

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



Bakalářská práce

3D tisk prototypů pro zemědělská zařízení

Hynek Lezna

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hynek Lezna

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

3D tisk prototypů pro zemědělská zařízení

Název anglicky

3D prototype printing for an agriculture equipments

Cíle práce

Literární rozbor metod 3D tisku se zaměřením na technologie a materiály využitelné pro zemědělská zařízení.

Metodika

Úvod

Historie 3D tisku a jeho filosofie

Materiály a technologie 3D tisku

Porovnání s dalšími metodami výroby prototypů

Příklady při výrobě zemědělských zařízení

Závěr

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

3D tisk, polymery, prototyp, zemědělská zařízení

Doporučené zdroje informací

- EDSALL, Larry. *Prototypy*. Čestlice: Rebo, 2004. ISBN 80-7234-356-4.
- EID, Aline, et al. Inkjet-/3D-/4D-printed perpetual electronics and modules: RF and mm-wave devices for 5G+, IoT, smart agriculture, and smart cities applications. *IEEE Microwave Magazine*, 2020, 21.12: 87-103.
- HOROVÁ, Iva. *3D modelování a vizualizace v AutoCADu pro verze 2009, 2008 a 2007*. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-2194-8.
- HORVATH, Joan; CAMERON, Richard; ADRIANSON, Doug. *The new shop class: Getting started with 3D printing, arduino, and wearable tech*. Apress, 2015.
- JAVAIĐ, Mohd; HALEEM, Abid. Using additive manufacturing applications for design and development of food and agricultural equipments. *International Journal of Materials and Product Technology*, 2019, 58.2-3: 225-238.
- NOORANI, Rafiq. *3D Printing : Technology, Applications, and Selection. [elektronický zdroj] /*. Milton: Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 9781351651547.
- SINGH, Rajesh, et al. Cloud manufacturing, internet of things-assisted manufacturing and 3D printing technology: reliable tools for sustainable construction. *Sustainability*, 2021, 13.13: 7327.
- SNYDER, Carolyn. *Paper prototyping : the fast and easy way to design and refine user interfaces*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2003. ISBN 1-55860-870-2.
- VALPREDA, Fabrizio. 3D printing awareness: the future of making things. In: *Measuring, Modeling, and Reproducing Material Appearance 2015*. SPIE, 2015. p. 307-320.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Rostislav Chotěborský, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2023

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 21. 11. 2023

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: 3D tisk prototypů pro zemědělská zařízení vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 27. 3. 2024



Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Rostislavovi Chotěborskému, Ph.D. za vedení práce a Lukáši Tisoňovi za cenné rady se zpracováním bakalářské práce.

3D tisk prototypů pro zemědělská zařízení

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zpracována tak, aby přiblížila technologii 3D tisku prototypů pro zemědělská zařízení.

V práci je popsána historie a vývoj technologií 3D tisku. Následně byly v práci shrnuty technologie 3D tisku a nejběžnější používané materiály včetně jejich využití v praxi. Pro názornost jsou v práci porovnány technologie 3D tisku s tradičními metodami výroby prototypů s grafickým znázorněním.

Aplikace 3D tisku v zemědělství, je myšlena jako hlavní část práce. V této části je přiblíženo využití 3D tisku s konkrétním uvedením příkladů. Jako příklady byly popsány některé zajímavé zemědělské projekty.

Závěr práce je věnován celkovému hodnocení zemědělské výroby prototypů pomocí 3D tisku s uvedením hlavních důvodů, proč by měli výrobci, zemědělci i spotřebitelé investovat do 3D tisku.

Klíčová slova: 3D tisk, materiál, vlákno, technologie, zemědělství, prototyp, vývoj, aditivní výroba

3D prototype printing for an agriculture equipments

Abstract

This bachelor's thesis is designed to introduce the technology of 3D printing of prototypes for agricultural equipment. The work describes the history and development of 3D printing technologies. Subsequently, the work summarizes 3D printing technologies and the most commonly used materials, including their practical use. For clarity, the work compares 3D printing technologies with traditional prototype manufacturing methods with graphic representation.

The application of 3D printing in agriculture is intended as the main part of the work. This section introduces the use of 3D printing with specific examples. Some interesting agricultural projects were described as examples.

The conclusion of the thesis is devoted to the overall evaluation of agricultural prototype production using 3D printing, stating the main reasons why manufacturers, farmers, and consumers should invest in 3D printing.

Keywords: 3D printing, material, fiber, technology, agriculture, prototype, development, additive manufacturing

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Historie 3D tisku.....	13
2.1. Filozofie 3D tisku.....	15
2.2. Princip 3D tisku.....	16
3. Technologie a materiály 3D tisku	18
3.1. Typy 3D tisku.....	18
3.2. Přehled materiálů vhodných pro 3D tisk a jejich vlastnosti.....	24
4. Porovnání 3D tisku s dalšími metodami výroby	32
4.1. Statistické údaje 3D tisku.....	36
5. Technologie 3D tisku v zemědělství.....	38
5.1. Aplikace 3D tisku v zemědělství.....	39
5.2. Budoucnost aditivní výroby pro zemědělství.....	44
6. Závěr.....	45
7. Seznam použitých zdrojů	47

Seznam obrázků

Obrázek 1. První SLA 3D tiskárna	13
Obrázek 2. SLS 3D tiskárna	14
Obrázek 3. FDM 3D tiskárna.....	14
Obrázek 4. Schéma	17
Obrázek 5. 3D tiskárna UltiMaker S3	19
Obrázek 6. 3D tiskárna Formlabs Form 3B+ Gold Package	20
Obrázek 7. 3D tiskárna Formlabs Fuse 1+ 30 W.....	21
Obrázek 8. 3D tiskárna Markforged FX20	22
Obrázek 9. 3D tiskárna NXG XII 600	23
Obrázek 10. 3D tiskárna Meltio Robot Cell	24
Obrázek 11. Na míru tištěné 3D části	41
Obrázek 12. Třídrápý sběrač ovoce	42
Obrázek 13. Konektor vytištěný na 3D tiskárně.....	43
Obrázek 14. Sázecí stroj vytištěný na 3D tiskárně	43

Seznam tabulek

Tabulka 1. Souhrnné porovnání mezi frézováním a 3D tiskem v několika klíčových oblastech	32
Tabulka 2. Souhrnné porovnání mezi obráběním a 3D tiskem v několika klíčových oblastech	34
Tabulka 3. Souhrnné porovnání mezi litím a 3D tiskem v několika klíčových oblastech	35
Tabulka 4. Pro graf 1.	37
Tabulka 5. Pro graf 2.	37

Seznam použitých zkratek

3D – trojrozměrný

UV – ultra violet (ultrafialové záření)

SLA – stereolitografie

SLS – selective laser sintering (selektivní laserové sintrování)

FDM – fused deposition modeling (modelování depozicí taveniny)

FFF – fused filament fabrication (výroba z taveného vlákna)

ABS – akrylonitrilbutadienstyren

ASA – akrylonitrilstyrenakrylát

CPE – kopolyester

PC – polykarbonát

PP – polypropylen

TPU – termoplastický polyuretan

PVA – polyvinylalkohol

HIPS – high impact polystyrene (houževnatý polystyrén)

PEEK – polyetheretherketone

PA – polyamid

LFS – low force stereolithography (stereolitografie s nízkou silou)

DLP – digital light processing (digitální zpracování světla)

CFF – continuous filament fabrication (výroba pomocí nepřetržitého filamentu)

CFR – continuous fiber reinforcement (vyztužení spojitým vláknem)

FR – flame-retardant (ohnivzdorný)

MFFF – metal fused filament fabrication (výroba sléváním kovových filamentů)

WP-LMD – wire powder – laser metal deposition (laserové navařování kovů)

CNC – computer numerical control (číslicové řízení)

PLA – polylactic acid (kyselina polymléčná)

PET – polyethylentereftalát

HRC – hardness Rockwell C (tvrdost podle Rockwella)

CNH – case new holland

AGCO – alcohol and gaming commission of ontario

1. Úvod

Technický pokrok přináší stále něco nového a jednou z významných „novinek“ je technologie 3D tisku, kterou můžeme s jistotou nazvat technologií budoucnosti. Technologie stále více usnadňují lidem ovládnout jejich prostředí.

*„Pouze ti, kteří byli natolik naivní, že si mysleli že dokážou změnit svět, ho dokázali změnit.“
Steve Jobs [19]*

Fenomén 3D tisku čím dál více proniká do našeho běžného života. Dokáže ho zpříjemnit i zachránit. Obor, který se 3D tiskem zabývá, se už vyučuje na vysokých školách. Stále se zvyšuje počet firem, které automatizují svou výrobu pomocí 3D tisku – tedy pomocí zařízení vyrábějící podle nákresu v počítači libovolnou součástku nebo výrobek.

Období covidové krize a nouzového stavu nebylo jednoduché, avšak s využitím všech možností, které nám přinášejí nejmodernější technologie, nelze opomenout význam 3D tisku, který přinesl nové možnosti a posunul výrobu o krok dál. Jedním z doprovodných efektů covidové krize bylo narušení stávajících dodavatelských řetězců a výroba se stala více lokální. Nastaly výpadky v dodávkách pro výrobu, náhradní díly pro nefunkční stroje byly téměř nedostupné. Tato revoluční technologie, zjednodušeně řečeno, pomohla mnoha firmám před zastavením výroby díky. S pomocí 3D tisku začalo mnoho firem rychle tisknout ochranné pomůcky, které nebyly v daný okamžik na trhu, zachránily tím mnoho lidských životů.

Nastalo období, kdy se flexibilita, umění improvizace a neustálá transformace výrobních procesů stala samozřejmostí. 3D tisk je již všude kolem nás. Není možné si představit průmysl, zdravotnictví ale i zemědělství kde by se 3D tisk nevyužíval.

Cílem této bakalářské práce je nahlédnout do světa 3D technologií pro výrobu prototypů zaměřených na zemědělská zařízení. Vysvětlit důležitou terminologii, a hlavně zdůvodnit význam a využití této rychle se rozvíjející technologie v zemědělské výrobě.

2. Historie 3D tisku

Historie studuje minulost a zkoumá politické, hospodářské, náboženské, kulturní a technické události. Vědci analyzují posloupnost událostí a objektivně zkoumají příčiny a důsledky.

První dokumentované zmínky o 3D tisku pocházejí z 80. let 20. století z Japonska. V roce 1981 se Hideo Kodama pokusil najít vhodný systém pro rychlé prototypování. Vyvinul aditivní metodu, při které se materiál nanáší vrstva po vrstvě pomocí fotocitlivé pryskyřice, kterou polymerizoval UV světlem. I když Kodama nedokázal tuto technologii patentovat, je považován za prvního vynálezce 3D tisku. O několik let později francouzští vědci přišli s metodou vytvrzování kapalných monomerů pomocí laseru, avšak ani oni si neudělali patent. První patent na 3D tisk podal v roce 1986 Chuck Hall, který patentoval stereolitografii (SLA). Poté založil společnost 3D Systems Corporation a začal komerčně prodávat první 3D tiskárny využívající technologii SLA. viz obr. 1. [1]



Obrázek 1. První SLA 3D tiskárna Apparatus z roku 1992 od společnosti 3D Systems Corp.

