvojče je vytvořeno vytažením dat ze senzorů IoT, různých zařízení, PLC a dalších objektů připojených k internetu. Výrobci mohou pomocí digitálních dvojčat zvýšit produktivitu, zlepšit pracovní postupy a navrhnout nové produkty (IBM, 2022).

Aditivní výroba (Additive Manufacturing)

Posledním technologickým pilířem v rámci Průmyslu 4.0 je tzv. aditivní výroba – 3D tisk. Jedná se v podstatě o počítačově řízený proces, který vytváří reálné trojrozměrné objekty ukládáním materiálů, obvykle ve vrstvách. Tento proces

výroby se stává v posledních letech stále více populární, a to především díky vytváření prototypů, které umožňují společnostem přenášet jejich digitální simulace do reality nebo také vyrábět díly na zakázku se složitými geometriemi a malým plýtváním.

Tomuto tématu se následně věnuje celá druhá kapitola této diplomové práce.

1.4 Digitalizace a robotizace v průmyslovém odvětví

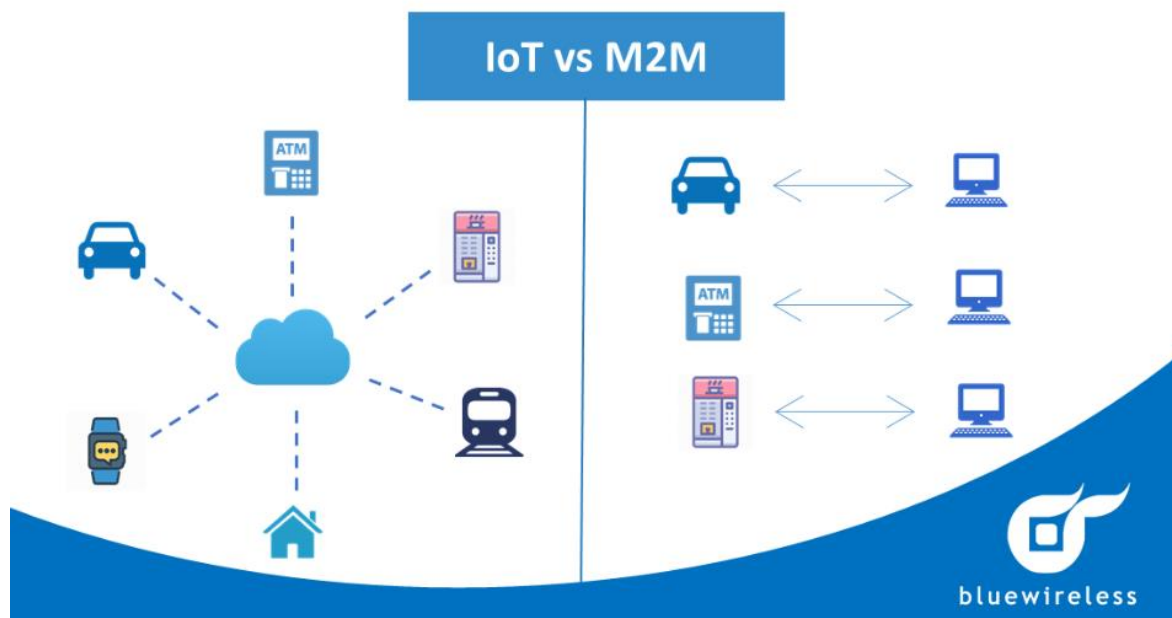
Výroba se už neodehrává jen v obrovských závodech a na dlouhých montážních linkách. Pryč jsou dny papírových kreseb, 2D schémat, speciálních listů nebo různých záznamových karet. Novodobý pojem **digitalizace** bývá často definován jako proces využívání digitálních technologií a dat pro zvyšování příjmů, budování procesů, generování přidané hodnoty nebo zkrátka vytváření digitálního podnikatelského prostředí (EAS, 2021). Jinak řečeno, jedná se také o proces přijímání ne-digitálních formátů informací a jejich přeměnu na digitální formáty. Jednoduchým příkladem těchto operací jsou třeba převody běžné korespondence (pošty) do e-mailu, převody papírových tabulek do Excelu nebo převádění hliněných modelů do CAD počítačových souborů atd. Hlavním klíčem však je, aby procesy a systémy při digitalizaci zůstaly maximálně zachovány a nebyl narušen jejich důležitý obsah (Enginess, 2021).

Úroveň konkurenceschopnosti firmy přímo souvisí s její schopností řídit procesy a zvyšovat produktivitu. Podle studie společnosti McKinsey nyní podniky, které dříve fungovaly v průměru více než 60 let, přežívají nyní méně než 20 let. Vzhledem k tomu, že konkurence nepřetržitě roste, je pro společnosti stále těžší se udržet na stále nasycenějším trhu. Proto by společnosti, které chtějí přežít ve svém odvětví, měly přijmout digitalizaci jako základní součást svého business modelu (Nexus Integra, 2020).

Samotná digitalizace s sebou nese razantní vývoj, a to např. v genové technologii, nanotechnologii či v robotice. Ty se staly základem revoluce, která zasáhla do všech oblastí. Digitálně propojené procesy v Průmyslu 4.0 umožňují vyrábět výrobky flexibilněji, s vyšší energetickou účinností, vyšší mírou šetření přírodních zdrojů a také s větší mírou individualizace, a to vše za příznivou cenu (Grunow, 2015).

Tok informací z digitalizace usnadňuje komunikaci mezi odděleními, což umožňuje zapojení a spolupráci zaměstnanců z různých oblastí společnosti na projektech a

rozhodování. Navíc skutečnost, že informace jsou okamžitě přístupné odkudkoli a kdykoli, usnadňuje mnohonásobně práci mezi interními týmy (Nexus Integra, 2020). V neposlední řadě v rámci digitální transformace je potřeba zmínit pojem komunikace mezi stroji tzv. M2M (Machine to Machine), který představuje vzájemné sdílení dat mezi zařízeními skrze společné sítě. Tyto sítě M2M jsou však často uzavřené skupiny uživatelů a slouží pouze jedné konkrétní aplikaci (viz Obr. 5). Například sledování vozového parku ve společnosti, bankomat žádající o autorizaci k vyřizování hotovosti z bankovních serverů či digitální teploměry v chladírenských nákladních vozech, které neustále ujišťují supermarkety, že zboží se při přepravě nezahřívá, jsou vybraným příkladem komunikace mezi stroji. Komunikace mezi stroji je však podmnožinou konceptu Internet of Things (IoT), protože jak už bylo zmíněno, M2M řešení jsou často úzce definována pro konkrétní funkci. Zatímco systémy založené na IoT mají mnohem větší flexibilitu a možnosti připojení, od mobilních sítí (3G / 4G) a WIFI až po Bluetooth, nebo dokonce i kabelový přístup k internetu (Grunow, 2015).



Zdroj: (Landen, 2018)

Obr. 5 Porovnání mezi komunikací IoT a M2M

V další části této podkapitoly je vysvětlena tzv. **robotizace**. „*Tu lze chápat jako automaticky vykonávanou technologickou nebo manipulační činnost s využitím*

průmyslového robota nebo manipulátoru, která probíhá podle předem stanoveného postupu a u kterého se pracovní takt nepřetržitě opakuje“ (Temex, 2021).

Z hlediska historického vývoje nepatří průmysloví roboti k nějakým novým inovativním technologiím. Například při obtížné manipulaci, usazování nebo kompletaci předmětů a dílů v průmyslovém odvětví, zvláště tam, kde docházelo k přesunům velmi těžkých či velmi rozměrných předmětů, bylo nasazování průmyslových robotů již běžnou praxí před několika lety. V posledních letech však velmi roste zájem o použití robotů i při činnostech, které jsou sice pro lidskou obsluhu přirozené, ale k využití robotů tlačí společnosti požadavky na nižší výrobní náklady při současném zvýšení výrobních kapacit. Takovými typickými činnostmi jsou například přebírání, vybírání předmětů (dílů, potravin) z dopravního pásu nebo naopak rychlého ukládání různých předmětů do krabic apod.

Dalším důvodem zvýšené poptávky po robotické manipulaci je i postupné zpřísnování zdravotních a bezpečnostních norem při práci. Dříve operátory běžně prováděné manipulace například s horkými či snadno se vypařujícími předměty, jsou v současné době prováděny za výrazně provozně ztížených podmínek a zvýšené bezpečnosti, čímž v určitých případech klesá produktivita i efektivita samotné práce. Z tohoto pohledu je nasazení průmyslových robotů jediným možným řešením, jak výkon výrobního procesu trvale zvyšovat. V mnoha případech však nasazení robotů limituje občas velmi složitá realizace některých pracovních úkonů. Bohužel většinou až při vypracování nabídek na dodání a provoz takovýchto robotů se zjistí, kolik úkonů, které se zprvu zdály být velmi jednoduché, jsou fakticky pro robota značně obtížné (Vojáček, 2019).

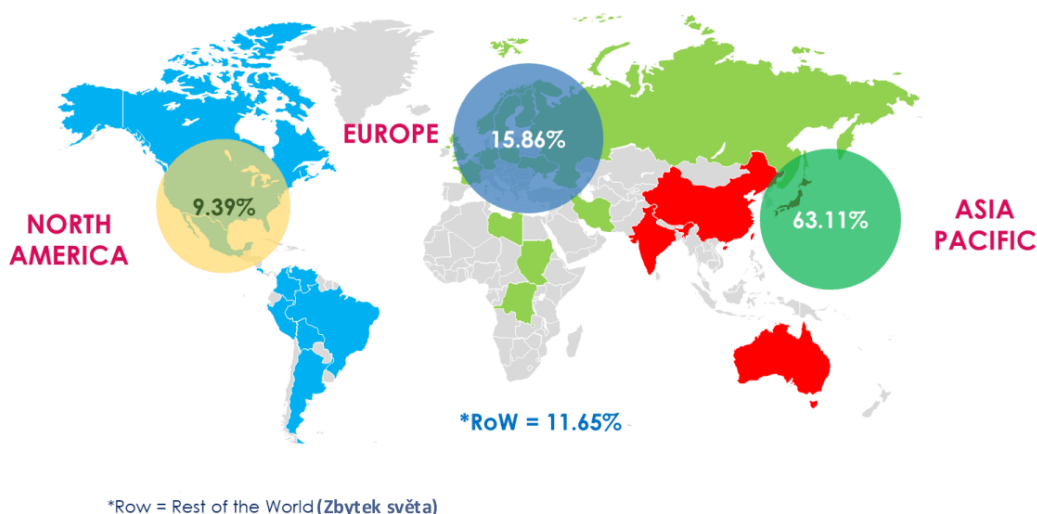
Výběr správného typu **robota** je zásadní nejen pro dosažení požadované funkčnosti, ale také s ohledem na cenu, kterou musí budoucí zákazník za tuto technologii zaplatit. Na výběr je v současné době několik typů průmyslových robotů (Temex, 2021):

- Ruční roboti (také někdy manipulátory) jsou jednoúčelová a víceúčelová manipulační zařízení ovládaná lidmi. Jsou často navrženi tak, aby znásobili sílu a pohybové schopnosti pracovníků obsluhy.
- Na druhé straně roboti s pevným programem (sekvencí) pracují automaticky a bez přímé lidské účasti. Tito roboti jsou schopni například opakovat předem

stanovené pracovní cykly, skládajících se z několika částečných pracovních pohybů. Do této kategorie spadají například běžní průmysloví roboti.

- Roboti s flexibilním programem, kteří se řídí zadaným automatizovaným programem, který lze však jednoduše měnit pomocí resetování zadaných prvků řídicího systému. Do této rychle rostoucí kategorie lze zařadit tzv. kolaborativní (spolupracující) roboty. Ti při práci velice úzce spolupracují s člověkem a pomáhají při různých úkonech, při nichž je potřeba vysoká a stále stejná přesnost. Během spolupráce člověka a robota musí být kladen důraz na zvýšenou bezpečnost, proto má samotný kolaborativní robot nejen pryžové obložení, ale také inteligentní senzorický systém, pomocí něhož se dotykem zastaví, a není tudíž zapotřebí mechanických bariér. Dále jsou kolaborativní roboti také schopni automaticky vytvářet a upravovat program svých aktivit podle stanovených cílů, nebo se dokonce učit při komunikaci s lidmi.

V oblasti průmyslové robotiky působí stále větší počet mezinárodních firem. Mezi lídry v daném odvětví se řadí například společnosti – FANUC Corporation, ABB Ltd., Kawasaki Robotics, OMRON Corporation, Yaskawa Electric Corporation nebo KUKA AG. Není asi velkým tajemstvím, že převážná většina těchto výrobců pochází z Asie (konkrétně z Číny a Japonska), kde je trh s průmyslovými roboty velice významný jak z hlediska nabídky, tak i poptávky (viz Obr. 6).



Zdroj: (Market Research Reports, 2019)

Obr. 6 Podíl průmyslové robotiky na trhu podle geografie v roce 2019

Společnost KUKA AG přichází například s jasnou vizí, ve které zmiňuje, že „vývoj robotiky natrvalo promění svět podobně jako internet a informační technologie. Dnes jsou roboti v rámci Průmyslu 4.0 klíčovým prvkem, který novými metodami výroby poskytuje odpovědi na velké otázky naší doby: úbytek přírodních zdrojů, klimatické změny, následky zrychlujícího se růstu populace, přestárnutí společnosti v průmyslových národech atd.“. Obecně se dá předpokládat, že roboti budou do určité míry menší a mobilnější, vzájemně propojení po síti a budou mít schopnost vnímat a poznávat své okolí. Stanou se z nich takoví každodenní průvodci člověka. Budoucí generace, které přijdou po nás, budou vnímat roboty a jejich schopnosti jako služby, které lze ovládat přes internet a přizpůsobit si je pouhým poklikáním myši (KUKA AG, 2022).

Někteří odborníci se však obávají, že s příchodem robotických technologií dojde ke ztrátám pracovních míst. Jiní naopak tvrdí, že pracovní místa budou samozřejmě nějakým způsobem ovlivněna roboty a AI (umělou inteligencí), ale přechod nebude tak masivní a nekontrolovatelný, jak se mnozí obávají. Například podle Asociace pro rozvoj automatizace a Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) nebude zaměstnanost, alespoň v rozvinutém světě nijak poškozena, přestože země po celém světě začnou nakupovat a používat robotické technologie.

V první řadě je nutné si uvědomit, že cílem robotizace rozhodně není zapříčinit nezaměstnanost, a pokud některé profese vymizí, místo nich vzniknou určité nové. Práce bude vždy, jen lidé budou vykonávat jiné činnosti než doposud. Za druhé roboti určitě nenahradí činnosti, kde je potřeba rozhodování, kreativita, emoční inteligence a lidský přístup. Jsou to například obory vědy a marketingu, ale i různé řemeslné profese. A za třetí u této technologie se očekává, že bude efektivnější než lidé, bude mít menší procento chybovosti a zamezí problémům s fluktuací zaměstnanců.

Robotizace je zkrátka a dobře chytré řešení pro současnou dobu. Jak uvádí Fejfarová (Fejfarová, 2019) „postupně by měla člověka vytlačit z pozice dělníka, který se bude moci zaměřovat na takové úkoly, jaké roboti dělat nemohou. Důležitá je ale také změna pracovního rámce. Zaměstnanci nebudou trávit tolik času v kanceláři, ale budou častěji pracovat z domu a pracovní týden by se dokonce mohl zkrátit pouze na čtyři dny místo pěti, domnívají se někteří odborníci“.

1.5 Nové technologie a způsoby výroby

V předchozích několika podkapitolách byly nastíněny charakteristické rysy druhého věku strojů – rychlý růst výpočetních technologií, velké množství digitalizovaných informací a nově objevené inovace. Nic z toho však nepředstavuje vrcholné úspěchy éry počítačových systémů a dalo by se říci, že se jedná pouze o takové „první vlaštovky“ (Brynjolfsson a McAfee, 2015).

Umělá inteligence

Za převratný krok lidské společnosti je možné považovat velice diskutovanou a postupně aplikovanou umělou inteligenci (Artificial Intelligence neboli AI). Ta označuje simulaci lidské inteligence ve strojích, které jsou naprogramovány tak, aby přemýšlely jako lidé a napodobily jejich činy. Termín může být také aplikován na jakýkoli stroj, který vykazuje rysy spojené s lidskou myslí, jako je učení a řešení problémů. Vědci a vývojáři v této oblasti dělají překvapivě rychlé pokroky a AI se navíc neustále vyvíjí ve prospěch mnoha různých průmyslových odvětví. Stroje jsou propojeny mezioborovým přístupem založeným na matematice, informatice, lingvistice, psychologii a dalších (Frankenfield, 2022).

Samotnou AI lze rozdělit do dvou různých kategorií (Frankenfield, 2022):

- Slabá umělá inteligence ztělesňuje systém navržený k výkonu často jedné konkrétní práce, která je prováděna velmi pečlivě. Slabé systémy AI zahrnují například různé videohry a osobní asistenty, jako je Alexa od Amazonu a Siri od Applu. Když se člověk jednoduše zeptá, asistent mu na to odpoví nebo provede nějakou základní činnost (rozsvícení světla apod.).
- Silné systémy umělé inteligence jsou systémy, které plní úkoly považované za lidské. Jedná se o složitější a daleko sofistikovanější systémy. Jsou naprogramovány tak, aby řešily situace, ve kterých se dokážou spolehnout jen samy na sebe, aniž by zasáhla nějaká lidská osoba. Tyto druhy systémů lze například nalézt v aplikacích, jako jsou samo-řídící automobily nebo na nemocničních operačních sálech.

Umělá inteligence primárně umožňuje výrobním společnostem plně využít objem svých informací generovaných nejen v továrně samotné, ale napříč jejich obchodními jednotkami, a dokonce i od partnerů a zdrojů třetích stran. AI a strojové

učení (schopnost počítače automaticky zdokonalovat své metody a zlepšovat výsledky díky navyšování objemu dat) mohou vytvářet přehledy poskytující viditelnost, předvídatelnost a automatizaci operací nebo obchodních procesů. Například průmyslové stroje jsou náchylné na poruchy přímo během výrobního procesu. Ale s využitím dat shromážděných právě z těchto procesů, pomáhá podnikům provádět prediktivní údržbu založenou na algoritmech strojového učení, což vede k vyšší provozuschopnosti a efektivitě strojů.

Virtuální realita

Virtuální realita (VR) patří zcela bezpochyby k technologickým pokrokům, které se za poslední dobu raketově rozšířily. Samotný koncept označuje počítačově generovanou simulaci, při které může člověk komunikovat v umělém trojrozměrném prostředí pomocí elektronických zařízení, jako jsou speciální brýle s obrazovkou nebo rukavice vybavené senzory. V tomto simulovaném umělém prostředí je pak uživatel schopen zažít realistický/ virtuální pocit.

Virtuální realita má mnoho případů použití, včetně zábavy a hraní her. Svoje uplatnění však tato technologie našla už i jako prodejní, vzdělávací nebo školicí nástroj například v oblasti výroby, zdravotnictví nebo služeb (Hayes, 2022).

Blockchain

V neposlední řadě v rámci nových technologií stojí za to zmínit systém Blockchain, jakožto speciální distribuovanou decentralizovanou databázi, umožňující ukládat transakční historii takovým způsobem, že je nepřepsatelná = nevratná. Jedním z klíčových rozdílů mezi typickou databází a blockchainem je způsob, jakým jsou data strukturována. Blockchain shromažďuje informace společně ve skupinách, známých také jako bloky. Tyto bloky mají určité úložné kapacity a po naplnění jsou zřetězeny na dříve vyplněný blok a vytvoří tak řetězec dat známý jako blockchain.

První klíčovou aplikací blockchainu byla kryptoměna Bitcoin – „*elektronické peníze*“ se specifickými vlastnostmi umožňující rychlé obchodování přes geografické hranice a bez nutnosti prostředníků (bank). Dalšími aplikacemi jsou například tzv. „*chytré kontrakty*“, kdy se obsah digitálně smluveného vztahu zainteresovaných stran zachycuje a následně realizuje přímo prostřednictvím speciálního softwarového kódu (Hayes, 2022).

2 TECHNOLOGIE 3D TISKU

Hlavním tématem druhé kapitoly je pojem 3D tisk. V úvodu je tato technologie nejprve krátce představena a jsou také zmíněny historické souvislosti spojené s tímto tématem. Dále pak je popsána aplikace samotného 3D tisku, včetně zavedených postupů. Kapitola se následně zaměřuje na materiály a technologie používané v této oblasti výroby. Na konci kapitoly jsou představeny možnosti uplatnění 3D tisku v různých výrobních i nevýrobních oblastech.

2.1 3D Tisk

3D tisk je druh aditivní (přídavné) výroby, při kterém se vytváří fyzický model z digitální předlohy - 3D modelu. Požadovaného tvaru objektu je dosaženo postupným přidáváním materiálu v tenkých vrstvách na sebe. Tím se liší od konvenčních metod, jako je obrábění či frézování, kde se materiál z polotovaru naopak postupně odebírá. Výsledkem je pak trojrozměrný předmět, u kterého lze dosáhnout velmi dobré kvality, a to i u složitějších tvarů (Juhász, 2020). Oba zmíněné postupy jsou sice velmi rychlé a ve velkovýrobě výhodné, vyžadují ale zázemí, finance, odborné pracovníky a mnoho přípravy. Když tedy přijde na samotnou výrobu, je 3D tisk pomalejší, protože je ale možné tisknout prakticky ihned, pro zakázkovou malovýrobu či domácí kutilství se jedná o ideální technologii (Alza, 2020).

2.2 Historické souvislosti

První zdokumentované zmínky o 3D tisku pochází z počátku 80. let 20. století z Japonska, kdy se specialista a lékař Hideo Kodama pokouší najít vhodný systém pro vytváření rychlých prototypů. Přichází s aditivním přístupem nanášení vrstvy po vrstvě s využitím tzv. fotosenzitivní pryskyřice, kterou polymerizoval UV světlem. Ačkoliv byl Kodama první, kdo požádal o patent, nesplnil všechny potřebné požadavky před stanoveným termínem a patent mu nemohl být tudíž uznán. Obecně je však považován za prvního vynálezce technologie, která je raným předchůdcem moderních 3D tiskáren. O několik let později přišlo trio francouzských vědců, kterými byli Jean-Claude André, Alain Le Mechote a Olivier de Witte. Jejich metoda spočívala v tom, že laser měl přeměnit kapalné monomery na pevné částice, nicméně ani oni patent nezískali (ČVUT FS, 2022).

Konečně v roce 1984 si Charles Hull, který pracoval ve výrobě nábytku, všiml, jak dlouho trvá vytvoření malých nestandardních dílů. Zrodila se u něho proto myšlenka použít ultrafialové lampy k vytvrzení postupných vrstev pryskyřice a vytvoření reálného objektu. Pro tento experiment mu byla přidělena malá laboratoř, a v roce 1986 mu byl dokonce uznán patent. Technologie, kterou vytvořil, dostala název Stereolitografie (dále jen SLA). Necelé dva roky po získání patentu založil Charles společnost s názvem 3D Systems Corporation a pod její hlavičkou začal prodávat první komerční 3D aparát s technologií SLA (viz Obr. 7). Dnes patří tato společnost k jedné z největších společností vůbec, která se zabývá právě vývojem zařízení v dané oblasti (Haines, 2022).



Zdroj: (Petrova, 2021)

Obr. 7 První komerční SLA 3D aparát od společnosti 3D Systems Corp.

SLA ovšem nebyla jediná zkoumaná aditivní technologie. V roce 1988 přichází Carl Deckard z University of Texas s jeho patentovanou technologií, kde na místo kapaliny dochází k tavení prášku pomocí laseru. Metoda dostala název Selektivní laserové slinování (dále jen SLS). Tato metoda tisku však byla pouze určitým pokrokem ve výrobě 3D tiskáren, kvalita objektu a detaily tisku nebyly v tomto případě nejvyšší prioritou. Přibližně ve stejnou dobu byla také patentována nejběžnější forma 3D tisku, se kterou je možné se dnes setkat, a to technologie

Fused Deposition Modeling (dále jen FDM). Právě tyto tři výše zmíněné technologie výrazně přispěly k následnému progresivnímu vývoji aditivních technologií.

