

Gymnázium Přírodní škola, o.p.s.
Profilová práce — třída Ný
Nižší stupeň studia
2018/2019

Štěpán Koutník

3D tisk školních pomůcek

Vedoucí práce: Mgr. Štěpán Macháček

Datum odevzdání: 22. listopadu 2018

Obsah

Úvod.....	1
Cíle.....	1
Postup práce.....	1
Historie 3D tisku	2
Využití 3D tisku	2
Typy 3D tiskáren.....	3
Fused Deposition Modeling (FDM).....	3
Kartézská	3
Delta 3D.....	4
Polar 3D.....	5
Scara 3D.....	6
Stereolitografie (SL)	7
DLP.....	7
SLP.....	7
Selective Laser Sintering (SLS)	7
Tiskové struny (filamenty)	8
PLA (polylactic acid – kyselina polymléčná).....	8
ABS (Akrylonitrilbutadienstyren)	8
HIPS (high impact polystyrene - houževnatý polystyrén).....	8
PVA (polyvinylalkohol)	8
FLEX.....	8
PETG (Polyetyltereftalát)	8
TPE - termoplastický elastomer	8
Tisk pomůcek.....	9
Chemie.....	9
Vodík.....	9
Uhlík.....	10
Benzen.....	11
Uhlík v benzenu	12
Matematika	13
Platónská tělesa.....	13
Biologie	14
Rostlinná a živočišná buňka.....	14
DNA	16
Zkušenosti.....	19
Lepení.....	20
Závěr	20
Použitá literatura a zdroje	21

Úvod

Na expedici v roce 2018 jsem pracoval ve skupině 3D modely. Digitálně jsme modelovali budovy na náměstí v Bělé pod Bezdězem. Bavilo mě to, a proto jsem si přál něco podobného dělat i v profilové práci a naučit se při tom pracovat s 3D tiskárnou. Rozhodl jsem se, že vytvořím soubor pomůcek pro učitele.

Cíle

Cílem práce je vymodelovat pomůcky do biologie (model DNA, živočišnou a rostlinou buňku), chemie (metan, etan, butan, cyklohexan a benzen) a matematiky (sadu platónských těles) a vytisknout je. A také napsat zajímavosti o 3D tisku a o zkušenostech s reálným 3D tiskem.

Postup práce

Zeptal jsem se učitelů, jaké pomůcky by jim pomohly s vyučováním. Zájem byl o modely do hodin biologie, chemie a matematiky. Modely jsem musel před tiskem digitálně vytvořit. Na to jsem si vybral program Sketchup Make 2017, protože tuto verzi nabízí Google zdarma a již jsem se s ním seznámil na expedici. Před tvorbou modelu jsem nejdříve nastudoval vzhled reálného objektu, například poměry vzdáleností, velikosti úhlů a co všechno objekt obsahuje. Postupně jsem ve Sketchupu modeloval jednotlivé modely a jejich provedení konzultoval s učiteli.

V programu Slic3r jsem digitální 3D modely připravil pro tisk a tisknul je na zapůjčené 3D tiskárně Prusa i3 MK3.

Historie 3D tisku

Technologie 3D tisku se poprvé objevila v 80. letech 20. století. Nazývala se ale tehdy Rapid prototyping. Jmenovala se tak, protože byla dříve používána jako rychlejší metoda na vytváření prototypů pro vývoj průmyslových produktů. První patent na tuto technologii podal v roce 1980 Dr. Kodama z Japonska. Nedodal ale úplnou specifikaci před koncem ročního termínu pro podání žádosti.

V roce 1986 byl vydán první patent na technologii tisku stereolitografie. Tato technika vytváří objekty pomocí vytvrzování polymerů pomocí UV záření. Tento patent patřil Charlesi Hullovi, který založil firmu 3D systems. Vytvořil také první zařízení tisknoucí v 3D formátu pro širokou veřejnost. Vývoj 3D tiskáren byl velmi zrychlen po roce 2003, kdy vypršelo několik patentů. Tiskárny se začaly vyrábět jednodušeji a ve velkém, čímž začala klesat jejich cena.

Využití 3D tisku

3D tisk se využívá nejvíce ve zdravotnictví, průmyslu a v řadě dalších oborů.

Ve zdravotnictví se již podařilo vytisknout umělé kosti, ucho a čelist. V budoucnu by ale mělo jít tisknout z embryonálních kmenových buněk a vytvářet z nich celé orgány pro transplantace.

V průmyslu se využívá 3D tisk na vyrábění prototypů, plně funkčních dílů a je také užitečný na výrobu náhradních dílů, protože díly nemusí ležet někde ve velkém skladu, ale stačí je mít uložené v digitální databázi.

3D tisk začali využívat i výrobci sportovní obuvi Adidas a Nike. Tisknou prototypy nových bot, protože je to mnohem rychlejší než je šít ručně.

Také se využívá na vytváření dinosauřích kostí. Když paleontologové najdou nějakou vzácnou kost, tak si musejí dát velký pozor, aby ji nezničili při zkoumání. Proto využijí 3D tisk naskenují kost a vytisknou ji.

Protože se 3D tiskárny neustále zlevňují, je možné je využívat i pro zábavu a domácí využití. Nejlevnější 3D tiskárny stojí okolo 5 tisíc Kč. Je možné si tedy tiskárnu koupit

a vytvořit na ní například nějaký předmět či postavu z oblíbeného filmu nebo si vytvořit náhradní díly pro domácí využití.

Typy 3D tiskáren

Fused Deposition Modeling (FDM)

Jedná se o nejrozšířenější technologii tisku. Tato metoda funguje podobně jako tavná pistole. Tryska roztaví plast a začne ho tryskou nanášet vrstvu po vrstvě. Tiskárna, se kterou jsem pracoval, je kartézského typu. To znamená, že se pohybuje na třech lineárních osách. Tryska se pohybuje horizontálně a vertikálně a deska, na kterou tiskne, se pohybuje dopředu a dozadu.