Zdroj: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/historie-3d-tisk/>

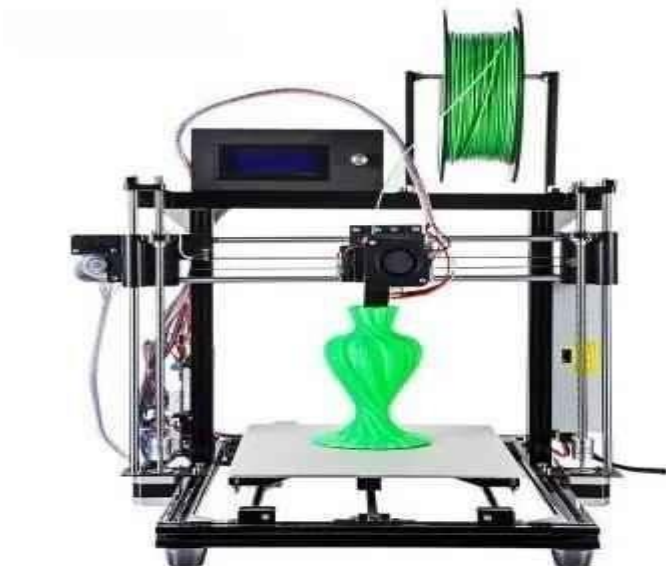
Technologie SLA nebyla samozřejmě jedinou zkoumanou aditivní technologií a v roce 1988 Carl Deckard podal patent na technologii SLS (Selective Laser Sintering), která používala laser k tavení prášků místo kapaliny, jak je znázorněno na obrázku 2. [2]



Obrázek 2. SLS 3D tiskárna

Zdroj: <https://www.hardwired.dev/2022/10/21/uvod-do-3d-tisku/>

Technologie Fused Deposition Modeling (FDM) byla rovněž patentována ve stejném období jako technologie SLA Scottem Crumpem. FDM technologie, známá také jako Fused Filament Fabrication (FFF), na rozdíl od technologií SLS a SLA v tom, že místo světla využívaného těmito technologiemi, je u FDM technologie přímo vytlačováno vlákno z vyhřívané trysky. Technologie FFF se stala nejběžnější a nejoblíbenější metodou 3D tisku, kterou známe v současnosti, jak je znázorněno na obrázku 3. [2]



Obrázek 3. FDM 3D tiskárna

Zdroj: <https://www.hardwired.dev/2022/10/21/uvod-do-3d-tisku/>

První tři výše uvedené technologie měly významný dopad na další rychlý rozvoj aditivních technologií.

V průběhu 90. let začalo vznikat mnoho startupů a firem, které zkoumaly různé přístupy k aditivní výrobě. Zásadním milníkem pro 3D tisk průmyslových dílů bylo uvedení první komerčně dostupné 3D tiskárny SLS na trh v roce 2006. Dalším významným mezníkem bylo vytisknutí a použití první protetické nohy v roce 2008, což přispělo k širšímu uznání termínu "aditivní technologie" veřejností. V roce 2009 byly patenty na 3D technologie, podané v 80. letech, začleněny do veřejné sféry, což umožnilo vznik nových inovativních projektů. Díky novým firmám na trhu se staly technologie 3D tisku dostupnějšími a cenově přijatelnějšími. S rostoucí dostupností a snižováním cen 3D tisku se také výrazně zlepšila kvalita a jednoduchost tohoto výrobního procesu, což umožnilo téměř každému vytisknout například plastovou součást. Aditivní technologie a používané materiály se neustále vyvíjejí, a lze s jistotou konstatovat, že do historie 3D tisku se stále zaznamenávají nové inovace a vývojové fáze. [1]

2.1. Filozofie 3D tisku

3D tisk představuje přístup k výrobě a designu, transformující tradiční paradigma výroby a umožňuje dosud nevídanou úroveň flexibility a individualizace. Na srdci filozofie 3D tisku spočívá víra v demokratizaci výroby, kde každý jednotlivec nebo organizace má možnost přeměnit virtuální koncepty do fyzické reality bez omezení hmotnosti masové produkce.

- **Individualizace a přizpůsobení**

3D tisk dokazuje jedinečnost a individualitu. Otevírá dveře k vytváření produktů dle požadavků zákazníka, které plně odpovídají potřebám konkrétních uživatelů. Každý výrobek může být adaptován na míru zákazníka z hlediska designu, velikosti a funkcionality.

- **Inovace a rychlost**

Filozofie 3D tisku klade důraz na rychlost a flexibilitu. Tím, že umožňuje rychlé prototypování a úpravy designu v reálném čase, podporuje inovace a zkracuje dobu od konceptu k finálnímu výrobku.

- **Odpovědnost a udržitelnost**

3D tisk usiluje o minimalizaci odpadu a efektivní využívání materiálů. Tím přispívá k udržitelné výrobě a snižuje environmentální dopad tradičních výrobních procesů.

- **Otevřený přístup a spolupráce**

Filozofie 3D tisku zdůrazňuje otevřený přístup k technologiím a sdílení znalostí. Podporuje komunitní spolupráci, sdílení designů a vytváření nových nápadů prostřednictvím otevřených platforem a sdílených zdrojů.

- **Demokratizace výroby**

3D tisk je považován za prostředek k demokratizaci výroby, kde každý má možnost se stát tvůrcem. Od umělců a designérů po inženýry a malovýrobce, technologie 3D tisku poskytuje nástroje pro kreativitu a výrobu na dosah každého.

- **Překračování hranic**

Filozofie 3D tisku nespočívá pouze ve vytváření fyzických objektů, ale v podporování překračování hranic a vytváření nových možností. Má potenciál transformovat odvětví od výroby přes zemědělství až po zdravotnictví a umožňovat inovace, které mohou měnit svět.

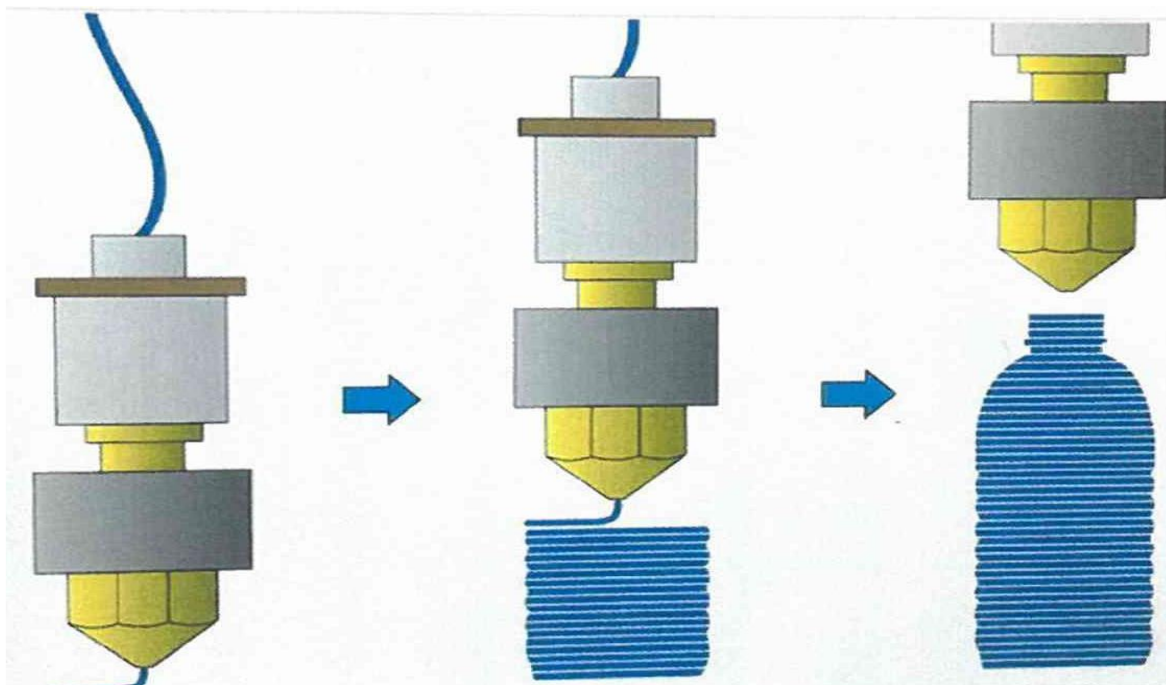
Filozofie 3D tisku podporuje myšlenku, že každý člověk nebo organizace může být tvůrcem světa kolem sebe. Technologie by měla sloužit k posilování kreativity, udržitelnosti a individuálních potřeb.

2.2. Princip 3D tisku

Nejběžnější metodou 3D tisku, známou také jako „aditivní výroba“, je FDM (Fused Deposition Modeling – modelování depozicí taveniny), často označovaná též jako FFF (Fused Filament Fabrication – výroba z taveného vlákna). Tiskárny pracující podle principu FDM vytvářejí požadované objekty postupným přidáváním jednotlivých vrstev materiálu, z nichž se sestavuje finální produkt. V procesu je tenké vlákno směřováno do části zařízení nazývané extrudér. Extrudér, za pomoci vysokých teplot kolem 200 °C, roztaví plastickou hmotu a postupně ji nanáší, čímž vytváří vrstvy objektu. Tento princip je sdílen i s dalšími metodami aditivní výroby. [7]

Proces výroby lze přirovnat k použití tavné pistole, kde stiskem rukojeti je lepidlo posouváno k topnému článku a následně je vytlačováno z trysky ve formě měkkého vlákna. Toto vlákno je ukládáno v souladu s konkrétní potřebou, čímž vzniká spirála, jež se postupně mění v dutou trubici. Po ochlazení lepidla trubice ztuhne a zpevní se. [7]

Tento proces je graficky znázorněn na obrázku 4., kde 3D tiskárna na vodorovném podkladu postupně klade jednotlivé vrstvy taveného plastového vlákna. Během zchlazení a tuhnutí těchto vrstev postupně vzniká požadovaný objekt. [7]



Obrázek 4. Schéma

Zdroj: KLOSKI, Liza Wallach – KLOSKI, Nick. *Začínáme s 3D tiskem*. 1.vydání. Brno: Albatros Media a.s, 2017. 211 s. ISBN 978-80-251-4876-1

Většina běžných 3D tiskáren využívá technologii FDM a jsou vybaveny velkou cívkou stočeného plastu, označovaného jako vlákno. Kromě materiálů a samotných tiskáren je neodmyslitelnou součástí technologie 3D tisku i software, který propojuje digitální návrh s fyzickým objektem vytisknutým tiskárnou. Pro precizní umístění každé vrstvy materiálu na správné místo je nutné, aby 3D tiskárna přijímala instrukce obsažené v digitálním souboru z počítače. [7]

3. Technologie a materiály 3D tisku

Technologie 3D tisku vytváří nové výrobní procesy a proměňuje výrobu v různých odvětvích průmyslu nebo zemědělství. Aby konečný produkt vyrobený pomocí 3D tisku měl požadované vlastnosti je třeba správně zvolit materiál, kterého je dnes již na trhu poměrně dostatek, zároveň každá 3D tiskárna je speciálně testována na určitý druh materiálu.