Rok 2005 byl pravděpodobně nejdůležitějším rokem v novodobé historii 3D tisku, kdy na University of Bath v Anglii byl založen tzv. projekt RepRap doktorem Adrianem Bowyerem. Zkratka tohoto názvosloví zní - replicating rapid prototyper, což je volně přeloženo – sebe-replikace a rychlé prototypování. Jeho ideou bylo navrhnout 3D tiskárnu, která dokáže vytisknout co nejvíce vlastních součástí a zjednodušit tak výrobu samotných tiskáren. Od začátku byl projekt koncipován pod licencí open source (všechna dokumentace a zdrojové kódy jsou veřejně a zdarma přístupné a modifikovatelné). To umožnilo zapojit se do spolupráce řadě vývojářům a nadšencům z celého světa. A díky tomu jsou nyní RepRap tiskárny nejrozšířenějším druhem tiskáren na celém světě (Fanta, 2020).

Zásadním průlomem z hlediska 3D tisku průmyslových dílů bylo vydání první komerčně dostupné 3D tiskárny na bázi SLS v roce 2006. Jako další důležitý milník můžeme zmínit také vytisknutí a používání první protetické nohy v roce 2008, která přispěla k představení termínu aditivní technologie pro širokou veřejnost. V roce 2009 již patřily patenty podané v 80. letech do veřejné sféry a plně se otevřely dveře pro veškeré inovace. Technologie 3D tisku se rychle staly dostupnější a levnější díky novým společnostem a konkurenci, která nastala. Spolu s dostupností a snižováním cen 3D tisku se také výrazně změnila kvalita a jednoduchost tohoto výrobního procesu. Aditivní technologie a používané materiály se neustále vyvíjí a s určitou jistotou lze říct, že historie 3D tisku se momentálně stále zapisuje (ČVUT FS, 2022).

2.3 Výrobní proces aditivní výroby

Princip výrobního procesu je u všech metod 3D tisku stejný. Skládá se z 8 hlavních, na sebe navazujících kroků. Nejprve je třeba si obstarat samotný model, který se bude tisknout. Poté je nutné připravit jej pro tisk. A až v posledním kroku probíhá samotný tisk fyzického modelu. Jednotlivé kroky jsou podrobněji rozepsány níže (Stříteský, 2019):

1. **CAD model** – Prvním krokem je získání 3D modelu požadovaného dílu. Ten je možné jednoduše vytvořit za pomoci jednoho z CAD softwarů (SolidWorks, Autodesk, Catia, Inventor, Blender, Creo atd.), stáhnout jej z mnohých

databází 3D modelů na webu. U některých dílů, kde již existuje fyzická podoba, lze využít také 3D skenování.

2. **Konverze STL** – Po získání 3D modelu požadovaného dílu je zapotřebí převést data do srozumitelného STL formátu. Tento krok se stejně jako model provádí v CAD softwaru. STL formát popisuje pouze geometrii povrchu a v současné době se stal určitým standardem vstupních tiskových souborů.
3. **Nastavení parametrů** – STL soubor je vstupem pro program zvaný obecně slicer (např. Simplify3D, PrusaSlicer, Cura). Jedná se o open-source software, který zvládne načíst STL soubor a následně nastavit parametry tisku pro danou tiskárnu, jako je teplota trysky, teplota podložky, výška vrstvy, rychlost tisku, chlazení, podpory, výplně a mnoho dalšího.
4. **Vytvoření G-codu** – Výstupem sliceru je soubor ve formátu G-code. Ten obsahuje souřadnice dráhy trysky v jednotlivých vrstvách a předvolené nastavení tiskárny. Takto vygenerovaný soubor je již specifický pro konkrétní typ tiskárny (Courses.fit.cvut, 2022).
5. **Export dat do 3D tiskárny** – Data v podobě G-codu se dále již mohou přesunout do 3D tiskárny. K tomu je možné použít flash-disk, paměťovou kartu nebo WiFi síť, dle nabídky samotné tiskárny.
6. **Tisk** – Před samotným tiskem je vhodné provést kalibraci tiskárny, a pokud to použitá technologie vyžaduje, nanést na pracovní platformu vrstvu materiálu s přilnavými účinky. Samotný proces tisku už pak většinou probíhá samostatně bez obsluhy. V případě výskytu problému lze některé parametry upravit přímo za chodu tiskárny.
7. **Post-processing** – Podle použité technologie je zapotřebí vytištěný díl většinou upravit – odstranit přebytečný materiál, podpory nebo počkat na případný proces vytvrzování.
8. **Použití** – Vytištěný díl je připraven pro následné použití.

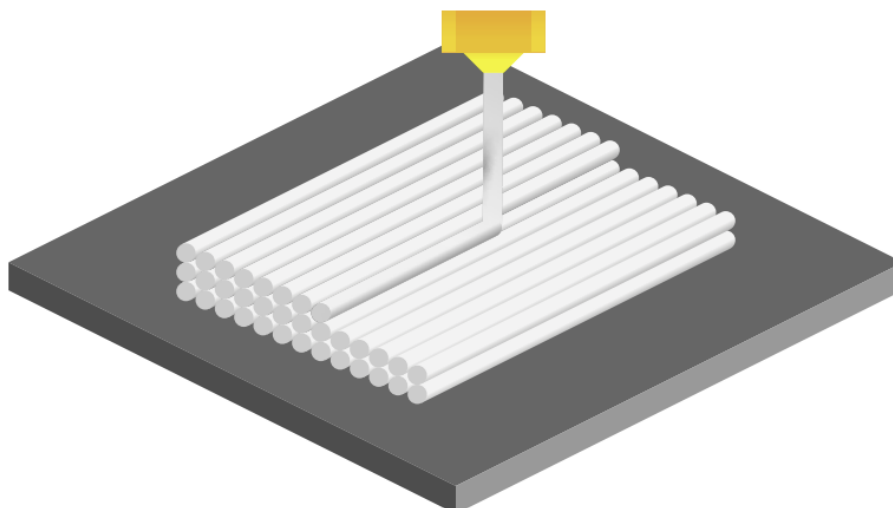
2.4 Přehled a princip jednotlivých tiskových metod

V dalším kroku je třeba podrobněji prozkoumat proces vytváření trojrozměrných modelů pomocí základních tiskových metod. Ty lze rozdělit do tří základních kategorií podle toho, jakou podobu má tiskový materiál a jakým způsobem jsou vytvářeny jednotlivé vrstvy modelu (Stříteský, 2019):

- **Materiál v podobě tiskové struny je extrudovaný** (vytlačovaný) tiskovou hlavou skrz rozehrátou trysku. Do této kategorie patří technologie FDM nebo také FFF (Fused Filament Fabrication). Oba tyto názvy je možné považovat za synonyma. FDM je totiž registrovaná známka firmy Stratasys, takže ačkoliv se v 3D tiskové komunitě hojně používá, na stránkách výrobců ji obvykle nenajdeme.
- **Tekutý materiál** je vytvrzován v rámci vrstvy na požadovaných místech. Příkladem je technologie SLA, kdy je materiál vytvrzován světelným paprskem (UV laser, DLP projektor nebo LCD).
- **Materiál v podobě jemného prášku** je spékán nebo roztavován laserem. Představitelem tohoto principu je technologie SLS nebo Selective Laser Melting (dále jen SLM).

2.4.1 FDM (FFF)

Jedna z nejrozšířenějších a nejdostupnějších „domácích“ technologií 3D tisku. Je vhodná pro tisk prototypů, ale i funkčních modelů. Stavebním materiálem je primárně roztavený plast. Ten je postupně nanášen na sebe vrstvu po vrstvě (viz Obr. 8). Tiskovým materiálem je tisková struna (filament) nejčastěji o průměru 1,75 mm. Dříve se používal také filament s průměrem 3 mm, ten měl ale menší nevýhodu z hlediska přesnosti dávkování. Oproti pryskyřici či jemnému prášku, které se využívají v dalších metodách, je práce s filamentem jednoduchá a bezpečná. Na výtisku jsou i okem patrné určité tiskové vrstvy. Jejich výška se při použití nejběžnější trysky průměru 0,4 mm pohybuje přibližně v rozsahu od 0,05 mm do 0,3 mm.



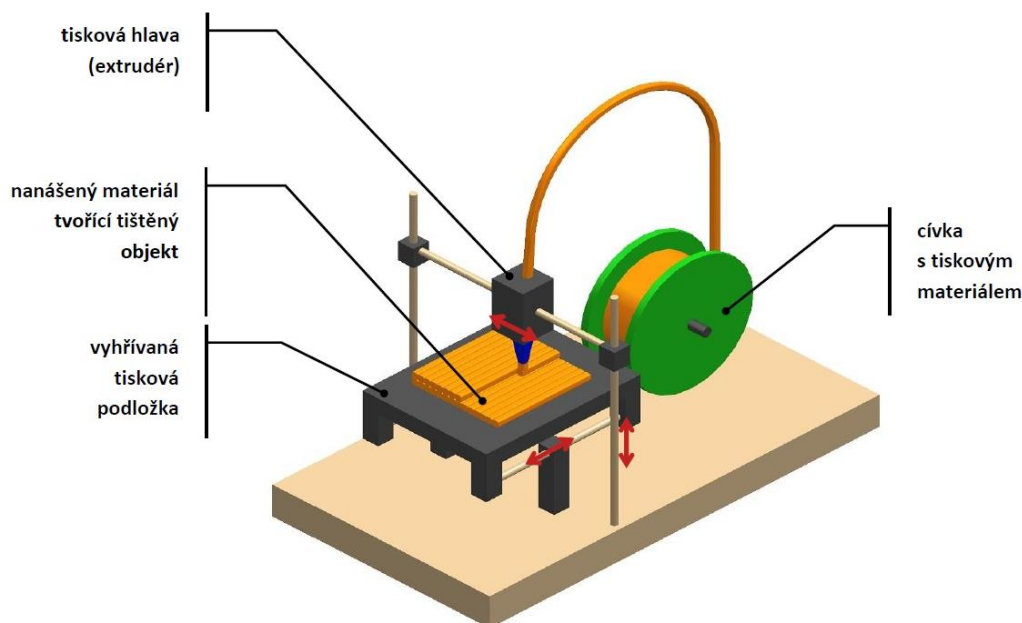
Zdroj: (Stříteský, 2019, str. 11)

Obr. 8 Postupné nanášení tiskových vrstev filamentu

Samotný FDM 3D tisk probíhá následovně (viz Obr. 9): Do tiskárny vstupuje tiskový materiál v podobě struny. Ten je dále roztaven v tiskové hlavě (extruderu) dostatečně na to, aby mohl být protlačen skrze trysku a po vrstvách transformován na tištěný výrobek. Teplota, při níž se materiál taví v tiskové hlavě, činí většinou 190 až 280 °C, u běžných materiálů pak maximálně 230 °C. Právě na přesném pokládání tenkých vrstev roztaveného filamentu odspoda nahoru a jejich následném vytvrzení je 3D tisk založen. Nutno dodat, že tisková hlava se pohybuje nad vyhřátou tiskovou podložkou (bed) dle instrukcí vytvořených na základě 3D modelu (Alza, 2020).

Pro tisk složitějších součástí mohou mít tiskárny dvě a více tiskových hlav. Lze tedy například tisknout v několika různých barvách či z různých materiálů. To se hodí v případě, kdy je nutné navíc použít podpurný materiál pro vytvoření tzv. podpor, které se tisknou současně s modelem pod problémovými místy (např. u převislých oblastí). Po dotisknutí se podpory běžně manuálně odstraní, rozpustí ve vodě nebo v jiné speciální tekutině.

Jednoznačnou výhodou technologie FDM jsou nízké jak pořizovací, tak provozní náklady. Zhotovené modely lze vytvořit velmi rychle, a navíc dosahují poměrně dobré pevnosti. Nevýhodou je pak nižší přesnost, hrubá struktura povrchu a nutnost odstranění případného podpurného materiálu (Bezděk, 2018).



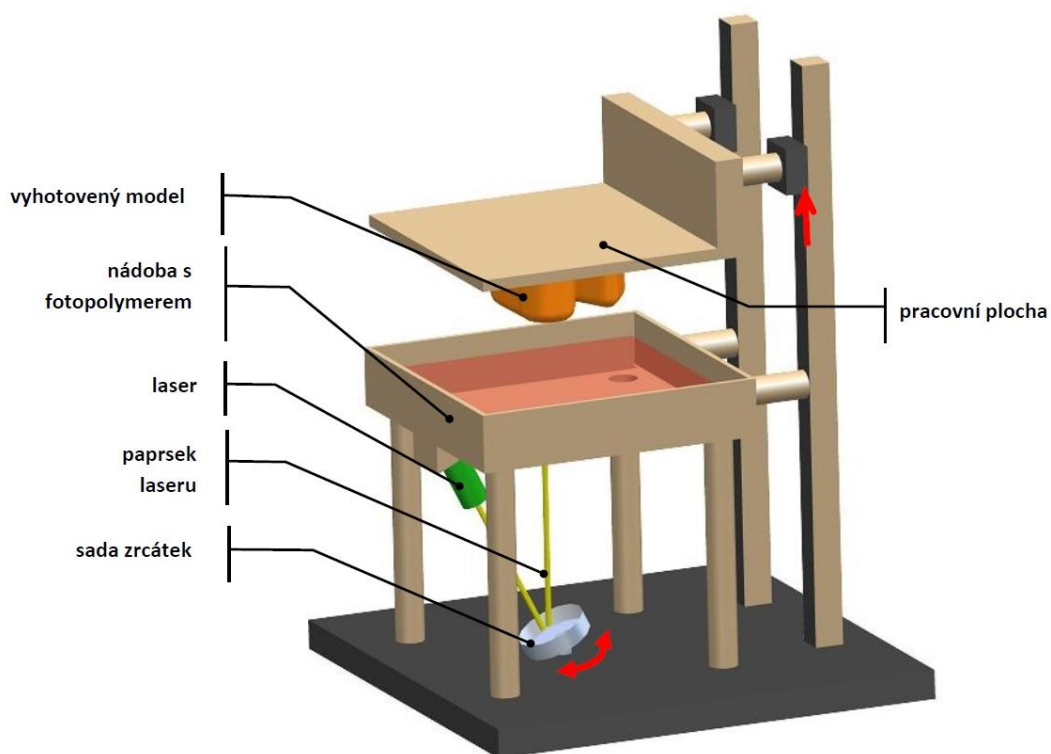
Zdroj: (dk metal prominent s.r.o., 2018)

Obr. 9 Tiskárna FDM (FFF)

2.4.2 SLA (Stereolitografie)

SLA je nejstarší a zároveň jednou z nejpřesnějších metod 3D tisku s výbornou povrchovou úpravou – hladkým a matným povrchem. Rovněž se tedy jedná o aditivní výrobní proces, už v něm ale nehraje roli filament tavený při vysokých teplotách ani pohyblivá tisková hlava opisující tvary výrobku. Tento způsob tisku je mnohem futurističtější: základem je postupné vytvrzování fotopolymery (pryskyřice) působením ultrafialového záření.

Obecně proces začíná nalitím tenké vrstvy tekuté pryskyřice do nádoby, do níž je následně ponořena také tisková platforma. Dno nádoby je potom zespodu řízeně ozařováno přesným světelným laserem, čímž dochází k tvrdnutí pryskyřice a jejímu přichycení k tiskové platformě. Samotné světlo je naváděno tak, aby zasáhlo jen místa, která mají tvořit požadovanou vrstvu výrobku. Když je jedna vrstva hotová (plně ztvrdlá), zvedne se tisková platforma o její výšku a světlo začne vytvářet novou vrstvu. Tloušťka vrstvy se běžně pohybuje od 0,05 do 0,25 mm. Po celou dobu je tisknutý výrobek uchycen svrchu, takže to ve zrychlených záběrech vypadá, jako by byl z nádoby s pryskyřicí postupně vytahován (viz Obr. 10). Po dokončení procesu se přebytečná kapalina vypustí a je znovu využita při dalším tisku (Alza, 2020).

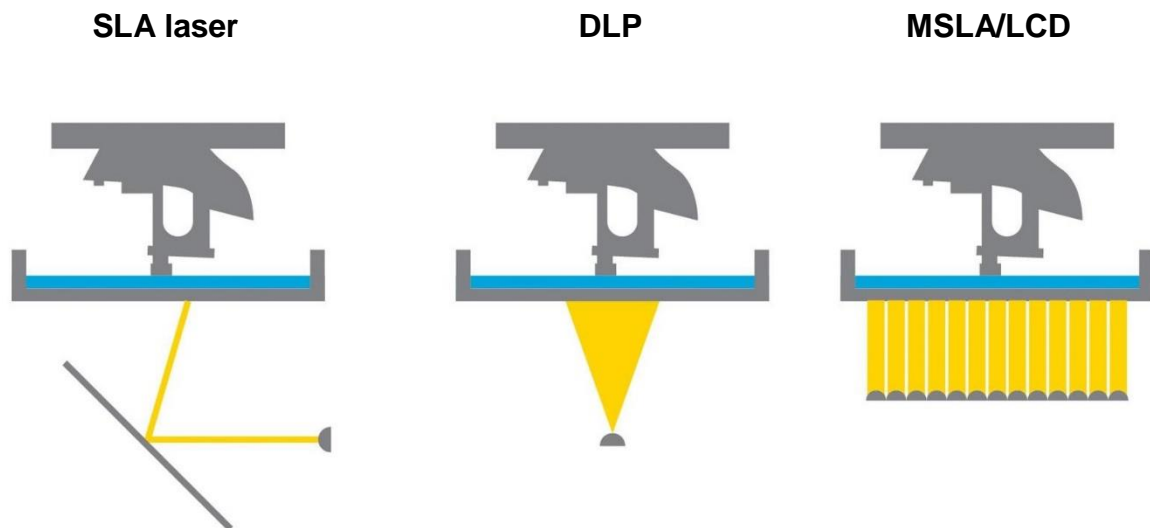


Zdroj: (dk metal prominent s.r.o., 2018)

Obr. 10 Tiskárna SLA

Existují tři hlavní metody SLA procesu, které se liší především způsobem osvitů a vytvrzováním fotopolyméru (viz Obr. 11). V prvním případě se využívá již zmíněný tenký UV laserový paprsek, který je směřován dvěma zrcadly a postupně vykresluje tiskovou vrstvu (Stříteský, 2019).

Další 2 metody jsou pak nazývány jako DLP (Digital Light Processing) a MSLA (Mask Stereolithography) nebo někdy také LCD (Liquid Crystal Display). Metoda DLP využívá digitální projektor, kterým ozařuje celou vrstvu najednou a celkový proces je díky tomu o poznání rychlejší. V současné době je ale za nejmodernější považována poslední metoda MSLA. Ta funguje podobně jako DLP, místo projektoru ale využívá LCD displej, často v kombinaci s UV diodami. Ty slouží jako zdroj světla a LCD jako maska, která světlo UV podsvícení tvaruje tak, aby odpovídalo vrstvě, která je právě tištěna. Jinak řečeno UV světlo prostoupí jen tam, kde jsou pixely aktivované (svítí bíle) a jen tam dojde k vytvrzení pryskyřice. Ačkoliv se mohou zdát všechny výše zmíněné metody velmi podobné, kvalita a doba tisku se mohou významně lišit (Alza, 2020).



Zdroj: Upraveno dle (Wyss, 2019)

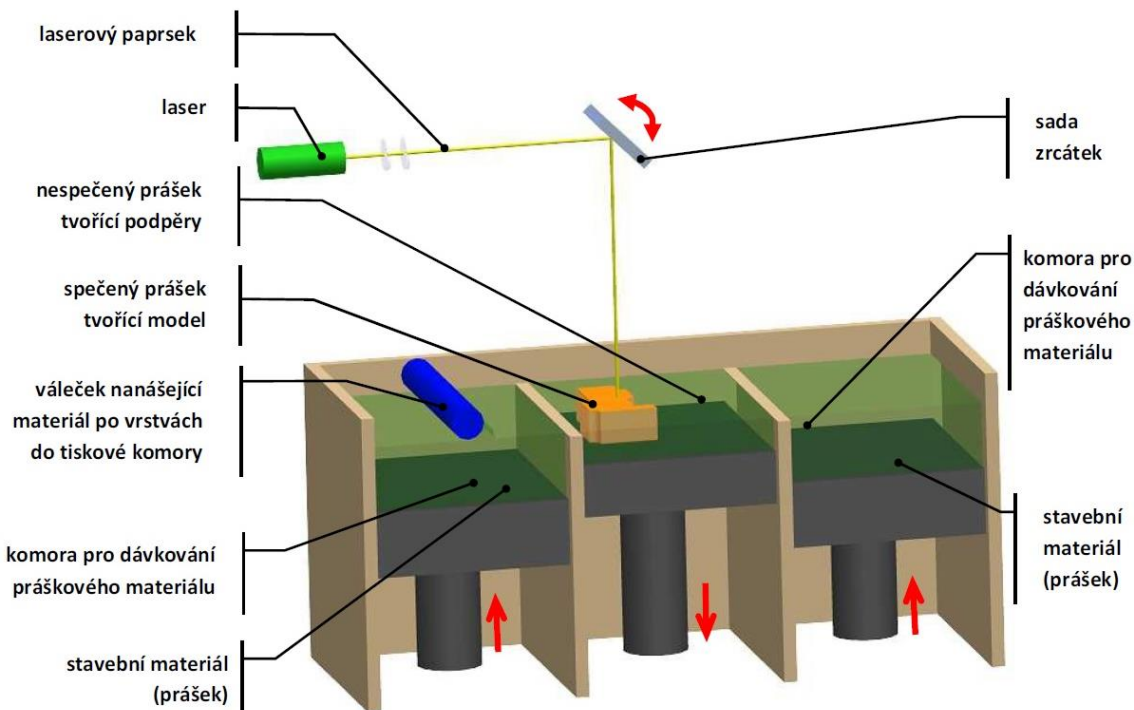
Obr. 11 Princip používaných SLA metod

2.4.3 SLS / SLM

Mezi další pokročilé technologie 3D tisku, fungující na podobném principu přeměny práškové hmoty pomocí přivedené energie, patří SLS a SLM. Zatímco SLS technologie pracuje pouze s plastovým práškem, který je spékán, technologie SLM používá kovové typy prášku. Zde nedochází úplně tak ke spékání, ale spíše k úplnému roztavení kovového materiálu. Výtisk tedy není tvořen jednotlivými částicemi spečenými dohromady jako SLS, ale díky tavení vzniká homogenní výrobek s lepšími fyzikálními vlastnostmi. Aditivní výrobní technologie tohoto typu jsou obecně velice vhodné pro průmyslové využití, protože je díky nim možné vyrábět silné a funkční součásti, přičemž pevnost se podobá vstříkovaným dílům (ČVUT FS, 2022).

A jak to celé funguje (viz Obr. 12): Během tisku nové vrstvy vždy válec nanese rovnoměrně vrstvu jemného polymerního prášku a ten se vysoce výkonným laserem sintruje (spéká). Jakmile laser osvítil příslušnou plochu, klesne stavěcí platforma o tloušťku jedné stavební vrstvy níže a takto se celý proces několikrát opakuje. Nespečený prášek potom podporuje součásti konečného modelu během tisku a eliminuje tak potřebu vyhrazených podpůrných struktur (podpor). Tloušťka vrstvy je přibližně 0,1 mm. Tisk končí tak, že je celý model zasypaný v tiskovém materiálu. Proto je třeba při tvorbě dutého modelu vytvořit otvory umožňující

vysypání nevytvrzeného prášku. Ten je poté možné použít pro další tisk. Odpad tiskového materiálu je u této technologie minimální. Výhodou je velmi nevýrazné vrstvení materiálu (Stříteský, 2019).



