



Funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

**STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ PREŠOV**

# 3D TLAČ

**TEÓRIA A PRAKTICKÁ PRÍRUČKA K OBSLUHE TLAČIARNE**

**PRUŠA i3 MK2 / MK3**



**Ing. Jozef Macej**

## **OBSAH:**

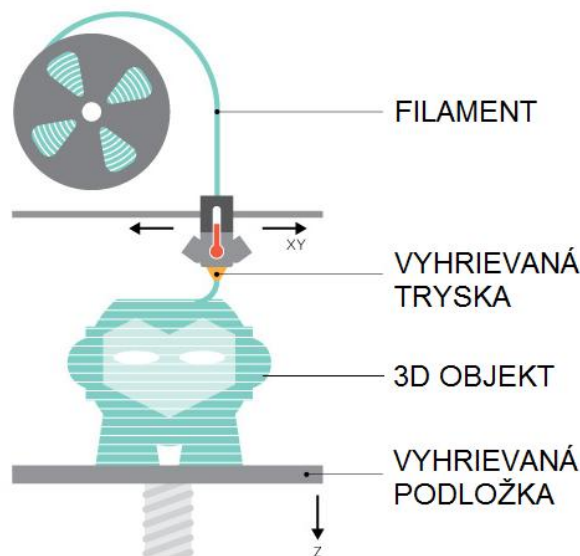
1. Čo je 3D tlač? .....	2
2. História 3D tlače .....	8
3. Súčasnosť 3D tlače .....	9
4. Konštrukcia 3D tlačiarne .....	10
5. Prehľad materiálov používaných pri technológii FDM .....	13
6. Generovanie 3D objektu pre 3D tlač .....	16
7. Príprava objektu na 3D tlač .....	25
8. Tlač 3D objektu .....	30
Zdroje informácií .....	31
Zdroje obrázkov .....	32

## 1. ČO JE 3D TLAČ?

3D tlač, alebo tiež aditívna výroba (Additive Manufacturing) je proces, ktorý sa používa pre výrobu trojrozmerných objektov z digitálnych dát. Využitím technológie nanášania alebo tuhnutia tenkých vrstiev materiálu je možné vytvoriť i zložité tvary, ktoré nemožno vyrobiť konvenčnými metódami ako je trieskové obrábanie či odlievanie [1]. 3D tlač je pojem ktorý zahŕňa niekoľko rôznych technológií výroby 3D objektov. Každá z týchto metód sa vyznačuje svojou oblasťou použitia, výhodami a nevýhodami.

### Technológia FDM

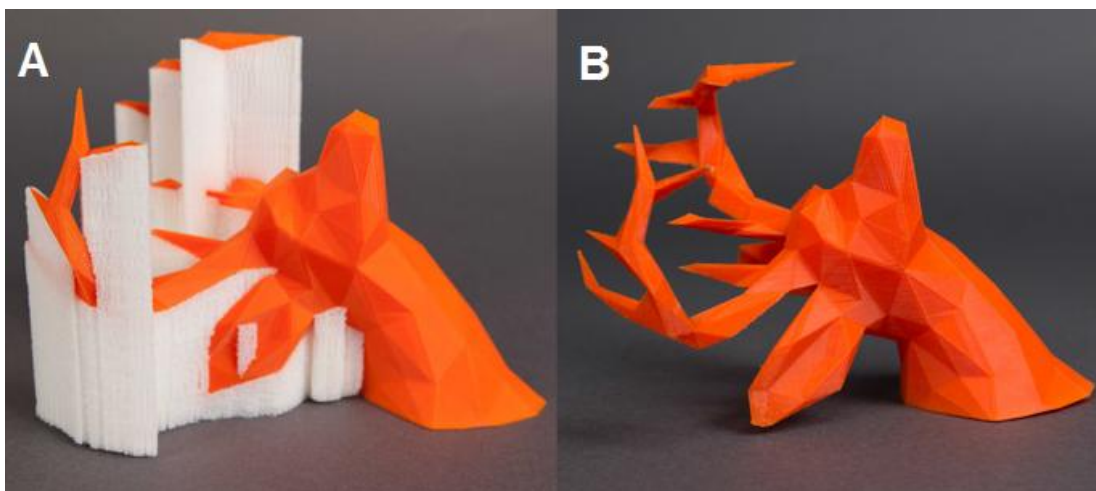
Metóda FDM (Fused Deposition Modeling) na obr.2 je v súčasnosti najčastejšie využívaná metóda 3D tlače. Je založená na princípe nanášania vrstiev roztaveného plastového drôtu (Filamentu) cez tlačovú hlavu (Extruder) ktorá na konci obsahuje vyhrievanú trysku [2]. Posúvanie a presné dávkovanie filamentu je zabezpečené krokovým motorom. Roztavený materiál sa vrstvu po vrstve ukladá na vyhrievanú podložku (Heatbed). Podložka je vyhrievaná z dôvodu zamedzenia krútenia 3D objektu v dôsledku rozdielu teplôt na spodnej a vrchnej časti tlačeného objektu. Tryska (Nozzle) je ohrievaná na teplotu tavenia plastu a môže byť polohovaná pomocou krokových motorov v troch osiach - X,Y,Z. Často je tlačová hlava polohovaná len v dvoch osiach, napr. X,Y a tlačová podložka je polohovaná v smere osi Z.



