

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

**VLASTNOSTI PLA VLÁKEN A VYUŽITÍ 3D TISKÁREN
V TECHNICKÉM VZDĚLÁVÁNÍ**
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Markéta Bártová

Učitelství pro základní školy, obor chemie – technická výchova

Vedoucí práce: Mgr. Jan Krotký, Ph.D.

Plzeň 2021

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 19. dubna 2021

.....
vlastnoruční podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Mgr. Janu Krotkému Ph.D., za odborné vedení, cenné připomínky a rady při tvorbě této diplomové práce.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	3
ÚVOD	4
1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PLA	5
1.1 VÝROBA PLA	5
2 VLASTNOSTI PLA	7
2.1 CHEMICKÉ VLASTNOSTI PLA	7
2.1.1 Biodegradabilita.....	7
2.2 FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI PLA.....	8
2.2.1 Mechanické vlastnosti	8
2.2.2 Tepelné vlastnosti.....	9
2.3 MODIFIKACE PLA	9
2.4 VYUŽITÍ PLA	10
3 3D TISK.....	11
3.1 HISTORIE	11
3.2 VYUŽITÍ.....	12
3.3 KOMPONENTY TISKÁRNY FDM.....	13
3.4 TECHNOLOGIE 3D TISKU	16
3.4.1 FDM/FFF	17
3.4.2 SLA	18
3.4.3 SLS.....	19
3.4.4 DMLS.....	20
3.4.5 SHS.....	20
3.4.6 BJ.....	21
3.5 TISKOVÉ MATERIÁLY	22
3.5.1 PLA	23
3.5.2 PET- G a ABS	23
3.5.3 FLEX.....	25
3.5.4 Fotopolymery	26
3.6 PROCES 3D TISKU	26
3.6.1 Získání 3D modelu	26
3.6.2 Příprava na tisk	27
3.6.3 Spuštění tisku.....	28
3.6.4 Úprava výrobku	28
4 EXPERIMENT S TISKOVÝMI STRUNAMI PLA A ABS	29
4.1 POPIS EXPERIMENTU	29
4.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ	30
4.3 MĚŘENÍ	32
4.3.1 PLA tisková struna - transparentní modrá.....	33
4.3.2 PLA tisková struna svítící ve tmě	34
4.3.3 PLA tisková struna - černá	35
4.3.4 ABS tisková struna – hnědá	35
4.4 VÝSLEDKY	36
5 VYUŽITÍ 3D TISKU VE VÝUCE	37
5.1 TECHNICKÉ VZDĚLÁVÁNÍ NA ZŠ.....	37
5.2 VÝUKA 3D TISKU	39
5.3 MOŽNOST ZÍSKÁNÍ 3D TISKÁRNY PRO ŠKOLU	40

6	MODELOVÉ HODINY S VYUŽITÍM 3D TISKÁRNY	42
6.1	VÝUKOVÉ CÍLE	42
6.2	METODY VÝUKY A ORGANIZAČNÍ FORMY VÝUKY	43
6.3	HODNOCENÍ ŽÁKŮ.....	43
6.4	METODICKÉ LISTY	43
6.4.1	Teorie 3D tisku.....	44
6.4.2	Základy 3D modelování	45
6.4.3	Testování materiálů PLA a ABS.....	46
6.4.4	Výroba součástky.....	47
6.4.5	Výroba vlastního ochranného krytu	49
6.5	PEDAGOGICKÝ EXPERIMENT	50
	ZÁVĚR.....	52
	RESUMÉ	53
	SEZNAM LITERATURY A INTERNETOVÝCH ZDROJŮ	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	57

SEZNAM ZKRATEK

ABS – Akrylonitrilbutadienstyren

ASA – Akrylonitrilstyrenakrylát

BJ – Binder Jetting

DMLS – Direct Metal Laser Sintering

FFF – Fused Filament Fabrication

FMD – Fused Deposition Modeling

LA – kyselina mléčná

PDLA – Poly-D-Laktid

PDLLA – Poly-D,L-Laktid

PET – polyethyltereftalát

PET-G – polyethyltereftalátglykol

PLA – kyselina polymléčná/polylaktid

PLLA – Poly-L-Laktid

PS – polystyren

RP – Rapid Prototyping

RVP – Rámcový vzdělávací program

SHS – Selective Heat Sintering

SLA – Stereolitografie

SLS – Selective Laser Sintering

UV – (Ultraviolet) Ultrafialové záření

ÚVOD

Polymery získávané z přírodních obnovitelných zdrojů, jako je třeba kukuřice, se stávají čím dál více středem lidské pozornosti. Důsledkem je především obava o kvalitu životního prostředí. Mezi žádané polymery proto patří kyselina polymléčná, jedním slovem také polyaktid označovaný zkratkou PLA, jenž vychází z anglického názvu polylactic acid. PLA je velmi vhodný materiál pro recyklaci, neboť během jejího procesu neztrácí na svých vlastnostech a tím je možné jej dále vracet do výrobního procesu.

PLA je také vysoce vhodným materiálem pro technologii 3D tisku, u kterého dochází v posledních letech k neuvěřitelnému posunu. Technologie 3D tisku je jedna z pokrokových metod, které se používají k vytváření modelů. 3D tisk je považován za vznik třetí průmyslové revoluce. 3D tiskárna už dnes není známá jen pro firmy, ale i pro běžné uživatele. 3D tisk může být jednou z možností, která nás povede k výrobě, bude mnohem více individuální a pro každého zákazníka jedinečná. V samotné výuce je využívání výrobků vytisknutých na těchto tiskárnách pro žáky velice vhodné. I samotné zařazení 3D tiskárny do výuky může sloužit ke zvýšení motivace a rozvoji kreativity.

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit materiál, který bude obsahovat základní vlastnosti kyseliny polymléčné, využití této kyseliny a její použití při 3D tisku. V textu jsou také uvedeny základní informace o 3D tisku. Historie, využití, technologie, využívané materiály a v neposlední řadě proces celého tisku. Od vytvoření či získání modelu až po úpravu finálního výrobku. Část této práce je také věnována experimentu s tiskovými strunami, jestli doba ozáření má vliv na jejich vlastnosti. Poslední dvě kapitoly jsou věnovány využití 3D tisku ve výuce na základní škole. Část páté kapitoly je věnována didaktice technické výchovy, která je právě s tímto tématem úzce spojená. Součástí práce jsou ukázky metodických listů s využitím 3D tisku. Metodické listy obsahují pro jaké žáky je daná hodina určena, jaká je její časová náročnost, využití výukové metody, použité organizační formy výuky, jaké klíčové kompetence žáci rozvíjejí a v neposlední řadě také scénář vyučovací jednotky.

1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PLA

PLA je zkratka pro polyaktid nebo-li kyselinu polymléčnou. PLA je obnovitelný termoplastický polyester, jeden z nejperspektivnějších biologicky rozložitelných polymerů. V roce 1780 Scheele poprvé izoloval z mléka kyselinu mléčnou (LA). Kondenzací LA byla v roce 1845 syntetizována poprvé kyselina polymléčná. Dříve se PLA používala především na biomedicínské aplikace, kde hraje důležitou roli až dodnes. Používala se především jako implantáty. Vzhledem k její vysoké ceně a možnosti vyrobit PLA s nízkou molekulovou hmotností nebyla dříve tak často využívána. Nízká molekulová hmotnost způsobuje nevyhovující mechanické vlastnosti polymeru. Po vyvinutí polymerace PLA s vysokou molekulovou hmotností se začala používat hojněji. Výhod používání PLA je hned několik:

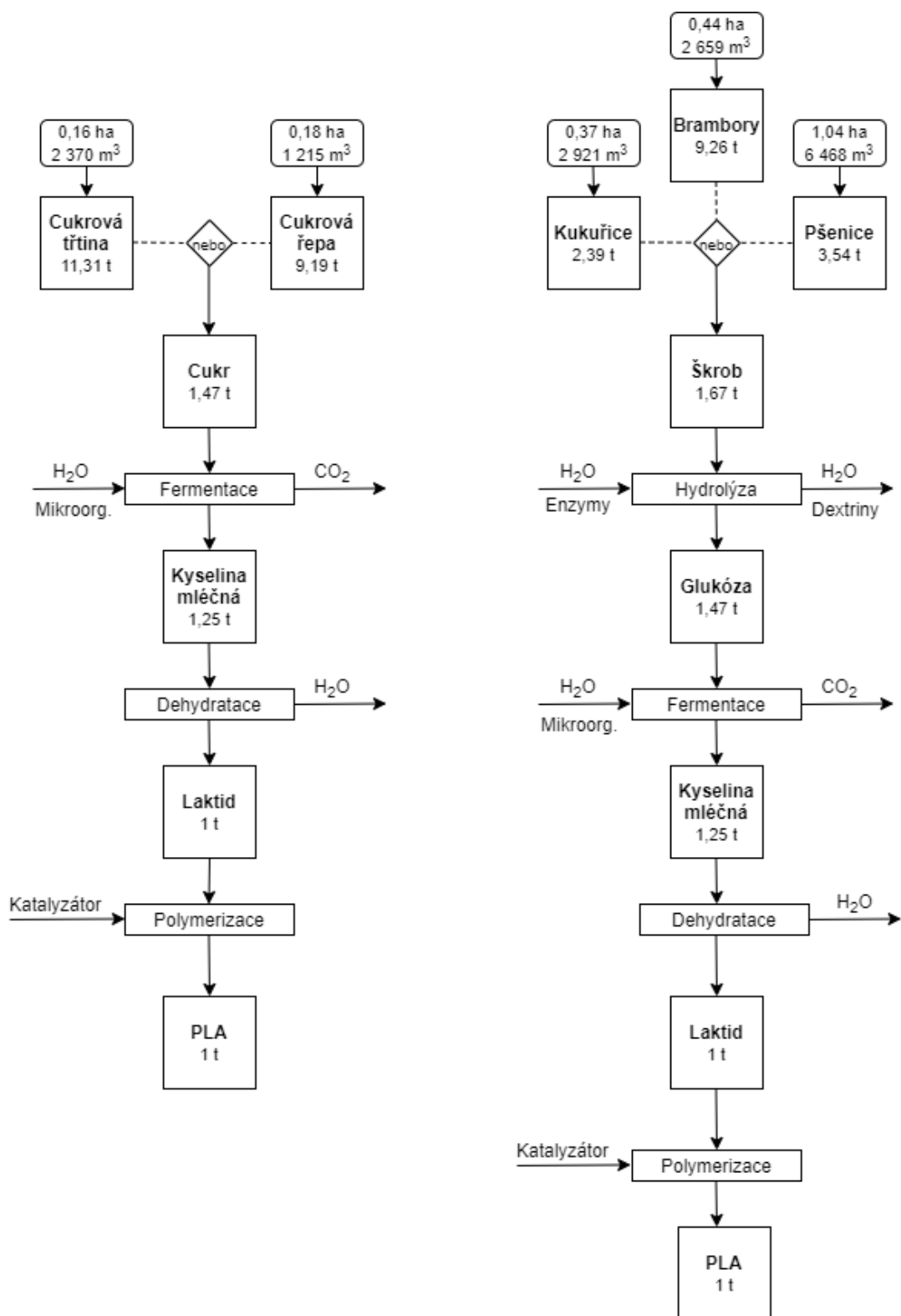
- 1) je biologicky odbouratelná a recyklovatelná,
- 2) biokompatibilita,
- 3) tepelná zpracovatelnost,
- 4) úspora energie při zpracování. [1] [2]

PLA má také i své nevýhody, jednou z hlavních je její nízká houževnatost. PLA je velice křehký materiál. Díky této vlastnosti je omezen rozsah použitelnosti. Křehkost můžeme upravovat několika způsoby jako je např. kopolymerace nebo přidání modifikátoru houževnatosti. Jde o alifatický polyester kyseliny mléčné, který díky svým vlastnostem jak mechanickým, tak povaze nezatěžující životní prostředí patří mezi nejnadějnější polymerní materiály v současné době. [1] [2] [3]

1.1 VÝROBA PLA

PLA lze vyrábět několika způsoby. Jedním ze způsobů je přímá kondenzace kyseliny mléčné. Tato výroba se používá pro výrobu PLA s nízkou molekulovou hmotností. Nízká molekulová hmotnost způsobuje nevyhovující mechanické vlastnosti polymeru. Další metoda tzv. ring opening polymerace je dnes nejpoužívanějším způsobem výroby. Tento způsob výroby je založen na otevírání a řetězení laktidového kruhu kyseliny mléčné. Tímto způsobem výroby vzniká PLA s vysokou molekulovou hmotností. Pro komerční výrobu PLA se využívá právě tato polymerace, jelikož výsledné vlastnosti jsou závislé na optické aktivitě aplikované kyseliny mléčné. [2] [4]

V současné době se tato kyselina vyrábí z biomasy bohaté na cukr a škrob (cukrová třtina, kukuřice či tapioka). Na obrázku 1 je možné vidět kolik tun materiálu a odpovídající potřebné zemědělské plochy je nutné k výrobě jedné tuny PLA. [5]



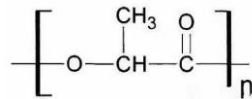
Obrázek 1: Výroba PLA [5]

2 VLASTNOSTI PLA

Kyselina polymléčná je podobná syntetickým polymerům jako je polystyren (PS) nebo polyethyltereftelát (PET). PLA je lineární alifatický polyester, čirý a bezbarvý. Jeho vlastnosti jsou závislé na stereochemii řetězce, teplotě zpracování a molekulové hmotnosti. Tato kapitola je věnována fyzikálním a chemickým vlastnostem, modifikacím PLA a využití této látky. [1]

2.1 CHEMICKÉ VLASTNOSTI PLA

PLA o vysoké molekulové hmotnosti je lesklý, tuhý termoplast. Jelikož kyselina mléčná obsahuje chirální atomy uhlíku, rozlišujeme tři základní formy PLA jako je Poly-D-Laktid (PDLA), Poly-L-Laktid (PLLA) a Poly-D,L-Laktid (meso-Laktid, PDLLA). Výsledné vlastnosti polymeru jsou dány vlivem vzájemného uspořádání v řetězci a jejich poměrem. Potřebujeme-li vlastnosti pro konkrétní aplikaci, můžeme tak formy ovlivňovat vhodnou kopolymerací D,L a meso-Laktidu. Všechny tři izomery nejsou rozpustné ve vodě. Při rozpouštění se používá 1,4-dioxan, chloroform nebo acetonitril. Velice důležitou vlastností je krystalizace. Ta je dána optickou čistotou polymeru. Se zvyšující molekulovou hmotností PLA se zvyšuje jeho pevnost díky zvyšujícím se třecím silám mezi molekulami. [6]



Obrázek 2: Strukturální vzorec PLA [7]

2.1.1 BIODEGRADABILITA

Biodegradabilita neboli rozklad látek působením biologických činitelů, byla dříve považována ze nevýhodu tohoto polymeru. V dnešní době patří právě hydrolytická nestabilita a biologická rozložitelnost k největším přednostem PLA. K biodegradabilitě dochází ve dvou fázích. V té první vlivem hydrolyzy polyesterového řetězce PLA dochází ke snižování molekulové hmotnosti a následnému rozpadu na oligomery s nižší molekulovou hmotností. Tuto fázi může urychlit přítomnost kyseliny či zásady. Mikroorganismy se začínají podílet na degradaci PLA až při poklesu molekulové hmotnosti. Druhá fáze začíná při molekulové hmotnosti pod přibližně $10\,000\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Poločas rozpadu kyseliny polymléčné v životním prostředí je přibližně šest měsíců až dvou let v závislosti na tvaru a velikosti výrobku, molekulové hmotnosti či teplotě vlhkosti. Nejrychleji se PLA rozkládá ve vlhkém, teplém, provzdušněném prostředí se spoustou půdních bakterií a hub.