Zdroj: (dk metal prominent s.r.o., 2018)

Obr. 12 Tiskárna SLS/SLM

2.5 Používané materiály

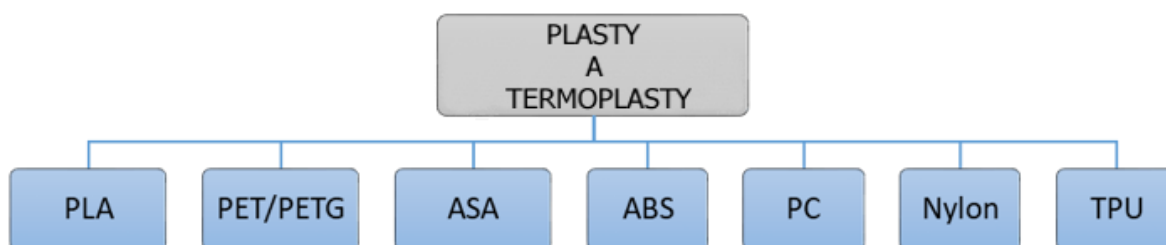
Společně se stoupající dostupností a oblibou 3D tisku se na trhu objevují také odlišné typy materiálů. Ty mohou mít specifické vlastnosti, nejrůznější barvy, nebo dokonce odlišná skupenství. Tato kapitola je dále rozdělena na tři nejvíce zastoupené oblasti: plasty a termoplasty, pryskyřice a kovové materiály. V dnešní době existují i neobvyklé materiály použitelné pro tisk jako keramika, písek, sklo, anebo různé čistě příměsné materiály v podobě bronzu, uhlíkového vlákna nebo dřeva. Tyto zmíněné materiály jsou ale zatím spíše ve fázi testování, a nebudou tudíž v diplomové práci dále rozváděny.

Každý filament vyžaduje specifické tiskové nastavení. Stejný typ materiálu od různých výrobců může mít totiž odlišné tiskové vlastnosti. U některých výrobců se dokonce může stát, že se odlišně chovají i různé barvy stejného typu materiálu. Aby

bylo dosaženo té nejlepší možné kvality tisku, vždy je dobré řídit se teplotami doporučenými výrobcem filamentu. Až v případě neuspokojivého výsledku je možné experimentovat s nastavením teplot, rychlostí tisku, rychlostí ventilátoru, průtoku materiálu a dalších (Stříteský, 2019).

2.5.1 Plasty a termoplasty

Plasty a termoplasty (polymery) patří v dnešní době k nejrozšířenějším konstrukčním materiálům. Jsou typické hlavně pro komerční 3D tiskárny, které se prodávají pro domácí účely. Schematický přehled nejběžnějších materiálů tohoto typu je zobrazen na Obrázku 13. Do této skupiny patří - Polylactic Acid (PLA), Polyetylene Terephthalate (PET), Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Polycarbonate (PC), Nylon a Thermoplastic Polyurethane (TPU).



Zdroj: Upraveno dle (ČVUT FS, 2022)

Obr. 13 Nejběžnější konstrukční materiály z oblasti plastů a termoplastů

PLA

PLA je pravděpodobně nejpoužívanější filament mezi tiskaři. Polylaktid neboli kyselina polymléčná je typ plastu, který se nevyrábí z ropy, nýbrž z rostlinných zdrojů sacharidů (např. kukuřičný škrob). Ve srovnání s jinými materiály je PLA poměrně šetrné k životnímu prostředí (plně biologicky rozložitelné) a navíc při tisku nevzniká zápach ani toxické výpary. Samotný tisk z tohoto materiálu je velice snadný, probíhá za nižších teplot (při cca 180 °C) a je poměrně rychlý a levný, zřejmě proto je tento materiál lidmi tak oblíben. Výsledné díly se příliš nesmršťují, dobře vypadají ihned po tisku a je možné je následně snadno dále zpracovávat. Mezi velké nevýhody PLA patří nízká teplotní odolnost již při teplotách 60 °C, která může vést ke stálé deformaci, nebo špatná odolnost proti UV záření. Výrobky z PLA

jsou tvrdé, ale zároveň křehké. Při mechanickém namáhání se neohnou, ale spíše prasknou, proto se používají především pro aplikace a výrobu prototypů, které nejsou zatíženy velkými silami (ČVUT FS, 2022).

PET / PETG a ASA, ABS

Další z řady populárních filamentových materiálů je PETG, glykolem obohacená varianta klasického PET, který zná každý například z nápojových lahví nebo oblečení. PETG je recyklovatelné a může být bezpečné pro potraviny (dokonce sterilní). Dále je to materiál ASA, což je akrylonitrilový styrenakrylát, původně vytvořený termoplast jako alternativa k ABS, ale se zlepšenou odolností proti povětrnostním vlivům. Z toho je patrné, že ASA a ABS budou mít velmi podobné mechanické vlastnosti (ČVUT FS, 2022).

Všechny tři materiály jsou oproti PLA pružnější a při mechanickém namáhání jsou do určité míry poddajné bez prasknutí. PETG se v náročnosti na tisk pohybuje mezi materiály PLA a ASA. U materiálů ASA a ABS může docházet k potížím při tisku způsobených velkou teplotní roztažností. Mají tendenci se kroutit a odlepovat od podložky, proto by měla být samotná tisková podložka vyhřívaná, aby se tak zabránilo neúspěšnému tisku. Dále obecně platí u těchto materiálů, že čím je model větší, tím je tisk náročnější. Při tisku materiálu ASA a ABS vzniká výrazně silnější zápach oproti PETG a PLA. PETG má ve srovnání s PLA lesklejší povrch, ale občas má tendenci zanechávat nevyžádané nitky během přejezdů tiskové hlavy. PETG filamenty je také zásadně doporučeno skladovat v suchu, protože snadno pohlcují vzdušnou vlhkost (Stříteský, 2019).

PC

Polykarbonát, nebo jednoduše PC je termoplastický polymer, který je jedním z nejpevnějších běžně dostupných filamentů. Mezi jeho přednosti řadíme vysokou odolnost proti tříštění, lámání i dalším snahám o poškození. Samotný tisk probíhá často za velmi vysokých teplot (i více než 300 °C), s čímž souvisí i dobré předeřtání pracovní podložky, které by se nemělo určitě podcenit. Protože je PC silný materiál, lze ho například využít i v tak extrémních aplikacích, jako jsou neprůstředná skla. Jednou z jeho vlastností je právě i průhlednost. Tištěné výrobky lze využít i v domácích podmínkách například k výrobě silně namáhaných mechanických věcí či

různých ochranných pouzder. Polykarbonát je ekologicky odbouratelný a tudíž snadno recyklovatelný, nedoporučuje se však jeho kontakt s jídlem (Alza, 2019).

Nylon

Nylon je asi nejznámější umělé textilní vlákno ze skupiny polyamidů (PA). Polyamid je tedy syntetický polymer. Podobně jako polykarbonát patří mezi velmi pevné, teplotně odolné a v tenké vrstvě i pružné materiály. Tento druh filamentu vydrží namáhání všeho druhu, jeho tisk ale není vyloženě snadný právě kvůli jeho nadměrné pružnosti. Optimální teplota tiskové hlavy se pohybuje kolem 250 °C. Kromě pevnosti patří mezi výhody nylonu i schopnost absorbovat nejrůznější barviva, a to jak před tiskem, tak po něm. Nevýhodou je naopak hygroskopicitata, tedy pohlcování vzdušné vlhkosti a následný zápach. Nylon je proto třeba skladovat v suchém prostředí (Alza, 2019).

TPU

Termoplastický polyuretan, někdy nazýván obecně jako FLEX, je materiál podobný kaučuku používaný v oblasti aditivních technologií pro polo-pružné součásti. Technicky se jedná o polyuretanový plast a blokový kopolymer tvořený řetězcem tvrdých a měkkých segmentů. Oproti ostatním výše zmíněným materiálům odolá většímu ohybu, krutu i dalším deformacím a výsledné produkty jsou elastické jako guma. Samotný tisk patří k těm obtížnějším, protože probíhá za vysokých teplot. Výrobky vytvořené z TPU jsou dobře odolné proti opotřebení a teplotám až do 80 °C, ale velice obtížné pro post-processing nebo lepení dílů k sobě (ČVUT FS, 2022).

2.5.2 Pryskyřice (resiny)

Další skupinou tiskových materiálů používaných převážně pro technologii SLA jsou tekuté pryskyřice reagující se světlem, rovněž označované také jako fotopolymery nebo resiny. V této oblasti lze najít spoustu typů s různými mechanickými vlastnostmi od velké pevnosti, pružnosti až po odolnosti vůči teplotě. Tisk z těchto pryskyřic je ovšem v porovnání s klasickými filamenti o něco finančně nákladnější.

Resiny jako takové se nerozlišují dle typu samotného materiálu, jako je tomu u filamentů pro FDM tiskárny, ale podle toho, pro jaký účel jsou určeny. Fotopolymer je ve své podstatě pouze jeden a hlavní rozdíly vznikají jen přidáváním příměsí

či barviv. Typickými parametry je jejich stupeň tvrdosti a houževnatosti. Následující tabulka 1 shrnuje nejběžnější typy resinů s jejich výhodami a nevýhodami (Stříteský, 2019).

Tab. 1 Nejběžnější typy resinů a jejich porovnání

Typ resinu	Charakteristiky
Standardní resin	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ hladký a detailní povrch ⊖ křehký ⊖ není vhodný pro mechanické díly
Clear resin	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ částečně transparentní ⊖ po dodatečném opracování je na pohled téměř čirý
Odlévací resin	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ detailní povrch ⊕ vhodný pro vytváření odlévacích forem ⊕ po vyhoření zbývá naprosté minimum popela
Tvrdé a odolné resiny	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ vlastnostmi podobné materiálu ABS či PP ⊕ částečně pružné ⊕ vhodné pro mechanické díly ⊖ nízká teplotní odolnost
Teplotně odolný resin	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ vysoká teplotní odolnost ⊕ používá se na vstřikovací formy ⊖ vysoká cena
Dentální resin	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ zdravotně nezávadný ⊕ vhodný pro tvorbu zubních implantátů ⊕ vysoce odolný otěru ⊖ vysoká cena
Flexibilní resin	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ vlastnostmi podobný gumě (tvrdost 70A) ⊖ menší rozměrová přesnost výtisku

Zdroj: Upraveno dle (Stříteský, 2019, str. 51)

2.5.3 Kovové materiály

Tato skupina konstrukčních materiálů je poměrně nová a neustále navíc dochází k jejímu rozšiřování. Výroba složitějších dílů pomocí technologie slévání či tváření s následným obráběním lze do určité míry již nahradit technologií kovového 3D tisku. To přináší primárně úsporu času, financí a lze vytvářet konstrukčně složitější díly, které by obvyklým způsobem nebylo možné vyrobit. Kovový materiál je většinou dodáván ve formě prášku. Ten se používá převážně v průmyslovém pracovním odvětví, jako je automobilový, letecký, chemický nebo lékařský průmysl. Běžnými

materiály jsou různé typy kovových slitin (viz Obr. 14), které přináší velmi kvalitní výrobky s dobrými mechanickými vlastnostmi (Materialpro3d, 2022).



Zdroj: Upraveno dle (ČVUT FS, 2022)

Obr. 14 Nejběžnější konstrukční materiály z oblasti kovů

2.6 Možnosti uplatnění aditivní výroby

3D tisk byl zprvu převážně využíván jako nástroj na výrobu rychlých a levných prototypů. S nástupem inovovaných a levnějších technologií přichází i další možnosti využití. Místo pro uplatnění si 3D tisk našel například ve strojírenství (v automobilovém či leteckém průmyslu), zdravotnictví, stavebnictví, v oblasti designu a umění, školství, nebo dokonce v potravinářství a dalších. Nové aplikace 3D tisku se objevují prakticky neustále.

Strojírenství

Pravděpodobně největší zastoupení našel 3D tisk právě v tomto průmyslovém odvětví. Mezi ty nejvíce průlomové oblasti patří automobilový a letecký průmysl. V současné době automobilový průmysl využívá aditivní výrobu primárně k tvorbě nástrojů, prototypů nebo menších náhradních dílů. Někteří světoví výrobci ovšem nechtějí zůstat pouze u prototypování a posouvají využití aditivní výroby na novou úroveň. Tomuto odvětví se bude blíže věnovat praktická část této diplomové práce.

Aditivní technologie jsou široce používány i v leteckém průmyslu. Zde přináší možnosti nových a lehčích výrobních konstrukcí nebo výrobu tvarově složitějších komponent. Tisk modelů letadel je v současné době již celkem běžná záležitost. Snahou leteckých výrobců, jako je například Airbus, je proto tisk i samotný menších dopravních letounů s vizí jejich nasazení do roku 2050. Důvody tohoto konceptu jsou jednoduché. S využitím aditivních technologií bude možné docílit levnější

výroby a přibližně o 65 % snížení hmotnosti u součástí, které by byly jinak vyrobeny tradičními technologiemi (Hodek, 2013).

Zdravotnictví

I v oblasti medicíny nachází aditivní výroba důležité uplatnění. V současnosti se již na některých pracovištích používá aditivní tisk k výrobě zubních náhrad jako implantátů, korunek nebo výrobě protéz končetin a umělých kloubů. 3D tisk v tomto ohledu dokáže být velmi přesný, umí totiž vykreslit i ty nejjemnější detaily, a protézy tak vypadají velmi věrně, a navíc pacientovi skvěle padnou. V Holandsku byla již provedena operace, kdy byla vyrobena a implantována celá čelist. Byla vyrobena SLS metodu z titanového prášku a potažena keramickou-biokompatibilní vrstvou (Hodek, 2013).

Největší pozornost však budí ve světě medicíny slovo „bioprinting“, což lze interpretovat jako produkci lidských orgánů pro transplantace. Vědci už dokázali za pomoci takového bio tisku vytvořit například lidské ucho. Použitý materiál obsahoval živé buňky a speciální hydrogel, který měl zajistit dostatečnou pevnost a pružnost tohoto orgánu. Nyní již výzkumníci pracují na metodách jak tisknout z čistě buněčného materiálu bez příměsi cizorodých látek (Materialpro3d, 2022).

3D tisk se také ukázal jako velmi účinný nástroj pro výrobu ochranných štítů při celosvětové pandemii koronaviru.

Stavebnictví

3D tisk vstoupil přirozeně i do světa architektury a stavebnictví. Stolní tiskárny mohou sloužit architektům a designerům k tvorbě studijních vizualizačních pomůcek nebo architektonických projektů. Dříve ručně lepené modely budov byly časově náročné a velmi složité na výrobu. 3D tisk vytváření těchto modelů značně zjednodušil a zrychlil. Navíc je možné vytvářet více koncepčních modelů v různých variantách a stádiích projektu (Fanta, 2020).

Zatímco velké tiskárny (i několik desítek metrů) mohou dokonce tisknout celé objekty nebo jejich části. Základním materiálem je ve většině případů beton. Díky tomu mají domy mnohem lepší vlastnosti než běžné stavby. Navíc jsou energeticky nenáročné, protože zdi postavené z betonové směsi nepotřebují další tepelnou izolaci a jsou navíc odolnější, což je výhodné v místech, kde jsou poměrně častým jevem například přírodní katastrofy (Stříteský, 2019).

Design a umění

3D tisk přináší nové možnosti také do oblasti designu a umění. Tištěné oblečení a obuv dává designérům volnost a možnost využití recyklovatelných a více ekologických materiálů. Proces 3D tisku a práce na 3D návrzích umožňují vytvářet módní kusy více přizpůsobené tělu a jeho pohybům. Nyní je možné použít aditivní výrobu i třeba k vytvoření kostýmů pro filmový průmysl, ale také pro videohry. V hlavním městě Španělska v Madridu například využili aditivní výrobu k replikování jednoho z nejslavnějších obrazů historie, Mony Lisy. Replika tohoto obrazu byla vytištěna proto, aby mohl být obdivován také lidmi se zrakovým postižením. Díky tomu mohlo muzeum Prado udělat nezvyklou výjimku, a návštěvníci se tak mohli tištěných exponátů jednoduše dotýkat (Sculpteo, 2021).

Školství

Ve vzdělávání poskytne 3D tisk studentům příležitost experimentovat s nápady, rozvíjet svou kreativitu nebo lépe pochopit, jak věci fungují. Uplatnění najde tato technologie při tvorbě vizuálních pomůcek, například pro účely výuky matematiky, architektury, geografie, umění, chemie nebo anatomie. 3D tisk umožní studentům učit se více témat najednou. Navíc projektování a tvorba digitálního modelu obohacuje studenta o nové zkušenosti a může mu pomoci v budoucnosti najít lepší pracovní uplatnění (MakerBot Industries, 2022).

Potravinářství

Zní to trochu jako sci-fi, ale ta doba je vážně tady. Základem „potravinové“ tiskárny jsou chlazené zásobníky s různými jídelními přísadami ve velmi jemné, práškové nebo tekuté formě. Díky této kombinaci můžou kuchaři dosáhnout jedinečných variací, které předtím bylo téměř nemožné vyrobit. Různobarevné koktejly, cukrové sošky, dortové podpory a další. Jako jeden z mála potravinových materiálů se osvědčila i čokoláda pro použití s technologií FDM. Jelikož se dá působením tepla snadno přivést do pastovitého stavu a chová se tak podobně jako plastické hmoty používané při běžném 3D tisku, její použití tedy otevírá nové možnosti (Hodek, 2013).

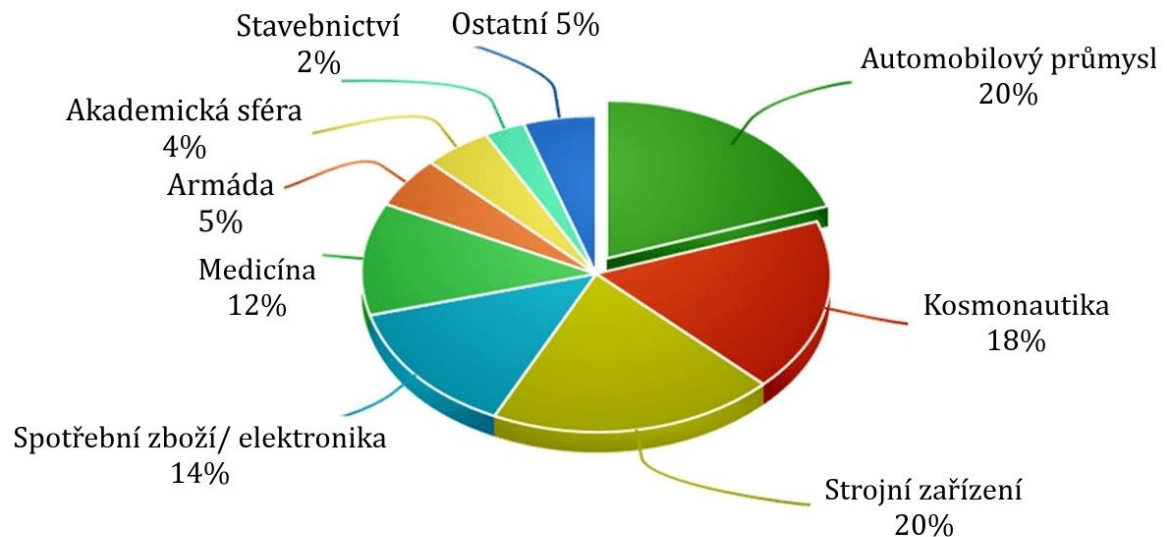
3 ANALÝZA SOUČASNÉHO UPLATNĚNÍ 3D TISKU V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Touto kapitolou začíná empirická část diplomové práce. Kapitola se zaměřuje na současné uplatnění 3D tisku v automobilovém průmyslu. Přináší pohled na současný stav aditivní výroby při kusové a sériové výrobě. Dále je představeno několik praktických příkladů aplikací zmíněné technologie u různých automobilových společnostech. V závěru kapitoly je provedeno vyhodnocení analýzy v podobě porovnání výhod a nevýhod implementace 3D tisku v daném automobilovém sektoru.

Vzhledem k poměrně krátké historii 3D tisku nelze najít žádnou komplexní literaturu, která by celistvě popisovala technologický vývoj této oblasti. Připočte-li se k tomu rychlost vývoje samotného 3D tisku, je zřejmé, že by informace v ní obsažené byly velmi rychle zastaralé. Empirická část práce je proto zpracována metodou systematické literární rešerše odborných článků, případových studií a veřejně dostupných informací od jednotlivých společností ať již společností poradenských, či přímo zabývajících se 3D tiskem v automobilovém sektoru.

3.1 Současné uplatnění zmíněné technologie v automobilovém průmyslu

Ačkoli ještě není možné si koupit 3D tištěné auto běžně na prodejně, 3D tisk je již mnoho let důležitou součástí procesu vývoje automobilů. V poslední době se však objevují i případy použití 3D tisku při výrobě, lépe řečeno výrobě komponent. 3D tisk se jednoznačně stává klíčovou součástí ve většině průmyslových odvětví a jinak tomu není ani v automobilovém průmyslu. V roce 2021 tento průmysl tvořil 20 % z celkového využití aditivní výroby na světě (viz Obr. 15). Není se proto čemu divit, že společnosti vyvíjející tyto technologie, vidí automobilový průmysl jako odvětví s velkým potenciálem, který lze dále velmi dobře rozvíjet. A tak se tyto společnosti snaží co nejrychleji vylepšovat své technologie a materiály pro potřeby automobilových závodů. Navíc díky rozvinuté infrastruktuře a dostupnosti finančních prostředků jsou tyto společnosti schopny nabízet komplexní řešení uzpůsobená přímo na míru (Juhász, 2020).



Zdroj: (Vafadar a kol., 2021, str. 2)

Obr. 15 Světové využití aditivní výroby v průmyslu v roce 2021

V současnosti se aditivní technologie používají jak pro kusovou, tak pro malosériovou výrobu. Kusová výroba se zaměřuje na prototypování, tisk náhradních dílů. U malosériové výroby se tisknou různé funkční díly automobilu přes montážní přípravky, až po výrobu celých panelů karosérie. V tomto ohledu směřuje aditivní technologie k velmi dobrým výsledkům a úspěšně doplňuje konvenční postupy, jako je obrábění na CNC strojích nebo vstřikování do forem.

3.1.1 Předvýrobní produkce (prototypování)

Prototypování obecně bývalo časově i finančně náročné, protože produkt prochází mnoha vývojovými fázemi. Díky výrazně zvýšené rychlosti, s jakou lze prototypování provádět pomocí 3D tisku, se prototypování stalo prakticky synonymem pro 3D tisk a tato technologie způsobila revoluci v procesu vývoje automobilu.

S 3D tiskem mohou automobiloví designéři rychle vyrobit prototyp fyzického dílu nebo sestavy, od jednoduchého interiérového prvku až po palubní desku, nebo dokonce zmenšený model celého automobilu. Rychlé prototypování umožňuje společně přeměnit své nápady na přesvědčivé důkazy v podobě konceptu. Tyto koncepty pak mohou být transformovány na vysoce věrné prototypy, které po určitých ověřovacích fázích nakonec často vedou směrem k sériové výrobě.

Takovým příkladem automobilového výrobce, který používá technologii aditivní výroby při svém vývojovém procesu, je třeba značka FORD MOTOR COMPANY s.r.o. (dále jen Ford). Namísto zaslání zakázky externímu dodavateli s několikatydenní dodací lhůtou jsou inženýři a designéři Fordu schopni držet své návrhy v rukou během několika hodin. Navíc „*fyzické prototypy mohou nabídnout mnoho výhod oproti digitálním modelům*“ (Formlabs, 2022), říká Bruno Alves, odborník na aditivní výrobu ve společnosti Ford.