Obr.2 Technológia FDM

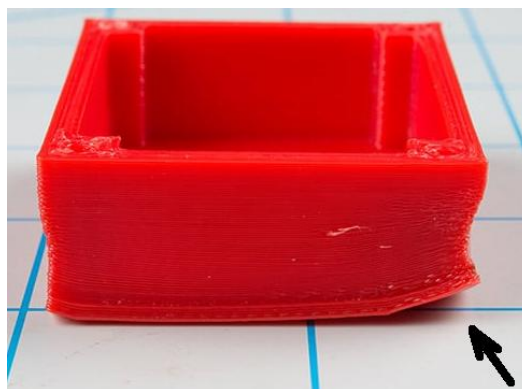
Táto metóda je využívaná hlavne na účely rýchleho prototypovania (Rapid Prototyping). Ak nejaká firma vyrába kovové alebo plastové súčiastky metódou odlievania, môže si prototyp navrhovanej súčiastky najprv vytlačiť na 3D tlačiarni, skontrolovať správnosť návrhu a ak bude prototyp súčiastky spĺňať očakávania, potom sa pristúpi k výrobe foriem na odlievanie súčiastok a spustí sa ich masová produkcia.

3D tlačiarne pracujúce na princípoch tejto metódy sa vyznačujú relatívne nízkou cenou a postačujúcou presnosťou tlače pre väčšinu aplikácií. Vzhľadom na nízku cenu si ich môže dovoliť aj malá firma, škola, alebo aj súkromná osoba ktorá použije tlačiareň na hobby účely. Medzi možné nevýhody možno zaradiť nutnosť používania podporného materiálu. Podporný materiál sa používa v prípadoch ak pod nanášanou vrstvou nič nie je a nanášaná vrstva by sa nemala na čom udržať ako je znázornené na obr.3. Podporný materiál sa po ukončení tlače stáva odpadom, niekedy je dosť prácne ho odstraňovať a niekedy sú aj nutné dodatočné povrchové úpravy. Pri moderných 3D tlačiarňach sú počas tlače používané dva druhy filamentov - hlavný konštrukčný materiál a vo vode rozpustný pomocný materiál. Po ukončení 3D tlače je na určitý čas objekt ponorený do vody a podporný materiál ostane rozpustený vo vode.



*Obr.3 Objekt s podporným materiálom - A, po odstránení podporného materiálu -B*

Nepříjemným javom FDM technológie je možné krútenie objektu počas tlače - obr.4. Okrem vyhrievania podložky sú profesionálne tlačiarne celé umiestnené v skrinke, aby sa teplota vo vnútri okolo tlačeného objektu rovnomerne rozložila, a tak sa predišlo krúteniu objektu.



*Obr.4 Krútenie objektu počas 3D tlače*

Pre túto metódu je najvhodnejšie použitie plastových materiálov. Z toho dôvodu vyrobené objekty majú limitované oblasti použitia, napr. nie sú vhodné pre aplikácie v prostrediach s vysokými teplotami a takisto nemôžu byť vystavené veľkému mechanickému namáhaniu .