Kartézská

Asi nejtradičtější ovládání na třech lineárních osách. V různých kombinacích, kdy se pohybuje extrudér (tisková hlava) na dvou osách a podložka na jedné. Většina tiskáren je čtvercového tvaru.

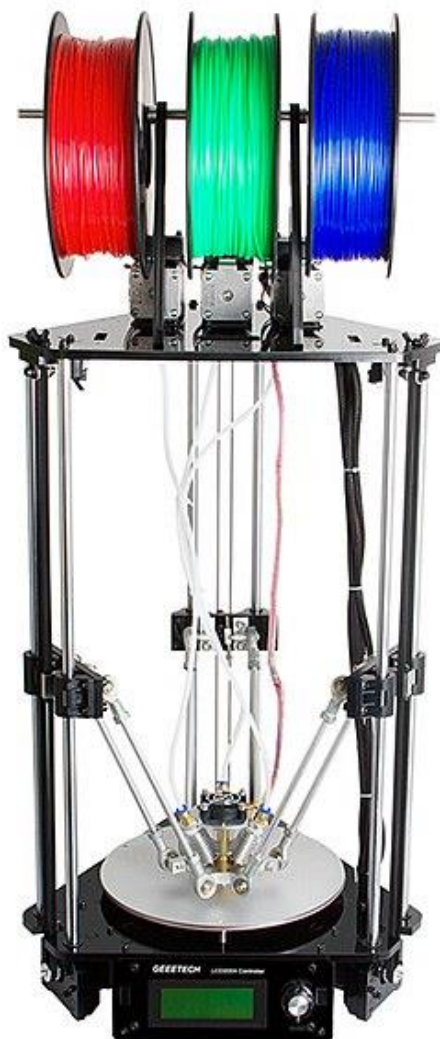


Obrázek 1: Ukázka kartézské 3D tiskárny.

Zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Prusa_i3_metal_frame.jpg

Delta 3D

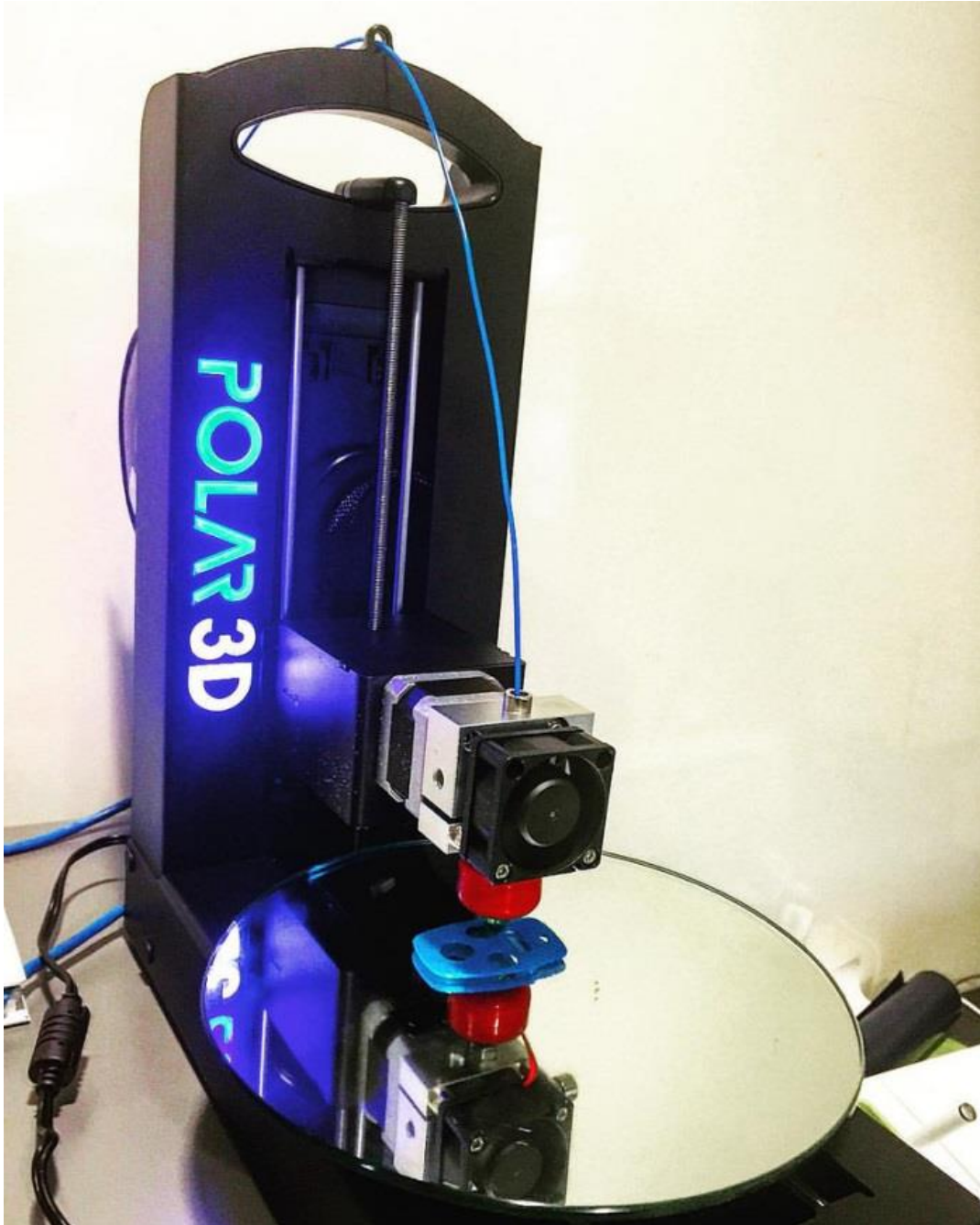
Tyto tiskárny využívají 3 ramena, která jsou zavěšena na extrudéru, který ovládají. Tato tiskárna má proto velký tiskový prostor a pracují rychleji, je ale těžší ji sestavit a kalibrovat.