Rychlé prototypování pomocí plastového 3D tisku bylo použito například u nápisů na zadní straně pátých dveří Fordu Puma pro modelový rok 2021, kdy designérům umožnilo vidět, jak by se linie a stíny nápisu chovaly v různých světelných podmínkách (viz Obr. 16). „*3D tisk je tak rychlý a tak efektivní, že jsme mohli návrhářům poskytnout různé možnosti návrhu,*“ říká Alves. „*Je to věc, kterou můžete vidět běžně v CATIA nebo jiném počítačovém softwaru a simulovat osvětlení, ale je to prostě jiné, když se můžete fyzicky nápisu dotknout a vidět všechny odrazy přímo na voze*“ (Formlabs, 2022).



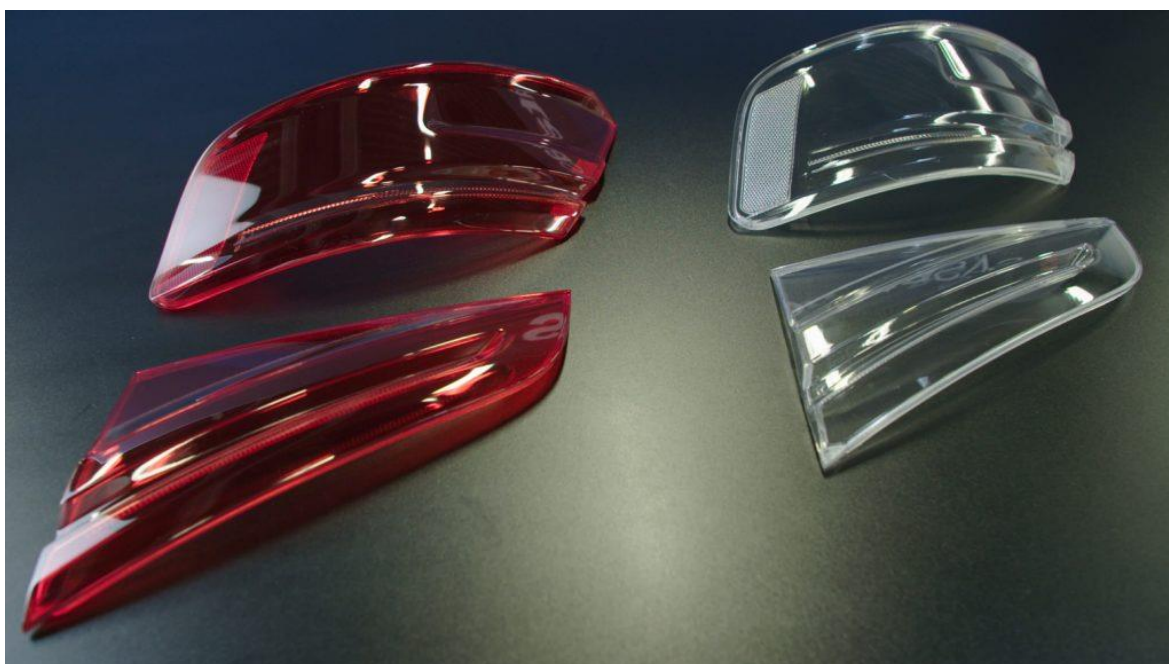
Zdroj: (Formlabs, 2022)

Obr. 16 Příklad použití aditivního prototypování pro nápis Ford Puma

Skvělý příklad toho, jak může 3D tisk urychlit návrh a vývoj u sériově vyráběných vozů, ukazuje i německá automobilová společnost Audi AG (dále jen Audi). Použití polymerového 3D tisku se stalo nedílnou součástí procesu navrhování automobilů v Audi, a umožnilo tak překonat omezení konvenčních procesů a urychlit ověřování návrhu.

Díky rychlému prototypování byl výrobce schopen rozšířit výrobu komponent, jako jsou kryty kol, mřížky, kliky dveří, nebo dokonce kryty zadních vnějších světel, které jsou obvykle vyráběny z průhledného plastu. Prototypy těchto dílů se tradičně vyrábějí frézováním nebo lisováním. Hlavním problémem těchto výrobních technik je, že například vícebarevné kryty světel musí být vyrobeny odděleně a poté v další fázi sestaveny. To prodlužuje dodací lhůty a následně zpožďuje dobu uvedení nového vozidla na trh.

Použití vícebarevné technologie 3D tisku od společnosti Stratasys umožňuje vývojovému týmu Audi vytvořit zcela průhledné, vícebarevné kryty zadních světel už v jediném tisku (viz Obr. 17). Navíc Audi je tímto krokem při výrobě schopná zkrátit dodací lhůty prototypů až o 50 procent (AMFG, 2021).



Zdroj: (AMFG, 2021)

Obr. 17 Příklad použití aditivního prototypování pro kryty zadních světel Audi

3.1.2 Funkční díly pro koncové použití

Kromě dnes už běžného rychlého prototypování, sázejí také výrobci čím dál častěji na 3D tisk funkčních a plně použitelných dílů. Existuje proto mnoho důvodů, které lze shrnout jako snahu o inovaci produktů v konkurenčním odvětví, jako je automobilový průmysl. Jedním ze způsobů jak dosáhnout inovace je dramaticky zlepšit provedení dílu, například snížením jeho hmotnosti. Samotná hmotnost je u

osobních vozů poměrně klíčová vlastnost, protože do určité míry značně ovlivňuje spotřebu paliva anebo dojezd u elektromobilů. Dalším důvodem, proč výrobci často volí aditivní výrobu, je zjednodušení funkčních dílů, a to prostřednictvím spojení více komponent do jednoho návrhu. Díky tomu se dlouhodobě snižuje i složitost při kompletaci a montáži finálních automobilů. V neposlední řadě je velký zájem také o inovace produktů prostřednictvím individualizace (přizpůsobení se požadavkům zákazníka), zejména u výrobců luxusních automobilů (Carlota, 2021).

Mezi výrobce, který má rozsáhlé zkušenosti s 3D tiskem funkčních dílů, se řadí například společnost BMW Group (dále jen BMW). Automobilka v roce 2020, po investici ve výši 15 milionů Eur, otevřela zcela nový areál aditivní výroby v německém Mnichově s cílem urychlit vývoj vozidel a zkrátit dobu výroby budoucích modelů. V novém závodě se nachází konkrétně 100 specializovaných 3D tiskáren pracujících s kovy a různými druhy plastů, které v současné době zaměstnávají okolo 80 lidí (tisková zpráva BMW GROUP, 2020).

BMW nyní využívá 3D tištěné funkční díly ve svých sériově vyráběných modelech řady i. Takovým příkladem je sportovní vůz BMW i8 Roadster, kde jsou použity rovnou dva tištěné komponenty. Jedním z nich je díl rámu plátěné skládací střechy na obrázku 18 vpravo dole. Tím druhým, i když méně viditelným dílem, je vodící lišta bočního okna, která je umístěna ve dveřích a zajišťuje hladký posun okna na obrázku 18 vlevo. Oba dva díly jsou vytištěny z hliníkové slitiny pomocí metody SLM, jsou lehčí než při použití tradičního procesu odlévání, a zároveň výrazně pevnější. Dr. Jens Ertel, vedoucí centra aditivní výroby společnosti v Mnichově říká: *„S modelem BMW i8 Roadster se automobilka BMW stala prvním výrobcem, který už 3D tiskem vyrobil několik tisíc kovových dílů“* (tisková zpráva BMW GROUP, 2020).

Již několik let také BMW vybavuje své okruhové závodní vozy oběžnými koly vodních čerpadel vyrobenými 3D tiskem (viz Obr. 18 vpravo nahoře). Jedná se o vysoce přesný díl, který je vystaven vysokému namáhání. Skládá se opět z hliníkové slitiny, která se už dříve osvědčila v náročném prostředí motoristického sportu. Aditivní výroba je tedy nedílnou součástí výrobního systému BMW a skrývá významný potenciál pro sériovou výrobu (Carsite, 2022).



Zdroj: (BMW GROUP, 2018)

Obr. 18 Příklad 3D tištěných sériových dílů výrobce BMW

Dále například zákazníci britské automobilky MINI mají v současné době možnost individualizovat své vozy navržením vlastního obložení palubní desky na straně spolujezdce nebo exteriérových bočních lišt směrových světel. Tyto plastové 3D tištěné díly mohou být vyrobeny v široké škále barev, vzorů, a dokonce s využitím vlastního rukopisu majitele (viz Obr. 19).



Zdroj: (Boissonneault, 2021)

Obr. 19 Příklad 3D tištěných individuálních dílů značky MINI

To je možné hlavně díky mateřské společnosti BMW. Christian Reinhardt, jenž je součástí firmy BASF Forward AM, která spolupracuje s BMW od roku 2019, uvedl: „Podle mého názoru byl jednou z nejzajímavějších a nejdůležitějších aplikací právě projekt MINI "Yours Customised“ (3dnatives, 2021). Tento projekt ukázal, že je možné mít 3D tištěný díl ve skutečném sériovém voze a že specifická individualizace pro zákazníka může přidat hodnotu, která nikdy předtím nebyla viděna. „Jsem přesvědčen, že tento projekt se stane průkopníkem pro mnoho dalších aplikací“ (3dnatives, 2021).

S 3D tištěnými komponenty nezůstává pozadu ani výrobce luxusních vozů Bugatti Automobiles S.A.S. (dále jen Bugatti). Aby automobilka vytvořila své dosud zdaleka nejlehčí, nejrychlejší a nejagresivnější vozidlo Bugatti Chiron, vsadila rovněž na aditivní výrobu. U tohoto modelu používá několik funkčních dílů vyrobených SLM technologií ze slitiny titanu (Ti6Al4V). Jsou to například zadní koncovky výfuku na obrázku 20 vlevo nebo držák motoru s integrovanými chladicími kanálky pro chladicí kapalinu, což výrazně snižuje přenos tepla z motoru na obrázku 20 vpravo (Carlota, 2022).



Zdroj: (Pappas, 2020)

Obr. 20 Příklad 3D tištěných sériových dílů Bugatti Chiron

Bugatti ovšem posunulo hranice aditivní výroby ještě dále a rozhodlo se tisknout i osmi-pístkové monoblokové brzdové třmeny na tomto modelu (viz Obr. 21). Ty musejí vydržet teplotu brzdových kotoučů, která se může při rychlosti 380 km/h s brzdou silou 1,35 g pohybovat až kolem 1100 °C. Dalšími příklady od Bugatti jsou

hlava motoru, skříň diferenciálu přední nápravy nebo držák zadního spoileru, kde se díky optimalizaci dokonce snížila hmotnost o 53 % (Boissonneault, 2019).



Zdroj: (Pappas, 2020)

Obr. 21 Příklad 3D tištěného brzdového titanového třmenu Bugatti Chiron

V nedávné době také automobilka Porsche AG (dále jen Porsche) představila nový koncept skořepinových sedadel sportovních vozů, který využívá 3D tisk pro individualizaci. Nová sedadla jsou vybavena polyuretanovým 3D tištěným středovým sedákem a opěradly s prodyšnou komfortní vrstvou, které lze přizpůsobit podle tří úrovní pevnosti: tvrdé, střední a měkké (viz Obr. 22). Porsche už dříve provedlo 3D tisk 40 prototypových sedadel pro použití na evropských závodních tratích v květnu 2020, přičemž zpětná vazba od zákazníků byla použita k vývoji u finálních modelů Boxster, Cayman a 911 pro rok 2021. Porsche navíc rozšířilo individualizaci sedadel nad rámec tuhosti a barev a sedadla je nyní možné přizpůsobit přímo obrysům těla zákazníka (AMFG, 2021).



Zdroj: (Yap, 2020)

Obr. 22 Příklad 3D tištěných částí skořepinových sedadel Porsche

Porsche dále používá 3D tisk pro výrobu pístů motoru u modelu 911 GT2 RS (viz Obr. 23). Komponenty s vysokým napětím a úzkými tolerancemi, jako jsou písty, jsou skutečně i v tomto případě vyráběny pomocí 3D tisku. Jak popisuje samotný výrobce: „Písty jsou vyrobeny z vysoce jemného kovového prášku pomocí procesu laserové fúze kovů“ (Porsche, 2020). To přináší o 10 % nižší hmotnost ve srovnání s konvenčními kovanými písty a také konstrukci uzavřeného chladičho kanálu uvnitř koruny pístu, což by nebylo možné tradičními výrobními metodami. Díky aditivní výrobě byli inženýři schopni u tohoto motoru zvýšit otáčky, snížit teplotní zatížení a optimalizovat spalování, přičemž získali dalších 22 kW výkonu z již tak nesmírně výkonného 515kW agregátu boxer se dvěma turbodmychadly (Pappas, 2020).



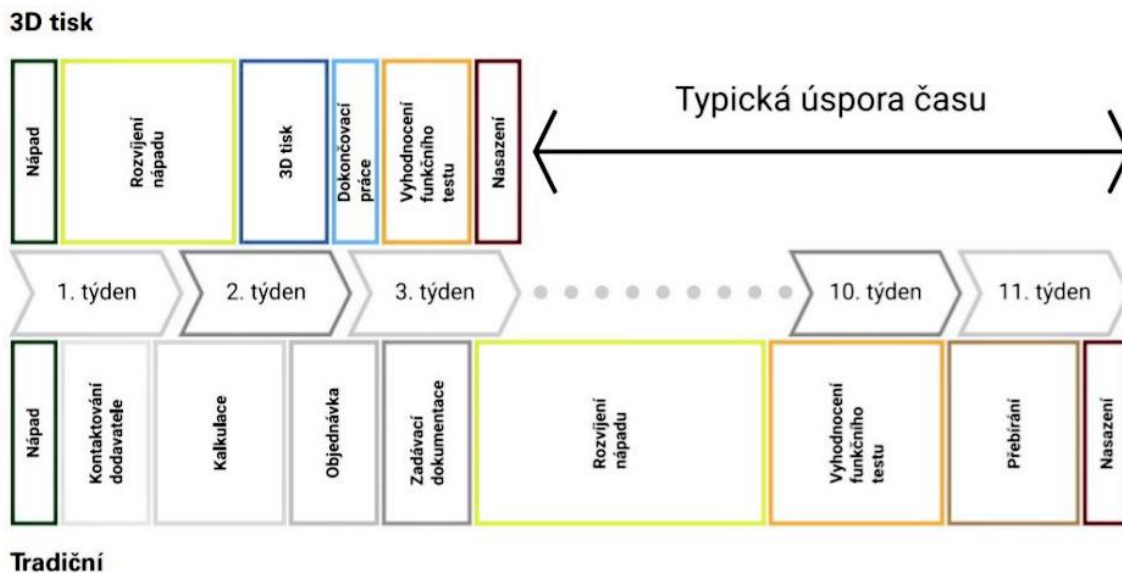
Zdroj: (Pappas, 2020)

Obr. 23 Příklad 3D tištěných pístů motoru Porsche 911 GT2 RS

3.1.3 Montážní přípravy

Efektivita na výrobní lince je pro výrobce automobilů tou nejvyšší prioritou. Většina z nich proto využívá různé pomůcky, jako jsou přípravy, upínače nebo nástroje, aby výrobní a montážní procesy byly jednodušší a rychlejší. 3D tisk se stále více používá k vytváření právě takovýchto nástrojů, které zkracují výrobní cyklus a zlepšují bezpečnost a ergonomii při práci. Všechny automobilky při zavedení do sériové výroby se shodují na pozitivních dopadech, které tato technologie přináší: pro výrobce je mnohem levnější používat aditivní výrobu k výrobě nástrojů, je to také podstatně rychlejší, navíc čím více ergonomických nástrojů pracovník dostane, tím se do určité míry zvyšuje jeho produktivita práce (Dickin, 2020).

Volkswagen AG (dále jen VW) používá interní 3D tisk již několik let a dosud ve svých továrnách instaloval téměř stovku 3D tiskáren. Téměř veškerá výroba montážních přípravků je dnes založena na 3D tisku, což společnosti každoročně ušetří stovky tisíc eur a zároveň zkracuje vývoj samotných nástrojů až o 95 %. Největší výhoda spočívá v absenci jednání s externími dodavateli, což v průměru zkrátí nasazení přípravku do výroby o 8 týdnů ve srovnání s tradičními způsoby (viz Obr. 24).



Zdroj: (3dwiser, 2019)

Obr. 24 Časová osa výroby přípravků ve společnosti VW

Outsourcing se také ukázal jako nákladný, zejména pokud byly vyžadovány konstrukční změny na díle. V případě 3D tisku lze po jednoduché revizi CAD

modelu, provést ihned následný tisk. Navíc díky umístění tiskových zařízení přímo v závodu u montážních linek jsou pracovníci VW schopni okamžitě aplikovat své případné připomínky (3dwiser, 2022).

Společnost VW uvádí, že v roce 2017 díky využití aditivní technologie u 91 % ze všech přípravků ušetřila téměř 325 000 Eur (AMFG, 2018). Mezi ně patří třeba ochrana kol, šablona nápisu pátých dveří, měřidlo trojúhelníkového okénka nebo spárová měřka ve tvaru hvězdice (viz Obr. 25).



Zdroj: (Molitch-Hou, 2017)

Obr. 25 Příklad používaných montážních a kontrolních přípravků VW

Například u nástroje pro ochranu kol, který se používá v průběhu polohování a šroubování sestavy při montáži, trval projekt externímu dodavateli 56 dní s cenou 800 Eur za díl. Po nasazení 3D tiskáren do závodu se doba projektu tohoto přípravku snížila na 10 dnů s propadem ceny na pouhých 21 Eur za díl. Podobné zlepšení lze pozorovat u všech ostatních přípravků, se kterými přešel výrobce na aditivní výrobu. „Čas a náklady potřebné k výrobě nástrojů nás dovedly k rychlé

návratnosti investic, lepší kvalitě výrobků a ke spokojenosti v průběhu celého procesu“, říká Luis Pascoa, ředitel pilotního provozu VW (3dwiser, 2022).

I další koncernové značky jako Audi a ŠKODA AUTO a.s. (dále jen ŠA) již uplatňují aditivně tištěné přípravky na svých výrobních linkách.

Jako většina výrobců na světě, ani Audi nevyrábí všechny komponenty interní cestou. Většina společností používá komponenty vyrobené externími dodavateli, které jsou pak přivezeny do závodu přímo k montáži. Mnohé z těchto součástí jsou křehké a drahé a vyžadují ochranu před poškozením. Audi se proto podívalo, kolik z těchto plastových obalů dříve vyhazovalo, a rozhodlo se s nimi udělat něco užitečného. Příklad balicího zásobníku a nově vytvořeného montážního přípravku na plastové klipy je zobrazen na obrázku 26 (Keane, 2021).



Zdroj: (Neckarsulm, 2021)

Obr. 26 Příklad nově vytvořeného recyklovatelného montážního přípravku Audi

Audi v rámci svého ekologického programu „Mission: Zero“ pracuje na dosažení nulových čistých emisí uhlíku ve všech svých závodech do roku 2025 a iniciativa přeměny odpadu na nástroje vytištěné na 3D tiskárně jsou jedním ze způsobů, jak toho dosáhnout. Výrobce v současné době využívá při výrobě více než 160 různých 3D tištěných nástrojů a montážních pomůcek a většina z nich je vyrobena právě recyklovatelným způsobem (Keane, 2021).

I výrobce ŠA je aktivní na poli 3D tištěných přípravků. V minulosti nastal například měsíční výpadek u dodavatele jednoho plastového dílu způsobený pandemií

koronaviru a ŠA mohla přijít o miliardy korun, protože by nemohla dokončit přes třináct tisíc nových vozů. Výrobu zastavit nakonec nemusela díky farmám s 3D tiskárnami, které automobilka začala budovat v průběhu roku 2019. Mohla tedy operativně vytisknout chybějící krytky na převodovky, které sloužily pro dočasnou aretaci neutrálu převodovky při pohybu vozu výrobní linkou a později byly nahrazeny originálním dílem (viz Obr. 27 vlevo). Po použití na montáži navíc krytky posloužily k výrobě nového recyklovatelného filamentu (MM Průmyslové spektrum, 2021).

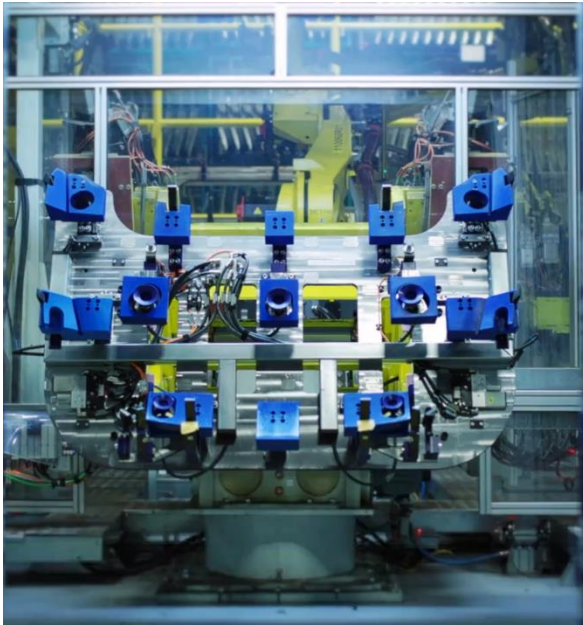


Zdroj: (ŠKODA Mobil, 2021, str. 3)

Obr. 27 Příklad používaných montážních a kontrolních přípravků ŠA

3D farmy mají ale ve výrobě a logistice automobilky mnohem širší využití. Příkladem je tisk tvarových dílů do robotizovaných linek na obrázku 28 vlevo nebo realizace kontrolních šablon pro panelové díly karoserie na obrázku 28 vpravo.

Nyní se vyrábí zejména pomocné přípravky a nástroje pro údržbu a provoz útvaru Centrálního technického servisu, jako například držáky nářadí, měrky, organizéry, krytky či různé štítky (viz Obr. 27 vpravo). „*Tištěné díly se zakládají v databázi a lze je kdykoliv dodatečně vytisknout či příslušným způsobem upravit,*“ uvádí automobilka (MM Průmyslové spektrum, 2021).



Zdroj: (Vítek, 2021)

Obr. 28 Příklad používaných montážních a kontrolních přípravků ŠA

Aditivní výroba také pomáhá zlepšovat ergonomii při práci, jak ukazuje například automobilka BMW. Ta v nedávné době představila ergonomický nástroj vyrobený 3D tiskem pro sériovou montáž vozidel, který chrání pracovníky před nadměrným namáháním kloubů palce při provádění určitých montážních úkonů. Každá z těchto flexibilních „protéz“ je vyrobena z termoplastického polyuretanu přizpůsobeného tak, aby odpovídala tvaru a velikosti ruky konkrétního pracovníka (viz Obr. 29).



Zdroj: (Carsite, 2022)

Obr. 29 Příklad 3D tištěného ergonomického nástroje výrobce BMW

Stejně jako BMW i švédský výrobce automobilů Volvo Cars (dále jen Volvo) používá při své sériové výrobě tištěné montážní a kontrolní přípravky. Malým, ale zásadním krokem při montáži každého Volva je „označení“ každého vozu logem, číslem modelu a dalšími značkami na pátých dveřích. Ty se liší auto od auta, ale musí být připevněny přesně, rychle a bez poškození laku. Dříve to bylo prováděno pomocí řady samostatných, těžkopádných svařovaných lepicích přípravků – šablon, které pracovníci zvedli na zadní část vozu, aby pak umístili značky na správné místo se správným zarovnáním (RapidFit, 2017).