Súčasný trend smerujú k farebnej 3D tlači. Na rozdiel od ostatných bežných metód 3D tlače jedine metóda FDM umožňuje jednoduchú farebnú tlač. Do tlačovej hlavy je privádzaných viacero filamentov rôznych farieb naraz a výsledkom sú zaujímavé figúrky, sošky, kľúčenky ako je možné vidieť na obr 5.

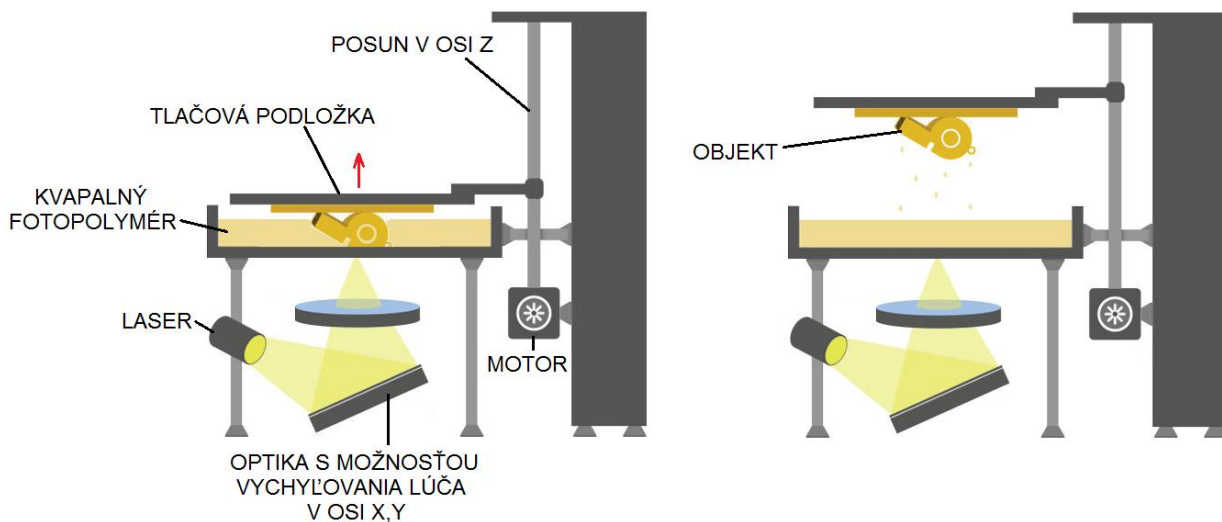


*Obr.5 Produkty viacfarebnej 3D tlače metódou FDM*

### Technológia SLA

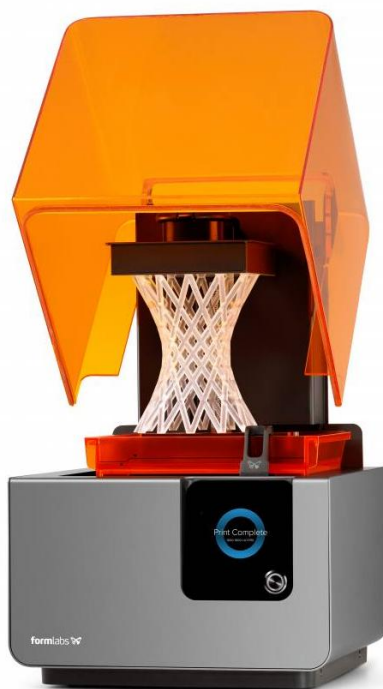
Technológia SLA (Stereolitography) je aditívna technológia výroby 3D objektov pomocou lasera a kvapalného fotopolyméru. Fotopolymér na báze svetlom vytvrditeľnej živice je osvetľovaný UV laserom a v mieste osvetlenia sa z kvapalného fotopolyméru stáva tuhá látka.