Obrázek 2: Ukázka 3D tiskárny využívající metodu delta 3D
Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geeetech_Rostock_301.jpg

Polar 3D

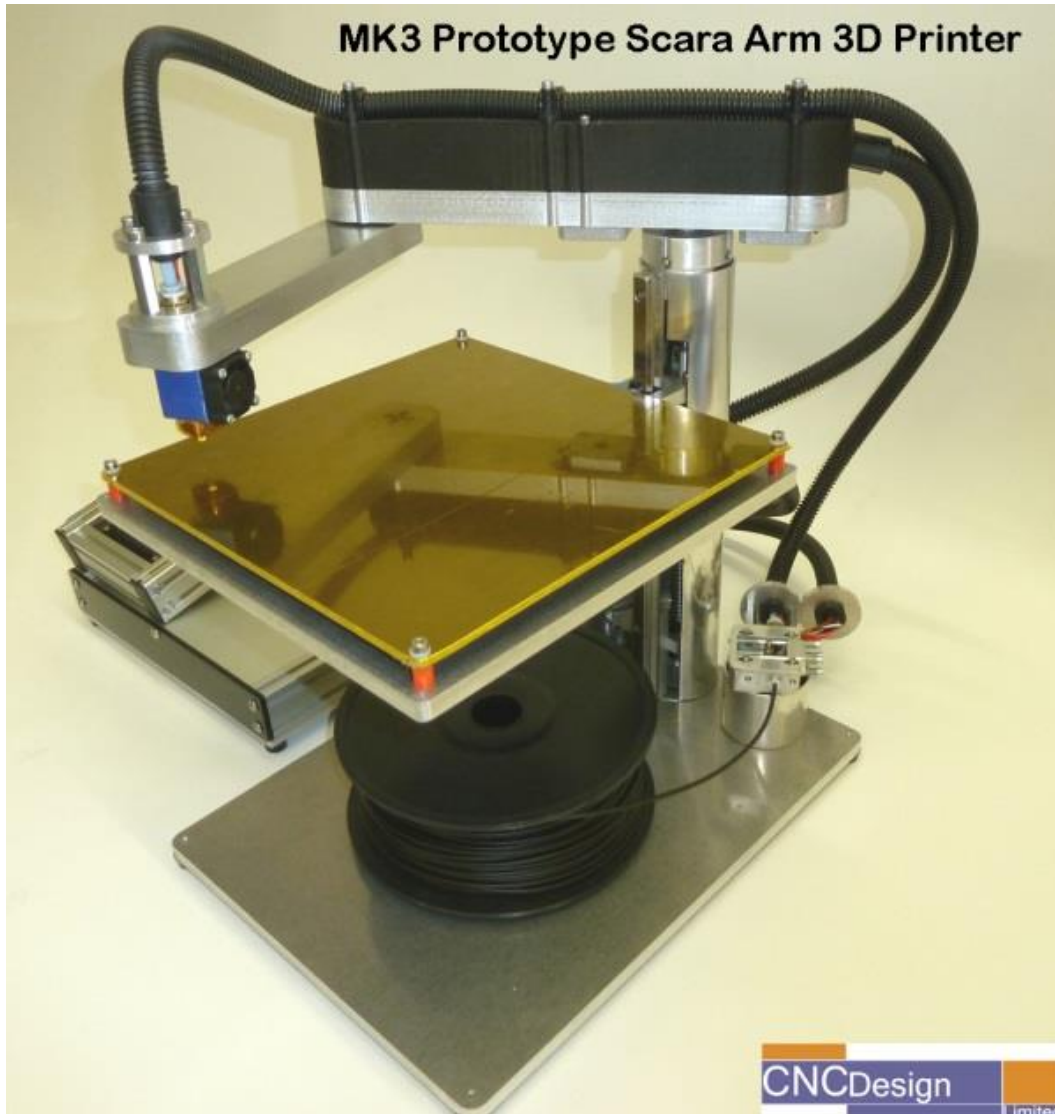
Tiskárny používají 2 osy pro pohyb tiskové hlavy a rotační podložky. Tento systém je docela nový a ještě není moc programů, které by dokázaly s tímto systémem pracovat.



Obrázek 3: Ukázka 3D tiskárny využívající metodu Polar 3D
Zdroj <https://www.flickr.com/photos/billselak/22631357080>

Scara 3D

Tiskárny používají 2 robotická ramena nebo jedno rameno se dvěma klouby. Jsou jednoduché na sestavení. Tento systém tisku je ale velmi málo využívaný.



Obrázek 4 Ukázka 3D tiskárny využívající metodu Scara 3D

Zdroj: <https://cnc-99.blogspot.com/2014/06/new-scara-3d-printer-design-by-sean-aka.html>

Stereolitografie (SL)

Funguje tak, že vytvrzuje fotocitlivou pryskyřici pomocí záření různých vlnových délek. Stereolitografie se využívá v lékařství, šperkařství a ve slévačství.

DLP

Používá spodní osvit pomocí DLP projektoru. Tiskne přesně a hladce.

SLP

funguje podobně jako DLP. Používá ale laser seshora nebo zespona přes poloprůhledné sklo.

Selective Laser Sintering (SLS)

Tiskárny s touto technologií spékají pomocí laseru v prachové komoře prášek. Tenká vrstva se speče laserem na místech, kde je to potřeba a pomalu začne vznikat po vrstvách 3D model.