Nový lepicí přípravek kombinuje všechny předchozí komponenty v jednom přípravku, váží o 64 % méně a může být dodán za pouhé dva týdny za téměř poloviční cenu oproti předchozímu přípravku. Obsahuje standardní karbonové trubky, které slouží jako základní velmi lehký rám, a poté spojovací body, podložky a nárazníky, které je spojují. Podložky jsou vytištěny pomocí TPU pro své pryžové a vysoce odolné vlastnosti. Spojovací body jsou vytištěny z Polyamidu PA-12, který je zvláště vhodný pro složité, vzájemně propojené díly. Navíc díky své modulární povaze se přípravek snadno nastavuje, kalibruje a opravuje (viz Obr. 30).



Zdroj: (RapidFit, 2017)

Obr. 30 Příklad používaného montážního přípravku Volvo

Lepicí přípravek výše není jediným nástrojem, který Volvo v současné době využívá. Za zmínku stojí i přípravy pro kontrolu kvality vnitřních a vnějších panelů karoserie vozidla (blatníky, kapoty, nárazníky apod.) na obrázku 31, včetně předních světlometů a koncových světel. Inovativní kombinace nosníků z uhlíkových vláken a jednotlivých prvků vyrobených 3D tiskem umožňuje vyrábět kontrolní přípravy až o 90 procent lehčí než konvenčně vyráběné nástroje (RapidFit, 2021).



Zdroj: (RapidFit, 2017)

Obr. 31 Příklad používaného kontrolního přípravku pro nárazníky Volvo

3.1.4 Náhradní díly

Kromě uplatnění aditivní výroby pro nové trendy je obzvláště zajímavou oblastí použití této technologie pro náhradní díly. Zejména, pokud jde o velmi stará sběratelská vozidla nebo již nedostupné komponenty.

Takovým příkladem je divize Classic německé automobilky Porsche, která dodává díly pro své historické, již nedostupné modely. Navíc vyrábí vzácné a maloobjemové náhradní díly pro skladové zásoby. Řada Porsche Classic v současné době zahrnuje přibližně 52 000 dílů. Mnoho z těchto dílů již není ve výrobě a nástroje potřebné k jejich vyhotovení buď neexistují, nebo jsou ve špatném technickém stavu. Výroba nových nástrojových pomůcek tradičními metodami je poměrně nákladná, a proto se Porsche rozhodlo pro aditivní výrobu, pomocí které reprodukuje různé díly z plastu, titanu nebo hliníkové slitiny (AMFG, 2019). Výhodou je, že díly mohou být vyráběny bez dalších nástrojů a pouze v případě potřeby, což pomáhá výrobcovi ušetřit náklady na nástroje a skladování.

Výrobce nabízí pro své klasické modely přibližně 30 reprodukováných 3D tištěných náhradních dílů. Jedním z nich je například uvolňovací páka pro spojku modelu Porsche 959 vyrobených v letech 1980 a 1990 (viz Obr. 32 vlevo). Tento komponent dříve vyrobený ze šedé litiny podléhá velmi vysokým požadavkům na kvalitu. Poptávka po něm je ovšem velmi vysoká – není se čemu divit, když bylo vyrobeno pouze 292 těchto supersportovních vozů (Porsche, 2018).



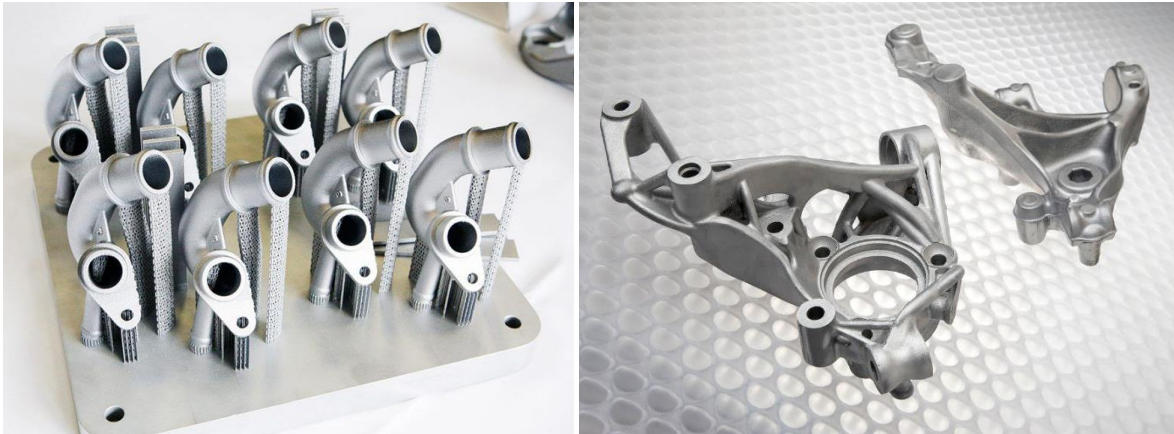
Zdroj: (Porsche, 2018)

Obr. 32 Příklad tištěných náhradních dílů Porsche Classic

Za zmínku stojí i další příklady vyráběných náhradních dílů, jako je skříň převodného ustrojí, mezichladič turbodmychadla nebo výfukové potrubí (svody) společnosti Porsche Classic. Například mezichladič turbodmychadla se vyrábí ze speciální hliníkové slitiny o tloušťce stěny 1,8 mm. Aditivní výrobou jsou vyrobeny pouze krajní nádrže, které jsou následně přivařeny k běžnému tepelnému výměníku. Díky této optimalizaci došlo ke snížení hmotnosti součásti a zajištění lepšího šíření průtoku nasávaného vzduchu (UKEssays, 2020).

V neposlední řadě společnost Porsche Classic tvrdí, že všechny díly, které jsou vyráběny procesem 3D tisku, splňují požadavky na absolutní věrnost původním specifikacím – a to jak z technického, tak vizuálního hlediska (Porsche, 2018).

Porsche není jedinou značkou v koncernu, která používá aditivní tisk pro reprodukci dílů. Tým Audi v centru 3D tisku v Ingolstadt pracuje také na výrobě náhradních dílů. Jedním z příkladů je třeba spojovací vodní potrubí nebo uložení – držák motoru pro velkoobjemový motor W12 (viz Obr. 33), které jsou vyrobeny 3D tiskem pomocí kovové metody SLM. Na obrázku 33 vlevo jsou také patrné podpůrné struktury, které jsou pro výrobu takto složitých součástí nezbytné (Sher, 2020).



Zdroj: (Audi-MediaCenter, 2018)

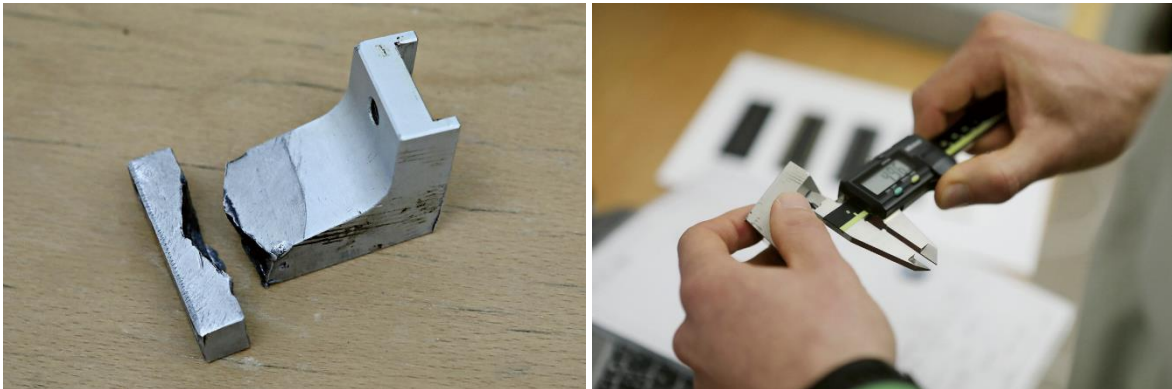
Obr. 33 Příklad tištěných náhradních dílů pro motory Audi W12

Kromě automobilových náhradních dílů jako takových je aditivní proces už uplatňován i pro výrobu náhradních dílů na výrobní linky, stroje nebo různé roboty. Tato technologie může být dnes navíc ještě doplněna procesem tzv. reverzního inženýrství. To umožňuje poměrně snadno a rychle vyrobit náhradní díl, který jinak již není k dispozici. Díky tomu se prodlužuje životnost zařízení, snižuje doba opravy i celkové náklady na ně. Samotnému tisku daného náhradního dílu předchází řada kroků, při nichž konstruktéři vytvoří náhradní díl úplně od základu. Pro reverzní inženýrství předmětů se často využívá 3D skenování, kdy je pomocí 3D skeneru vytvořen digitální model fyzického objektu a následně je využíván pro další kroky. Tento postup má výhodu i v tom, že nový díl většinou v kvalitě předčí originál (ŠKODA Mobil, 2021).

Takový ukázkový příklad z praxe je možné vidět u mladoboleslavské automobilky ŠA, konkrétně útvaru Interních oprav – PSZ/3. Jednou z typických příčin poruchy bývá „únava materiálu“, v tomto případě nastala u držáku hlavy robota UBS, který se zlomil (viz Obr. 34 vlevo). „Náhradní díl již neexistuje, výrobce ho nedodává nebo může být daný stroj už tak starý, že neexistuje ani jeho výrobce“ (ŠKODA Mobil, 2021), říká Patrik Pánek z útvaru PSZ/3 s tím, že obvykle k takovému dílu neexistuje ani dokumentace. Pokud by byla, ušetřilo by to následující krok.

Druhou fází proto často bývá kompletní zaměření poškozeného dílu a tvorba dokumentace, která poslouží v případě, kdy se lze stejná součást jinde ve výrobě (viz Obr. 34 vpravo). Při digitalizaci už konstruktéři přemýšlí nad tím, jak bude nový

díl vypadat. Zdaleka totiž nemusí mít stejný tvar jako ten původní. „Hledáme cestu, jak zlepšit jeho životnost. V tomto konkrétním případě víme, že hliníkový díl praskl, v jakém místě a proč se stalo, a můžeme vše za pomoci moderních materiálů řešit“, upřesňuje P. Pánek (ŠKODA Mobil, 2021).



Zdroj: (ŠKODA Mobil, 2021, str. 4)

Obr. 34 Kompletní zaměření poškozeného dílu

Po dokončení dokumentace začíná příprava nového náhradního dílu. U něj je nutné určit řadu parametrů a vytvořit model kompletní části (viz Obr. 35 vlevo). Například definováním hustoty materiálu v jednotlivých místech lze zvyšovat pevnost tam, kde je potřeba. Samotný obslužný program tiskárny Markforged, kterou k tomuto účelu v PSZ využívají, pomůže se základními pevnostními výpočty. Nedílnou součástí procesu je volba konkrétního surovinového složení z palety materiálových kombinací odolných kompozitů. Základem je materiál onyx (či nylon), který lze vyztužit karbonovými, kevlarovými či skelnými vlákny, a to i v jejich vysokopevnostní a vysokoteplotní variantě. Každý prvek dodává výslednému dílu určité vlastnosti: pevnost, pružnost apod. Navíc na různá místa dílu lze při tisku aplikovat rozdílné materiály, a tím progresivně přizpůsobovat vlastnosti výsledného produktu.



Zdroj: (ŠKODA Mobil, 2021, str. 4)

Obr. 35 Příprava nového náhradního dílu a volba surovinového složení

Poté následuje tisk dílu, který trvá řádově hodiny – od jedné u velmi jednoduchých částí až po desítky u složitých. „Během tisku sledujeme jednotlivé vrstvy a snažíme se najít místa, kde by mohly vznikat nedokonalosti (viz Obr. 35 vpravo). Oproti digitálnímu zadání je výsledkem díl s určitými tolerancemi. Tiskárna například nikdy nevyrobí tak ostrou hranu, jakou můžeme navrhnout, takže je nutné po vytištění díl pečlivě zkontrolovat“ (ŠKODA Mobil, 2021), upozorňuje P. Pánek.

Hotový díl, který může být jako v tomto případě složen z několika kusů, putuje zpět na linku (viz Obr. 36). Ještě před tím si mohou konstruktéři vyzkoušet usazení dílu přímo u tiskárny. Takto vytištěná součást dosahuje pevnosti slitiny hliníku, přitom má řádově nižší hmotnost a její výroba je oproti konvenčním metodám, například kompletně obráběnému dílu, méně nákladná. Při stejné pevnosti je navíc díky nově navržené struktuře pravděpodobnost opakovaného selhání mnohem menší (ŠKODA Mobil, 2021).



Zdroj: (ŠKODA Mobil, 2021, str. 4)

Obr. 36 Nově přepracovaný a vytištěný díl vs. poškozený původní díl

V současné době se výrobci náhradních dílů potýkají s řadou výzev vyplývajících především z výroby a skladování náhradních dílů. Někteří z nich proto začali používat tzv. digitální inventáře/ knihovny náhradních dílů. Díky digitálnímu inventáři lze některé náhradní díly, zejména díly s nižší poptávkou, jako jsou zastaralé komponenty, přepracovat pro 3D tisk a uložit do virtuálního katalogu dílů, čímž se uvolní místo ve skladu. Když je díl potřeba, stačí ho jednoduše najít ve svém digitálním inventáři, poslat návrh do 3D tiskárny a mít ho připravený během několika hodin nebo dnů.

Schopnost vyrábět díly v místě potřeby naznačuje posun od „výroby na sklad“ k udržitelnějšímu modelu „výroby na zakázku“ pro malé objemy náhradních dílů. To poskytuje významnou výhodu pro výrobce i dodavatele – hlavně díky snížení počtu dílů skladovaných ve skladech, a tím poklesu nákladů vázaných v zásobách (AMFG, 2018).

Mezi hlavní průkopníky v oblasti aditivní výroby nepatří bezesporu pouze výše zmínění automobilový výrobci. V současné době využívá 3D tisk i mnoho dalších automobilových společností, jako jsou například: Cadillac, Chevrolet, Mercedes-Benz, General Motors, Lamborghini, Hyundai, Rolls-Royce, Tesla, Jaguar, Land Rover atd.

Dále tato technologie také našla uplatnění u významných dodavatelských firem v automotive jako jsou například: Siemens AG, Hella Mototechnik Nova s. r. o., ABB s.r.o., RECTICEL Interiors s. r. o., EDAG Production Solutions s. r. o., Maxion Wheels Czech s. r. o., Magna automotive s.r.o., Honeywell atd.

3.2 Vyhodnocení současné implementace technologie v automobilovém průmyslu

3D tisk opakovaně prokazuje, že pokud je kreativně využíván, nabízí významné výhody dodavateli, výrobci, ale i konečnému spotřebiteli. V některých případech technologie 3D tisku posouvá hranice a pomáhá tak dosáhnout zcela nových možností při designu a výrobě.

Na druhou stranu, přestože nabízí aditivní výroba nesporné výhody oproti ostatním výrobním technologiím, stále existují určitá omezení, která brání tomu, aby plně nahradila konvenční výrobní metody. Na základě výše zmíněných případů implementace 3D tisku v automobilovém sektoru jsou v dalším kroku porovnány a

vyhodnoceny jeho výhody a nevýhody (viz Tab. 2) s ohledem na současné uplatnění v daném sektoru.

Tab. 2 Srovnání výhod a nevýhod implementace aditivní výroby v automobilovém průmyslu

VÝHODY	NEVÝHODY
Úspora konstrukčního materiálu	Nižší objem výroby
Nízké náklady pro malovýrobu	Rizika duševního vlastnictví
Minimální skladovací prostory	Limity výrobního postupu
Rychlost výroby a navrhování	Omezený výběr materiálů a tiskáren
Větší počet pracovních příležitostí	Konstrukční nepřesnosti
Flexibilní design	Omezená velikost tisku objektů
Snížení závislosti na externích dodavatelích	
Výborné vlastnosti materiálů	

Na základě výše provedeného srovnání výhod a nevýhod si autor této práce troufá tvrdit, že implementace 3D tisku je velkým přínosem pro automobilový sektor. To dokazuje i představený výčet výhod, které v současné době do určité míry převyšují nevýhody, které aditivní výroba přináší. Tučně vyznačené faktory (vždy dva) jsou dle autora těmi nejzásadnějšími ve své kategorii a jsou podrobněji níže popsány. Zbytek faktorů je v daném použití méně důležitý, ale i přesto je vhodné je zmínit. Celkový podrobnější popis výhod a nevýhod se nachází v Příloze 1.

V rámci výhod implementace dané technologie je nejdůležitějším faktorem rychlost výroby a samotného navrhování. U většiny automobilových výrobců a dodavatelů hraje totiž klíčovou roli čas. V tomto případě jsou soubory 3D designu uloženy ve virtuální knihovně ve formátu CAD nebo STL, což znamená, že jsou ihned dostupné a je možné okamžitě zahájit tiskový proces bez zdlouhavé přípravné fáze. Druhým pozitivním faktorem je dle autora snížení závislosti na externích dodavatelích. Stále více automobilových výrobců si totiž pořizuje 3D tiskárny, na kterých si můžou poměrně jednoduše vytisknout rozbité či nedostupné díly. Pokud si výrobce dokáže potřebnou součástku dobře naskenovat a přenést její model do 3D tiskárny, stává se do určité míry soběstačný.

V rámci nevýhod implementace této technologie jsou dle autora nejzásadnějšími omezeními - nižší objem výroby a limity výrobního postupu. V současném stavu nemá aditivní výroba možnost dosahovat úplně velkoobjemové produkce. Nicméně tato omezení se týkají výroby tisícových sérií. Pro maloobjemovou výrobu je 3D tisk dostačující, a i omezení z hlediska hromadné produkce by mohla být odstraněna za pomoci nasazení většího počtu tiskáren. Co se týká výrobního postupu, limitní je v některém případě síla jednotlivých částí konečného dílu. Ta nemusí být vždy souměrná důsledkem procesu, kdy je materiál nanášen vrstvu po vrstvě. Znamená to, že by se mohly při určitém napětí vrstvy například oddělit od sebe.

Přechod aditivní výroby od rychlého prototypování k plně sériové výrobě je ovšem stále probíhajícím procesem. Hlavním problémem jsou náklady na 3D tisk. Aditivní výroba totiž nemusí být vždy nejlevnější výrobní technikou pro velmi velké série dílů. Tato otázka je obzvláště problematická pro kovové 3D tištěné díly, které se široce používají v oblasti automobilového průmyslu.

Po uvedení současných výhod a nevýhod aditivní výroby se dostáváme k hlavní myšlence práce. Koncept praktické části diplomové práce spočívá v rozvedení myšlenky budoucího způsobu uplatnění 3D tisku v automobilovém průmyslu.

4 BUDOUCÍ POHLED NA UPLATNĚNÍ 3D TISKU V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

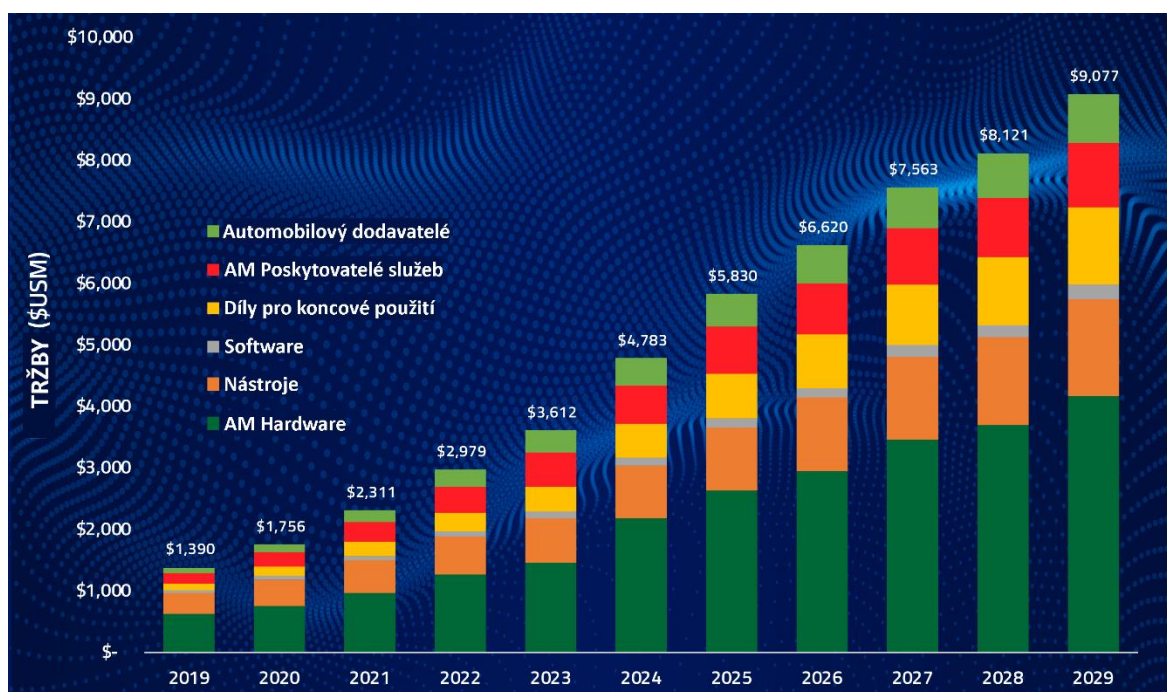
Automobiloví výrobci většinou historicky používali aditivní výrobu pro rychlé prototypování, výrobu nástrojů nebo pro malé výrobní série zakázkových a často velmi složitých komponentů. V posledních letech však pokrok v oblasti aditivní výroby mění způsoby, jakými jsou navrhovány a vyráběny i díly pro koncové použití. Výrobci automobilů musejí také čím dál častěji hledat nové obchodní modely, aby dosáhli určitého potenciálního růstu a získali důležitou konkurenční výhodu (Carlota, 2021).

Tato kapitola se věnuje tématu budoucího uplatnění 3D tisku v automobilovém průmyslu. V úvodu je představena analýza vývoje této oblasti, která je doplněna budoucí prognózou tržeb. Analýza také zmiňuje budoucí přijetí polymerní a kovové aditivní výroby a naznačuje její zaměření s ohledem na použité materiály. Následuje podkapitola zabývající se transformací dodavatelského řetězce. Zde jsou popsány tři budoucí výhledy, které ilustrují, jak mohou automobilové společnosti spolupracovat s poskytovateli logistických služeb na integraci 3D tisku do svých dodavatelských řetězců. V další podkapitole jsou zmíněny oblasti, které představují potenciál pro implementaci nebo již nějakým způsobem technologii adoptovaly. Kapitola také doplňuje klíčové faktory implementace technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu a v samotném závěru přináší vlastní doporučení a analýzu nákladů pro vybranou technologii.

Ve zprávě společnosti Jabil z roku 2021 (Jabil, 2021): „*Automotive industry trends*,“ se lze dočíst, že pokroky v aditivní výrobě znamenají, že výrobci automobilů stále více integrují 3D tisk do svých výrobních oblastí. V dané zprávě jsou také prezentovány výsledky provedeného průzkumu společnosti Jabil. Zde uvádí, že 71 % automobilových společností má časovou osu uvedení produktu na trh do 2 let. Mnozí se zaměřují na nové technologie, včetně aditivní výroby, aby udrželi krátké vývojové cykly a dosáhli tak nižších nákladů. Ve skutečnosti až 94 % ze zúčastněných stran plánuje rozšířit své možnosti 3D tisku. Zájem je také o elektrifikaci vozidel, přičemž přibližně 50 % dotázaných výrobců automobilů chce v blízké budoucnosti získat vedoucí postavení na trhu plně elektrických vozidel (EV). Vzhledem k tomu, že se průmysl odklání od spalovacích motorů, 3D tisk roste jako řešení, které může urychlit vývoj lehčích dílů právě pro elektrická vozidla. Nízká

hmotnost je pro tyto vozy skutečně klíčová, protože přímo ovlivňuje dobu a výdrž baterie (AMFG, 2021).