Takovéto prostředí dnes dokáží zajistit pouze průmyslové kompostárny, kde dochází k rozkladu už zhruba za 45 – 90 dnů. [1] [8]

Bioplast PLA se dá kompostovat proto bychom ho správně měli vyhazovat do hnědých kontejnerů na bioodpad. Jedině tak se dostane do průmyslové kompostárny. V České republice průmyslové kompostárny nechtějí tento odpad zpracovávat. V Česku existuje kompostovací normou, kterou ne všechny bioplasty splňují. Bioplasty potřebují ideální prostředí jímž je určitý poměr dusíku, uhlíku, živin a teploty po určitou dobu. Většina kompostáren v České republice je založena postavena na kompostování na volných plochách. [8]

2.2 FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI PLA

Při porovnání s jinými běžně používanými termoplasty má PLA dobré mechanické vlastnosti. Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti PLA jsou uvedeny v tabulce 1. [6]

2.2.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Kyselina polymlečná má srovnatelné mechanické vlastnosti jako jiné termoplasty. PLA není vhodná pro plnění za vyšších teplot, z důvodu své nízké teploty měknutí. PLA má dobrou pevnost a tuhost. Její používání v některých aplikacích je limitováno nízkou rázovou houževnatostí srovnatelnou s PVC. Hustota PLA je nižší než PET, ale vyšší než PS a většiny konvenčních polymerů, které mají hustotu v rozmezí 0,8 až 1,1 g·cm⁻³. [1] [6]

VLASTNOST	PLA
Hustota (g·cm ⁻³)	1,25
Pevnost v ohybu (MPa)	98
Pevnost v tahu (MPa)	68
Teplota skelného přechodu (°C)	61
Teplota tání (°C)	151
Tepelná degradace (°C)	345
Kontaktní úhel (°)	81
Limitní viskózní číslo (cm ³ ·g ⁻¹)	1,02
Tažnost (%)	4

Tabulka 1: Fyzikální a mechanické vlastnosti PLA [3] [6]

2.2.2 TEPELNÉ VLASTNOSTI

Vlastnosti tepelné jsou stejně tak jako vlastnosti mechanické závislé na molekulové hmotnosti, stupni krystalinity a optické čistotě. Podle typu PLA se liší teplota tání ($T_{p,m}$). Teplota klesá s rostoucím obsahem D izomeru. V tabulce 2 je zobrazena teplota tání v závislosti na poměru L/D izomerů. PDLLA nemá teplotu tání, je zcela amorfni na rozdíl od čistého PLLA ten má teplotu tání v rozmezí kolem 130 až 180 °C. Pro velkou řadu komerčních aplikací je limitující vlastností teplota skleného přechodu. Kyselina polymléčná má teplotu skelného přechodu v rozmezí 50 až 80 °C. Díky obsahu krystalické fáze je žádanější PLLA, díky jejím lepším mechanickým vlastnostem. [2]

Poměr L/D izomerů v PLA	$T_{p,m}$ (°C)
100/0	178
95/5	164
90/10	150
80/15	140
80/20	125

Tabulka 2: Teplota tání v závislosti na poměru L/D izomerů [2]

2.3 MODIFIKACE PLA

Negativními vlastnostmi kyseliny polymléčné jsou pomalá rychlost degradace při běžné teplotě, hydrofobita, nedostatek reaktivních skupin v postranním řetězci a špatná houževnatost. Modifikace se hlavně využívá k utlumení či odstranění výše zmiňovaných negativních vlastností. Tyto negativní vlastnosti omezují využití konkrétního polymeru v různých typech aplikací. Dalším důvodem zlepšování vlastností polymeru PLA je zvýšení konkurenceschopnosti. [3]

Modifikaci lze provádět mnoha způsoby. Kopolymerace, využití nanokompozitů, míchání s aditivou či dalšími polymery ke zlepšení vlastností PLA. Aditiva umožňují větší spektrum využití, díky rozšíření vlastností daného polymeru. Mezi přídatné látky (aditiva) patří například tepelné stabilizátory, změkčovadla, retardéry hoření a antioxidanty. Pro zlepšení houževnatosti se využívá kopolymer ethylenu pod obchodním názvem Biomax ® Strong 100. Většinou se setkáváme pouze s komerčním názvem daného aditiva, čímž mezinárodní korporace chrání své znalosti a postupy výroby. [3] [9]

2.4 VYUŽITÍ PLA

V 60. letech 20. století návrhem použití alifatických polyesterů jako vstřebatelného materiálu v lékařství, konkrétně chirurgii, odstartovalo používání PLA. Později PLA našlo využití v ortopedii nebo přípravě nosičů léčiv. Zpočátku byla cena PLA vysoká a tak využití tohoto polymeru bylo zcela nereálné. Cena poklesla v 80. letech minulého století díky ve způsobu výroby kyseliny mléčné, metodám její izolace a purifikace. [1]

PLA je v dnešní době nejvyužívanější v oblasti obalového průmyslu. Díky svým vlastnostem jako je biodegradabilita, kompostovatelnost či možnost recyklace. Využívá se pro výrobu jogurtových kelímků, lahví na vodu a mléko a potravinových folií. Kyselina polymlečná se používá na výrobu plastové kompostovatelného nádobí, jako jsou například salátové misky, kelímky na kávu či polévku, brčka či příbory. Tento plast je celosvětově uznávaný a certifikovaný pro používání ve styku s potravinářství. [1] [9]

Další významnou oblastí využívání PLA je výroba vláken. Je jednoduše zvláknitelný přímo z taveniny a v oblasti výroby nabízí řadu uživatelských vlastností jako je dobrá zpracovatelnost, prodyšnost či možnost barvení. PLA se používá na výrobu koberců, oděvů či netkaných textiliích. [1]

PLA patří mezi nejvyužívanější materiál 3D tisku (obrázek 3). Je snadný na tisk, díky malé tepelné roztažnosti a prakticky nulové deformaci je vhodný pro velké. Na drobné tisky se hodí vzhledem k nízké teplotě tání. [1] [10]

Mezi největší výrobce a distributory PLA jsou například společnosti NatureWorks, Corbion, Futerro. Firma NatureWorks vyrábí kyselinu polymlečnou pod obchodním názvem Ingeo™ biopolymer. Vyrábí ho z obnovitelných zdrojů, tak aby byl ekologicky šetrný. Získává se polymerizací kyseliny mléčné, vyráběné kvašením rostlinných cukrů. [11] [12]



Obrázek 3: Filament PLA [13]

3 3D TISK

3D tisk se v dnešní době hojně rozšiřuje v různých odvětvích. Tiskárny dnes najdeme nejen ve firemním prostředí, ale i mezi běžnými uživateli nebo ve školství. 3D tisk je automatizovaný proces, při kterém díky digitální předloze (3D modelu) vytváříme model fyzický. Princip 3D tisku můžeme přirovnat k známému předmětu jako je tavná lepicí pistole. Po stisknutí rukojeti přitlačíme lepidlo k topnému článku a následně z trysky nám začnou vystupovat měkká vlákna. Když bychom si představili, že se vlákna začnou stáčet a ve vrstvách kladou na sebe, budou tvořit jakousi dutou trubici. 3D tiskárna ukládá na plochem povrchu jednotlivé vrstvy vlákna roztaveného plastu na sebe. Po zchladnutí a ztvrdnutí těchto vrstev vzniká výsledný předmět. Většina 3D tiskáren pracuje s technologií FMD (viz kapitola 3.3.1), která využívá k tisku velkou cívku stočeného plastu, kterou nazýváme vlákno, tisková struna či filament. [14] [15]

3.1 HISTORIE

První zmínky o 3D tisku se objevily už koncem osmdesátých let dvacátého století, kdy technologie byla nazývána Rapid Prototyping (RP) - rychlá tvorba prototypů. I dnes se s tímto označením můžeme setkat. Právě před příchodem dostupných tiskáren se RP využíval výlučně pro výrobu prototypů. První patentovou přihlášku pro technologii RP podal v květnu 1980 dr. Kodama v Japonsku. Bohužel, nedodal úplnou patentovou specifikaci před koncem termínu a tak se za skutečný počátek 3D tisku datuje až rok 1986, kdy byl vydán první patent pro stereolitografický přístroj (SLA). Patent patřil Charlesi Hullovi, zakladateli pozdější společnosti 3D Systems Corporation, což je jedna z největších organizací účinkující v 3D tisku. Hull poprvé představil svůj přístroj v roce 1983. Tato technologie se používá dodnes. [16]

Začátek devadesátých let se stává svědkem rostoucího počtu konkurenčních společností na trhu RP. Na počátku roku 2000 se nadále zavádělo velké množství nových technologií, které se ve 3D tisku zaměřovaly výhradně na průmyslové aplikace. Přesto ale převažovaly procesy pro prototypové aplikace. [16]

Pravděpodobně nejdůležitějším rokem v novodobé historii 3D tisku se považuje rok 2005. Toho roku byl založen projekt RepRap doktorem Adrianem Bowyerem. Od začátku byl projekt koncipován pod licencí open source, což znamenalo, že veškeré zdrojové kódy jsou veřejně a zdarma přístupné a modifikovatelné. Toto umožnilo spolupráci všech

fanoušků z celého světa. Díky tomu jsou 3D tiskárny nejrozšířenější na celém světě a vděčíme jim za všechny dnešní tiskárny. [16]

V roce 2007 se na trhu objevuje první tiskárna pod 10 000 dolarů, kterou představuje společnost 3D Systems. Vlivem částečně samotného systému se však nikdy nesešla s úspěchem. V lednu 2009 byla nabídnuta poprvé komerčně dostupná tiskárna, která byla ve formě kitu na základě konceptu RepRap. Jednalo se o tiskárnu BfB RapMan 3D. A tak ještě v tomto roce se objevilo na trhu velké množství podobných 3D tiskáren. [16]

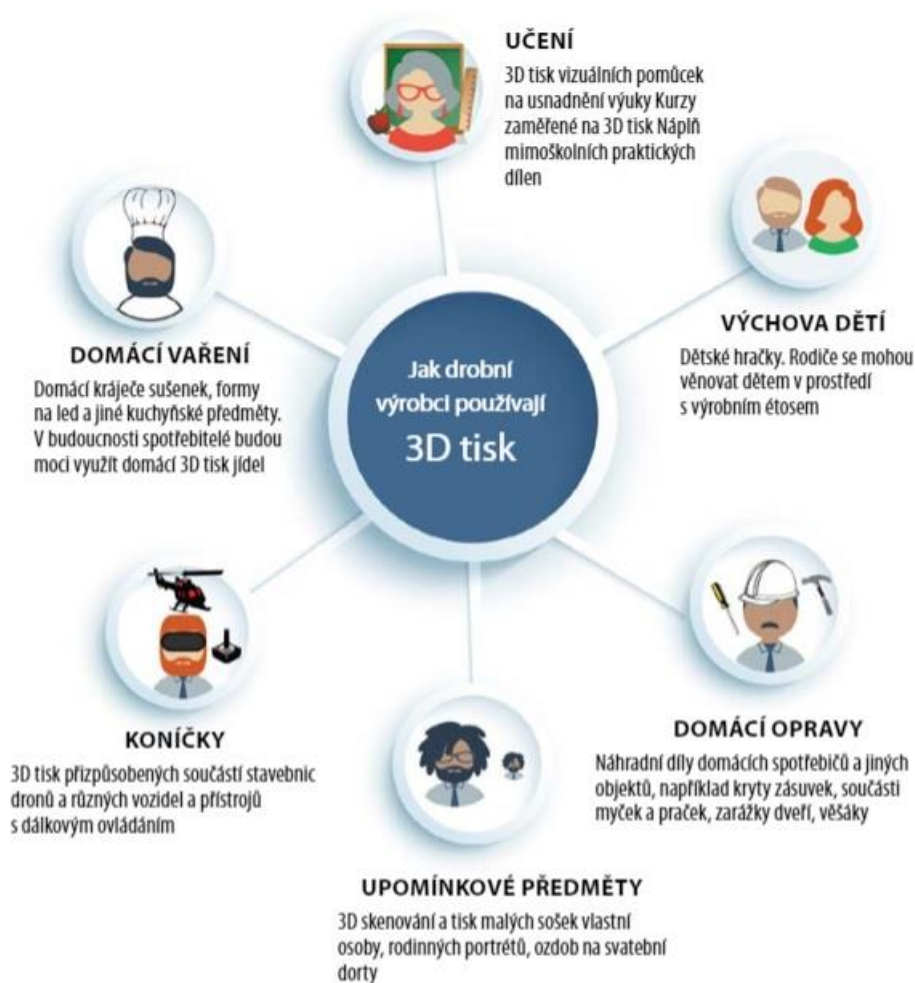
3.2 VYUŽITÍ

Z počátku byl 3D tisk využíván jako nástroj pro výrobu rychlých a levných prototypů. Díky snížení cen a levnějších technologií, přišlo i další využití. Vzorovým příkladem využití je malosériová výroba. 3D tisk se stává častěji levnější variantou při výrobách sérií produktů. Využívání 3D tisku se hojně využívá při tzv. personalizované výrobě, kde každý kus či malá série je přizpůsobena přání zákazníka. Např. přívěšky na klíče se jménem nebo reklamní předměty, kde se modely pro klienty specificky upravují. Tiskárny se také hojně využívají pro výrobu hraček, figurek či deskových her. Na internetu je zdarma nespočet modelů. Při opravách starožitností či veteránů lze využívat 3D tiskárnu jako výrobce nedostupných náhradních dílů. [15]

Jedním z prvních odvětví, kam se 3D tisk dostal je zdravotní průmysl. Díky tiskovým materiálům, které se neustále rozvíjejí a splňují tak zdravotnické požadavky, pozorujeme rozmach i v tomto odvětví. 3D tisk lze využívat ve stomatologii pro vytváření forem na zubní korunky či můstky či v ortopedické chirurgii pro tvarování implantátů. V roce 2011 byla vytisknuta a implantována první lidská čelist vyhotovená z titanu. Jako předloha byl využit snímek z magnetické rezonance. Americká společnost Bespoke Innovations vytváří protézy na míru. [17]

Časem se 3D tisk dostal do světa architektury a stavebnictví, kde slouží jako 3D vizualizace. Zobrazování vizualizací 2D na monitoru není pro vnímání prostoru ideální a tak stále více architektů přechází k 3D. Cílem 3D modelů v odvětví architektury je přemostění komunikační propasti mezi zákazníkem a architektem díky zhmotnění počítačového návrhu. [15]

3D tisk našel místo v automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu, šperkařství, modelářství apod. Uživatelé 3D tiskáren, časem zjistí, že 3D tisk jím dokáže zjednodušit život. [15]



Obrázek 4: Využití 3D tisku [15]

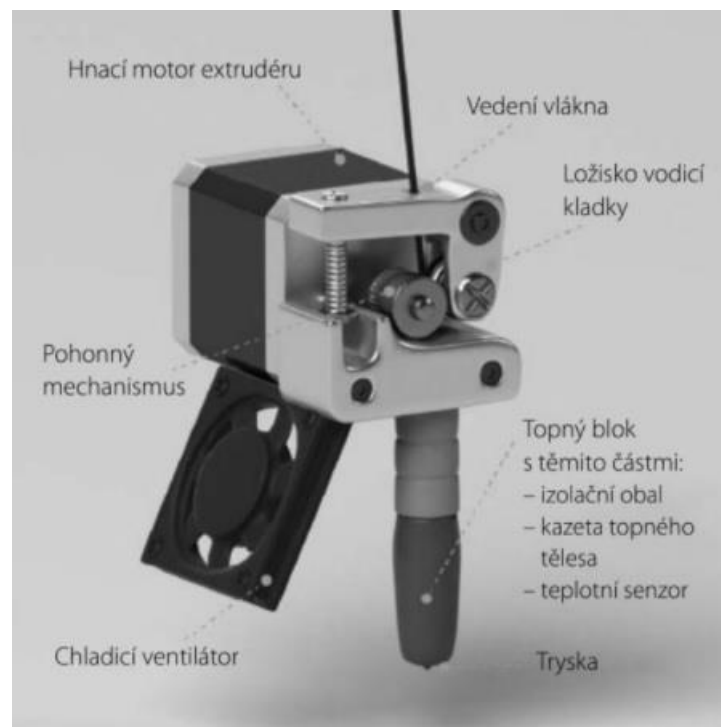
3.3 KOMPONENTY TISKÁRNY FDM

Tiskárna s technologií FDM, viz kapitola 3.4.1, patří k nevyužívanějším a je velice vhodná pro začátečníky v 3D tisku i do školního prostředí. Každá tiskárna FDM se skládá z těchto částí: cívky s vláknem (vlákno), extrudéru nebo soustava extrudéru, tiskové desky, komponentů lineárního pohybu, jednotky řadiče a rámu. Trh nabízí mnoho spotřebitelských tiskáren, které se od sebe liší svými vlastnostmi a funkcemi. [14]

Tisková deska, tisková oblast či nosná deska je místo, kde vzniká 3D model. Většina amatérských tiskáren má velikost desky 20 x 20 cm. Každý výrobce používá ke konstrukci nosné desky odlišné materiály. Nejvyužívanějšími jsou akrylové tabule či sklo. Většina tiskových desek bývá vyhřívána, aby se předešlo při chladnutí předmětu k jeho zakřivení či zkroucení. Topným elementem bývá plošná deska vyplněná měděnými cestami. Některé tiskárny nemají topné těleso, což značně omezuje výběr tiskového materiálu. Tiskový materiál PLA nepotřebuje vyhřívání nosné desky. [14] [18]

Extrudér neboli tisková hlava se označuje soustava, která podává vlákno a posunuje je topným blokem. Taví se zde plastový filament a poté se nanáší v tenkých vrstvách na tisknutý předmět. Tisková hlava je považována za jádro tiskárny. Skládá se ze dvou hlavních částí. Z horkého konce (hot end) a studeného konce (cold end). Studený konec díky motoru zajišťuje pohyb filamentu a horký konec zajišťuje roztavení vlákna a skrze trysku dodává plast na určené místo. Soustava extrudéru je složena z několika dílů:

- pohonný mechanismus,
- hnací motor extrudéru,
- kanál vlákna,
- vodící kladka,
- topný blok,
- tryska,
- chladič ventilátor. [14] [18]



Obrázek 5: Díly extrudéru [14]

Každá z tiskáren se od konstrukce zobrazené na obrázku 6 mírně odlišuje. Někteří výrobci volí mohutnější stavbu tiskové hlavy, aby umožnili uživatelům vyměňovat či vylepšovat jednotlivé díly. Některé tiskárny obsahují naopak uzavřenou soustavu a všechny díly jsou skryté v jediné jednotce. Extrudér je zakončený tryskou, která se také nazývá nozzle.

Jednoduše řečeno je to kus kovu s malým otvorem na konci. Ucpání trysky se řadí mezi nejčastější problémy při 3D tisku. [14] [18]

Cívka, na kterou je namotané vlákno se postupně taví. Vlákno bývá tenké, obvykle vyrobené z termoplastu. Vlákno je velice důležité, jelikož je to surovina, z níž 3D tiskárna vytváří náš objekt. Spotřebitelské tiskárny využívají vlákna o průměru 1,75 mm nebo 2,85 mm. Je důležité před koupí materiálu prověřit jaký průměr je kompatibilní s používanou tiskárnou. [14] [18]

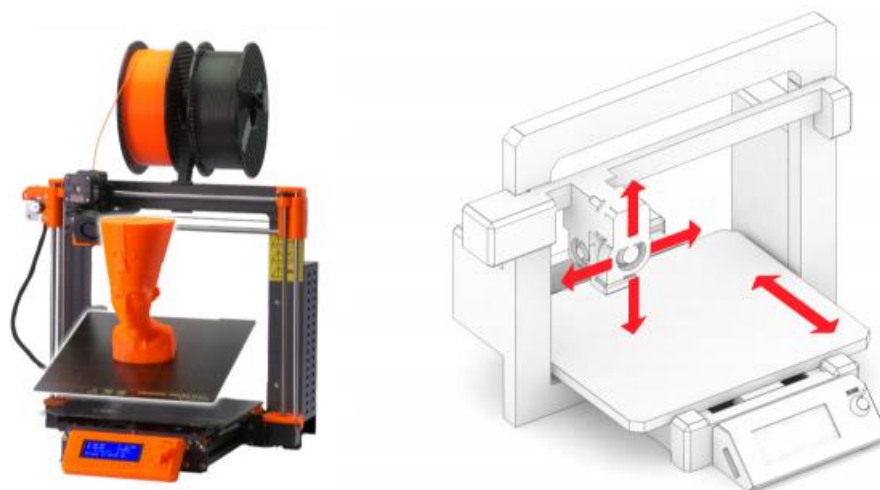
Díky krokovým motorům se pásy a extrudér posunují ve směru nahoru a dolů, doleva a doprava, dopředu a dozadu. Od běžných stejnosměrných motorů se odlišují svým pohybem. Otáčejí se po krocích. [14] [18]

Rám neboli šasi, to je část tiskárny, které si všimneme nejdříve. Tato část určuje celkový tvar tiskárny. Když kryt vypadá atraktivně, obvykle zákazníci usuzují, že se jedná o kvalitní výrobek. Ne vždy to tak musí být. Některé tiskárny obsahují součásti vytvořené pomocí 3D tisku. Uspadňuje to pozdější vylepšování tiskárny, když se objeví aktualizovaný návrh, můžeme si náhradní součásti vytisknout sami. Od rámu je požadována dlouhodobá strukturální stabilita. I několik tiskáren, které si spotřebitel musí po zakoupení složit sám, se vyznačují mimořádně pevnou strukturou. [14]

Každá 3D tiskárna potřebuje ke svému provozu pohyblivé součásti. Rozlišujeme dva obecné typy pohyblivých systémů 3D tisku. Označují se kartézské a delta tiskárny. Tiskárny využívající kartézský systém se ve spotřebitelské kategorii objevily jako první. Kartézská tiskárna pracuje se třemi osami X, Y, Z.