Tiskové struny (filamenty)

PLA (polylactic acid – kyselina polymléčná)

Materiál PLA je na 3D tisk nejvhodnější. Má nejlepší kvalitu a přesnost tisku. Jedinou jeho nevýhodou je, že měkne při nízké teplotě a není vhodné ho používat ve vyšších teplotách než 60°C.

ABS (Akrylonitrilbutadienstyren)

Má výhodu, že může být vystavován vyšším teplotám než materiál PLA. Při jeho chladnutí se zmenšuje objem a může dojít k deformaci modelu.

HIPS (high impact polystyrene - houževnatý polystyrén)

Tento materiál se používá na vytváření podpurných konstrukcí. Je ale potřeba mít tiskárnu s dvěma extrudery. Jeden extruder tiskne model a druhý podpurné konstrukce. Lze po tisku rozpustit pomocí limonenu.

PVA (polyvinylalkohol)

Funguje podobně jako HIPS, ale rozpouští se vodou.

FLEX

Tento materiál se využívá na tisk gumových předmětů. Tisk je ale složitý a zdlouhavý.

PETG (Polyetylentereftalát)

Materiál PETG je stejný jako materiál PET, ze kterého se vyrábějí PET-láhev. Je odolný proti kyselinám a rozpouštědlům.

TPE - termoplastický elastomer

TPE je flexibilní plast vhodný pro tisk pružných součástí jako jsou například těsnění, pneumatiky na modely aut, pružný obal na mobil apod.

Tisk pomůcek

Při seznámení s technologií tisku jsem zjistil, že nebude možné tisknout pomůcky celé najednou a je bude potřeba rozdělit na díly, které se nakonec slepí. Tiskárna totiž neumí tisknout „do vzduchu“ a nezvládá tisk velkých převisů. Také je potřeba zajistit, aby se díly dotýkaly podložky co největší plochou.

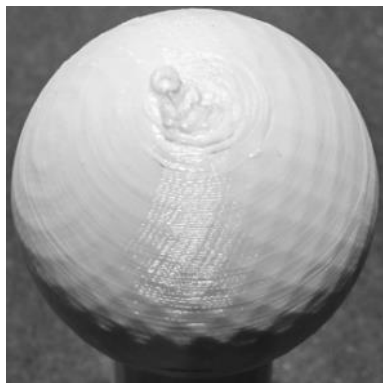
Chemie

Pro výuku chemie jsem vytvořil pět modelů molekul uhlovodíků. V tabulce jsou uvedeny počty jednotlivých částí, ze kterých jsem molekuly sestavoval.

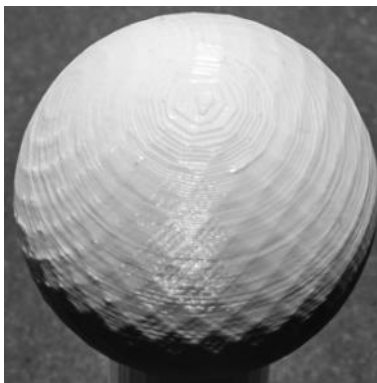
Molekula	Vodík	Uhlík	Vazba
Methan	4	1	0
Ethan	6	2	1
Butan	10	4	3
Benzen	6	6	6
Cyklohexan	12	6	6
Součet	38	19	16

Vodík

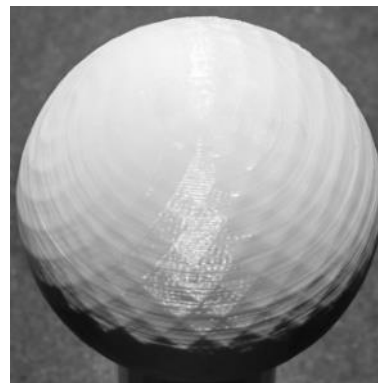
Vodík jsem tiskl spojený s vazbou. Atom vodíku měl průměr 4cm, protože podle učitelky chemie je tato velikost ideální. Délka vazby byla 6 cm a šířka 2cm. Nejdříve jsem tiskl vazbu a na ni jsem vytiskl vodík, protože je vazba dole rovná a je možné ji tisknout bez podpěr. Po prvním tisku se vodík odlepil od podložky, protože měl dole nedostatečnou plochu. Vytiskl jsem tedy ostatní s límcem širokým 1,5 cm okolo vazby. Při tisku nejvyšší části vodíku začal model vibrovat a třást se. Bylo tedy nutné snížit rychlost tisku. Když jsem poslední vrstvy vodíku tisknul s menší tloušťkou vrstvy, vypadal vzhled nejlépe.



Obrázek 5: Poničení vršku vodíků způsobené vibracemi.



Obrázek 6: Výrazné vrstvy na vršku vodíku při tisku se standardní tloušťkou vrstvy 0,15 mm



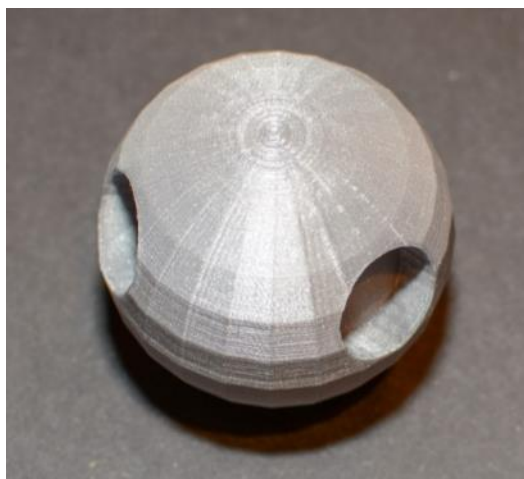
Obrázek 7: Hladký povrch vodíku při tisku s 0,05 mm tloušťkou horních vrstev.