3.1. Typy 3D tisku

- **Všestranný 3D tisk z termoplastů – FFF/FDM**

Nanášení roztaveného termoplastu, vlákna tryskou postupně po vrstvách, až po vytvoření předem zamýšleného trojrozměrného tvaru objektu neboli výtisku. Tato metoda 3D tisku je nejvíce dostupná a rozšířená. Na obr. 5. je zobrazena jedna z nejběžnějších tiskáren pro tento typ 3D tisku. [3]

Výhody:

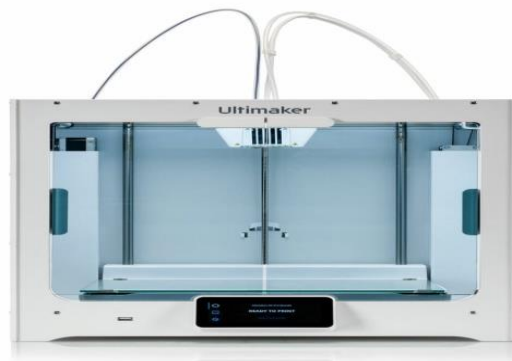
- velká nabídka a dostupnost termoplastů;
- různé odstíny a mechanické vlastnosti;
- obrovská možnost použití od prototypů přes vytavitelné předlohy po funkční součásti;
- stolní i velkoformátové provedení tiskáren, volba možná podle náročnosti materiálu a požadavku na velikost výtisků;
- vícemateriálové 3D tiskárny umožňující použití rozpustných podpor, které takřka eliminují nutnost dodatečných úprav.

Nevýhody:

- různé anizotropní, mechanické vlastnosti v rovině tisku a napříč vrstvami;
- viditelné vrstvy, například vroubkování, linkování povrchu modelu;
- menší nabídka odolných materiálů, například oproti vstřikováním do forem;
- dlouhá doba 3D tisku u velkých a tvarově složitých modelů, výtisků.

Nejoblíbenější materiály:

PLA, ABS, ASA, CPE, PA, PC, PP, TPU, PVA, HIPS, kompozity s plnivem z mikrovláken a další. Z ultra polymerů ULTEM, PEEK. [3]



Obrázek 5. 3D tiskárna UltiMaker S3

Zdroj: <https://eshop.3dwiser.com/3d-tiskarny/ul 1>

- **Detailní a přesná stereolitografie – SLA/LFS/DLP**

Tvrzení pryskyřic světlem nejčastěji laserem, nebo digitálním projektem. Tato technologie 3D tisku je jedna z nejoblíbenějších metod, zejména pro dokonalé výtisky s ostrými detaily a hladkými povrchy. Výtisk je také nanášen po vrstvách, ale oproti metodě FFF/FDM mnohem tenčích. Na obr. 6. je zobrazena nejběžnější tiskárna pro tento typ 3D tisku. [3]

Výhody:

- atraktivní výtisky s hladkými povrchy, ostrými detaily, snadným opracováním i barvením;
- rozšiřující se nabídka světlo citlivých termosetů, od modelářských pryskyřic s volbou odstínu či průhledností přes konstrukční s posílenými mechanickými vlastnostmi až po lékařské materiály se zaručenou biokompatibilitou;
- univerzálnost stolních řešení vs. maximální specializace produkčních zařízení – podle náročnosti provozu a požadavku na velikost výtisků.

Nevýhody:

- dodatečné odstraňování dočasných podpor;
- pouze jednomateriálový 3D tisk v relativně menším tiskovém objemu;
- mechanické vlastnosti zpravidla křehčích pryskyřic;
- nutnost opatrného zacházení s materiály například s tekutými pryskyřicemi.

Nejoblíbenější materiály:

Prototypovací a modelářské, konstrukční, pružné a elastické, biokompatibilní, transparentní, kompozitní pryskyřice. [3]



Obrázek 6. 3D tiskárna Formlabs Form 3B+ Gold Package

Zdroj: <https://eshop.3dwiser.com/3d-tiskarny/formlabs-form-3b-plus-gold-package/>

- **Funkční výtisky z prášku sintrování laserem – SLS**

Jako zdroj energie k sintrování práškového termoplastického materiálu je u technologie SLS používán laser. Tiskne především z odolných polyamidů jako je Polyamid 11 a i zde probíhá vytvrzování vrstvu po vrstvě. Výstupem jsou houževnaté, pevné i pružné funkční díly pro koncové použití. Na obr. 7. je zobrazena tiskárna pro tento typ 3D tisku. [3]

Výhody:

- možnost tisku složitých geometrických tvarů bez potřeby podpěr, výtisk podepírá lože okolního nespečeného prášku, který se recykluje pro další tiskové úlohy;
- dobré izotropní vlastnosti výtisků;
- předvídatelné mechanické vlastnosti, nárazu vzdornost a pevnost výtisků;
- dlouhodobá materiálová stabilita, snadné povrchové úpravy;
- výhodná metoda pro malé a střední výrobní série.

Nevýhody:

- užší nabídka materiálů;
- nutnost odstranění zbylého prášku po tisku a jeho zpracování, recyklace;
- vyšší porozita výtisků;
- nezbytné použití ochranných pomůcek při práci s prášky.

Nejoblíbenější materiály:

Práškové Polyamidy včetně variant s plnivem ze skelných či uhlíkových vláken. [3]



Obrázek 7. 3D tiskárna Formlabs Fuse 1+ 30 W

Zdroj: <https://3dwiser.com/produkty/3d-tiskarny/termoplasty-sls/formlabs-fuse-1plus-30w/>

- **Odolné plastové kompozity pro funkční díly – FFF + CFF/CFR**

Kompozity vyrobené na stolních a průmyslových 3D tiskárnách v mnoha použitích překonají svými vlastnostmi i kovové díly vyráběné tradičními metodami, za zlomek jejich konečné ceny. Mohou být pevnější, přitom až o 40 % lehčí než hliník 6061. Na obr. 8. je zobrazena jedna z tiskáren využívaná pro tento typ 3D tisku. [3]

Výhody:

- pevné, lehké, odolné a přesné kompozity např. z Polyamid 6.6 s uhlíkovými vlákny i v nehořlavém provedení a verzi i pro leteckou dopravu;
- rychlost a možná dostupnost místní výroby funkčního dílu přímo z 3D modelu, bez potřeby delší přípravy výkresové dokumentace nebo čekání na tradiční metodu jako je obrábění;
- chemicky a teplotně odolné díly použitelné ihned ve výrobním procesu;
- výjimečné mechanické vlastnosti kompozitů oproti běžným termoplastům;
- volba tvaru, umístění i pevnosti výztuže podle potřeb konkrétního dílu.

Nevýhody:

- menší výběr tisknutelných termoplastů;
- pouze jeden souběžně tisknutý materiál + vyztužující vlákno;
- dočasné dražší podpěry z hlavního materiálu.

Nejoblíbenější materiály:

Polyamid 6.6 s uhlíkovými vlákny, Polyamidy, karbonové, Para-aramidové vlákno a skelné vlákno, vysokopevnostní, vysokoteplotní skelné vlákno. [3]



Obrázek 8. 3D tiskárna Markforged FX20

Zdroj: <https://3dwiser.com/produkty/3d-tiskarny/kompozity/markforged/markforged-fx20/>

• **Aditivní výroba z kovů – MFFF**

Technologie MFFF společnosti Markforged je 3D tisk z kovů, která může být rychlejší a levnější oproti tradičním metodám výroby. Tato aditivní výroba umožňuje i týmům a firmám, které si 3D tisk z kovů vlastními silami dosud nemohli dovolit. Na obr. 9. je zobrazena speciální tiskárna pro tento typ 3D tisku. [3]

Výhody:

- místní digitální výroba z kovů, objekty vznikají přímo v provozu, bez složité logistiky a mezikladů;
- oproti tradičním metodám dostupnější technologie 3D tisku z kovů;
- velké množství v praxi ověřených materiálů, od ocelí až po zvláště odolné slitiny jako Inconel;
- tisk přímo z 3D modelu, bez nutnosti přípravy výkresové dokumentace;
- možnost dodatečných povrchových úprav;
- volitelné, na míru vyvinuté originální příslušenství například myčka, sintrovací pec apod.

Nevýhody:

- vícefázový postup výroby, 3D tisk, chemická lázeň, sintrování;
- vstupní investice do příslušenství, včetně sintrovací pece;
- dodatečné povrchové úpravy pro náročné aplikace, shodné s dalšími metodami 3D tisku kovů.

Nejoblíbenější materiály:

Inconel 625, čistá měď, nerezová ocel 17-4 PH (označení dle ČSN EN 4883), nástrojové ocel H13 (označení dle ČSN EN 10027-2). [3]



Obrázek 9. 3D tiskárna NXG XII 600

Zdroj: <https://3dwiser.com/produkty/3d-tiskarny/kovy/slm-solutions/#products>

• Laserové navařování kovů – WP-LMD

Laserové navařování z drátu či prášku s technologií WP-LMD společnosti Meltio je výbornou volbou pro 3D tisk kovových dílů s velmi vysokou hustotou. Na obr. 10. je zobrazena speciální laserová tiskárna pro tento typ 3D tisku. [3]

Výhody:

- laserové navařování drátu či prášku, včetně jejich kombinace;
- výtisky s vynikající mikrostrukturou a hustotou 99,998 % vlastnostmi překonávají i odlitky a výkovky;
- materiálově otevřené řešení, tiskne z běžně dostupného kovového drátu;
- díky kombinaci prášků zvládne i výrobu nových slitin;
- tisk v kompaktní 3D tiskárně malé a střední díly;
- možnost dodatečných povrchových úprav jako u odlitků či obrobků.

Nevýhody:

- vyšší výška vrstvy, hrubost povrchu před opracováním;
- nutnost odřezání od kovové podložky;
- dodatečné povrchové úpravy, shodné s dalšími metodami 3D tisku kovů.