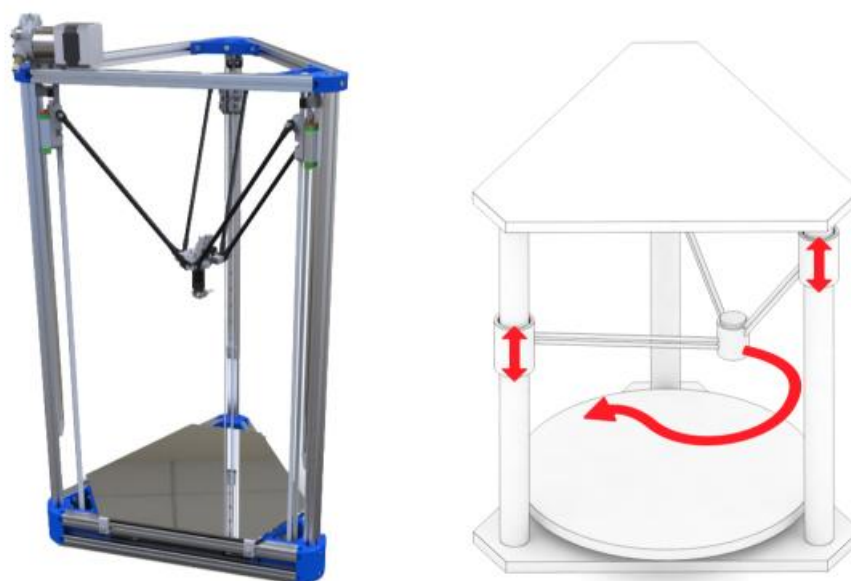
- Osa X směřuje doleva a doprava.
- Osa Y umožňuje pohyb dopředu a dozadu.
- V ose Z probíhá pohyb nahoru a dolů.

U některých tiskáren se toto označení může lišit. Některé z tiskáren pohybují tryskami v pravolevém směru, ale přitom je označují jako osu Y. Ale všechny kartézské tiskárny pracují se souřadnicovým systémem X, Y, Z. V rovině XY se vytvoří jedna vrstva a následně je soustava extrudéru posunuta o určitý počet mikronů ve směru Z, kde opět v rovině XY začíná proces tisku další vrstvy. [14] [18]



Obrázek 6: Kartézská tiskárna [14]

Tiskárny delta přistupují k 3D tisku odlišným způsobem od kartézské tiskárny. Tento typ tiskáren využívá mechanismy označované slovy pick and place („zvednout a umístit“). Tyto mechanismy se tradičně uplatňují na montážních linkách. Delta tiskárny využívají zavěšeného extruderu na třech ramenech, která jsou spolu spojena v místě extruderu. Tyto tiskárny vyžadují vysokou přesnost při stavbě a následné kalibraci. [14] [15]



Obrázek 7: Delta tiskárna [14]

3.4 TECHNOLOGIE 3D TISKU

Postupné nanášení vrstev na sebe. Na tomto principu jsou založeny všechny technologie 3D tisku. Je velice vhodné zvážit, co na tiskárně budeme tisknout, k jakým účelům jí potřebujeme a co od ní požadujeme. V současné době totiž neexistuje žádná

technologie, která by byla vhodná pro všechna použití. Technologie můžeme rozdělit do tří skupin podle toho, jakou podobu má tiskový materiál a jakým stylem je zpracován. [19]

1. Materiál v podobě tiskové struny je vytlačovaný tiskovou hlavou přes rozehrátou trysku.

Patří sem technologie: FDM/FFF.

2. Tekutý materiál je vytvrzován v rámci vrstvy na definovaných oblastech.

Patří sem technologie: SLA

3. Materiál ve formě jemného prášku je spékán (sinterován) laserem.

Patří sem technologie: SLS [19]

3.4.1 FDM/FFF

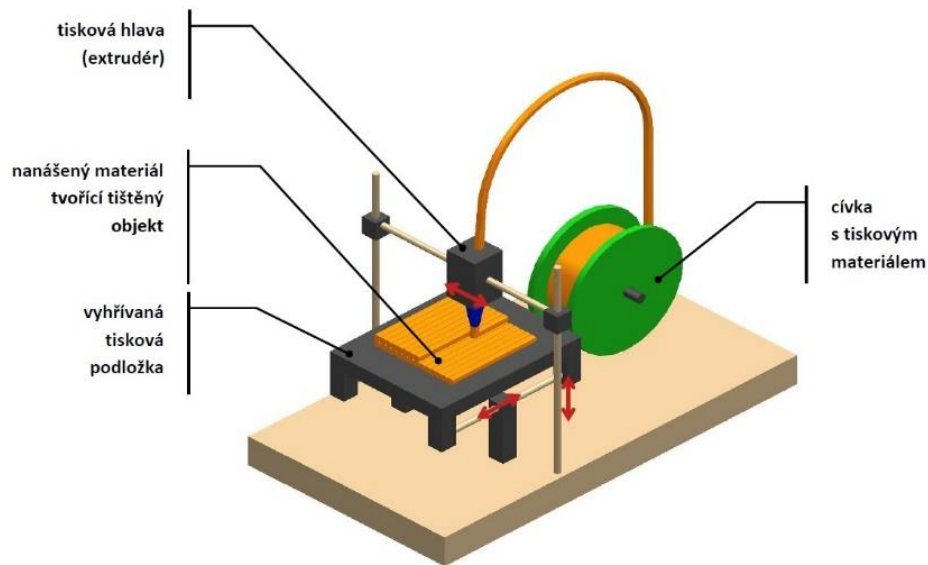
Fused deposition modeling (FDM), fused filament fabrication (FFF), oba tyto názvy můžeme považovat za synonyma. Jedná se o nejrozšířenější a nejdostupnější technologii 3D tisku. Konstrukčním materiálem bývá primárně roztavený plast, například PLA, ABS, PC, PET, XT a další. Tiskový materiál se nazývá filament – tisková struna. Ta se postupně vrstvu po vrstvě nanáší na sebe. Filamenty nejčastěji bývají o průměru 1,75 mm. Pro tisk složitějších součástí se musí použít podpurný materiál. [15] [19]

Výhody:

- minimální odpad,
- vyrobený model dosahuje dobré pevnosti. [19]

Nevýhody:

- hrubá struktura,
- odstraňování podpurného materiálu. [19]



Obrázek 8: Technologie FDM/FFF [19]

3.4.2 SLA

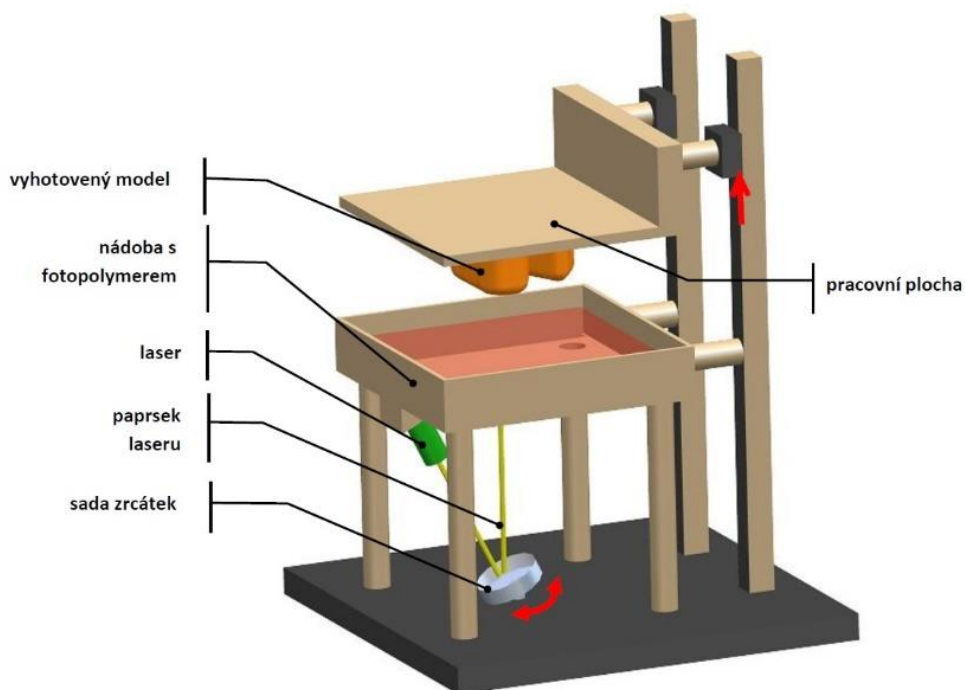
Tato technologie patří k nejstarším technologiím 3D tisku. Tiskárny s touto technologií jsou založeny na dvou různých principech. Jedním z principů je, že pracovní plocha je na začátku úplně ponořena do nádoby s tekutým fotopolymerem. Vrstva po vrstvě se postupně vytvrzuje laserem, který vytváří UV záření. Laser působí na pracovní plochu zespodu, přes nádobu s fotopolymerem. Pracovní plocha se pohybuje směrem nahoru, vytahuje tak vyhotovený výrobek ven z nádoby. V druhém případě je pracovní plocha, na kterou se výrobek vyhotovuje postupně ponořována do tekutého fotopolymeru. Laserový paprsek v tomto případě působí shora, to znamená, že se pracovní plocha na začátku tisku ponoří do hloubky o velikosti jedné vrstvy. Laserový paprsek vytvrdí fotopolymer v místech, kde má vzniknout výrobek a poté se opět pracovní plocha spolu s výrobkem ponoří opět o velikosti jedné vrstvy zpět do tekutého fotopolymeru. Tento proces se opakuje až do vyhotovení úplného výrobku. Materiálem bývají fotopolymery, nejčastěji používaná je fotopolymerická pryskyřice. Tiskárny s technologií SLA se využívají hlavně v medicíně a šperkařství. [15] [19]

Výhody:

- výborná přesnost v řádu mikronů,
- tisk je hladký, detailní a nejsou na něm tak patrné vrstvy materiálu. [19]

Nevýhody:

- model se po vyhotovení musí dále dotvrdit, aby se zlepšily jeho mechanické vlastnosti,
- menší tisková plocha oproti FDM/FFF,
- výběr materiálu je omezen pouze na fotopolymery. [15] [19]



Obrázek 9: Technologie SLA [19]

3.4.3 SLS

Selective laser sintering (SLS) je technologie, která využívá práškový materiál, který je zapékán pomocí tepelné energie vyvinuté laserovým paprskem. Na pracovní plochu se nanáší vrstva práškového materiálu. Jemný prášek se taví a vzniká jedna z mnoha vrstev, hotová vrstva se pokrývá další vrstvou prášku a postup se opakuje. Materiálem pro tisk výrobků touto technologií bývá keramika nebo plasty (nylon, ABS, PET atd.). [19]

Výhody:

- nízká pořizovací cena materiálu,
- přebytečný prášek lze využít při výrobě dalších výrobků. [19]

Nevýhody:

- vysoká cena tiskárny (tiskárny se pohybují okolo 5 milionů Kč),

- nedokonalý povrch. [19]

3.4.4 DMLS

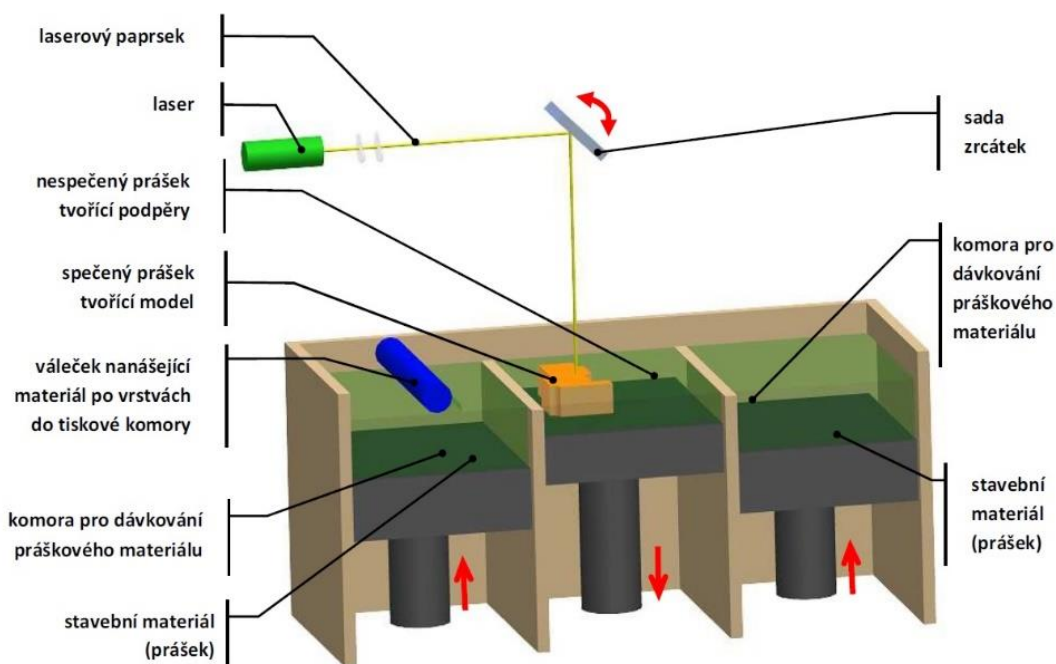
Princip této technologie je založen na stejném principu jako SLS technologie. Jedním z rozdílů je výkon laseru. Aby byl laser schopen přetavit kovový prášek, je potřeba vyvinout větší teplotu než u SLS (kde se taví pouze plastové materiály nebo keramika). Materiálem je v tomto případě kov, například nerezová ocel, titan či bronz. [19]

Výhody:

- výroba složitých tvarů bez použití podpory,
- kvalitní povrch s vysokým rozlišením. [19]

Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena tiskárny (ceny tiskáren se pohybují okolo 10 milionů Kč). [19]



Obrázek 10: Technologie SLS + DMLS [19]

3.4.5 SHS

Selective heat sintering (SHS) je technologie, kterou vlastní firma BLUE PRINTER. Technologie byla patentována v roce 2002. Prášek se nanáší v tenké vrstvě na pracovní

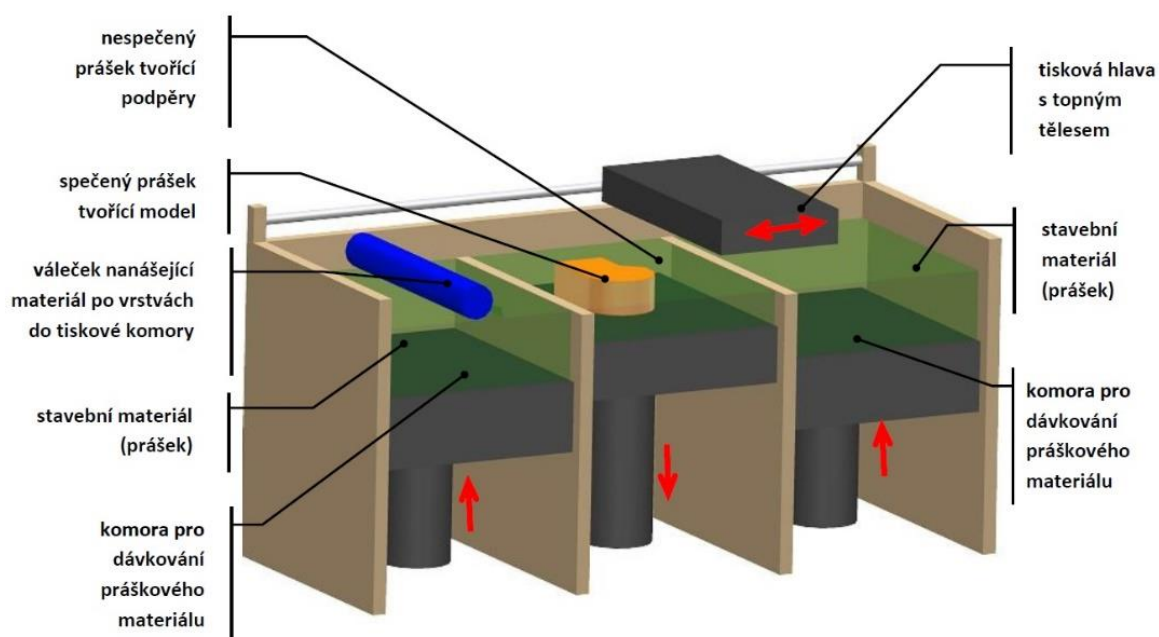
plochu. Místo laseru se v této technologii využívá topné těleso. Tisková hlava s topným tělesem vytvrzuje prášek na místě, kde bude vytvořen výrobek. Když je vrstva výrobku vytvrzena, pracovní stůl s výrobkem se posune o velikost vrstvy níž a proces se tak znovu opakuje. Materiály při této technologii bývají PLA, ABS, PET atd. [19]

Výhody:

- není potřeba využití podpurných materiálů,
- nízká pořizovací cena,
- prášek je 100% recyklovatelný, může se tak dále používat při dalších výroбах,
- výroba tvarově složitějších součástí. [19]

Nevýhody:

- očištění přebytečného materiálu stlačeným vzduchem. [19]



Obrázek 11: Technologie SHS [19]

3.4.6 BJ

Binder jetting je technologie, při které dochází k vytvrzování materiálu chemicky a to za pomoci pojiva. Tato technologie byla patentována roku 1993. Technologii vlastní společnost 3D Systems. Pojivo je na tenké vrstvy vstříkováno z tiskové hlavy. Výrobek je