Za posledních 30 let se aditivní výroba neúnavně vyvíjí a postupně je zaváděna do nových podniků. I přes těžkou situaci, spojenou se světovou pandemií koronaviru, poptávka po dané technologii vyrábějící trojrozměrné modely, stále roste. Další zajímavou studií přináší společnost SmarTech Analysis (SmarTech Analysis, 2019), která patří k předním poskytovatelům průmyslových analýz a údajů o trhu aditivní výroby. Ve své zprávě společnost kvantifikuje globální ekonomický dopad polymerního a kovového 3D tisku, včetně první hloubkové analýzy příjmů spojených s 3D tištěnými díly. Jejich budoucí prognóza také odhaluje, že do roku 2029 bude automobilový 3D tisk generovat příjmy ve výši 9 miliard dolarů ve srovnání s 1,39 miliardy dolarů v roce 2019. Jedná se konkrétně o příjmy z hardwaru, nástrojů, softwaru, dílů pro koncové použití, včetně dodavatelů a poskytovatelů služeb zásobujících automobilový segment v oblasti 3D tisku. Tuto predikci společnost doplňuje příslušným grafem s vyváženou růstovou tendencí trhu (viz Obr. 37). Kam tedy AM v tomto sektoru bude směřovat (SmarTech Analysis, 2019)?



Zdroj: (SmarTech Analysis, 2019)

Obr. 37 Prognóza tržeb z aditivní výroby v automotive 2019 - 2029 v miliardách USD

SmarTech Analysis na základě studie poukazuje na trend, jak se 3D technologie stále více používají k návrhu finálních dílů, kromě vytvořených nástrojů a prototypů. Odhaduje, že tato část příjmů dosáhne do roku 2028 - 4,3 miliardy dolarů. Tento trend je potvrzen i pro letošní rok, tažený zejména prodejem zařízení pro 3D tisk. To by mělo představovat více než třetinu generovaných příjmů. Navíc daná prognóza je podpořena tradičními výrobci 3D zařízení na trhu, jako jsou Stratasys, EOS nebo 3D Systems, kteří za tímto účelem začínají zavádět automatizovaná řešení, zlepšovat svůj software nebo usnadňovat všechny fáze modelování. Dle zprávy je jejich cílem optimalizovat proces aditivní výroby tzv. od začátku až do konce (SmarTech Analysis, 2019).

Zpráva dále hodnotí přijetí polymerní aditivní výroby v automobilovém sektoru a naznačuje její zaměření na určité materiály. Očekává se, že budou široce používány materiály jako nylon (hlavně PA12, ale také různé další druhy PA) a ABS - zejména v kompozitních variantách obsahujících uhlíková vlákna (pro lehkost a pevnost) nebo skleněná vlákna pro vysokou teplotní odolnost. SmarTech také zaznamenává zvýšené přijetí elastomerů, jako je TPU a PP.

V oblasti kovových materiálů zůstává velká část pozornosti upřena na ocel, nejpoužívanější kov jak v automobilovém průmyslu, tak v AM obecně. Stejně jako na titan pro špičkové automobilové aplikace, zejména v motoristickém sportu nebo jednorázové a malosériové výrobě. Pro budoucnost má dobrý potenciál i hliník – který je dnes široce používán převážně pro prototypování. Je považován za klíčový materiál pro lehkou a cenově dostupnější výrobu dílů pro koncové použití, a to jak prostřednictvím kovových technik fúze práškové lože (SLS, SLM...), tak případně procesů tryskání pojiva (SmarTech Analysis, 2019).

Přestože Evropa v současné době vede v kovovém aditivním průmyslu a Amerika vede v přijímání polymerní aditivní výroby, očekává se, že nakonec Čína bude generovat největší výnosy v automobilovém průmyslu z hlediska kumulativních výnosů během prognózovaného období. Dle studie Spojené státy budou druhým největším trhem a Německo třetím, z nichž každý bude dominovat svým geografickým oblastem (SmarTech Analysis, 2019).

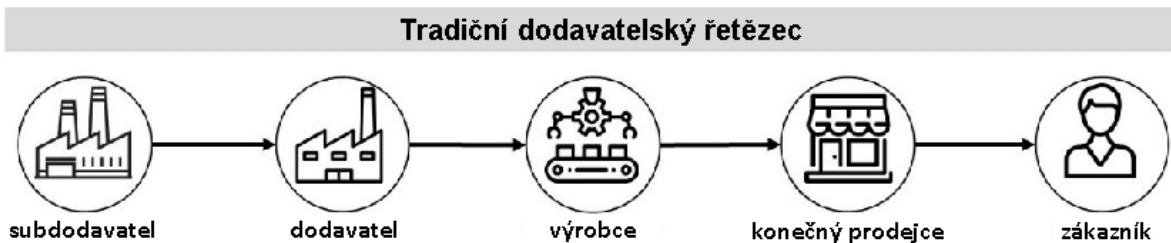
V neposlední řadě 3D tisk může v budoucnu přidat obrovskou hodnotu dodavatelským řetězcům a díky tomu odemknout široké spektrum výrobních aplikací (Formlabs, 2022).

4.1 Transformace dodavatelského řetězce

Na jaře roku 2020 vypukla světová pandemie COVID-19, což způsobilo téměř globální ekonomické vypnutí a dočista paralyzovalo mezinárodní automobilové dodavatelské řetězce. Ukázalo se, že mnoho společností si zvyklo a je závislých na levných mezinárodních dodávkách zboží, dílů a komponentů v přesném čase a množství, potřebných k efektivnímu provozování svých podniků. Lockdowny, téměř rázem, destabilizovaly tuto strukturu, která byla dále umocněna zablokováním Suezského průplavu na začátku tohoto roku na přibližně šest dní. Tato série událostí přinutila mnoho společností si uvědomit, že jsou masivně zranitelné vůči problémům mezinárodních dodavatelských řetězců (PlasticCity, 2022).

Díky výše zmíněným důvodům, se proto začala posouvat rovnováha mezi levnými mezinárodními, ale zranitelnými dodavatelskými řetězci a těmi dražšími domácími, ale spolehlivějšími dodavatelskými řetězci. Posun směrem k druhé prioritě nabírá na síle, neboť ceny zboží z Číny nyní výrazně rostou, což dále narušuje argument pro levné dodávky zboží. Stejně jako zbytek světa se Čína potýká s ekonomickými nepříznivými faktory způsobenými pandemií COVID-19. Problémy s dodávkami energie a náklady na ně v Číně rostou (stejně jako jinde), což vedlo k razantnímu poklesu tempa růstu, vyšší inflaci a obecnému pocitu ekonomického neklidu. Takže otázka, která visí ve vzduchu, zní: pokud jejich zboží už není tak levné, proč by se někdo „honil“ za čínskými dodávkami a vystavoval se tak problémům mezinárodního dodavatelského řetězce (PlasticCity, 2022).

Aditivní výroba může v tomto ohledu úplně zvrátit koncept fungování tradičního dodavatelského řetězce (viz Obr. 38) a přinést různé pozitivní dopady. Ty mohou zahrnovat just-in-time výrobu, snížení nákladů na dopravu, skladování, energie a další související úspory. Zbývá jen dodat, že daná technologie se zdá být v blízké budoucnosti pro automobilový dodavatelský řetězec extrémně prospěšná (AMFG, 2021).

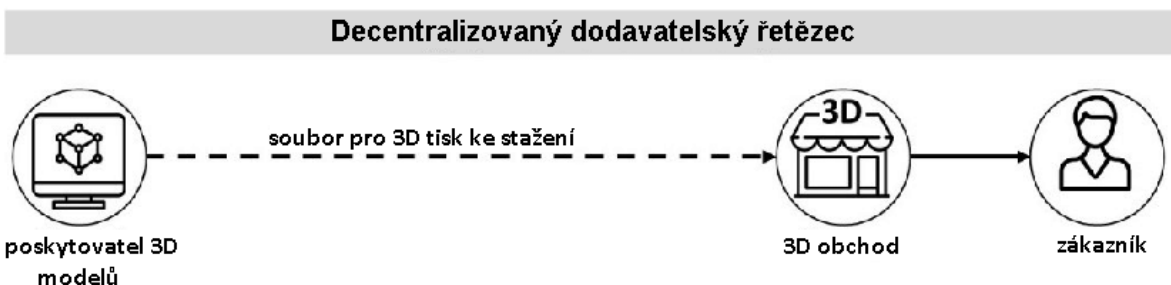


Zdroj: (Produção, 2020)

Obr. 38 Schéma tradičního dodavatelského řetězce

4.1.1 Decentralizace výroby

Většina výrobců automobilů má neuvěřitelně složité dodavatelské řetězce a mnoho dílů často outsourcuje skrze vzdálené zahraniční partnerské firmy a dodavatele. To přináší již výše zmíněná rizika a míru nejistoty. Aditivní výroba by proto v budoucnu mohla výrobcům umožnit tisknout komponenty v blízkosti finálního montážního zařízení, nebo dokonce poblíž koncového zákazníka (viz Obr. 39), čímž by došlo k odlehčení současných dodavatelských řetězců, tzn. minimalizaci transportu. Kromě odlehčení samotného dodavatelského řetězce by se také mohl snížit počet jednotlivých přepravovaných komponent díky konsolidaci. Tím, že se zredukuje pět nebo šest komponent pro jeden finální díl, dojde ke snížení hmotnosti přepravovaného nákladu a zároveň zmenšení dodavatelského řetězce, protože nebude potřeba pět nebo šest různých zdrojů k výrobě jedné finální součásti (B. Martin, 2020).



Zdroj: (Produção, 2020)

Obr. 39 Schéma decentralizovaného dodavatelského řetězce

Myšlenka decentralizace rovněž umožňuje eliminaci prostožů v zásobovacím dodavatelském řetězci, ať už jako nouzové či dočasné řešení, nebo jako trvalá změna (Fastradius, 2021).

Například i společnost BMW očekává, že časem bude možné vyrábět komponenty přímo tam, kde jsou nakonec potřeba – „což je myšlenka, která v sobě skrývá obrovský potenciál,“ říká Dr. Jens Ertel, vedoucí aditivního centra BMW (Bridger, 2018). Navíc dodává: „3D tiskárny, které v současné době fungují v naší výrobní síti, představují první krok směrem k lokální výrobě dílů. Již nyní používáme aditivní výrobu k výrobě prototypových komponentů v závodech Spartanburg (USA), Shenyang (Čína) a Rayong (Thajsko). Do budoucna bychom si mohli představit jeho plnější integraci do místních výrobních struktur, abychom umožnili vytvořit malé výrobní série, edice specifické pro jednotlivé země nebo různé personalizované komponenty – ovšem za předpokladu, že to bude představovat ziskové řešení“ (Bridger, 2018).

V neposlední řadě pro udržení provozuschopnosti produktu je zásadní efektivní správa náhradních dílů, aby se předešlo vysokým nákladům a případně se snížilo riziko ztráty z prodeje, pokud stroje zrovna nečinně stojí. Nepravidelná a stále obtížně předvídatelná poptávka po náhradních dílech spojená s potřebou držet zásoby po celou dobu životního cyklu produktu (v závislosti na životnosti produktu) představuje proto výzvu pro výrobce a logistiku automobilových náhradních dílů (DHL, 2022).

Vytváření a ukládání souborů digitálních součástí v cloudu a jejich tisk na vyžádání poskytne v budoucnu společností flexibilitu při řízení dodavatelského řetězce, sníží zásoby, optimalizuje skladovací prostor a zkrátí dodací lhůty. Toho lze dosáhnout například zřízením lokálních aditivních center náhradních dílů (viz Obr. 40). Jediná součást výroby, která bude v tomto případě potřebovat skladování, bude materiál používaný k výrobě samotných komponent, v ideálním případě se budou využívat k tisku místní zdroje. Návrhy poté budou uloženy v digitální podobě a jejich distribuce bude probíhat pomocí internetu v řádu vteřin, jako je tomu ostatně již dnes (DHL, 2022).



Zdroj: (DHL, 2016)

Obr. 40 Koncept lokálního aditivního centra náhradních dílů DHL

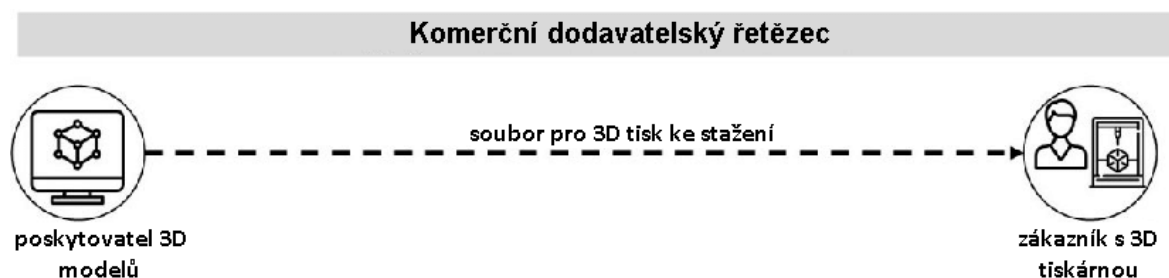
4.1.2 Výroba na zakázku (kustomizace)

Vzhledem k tomu, že výroba se stále více přiklání k masovému přizpůsobení, musí výrobci v automobilovém průmyslu stále častěji hledat způsoby jak vytvářet vozidla a komponenty šité na míru potřebám svých zákazníků. V roce 2020 83 % spotřebitelů očekávalo, že produkty budou personalizovány během několika hodin až dnů, a dnes, kdy 27,6 % světové populace nakupuje produkty a služby online, musí výrobci přehodnotit výrobu a distribuci, aby splnili požadavky zákazníků ještě rychleji. Jedním ze způsobů jak učinit toto přizpůsobení ekonomicky životaschopným je právě 3D tisk. Tím, že umožňuje hromadné přizpůsobení produktů, přináší 3D tisk hodnotu pro širokou škálu aplikací, které by mohly být v budoucnu přínosem pro automobilový průmysl i samotné spotřebitele. Společnosti budou moci poskytnout svým zákazníkům přístup k široké škále možností designu, materiálů, tvarů a velikostí, balení nebo funkčnosti produktu (DHL, 2022).

Jedním ze segmentů automobilového průmyslu, který v budoucnu určitě přijme 3D tisk, jsou luxusní vozidla. V tomto segmentu, kde jsou normou malé výrobní série, lze 3D tisk použít k vytváření dílů přizpůsobených specifickým požadavkům zákazníka v relativně krátkém časovém horizontu. Očekává se, že tato technologie způsobí velkou změnu a umožní inženýrům vytvářet více variant vnějších a vnitřních dílů a uživatelům dále personalizovat svá vozidla podle svého vkusu (Pappas 2020).

Další vizí budoucnosti je myšlenka vyrábět individualizované díly nikoli na stacionárním místě, jako je sklad, ale v jedoucím vozidle. To může dodatečně zkrátit dodací lhůty. Amazon už si například podal patent na nákladní automobil vybavený 3D tiskárnami se záměrem vyrábět produkty na cestě k zákazníkovi. Ve velkém měřítku by to společnostem mohlo umožnit vyrábět díly velmi blízko poptávce, a tím výrazně zkrátit dobu realizace individualizovaných dodávek dílů zákazníkům (DHL, 2016).

Skutečnost, že 3D tiskárny jsou stále dostupnější a přístupnější pro širokou veřejnost, otevírá také nové možnosti pro komerční využití této technologie. V budoucnu je možné, že si každý uživatel bude moci koupit a stáhnout, nebo dokonce vytvořit CAD soubory jakéhokoli produktu včetně autodílů, vytisknout si jej doma na 3D tiskárně a umístit je na své vlastní vozidlo. Tato vize pomůže vzniknout úplně novému a velmi jednoduchému komerčnímu dodavatelskému řetězci (viz Obr. 41), (Pappas 2020).



Zdroj: (Produção, 2020)

Obr. 41 Schéma komerčního dodavatelského řetězce

4.1.3 Environmentální aspekty

Změna klimatu a způsob, jak se s ní vypořádat, se stává celosvětovou prioritou. Všechna průmyslová odvětví musí zvážit, jak ovlivňují životní prostředí a jak sníží svou uhlíkovou stopu. Tradiční techniky výroby dílů, jako je třeba odlévání a frézování, způsobují velké plýtvání materiálem. Pouze 30 - 60 % materiálu se v tomto případě používá pro návrh a výrobu a zbytek například v podobě špon nebo odřezků je často zlikvidován. 3D tisk v tomto ohledu pomůže snížit plýtvání až o 95 %, což dává výrobcům příležitost ušetřit výrobní náklady a nabídnout cenově výhodnější výrobky (3dincredible, 2020).

Zvýšené investice do výzkumu a vývoje povedou k vytvoření materiálů šetrných k životnímu prostředí, jako je nyní PLA, nebo materiálů na biologické bázi, které pomůžou rovněž snížit uhlíkovou stopu. V rámci logistiky a dodavatelského řetězce to přináší výhody pokroku v oblasti materiálové vědy, jako je použití lehčích materiálů pro výrobu součástí automobilů nebo použití udržitelných obalových materiálů. Lehčí díly znamenají nižší spotřebu paliva, a tudíž menší vytížení dodavatelského řetězce (DHL, 2022).

V neposlední řadě s nárůstem poptávky bude muset také růst možnost recyklace. Výrobní cyklus bude muset být schopen umožnit recyklaci materiálů všem subjektům zapojeným do tohoto cyklu. Navíc aditivní výroba může také částečně využít přebytečný materiál z výroby subtraktivní. Materiálový šrot, jako kovové piliny, odřezky a prach mohou být za pomoci plasmu zpracovány na práškový materiál, který bude dále využíván pro účely 3D tisku, místo toho, aby byly zbytečně odváženy třeba na skládky (3d-print-works, 2022).

4.2 Potenciál využití aditivní technologie

Dny 3D tisku jako nástroje pro rychlé prototypování budou v blízké budoucnosti pravděpodobně už jen okrajovou záležitostí. Pokroky v aditivní výrobě znamenají, že výrobci automobilů budou stále více integrovat 3D tisk do svých výrobních procesů. V této souvislosti bude automobilový průmysl pravděpodobně svědkem ještě většího počtu funkčních vytištěných komponent. Tištěné díly se pravděpodobně objeví jak v interiéru, tak exteriéru vozidel. Dominovat by měly základní aditivní metody SLS, FDM, SLA, případně jejich modifikované verze. Co se týká materiálů, hodně využívány budou nejspíše nylon, syntetické pryskyřice a různé slitiny hliníku. Za tímto účelem autor práce proto sestavil tabulku potenciálního uplatnění různých aditivních metod a materiálů v budoucích automobilech (viz Příloha 2). V tabulce je vždy popsána obecná aplikace, použitý proces a materiál, vlastnosti a nakonec také vhodnost použití pro konkrétní automobilový díl.

Evoluce tisku je ale připravena přinést mnohem více. Například americká společnost MIT Self-assembly Lab v současné době testuje již technologii 4D tisku. Při tomto procesu by se měl běžný 3D tištěný objekt transformovat do jiné struktury vlivem teploty, světla nebo dalších podnětů prostředí. Takže velkým průlomem 4D

tisku bude oproti technologii 3D tisku schopnost měnit tvar v průběhu času. Vstupem bude „inteligentní materiál“, kterým bude pravděpodobně hydrogel nebo polymer s tvarovou pamětí (Sculpteo, 2022).

V neposlední řadě budou výrobci pomocí softwarových nástrojů pro topologickou optimalizaci schopni v budoucnu vytvořit velmi složitou součást a snížit její hmotnost bez obětování funkčnosti (Fastradius, 2021). A možná i vize vzdálenější budoucnosti a 3D tisk celého vozu nemusí být tak přitažená za vlasy. Pokrok v této oblasti přináší zejména velké množství nadějných start-upů nebo různých vývojových firem. Tento fakt je v další části práce podložen i několika zajímavými příklady.

4.2.1 Výroba pneumatik pro automobily

Francouzský výrobce pneumatik Michelin představil v roce 2019 svůj první prototyp pneumatiky využívající technologii aditivní výroby. Pneumatiky nazvané Uptis (Unique Puncture-proof Tire System) byly navrženy bez vzduchu, aby se snížilo riziko propíchnutí a zároveň byly plně recyklovatelné. Pro snížení odpadu a podporu udržitelné mobility jsou pneumatiky Uptis vybaveny flexibilní sklolaminátovou a gumou vyztuženou konstrukcí. Společnost Michelin dlouhodobě spolupracuje na tomto projektu s americkou společností General Motors.

Michelin také tvrdí, že v budoucnu by aditivní výroba mohla být v případě potřeby použita i k opravě pryžového pásu odolného proti propíchnutí. Pneumatiku by bylo možné jednoduše „dobít“ pomocí 3D tiskárny, která by přetiskla vrchní běhoun pneumatiky. Například když by chtěli řidiči přizpůsobit své pneumatiky zimním nebo letním podmínkám nebo jednoduše udržovat celkový zdravotní stav svých pneumatik v důsledku opotřebení. Výrobce zároveň dodává, že díky 3D tisku by tyto úpravy mohly být provedeny rychle a snadno prostřednictvím nové služby na vyžádání. Další podrobnosti o tom, které technologie 3D tisku budou přesně použity a v jakém rozsahu, společnost zatím nespécifikovala (Sher, 2020).

O úspěchu svědčí fakt, že pneumatiky Uptis ujely v roce 2021 své první testovací kilometry již na běžných sériových vozech. Společnost proto doufá, že dojde k velmi rychlé komercializaci. Doposud byl 3D tisk použit pouze k vývoji prototypu pneumatik s použitím obnovitelných a biologických materiálů, ale pokud by výroba dosáhla vyšších objemů, technologie by mohla být použita i ve větším měřítku.

Vzhledem k tomu, že jen ve Spojených státech automobily každoročně vyprodukují 246 milionů odpadních pneumatik, by to byl velmi vítaný obrat událostí. Každopádně uvedení první pneumatiky Uptis na trh se plánuje už v roce 2024 (Carlota, 2022).

4.2.2 Automobily (výroba karoserií)

Automobilový průmysl byl jedním z prvních osvojitelů 3D tisku při navrhování a vývoji koncepčních vozů. V současné době se zdá, že projekty a společnosti, které jsou nejbližší sériové výrobě plně funkčních automobilů, jsou Local Motors a XEV.

Společnost, která rychle přijala 3D tisk, byla Local Motors z Arizony v USA. Její roadster Strati byl kompletně vyroben na 3D tiskárně, kromě elektromotoru, baterie a kabeláže. Výroba a montáž funkčního prototypu se dvěma lidmi, počítačem a 3D tiskárnou trvala 44 hodin. Dalším důležitým milníkem společnosti Local Motors je 3D tištěný autonomní elektrický minibus Olli (viz Obr. 42). Výrobce tvrdí, že přibližně 80 % dílů bylo vytištěno 3D tiskem, což zkrátilo celkovou dobu výroby o 90 %. Rychlost je omezena na 40 km/h, díky čemuž je Olli vhodný pro městská centra, univerzitní kampusy a nemocnice (Carlota, 2021).



Zdroj: (AMFG, 2019)

Obr. 42 Minibus Olli vytištěný na 3D tiskárně

Na druhém konci spektra je YoYo, vyvinutý italskou společností XEV, který by mohl být prvním 3D tištěným městským elektrickým vozem „pro masový trh“ (viz Obr. 43). Kromě podvozku, sedadel a čelního skla jsou také všechny viditelné části YoYo vytištěny na 3D tiskárně. Přesněji pomocí velkoformátové FDM technologie a čtyř různých druhů polyamidů a TPU. Díky rozsáhlému využití 3D tisku se společnosti

podářilo snížit počet komponent z 2 000 na pouhých 57, což vedlo k odlehčení vozu, který váží pouze 450 kilogramů (Formlabs, 2022).



Zdroj: (XEVcars, 2022)

Obr. 43 První elektromobil YoYo "pro masový trh" vytištěný na 3D tiskárně

Za zmínku stojí i společnost Divergent 3D vedená generálním ředitelem Kevinem Czingerem, která kombinuje generativní návrhy a 3D tisk a vytváří komponenty na míru pro výrobce automobilových dílů. Jakmile je komponenta navržena, je vyrobena pomocí kovových interních 3D tiskáren společnosti. Jejich prvním veřejným projektem je hybridní hypersport Czinger 21C, přičemž jsou také dodavateli významných výrobců, včetně Aston Martinu (Formlabs, 2022).