Nejoblíbenější materiály:

Nerezová ocel 17-4 PH (označení dle ČSN EN 4883), měkká ocel (označení dle ČSN EN ISO 14341), titan, Inconel i měď. [3]



Obrázek 10. 3D tiskárna Meltio Robot Cell

Zdroj: <https://3dwiser.com/produkty/3d-tiskarny/kovy/meltio/meltio-robot-cell/>

3.2. Přehled materiálů vhodných pro 3D tisk a jejich vlastnosti.

Pro úspěšnou a efektivní výrobu objektů pomocí metody 3D tisku, je důležitý výběr vhodného materiálu. Každý materiál má své vlastnosti, výhody i nevýhody, a ne všechny materiály lze použít pro všechny typy projektů.

V následujícím textu uvedu několik, již zmíněných, běžně využívaných materiálů a zmíním jejich zásadní vlastnosti ovlivňujících technologii 3D tisku.

- **PLA (Polylactic acid – kyselina polylactická)**

Materiál PLA je biologicky plně odbouratelný, vyrábí se z kukuřičného nebo bramborového škrobu či z cukrové třtiny a je stále více průmyslově využíván. Materiál je rozpustný v hydroxidu sodném. Po vytištění modelu se těžko odstraňují podpurné prvky. [4]

Základní parametry:

hustota: 1250 kg/m³, množství vlákna na 1 kg v cívce: 800 cm³

délka 1,75 mm silného materiálu: 330 m, délka 2,85 mm silného materiálu: 130 m

teplota tisku: 185–235 °C

teplota extrudéru: 150–210 °C

teplota podložky: 0–60 °C

Tento materiál je univerzální pro typ 3D tisku FDM a je vhodný i pro tisk velkoformátových objektů. Vedle materiálu ABS je nejpoužívanějším materiálem pro 3D tisk metodou extruze termoplastu. Materiál je pružný, tvrdý a odolný podobně jako jiné plasty. [4]

Nevýhodou tohoto materiálu je sklon pohlcovat vzdušnou vlhkost. Proto je nutné zabezpečit suché prostředí při skladování materiálu. Ve vlhkém prostředí se objevují bublinky na povrchu předmětu. Výhoda materiálu je v jeho zcela nepatrném sklonu ke kroucení, daný minimálním rozpínáním při tavení. I při nižších teplotách je výtisk pevný a jednotlivé vrstvy kvalitně spojené. Po tisku ho lze opracovat běžnými postupy, ale kvůli nízkému tavnému bodu ho nelze dobře strojně brousit. Brusný papír strojní desky materiál rychle zahřeje až k bodu měknutí. Tuto nevýhodu lze odstranit chlazením materiálu při opracovávání. Prakticky bez omezení je možné ruční broušení, materiál lze i snadno vrtat a lakovat (po ošetření základní barvou pro tvrdé plasty). [4]

- **ABS (Akrylonitrilbutadienstyren)**

Materiál ABS je amorfní termoplastický průmyslový kopolymer, který je odolný vůči mechanickému poškození. Materiál je tuhý, houževnatý, odolný proti nízkým i vysokým teplotám, málo nasákavý, zdravotně nezávadný, zároveň je odolný vůči kyselinám, hydroxidům, uhlovodíkům, olejům a tukům. Materiál ABS je velmi lehce opracovatelný. [8]

Základní parametry:

hustota: 1050 kg/m³, množství vlákna na 1 kg v cívce: 952 cm³

délka 1,75 mm silného materiálu: 400 m, délka 2,85 mm silného materiálu: 150 m

teplota tisku: 220–240 °C

teplota extrudéru: 220–275 °C

teplota podložky: 100–130 °C

Tento materiál je vhodný pro výrobu funkčních vzorků, výrobu nástrojů i pro výrobu věcí pro běžné použití. Není vhodný pro objekty, které budou dlouhodobě vystaveny povětrnostním vlivům. Materiál není vhodný pro medicínské aplikace. [8]

Materiál ABS je ropný produkt a při jeho zahřívání uniká škodlivý zápach. Při tisku se doporučuje v místnosti větrat. Materiál je náchylný na změnu teploty a daná skutečnost se projevuje smršťováním materiálu při tisku, proto je důležité tisknutý objekt pomalu ochlazovat. Podložka při tisku z ABS materiálu musí být vyhřívána. Při skladování je nutné materiál nevystavovat dlouhodobému slunečnímu záření a nadměrné vlhkosti. [8]

- **CPE – vylepšený PET (PETG) filament**

Materiál CPE neboli kopolyester je speciální materiál na bázi kyseliny tereftalové, který je svou výbornou odolností předurčen pro technické využití, zejména pro tisk funkčních

prototypů a mechanických součástí. S materiálem CPE dosáhne kvalitního a snadného tisku. [9]

Hlavní výhodou je, že tento materiál může nahradit materiál ABS. Při výrobě nevzniká nepříjemný a zdraví škodlivý zápach a materiál se minimálně deformuje. Materiál vyniká houževnatostí, vyšší tvrdostí, odolností vůči chemikáliím a teplotám do 70 °C. Pro srovnání s předchozími materiály je třeba uvést jeho vysokou pevnost v tahu, materiál je pevnější než materiál PLA a odolný jako materiál ABS. Materiál vyniká rozměrovou stálostí po delší dobu a také skvělou průhledností u tenkostěnných modelů. Nelze opomenout výbornou přilnavost materiálu při tisku mezi jednotlivými vrstvami, a to i k jiným materiálům. [9]

Základní parametry:

hustota: 1 250 kg/m³ (25 °C), filament zastoupen strunou CPE HG100 Fillamentum 750 gramů materiálu (+ 250 gramů cívka)

teplota tisku: 255–275 °C

teplota vyhřívání podložky: 70–80 °C

Materiál je vhodný pro výrobu prototypů a mechanicky namáhaných součástek. [9]

• **Polyamid (PA)**

Je to nesmírně silný, odolný a všestranný materiál. Tento materiál je flexibilní v tenkých vrstvách, ale s velmi vysokou adhezí (přilnutím) mezi vrstvami. Díky nízkému součiniteli tření a vysoké teplotě tání je solidní volbou pro tisk funkčních a technických dílů. Materiál je velmi hygroskopický, to znamená, že rychle absorbuje vodu ze vzduchu. Aby tisk s polyamidem byl úspěšný, musí být vlákno suché, pokud není suché, vzniknou na materiálu bublinky. Suché polyamidové vlákno tiskne hladké předměty s lesklým povrchem. [10]

Základní parametry:

hustota: 1100 kg/m³, množství vlákna na 1 kg v cívce: 909 cm³

délka 1,75 mm silného materiálu: 380 m, **délka 2,85 mm silného materiálu:** 140 m

teplota extrudéru: 235–260 °C

teplota podložky: 100–130 °C

Pro skladování materiálu je třeba používat uzavřenou nádobu s odvlhčovačem. Nastavení 3D tiskárny pro tento materiál je podobné těm, které se používají u ABS vláken. Adheze k tiskovému loži se zvyšuje s vyššími teplotami vytlačování. [10]

- **PC (Polykarbonát)**

Tento termoplastický materiál se řadí mezi nejodolnější filamenty. Velmi často se používá ve spojení s materiálem ABS, nebo jeho alternativa a to především díky podobným vlastnostem, které PC materiál nabízí. [11]

Základní parametry:

Výhody:

- vysoká rázová odolnost;
- vysoká pevnost a tuhost;
- vysoká odolnost proti tepelné deformaci (až 150 °C);
- vysoká odolnost proti oděru;
- dobré chemické izolační vlastnosti;
- nízká hmotnost;
- velmi dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti.

Nevýhoda: materiál pohlcuje vlhkost

Doporučené nastavení:

teplota podložky: 100–130 °C

teplota tisku: 250–290 °C

Díky rezistenci vůči nárazům je materiál vhodný na namáhané výtisky, uplatnění nachází také v elektrotechnice a automobilovém průmyslu. Pro své elektroizolační a dielektrické vlastnosti (nevodí elektřinu) se může použít i na tisk PC krabiček apod. Materiál je recyklovatelný a ohnivzdorný. PC Innovatefill (od výrobce Smartfil) může přijít do styku s potravinami. [11]

- **ULTEM 1010 (Ultra polymer)**

Pro FDM technologii tisku se řadí mezi nejnovější materiály. Materiál je pevný a vhodný k použití v automobilovém, leteckém, potravinářském průmyslu a v lékařství.

Výhody:

- tepelná a chemická odolnost a pevnost v tahu. Je k dispozici např. na tiskárnách Fortus 400mc, 450mc a 3D tiskárnách 900mc. [12]

- **ULTEM 9085 (Ultra polymer)**

Tento materiál má jedny z nejlepších mechanických vlastností, je odolný vůči hoření a má dobrou chemickou odolnost. ULTEM 9085 je díky jeho FST hodnocení (oheň, kouř, toxicita) ideální pro letecký, kosmický a automobilový průmysl a vojenské aplikace. Vhodný je rovněž pro všechny aplikace, kde je zapotřebí vysoký poměr pevnost/hmotnost. To umožňuje

konstrukčním a výrobním inženýrům tisknout pokročilé funkční prototypy a koncové spotřební díly. [12]

- **PEEK (PolyEtherEtherKetone)**

Materiál PEEK udržuje své mechanické vlastnosti až do 250 °C a je odolný vůči širokému spektru chemikálií. Díky tomu je tento vysoce specializovaný polymer ideální pro náročné provozní prostředí. Tento materiál se běžně používá v automobilovém a leteckém průmyslu k výrobě trubek, těsnění, ložisek a konzol. Tisková struna má pevnost v tahu 98 MPa, ohybový modul 3,8 GPa a rázová houževnatost je 8 KJ/m². Hodnoty mechanických vlastností tištěných dílů se odlišují v závislosti na tvaru, struktuře a výplni. Části mohou být po tisku žíhány. [13]

Základní parametry:

- při zachování svých mechanických vlastností snáší trvale teploty až do 250 °C;
- je odolný proti většině chemikálií (s výjimkou kyseliny sírové a silně oxidovaných médií);
- má velmi dobrou odolnost vůči UV záření;
- k tavení materiálu dochází při 343 °C;
- tvrdost dle Shore 84,5 D;
- průměr: 1,75 mm (±0,03);
- pracovní teplota: 400 °C;
- teplota komory: >120 °C. [13]

- **Polyamid 11**

Tento materiál je velmi houževnatý, pevný, pružný a využívá se pro funkční díly, kde hraje klíčovou roli odolnost.

Využití:

- nárazuvzdorné prototypy, přípravky a upínky;
- tenkostěnná pouzdra a kanálky;
- západky, svorky a závěsy;
- ortotika a protetika.

Základní parametry:

Mez pevnosti v tahu: 49 MPa

Tahový modul: 1,6 GPa

Protážení před přetržením (X/Y): 40 % [14]

- **Polyamid 12**

Univerzální materiál pro všeobecné použití s vysokou přesností detailů a rozměrů.

Využití:

- vysoce výkonné prototypování;
- malosériovou výrobu;
- trvalé přípravky, upínky a nástroje;
- obecné díly připravené technologií SLS.