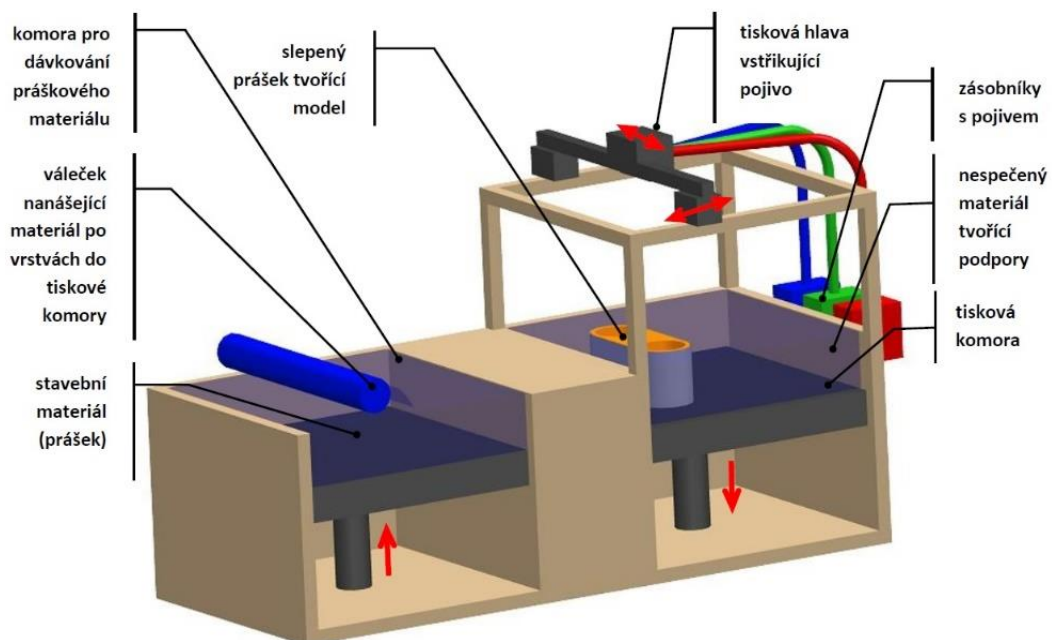
vytváření slepováním jednotlivých částic prášku. Materiály využívané při této technologii jsou například keramika, hliník nebo ocel. [19]

Výhody:

- rychlost tisku,
- široký výběr materiálů. [19]

Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena tiskárny (cena se pohybuje okolo 6 milionů Kč),
- dodatečné úpravy povrchu, za účelem vylepšení mechanických vlastností. [19]



Obrázek 12: Technologie BJ [19]

3.5 TISKOVÉ MATERIÁLY

Stoupající dostupnost a obliba 3D tisku umožňuje výběr z mnoha filamentů neboli tiskových strun. Velice populárním a nejběžněji používaným filamentem je PLA. Za univerzální filament se považuje PETG a jako materiál vhodný pro tisk mechanických částí se využívá ABS, který je velmi pevný a teplotně odolný. Každá tisková struna vyžaduje specifické tiskové nastavení. Pro dosažení nejlepších kvalit tisku je vhodné se nejprve řídit teplotami doporučenými výrobcí filamentu. [15]

3.5.1 PLA

PLA se řadí mezi nejpoužívanější filamenty mezi tiskaři. Z PLA se velice dobře tiskne, výtisk je hladký, a to i v místech, kde se nacházejí velké převisy a na místech podepřených podpěrami. Tato tiskařská struna se nabízí v nejširším barevném spektru. Velikou výhodou je malá teplotní roztažnost, proto se při tisku nekroucí a nemá tak tendence se odlepovat od podložky či praskat. Tento filament je vodný i pro velké tisky. PLA se řadí mezi cenově nejlevnější materiály. PLA má však i své nevýhody, tou hlavní z nich je křehkost. To způsobuje, že se při mechanickém namáhání neohne, ale praskne. Patří mezi teplotně méně odolné filamenty. U PLA jsme schopni získat dva výsledné povrchy. Pokud je teplota nižší než 225 °C, výsledný povrch je lesklý, ale pokud je teplota vyšší než 225 - 230 °C bude povrch výrobku matný. Jako alternativa PLA se používá PET-G či ABS. [15] [20]

K dosažení co nejlepší přilnavosti nového povrchu, je potřeba udržovat v čistotě. Nejlepším možným čisticím prostředkem je izopropylalkohol, který kápeme v malém množství na čistý papírový ubrousek a přetřeme s ním tiskový povrch. Studený tiskový plát zaručuje nejlepší výsledky. Pro skladování PLA se doporučuje zajistit suché prostředí. Při nevhodném skladování ve vlhkém prostředí pohlcuje vlhkost, což při tisku může způsobovat bublinky na povrchu. [21]



Obrázek 13: Filament PLA [22]

3.5.2 PET- G A ABS

Oba tyto materiály jsou ve srovnání s PLA pružnější a při mechanickém namáhání se dají ohnout bez prasknutí. ABS patří mezi materiály, které mají tendenci se kroucit a odlepovat od podložky, což způsobuje neúspěšný tisk. Čím bývá výrobek větší, tím je tisk náročnější. Při tisku ABS vzniká výrazně větší zápach oproti PET-G a PLA. [15]

ABS byl prvním dostupným tiskovým materiálem. V pozdějších letech se jeho nástupcem stal materiál ASA, který je oproti ABS UV stabilní a má menší teplotní roztažnost, a proto se lépe tiskne. Největší prioritou ASA a ABS je možnost vyhlazení

acetonem a možné následné lepení jednotlivých částí acetonem. Při tisku vydává zápach podobný hořícímu polystyrenu. [14] [15]

PET neboli polyethylentereftalát je nejvíce používaným plastem na světě. Upravenou verzí PET je PET-G, kde „G“ znamená modifikovaný glykol, který se přidává k materiálové kompozici během polymeraci. Vlákno je jasnější, méně křehké a na rozdíl od jeho základní formy se snadněji používá. [20]

Srovnání filamentů PLA vs PET-G. Oba tyto materiály jsou nezávadné pro potraviny, jejich výrobci certifikují své tiskové struny pro styk s potravinami. PET-G je více náchylné k poškrábání než PLA. PLA je obecně levnější a nabízí více variací než filament PET-G. Oba materiály vykazují během chlazení menší zmrázení. PLA je snadnější na nastavení tisku a není tolik náchylné na tiskové chyby. [20]

Srovnání tiskových strun ABS vs PET-G. ABS je pružnější, je rozpustné v acetonu, což PET-G vlákno není. ABS je materiál, který není vhodný pro styk s potravinami. Oba tyto materiály potřebují vyhřívanou podložku pro tisk a vykazují během chlazení smršťování. Materiály ABS a PET-G jsou vysoce odolné a nabízejí dobrou pevnost a odolnost proti nárazu. [20]

	PLA	ABS	PET-G
Teplota trysky	180 – 230 °C	210 – 250 °C	220 – 260 °C
Teplota podložky	20 – 60 °C	80 – 110 °C	60 – 90 °C
Tisková podložka	Nepovinná	Povinná	Doporučuje se
Komora při tisku	Nepovinná	Doporučuje se	Nepovinná
Přilnutí první vrstvy	Dobré	Drobné problémy	Drobné problémy
Výpary	Skoro žádné	Silné	silné
Absorbce vlhkosti	Ano	ano	Ano
Youngův modul (GPa)	3,5	2,4	2,2
Modul pružnosti (GPa)	4	2,2	1,9

Pevnost v ohybu (MPa)	80	65	64
Poměr pevnosti k hmotnosti (kN*m/kg)	40	31 – 80	42
Pevnost v tahu (MPa)	110	37 – 110	53
Odolnost proti nárazu (J/m)	-	70 – 370	77
Tvrdość Rockwell R	-	94	108
Teplota skelného přechodu	60	105	81
Deformace při teplotě	65	100	70
Teplota tání	160	-	140
Tepelná kapacita	1800	1470	1200
Tepelná vodivost	0,13	0,17	0,29
Tepelná difuzivita	0,058	0,12	0,19

Tabulka 3: Vlastnosti PLA, ABS, PET-G [20]

3.5.3 FLEX

Materiály, které jsou částečně ohebné a chovají se podobně jako guma, nazýváme souhrnným názvem FLEX. Při ohybu nepraskají, ale ohýbají se. Tyto materiály se vyrábí v několika stupních tvrdosti. Čím je tisková struna měkčí, tím bývá tisk náročnější. Při vychladnutí se tyto materiály nesmršťují, takže se dají tisknout modely přesně na míru. [15] [22]



Obrázek 14: Filament FLEX [22]

3.5.4 FOTOPOLYMERY

Fotopolymer nebo světlocitlivá pryskyřice neboli resin je tiskový materiál pro SLA tiskárny. Tisk z fotopolymerů je dražší než tisk z filamentů. Ceny resinů se hodně liší, nejlevnější resin lze pořídit přibližně za 700 Kč/litr. Cena se může lišit i mezi výrobci. Resin je tekutý a vytvrzuje se světelným paprskem. SLA výtisky z resinu jsou křehčí než výrobky tištěné na technologii FFF. [15]

Resin se skládá ze tří složek, jimiž je jádro pryskyřice (monomery a oligomery), fotoiniciátory (molekuly, které reagují při dopadu UV záření, čímž iniciují reakci vytvrzování) a přísady (pigmenty, barviva). [15]

3.6 PROCES 3D TISKU

Samotný proces 3D tisku je tvořen ze tří hlavních kroků, které na sebe navazují. Nejdříve je potřeba vytvořit model, který chceme vytisknout a poté je vhodné ho pro samotný tisk připravit. Až posledním krokem bývá tisk. [15]

3.6.1 ZÍSKÁNÍ 3D MODELU

Před samotným tiskem je důležité získat samotný model. Velké množství modelů ke stažení najdeme na webových portálech s 3D tiskem. Portály, jako je například PrusaPrinters, Thingiverse nebo YouMagine, nabízejí své modely zdarma ke stažení. Na portálech Pinshape, MyMiniFactory a Cults nabízejí jak modely zdarma, tak i modely placené. Každý uživatel si však může navrhnout model i sám. Nabídka nástrojů pro 3D modelování je velice široká a stále vznikají nové nástroje. Kromě nástrojů, které si uživatel nainstaluje jako program do svého počítače, se stále častěji objevují nástroje v podobě volně využitelných webových aplikací. [15] [23]

Mezi jednodušší webové aplikace patří například Tinkercad. Tato webová aplikace je velice vhodná pro začátečníky v 3D modelování. Jeho ovládání je velice intuitivní. K dispozici je celá řada videí a návodů jak s tímto nástrojem pracovat. Po registraci je

zdarma. V této webové aplikaci jsou základními stavebními bloky trojrozměrné tvary, které můžeme snadno přetahovat z knihovny na pracovní plochu. U tvarů můžeme měnit jejich rozměry, otáčet je a aplikovat operace průniku či rozdílu. Tinkercad je produkt od společnosti Autodesk. Tato webová aplikace je velice vhodná pro školní prostředí. Nabízí některé nástroje pro učitele, které umožňují kontrolu nad účty žáků. [15] [23]

Další velice funkční a jednoduchý program je SketchUp. Pro práci v tomto programu stačí pochopit základy a zbytek je schopen uživatel dostavit intuitivně. Program je nabízen ve dvou verzích. Jedna z nich je SketchUp Make, která je zdarma. Na tuto verzi navazuje SketchUp Pro, kterou lze pořídit za poplatek. Pro potřebu školství je tento poplatek zlevněn. Verze, která je dostupná zdarma, je pro potřeby žáků základního vzdělávání zcela dostačující. [23]

Pro vytváření komplexnějších modelů či sestavování více tvarů a dílů do sebe, je velice vhodným nástrojem pro modelování Autodesk Fusion 360. V tomto nástroji nalezneme prostředí pro parametrické modelování i pro volnoplošné modelování. [15]

Velice známým modelovacím nástrojem je také program Blender, který je zdarma. Pro začátečníky v 3D modelování je velice složitý až chaotický. Uživatelé, kteří používají tento program, jsou zejména umělecky založení lidé. [15]

Při výuce 3D tisku na základní škole je vhodné vybírat programy, které budou pro žáky názorné a intuitivní. Vzhledem k možnostem školy je vhodné, aby nástroj pro získávání 3D modelů byl ideálně zdarma. Nejlepšími programy tedy jsou Tinkercad a SketchUp. S ohledem na časovou možnost výuky a vstupní úroveň žáků je lepší volbou Tinkercad. Výhodou jsou nulové vstupní požadavky na uživatele. [23]

3.6.2 PŘÍPRAVA NA TISK

Po vytvoření či stažení 3D modelu je důležité ho exportovat do formátu STL. Tento typ souboru definuje prostorové body a propojuje tyto body do série trojúhelníků, které se nazývají anglickým slovem mesh („sít“ či „síťový objekt“). Soubor označujeme jako shell model („plášťový model“). Digitální soubory pak pošleme do nástroje zvaného slicer. Tento tzv. nářezový program, digitální soubor nakrájí na mnoho tenkých plátků, z nichž 3D tiskárna zjistí, kam při tisku objektu umístit každou vrstvu. Vhodné je pracovat s programem, který doporučuje výrobce tiskárny, kterou využíváme. V nářezovém programu také zjistíme, zda náš model, který chceme tisknout, nevyžaduje dočasné podpory. Tyto podpory by měly držet převislé části objektu. Nářezové programy vytváří podpory

automaticky. Slicer vytvoří digitální soubor s kódem, který je pro tiskárnu srozumitelný. Tento kód řídí činnost samotné tiskárny. Obvykle se jedná o G-code. [14]

3.6.3 SPUŠTĚNÍ TISKU

Pro zahájení tisku je nutno vygenerovaný G-code poslat do tiskárny. Je velice důležité, aby během tisku nedošlo k přerušení. Pro tisk by to znamenalo, že je nenávratně zničen. Nejlepším řešením je tisk z SD karty nebo jakéhokoli obdobného média, ze kterého tiskárna sama bude číst G-code. Další z možností je také připojit tiskárnu přímo k počítači, tak jako jakoukoli běžnou tiskárnu. Tiskárna díky počítači se specializovaným programem během celého tisku dostává postupně instrukce. Tato možnost má samozřejmě i svoji nevýhodu. Počítač se během tisku může zaseknout, restartovat nebo uspat. Tím může dojít k přerušení komunikace a nastává tak zničení tisku. Ještě před stisknutím tlačítka tisk je důležité zkontrolovat, jestli je tiskárna připravena. Tisková deska musí být rovnoběžná s pohybem trysky. Některé tiskárny jsou už vybaveny automatickou kalibrací. Následně už můžeme zahájit samotný tisk a sledovat, jak se výrobek zhmotňuje. Během tisku zkontrolujeme, jestli se první vrstva vytiskla rovnoměrně. Výrobci uvádějí, že během tisku by se neměla žádná tiskárna nechávat bez dozoru. [14]

3.6.4 ÚPRAVA VÝROBKU

Jakmile máme tisk dokončen, můžeme předmět ručně či pomocí malého páčidla sejmut z tiskové podložky. Jestliže výrobek obsahoval podpory nyní je čas na jejich odstranění pomocí kleští. Vytisknutý výrobek je možné ihned po vytisknutí použít jako funkční díl. Pokud ale máme nároky na lepší vzhled výtisku je možné výrobek upravit. Hladký, barevný a hezky vypadající povrch modelu lze získat celou řadou technik, která se na nazývá postprocessing. Modely můžeme ručně brousit, kytovat karosářským tmelem, stříkat plničem, malovat akrylovými barvami nebo barvami ve spreji či laminovat. [23]

4 EXPERIMENT S TISKOVÝMI STRUNAMI PLA A ABS

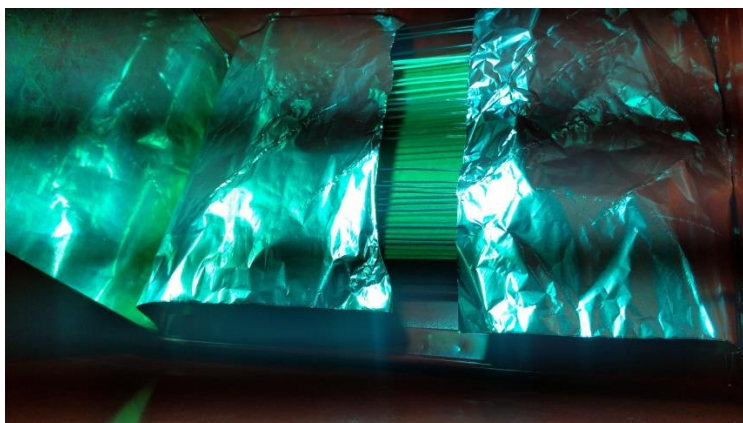
Tato kapitola bude věnovaná experimentu s nejpoužívanějšími tiskovými strunami. Pro experiment byly použity 4 různé filamenty. Černé PLA, PLA průhledné, PLA svítící a ABS. Cílem experimentu bylo zjistit, zda má doba vystavení materiálu v UV záření vliv na jeho vlastnosti.

4.1 POPIS EXPERIMENTU

Vzorky vláken byly ozářeny UV zářením. Sady vzorků byly ozařovány dvě hodiny, tři hodiny, čtyři hodiny, pět hodin, šest hodin. Následně u vzorků byla provedena zkouška tahem pomocí nástroje WP 300 od společnosti Gunt Hamburg. Pro vytvoření UV záření bylo využito zařízení pro umělé stárnutí materiálů s vysokotlakou výbojkou 400 Watt s patičí R7Sx, která se využívá pro vytvrzování polymerů, materiálové testy, sušení či luminiscenční aplikace.