Na obr. 6 je znázornený princíp tlače technológiou SLA. Na začiatku tlače je tlačová podložka tesne nad dnom nádoby s fotopolymérom. Laser polohovaný v osiach X a Y osvetľuje cez priehľadné dno nádoby podložku, v miestach osvetlenia vzniká prvá tuhá vrstva 3D objektu. Následne sa podložka posúva smerom nahor v smere osi Z. Proces sa opakuje dovtedy, pokiaľ nie je vrstvu po vrstve vytvorený 3D objekt. Po vytlačení je potrebné 3D objekt chemicky očistiť a pre poriadne vytvrdnutie fotopolyméru je 3D objekt umiestnený do pece, kde je vytavený pôsobením UV svetla. Podobný princíp 3D tlače je využívaný aj pri metóde DLP (Digital Light Processing), no namiesto pohybujúceho sa laserového lúča je použitý projektor, ktorý premieta na fotopolymér naraz celý obrazec aktuálnej vrstvy. Pri technológii DLP má výrazný vplyv na presnosť tlače rozlíšenie projektoru. DLP tlačiarne sa oproti SLA tlačiarňam vyznačujú vyššou rýchlosťou tlače.



*Obr.6 Princíp technológie SLA*

Podobne ako pri technológii FDM, aj pri SLA (DLP) je nutné počas tlače generovať aj podporný materiál. Technológia SLA sa vyznačuje vysokou precíznosťou tlače. Mnoho profesionálnych 3D tlačiarň využíva práve túto technológiu. Oproti technológii FDM je možné dosiahnuť vyššiu precíznosť tlače, no nevýhodou týchto tlačiarň je vyššia cena oproti FDM tlačiarňam. Farebná tlač pri tejto technológii je ťažko realizovateľná. Na obr.7 je možné vidieť profesionálnu SLA 3D tlačiareň.



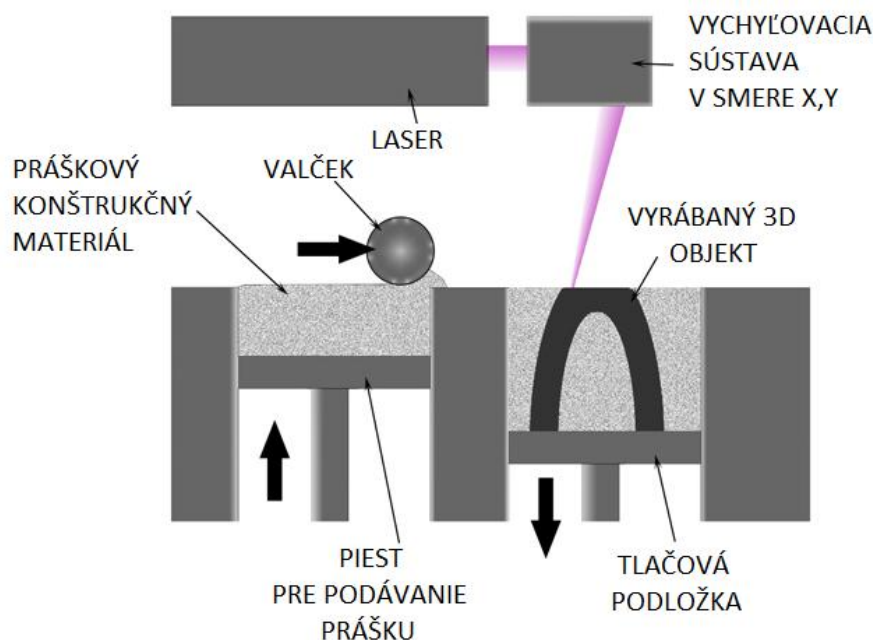
*Obr.7 3D tlačiareň typu SLA v praxi*

O moderných a rýchlych DLP tlačiarňach sa hovorí, že budú vhodné nielen na prototypovanie, ale aj na veľkosériovú výrobu komponentov.

## Technológia SLS

SLS (Selective Laser Sintering) je technológia 3D tlače využívajúca výkonný laser ako zdroj tepla pre tavenie práškoveho konštrukčného materiálu, či už sa jedná o plasty, keramiku, alebo sklo [3]. Podobným spôsobom pracuje technológia DMLS (Direct Metal Laser Sintering) špeciálne určená pre tlač z kovov v práškovej forme.

Princíp SLS 3D tlače je znázornený na obr.8. Konštrukčný materiál vo forme prášku je umiestnený v zásobníku, z ktorého je postupne vytláčaný piestom. Proces tlače sa začína umiestnením tlačovej podložky úplne nahor. Valčekom je nanosená na tlačovú podložku tenká vrstva prášku. Následne sa prášok vystaví pôsobeniu laserového lúča vychýľovaného v smere osí X a Y. V mieste osvetlenia prášku laserom dochádza k roztaveniu zŕn prášku a ich spojeniu. Po vytvorení vrstvy sa tlačová podložka posúva smerom nadol v smere osi Z a valčekom sa naniesie nová vrstva prášku a proces sa opakuje.