Základní parametry:

Mez pevnosti v tahu: 50 MPa

Tahový modul: 1,85 MPa

Protažení před přetržením (X/Y): 11 % [5]

- **Měď**

Měď je měkký tažný kov, který se používá především pro svou elektrickou a tepelnou vodivost. Díky své vysoké vodivosti je měď ideálním materiálem pro řadu chladičů a tepelných výměníků, součástí rozvodu elektrické energie, jako jsou například přípojnice, výrobní zařízení včetně stopek pro bodové svařování, antény pro rádiovou komunikaci a další. Možnost tisku čisté mědi pomocí tiskárny Metal X umožňuje geometricky optimalizovat díly, které byly dříve drahé, časově náročné nebo jejich výroba nebyla možná. Čistota kovu je 99,8 procent. [6]

- **Inconel 625**

Materiál Inconel 625 je slitina niklu a chromu, která je vysoce odolná vůči korozi a vysokým teplotám. Lze ji snadno tisknout, což umožňuje vyrábět funkční prototypy a díly pro konečné použití dílů do náročných prostředí. Inconel 625 společnosti Markforged splňuje chemické požadavky normy ASTM B443.

Složení, Množství: Chrom 20–23 % Molybden 8–10 % Železo max. 5 % Niob 3,15–4,15 % Kobalt max. 1 % Mangan max. 0,5 % Křemík max. 0,5 % Hliník max. 0,4 % Titan max. 0,4 % Uhlík max. 0,1 % Fosfor max. 0,015 % Síra max. 0,015. [15]

- **Nástrojová ocel H13 (označení dle ČSN EN 10027-2)**

Tepelným zpracováním lze dosáhnout tvrdosti až 45HRC s pevností v tahu 1500 MPa. Často je používána pro těla nástrojů, pájecí přípravky a ve všech aplikacích, kde je potřebná vysoká tvrdost a tepelná odolnost.

Složení, množství: Chrom 4,7–5,5 %, Molybden 1,3–1,7 %, Křemík 0,8–1,2 %, Vanad 0,8–1,2 %, Uhlík 0,3–0,45 %, Mangan 0,2–0,5 %, Fosfor 0,03 % max., Síra 0,03 % max., železo zbytek. [16]

- **Nerezová ocel 17-4 PH (označení dle ČSN EN 4883)**

Je nejběžněji používaný materiál pro 3D tisk z kovu. Díky vynikajícím vlastnostem nachází široké uplatnění v průmyslových aplikacích.

Složení, množství: Chrom 15–17,5 %, Nikl 3–5 %, Měď 3–5 %, Křemík 1 % max., Mangan 1 % max., Niob 0,15–0,45 %, Uhlík 0,07 % max., Fosfor 0,04 % max., Síra 0,03 % max., železo zbytek. [17]

- **Kompozitní materiál Polyamid 6.6 s uhlíkovými vlákny (Onyx)**

Materiál je polyamid vyztužený nasekanými uhlíkovými vlákny. Je 1,4krát pevnější a houževnatější než materiál ABS a může být vyztužen jakýmkoliv kontinuálním vláknem. Pevnost v ohybu: 81 MPa. Materiál má specifické vlastnosti a vyvinula ho společnost Markforged a nazvala ho Onyx. [18]

- **Polyamid 6.6 s uhlíkovými vlákny, ohnivzdorný (Onyx FR)**

Materiál je s certifikací UL94 V-0 Blue Card, který má obdobné mechanické vlastnosti jako Polyamid 6.6 s uhlíkovými vlákny. Využívá se pro aplikace, při kterých se vyžaduje zpomalit hoření. Pevnost v ohybu: 79 MPa. Specifické vlastnosti a výkonnost materiálu Onyx FR, jsou výsledkem specifického procesu a technologie společnosti Markforged. [18]

- **Uhlíkové vlákno**

Uhlíkové vlákno má nejvyšší poměr pevnosti k hmotnosti z vyztužených vláken. Vyztužení z uhlíkového vlákna, které je šestkrát pevnější a osmnáctkrát houževnatější než Polyamid 6.6 s uhlíkovými vlákny, se běžně používá u dílů, které nahrazují obráběný hliník.

Pevnost v ohybu: 540 MPa. [18]

- **Skleněné vlákno**

Skleněné vlákno je kontinuální vlákno vstupní úrovně, které poskytuje vysokou pevnost za přijatelnou cenu. Vyztužení ze skleněného vlákna, které je 2,5krát pevnější a osmkrát houževnatější než Polyamid 6.6 s uhlíkovými vlákny, poskytuje pevné a robustní nástroje.

Pevnost v ohybu: 200 MPa. [18]

- **Para-aramidové vlákno (Kevlar)**

Materiál má vynikající trvanlivost, díky čemuž je optimální pro díly, které jsou vystavovány opakovanému a náhlému zatížení. Tuhost materiálu je podobná jako u skleněné vlákna, ale je mnohem více tažný. Pevnost v ohybu: 240 MPa. [18]

4. Porovnání 3D tisku s dalšími metodami výroby

Pro porovnání technologie 3D tisku s dalšími metodami výroby jsem vybral základní, tradiční metody výroby prototypů. V úvodu uvedu jednu velkou nevýhodu tradičních metod výroby a tou je vznik velkého množství odpadu při zpracovávání prototypů. Při 3D tisku vzniká minimální odpad.

- **Frézování versus 3D tisk**

Frézování a 3D tisk jsou dva různé přístupy k vytváření prototypů, z nichž každý má své vlastní výhody a omezení. Frézování je proces odstraňování materiálu z bloku materiálu, aby se vytvořil požadovaný objekt. Na druhé straně 3D tisk je proces vytváření objektu vrstvu po vrstvě, aby vytvořil požadovaný objekt. Frézování se obvykle používá pro výrobu prototypů z kovů a dalších tvrdých materiálů, zatímco 3D tisk se používá pro výrobu prototypů z plastů a dalších měkkých materiálů. Rozdíl mezi frézováním a 3D tiskem spočívá ve způsobu vytváření výrobku.

Souhrnné porovnání mezi frézováním a 3D tiskem v několika klíčových oblastech:

	Frézování	3D Tisk
Proces	Odstraňuje materiál z výchozího bloku nebo dílu.	Přidává materiál vrstvu po vrstvě podle digitálního modelu.
Materiály	Může pracovat s různými materiály, včetně kovů, plastů, dřeva a kompozitů.	Materiály zahrnují různé druhy plastů, kovů, keramiky a kompozitů.
Přesnost a kvalita povrchu	Poskytuje vysokou přesnost a kvalitu povrchu, zejména při použití pokročilých CNC fréz.	Přesnost závisí na technologii tisku; moderní tiskárny mohou dosahovat vysoké přesnosti, ale může být ovlivněna vrstvomým charakterem tisku.

Složité geometrie a vnitřní struktury	Může být omezeno vytvářením složitých vnitřních struktur a dutin.	Je schopno vytvářet složité geometrie a vnitřní struktury s minimálními omezeními.
Rychlost	Může být rychlejší pro jednoduché tvary, ale složité útvary vyžadují více času.	Rychlost závisí na velikosti a složitosti tisknutého objektu; může být pomalejší než frézování, zejména u velkých dílů.
Odpad	Může generovat větší množství odpadu materiálu, zejména při odstraňování velkých částí.	Generuje méně odpadu, protože materiál je přidáván pouze tam, kde je potřeba.
Nástroje	Vyžaduje frézy, CNC stroje a další obráběcí nástroje.	Vyžaduje 3D tiskárnu a materiály pro tisk.
Úpravy designu	Může být náročné na úpravy designu, zejména pokud jsou již vytvořené nástroje.	Umožňuje snadnou úpravu designu a rychlou iteraci bez potřeby nových nástrojů.

Tabulka 1.

Zdroj: vlastní zpracování

Obě metody mají své uplatnění v závislosti na konkrétních potřebách projektu, a někdy může být vhodné použít kombinaci frézování a 3D tisku pro dosažení optimálního výsledku.

- **Obrábění versus 3D tisk**

Obrábění a 3D tisk jsou dva odlišné procesy používané k vytváření prototypů a dílů. Obrábění zahrnuje odstraňování materiálu z výchozího bloku, podobně jako frézování, zatímco 3D tisk přidává materiál vrstvu po vrstvě.

Souhrnné porovnání mezi obráběním a 3D tiskem v několika klíčových oblastech:

	Obrábění	3D Tisk
Proces	Odstraňování materiálu z bloku.	Přidávání materiálu vrstva po vrstvě.
Materiály	Kov, plast, dřevo, atd..	Plast, kovy, keramika, kompozitní materiály.
Přesnost a kvalita povrchu	Vysoká (s pokročilými CNC stroji).	Závisí na technologii a nastavení.
Schopnost vytvářet složité geometrie	Omezená (zejména u vnitřních struktur).	Vysoká (minimální omezení).
Rychlost	Rychlá pro jednoduché tvary, pomalá pro složité tvary.	Závisí na velikosti a složitosti objektu.
Množství odpadu	Může být vysoké.	Nízké (materiál je přidán jen tam, kde je potřeba).
Potřebné nástroje	Soustruhy a soustružnické nože.	3D tiskárna a materiály pro tisk.
Úpravy designu	Může být náročné (pokud jsou již vytvořené nástroje).	Snadné a rychlé iterace bez potřeby nových nástrojů.

Tabulka 2.

Zdroj: vlastní zpracování

Výběr mezi obráběním a 3D tiskem závisí na mnoha faktorech, jako jsou požadavky na přesnost, složitost tvaru, materiál a časový plán. Pokud je zapotřebí prototyp s vysokou přesností a kvalitou povrchu, obrábění může být lepší volbou. Pokud je nutný prototyp s velmi složitým tvarem, 3D tisk může být lepší volbou.

- **Lití versus 3D tisk**

Lití je proces, při kterém se roztavený kov nalije do formy, aby se vytvořil požadovaný tvar. Na druhé straně 3D tisk je proces, při kterém se materiál postupně vrství, aby se vytvořil požadovaný tvar.

Souhrnné porovnání mezi litím a 3D tiskem v několika klíčových oblastech:

	Lití	3D Tisk
Forma	Vyžaduje výrobu formy, což může být časově i finančně náročné.	Nevyžaduje formu, ale může být pomalejší a dražší na provoz.
Kvalita a přesnost povrchu	Poskytuje vysokou kvalitu a přesnost povrchu, ale může být omezeno geometrií formy.	Může vytvářet složité a detailní tvary, ale může mít nižší kvalitu a přesnost povrchu.
Materiály	Může používat širokou škálu materiálů a dosahuje vysoké pevnosti a odolnosti.	Může používat různé materiály, ale obvykle s nižší pevností a odolností.
Geometrie	Může být omezeno v reprodukci složitých geometrických tvarů a vnitřních struktur.	Je schopen vytvářet složité geometrie a vnitřní struktury.
Rychlost výroby	Je obvykle rychlejší při výrobě velkých sérií stejných dílů.	Je ideální pro výrobu malých sérií a jedinečných dílů, ale může být pomalejší při vytváření velkých sérií.
Náklady	Náklady na vytvoření forem mohou být vysoké, ale cena jednotlivých dílů při větších sériích může být nižší.	Může být nákladnější na jednotkovou výrobu, ale nemá inicializační náklady spojené s vytvářením forem.
Přesnost	Poskytuje vysokou přesnost a povrchovou kvalitu.	Přesnost závisí na technologii a nastavení tisku.
Změna designu	Při změně designu může být nutné vytvořit novou formu, což může být časově náročné.	Umožňuje snadnou úpravu designu a rychlou iteraci bez potřeby vytváření nových nástrojů.