UV záření je elektromagnetické vlnění s vlnovými délkami kratšími než viditelné světlo. Spektrální oblast vlnových délek je od 100 do 400 nm. Podle biologických účinků můžeme UV záření rozdělit do tří skupin. Dlouhovlnné UVA záření 315 – 400 nm, středněvlnné záření UVB 280 – 315 nm a záření krátkovlnné UVC 280 – 100 nm. Využitá zářivka má emisní spektrum ve všech třech oblastech. Paprsky ultrafialového záření poruší vazby mezi atomy a v řetězci makromolekuly. Makromolekula se rozpadá na menší celky, které reagují se vzdušným kyslíkem. Materiály po vystavení UV záření křehnou, jsou méně pružné a při dalším mechanickém namáhání vznikají na jeho povrchu trhlinky. UV záření je považováno za neúčinnější faktor přirozeného stárnutí polymerů. Nejjednodušší reakcí je štěpení polymerních řetězců. [24]

Abychom mohli pozorovat fotodegradaci, není potřeba, aby byly polymery vystaveny slunečnému svitu. Degradace probíhá i ve stínu jelikož více než 50 % UV záření přichází z atmosféry. Intenzita a rychlost je závislá na množství absorbovaného záření. Znatelné změny fyzikálních vlastností nastávají až v době, kdy dojde k poklesu molekulové hmotnosti pod kritickou mez. Fotodegradace může být způsobena i umělými zdroji jako je fluorescenční lampa či obloukové světlo. [25]



Obrázek 15: Tiskové struny v průběhu ozařování

Zařízení WP 300 se využívá pro důkladné pochopení vlastností materiálů. Tyto znalosti pomáhají vybrat vhodný materiál, sledovat výrobu a zpracování a zajistit požadavky na komponenty. Na tomto zařízení je možné provádět tahové zkoušky, tlakové zkoušky a Brinellovy zkoušky tvrdosti. Pomocí dalšího příslušenství je možné provádět ohybové, smykové a baňkové zkoušky. Vzorky pro tahové zkoušky, jež byly využity v tomto experimentu, jsou upnuty mezi horní a spodní příčnick. Síla se generuje pomocí ručně ovládaného hydraulického systému a zobrazuje se na velkém měřidle síly s indikátorem odporu. Pomocí systému WP 300.20 pro sběr dat jsou veškeré naměřené hodnoty síly a prodloužení přeneseny do počítače. [26]

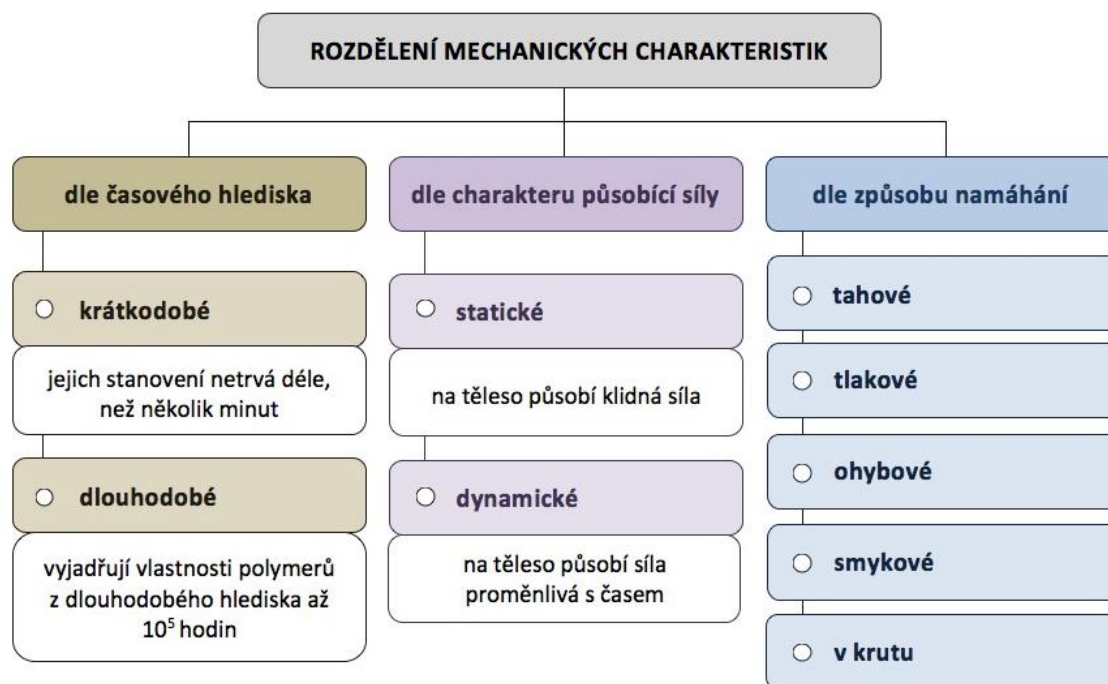


Obrázek 16: WP 300 GUNT HAMBURG [26]

4.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ

Mezi mechanické vlastnosti materiálů řadíme pevnost, pružnost, plasticitu a houževnatost. Důležité informace o využití materiálů poskytují mechanické

charakteristiky, kterých je mnohem více jak je patné z obrázku 15. Tyto charakteristiky jsou veličiny, které do jisté míry závisí na přípravě i tvaru zkušebních těles, podmínkách zkoušky apod. Mechanické charakteristiky můžeme rozdělit dle časového hlediska na krátkodobé a dlouhodobé, podle charakteru působící síly na statické a dynamické, dle způsobu namáhání na tahové, tlakové, ohybové, smykové nebo také ty, které jsou zjišťovány při namáhání v krutu. [27]



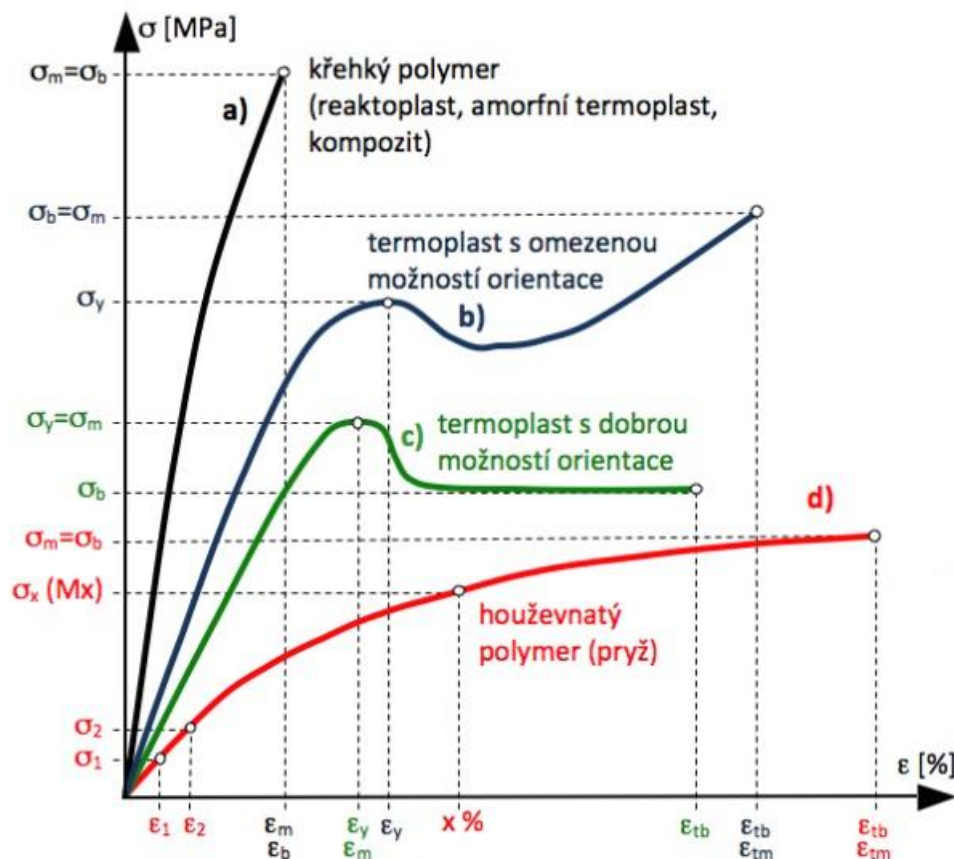
Obrázek 17: Schéma rozdělení mechanických charakteristik [27]

V důsledku působení vnější síly mění tělesa svůj tvar, dochází tak k jejich deformaci. Jestliže se těleso vrátí do původního tvaru, hovoříme o elastické (pružné) deformaci. V případě, že se těleso po odstranění působící síly do původního stavu nevrátí, jedná se o plastickou (trvalou) deformaci. [27]

Hodnoty mechanických charakteristik zjišťovaných při krátkodobém zatěžování nabývají jiných hodnot než v případě dlouhodobého zatěžování. Krátkodobé zkoušky proto pro nás mají jen informativní charakter. Slouží nám k porovnávání materiálů mezi sebou či k ověřování stálosti vlastností materiálu. Dlouhodobé zkoušky mají spíše praktický význam a jejich výsledky se využívají pro konstrukční výpočty. [27]

Nezákladnějšími mechanickými charakteristikami jsou tahové charakteristiky materiálu. Těleso je vystaveno jednoosému namáhání v tahu, je možné tak průběh deformace sledovat pomocí deformační křivky (viz obrázek 16). V závislosti na vnitřní struktuře, stupni

krystalinity, teplotě okolí a dalších vnějších vlivech rozlišujeme tři základní typy chování polymeru jako je křehký materiál, houževnatý materiál s mezí v kluzu a houževnatý materiál bez meze kluzu. Na obrázku 16 jsou zobrazeny deformační křivky typového chování plastů v tahové zkoušce: křehký materiál (a), houževnatý materiál s mezí v kluzu (b, c) a houževnatý materiál bez meze kluzu (d). [27] [28]

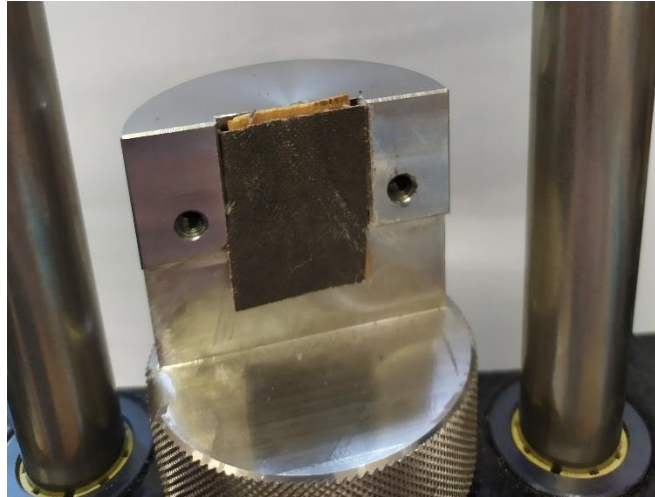


Obrázek 18: Deformační křivky polymerů v tahu [27]

4.3 MĚŘENÍ

Pro zhodnocení stavu materiálu po ozáření byl využit již zmíněný nástroj WP 300 spolu se sběrem dat měření do PC. Pomocí tohoto nástroje byla provedena zkouška tahem, která je svojí jednoduchostí a účelností nejrozšířenější zkušební metodou pro hodnocení mechanických vlastností. Za pomoci tohoto nástroje byla měřená síla potřebná k přetržení jednotlivých vláken po vystavení UV záření. Ke každému zkoumanému filamentu bylo měřeno vždy 5 různě ozářených vzorků. Takto naměřená data jsou zobrazená v grafech níže. Na ose x můžeme pozorovat vzdálenost v mm, o kterou se vlákno při určité síle, zobrazené na ose y, roztáhlo. Pro měření byly využity tiskové struny o průměru 1,75 mm.

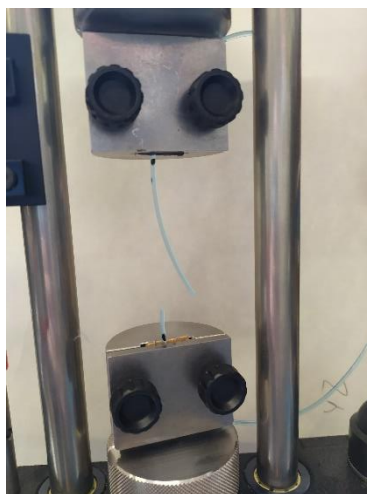
Pro samotný experiment byla nutná úprava čelistí, aby byl zajištěn úchyt filamentů, který zajistí rozložení namáhání a zvýšení tření mezi úchytem a materiálem. Upínací systém musí v maximální míře zabraňovat vyklouzávání a nesmí způsobit předčasný lom zkušebního materiálu. Úprava čelistí byla provedena pomocí smirkového papíru a malé části dřevěné dýhy viz obrázek 14.



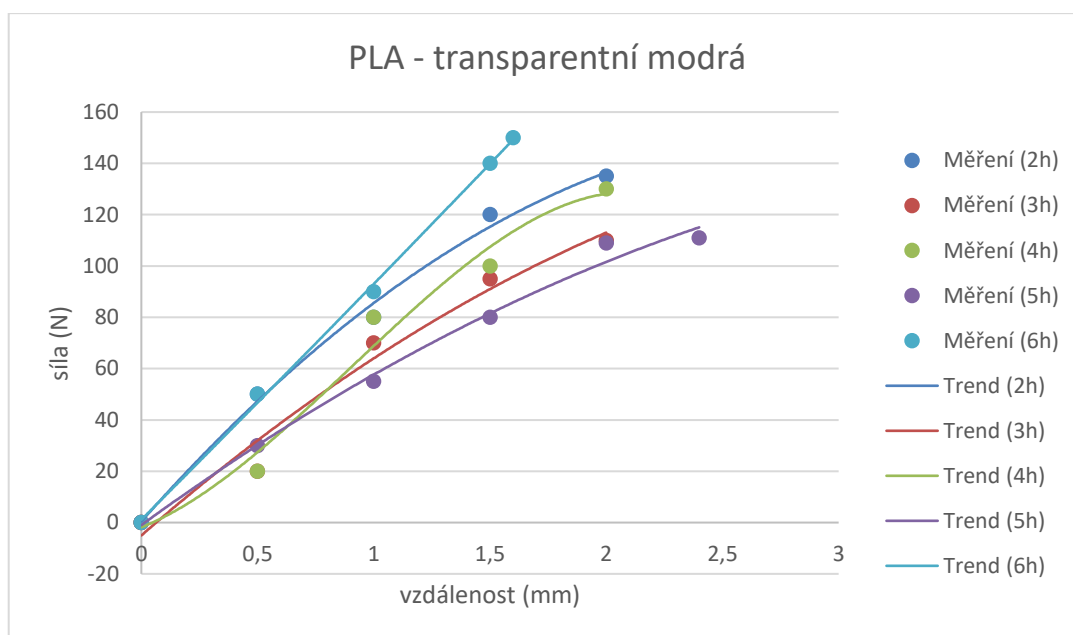
Obrázek 19: Upravená čelist pro měření

4.3.1 PLA TISKOVÁ STRUNA - TRANSPARENTNÍ MODRÁ

Tisková struna PLA transparentní modrá je vhodná i pro tisk velkých předmětů. Tento materiál je nevhodný pro venkovní použití, degraduje a křehne po vystavení UV záření. Výrobce uvádí, že již při 30 – 50 °C dochází k měknutí a deformaci výrobků z tohoto vlákna. V materiálovém listu výrobce uvádí, že za normálních podmínek používání a skladování je směs chemicky stabilní. Při přehřátí směsi může docházet k tepelným rozkladům. [21]



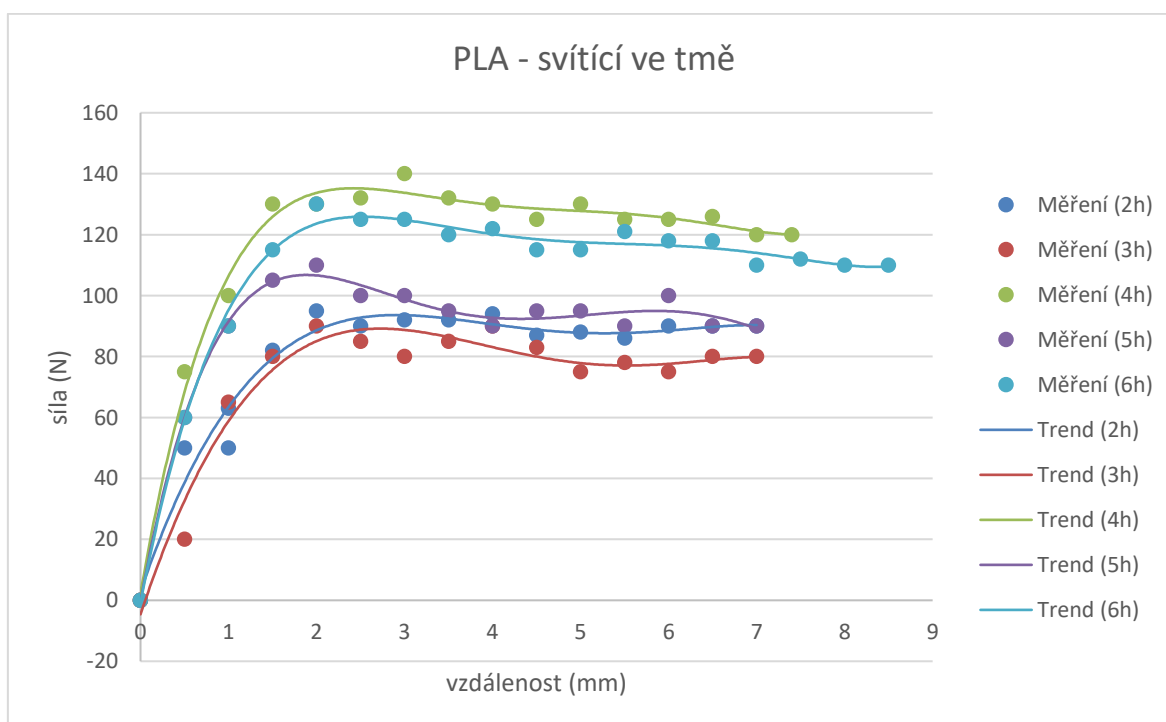
Obrázek 20: PLA – transparentní modrá po roztržení