4.3 Klíčové faktory pro implementaci technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu

Navzdory mnoha výhodám používání 3D tisku pro různé typy produktů, je jako hlavní výrobní technologii zatím integrovala pouze hrstka prvních osvojitelů. Některé důvody, proč je přijetí tak pomalé, zahrnují nedostatečnou technologickou vyspělost pro většinu průmyslových aplikací, vysoké náklady na tiskárny a materiály nebo omezené znalosti o technologii 3D tisku. Rozšířené přijetí aditivní výroby v automobilovém sektoru bude proto dle autora záviset na několika klíčových faktorech úspěchu:

- vlastnostech materiálů a zařízení,

- rychlosti a kvalitě procesu,
- problémech se zárukou a odpovědností,
- problémech s duševním vlastnictvím,
- nákladech na tiskárnu, materiál a skenování.

Vlastnosti materiálů a zařízení jsou rozhodujícím faktorem úspěchu 3D tisku. I když existuje široká škála dostupných materiálů pro 3D tisk, zůstává problém vytvořit jeden objekt z více materiálů. Na trhu jsou dostupné tiskárny, které zvládnou až tři různé materiály, ale náklady jsou stále neúnosně vysoké a problémy s kvalitou přetrvávají. Prototypy, jako je tiskárna MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab (CSAIL) společnosti MultiFab, testují proveditelnost použití až deseti materiálů v jednom tisku (DHL, 2022). Tisk z více materiálů by mohl hrát klíčovou roli při rozšiřování řady tisknutelných produktů, zejména pro interiérové díly vozidel.

Druhým faktorem úspěšného přijetí 3D tisku je rychlost a kvalita procesu. Dnes vyžaduje typická FDM tiskárna 4 - 5 hodin k vytištění nástroje nebo přípravku a přibližně 9 - 72 hodin k tisku složitějších a objemnějších dílů. Ale k dosažení mainstreamového úspěchu musí 3D tisk představovat mnohem rychlejší alternativu výrobního procesu. Kromě toho musí být zachována kvalita každé komponenty – z hlediska estetiky i pevnostní struktury. Mezi novinky pro řešení problémů s rychlostí a kvalitou patří technologie HP Multi Jet Fusion od firmy HP a také tekutý 3D tisk od společnosti Carbon 3D, který nabídne 10 až 100krát rychlejší tisk bez ztráty kvality tisku (DHL, 2022).

Dalším významným faktorem úspěchu bude rámec záruky a odpovědnosti spojené s 3D tiskem. Co se stane, když se 3D vytištěný díl rozbije? Kdo za to bude v konečné fázi odpovědný? V různých případech může být totiž odpovědný uživatel (třeba dělník u pásu), nebo také automobilový výrobce používající 3D tiskárnu jako výrobní nástroj, nebo dokonce výrobce tiskárny jako takový. Současný regulační systém zůstává v tomto ohledu nedostatečně rozvinutý. Přední pojišťovací společnosti, jako je třeba Allianz, už alespoň pomalu začínají posuzovat rizika odpovědnosti za výrobek pocházející z 3D tisku. Pojistná řešení budou tedy hrát významnou roli v tom, že umožní automobilovým společnostem chránit se před případnými nároky vyplývajícími z odpovědnosti.

Automobilové společnosti, které již tradičně vedou velké konkurenční boje při použití nejlepších výrobních metod v oblasti automobilového průmyslu, se budou muset také efektivně vypořádat s výzvou duševního vlastnictví. Aditivní výroba totiž přináší potřebu chránit své digitální soubory, a tudíž svoje know-how. Pokud společnost ztratí ochranu svých souborů, mohou být třetí strany schopny replikovat její produkty. Ve výrobním sektoru by to mohlo vyvolat podobné druhy problémů, kterým dnes čelí mediální společnosti v souvislosti s pirátstvím digitální hudby nebo třeba video souborů.

Pátým a zároveň posledním faktorem úspěšného přijetí této technologie jsou náklady spojené s pořízením 3D tiskárny, materiálu a náklady na skenování. Je jasné, že nižší ceny budou rozhodující pro budoucí masové přijetí 3D tisku v automobilovém sektoru. Mnoho pokročilých průmyslových 3D tiskáren bylo v minulosti příliš nákladných pro široké použití. Nicméně vysoce kvalitní stroje běžící například na technologii SLA a SLS jsou dnes k dispozici za několik stovek tisíc korun (například SLM tiskárna Formlabs Form 3+, která stojí kolem 150 tis. Kč). Ostatní tiskárny pro běžné spotřebitele, jako je třeba Ultimaker nebo Prusa, stojí jen několik tisíc až desítek tisíc korun, což slibuje, že 3D tiskárny budou v budoucnu stále dostupnější. Kromě fyzických tiskáren potřebných pro výrobu jsou dalšími aspekty nákladů materiály a tvorba CAD souborů. Materiály pro 3D tisk jsou prozatím dražší než nákup pouhé suroviny, přičemž třeba nejlevnější PLA filamenty se pohybují od 350 Kč, ale dají se pořídit i za 30 tis. Kč s příměsí uhlíkového vlákna. A samozřejmě mnohem nákladnější skupinou jsou pak kovové konstrukční materiály.

V neposlední řadě, skenování složitého objektu za účelem jeho převodu na použitelný CAD soubor obvykle vyžaduje špičkové skenovací služby, které mohou stát od desítek tisíc až do několika set tisíc Kč, a jejich dokončení může trvat dny. Prostřednictvím vylepšených nízkonákladových skenovacích technologií by mohlo být možné skenovat objekty pomocí dostupnějších mobilních zařízení. Například start-up Eora 3D spustil velmi úspěšnou crowdfundingovou kampaň na vývoj levného, vysoce přesného laserového skeneru, který bude plně napájen přes chytrý telefon (DHL, 2022). Tento způsob by mohl být v automobilovém průmyslu pro řadu výrobních a servisních procesů dostačující a také velmi přínosný.

Kombinace dosažení těchto několika klíčových faktorů úspěchu pomůže k širokému přijetí 3D tisku v kontextu spotřebitelů i automobilových výrobních podniků. A jakmile se podaří tyto faktory úspěchu splnit i globálním dodavatelským řetězcům, které jsou základem pro budování dnešní ekonomiky, budou naplněny i jedinečné příležitosti a výzvy, které aditivní výroba přináší.

4.4 Vlastní doporučení pro implementaci

Budoucí příklady použití v této kapitole naznačují různé způsoby, jak mohou automobilové společnosti využít 3D tisk pro zvýšení provozní dokonalosti a také ke zlepšení spokojenosti zákazníků. Aby však došlo k pochopení úplných důsledků, které 3D tisk přinese pro konkrétní společnost, je nutné vzít v úvahu několik faktorů - provozní prostředí, výrobní kapacitu, potřeby zákazníků, případně její produktové portfolio a vše individuálně posoudit. Ovšem pozor, tyto parametry mohou být pro různé společnosti odlišné.

Pro automobilové společnosti, které se domnívají, že by 3D tisk mohl mít velký význam pro jejich strategii výroby a dodavatelského řetězce, je níže uvedeno několik doporučujících kroků, které pomohou dle autora uplatnit potenciál této technologie v jejich budoucích průmyslových procesech:

1. **Analýza produktu a organizační schopnosti:** Prvním krokem je hlubší prozkoumání organizace, posouzení současných možností 3D tisku a zjištění, kde jsou případné mezery a zda je potřeba zapojit externí odborníky. Po tomto průzkumu mohou společnosti začít analyzovat svá současná a budoucí produktová portfolia s cílem identifikovat produkty, které lze 3D tisknout nebo které by mohly těžit z technologie 3D tisku. Mohl by například 3D tisk umožnit nové geometrie produktů, které jsou efektivnější? Nebo pomůže 3D tisk nabídnout nové možnosti personalizace, které by zákazníkovi přinesly další hodnotu? Tento typ otázek si musí automobilové společnosti položit. Dle osobního názoru autora je největší překážkou právě tento krok, kdy je potřeba najít dostatečný přínos pro 3D tisk.

Jakmile bude tento seznam vytvořen, je dalším krokem upřednostnění produktů na základě vhodnosti pro 3D tisk a výhod, kterých lze 3D tiskem dosáhnout. Automobilové společnosti by měly upřednostňovat vysoce komplexní a kastomizované produkty před běžnými položkami, které

nevyžadují takové přizpůsobení. Dalším aspektem by mohlo být upřednostnění produktů, které se v současnosti vyrábějí v malých sériích, jako jsou třeba náhradní díly.

2. **Vytvoření plánu transformace:** Z analýzy nedostatků, možností uplatnění 3D tisku a také ze seznamu prioritních produktů (krok 1) pak může společnost vytvořit podrobný plán pro úspěšnou transformaci a integraci 3D tisku. Toho lze dosáhnout posouzením krátkodobé a dlouhodobé proveditelnosti 3D tisku ve výrobním dodavatelském řetězci. Konkrétně z hlediska obchodního modelu založeného na nákladech materiálu a tiskového zařízení, době výroby, kvalitě atd. Je cenné také zapojit do tohoto kroku poskytovatele logistických služeb (pokud si ovšem neřeší společnost interně) a zohlednit logistické důsledky i potenciální nové nápady na úspory a inovativní obchodní modely.
3. **Přizpůsobení a implementace 3D tisku do výrobního procesu:** Posledním krokem je přizpůsobení stávajících strategií výroby a dodavatelského řetězce a zajištění úspěšné integrace 3D tisk do organizace. Automobilové společnosti se musí zaměřit na spolupráci s partnery při přepracování a optimalizaci výrobního dodavatelského řetězce (např. vytvoření sítě pro využití náhradních dílů na vyžádání nebo využití lokálních služeb). Vzhledem k tomu, že 3D tisk je rychle se rozvíjející technologie, dnešní technologické investice budou pravděpodobně za několik let zastaralé. Má tedy smysl začít s několika pilotními projekty s nejslibnějšími produktovými segmenty a poté přejít k úplné transformaci a implementaci, jakmile budou dosaženy klíčové faktory úspěchu zmíněné v kapitole 4.3. V této fázi by automobilové společnosti měly také neustále budovat zdroje a schopnosti své organizace, aby přijaly 3D tisk co nejrychleji.

4.4.1 Analýza nákladů pro vybranou technologii

Výpočet nákladů na 3D tisk znamená klást si velké množství otázek. Pokud společnost pořizuje nebo již vlastní 3D tiskárnu/y, nabízejí se otázky typu: Jaká bude asi návratnost této investice? Jak se změní cena za díl, když bude naplněn tiskový zásobník pouze z poloviny každého výtisku? Nebo kolik pracovní doby bude zapotřebí pro návrh samotného dílu a jeho dalšího opracování atd.

Při analýze nákladů vynaložených na 3D tištěné díly je důležité si vytvořit alespoň hrubý odhad, aby bylo jasné, zdali je aditivní výrobní metoda pro společnost vůbec efektivní. Tento výpočet by měl zahrnovat nákladové prvky uvedené v tabulce 3.

Tab. 3 Seznam potřebných prvků pro analýzu nákladů

1.	Náklady na materiál	cena podpůrného / konstrukčního materiálu modelu na cm ³ / počet vrstev
2.	Náklady na vynaloženou práci	modelování / přípravné práce / nastavení a údržba zařízení
3.	Odpisy nákladů na 3D zařízení	roční odpis / náklady na provoz stroje a náhradní díly
4.	Náklady na energie	spotřeba elektrické energie / světla
5.	Náklady na post-procesy	čištění dílů / leštění / lakování / doba tuhnutí

Náklady na materiál - v první řadě je potřeba vypočítat množství materiálu potřebného pro jeden tištěný díl. Výpočet by měl konkrétně zahrnovat množství potřebného konstrukčního a podpůrného materiálu na cm³. Rozhodující je v tomto případě i počet nanášených vrstev.

Náklady na vynaloženou práci - je potřeba také přihlídnout ke stráveným hodinám při modelování dílu pomocí CAD softwaru (někdy soubory vyžadují další postupy před jejich tiskem). Společnost by měla vzít v potaz také náklady na práci potřebnou k přípravě samotné tiskárny (nahřátí, očištění tiskové podložky nebo doplnění materiálu k tisku atd.). Dále pak provádění úkonů údržby v období odstávky a množství času potřebného k vyjmutí dílu z tiskového zásobníku a jeho následné očištění od podpůrného materiálu. Zde jsou poměrně velké rozdíly mezi různými aditivními technologiemi. Například HP Multi-Jet Fusion má vlastní chladicí a čisticí zařízení, zatímco čištění některých podpůrných materiálů u FDM tiskáren mohou vyžadovat i ruční práci.

Odpisy nákladů na 3D zařízení - společnosti, které vlastní nebo budou vlastnit 3D tiskárnu, by neměly zapomenout do kalkulace nákladů zahrnout také odpisy zařízení. Ujistit se, že výpočet obsahuje tuto proměnnou, a také zvážit časový rámeček

pro návratnost své investice. Kromě toho by měla kalkulace obsahovat náklady na provoz stroje a případné náhradní díly, které mohou být po několika letech používání určitě potřebné. Důležité je podotknout, že ceny náhradních dílů stolních tiskáren jsou samozřejmě zcela odlišné od špičkových průmyslových tiskáren.

Náklady na energii - každý model 3D tiskárny je v tomto případě trochu odlišný. Například menší modely 3D tiskáren mají spotřebu energie zhruba 100 - 200 kWh, což se rovná spotřebě menší chladničky s mrazákem. Ovšem objemnější zařízení mohou mít spotřebu energie i 800 - 1000 kWh, proto je potřeba při větším počtu tiskáren počítat i s vyššími náklady. Nesmírnou výhodou 3D tiskáren z hlediska spotřeby energie je jejich minimální potřeba světla.

Náklady na post procesy - výpočet může zahrnovat procesy leštění, lakování, procesy tepelného zpracování a dodatečné obrábění (převážně u kovových výtisků). Všechny tyto činnosti jsou obvykle odvozeny od požadavků na kvalitu povrchu a přesnost dílu. V mnoha případech může takový post - proces zdvojnásobit nebo i ztrojnásobit počáteční náklady na 3D tištěný díl.

Všechny výše popsané prvky se mohou mezi sebou výrazně lišit. Rozhodující je v zásadě typ použitého 3D zařízení, materiálu a samozřejmě různé geografické oblasti působení společnosti. Kromě toho mohou nastat i nepředvídatelné události a potíže, které mohou celý proces tisku ještě prodražit.

Závěr

Automobilový průmysl je známý svým pokrokem a není překvapením, že výrobci automobilů se při optimalizaci výroby obracejí stále více k novým technologiím. Aditivní výroba je skvělý způsob, jak mohou výrobci zlepšit svůj výrobní proces.

Tato diplomová práce je zaměřena na potenciál implementace technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu. Cílem práce bylo analyzovat a vyhodnotit technologii 3D tisku a možnosti implementace této technologie v automobilovém průmyslu. Na základě systematické literární rešerše odborných zdrojů a případových studií z praxe shrnout možnosti současného uplatnění a navrhnout a vyhodnotit budoucí inovativní směry implementace této technologie.

Úvodní část práce poskytuje teoretický základ a definuje pojem „průmyslová výroba“. V této části jsou charakterizována jednotlivá stadia průmyslové výroby, popsány průběžné průmyslové revoluce a blíže představen vznik iniciativy Průmyslu 4.0. Kapitola také zmiňuje digitalizaci a robotizaci v průmyslovém odvětví a nakonec nové technologie a způsoby výroby. Po části věnované průmyslové výrobě následuje kapitola věnovaná samotné technologii 3D tisku. Zde jsou popsány okolnosti jejího vzniku a princip fungování. Dále je představen přehled a principy jednotlivých tiskových metod. Zvláštní pozornost je věnována používaným tiskovým materiálům. Jsou podrobně popsány tři hlavní skupiny materiálů, vysvětlena vhodnost použití a doplněny základní chemické a mechanické vlastnosti. V závěru teoretické části jsou představeny možnosti uplatnění aditivní výroby v různých výrobních i nevýrobních oblastech.

Empirická část této práce obsahuje systematickou literární rešerši odborných zdrojů a případových studií zaměřených na současné a budoucí uplatnění 3D tisku v automobilovém průmyslu. V rámci analýzy současného uplatnění byly představeny a detailně prozkoumány reálné praktické příklady u různých automobilových společnostech. Z analýzy vyplývá, že v současnosti se aditivní technologie používají převážně pro kusovou a malosériovou výrobu. Tuto skutečnost doplňuje i vyhodnocení v podobě porovnání výhod a nevýhod. V rámci výhod implementace dané technologie je dle autora nejdůležitějším faktorem rychlost výroby, rychlost samotného navrhování a také snížení závislosti na externích dodavatelích. V rámci nevýhod jsou nejzásadnějšími omezeními nižší objem výroby a limity výrobního postupu. Budoucí pohled na uplatnění 3D tisku

v automobilovém průmyslu přináší analýzu vývoje této oblasti a budoucí prognózu tržeb. Analýza následně zmiňuje přijetí polymerní a kovové aditivní výroby a naznačuje její zaměření s ohledem na použité materiály. Následuje podkapitola zabývající se transformací dodavatelského řetězce. Zde jsou popsány tři budoucí výhledy, které ilustrují, jak mohou automobilové společnosti spolupracovat s poskytovateli logistických služeb na integraci 3D tisku do svých dodavatelských řetězců. V neposlední řadě jsou zmíněny oblasti, které představují budoucí potenciál pro implementaci nebo již nějakým způsobem technologii adoptovaly.

V závěru empirické části jsou autorem detailně popsány klíčové faktory pro implementaci technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu. Ty naznačují potřebu širší škály dostupných tiskových materiálů, rychlosti a kvality procesu a širší rámec záruky a odpovědnosti spojené s 3D tiskem. Klíčové budou v tomto ohledu také výzvy duševního vlastnictví nebo finanční aspekty v podobě nákladů na tiskárny, materiál a skenování. Je jasné, že nižší ceny budou rozhodující pro budoucí masové přijetí 3D tisku. Na úplný závěr přidává autor vlastní doporučení pro implementaci, včetně konceptu analýzy nákladů pro vybranou technologii.

Je zřejmé, že jako jedna z mnoha nových transformačních technologií má aditivní výroba v automobilovém průmyslu jedinečnou pozici pro integraci do současných výrobních procesů. Podle autora je však velmi nepravděpodobné, že aditivní výroba v automobilovém průmyslu zcela nahradí tradiční výrobní metody, což je způsobeno prozatím řadou omezení. Navzdory tomu je zřejmé, že AM ještě nedosáhla svého plného potenciálu a v blízké budoucnosti pravděpodobně přinese revoluci ve výrobě automobilů.

Seznam literatury

3DWISER. Efektivnější výroba automobilů s 3D tištěnými nástroji, přípravky a upínkami. *3dwiser* [online]. 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://3dwiser.com/efektivnejsi-vyroba-automobilu-s-3d-tistenymi-nastroji-pripravky-a-upinkami/>

3DPRINTUK. How can additive manufacturing address supply chain disruptions?. *Plastikcity.co* [online]. 2022 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.plastikcity.co.uk/blog/additive-manufacturing-supply-chain-disruptions/>

3D INCREDIBLE. 3D printing for the spare part industry – an overview. *3d incredible* [online]. 2020 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://3dinccredible.com/3d-printing-for-the-spare-part-industry-an-overview/>

3D PRINT WORKS. What impact does your printing have on the environment?. *3d print works* [online]. 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://3d-print-works.com/blogs/news/3d-printing-and-the-environment>

AETHON. What industry 4.0 means for manufacturers. *Aethon* [online]. 2018 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://aethon.com/mobile-robots-and-industry4-0/>

ALZA. 3D tisk: Jak funguje, kde stáhnout předlohy a jak začít?. *alza* [online]. 2020 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/3d-tisk>

ALZA. 3D tisk: Podle čeho a jaký filament vybrat?. *alza* [online]. 2019 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/filamenty-3d-tisk>

AMFG. 10 exciting examples of 3D printing in the automotive industry in 2021. *Amfg* [online]. 2019 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://amfg.ai/2019/05/28/7-exciting-examples-of-3d-printing-in-the-automotive-industry/>

AMFG. How 3D printing is transforming the spare parts industry. *Amfg* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://amfg.ai/2018/05/29/3d-printing-transforming-spare-parts-industry/>

AMFG. How is 3D printing transforming the automotive Industry?. *Amfg* [online]. 2018 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://amfg.ai/2018/06/13/3d-printing-transforming-automotive-industry/>

AUDI MEDIACENTER. Metal 3D printing at Audi. *Audi mediacenter* [online]. 2018 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacenter.com/en/photos/detail/metal-3d-printing-at-audi-68100>

AUDI MEDIACENTER. Upcycling at Audi: a new lease on life for packaging. *Audi mediacenter* [online]. 2021 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacenter.com/en/press-releases/upcycling-at-audi-a-new-lease-on-life-for-packaging-14185>

B. MARTIN Holly. AM: good for making lightweight metal auto parts, less so for mass production. *Thefabricator* [online]. 2020 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/additivereport/article/additive/am-good-for-making-lightweight-metal-auto-parts-less-so-for-mass-production>

BEZDĚK. Stav 3D tisku a jeho využití v České Republice. *3dprint-research* [online]. 2018 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: https://www.3dprint-research.com/wp-content/uploads/2019/01/Bezdek_Jan_Stav-3D-tisku-a-jeho-vyuziti-v-Ceske-republice_BP.pdf

BMW GROUP. BMW Group plans additive manufacturing campus: Technological expertise in industrial-scale 3D printing to be consolidated at new location. *Press.bmwgroup* [online]. 2018 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0280159EN/bmw-group-plans-additive-manufacturing-campus:-technological-expertise-in-industrial-scale-3d-printing-to-be-consolidated-at-new-location?language=en>

BMW GROUP. Tisková zpráva: Průmyslový 3D tisk nabírá u BMW Group na obrátkách. *Press.bmwgroup* [online]. 2020 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.press.bmwgroup.com/czech/article/detail/T0322328CS/pr%C5%AFmyslov%C3%BD-3d-tisk-nab%C3%ADr%C3%A1-u-bmw-group-na-obr%C3%A1tk%C3%A1ch?language=cs>

BOISSONNEAULT. BMW quietly wraps up MINI Yours customised service. *3D printing media network* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.3dprintingmedia.network/bmw-ends-mini-yours-customised-service/>

BOISSONNEAULT. How Bugatti uses SLM Solutions 3D printing for functional car parts. *3D printing media network* [online]. 2019 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.3dprintingmedia.network/bugatti-slm-solutions-3d-printing/>

BRIDGER. BMW and Mini doubles down on the 3D printing of parts. *Motoringfile* [online]. 2018 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.motoringfile.com/2018/04/16/bmw-mini-doubles-3d-printing-parts/>

BRYNJOLFSSON, Erik a Andrew MCAFEE. *Druhý věk strojů: práce, pokrok a prosperita v éře špičkových technologií*. V Brně: Jan Melvil Publishing, 2015. Pod povrchem. ISBN 978-80-87270-71-4.