Velikost dílů	Je vhodné pro výrobu velkých dílů s vysokým objemem.	Má omezenou velikost tisknutelných objektů, ačkoliv jsou k dispozici i velké 3D tiskárny pro větší projekty.
----------------------	--	--

Tabulka 3.

Zdroj: vlastní zpracování

Výběr mezi litím a 3D tiskem závisí na požadovaném množství a složitosti dílu. Pokud je vyžadováno vyrábět velké díly, může být lití lepší volbou. Pokud je zapotřebí vyrábět menší díly nebo složitější geometrie, může být 3D tisk lepší volbou. Lití může být také dražší než 3D tisk, zejména pokud se jedná o menší díly.

4.1. Statistické údaje 3D tisku

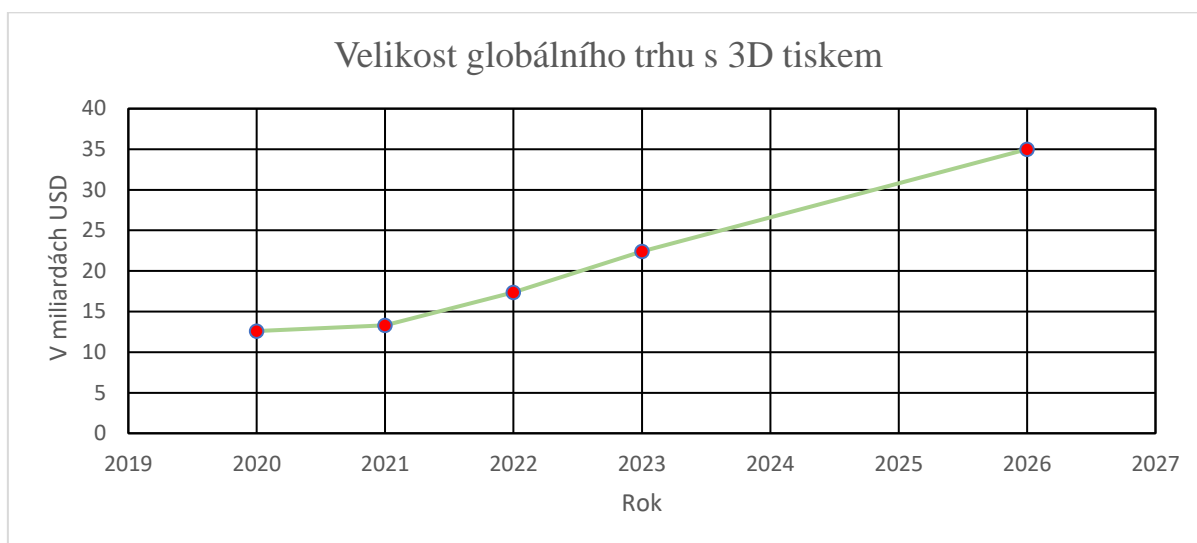
Na závěr kapitoly, která porovnává 3D tisk s tradičními metodami ještě uvádím zajímavé statistické údaje 3D tisku z posledního vyhodnoceného období, tj. z roku 2022.

Statistické údaje 3D tisku z roku 2022:

- Největším regionem v používání 3D tisku byla Severní Amerika s podílem na tržbách téměř 34,45 % v roce 2022.
- Největším trhem s 3D tiskem byly Spojené státy s tržbami ve výši 3,4 miliardy USD nebo podílem téměř 23 %.
- Evropa je domovem téměř 52 % všech společností zabývajících se 3D tiskem.
- Velká Británie je druhým největším trhem 3D tisku v Evropě a pátým největším trhem na světě s tržbami téměř 468 milionů USD.
- Čína představuje 70 % celosvětového trhu se stolními 3D tiskárnami.
- Celosvětově používá 3D tiskárny téměř 1-2 miliony lidí.
- Podle 69 % firem je hlavní výhodou 3D tisku jeho schopnost vytvářet komplikované tvary.

[24]

Grafické znázornění globálního trhu s 3D tiskem:



Graf 1.

Zdroj: vlastní zpracování

Rok	V miliardách USD
2020	12,6
2021	13,3
2022	17,38
2023	22,4
2026	35

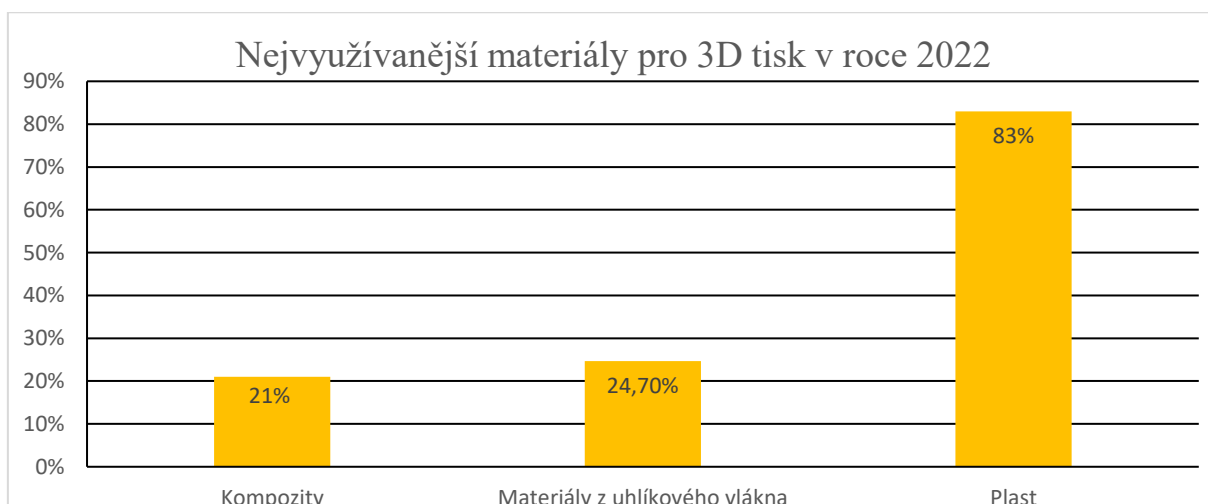
Tabulka 4. (pro graf 1.)

Materiál	V procentech
Kompozity	21,00 %
Materiály z uhlíkového vlákna	24,70 %
Plast	83 %

Tabulka 5. (pro graf 2.)

Zdroj: <https://www.statista.com/statistics/315386/global-market-for-3d-printers/>

Zdroj: <https://www.strategicmarketresearch.com/blogs/3d-printing-statistics>



Graf 2.

Zdroj: vlastní zpracování

5. Technologie 3D tisku v zemědělství

Technologie 3D tisku nabízí široké možnosti v různých odvětvích, včetně zemědělství. Hlavní směr výroby prostřednictvím 3D tisku v zemědělství se zaměřuje na výrobu součástek, zejména náhradních dílů. U velkých zemědělských strojů, od traktorů počínaje až po různé kypřicí a sečí stroje jsou velké pořizovací náklady a pořízení náhradních dílů i vývoj nových součástek se tak stává důležitým faktorem pro plynulou zemědělskou činnost. Velká část zemědělské výroby je závislá také na počasí a mnohdy nelze zemědělské výrobní postupy měnit například pro poruchu stroje.

Jako příklady uvádím využití technologie 3D tisku pro výrobu v zemědělství:

- **Návrh a testování nových dílů:** Zemědělská zařízení, jako jsou traktory nebo sekačky, mohou být vylepšována pomocí 3D tisku pro vytváření prototypů nových dílů. To umožňuje rychlý vývoj a testování nápadů bez nutnosti dražších výrobních procesů. [20] [21]
- **Vývoj senzorů a měřicích zařízení:** 3D tisk umožňuje vytvářet složité geometrické tvary, což je užitečné při vývoji senzorů a měřicích zařízení pro sledování podmínek půdy, vlhkosti, nebo teploty v zemědělských oblastech. [20] [21]
- **Výroba prototypů pro zavlažovací systémy:** Inovace v oblasti zavlažovacích systémů mohou být rychleji testovány a implementovány díky 3D tisku. Prototypy trysk, rozprašovačů a spojovacích dílů mohou být vytvořeny a testovány před hromadnou výrobou.
- **Vývoj nových nástrojů pro sázení:** Zemědělské nástroje, které jsou určeny pro sázení, mohou být optimalizovány pomocí 3D tisku. Prototypy nových druhů sázejících zařízení mohou být rychle vytištěny a testovány v terénu. [20] [21]
- **Vývoj nových obalových materiálů:** 3D tisk může být využíván k vytváření prototypů nových obalů pro zemědělské produkty. Tyto obaly mohou být navrženy tak, aby lépe chránily produkty před poškozením nebo ztrátou kvality. [20] [21]
- **Výroba polymerových trubek:** Některé společnosti využívají 3D tisk k výrobě polymerových trubek na zemědělské půdě, které tvoří strukturu podobnou pláštvi, která pak umožňuje odtok vody. [20] [21]
- **Výroba prototypů a koncových dílů:** CNH Industrial, jeden z největších výrobců průmyslových vozidel a zemědělských a stavebních strojů na světě, používá 3D tisk nejen pro prototypování a návrh, ale také pro výrobu náhradních a koncových dílů. [20] [21]

Všechny uvedené příklady uvádějí možnosti 3D tisku v zemědělství, a to jak pro výrobu prototypů, tak pro výrobu koncových dílů. 3D tisk tak může zjednodušit jednotlivé výrobní zemědělské procesy, ale je ideální i pro hromadnou výrobu. Využívání technologie 3D tisku

v zemědělských procesech umožňuje rychlejší a efektivnější vývoj technologií, snižuje náklady na výrobu a zvyšuje inovace. [20] [21]

Moderní technologie 3D tisku proniká do všech oborů lidské činnosti a zemědělství není výjimkou. Při rychlosti stávajícího technického vývoje lze očekávat, že zemědělství bude v budoucnu velmi odlišné od současného a jistě bude již neporovnatelné se zemědělstvím v minulosti. Zemědělci se budou vyrovnávat s rychlými změnami a zaváděním nových technologií, budou ovlivňováni spotřebiteli, rostoucí populací a mnoha vnějšími vlivy, například klimatickými změnami.