Graf 1: Měření PLA – transparentní modrá

4.3.2 PLA TISKOVÁ STRUNA SVÍTÍCÍ VE TMĚ

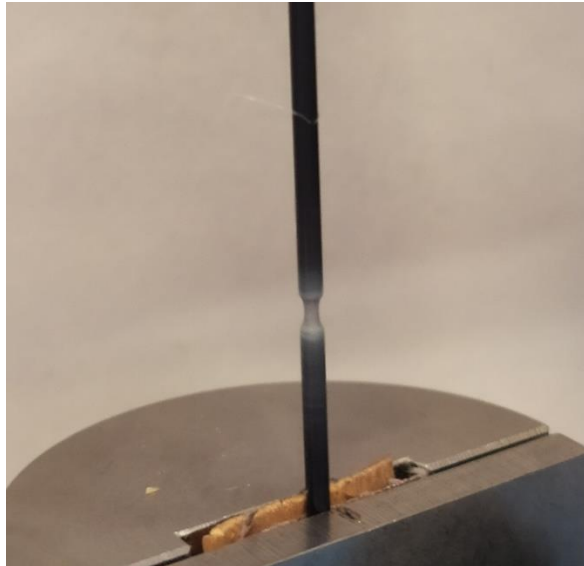
Pro experiment byla vybrána tisková struna s PLA s fluorescenčním pigmentem, která po nasvícení svítí. Výrobce uvádí vhodnost použití materiálu pro tisk velkých objektů. Výtisky při teplotách nad 70 °C ztrácí své mechanické vlastnosti. Tato tisková struna má ve dne barvu krémovou a v noci fosforeskuje a svítí. [21]



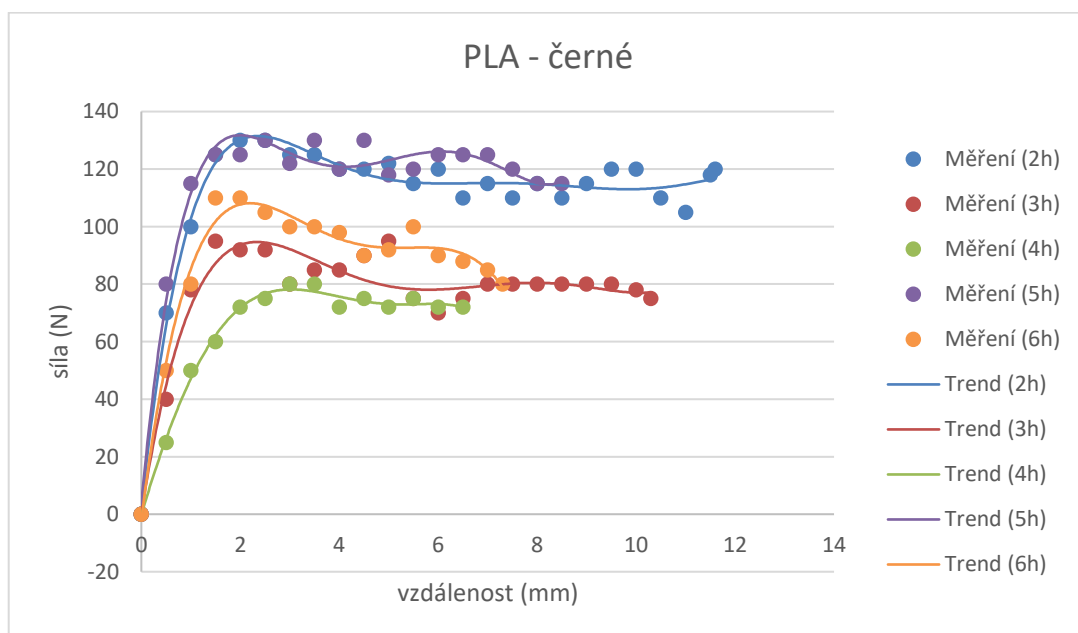
Graf 2: Měření PLA – svítící ve tmě

4.3.3 PLA TISKOVÁ STRUNA - ČERNÁ

Stejně tak jako předchozí tiskové struny PLA i tato je vhodná pro výrobu velkých modelů a její použití se nedoporučuje ve venkovním prostředí. Již při 30 – 50 °C dochází k deformaci výrobku vyrobených z této tiskové struny. [21]



Obrázek 21: PLA černé během měření

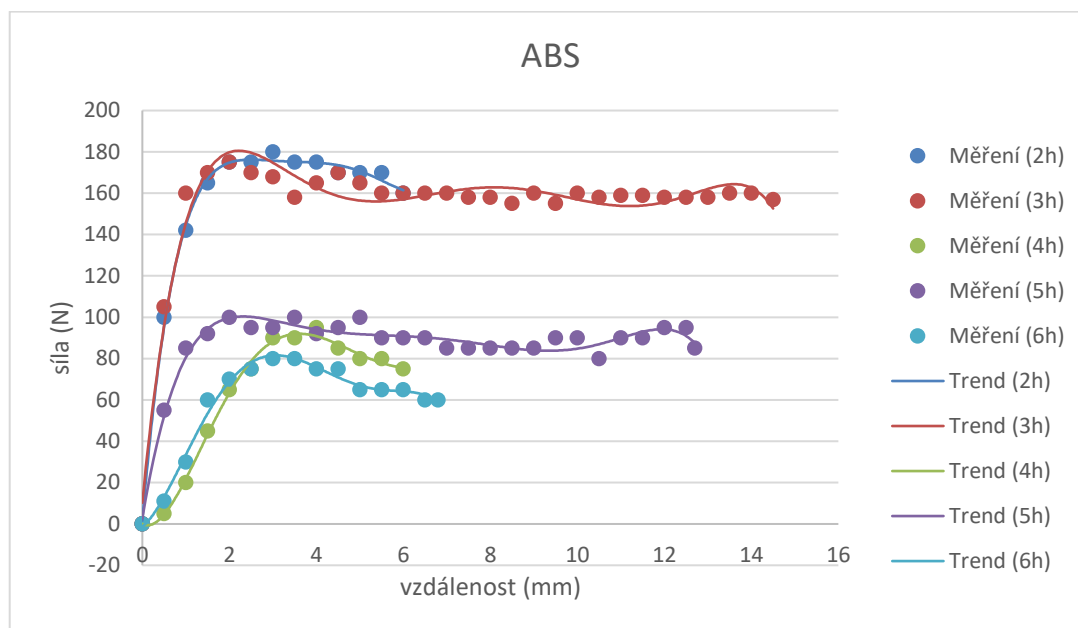


Graf 3: Měření PLA - černé

4.3.4 ABS TISKOVÁ STRUNA – HNĚDÁ

Tuto tiskovou strunu využívají spíše zkušenější tiskaři. Charakteristický je velmi typický zápach při tisku. Tento materiál je vhodný i na výrobky pro venkovní použití. Je

odolný vůči teplotám až 90 °C. Tato tisková struna by se při skladování neměla vystavovat dlouhodobému slunečnímu záření a nadměrné vlhkosti. [21]



Graf 4: Měření ABS

4.4 VÝSLEDKY

Z výše uvedených grafů je patrné, že doba ozáření jednotlivých vláken neměla vliv na sílu potřebnou k jejich přetržení. Naopak často nastaly situace, kdy méně ozářené vlákno prasklo dříve. Zároveň je však z grafů patrné, že různé typy PLA lišící se ve složení mají jinou pevnost. To můžeme vidět při porovnání např. filamentu PLA – transparentní modrá s černým PLA, první zmíněný se před přetržením roztáhl v průměru pouze o 2 mm, kdežto druhý o 8,84 mm. V materiálovém listu PLA - transparentní modrá je uvedeno, že vlákno obsahuje příměsi. Výrobci bohužel neuvádějí, o jaké látky se jedná a tak není možné zjistit, která příměs měla na tak malou pevnost vliv. Vlákná byla ozařována po omezenou dobu nejvíce po dobu šesti hodin. Je možné, že kdyby ozařování probíhalo v řádech několika dní, mohli bychom změny vlastností pozorovat. Krajní hodnoty grafů nejsou relevantní.

5 VYUŽITÍ 3D TISKU VE VÝUCE

Technologií využívaných při procesu vzdělávání je v dnešní době už mnoho. Náleží mezi ně také samozřejmě 3D tisk, který má hodně předpokladů stát se využívanou vzdělávací pomůckou. Tato technologie se mnohým zdá jako nová, ale není tomu tak viz kapitola 3.1. 3D tiskárny se využívají pro výrobu pomůcek pro studenty, tvorbu doplňku či pro reálnou ukázkou do výuky. [29]

3D tisk má tedy více možností využití. Hodně textu a způsob frontální výuky může mnoho studentů nudit, modely z 3D tiskárny získávají pozornost studentů, protože výklad a text převedeme do vizuálních případně i hmatatelných objektů. Jedním z dalších důvodů může být interakce mezi studenty při tvorbě a tisku, vytváření hmatatelných pomůcek nebo praktické vyučování. Cokoli, co by vyučující normálně při výuce nakreslil na tabuli, může vysvětlit pomocí modelů, kterých se studenti mohou dotknout a zkoumat je. [29] [30]

3D tiskárny bývají využívány ke zvýšení motivace či k projektům, které vedou k rozvoji kreativity a technické gramotnosti. Existují i oblasti, v nichž 3D tiskárny neodpovídají specifickým potřebám škol. Dostupné výzkumy ukazují, že na školách, kde využívají technologie 3D tisku s nimi mají i problémy. Jedním z nich je nemožnost řídit přístup k tiskárně. Problém je také i fakt, že nejsou dostatečně definované metodiky pro integraci technologie 3D tisku do obsahu výuky. [29]

Jednou z nevýhod dnešních 3D tiskáren bývá, že nejsou na stejném principu jako jiná kancelářská technika. Je zde nutné provádět úpravy a kalibrace, které povedou k úspěšnému výrobku. Žáci si díky tomu rozvíjejí technické kompetence. V běžném životě je tato nevýhoda vnímána jako přítěž, ale ve školním prostředí jí lze vnímat pozitivně. Žáci si tak rozvíjejí i ostatní klíčové kompetence. [23]

5.1 TECHNICKÉ VZDĚLÁVÁNÍ NA ZŠ

Technickou výchovu neboli techniku v rámcovém vzdělávacím programu nalezneme v oblasti Člověk a svět práce. Tato oblast vzdělávání vede žáky k získávání základních dovedností v odlišných odvětvích lidské činnosti. Pomáhá přispívat k utváření profesní a životní orientace žáků. Tato vzdělávací oblast se zaměřuje na praktické pracovní dovednosti a návyky. Dodává celému základnímu vzdělávání důležitou součást nezbytnou pro uplatnění člověka v dalším životě. Oblast Člověk a svět práce je založena na myšlenkové spoluúčasti žáků. [31]

Na prvním stupni je tato oblast rozdělena na čtyři tematické okruhy: práce s drobným materiálem, konstrukční činnosti, pěstitelské práce, příprava pokrmů. Pro první stupeň jsou tematické okruhy povinné. Na stupni druhém je oblast Člověk a svět práce rozdělena na osm tematických okruhů: práce s technickými materiály, pěstitelské práce a chovatelství, design a konstruování, provoz a údržba domácnosti, příprava pokrmů, práce s laboratorní technikou, využití digitálních technologií, svět práce. Tematické okruhy druhého stupně tvoří nabídku okruhů, z nichž si školy vybírají podle svých podmínek a pedagogických záměrů. Okruh svět práce je povinný a k tomu si školy volí minimálně jeden další okruh. Okruhy, které si škola vybere, musí realizovat v plném rozsahu. Okruh svět práce je v plném rozsahu povinný pro všechny žáky vzhledem k tomu, že je zaměřen na výběr budoucího povolání. Je vhodné tento okruh zařadit do vyšších ročníků 2. stupně. Ve všech tematických okruzích jsou žáci vedeni k dodržování zásad bezpečnosti práce. [31]

Jedním z nejdůležitějších úkolů učitele je rozvoj klíčových kompetencí. V RVP ZV jsou klíčové kompetence definovány jako souhrn vědomostí, schopností, postojů a hodnot důležitých pro osobní rozvoj a uplatnění každého člena společnosti. Významem a cílem vzdělávání je vybavit všechny žáky souborem klíčových kompetencí na úrovni, která je pro ně dosažitelná. Osvojování klíčových kompetencí je dlouhotrvající a složitý proces. Počátek má již v předškolním vzdělávání a pokračuje v základním a středním vzdělávání a postupně se dotváří v dalším průběhu života. Úroveň, kterou žáci dosáhnou na konci základního vzdělávání, nelze považovat za konečnou. Klíčové kompetence tvoří základ pro celoživotní učení a také slouží jako vstup do života a do pracovního procesu. Klíčové kompetence se různými způsoby prolínají. Ve stádiu základního vzdělávání jsou za klíčové kompetence považovány: kompetence k učení, kompetence k řešení problémů, kompetence komunikativní, kompetence sociální a personální, kompetence občanské, kompetence pracovní. Pedagog by měl pro správný rozvoj klíčových kompetencí systematicky připravovat hodiny a stanovovat jejich cíle. Právě práce s 3D tiskárnou je jedna z činností, která je na rozvoj klíčových kompetencí velice vhodná. Při této práci je spojováno mnoho aktivit, které se později dají spojit s praxí. Po úpravě RVP byla mezi klíčové kompetence zařazena kompetence digitální. Žák by měl na konci základního vzdělávání chápat význam digitálních technologií pro lidskou společnost. Žáci by měli být schopni ovládat běžně používaná zařízení. [31]

Klíčovou kompetencí k řešení problémů žáci mohou rozvíjet například při situacích, kdy tiskárna netiskne dle jejich představ nebo dochází k chybě při tisku. Žáci si mohou

vyhledávat vhodné informace, jak takové problémy vyřešit. Práce s 3D tiskárnou prochází několika fázemi, to můžeme využít k tomu, aby žáci pracovali ve skupinách a podporovat tak skupinové práce, při kterých žáci rozvíjejí kompetence komunikativní a sociálně personální. Kompetence občanské můžeme u žáka rozvíjet na několika úrovních, nejdůležitější je výchova bezpečnosti práce. Kompetence učení v rámci práce s 3D tiskárnou by žáky měla naučit používat materiály a nástroje, dodržování pravidel a vymezených podmínek. Žáci při práci s tiskárnou postupují podle zadaných pravidel, aby dosáhli požadovaného výsledku. Nově zařazená kompetence digitální, seznamuje žáky s novými technologiemi jako je právě 3D tisk. Žák by měl být schopen využívat nové technologie k zjednodušení a k zefektivnění svých pracovních postupů. [31]

5.2 VÝUKA 3D TISKU

3D tiskárny je nejdříve vhodné využívat jako spojení mezi předměty. Z pohledu žáků možnosti a technologie 3D tisku nejsou spatřovány jako problematické učivo. V začátcích realizace můžeme spatřovat jakési „oslnění“ způsobené novými možnostmi zařízení. Proces výuky technologie 3D tisku lze tedy rozdělit do tří fází. Již zmíněná fáze „oslnění“ umožňuje žákům zkoumat schopnosti zařízení. Žáci se učí ovládat zařízení a řešit problémy s tím spojené. Žáci si vyhledávají modely, které tisknou. Tato fáze velice rychle přechází a nastává fáze didakticky velice důležité. Nastává fáze invenční, při které žáci tvoří své vlastní jednoduché výrobky. Žáci usilují o zhmotnění svých myšlenek a nápadů. Výrobky jsou obvykle obohaceny spíše designovým charakterem. Po této fázi nastupuje fáze inovační. V té dochází u žáků k hlavní přeměně pochopení technologií 3D tisku. I v této fázi žáci spolupracují, ale vytvoření 3D modelu není cílem jejich práce. Tiskárna slouží jako nástroj pro výrobu komponentů pro jiné složitější zařízení či jiný výrobek. Abychom se žáky mohli dojet do poslední fáze, je důležité, aby práce byla cílevědomá a soustavná, nejen od žáků a učitele, ale i od kolegů učitelů. [32]

Nejvíce používanou tiskárnou ve školním prostředí je tiskárna, která využívá technologii FMD. Při 3D tisku mohou nastat různé technické problémy. Problémy tisku níže uvedené se vztahují právě k technologii FMD. Problémy tisku můžeme využít pro rozvíjení klíčové kompetence řešení problémů. Je vhodné je zahrnout do první fáze „oslnění“. Jednou z chyb, které při tisku mohou nastat, je deformace výrobku. Ta může být způsobená špatně zvoleným tiskovým materiálem nebo nízkou teplotou podložky. Dalšími chybami jsou například odlepení výrobku v průběhu tisku (náraz trysky do výrobku, nepřilnutí první vrstvy či prohnutí výrobku), slabá soudržnost vláken mezi sebou či slabá soudržnost vrstev.

Může dojít k úplnému přerušení tisku, což je způsobeno zásahem uživatele či selhání hardwaru tiskárny. Chyby způsobující deformaci výrobku, lze odstranit vhodně zvoleným tiskovým materiálem jako je právě PLA. Tento materiál je vhodný do školního prostředí i z důvodu nevykazování zápachu při 3D tisku oproti materiálu ABS. [32]



Obrázek 22: 3D tisk ve školním prostředí [33]

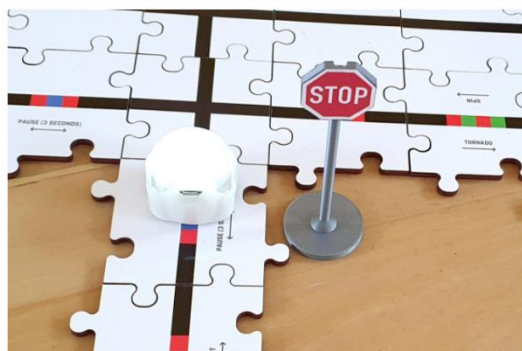
5.3 MOŽNOST ZÍSKÁNÍ 3D TISKÁRNY PRO ŠKOLU

K tomu abychom získali 3D tiskárnu do výuky si jí nemusíme kupovat. Můžeme se zaregistrovat do programu Průša do škol a po splnění všech podmínek získat 3D tiskárnu zdarma. Celý tento projekt se snaží učitele inspirovat k vlastní tvorbě a tu následně přes vytvořenou platformu sdílet s ostatními vyučujícími. Experti na 3D tisk jsou propojeni s experty na každodenní praktickou výuku a vznikají tak projekty, které jsou klíčové, konkrétní a praktické. [33]

První věc, kterou musíme udělat abychom 3D tiskárnu získali, je vyplnit registrační formulář. Následně vyučující projde školením. Školení se nemusí účastnit pouze jeden vyučující ale až dva zástupci z dané školy. Po absolvování školení je tiskárna od společnosti Průša k dispozici po dobu tří měsíců. Aby se tiskárna stala majetkem školy, je nutné vytvořit se žáky projekt, který bude splňovat kritéria uvedená níže. Po dodání tohoto projektu do 3 měsíců od zapůjčení tiskárny a splnění všech kritérií se stává tiskárna majetkem školy. [33]

Projekt, kterým tiskárnu získáme, by měl mít nápad, smysl a cíl. Projekt by měl mít určitou vzdělávací hodnotu a praktické využití. Jaké téma zvolíme, je čistě jen na nás. Projekt

by však měl být srozumitelný pro využití ve výuce i na dalších školách. Dalším kritériem je dodání 3D modelů ve formátu STL, které v rámci projektu vytvoříme. Důležité je celý proces tvorby a hotové 3D výtisky vyfotografovat a fotodokumentaci přiložit k tzv. doprovodnému textu, kde krok po kroku popíšeme postup při tvorbě projektu. Po splnění těchto kritérií se 3D tiskárna stává majetkem školy. [33]



120 min

Začátečník

3D tisk dopravních značek

Žáci mladšího školního věku se také účastní silničního provozu, ať už jako chodci nebo cyklisté. Pro svou bezpečnost by měli znát význam dopravního značení. Výsledkem projektu je 3D tisk dopravních značek, které využijete při kreslení křižovatek a řešení dopravních situací, např. s autíčky a panáčky nebo s Ozoboty.