Orientace	vazbou na podložku
Límec	15mm
Tloušťka vrstvy	0,15mm
Horní vrstvy	0,05mm
Hustota výplně	5%

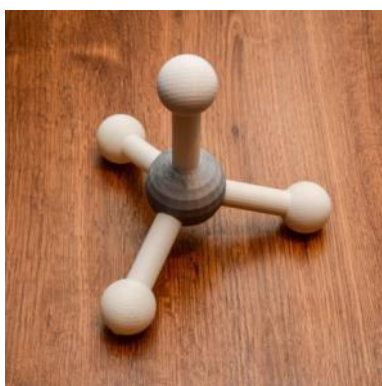
Uhlík

V kouli představující model uhlíku jsou 4 otvory, které svírají úhly $109^{\circ}28'$. To je úhel, který svírají vazby vycházející z molekuly uhlíku v organických molekulách. Protože atom uhlíku má tvar koule, je nutné ji tisknout s podpěrami. Podpěra ale v místě dotyku zhoršuje vzhled povrchu modelu. Proto jsem ho tiskl dírou dolů, aby poškozená část byla co nejmenší. Zkoušel jsem podporu nahradit pouze límcem, model se ale během tisku neudržel na podložce.

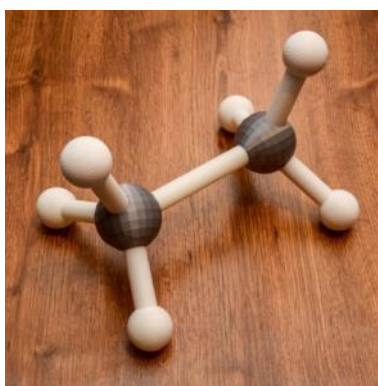
Orientace	dírou na podložce
Podpěra	automaticky vygenerovaná programem
Tloušťka vrstvy	0,15mm
Horní vrstvy	0,05mm
Hustota výplně	10%



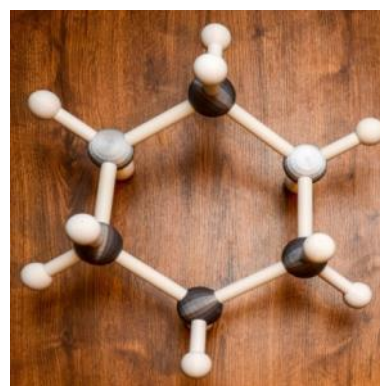
Obrázek 8: Uhlík



Obrázek 9: metan



Obrázek 10: etan

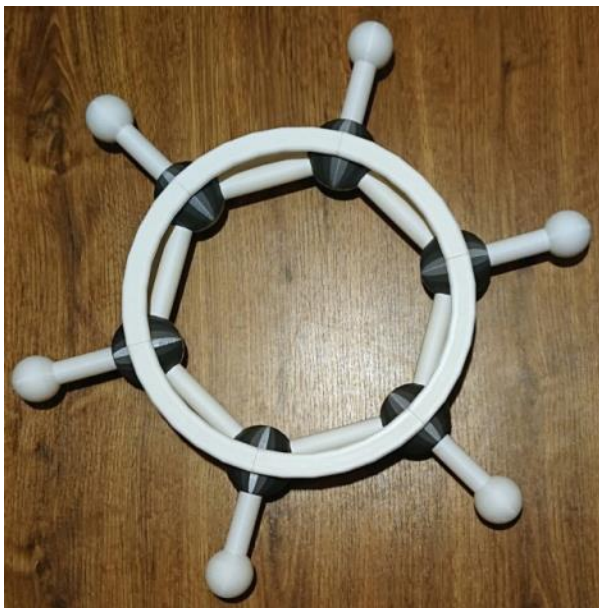


Obrázek 11: cyklohexan

Benzen

Kruh π elektronů sem rozdělil na 6 částí. Nejdříve jsem zkoušel tisknout jednu celou část, byla ale ze spodu nevzhledná. Tiskl jsem tedy každou část na dvě půlky.

Podpěra	bez podpěr
Tloušťka vrstvy	0,15mm
Horní vrstvy	0,15mm
Hustota výplně	20%



Obrázek 12: benzen



Obrázek 13: detailní pohled na benzen z boku

Uhlík v benzenu

Protože jsem nebyl spokojen s kvalitou uhlíků v předchozích molekulách (nevzhledná spodní polovina uhlíku) tak jsem se rozhodl, že je vytisknu na dvě poloviny. Měly na sobě také dvě díry navíc na upevnění π elektronů. Uhlíky jsem tiskl se stejnými parametry jako předtím.



Obrázek 14: polovina uhlíku

Matematika

Platónská tělesa

Platónská tělesa jsou tělesa, která mají každou hranu stejně dlouhou a z každého vrcholu vychází stejný počet hran.

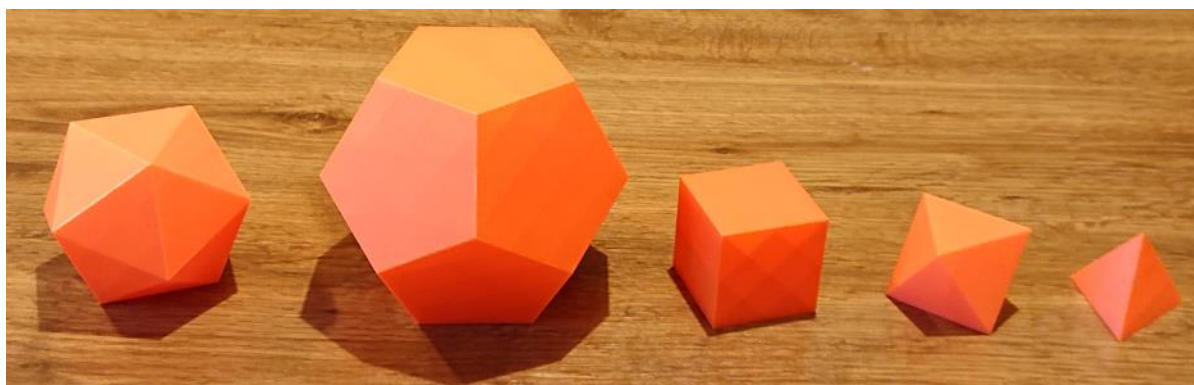
Pro snadnější rozhodování, jak velké modely platónských těles vytvořit, jsem sestrojil následující tabulku:

Těleso	Délka hrany	5cm	10cm	15cm	20cm
Čtyřstěn	Čas (h)	0:45	2:05	4:05	7:01
	Délka (cm)	1,75	8,86	23,48	47,08
	Cena (Kč)	2,91	14,74	39,06	78,32
Šestistěn	Čas (h)	1:39	5:57	14:14	2:58
	Délka (cm)	9,05	47,02	129,4	271,67
	Cena (Kč)	15,06	78,22	215,27	451,96
Osmistěn	Čas (h)	1:13	3:19	7:49	14:41
	Délka (cm)	4,53	23,51	64,89	136,35
	Cena (Kč)	7,54	39,11	107,95	226,84
Dvanáctistěn	Čas (h)	5:07	14:19*		
	Délka (cm)	39,66	134,65*		
	Cena (Kč)	65,98	224,01*		
Dvacetistěn	Čas (h)	3:03	12:33**		
	Délka (cm)	14,84	83,95**		
	Cena (Kč)	24,69	139,66**		

*Dvanáctistěn: maximální velikost hrany 8cm (údaje uvedeny v řádku "10cm") protože větší se na tiskárnu nevejde

**Dvacetistěn: maximální velikost hrany 10cm protože větší se na tiskárnu nevejde.

Modely jsem tiskl s délkou hrany 5 cm.



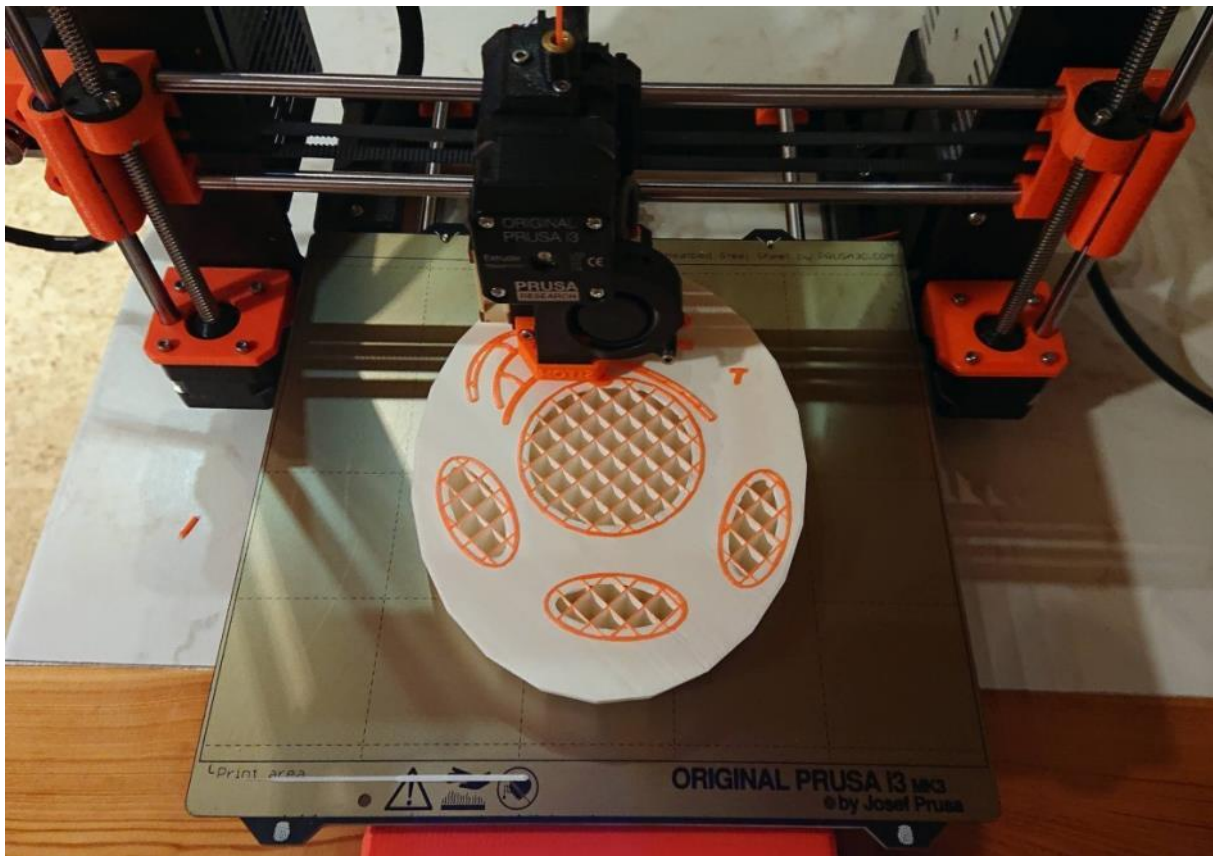
Obrázek 15: platónská tělesa

Biologie

Rostlinná a živočišná buňka

Orientace	plochou na podložce
Podpěra	bez podpěr
Tloušťka vrstvy	0,15mm
Horní vrstvy	0,05mm
Hustota výplně	10%

Buňky jsem tiskl dvoubarevně. To znamená, že se před tiskem definované vrstvy tiskárna zastaví a vyžádá si výměnu filamentu.