5.1. Aplikace 3D tisku v zemědělství

Zachování a zlepšování životní úrovně obyvatel a dostupnost potravin je pro všechny obrovskou výzvou. V posledních letech došlo k výrazným hospodářským, sociálním a klimatickým změnám. Jedná se především o výzvu směrem k vývoji techniky a technologií, které povedou k zabezpečení udržitelné produkce s respektem k životnímu prostředí. Technologii 3D tisku je možno přiřadit mezi významné pomocníky v rozvoji zemědělství. [25]

Farmář může mít 3D tištěný nástroj za jeden den. Tato snadnost přizpůsobení umožňuje farmářům provádět i ty nejneobvyklejší úkoly s větší snadností a pohodlím. 3D tisk voskových nebo pryskyřičných odlitků nebo vzorů je nejdostupnější proces pro výrobu nástrojů.

Použitím nových technologií je možno skenovat a vytvářet 3D modely zemědělského pozemku, aby byla možnost lépe porozumět terénu v dané oblasti. Tyto modely mohou pomoci řešit problémy jako je eroze, které zóny jsou v oblasti nebo kde se voda shromažďuje. [25]

Příklady konkrétních aplikací 3D tisku ve výrobě zemědělských zařízení.

- **Výroba dílů a součástek:** technologie 3D tisku umožňuje vyrábět různě složité geometrické tvary, které by tradičními metodami bylo nákladné vyrobit. V zemědělské výrobě může být 3D tisk využíván k výrobě dílů a součástek pro traktory, sekačky, pluhů nebo jiná zařízení. [20] [21]
- **Prototypování nových zařízení:** Při vývoji nových zemědělských strojů nebo zařízení může být 3D tisk využit k rychlému vytváření prototypů. To umožňuje inženýrům a konstruktérům rychleji iterovat a testovat nové nápady před tím, než přejdou k masové výrobě. [20] [21]

- **Personalizované nástroje a adaptéry:** Zemědělci často potřebují specifické nástroje nebo adaptéry pro své individuální potřeby. 3D tisk umožňuje vytvářet personalizované nástroje a adaptéry přímo na míru konkrétním úkolům nebo zařízením. [20] [21]
- **Výroba náhradních dílů:** Pokud dojde k poškození nebo opotřebení některých dílů zemědělského zařízení, mohou být náhradní díly vytištěny pomocí 3D tisku. To může zkrátit dobu potřebnou k opravě a snížit náklady na skladování hotových náhradních dílů. [20] [21]
- **Vývoj lehčích a odolnějších komponentů:** 3D tisk umožňuje vytvářet struktury s optimálním poměrem hmotnosti a pevnosti. V zemědělských zařízeních může být tato vlastnost využita k vytváření lehčích a odolnějších komponentů, což může přispět k celkovému zvýšení efektivity a úspoře paliva. [20] [21]
- **Výroba přesných měřicích nástrojů:** Pro správný provoz zemědělských strojů je klíčové měření různých parametrů. 3D tisk umožňuje vytvářet přesné měřicí nástroje a sondy, které mohou být použity k monitorování půdních podmínek, úrovně hnojení nebo jiných důležitých faktorů. [20] [21]
- **Vytváření inovativních částí pro precision farming:** V oblasti precision farming, kde je důraz kladen na optimalizaci využití zdrojů, může být 3D tisk využit k výrobě inovativních částí pro senzory, drony nebo autonomní zařízení, které pomáhají přesně řídit zemědělské procesy. [20] [21]

Zemědělci mohou skutečně tisknout zařízení na požádání. Je to obzvláště užitečné pro tisk zařízení v odlehlých oblastech.

Nejlepší projekty 3D tisku v zemědělství u konkrétních firem. Zde je výběr nejzajímavějších a nejinnovativnějších projektů pro zemědělství využívajících technologii 3D tisku:

- Zemědělci v Myanmaru používají 3D tisk k vytváření nástrojů. Aditivní výroba je skvělá technika pro zlepšení některých již existujících procesů. Může pomoci zemědělcům vyrábět tradiční zařízení a nástroje. To je přesně technika používaná zemědělci v Myanmaru. Původně používali CNC stroje pro prototypování svých nástrojů, ale bylo to pomalé a drahé. Začlenění technologie 3D tisku do jejich výrobního procesu jim pomohlo vytvářet kvalitní nástroje rychleji a zlepšit jejich výrobní proces. Tímto způsobem mohou zcela přizpůsobit nástroje svému použití a zlepšit své zemědělské aktivity. Navíc pro tento druh použití jsou skvělé stolní 3D tiskárny, protože jim umožňují tisknout přímo na místě. [20]
- Technologie 3D tisku, se stává velkou výhodou pro africké zemědělství. V některých afrických zemích, jako je Togo, mají zemědělci stále obtížný přístup k mechanizovanému

zařízení. Sénamé Koffi Agbodjinou založil africký digitální fablab, navrhl 3D tiskárnu a postavil ji pouze z odpadu a elektronických komponent, které našel na ulici. Tato 3D tiskárna funguje dokonale a pomáhá místním zemědělcům prototypovat jejich vlastní nástroje. Tato technologie aditivní výroby skutečně zvyšuje jejich výnosy plodin, protože jsou schopni vyrábět všechny nástroje, které potřebují. [20]

- 3D tisknuté díly strojů pro zemědělství. Většinou zemědělci pracují se specializovanými stroji. Jsou to masivní a drahé stroje. Dokonce i nahradit jen jednu část může být poměrně drahé. Nebo část, kterou zemědělec hledá, už možná není na trhu. V tomto případě je aditivní výroba úžasným řešením. Stejně jako pro automobilový průmysl je možné tisknout náhradní díly pro zemědělské stroje. To je přesně projekt společnosti GVL Proto Poly. Tento projekt vyžaduje velké 3D tiskárny. S rychlým vývojem v průmyslu 3D tisku bude brzy pohodlnější tisknout velké díly najednou. [20]
- 3D tisk pro městské zemědělství. Společnost Farmshef vyvinula autonomní systém, který umožňuje každému zahájit chytré vnitřní zemědělství. Rozvíjení nového podnikání je těžké a poměrně drahé. Díky 3D tisku jsou někteří podnikatelé schopni ušetřit čas a peníze tím, že používají aditivní výrobu k vývoji některých částí svého projektu. A to je to, co udělala společnost Farmshef. 3D tisk jim umožnil navrhnout správné díly pro jejich projekt, jako jsou montážní konzoly a závěsy pro rostliny viz obr. 11. Následně byli schopni rychle tisknout vlastní díly a testovat je. Tradiční výrobní technikou, jako je vstřikování by byla výroba dražší a trvala by déle. [20]



Obrázek 11. Na míru tištěné 3D části

Zdroj: <https://3dprint.com/198409/ultimaker-2-farmshelf-parts/>

- Hromadná sklizeň pomocí 3D tištěných dílů. I když existuje mnoho inovací pro optimalizovanou hromadnou sklizeň, 3D tisk může přidat hodnotu prostřednictvím jednoduchého mechanismu sběru ovoce, který shromažďuje vysoko visící ovoce bez nutnosti použití žebříků. 3D tištěné díly, nástroje mohou být začleněny do konvenčně vyráběných komponentů, jako je dřevěná rukojeť, pružiny a šrouby, aby vytvořily třídrápý sběrač ovoce, který je znázorněn na obr. 12. [25]



Obrázek 12. Třídrápý sběrač ovoce

Zdroj: <https://media.neliti.com/media/publications/372312-3d-printing-applications-in-agriculture-5304b21a.pdf>

- Malé ekologické farmy v rozvojových zemích využívají 3D tisk Dr. Joshua Pearce z Michigan Technological University provedl celou studii o tom, jak by mohl 3D tisk pomoci malým farmám. Skutečně, většina světové půdy spravované ekologicky se nachází v rozvojových zemích. Zemědělci v těchto zemích používají náročné nástroje. Díky aditivní výrobě je možné vyrobit jiné efektivní nástroje, které by lépe vyhovovaly použití místních zemědělců. Mohlo by to pomoci ekologickým farmám, ale také chovu zvířat a správě vody. [20]
- Udržitelná vnitřní zahrada pomocí 3D tisknutých konektorů. Projekt italského start-upu Hexagro Urban Farming je 3D tisk malých konektorů. Tyto konektory lze přizpůsobit jakémukoli tvaru a konkrétním potřebám zákazníků. Design lze neomezeně přizpůsobit. Na obr. 13. je konektor, spojka živého zemědělského stromu vytisknutá technologií 3D tisku. [20]



Obrázek 13. Konektor vytištěný na 3D tiskárně

Zdroj: <https://www.hexagourbanfarming.com/>

- Kanadská společnost Framework Animation s.r.o. vyrobila 3D tisknuté díly, aby pomohla testovat vysoce technologický systém pro sázení plodin. Aditivní výroba je zde opravdu užitečná pro oddělení výzkumu a vývoje, umožňuje testovat celé zařízení a vytvářet mnoho variací, aby se vyvinul co nejlepší možný produkt. Konečná část je vyrobena z litiny a karbidu, protože díly potřebují odolnost a pevnost. Ale pro testovací proces mohou 3D tisknuté díly skutečně odolat fyzickému tlaku. Testování 3D tisknutých dílů je levnější a proces je také poměrně jednoduchý. Na obr.14. je znázorněn díl sázečního stroje vyrobený pomocí 3D tisku. [20]



Obrázek 14. Sázeční stroj vytištěný na 3D tiskárně

Zdroj: <https://3dprint.com/48469/3d-printing-groundbreaking/>

- Americký výrobce zemědělských strojů AGCO uvedl, že používá 3D tisk pro prototypování. Tištěné komponenty pomáhají návrhářům a inženýrům ověřovat formu, přizpůsobení a estetiku daných produktů.[21] [22]
- Obrovská firma v oblasti zemědělské a stavební techniky Case New Holland (CNH) z New Hollandu v Pensylvánii zakoupila stroj pro aditivní výrobu SLS. Tuto 3D tiskárnu společnost používá k výrobě velkého množství vzorů pro lití do písku. Díky působivým úsporám času, kterých CNH dosáhla pomocí svého systému SLS, se investice vyplatila.[21] [22]

Společnost objevila výhody technologie, která nabízí několik možností výběru materiálů a vysoký stupeň rozmanitosti aplikací. Kromě modelů pro lití do písku používá CNH také svůj systém SLS k výrobě robustních prototypů DuraForm a modelů pro lití do vytavitelného modelu.[21] [22]

Jakmile dojde k této digitální transformaci, pak je pravděpodobné, že úspěšné budou start-upy a velké korporace, které vědí, jak využít tyto nové trendy.