CARLOTA V. The role of AM in the automotive industry. *3dnatives* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/the-role-of-am-in-the-automotive-industry/#!>

CARLOTA V. The use of additive manufacturing by automobile manufacturers. *3dnatives* [online]. 2019 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/additive-manufacturing-automobile-manufacturers-190820195/#!>

CARLOTA V. What are the most innovative 3D printing applications in the automotive sector?. *3dnatives* [online]. 2022 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-applications-in-automotive-ranking-081020204/#!>

CARSITE. 25 years of 3d printing at the BMW Group: Pioneers in additive manufacturing methods. *carsite* [online]. 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://carsite.co.za/25-years-of-3d-printing-at-the-bmw-group-pioneers-in-additive-manufacturing-methods/>

CEJNAROVÁ Andrea. Od 1. průmyslové revoluce ke 4. *Technickytydenik* [online]. 2015 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html

COURSES.FIT.CVUT. Slicing. *Fit ČVUT courses pages* [online]. 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://courses.fit.cvut.cz/BI-3DT/tutorials/slicing.html>

CRAIG A. Gif, Bharath Gangula a Pandarinath Illinda. 3D opportunity in the automotive industry: Additive manufacturing hits the road. *Deloitte university press* [online]. 2014 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf

ČMKOS, kolektiv autorů. *Člověk a stroj: metodická příručka*. Praha: Sondy, 2017. ISBN 978-80-86809-21-2.

ČVUT. FS. 3D tisk a jeho možnosti. *Fakulta strojní ČVUT v Praze* [online]. 2022 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/>

DHL TREND RESEARCH. 3D printing and the future of supply chains. *DHL* [online]. 2016 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/dhl-trendreport-3dprinting.pdf>

DHL. 3D printing: Trend Overview. *DHL* [online]. 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/thought-leadership/trend-reports/3d-printing-logistics.html>

DICKIN Mark. Five ways that 3D printing is transforming automotive manufacturing. *Automotive manufacturing solutions* [online]. 2020 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/additive/3d-printing/five-ways-that-3d-printing-is-transforming-automotive-manufacturing/40811.article>

DK METAL PROMINENT. Přehled technologií 3D tisku. *dkmp* [online]. 2018 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3D-tisku>

ENGINESS TEAM. How digitization is transforming manufacturing industry. *Enginess* [online]. 2021 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.enginess.io/insights/how-digitization-is-tranforming-manufacturing-industry>

FACTORY AUTOMATION. 5 odvětví, která nejvíce zasáhne automatizace a robotizace. *Factoryautomation* [online]. 2020 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/5-odvetvi-ktera-nejvice-zasahne-automatizace-a-robotizace/>

FANTA. Základy 3D tisku. *Earch* [online]. 2020 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.earch.cz/technologie/clanek/zaklady-3d-tisku>

FAST RADIUS. How additive manufacturing is used in the automotive industry. *Fast radius* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.fastradius.com/resources/how-additive-used-in-automotive-industry/>

FORD MOTOR COMPANY. Celebrating the moving assembly line in pictures. *Ford media center* [online]. 2013 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/features/celebrating-the-moving-assembly-line-in-pictures.html>

FORMLABS. Road to the 3d printed car: 9 ways 3d printing is changing the automotive industry. *Formlabs* [online]. 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/3d-printed-car-how-3d-printing-is-changing-the-automotive-industry/>

FRANKENFIELD Jake. Artificial intelligence: What it is and how it is used. *Investopedia* [online]. 2022 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/a/artificial-intelligence-ai.asp>

GRUNOW, Oliver. Smart Factory and Industry 4.0. *The Current State of Application Technologies*. Lightning Source, 2016. ISBN 978-39-46458-96-8.

HAINES. History of 3D printing: When was 3D printing invented?. *All3dp* [online]. 2022 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>

HAYES Adam. Augmented Reality (AR) defined, with examples and uses. *Investopedia* [online]. 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

HAYES Adam. Blockchain facts: What is it, How it works, and How it can be used. *Investopedia* [online]. 2022 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>

HEŘMAN, Jan a Olga HOROVÁ. *Průmyslové technologie pro ekonomy*. Praha: Oeconomica, 2013. ISBN 978-80-245-1907-4.

HODEK. Aditivní technologie: Zpráva o stavu 3D tisku pro Českou technologickou platformu Strojírenství, o. s. *Docplayer* [online]. 2013 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/18792004-Aditivni-technologie-zprava-o-stavu-3d-tisku-pro-ceskou-technologickou-platformu-strojitenstvi-o-s-josef-hodek.html>

HUBS. Automotive 3D printing applications. *Hubs a protolabs company* [online]. 2022 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/automotive-3d-printing-applications/>

IBM. What is industry 4.0?. *IBM* [online]. 2022 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>

JABIL. Automotive industry trends. *Jabil Inc* [online]. 2021 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.jabil.com/blog/automotive-technology-trends.html>

JUHÁSZ Vojtěch. Využití metod 3D tisku v automobilovém průmyslu. *Dspace.vutbr* [online]. 2020 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/192187>

KEANE. Audi 3D prints their packaging trash into new parts. *3dprinting* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://3dprinting.com/automotive/audi-3d-prints-their-packaging-trash-into-new-parts/>

KONSTRUKTER. Co znamená čtvrtá průmyslová revoluce?. *Konstrukter* [online]. 2015 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/co-znamena-ctvrta-prumyslova-revoluce/>

KUKA AG. Průmysl 4.0 - Introduction. *kuka* [online]. 2022 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/vyroba-v-budoucnosti/pr%C5%AFmysl-4,-d-,0/pr%C5%AFmysl-4,-d-,0-introduction>

LANDEN Ivan. What is the difference between IoT and M2M?. *Bluewireless* [online]. 2018 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.bluewireless.com/news-and-insights/iot-and-m2m>

MAKERBOT Industries. The top 5 benefits of 3D printing in education. *Makerbot* [online]. 2022 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.makerbot.com/stories/3d-printing-education/5-benefits-of-3d-printing/>

MARKET RESEARCH REPORTS. World's top 10 industrial robot manufacturers. *Marketresearchreports* [online]. 2019 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.marketresearchreports.com/blog/2019/05/08/world%E2%80%99s-top-10-industrial-robot-manufacturers>

MAŘÍK, Vladimír. Průmysl 4.0: *Výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-807-2614-400.

MATERIALPRO3D. 3D tisk v kostce. *Materialpro3d* [online]. 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/3d-tisk-v-kostce/>

MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Nominace na cenu Průmyslu 4.0: Unikátní farmy 3D tisku. *mmspektrum* [online]. 2021 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/technicke-novinky/nominace-na-cenu-prumyslu-4-0-unikatni-farmy-3d-tisku>

MOLITCH-HOU. Volkswagen Autoeuropa 3D prints manufacturing tools to save thousands of euros. *Engineering* [online]. 2017 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/story/volkswagen-autoeuropa-3d-prints-manufacturing-tools-to-save-thousands-of-euros>

NEWSROOM. Porsche classic supplies classic parts from a 3D printer. *The media portal by Porsche* [online]. 2018 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://newsroom.porsche.com/en/company/porsche-classic-3d-printer-spare-parts-sls-printer-production-cars-innovative-14816.html>

NEXUS INTEGRA. Are you ready for a Smart Factory?. *Nexusintegra* [online]. 2020 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://nexusintegra.io/smart-factory/>

PAPPAS. 3D printing in the automotive industry explained. *Carexpert* [online]. 2020 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.carexpert.com.au/car-news/3d-printing-in-the-automotive-industry-explained>

PETROVA Damyana. A brief history of 3D printing – part 1: The first decades (1980-2000). *3d print works* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: https://3d-print-works.com/blogs/news/3d-printing-history?_pos=2&_sid=f70766ce7&_ss=r

POČTA Jan. Řízení výrobních procesů – učební text. *Person.vsb* [online]. 2012 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/RVP/Rizeni%20vyrobnich%20procesu.pdf>

PRODUÇÃO Gestão. Impact of 3D printing on supply chains. *Researchgate.net* [online]. 2020 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Impact-of-3D-printing-on-supply-chains-Source-Authors-adapted-from-Kubac-Kodym_fig3_346492246

RAPIDFIT. Thinking additive: How Volvo car gent has reimagined production fixtures. *Rapidfit* [online]. 2017 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://rapidfit.com/resources/stories/volvo-reimagined-production-fixtures/>

RAPIDFIT. Understanding the value of Rapidfit: An interview with Bart Wilberts. *Rapidfit* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://rapidfit.com/resources/stories/rapidfit-value>

ROSER Christoph. Making a digital future: AI and robotics transform manufacturing. *Roboticsbusinessreview* [online]. 2018 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.roboticsbusinessreview.com/manufacturing/industrial-automation-transforms-manufacturing-digital-future/>

SCULPTEO. 3D printed clothes in 2021: What are the best project?. *Sculpteo* [online]. 2021 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/applications-of-3d-printing/3d-printed-clothes/>

SCULPTEO. 4D Printing: All you need to know in 2022. *Sculpteo* [online]. 2022 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/best-articles-about-3d-printing/4d-printing-technology/>

SCULPTEO. Automotive and 3D printing: The complete guide to the 3D printed car!. *Sculpteo* [online]. 2022 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/applications-of-3d-printing/3d-printed-car/>

SHER. How major automakers use AM for production today, part 1: Volkswagen additive manufacturing. *3D printing media network* [online]. 2020 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.3dprintingmedia.network/volkswagen-additive-manufacturing/>

SHER. How major automakers use AM for production today, part 2: General Motors additive manufacturing. *3D printing media network* [online]. 2020 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.3dprintingmedia.network/general-motors-additive-manufacturing/>

SMARTECH MARKETS PUBLISHING. SmarTech Analysis issues new report on automotive additive manufacturing market. *Globenewswire* [online]. 2019 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/08/01/1895642/0/en/SmarTech-Analysis-Issues-New-Report-on-Automotive-Additive-Manufacturing-Market-Sees-a-9-Billion-USD-Opportunity-on-the-Horizon.html>

STEHLÍK, Antonín a Josef KAPOUN. *Logistika pro manažery*. Praha: Ekopress, 2008. ISBN 978-80-86929-37-8.

STRÁTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Praha: Prusa research, 2019. ISBN 978-80-907798-0-8.

ŠKODA MOBIL. Flexibilnější díky 3D farmám. *SKODA Mobil* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.skodamobil.cz/cz/05-2021-mobil/3d-tisk>

ŠKODA MOBIL. Náhradní díly snadno a rychle. *SKODA Mobil* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.skodamobil.cz/cz/05-2021-mobil/jak-to-chodi>

TEMEX. Robotization. *Temex* [online]. 2021 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.temex.cz/en/services/automation/robotization/>

UKESSAYS. Additive manufacturing of metallic materials for automobile applications. *UKEssays* [online]. 2020 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://www.ukessays.com/essays/mechanics/additive-manufacturing-of-metallic-materials-for-automobile-applications.php>

ULTIMAKER, VW. Zvyšujeme efektivitu výroby. *3Dwiser* [online]. 2019 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: https://3dwiser.com/wp-content/uploads/2017/08/Volkswagen_Ultimaker_CZ.pdf

VAFADAR Ana, GUZZOMI G. Ferdinando and others. Advances in metal additive manufacturing: A review of common processes, industrial applications, and current challenges. *Researchgate* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/348850578_Advances_in_Metal_Additive_Manufacturing_A_Review_of_Common_Processes_Industrial_Applications_and_Current_Challenges#pf2

VÍTEK Aleš. Škoda Auto spoléhá na 3D farmy. Tiskne chybějící díly i nástroje pro dělníky. *Vtm.zive* [online]. 2021 [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/skoda-auto-spoleha-na-3d-farmy-tiskne-chybejici-dily-i-nastroje-pro-delniky/sc-870-a-213896/default.aspx>

VOJÁČEK Antonín. Vývoj průmyslové robotizace v roce 2019 a 2020. *Automatizace.hw* [online]. 2019 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/vyvoj-prumyslove-robotizace-v-roce-2019-a-2020.html>

WYSS Johann. Masked stereolithography 3D printing. *Diyodemag* [online]. 2019 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: https://diyodemag.com/education/exploring_3d_masked_stereolithography_3d_printing

YAP. Porsche to use 3D-printing technology for bucket seats. *Piston.my* [online]. 2020 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.piston.my/2020/03/22/porsche-to-use-3d-printing-technology-for-bucket-seats/>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Index rozvoje lidské společnosti	13
Obr. 2 Vývojové etapy průmyslových revolucí	14
Obr. 3 Pohyblivá montážní linka firmy Ford	15
Obr. 4 Klíčové technologie Průmyslu 4.0.....	18
Obr. 5 Porovnání mezi komunikací IoT a M2M.....	22
Obr. 6 Podíl průmyslové robotiky na trhu podle geografie v roce 2019.....	24
Obr. 7 První komerční SLA 3D aparát od společnosti 3D Systems Corp.....	29
Obr. 8 Postupné nanášení tiskových vrstev filamentu	33
Obr. 9 Tiskárna FDM (FFF).....	34
Obr. 10 Tiskárna SLA.....	35
Obr. 11 Princip používaných SLA metod.....	36
Obr. 12 Tiskárna SLS/SLM	37
Obr. 13 Nejběžnější konstrukční materiály z oblasti plastů a termoplastů	38
Obr. 14 Nejběžnější konstrukční materiály z oblasti kovů.....	42
Obr. 15 Světové využití aditivní výroby v průmyslu v roce 2021	46
Obr. 16 Příklad použití aditivního prototypování pro nápis Ford Puma	47
Obr. 17 Příklad použití aditivního prototypování pro kryty zadních světel Audi	48
Obr. 18 Příklad 3D tištěných sériových dílů výrobce BMW	50
Obr. 19 Příklad 3D tištěných individuálních dílů značky MINI	50
Obr. 20 Příklad 3D tištěných sériových dílů Bugatti Chiron.....	51
Obr. 21 Příklad 3D tištěného brzdového titanového třmenu Bugatti Chiron	52
Obr. 22 Příklad 3D tištěných částí skořepinových sedadel Porsche	53
Obr. 23 Příklad 3D tištěných pístů motoru Porsche 911 GT2 RS	53
Obr. 24 Časová osa výroby přípravků ve společnosti VW	54

Obr. 25 Příklad používaných montážních a kontrolních přípravků VW	55
Obr. 26 Příklad nově vytvořeného recyklovatelného montážního přípravku Audi	56
Obr. 27 Příklad používaných montážních a kontrolních přípravků ŠA	57
Obr. 28 Příklad používaných montážních a kontrolních přípravků ŠA	58
Obr. 29 Příklad 3D tištěného ergonomického nástroje výrobce BMW	58
Obr. 30 Příklad používaného montážního přípravku Volvo.....	59
Obr. 31 Příklad používaného kontrolního přípravku pro nárazníky Volvo	60
Obr. 32 Příklad tištěných náhradních dílů Porsche Classic	61
Obr. 33 Příklad tištěných náhradních dílů pro motory Audi W12	62
Obr. 34 Kompletní zaměření poškozeného dílu.....	63
Obr. 35 Příprava nového náhradního dílu a volba surovinového složení	64
Obr. 36 Nově přepracovaný a vytištěný díl vs. poškozený původní díl	64
Obr. 37 Prognóza tržeb z aditivní výroby v automotive 2019 - 2029 v miliardách USD	69
Obr. 38 Schéma tradičního dodavatelského řetězce	72
Obr. 39 Schéma decentralizovaného dodavatelského řetězce	72
Obr. 40 Koncept lokálního aditivního centra náhradních dílů DHL	74
Obr. 41 Schéma komerčního dodavatelského řetězce	75
Obr. 42 Minibus Olli vytištěný na 3D tiskárně	78
Obr. 43 První elektromobil YoYo "pro masový trh" vytištěný na 3D tiskárně.....	79

Seznam tabulek

Tab. 1 Nejběžnější typy resinů a jejich porovnání	41
Tab. 2 Srovnání výhod a nevýhod implementace aditivní výroby v automobilovém průmyslu	66
Tab. 3 Seznam potřebných prvků pro analýzu nákladů	84

Seznam příloh

Příloha 1 Výhody a nevýhody implementace aditivní výroby v automobilovém průmyslu	101
Příloha 2 Materiály a aditivní metody výroby vhodné pro potenciální uplatnění v budoucích automobilech	105

Příloha 1 Výhody a nevýhody implementace aditivní výroby v automobilovém průmyslu

Podrobný popis výhod, které přináší aditivní výroba v automobilovém průmyslu.

Úspora konstrukčního materiálu	Aditivní metoda používá k výrobě pouze takové množství materiálu, které je nezbytné pro vytvoření finálního objektu. Zatímco u běžných výrobních metod dochází k produkci odpadního materiálu, který se musí převážet k dalšímu zpracování a znovu využítí.
Nízké náklady pro malovýrobu	I přes to, že počáteční cena pořízení a sestavení 3D tiskárny může být poměrně vysoká, návratnost této investice se může dostavit už v řádu několika měsíců. Celkové úspory ve formě ušetřeného času, mzdových nákladů a stejných podmínek jako u konvenčních metod, dokazují, že v konečné fázi jsou výrobní náklady relativně nízké.
Minimální skladovací prostory	Vzhledem k tomu, že 3D tiskárny mohou tisknout díly až v případě potřeby, eliminuje se tak potřeba velkých skladů nebo skladovacích ploch a navíc se snižuje závislost na mezinárodních dodavatelských řetězcích.
Rychlost výroby a navrhování	Soubory 3D designu jsou uloženy ve virtuální knihovně ve formátu CAD nebo STL, což znamená, že jsou ihned dostupné a je možné okamžitě zahájit tiskový proces.
Větší počet pracovních příležitostí	Vznik úplně nových pracovních míst a zvýšená poptávka po designérech, konstruktérech či technících k obsluze 3D tiskáren či přípravě výkresů pro výrobu.
Flexibilní design	3D tisk umožňuje navrhnout a vytisknout konstrukce složitých tvarů a detailů, které by u tradičních obrobků nebo u forem nebylo možné vytvořit.

<p>Snížení závislosti na externích dodavatelích</p>	<p>Stále více automobilových výrobců si pořizuje 3D tiskárny, na kterých si můžou poměrně jednoduše vytisknout rozbité či nedostupné díly. Pokud si výrobce dokáže potřebnou součástku dobře naskenovat a přenést její model do 3D tiskárny, stává se do určité míry soběstačný.</p>
<p>Výborné vlastnosti materiálů</p>	<p>Plast je základním tiskovým materiálem, protože je lehčí než jiné kovové ekvivalenty. V automobilovém průmyslu, kde má nízká hmotnost velký význam, je to obrovská výhoda. Také je možné vyrábět díly z materiálů se speciálně vybranými vlastnostmi (např. transparentní nebo voděodolné).</p>

Podrobný popis nevýhod, které přináší aditivní výroba v automobilovém průmyslu.

Nižší objem výroby	V současném stavu nemá aditivní výroba možnost dosahovat úplně velkoobjemové produkce. Nicméně tato omezení se týkají výroby tisícových sérií. Pro maloobjemovou výrobu je 3D tisk dostačující, a i omezení z hlediska hromadné produkce by mohla být odstraněna za pomoci nasazení většího počtu tiskáren.
Rizika duševního vlastnictví	Je velice jednoduché vytvořit sken součástky, která je chráněna autorským právem nebo patentem výrobce, a replikovat ji v podstatě bez omezení. Dostupnost 3D tisku může vést k vytvoření falešných produktů (padělků), které je velmi obtížné odlišit od originálu.
Limity výrobního postupu	Síla jednotlivých částí konečného dílu nemusí být souměrná důsledkem procesu, kdy je materiál nanášen vrstvou po vrstvě. To znamená, že se mohou při určitých napětích vrstvy oddělit od sebe.
Omezený výběr materiálů a tiskáren	V současnosti dokáží 3D tiskárny pracovat s omezeným množstvím materiálů. Větší část komerčně používaných tiskáren zatím pracuje pouze s polymery a kovovými prášky. To je vcelku zanedbatelné ve srovnání s materiály použitelnými v tradičním výrobním průmyslu.
Konstrukční nepřesnosti	Problém souvisí s typem použitého 3D zařízení a procesem práce. Sem patří třeba rozdílnost následných opakování tisku, kdy může dojít k odlišným vlastnostem stejného dílu vyrobeného na různých tiskárnách nebo nutnost vytváření podpěrných bodů a jejich následné odstraňování.
Omezená velikost tisku objektů	Velmi velké objekty (např. panelové díly karoserie vozu) je stále nemožné jednorázově vytvořit pomocí

	<p>3D tisku. Jednotlivé části musí být nejprve vytištěny zvlášť a poté spojeny dohromady. To ovšem zvyšuje náklady a čas na výrobu. Kromě toho je pro jejich sestavení nutná ruční práce.</p>
--	---

Příloha 2 Materiály a aditivní metody výroby vhodné pro potenciální uplatnění v budoucích automobilech

Aplikace	Proces	Materiál	Vlastnosti	Ukázková část
Pod kapotou	SLS	Nylon	Tepelně odolné funkční díly	Kryt baterie
Interiérové vybavení	FDM	Plast ABS	Otěruvzdorné komponenty na míru	Ozdobný kryt výplně dveří
Vzduchové kanály	SLS	Nylon	Flexibilní potrubí a vlnovce	Potrubí klimatizace
Kompletní panelové díly	Průmyslová zařízení SLA	Pryskyřice	Velké díly s povrchovou úpravou srovnatelnou se vstřikováním, které umožňují broušení a lakování	Přední a zadní nárazník
Držáky a rukojeti z litého nylonu	SLS a odlévání	Nylon	Syntetické díly vyrobené z 3D tištěných vzorů	Montážní držák alternátoru
Složité kovové komponenty	DMLS	Slitina hliníku	Pevné, odolné, lehké, funkční kovové díly	Řídicí páka zavěšení kol
Exteriérové a interiérové doplňky	Tryskání materiálu	Fotopolymer	Konečné použití s hladkým povrchem	Centrální konzole přístrojové desky
Světla	SLA	Pryskyřice	Plně transparentní modely s vysokými detaily	Světlomety

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Bc. Dominik Tvrzický		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	Specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců		
NÁZEV PRÁCE	Potenciál implementace technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu		
VEDOUCÍ PRÁCE	prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2023
POČET STRAN	105		
POČET OBRÁZKŮ	43		
POČET TABULEK	3		
POČET PŘÍLOH	2		
STRUČNÝ POPIS	<p>Tato diplomová práce je zaměřena na potenciál implementace technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu.</p> <p>Jako teoretická východiska práce jsou popsány oblasti průmyslové výroby, průběžné průmyslové revoluce a principy fungování technologie 3D tisku včetně okolností vzniku a používaných materiálů.</p> <p>Empirická část práce detailně analyzuje praktické příklady uplatnění u různých automobilových společností a poskytuje vyhodnocení současné implementace v podobě porovnání výhod a nevýhod. Dále přináší budoucí analýzu uplatnění 3D tisku a prognózu tržeb. Hlavním výstupem práce je provedená analýza klíčových faktorů využití technologie 3D tisku v automobilovém průmyslu a shrnutá doporučení pro implementaci v praxi.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Průmyslová výroba, 3D tisk, 3D tiskárna, implementace technologie, automobilový průmysl		

ANNOTATION

AUTHOR	Bc. Dominik Tvrzický		
FIELD	Specialization International Supply Chain Management		
THESIS TITLE	The potential of implementing 3D printing technology in the automotive industry		
SUPERVISOR	prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2023
NUMBER OF PAGES	105		
NUMBER OF PICTURES	43		
NUMBER OF TABLES	3		
NUMBER OF APPENDICES	2		
SUMMARY	<p>This master's thesis is focused on the potential of implementing 3D printing technology in the automotive industry.</p> <p>The theoretical basis of the work describes the areas of industrial production, ongoing industrial revolutions and the principles of operation of 3D printing technology, including the circumstances of its creation and the materials used.</p> <p>The empirical part of the thesis analyses in detail practical examples of application at various automotive companies and provides an evaluation of the current implementation in the form of a comparison of advantages and disadvantages. It also provides future 3D printing application analysis and revenue forecast. The main outcome of this thesis is an analysis of the key factors of the use of 3D printing technology in the automotive industry and summarized recommendations for implementation in practice.</p>		
KEY WORDS	Industrial production, 3D printing, 3D printer, technology implementation, automotive industry		