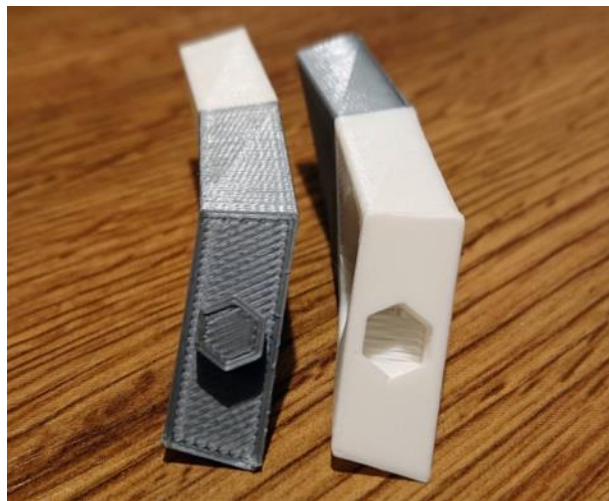
Obrázek 16: Tisk živočišné buňky – první vrstva po výměně filamentu



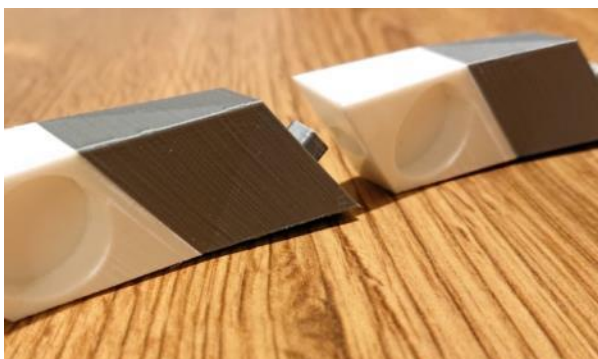
Obrázek 17: živočišná buňka

DNA

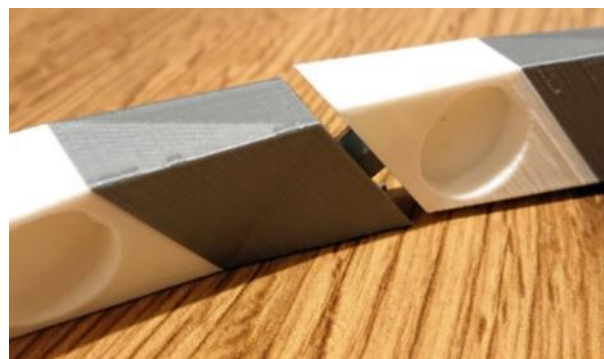
Je to složitý tvar a proto bylo potřeba ho rozdělit na daleko víc částí než v modelech pro chemii. Dvoušroubovici jsem rozdělil na 28 částí, které jsem tiskl dvoubarevně. Části jsem tiskl tak, aby se daly spojovat jako lego kostičky. V každé této části je jeden otvor určený na zasunutí dusíkaté báze. Tiskl jsem také 28 dusíkatých bází a 12 vodíkových můstků. Písmenka, která označují dusíkaté báze, mají pouze jednu vrstvu, aby se dala ohnout a nalepit na dusíkaté báze. Bylo potřeba vyřešit uchycení šroubovic a celkové zpevnění modelu. Proto jsem vytisknul kruhový podstavec a nástavec se šesti otvory. Dva byly určené na upevnění dvoušroubovice a čtyři na propojení podstavce a nástavce plastovými tyčkami.



Obrázek 18: detailní pohled na spoj dvoušroubovice



Obrázek 19: detailní pohled na spoj dvoušroubovice



Obrázek 20: detailní pohled na spoj dvoušroubovice



Obrázek 21: detailní pohled na spojení dvou dílů dvoušroubovice



Obrázek 22: vytištěná sada dílů dvoušroubovice včetně límce, který zajišťuje během tisku pevnější uchycení modelu k podložce

Dvoušroubovice

Orientace	na výšku
Límec	20 mm
Tloušťka vrstvy	0,15 mm
Horní vrstvy	0,15 mm
Hustota výplně	10%

Dusíkatá báze

Orientace	na výšku
Límec	bez límce
Tloušťka vrstvy	0,15 mm
Horní vrstvy	0,05 mm
Hustota výplně	5%

Podstavec, nástavec

Orientace	na plocho
Límec	bez límce
Tloušťka vrstvy	0,15 mm
Horní vrstvy	0,15 mm
Hustota výplně	10%

Vodíkové můstky

Orientace	na výšku
Límec	5 mm
Tloušťka vrstvy	0,15 mm
Horní vrstvy	0,15 mm
Hustota výplně	50%

Písmenka

Orientace	na výšku
Límec	bez límce
Tloušťka vrstvy	0,15 mm
Horní vrstvy	0,15 mm
Hustota výplně	0%

Zkušenosti

Při tisku se vyskytlo několik problémů. Prvním problémem bylo to, že se mi nedařilo odmastit tiskovou plochu. I když je plocha jen nepatrně mastná, filament na ní nedrží a během tisku se odlepí. Vyzkoušel jsem několik odmašťovadel (Alpa a čisticí prostředek na okna), ale jediné, které zafungovalo, byl izopropylalkohol.

Další problém se mi stal, když jsem tiskl uhlíky. Měl jsem špatně zkalibrovanou první vrstvu a uhlík nešel vytisknout. Po kalibraci se problém opakoval, filament se po chvíli uvolnil z podložky. Musel jsem ho tedy vytisknout s podpěrami. Bylo také potřeba zvýšit hustotu výplně, protože se obvody děr v uhlíku tiskly špatně.