- Porozumět rozměrům objektů během 3D modelování (mm, cm).
- Naučit se pracovat s přesnými hodnotami a zadáním.
- Procvičit si ovládací prvky programu PrusaSlicer.
- Dokázat vymodelovat dopravní značení v programu Tinkercad.
- Naučit se základy práce s 3D tiskárnou Original Prusa i3 MK3S nebo MINI.



Tento projekt vytvořila:
Základní škola Mohylová, Mohylová 1963/2, Praha 5
Vladimír Cvajniga, Mgr. Klára Stuchlá, žáci 4. - 5. ročníků

Obrázek 23: Ukázka projektu [33]

6 MODELOVÉ HODINY S VYUŽITÍM 3D TISKÁRNY

Tato kapitola se zabývá samotnou výukou 3D tisku na základní škole. Jsou zde popsány cíle výuky, které na základě rámcového vzdělávacího programu pro základní školy byly stanoveny k jednotlivým vyučovacím hodinám. Jsou zde také obsaženy výukové metody, organizační metody či hodnocení žáků.

6.1 VÝUKOVÉ CÍLE

Čeho se má dosáhnout, co má vzniknout, k čemu se má směřovat či o co usilovat, tím vším se obecně rozumí cíl. V procesu vyučování nám jde o dosažení výsledků výuky. Proto se používá termín cíl výuky či výukový cíl. Výukové cíle můžeme rozdělit na obecné a specifické. [34]

Obecné cíle definují záměry výuky, její výstupy a výsledky. Mezi tyto cíle zařazujeme hodnoty a rozvoj osobnosti žáka, produktivní činnosti a praktické dovednosti. Těmito cíli jsou například využívání dostupných prostředků komunikace, spolupráce s ostatními, práce v týmu, poznávání a rozvíjení své osobnosti, využívání získaných poznatků. [34]

Specifické cíle jsou dány tematickými celky či okruhy v konkrétním učebním předmětu. Abychom naplnili obsah učiva, vytyčíme konkrétní (dílčí) cíle. Ty jsou pro témata jednotlivých vyučovacích jednotek. Vyjadřují nám konkrétní znalosti či dovednosti, které bude žák ovládat po skončení vyučovací hodiny. U těchto cílů nás zajímá i proces plnění, nikoli jen výsledek. [34]

Z RVP byly využity tyto očekávané výstupy, na základě kterých byly vytvořeny výukové cíle modelových hodin.

„ČSP-9-7-01 ovládá základní funkce digitální techniky; diagnostikuje a odstraňuje základní problémy při provozu digitální techniky.“

„ČSP-9-7-02 propojuje vzájemně jednotlivá digitální zařízení.“

„ČSP-9-7-03 pracuje uživatelským způsobem s mobilními technologiemi – cestování, obchod, vzdělávání, zábava.“

„ČSP-9-7-04 ošetřuje digitální techniku a chrání ji před poškozením.“

„ČSP-9-7-05 dodržuje základní hygienická a bezpečnostní pravidla a předpisy při práci s digitální technikou a poskytne první pomoc při úrazu.“ [31]

6.2 METODY VÝUKY A ORGANIZAČNÍ FORMY VÝUKY

Metody výuky chápeme jako možnosti či postupy v procesu výuky, které vedou k dosažení výukových cílů a konkrétního obsahu učiva. Prostřednictvím metod výuky probíhá komunikace a interakce mezi žákem a učitel. Součástí tzv. tradičního vyučování jsou výukové metody slovní (např. vysvětlování, výklad, rozhovor, popis), metody názorně demonstrační (např. pozorování předmětů a jevů, předvádění pokusů či předmětů) a metody praktické (např. laboratorní činnost žáků, pracovní či grafické činnosti žáků). [34] [35]

Organizační formy výuky rozumíme uspořádání podmínek vyučování vedoucí k realizování obsahu vyučování za pomoci jedné či více metod výuky za využití vhodných didaktických prostředků a respektování didaktických zásad. [34]

V metodických listech byly využity zejména metody, jako je diskuse, popis, vysvětlování, instruktáž či metody dovednostně praktické. Organizační formy výuky byly zvoleny zejména frontální a individuální výuka žáků.

6.3 HODNOCENÍ ŽÁKŮ

Velice důležitou částí samotné výuky je hodnocení žáků. Hodnocení žáků by mělo být postaveno na plnění určitých a splnitelných úkolů. Žákům by měla být dána možnost zažít úspěch a nebát se chyby a pracovat s ní. Hodnocení má smysl jak pro samotné žáky, učitele, tak i pro rodiče a společnost. Školní hodnocení, které využíváme ve vyučovacím procesu je jediné hodnocení v životě, které je systematické. Učitel při vyučování pracuje s vzdělávacími standardy, proto považujeme školní hodnocení jako systematické. Tyto standardy jsou vlastně kritéria, která pro hodnocení využíváme. Udávají nám, co se v určitém typu a stupni škol hodnotí. Jak probíhá výuka či jaké jsou její výsledky, nám poskytuje školní hodnocení. V procesu hodnocení je důležité hodnotit výsledky (učební činnost žáků), ale i kvalitu průběhů učení. Při modelových hodinách je vhodné používat slovní hodnocení. Hodnotit vzhled, kvalitu modelu, kreativitu a vlastní nápad. [36] [37] [38]

6.4 METODICKÉ LISTY

V této kapitole je představeno pět metodických listů zaměřených na využití 3D tisku ve výuce. První metodický list je zaměřený na úvod do teorie 3D tisku. Žáci získávají základní informace o průběhu celého tisku, tiskárně či materiálech. Dozvědí se, kde lze zdarma stáhnout hotové 3D modely nebo pomocí jakých aplikací si 3D model můžeme vytvořit. Druhá modelová hodina je zaměřená na základy 3D modelování s využitím aplikace Tinkercad. V hodinách zaměřených na modelování se žáci naučí, jak s aplikací

pracovat, jaké má funkce a jaké modely v ní lze vytvořit. Žáci společně s učitelem tvoří jednoduché 3D modely, později samostatně vytvářejí domek dle pracovního postupu. Po absolvování těchto hodin zaměřených na modelování jsou žáci schopni vytvořit 3D model ptačí budky, hrnečku či hradu, který patří k obtížnějším příkladům. V průběhu třetí modelové hodiny žáci poznávají a porovnávají vlastnosti jednotlivých tiskových strun. Ve čtvrté modelové hodině žáci vnímají 3D tiskárnu jako nástroj k vytvoření komponenty pro svůj výrobek. Poslední metodický list byl zařazen vzhledem k probíhající pandemii onemocnění COVID-19. Žáci si vytvoří svůj ochranný štít a diskutují s vyučujícím nad významem ochranných pomůcek.

6.4.1 TEORIE 3D TISKU

Téma hodiny: Teorie 3D tisku

Třída: 7. - 9. třída ZŠ

Časová dotace: 45 minut

Cíle vyučovací jednotky: Žák vlastními slovy popíše činnost 3D tisku. Žák rozlišuje různé druhy tiskových materiálů. Žák vyhledá na internetu modely zdarma ke stažení.

Výukové metody: vysvětlování, instruktáž, diskuse, popis

Organizační formy výuky: frontální, individuální

Pomůcky a potřebná technika: počítač, projektor

Pracovní prostor: běžná třída, počítačová učebna

Klíčové kompetence: kompetence k učení, kompetence komunikativní, kompetence sociálně personální, kompetence digitální

Metodika vyučovací jednotky:

Úvod hodiny. Seznámení žáků s průběhem hodiny.

Diskuse na témata související s 3D tiskem. Promítnutí videa o 3D tisku (3D tisk – NEZkreslená věda IV. - <https://www.youtube.com/watch?v=zUHF1jWZPhE>).

Výklad na téma 3D tisk – tiskové materiály, příprava na tisk, průběh tisku, získávání 3D modelu a využití 3D tisku.

Zadání úkolu: „vyhledejte modely výrobku, které lze zdarma stáhnout“. Každý žák představí model výrobku, který ho zaujal a upozorní na problematické části při tisku. Navrhne řešení.

Motivace na příští hodinu, promítnutí hotových výrobků, které lze pomocí aplikací na 3D modelování vytvořit či výrobků už na 3D tiskárně vyhotovených.

6.4.2 ZÁKLADY 3D MODELOVÁNÍ

Téma hodiny: Základy 3D modelování

Třída: 7. - 9. třída ZŠ

Časová dotace: 90 minut

Cíle vyučovací jednotky: Žák bude umět vytvořit jednoduchý 3D model. Žák vhodně využívá základní funkce aplikace na tvorbu modelů.

Výukové metody: popis, vysvětlování, instruktáž

Organizační formy výuky: frontální, individuální

Pomůcky a potřebná technika: počítač, projektor, aplikace pro tvorbu modelů Tinkercad

Pracovní prostor: počítačová učebna

Klíčové kompetence: kompetence k učení, kompetence komunikativní, kompetence sociálně personální, kompetence k řešení problémů, kompetence digitální

Metodika vyučovací jednotky:

Úvod hodiny.

Seznámení žáků s průběhem hodiny.

Diskuse na téma 3D tisk. Poznanky z minulé hodiny, zajímavosti.

Otevření aplikace Tinkercad, přihlášení žáků.

Seznámení s touto aplikací, vysvětlení základních funkcí, upravení a nastavení pracovní plochy, vytvoření nového projektu a jeho pojmenování.

Ovládání objektů a práce s nimi. (Kružnice, křivka, rotace plochy kolem osy, přesouvání tvaru, změna barvy apod.) Ukázka funkčních nástrojů.

Učitel společně se žáky vytvoří dva jednoduché modely. Hrací kostku a vázu.

Poté samostatná práce žáků, tvorba jednoduchého domku.

Pracovní postup:

1. Krychle o velikosti 25x25x25 mm.
2. Kvádr o velikosti 15x15x25 mm.

3. Změna kvádrů na díru, zarovnat s krychlí.
4. Seskupení.
5. Jehlan o velikosti podstavy 25x25 mm.
6. Nastavení výšky 25 mm, přesunutí nad krychli a zarovnání.
7. Seskupení.
8. Stažení modelu ve formátu STL.

Učitel žáky pozoruje a je jim nápomocný při práci. Při výskytu nějakého problému, společně dětem ukázat řešení.

Žáci, kteří už mají základní tvar domku hotový, mohou domku dodělat okna, dveře či komín.

Každý žák představí svůj vytvořený domek.

Opakování probraného.

Poznámka: V dalších hodinách zaměřených na vytváření 3D modelů už žáci vytvářejí náročnější modely např. ptačí budka, hrneček či náročnější příklad jako je hrad.

6.4.3 TESTOVÁNÍ MATERIÁLŮ PLA A ABS

Téma hodiny: Testování tiskových materiálů PLA a ABS

Třída: 9. třída ZŠ

Časová dotace: 45 minut

Cíle vyučovací jednotky: Žák vyhledá na internetu vlastnosti tiskových materiálů. Žák práce pracuje ve skupině. Žák testuje vlastnosti tiskových materiálů.

Výukové metody: vysvětlování, diskusní, dovednostně praktické

Organizační formy výuky: skupinové, frontální

Pomůcky a potřebná technika: počítač, projektor, školní tablet, různé barvy PLA vlákna, vlákno ABS, pomůcky k provádění testu ve školní dílně

Pracovní prostor: školní dílna

Klíčové kompetence: kompetence komunikativní, kompetence sociálně personální, kompetence k řešení problémů, kompetence digitální, kompetence k učení

Metodika vyučovací jednotky:

Úvod hodiny.

Seznámení žáků s průběhem hodiny. Rozdělení žáků do skupin pomocí webové aplikace Flippity.

V úvodu hodiny diskuse se žáky o tiskových materiálech.

Výklad na téma – tiskové materiály a jejich vlastnosti.

Samostatná práce žáků. Zadání úkolu: „vyhledej vlastnosti zadaných vláken a navzájem je porovnej.“

Žáci od vyučujícího obdrží přidělené dvě vlákna. (PLA v různých barvách (černé, šedé), PLA svítící ve tmě, PLA průhledné či ABS v různých barvách.) K přiděleným vláknům žáci zjistí pomocí tabletu na internetu výhody a nevýhody při 3D tisku. Poté žáci budou vlastnosti testovat např. jejich pevnost ve svěráku, rozpuštění v ředidle, přetnutí, ohnutí či sledování chování vlákna po zahřátí.

Každá skupina představí svá vlákna, jaké metody testování vlastnosti využili a k jakým zjištěním došli.

Na závěr hodiny zhodnocení experimentů.

Opakování probraného.

6.4.4 VÝROBA SOUČÁSTKY

Téma hodiny: Výroba figurky na věšák

Třída: 7. - 9. třída ZŠ

Časová dotace: 180 minut

Cíle vyučovací jednotky: Žák vytvoří 3D model figurky. Žák připevní kovový háček.

Výukové metody: vysvětlování, diskusní, dovednostně praktické

Organizační formy výuky: individuální, skupinové

Pomůcky a potřebná technika: počítač, projektor, Tinkercad, nářezový program, 3D tiskárna, dřevo s předem připravenými úchyty na figurky, háčky, vrtačka

Pracovní prostor: počítačová učebna, školní dílna

Klíčové kompetence: kompetence komunikativní, kompetence sociálně personální, kompetence k řešení problémů, kompetence digitální

Metodika vyučovací jednotky:

Úvod hodiny.

Seznámení žáků s průběhem hodiny.

Vysvětlení a popis finálního výrobku viz obrázků.

Diskuse se žáky jakou figurku by si chtěli vymodelovat, kde spatřují úskalí modelace jejich figurky.

U figurky bude nutné žákům udělat parametry velikosti, aby se figurky vešli na předem připravené týble.

Figurka o šířce max. 20 mm, výšce max. 50 mm. Uprostřed figurky dutina, aby bylo možné figurku uchytit.

Žáci vytváří figurky dle vlastního výběru. Vyučující obchází třídu a je žákům nápomocen v případě nějakého problému.

Před tiskem figurky žák konzultuje výsledný model s vyučujícím.

Po konzultaci žáci ukládají vytvořený 3D model do formátu STL, tento soubor pak žáci posílají do sliceru, kde mohou zjistit, zda jejich model nebude vyžadovat dočasné podpory.

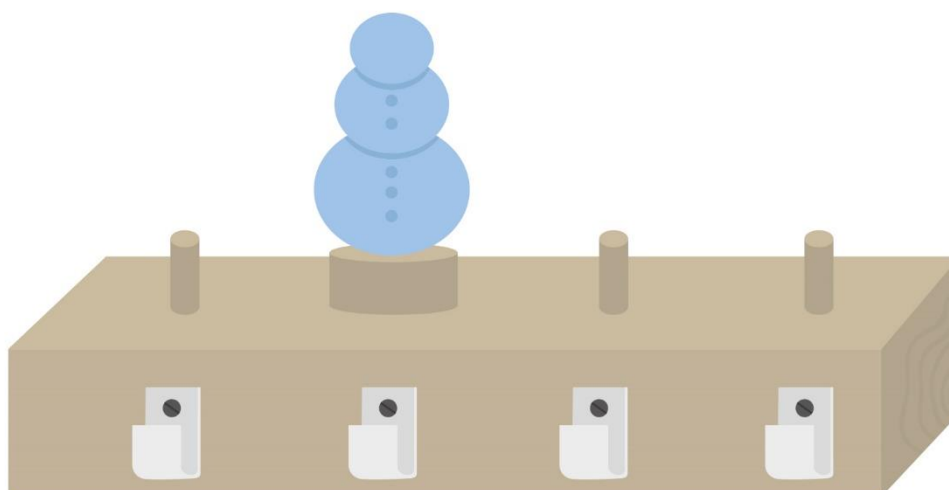
Žáci společně zahájí tisk jednoho z modelů pomocí G-codu, který pošlou do tiskárny. Před úplným zahájením tisku žáci zkontrolují tiskárnu, zda je na tisk připravena.

Následně sledují samotné zhmotňování figurky (figurky ostatních žáků dotiskne vyučující).

Žáci na dřevěný hranol, který bude sloužit jako věšák, připevní kovový háček pomocí samořezných vrutů.

Nad háčky vyučující předem připraví dřevěné týble, na které žáci nasadí svoji vytisknutou 3D figurku.

Žáci vyrobený věšák s figurkami mohou darovat žákům do první třídy.



Obrázek 24: Ukázka věšáku

6.4.5 VÝROBA VLASTNÍHO OCHRANNÉHO KRYTU

Téma hodiny: Výroba vlastního ochranného krytu

Třída: 7. - 9. třída ZŠ

Časová dotace: 90 minut

Cíle vyučovací jednotky: Žák si vytvoří svůj ochranný kryt. Žák chápe význam ochranného krytu.

Výukové metody: vysvětlování, diskusní, dovednostně praktické

Organizační formy výuky: frontální, individuální

Pomůcky a potřebná technika: 3D tiskárna, laminovačka, laminovací fólie, náplň do tavící pistole, gumička, děrovačka

Pracovní prostor: běžná třída, školní dílna

Klíčové kompetence: kompetence pracovní, kompetence komunikativní

Metodika vyučovací jednotky:

Úvod hodiny. Seznámení žáků s průběhem hodiny.