5.2. Budoucnost aditivní výroby pro zemědělství

I když byl 3D tisk již úspěšný pro mnoho aplikací v zemědělském sektoru, bude se nadále vyvíjet v nadcházejících letech a stane se ještě více integrovaným do zemědělského průmyslu. Tato technologie má mnoho výhod, které může přinést zemědělskému sektoru, od nástrojů po složitější zařízení. Průmysl 3D tisku má stále co nabídnout zemědělství, protože technologie se nadále vyvíjí, a očekává se, že poroste na popularitě.

Výrobci zemědělských strojů přijímají tento proces, aby pomohli zlepšit efektivitu. Neúprosný tlak na zlepšení efektivity v terénu znamená neustálý posun směrem k inovacím, včetně návrhu a rychlé dodávky zemědělských strojů. Cena 3D tiskáren dramaticky klesla, což je činí ještě dostupnějším nástrojem k použití pro rychlé prototypování v rané fázi návrhu nových a přepracovaných produktů. Můžeme vytvořit kus a upravit ho během několika dní, místo čekání šest až deset týdnů. [23]

To je svět, ve kterém farmáři již žijí, technologie 3D tisku nenahradí svařování nebo pilu, ale bude to další nástroj v bedně, řečeno nadneseně.

6. Závěr

Technologie 3D tisku se jako plnohodnotný výrobní nástroj dostává stále více k podnikům, které si jej dříve nemohli dovolit a čekaly na levnější nebo spolehlivější 3D tiskárny. Dnes se tato technologie již stává nezbytnou součástí vývojových firem, které vymýšlí, navrhují a vyrábí fyzické předměty.

Mohu se s určitostí domnívat, že i v následujících letech, bude 3D tisk stále důležitější, protože bude vznikat nový obsah, budou definovány nové standardy a proces tvorby 3D modelů se stane jednodušší. 3D tisk změní způsob výroby nejrůznějších předmětů od různých přípravků až po náradí, a to ve všech odvětvích průmyslu a zemědělství.

V zemědělství je tato technologie významná hlavně pro prototypování a výrobu náhradních dílů, které nejsou mnohdy dostupné. Dostupnost náhradních dílů neznamena jen vzdálenost a lhůty dodávek, ale i celková levnější cena výrobků vytištěných 3D tiskárnou.

Závěrem bych uvedl osm hlavních důvodů, proč by měli výrobci, zemědělci i spotřebitelé investovat do 3D tisku:

- **Zlevňuje výrobu:** Technologie 3D tisku je dnes natolik dostupná a spolehlivá, že nemusíme v mnoha případech ztrácet čas poptávkami, vyhodnocováním nabídek a zdlouhavým procesem dohadování se s externími dodavateli. Vlastní výtisky mohou být levnější.
- **Zkracuje výrobu:** Konstrukteři a návrháři mohou mít v současnosti 3D tiskárny ihned po ruce. Nejen pro výrobu prototypů, ale i k výrobě plně funkčních náhradních či koncových dílů. Zkrácením výroby zlevníme celkový proces a cenu konečného produktu.
- **Výroba v čase a v místě:** Dnes máme schopnost vytisknout mnoho prototypů a náhradních dílů přímo na místě jejich spotřeby, a to dokonce v okamžiku, kdy jsou potřeba, přímo z digitálních dat konfigurovaných pro tisk. Tisknout lze nejen z termoplastů, ale také z odolných a pevných kompozitních materiálů nebo dokonce kovů. Místní aditivní výroba umožňuje ušetřit čas a minimalizovat potřebu skladování a přepravní kapacity.
- **Vytiskneme dříve nevyrobitelné:** Aditivní výroba asi nemá nutně nahradit tradiční výrobní technologie tam, kde se osvědčují a jsou efektivní, 3D tisk však tradiční technologie skvěle doplňuje a přináší zcela nové možnosti. Díky 3D tisku dokážeme vyrobit i to, co dříve nebylo možné, získáváme tzv. tvarovou svobodu.

- **Vyhnete se nákladným chybám:** Pomocí technologie 3D tisku si konstruktéři mohou ověřit návrhy dílů i celých sestav. V případě potřeby tak okamžitě mohou provádět vylepšení a lze předejít chybám před zahájením výroby.
- **Větší přesvědčivost:** Ať už se jedná o zemědělský komponent, designový prvek, urbanistickou studii nebo prezentaci architektonického díla, nabízí se zde příležitost pro fyzické prozkoumání, vizualizaci a experimentaci s daným objektem. Využití vizualizace pomáhá přilákat nové zákazníky a oslovit jak laickou, tak odbornou veřejnost prostřednictvím atraktivních a přístupných 3D tisků.
- **Získání konkurenční výhody:** Promyšlené zavádění nových technologií může znamenat klíčový rozdíl mezi úspěchem a neúspěchem na trhu. Výtisky z 3D tisku můžeme přizpůsobit na míru požadavkům zákazníků. Technologie 3D tisku se stává důležitou výhodou v konkurenčním boji o zákazníky.
- **Blesková návratnost investic:** V rámci aditivní výroby není žádná jednotná metoda vhodná pro všechny typy výrobních procesů. Avšak v mnoha oblastech se technologie 3D tisku stávají plnohodnotnými nebo dokonce výkonnějšími výrobními nástroji. Investice do kvalitních 3D tiskáren může být vhodným finančním rozhodnutím, které se může rychle amortizovat, a to v horizontu několika týdnů či měsíců.

Když se zamyslím, ještě bych doplnil, že s využitím aditivní výroby, tedy 3D tisku, vznikají nová pracovní místa. Uchazeči se musí naučit nové dovednosti, které je připraví na práci v tomto zajímavém a stále rozvíjejícím se odvětví.

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] ČVUT Fakulta strojní. Historie 3D tisku [online]. Praha: ČVUT Fakulta strojní, [cit. 2024-01-29]. Dostupné z:
<https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/historie-3d-tisk/>
- [2] Hard Wired. Úvod do 3D tisku [online]. Hard Wired, 21. 10. 2022 [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.hardwired.dev/2022/10/21/uvod-do-3d-tisku/>
- [3] Dosáhněte více inovací díky 3D tisku. Praha: 3Dwiser s.r.o., 2023. 27 s.
- [4] Materialpro3D. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty [online]. Brno: Materialpro3D, [cit. 2024-01-29]. Dostupné z:
<https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>
- [5] Formlabs. High Resolution SLA and SLS 3D Printers for Professionals [online]. Somerville, MA: Formlabs, [cit. 2024-01-29]. Dostupné z:
https://support.formlabs.com/s/article/Using-Nylon-12?language=en_US
- [6] 3D Tiskárna. 3D tiskárny Markforged [online]. Česká republika: 3D Tiskárna, [cit. 2024-01-29]. Dostupné z:
<https://www.3d-tiskarna.cz/wp-content/uploads/2021/03/copper-data-sheet.pdf>
- [7] KLOSKI, Liza Wallach – KLOSKI, Nick. Začínáme s 3D tiskem. 1.vydání. Brno: Albatros Media a.s, 2017. 211 s. ISBN 978-80-251-4876-1
- [8] Materialpro3D. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty [online]. Brno: Materialpro3D, neznámé datum vytvoření [cit. 2024-01-29]. Dostupné z:
<https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/abs/>
- [9] Materialpro3D. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty [online]. Brno: Materialpro3D, neznámé datum vytvoření [cit. 2024-01-29]. Dostupné z:
<https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/cpe/>
- [10] Materialpro3D. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty [online]. Brno: Materialpro3D, neznámé datum vytvoření [cit. 2024-01-29]. Dostupné z:
<https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/nylon/>

- [11] Materialpro3D. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty [online]. Brno: Materialpro3D, neznámé datum vytvoření [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pc/>
- [12] Materialpro3D. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty [online]. Brno: Materialpro3D, neznámé datum vytvoření [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/ultem/>
- [13] Materialpro3D. Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty [online]. Brno: Materialpro3D, neznámé datum vytvoření [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/peek/>
- [14] 3Dwiser. #1 eshop pro 3D tisk - 3Dwiser [online]. [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://eshop.3dwiser.com/prasky/formlabs-nylon-11/>
- [15] 3D Tiskárna. 3D tiskárny Markforged [online]. Česká republika: 3D Tiskárna, [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.3d-tiskarna.cz/wp-content/uploads/2021/03/Inconel-625.pdf>
- [16] 3D Tiskárna. 3D tiskárny Markforged [online]. Česká republika: 3D Tiskárna, [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.3d-tiskarna.cz/wp-content/uploads/2021/03/h13-tool-steel.pdf>
- [17] 3D Tiskárna. 3D tiskárny Markforged [online]. Česká republika: 3D Tiskárna, [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.3d-tiskarna.cz/wp-content/uploads/2021/03/17-4-ph-stainless-steel.pdf>
- [18] 3D Tiskárna. 3D tiskárny Markforged [online]. Česká republika: 3D Tiskárna, [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.3d-tiskarna.cz/wp-content/uploads/2021/03/composites-data-sheet.pdf>
- [19] GrowJOB Institute. Úvod - GrowJOB Institute [online]. Datum publikování není k dispozici, datum poslední revize není k dispozici [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://www.growjob.com/citaty/zmenit-svet/>

- [20] GAGET, Lucie. 3D tisk pro zemědělství: Top 7 nejlepších projektů [online]. c2018, poslední revize 4.7.2018 [cit.2024-02-24]. Dostupné z:
<https://www.sculpteo.com/blog/2018/07/04/3d-printing-for-agriculture-top-6-of-the-best-projects/>
- [21] MOLITCH-HOU, Michael. The State of 3D Printing in Agricultural Equipment [online]. 31. ledna 2020 [cit. 24. února 2024]. Dostupné z:
<https://3dprint.com/262446/the-state-of-3d-printing-in-agricultural-equipment/>
- [22] Case New Holland Uses DuraForm and CastForm SLS Materials for Casting [online]. 24. února 2024 [cit. 24. února 2024]. Dostupné z:
<https://www.3dsystems.com/learning-center/case-studies/case-new-holland-uses-duraform-and-castform-materials-casting>
- [23] KELLY, Caitlin. How 3D Printing Helps Save Time in Agricultural Manufacturing [online]. 24. února 2024 [cit. 24. února 2024]. Dostupné z:
<https://myfarmlife.com/equipment/how-3d-printing-helps-save-time-in-agricultural-manufacturing/>
- [24] 3D Printing statistics & trends 2023 [online]. Červenec 2023 [cit. 24. února 2024]. Dostupné z:
<https://www.strategicmarketresearch.com/blogs/3d-printing-statistics>
- [25] CRISOSTOMO, Jan Lloyd B.; DIZON, John Ryan C. 3D Printing Applications in Agriculture, Food Processing, and Environmental Protection and Monitoring [online]. Říjen 2021 [cit. 24. února 2024]. Dostupné z:
<https://media.neliti.com/media/publications/372312-3d-printing-applications-in-agriculture-5304b21a.pdf>