Vodíky s vazbou nešlo tisknout bez jakékoli podpory. Jsou vysoké a tak se během tisku začaly kvůli vibracím odlepovat od podložky. Proto jsem musel kolem nich udělat límec, aby lépe držely.

Měl jsem také problém s tím, že nešlo tisknout, když jsem měl pojmenovaný soubor na SD kartě s diakritikou. Tiskárna mi totiž zobrazovala nesmyslnou chybu, že soubor není úplný.

Tisk je pomalý. Vytištění i jednoduchého předmětu může trvat hodiny, složitějšího i desítky hodin. Na délku tisku má především vliv:

- Tloušťka jedné vrstvy (kvalita tisku). Na mé tiskárně je pro standardní tisk doporučená tloušťka 0,15 mm. Jemný tisk má tloušťku 0,05 mm. Například jemný tisk vodíku by trval 10 hodin 2 minuty, což je přibližně 3,5x déle než tisk standardní.
- Hustota výplně.
- Tisk podpor.
- Tisk více objektů najednou:

Počet vodíků	Čas	Průměrná délka tisku jednoho vodíku	Úspora času
1	2:45:45	2:45:45	0:00:00
2	4:18:41	2:09:20	1:12:49
3	5:18:16	1:46:05	2:58:59
6	9:28:53	1:34:49	7:05:37
9	14:14:24	1:34:56	10:37:21
12	19:00:54	1:35:05	14:08:06

V případě tisku vodičů bylo nejlepší je tisknout modely po 6, protože průměrná délka tisku jednoho vodiče je nejkratší. Zároveň je ale nutné brát v potaz, že čím víc modelů budu najednou tisknout, tím se zvyšuje riziko jejich poničení při tisku (např. zaseknutí tiskové hlavy o odchlípnutou tištěnou vrstvu).

Lepení

K lepení jsem používal sekundové lepidlo. Osvědčil se mi gelový typ, protože při přiložení lepených částí k sobě lze ještě pár sekund částmi pohybovat a umístit je přesně do požadované pozice. Pro lepení namáhaných spojů jsem použil před aplikací sekundového lepidla aktivátor, který povrch lepených stran naleptá a lepidlo lépe přilne.

Závěr

V rámci své profilové práce jsem vytvořil 13 pomůcek. Vytvořené pomůcky jsem předal učitelům Přírodní školy k použití ve výuce. Práce mě bavila a líbila se mi. Myslím si, že moje práce pomůže nejen učitelům ale i žákům. Rád bych v této práci pokračoval na vyšším stupni.

Použitá literatura a zdroje

3D tisk začíná měnit výrobní průmysl | Computerworld.cz. *Computerworld.cz | Deník pro IT profesionály* [online]. [cit. 7. 10. 2018] dostupné

z: <https://computerworld.cz/hardware/3d-tisk-zacina-menit-vyrobní-prumysl-54727https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/3d-tisk-dobyva-cesky-prumysl.htm>

10 nejoriginálnějších využití 3D tiskárny | Ábíčko.cz. *Zábava, příroda, věda a technika* | Ábíčko.cz [online]. Copyright © 2001 [cit. 1.10.2018]. Dostupné

z: <https://www.abicko.cz/clanek/precti-si-technika/15717/10-nejoriginalnejsich-vyuziti-3d-tiskarny.html>

Přispěvatelé Wikipedie, *3D tisk* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2018, Datum poslední revize 11. 11. 2018, 19:47 UTC, [citováno 6. 10. 2018] Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=3D_tisk&oldid=16628902>

Typy 3D tiskáren – MakersLab | 3D tiskárny, 3d tisk Praha, firemní školení a workshopy. *MakersLab | 3D tiskárny, 3d tisk Praha, firemní školení a workshopy* [online]. Copyright © 2016 [cit. 6.10.2018]. Dostupné

z: <https://makerslab.cz/typy-3d-tiskaren/>

Využití 3D tisku ve zdravotnictví - VZP ČR. *VZP ČR* [online]. Copyright © 2018 VZP ČR, Všechna práva vyhrazena [cit. 7.10.2018]. Dostupné z: <https://www.vzp.cz/o-nas/tiskove-centrum/otazky-tydne/vyuziti-3d-tisku-ve-zdravotnictvi>

Český průmysl sází na 3D tisk. Používá se už při výrobě aut i letadel – Novinky.cz . *Novinky.cz – nejčtenější zprávy na českém internetu* [online]. Copyright © 2003 [cit. 7.10.2018]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/ekonomika/435062-cesky-prumysl-sazi-na-3d-tisk-pouziva-se-uz-pri-vyrobe-aut-i-letadel.html>

<https://www.novinky.cz/ekonomika/435062-cesky-prumysl-sazi-na-3d-tisk-pouziva-se-uz-pri-vyrobe-aut-i-letadel.html>

3D tiskárny mají velký potenciál: Dokážete ho využít i vy?. [online]. Copyright ©2011 [cit. 7.10.2018]. Dostupné z: <http://www.businessit.cz/cz/3d-tiskarny-maji-velky-potencial-dokazete-ho-vyuzit-i-vy.php>

<http://www.businessit.cz/cz/3d-tiskarny-maji-velky-potencial-dokazete-ho-vyuzit-i-vy.php>

FUTUR3D | Stereolitografie - DLP 3D tisk. *FUTUR3D | 3D tiskárny, 3d tisk a 3d*

skenování [online]. Dostupné z: <https://www.futur3d.net/stereolitografie-dlp-3d-tisk>

Historie 3D tisku... - 3dfactory.cz. *Úvod* - 3dfactory.cz [online]. Dostupné z: <https://3dfactory.cz/2017/10/27/historie/>

Prusa3D - 3D tisk a 3D tiskárny od Josefa Průši [online]. Copyright © [cit. 22.11.2018]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/downloads/manual/Prusa-i3-manual-mk2-cz.pdf>