Ukázka výsledného výrobku. Diskuse se žáky na téma význam ochranného krytu.

Pracovní postup:

1. Žáci od vyučujícího obdrží vytisknutou čelenku na 3D tiskárně a spodní část pro ochranný kryt.
2. Pomocí laminovačky každý žák zataví jednu laminovací fólii, do které následně pomocí děrovačky vytvoří díry, tak aby do nich zapadly výstupky na čelence.
3. Pomocí tavné pistole žáci spojí z obou stran díry ve fólii s čelenkou.
4. Na zadní část čelenky připevní žáci gumičku.
5. Aby žáci zpevnili ochranný kryt, upevní druhou spodní část čelenky.

Na konci vyučovací jednotky každý žák představí svůj ochranný kryt.

3D model ochranného krytu je ke stažení z odkazu <https://www.prusa3d.cz/covid19/>.

6.5 PEDAGOGICKÝ EXPERIMENT

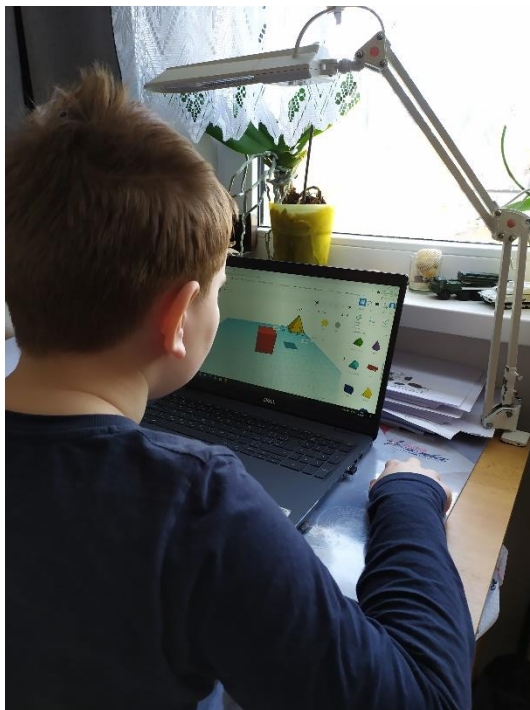
Vzhledem k epidemiologické situaci nebylo možno realizovat modelové hodiny. Z tohoto důvodu byla vybrána jedna z hodin a realizována na jednom vybraném žákovi. Hodina byla zaměřená na získávání 3D modelů. Během tohoto experimentu si vybraný žák 6. ročníku základní školy vyzkoušel navrhování 3D modelu pomocí webové aplikace Tinkercad. Vybraný žák neměl předchozí znalosti v oblasti získávání 3D modelů.

Žák byl seznámený s průběhem vyučovací jednotky. V úvodu hodiny proběhl rozhovor na téma 3D tisk. Vybraný žák o 3D tisku pár informací věděl z Dnů vědy a techniky, které navštívil s rodiči. Věděl, jak proces 3D tisku probíhá a k čemu se využívá.

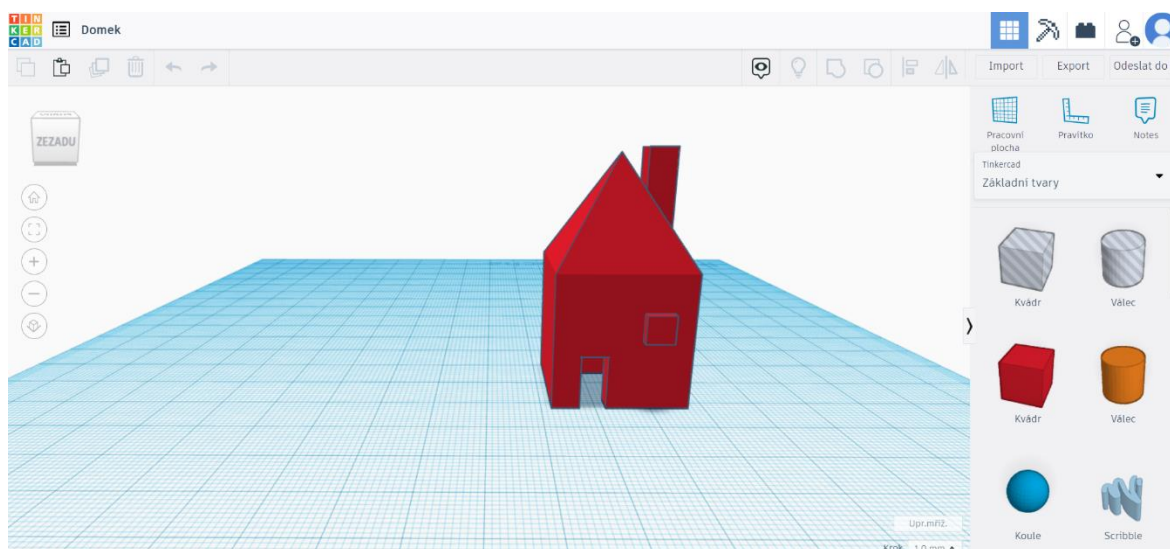
Na pokyny vyučujícího si žák zapnul aplikaci Tinkercad a byl seznámený s prostředím této aplikace. Žák si vytvořil nový projekt, který pojmenoval jako domek. Následně žákovi byly vysvětleny základní funkce a orientace v pracovní ploše této aplikace. Žák si vyzkoušel ovládání objektů a práce s nimi. Společně s vyučujícím žák vytvořil hrací kostku a vázu. Poté žákovi byla zadána samostatná práce. Žák postupoval podle pracovního postupu a vytvářel jednoduchý domek. Vyučující byl při vytváření 3D modelu žákovi nápomocen, ten ale pomoc nepotřeboval. Před stažením modelu do formátu STL byl žákovi ještě zadán úkol na vylepšení domku. Žák sám prohlásil, že domku chybí dveře a okna a hned se do vylepšení domku pustil. Na závěr modelování byl žákovi ještě zadán úkol na vytvoření komínu.

V závěru hodiny proběhl se žákem rozhovor jak mu tvorba 3D modelu šla a provedl sebehodnocení. Žák byl od vyučujícího slovně ohodnocen. Vybranému žákovi modelování

velice šlo, byl samostatný a výsledný model výrobku je povedený (viz obrázek 24). Do tvorby modelu žák vnesl i svoje nápady.



Obrázek 25: Vybraný žák při práci na 3D modelu



Obrázek 26: Výsledný 3D model domku

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo shrnout informace o hojně využívaném tiskovém materiálu, a to kyselině polymléčné, jak z chemického tak fyzikálního hlediska. Tato látka se řadí mezi velice oblíbené materiály díky možnosti její recyklace. V této práci bylo také uvedeno využití této látky v obalovém průmyslu či v oblasti 3D tisku.

V odvětví 3D tisku patří PLA k nejpoužívanějším filamentům. 3D tisku byly věnované kapitoly, které obsahují informace z historie, z jakých komponentů se skládá nejpoužívanější tiskárna s technologií FDM, byly zde popsány informace o jednotlivých technologiích a v neposlední řadě byl popsán proces celého 3D tisku, od získání 3D modelu po úpravu konečného výrobku. Jedna z kapitol byla věnována experimentu s tiskovými strunami. Cílem bylo zjistit, zda má doba vystavení tiskových strun v UV záření vliv na jejich vlastnosti. Tiskové struny byly vystaveny UV záření v různých časových intervalech po dobu maximálně šesti hodin a následně u nich byla provedena zkouška tahem. U testovaných vláken bylo zjištěno, že doba, po kterou vlákna byla vystavena záření, neměla vliv na jejich vlastnosti. Je možné, že kdyby ozařování probíhalo v rádech několika dní, mohli bychom změny vlastností pozorovat. Bylo však zjištěno, že různé druhy PLA mají odlišnou pevnost.

Poslední dvě kapitoly byly věnovány využití 3D tisku ve výuce a technickém vzdělávání. Bylo zde uvedeno, jak je definován předmět technické výchovy v základním vzdělávání, jaké jsou klíčové kompetence a jak je můžeme v technické výchově rozvíjet při využití 3D tisku. V práci bylo také zmíněno, jak by výuka 3D tisku mohla probíhat a do jakých fází je vhodné se při této výuce dostat. Poslední kapitola byla věnovaná modelovým hodinám s využitím 3D tisku. Byly zde charakterizovány výukové cíle, metody výuky, organizační formy výuky a hodnocení žáků. V závěru kapitoly byly vytvořeny metodické listy týkající se teorie 3D tisku, základů 3D modelování, testování materiálů PLA a ABS, využití 3D tisku k vytvoření součástky a výroby vlastního ochranného krytu. Z důvodu pandemie COVID byla pouze jedna z modelových hodin realizována, a to s jedním žákem. Realizovaná hodina byla zaměřena na získávání 3D modelu.

Technologie 3D tisku je stále velmi mladá a její rozšiřování můžeme pozorovat z měsíce na měsíc. 3D tisk se stále vyvíjí a nadále vyvíjet bude. Celý proces 3D tisku se bude posilovat a rozšiřovat o nové aplikace, technologie či nové tiskařské materiály.

RESUMÉ

Tato diplomová práce pojednává o vlastnostech PLA vláken a využití 3D tiskáren v technickém vzdělávání. První dvě kapitoly jsou věnovány kyselině polylactické, zejména jejím vlastnostem. Dále jsou v práci též uvedeny příklady využití tohoto polymeru. Práce se také zabývá procesem 3D tisku, jeho historií, technologiemi, které 3D tisk využívá, také materiály, které se pro 3D tisk používají. V neposlední řadě jsou popsány hlavní komponenty 3D tiskárny. Jedna z kapitol je věnována experimentu s tiskovými strunami, které patří k nejvyužívanějším v oblasti 3D tisku. Poslední dvě kapitoly jsou věnovány využití 3D tisku a integraci 3D tiskárny na základních školách. V závěru poslední kapitoly jsou uvedeny modelové hodiny výuky 3D tisku.

This diploma thesis deals with the properties of PLA fibers and the use of 3D printers in technical education. The first two chapters are devoted to polylactic acid, especially its properties. Examples of the use of this polymer are also given in the work. The work also deals with the process of 3D printing, its history, technologies that use 3D printing, as well as the materials that are used for 3D printing. Last but not least, the main components of a 3D printer are described. One of the chapters is devoted to the experiment with printing strings, which are among the most used in the field of 3D printing. The last two chapters are devoted to teaching 3D printing and the integration of 3D printers in primary schools. At the end of the last chapter, model lessons of 3D printing are presented.

SEZNAM LITERATURY A INTERNETOVÝCH ZDROJŮ

- [1] VIDA, Mikuláš. *Studium využití esterů kyseliny mléčné pro přípravu laktidů a PLA*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [2] BRYCH, Petr. *Struktura a vlastnosti biopolymeru PLA s nanokrystaly celulózy povrchově upravených ligninem a modifikátorem houževnatosti*. Liberec, 2018. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [3] SEIDEL, Martin. *Příprava polymerních směsí s kontrolovanou dobou životnosti a testování jejich biorozložitelnosti*. Zlín, 2015. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [4] PETŘÍKOVÁ, Aneta. *Možnosti mikroenkapsulace chemických substancí v matrici*. Zlín, 2019. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [5] *Bioplasty – Polylaktid (PLA)* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.bioplasty.cz/bioplasty-polylaktid-pla/>
- [6] HORTEL, Ondřej. *Polymerace laktidů v tavenině*. Vysoké učení technické v Brně, 2016. Bakalářská práce. Brno.
- [7] *Polymléčná kyselina PLA* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://cz.dxcutlery-ar.com/info/polylactic-acid-pla-how-much-do-you-know-30513428.html>
- [8] *Ekologické nádobí nahradí to plastové. Má řadu výhod, ale jen pár nedostatků* [online]. 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.top-obaly.cz/clanky/ekologicke-nadobi-nahradi-to-plastove-ma-radu-vyhod-ale-jen-par-nedostatku>
- [9] *DuPont Packaging: PLA additive* [online]. 2006 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.packworld.com/design/materials-containers/product/13341781/duPont-packaging-pla-additive>
- [10] *Prusament* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://prusament.com/cs/materials/>
- [11] *Polymer Science* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://polymerdatabase.com/>
- [12] *Polymer Science* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.resinex.cz/produkty/natureworks-ingeo.html>
- [13] *Filament PM: PLA - grafitová černá (1,75 mm; 0,5 kg)* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.filament-pm.cz/pla-grafitova-cerna-1-75-mm-0-5-kg/p172>
- [14] WALACH KLOSKI, Liza a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-2512-4876-1.
- [15] STRŽÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. Praha: Prusa Research, 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>

- [16] *3dfactory.cz: Historie 3D tisku* [online]. 2017 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://3dfactory.cz/2017/10/27/historie/>
- [17] *Meditorial+: 3D tisk ve zdravotnictví* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.meditorial.cz/blog/3d-tisk-ve-zdravotnictvi-1617>
- [18] HANZLÍČEK, Martin. *Stavba 3D tiskárny*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [19] *DK metal prominent s.r.o: Přehled technologií 3D tisku* [online]. 2018 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>
- [20] *Materialpro 3D: ROZDÍL MEZI ABS, PLA, PETG* [online]. 2017 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>.
- [21] *Materialpro 3D: PLA FILAMENTY* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/pla-filamenty/>
- [22] *Prusa3d.cz: Průvodce materiály* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>
- [23] HORÁČEK, Petr. *Využití 3D tisku v technické výchově na ZŠ*. Brno, 2017. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně.
- [24] *Státní zdravotní ústav: UV záření* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/koupani-ve-volne-prirode/uv-zareni>
- [25] *Degradace stavebních materiálů: Degradace polymerů* [online]. Stavební fakulta ČVUT v Praze [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/DSM/DSM_10.pdf
- [26] *Gunt Hamburg: WP 300 Materials testing, 20kN* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.gunt.de/en/products/engineering-mechanics-and-engineering-design/materials-testing/tensile-compression-bending-and-hardness-testing/materials-testing-20kn/020.30000/wp300/glct-1:pa-148:ca-34:pr-1540>
- [27] *Polymery: Mechanické vlastnosti polymerů – statické namáhání* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/09.html>
- [28] SUCHÝ, Marek. *Mechanické vlastnosti polymerů*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [29] *Leapfrog 3D Printers: 3D print in education* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.lpfrg.com/applications/education-and-3d-printing/>
- [30] *Medium: Využití 3D tisku ve výuce* [online]. 2018 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://medium.com/edtech-kisk/vyu%C5%BEit%C3%AD-3d-tisku-ve-v%C3%BDuce-d3d1f9a2d13a>

- [31] *Národní ústav pro vzdělávání: Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání 2021* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/t/rvp-pro-zakladni-vzdelavani>
- [32] FADRHONC, Jan a Jan KRÁL. *Zařazení 3D modelování do výuky na základních školách* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/21429/1/Fadrhonc.pdf>
- [33] *Přůša pro školy* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://proskoly.prusa3d.cz/vyzva/>
- [34] VANĚČEK, David a kolektiv. *Didaktika technických odborných předmětů*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05991-3.
- [35] *Metodický portál RVP.cz: Výukové metody tradičního vyučování* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://clanky.rvp.cz/clanek/c/S/15015/VYUKOVE-METODY-TRADICNIHO-VYUCOVANI.html/>
- [36] ŠIMONÍK, Oldřich. *Úvod do školní didaktiky*. Brno: MSD s.r.o, 2003. ISBN 80-86633-04-7.
- [37] KOLÁŘ, Zdeněk a Renata ŠIKULOVÁ. *Hodnocení žáků*. Pardubice: Grada Publishing, 2005. ISBN 80-247-0885-X.
- [38] AICHINGER, D., BRÄNDLE, M., EKKERT, F., FADRHONC, J., HELLER, K., HONZÍKOVÁ, J., HONZÍK, L., HORLACHER, B., HRDLIČKA, J., JURICH, N., KANTA, T., KORÁLOVÁ, E., KRAITR, M., KRÁL, J., KRANZINGER, F., KROTKÝ, J., LIŠ, J., PRCHLÍK, J., RICHTER, V., SIMBARTL, P., SPURK, M., ŠTICH, L., ŠTROFOVÁ, J., TOMISOVÁ, K., TREIN. *Učení pro život a práci: Metodická příručka pro 2. stupeň ZŠ vzdělávací oblast Člověk a svět práce*. © Dr. Josef Raabe Slovensko, 2017. ISBN 978-80-8140-285-2.

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1: Výroba PLA [5]	6
Obrázek 2: Strukturní vzorec PLA [7]	7
Obrázek 3: Filament PLA [13]	10
Obrázek 4: Využití 3D tisku [15]	13
Obrázek 5: Díly extrudéru [14]	14
Obrázek 6: Kartézská tiskárna [14]	16
Obrázek 7: Delta tiskárna [14].....	16
Obrázek 8: Technologie FDM/FFF [19]	18
Obrázek 9: Technologie SLA [19]	19
Obrázek 10: Technologie SLS + DMLS [19].....	20
Obrázek 11: Technologie SHS [19].....	21
Obrázek 12: Technologie BJ [19].....	22
Obrázek 13: Filament PLA [22]	23
Obrázek 14: Filament FLEX [22].....	26
Obrázek 15: Tiskové struny v průběhu ozařování.....	30
Obrázek 16: WP 300 GUNT HAMBURG [26]	30
Obrázek 17: Schéma rozdělení mechanických charakteristik [27]	31
Obrázek 18: Deformační křivky polymerů v tahu [27]	32
Obrázek 19: Upravená čelist pro měření	33
Obrázek 20: PLA – transparentní modrá po roztržení.....	33
Obrázek 21: PLA černé během měření.....	35
Obrázek 22: 3D tisk ve školním prostředí [33]	40
Obrázek 23: Ukázka projektu [33]	41
Obrázek 24: Ukázka věšáku	49
Obrázek 25: Vybraný žák při práci na 3D modelu.....	51
Obrázek 26: Výsledný 3D model domku	51
Tabulka 1: Fyzikální a mechanické vlastnosti PLA [3] [6].....	8
Tabulka 2: Teplota tání v závislosti na poměru L/D izomerů [2]	9
Tabulka 3: Vlastnosti PLA, ABS, PET-G [20]	25
Graf 1: Měření PLA – transparentní modrá.....	34
Graf 2: Měření PLA – svítící ve tmě	34
Graf 3: Měření PLA - černé.....	35
Graf 4: Měření ABS	36