Obr.8 Princíp technológie SLS

Rýchlosť tlače a finálna pevnosť 3D objektu je limitovaná výkonom lasera a časom potrebným na roztavenie prášku, preto sa materiál v mieste tlačovej podložky ohrieva na teplotu o niečo nižšiu ako je teplota tavenia prášku. Pri niektorých tlačiarňach dochádza k čiastočnému predohrevu prášku už v zásobníku. Ak je materiál predhriaty, stačí len na krátky okamih osvietiť materiál laserom aby sa dosiahlo jeho roztavenie.

Oproti technológiám SLA a FDM má technológia SLS obrovskú výhodu. Počas tlače nie je nutné generovať podporný materiál, pretože nevyužitý prášok je podporou pre vrstvy nad sebou. Ak je vyrábaný dutý, úplne uzavretý objekt, môže však nastať problém s odstránením nevyužitého prášku z dutiny. Technológia SLS má využitie hlavne pre výrobu prototypov a malosériovú výrobu tvarovo náročných komponentov. Ak sa objekt tlačí z kovového prášku, získame vysokú pevnosť a odolnosť. Nevýhodou technológie je porézny povrch



vyrobených objektov a nutnosť dodatočnej povrchovej úpravy. Doposiaľ sa cena SLS tlačiarňí a prevádzkové náklady nedostali na úroveň prijateľnú pre domáce použitie ako FDM tlačiarne.

## Zhrnutie

Nasledujúca tabuľka ponúka stručný prehľad charakteristík vybraných technológií 3D tlače [4]:

KRITÉRIUM	TECHNOLÓGIA		
	FDM	SLA	SLS
Materiál na výrobu objektu	plasty	kvapalný fotopolymér (živica)	plasty, sklo, keramika, kovy
Najmenšia hrúbka vrstvy	0,5 - 0,1mm	0,05 - 0,015mm	0,05 - 0,01mm
Textúra povrchu	drsňý	hladký	mierne drsňý
Podporný materiál	potrebný	potrebný	nepotrebný
Viacfarebná tlač	realizovateľná	ťažko realizovateľná	ťažko realizovateľná
Cena	nízka (stovky EUR)	stredná (tisíce EUR)	vysoká (desiatky tisíc EUR)

Pre porovnanie sú na obr.9 zobrazené tri figúrky vyrobené tromi rozdielnymi technológiami. Na FDM figúrke môžeme zreteľne vidieť vrstvy nanášaného materiálu a nie veľmi vydarené detaily. Figúrka SLA sa vyznačuje veľmi hladkým povrchom a vysokou kvalitou tlače v detailoch. Figúrka SLS sa kvalitatívne nachádza medzi FDM a SLA, ale výhodou je to, že by mohla byť vyrobená nielen z plastu, ale napríklad aj z keramiky.



Obr.9 Porovnanie technológií 3D tlače



## 2. HISTÓRIA 3D TLAČE

Všetko začalo v roku 1981, v Japonsku, v meste Nagoya [5]. Práve tu Dr. Kodama z Nagoya Municipal Industrial Research Institute (NMIRI) zverejnil svoj výskum plne funkčného systému rýchleho prototypovania (Rapid Prototyping System), bola to prvá zmienka o 3D tlači. Princíp tlače sa používa dodnes - každý cyklus tlače pridal novú vrstvu k predchádzajúcemu. Každá z týchto vrstiev zodpovedala priečnemu rezu v 3D modeli. Materiál použitý na tento spôsob tlače bol fotopolymér - typ živice vytvrdzovanej svetlom. Výroba prvého tlačeného 3D objektu sa prisudzuje práve Dr. Kodamovi. Žiaľ, Dr. Kodama patent na svoju technológiu nezískal.

O tri roky neskôr, v roku 1984, patentoval američan Charless Hull technológiu 3D tlače - stereolitografiu [6] (technológia SLA). V roku 1986 založil Charless Hull spoločnosť 3D Systems v meste Valencia, v Kalifornii. Vďaka nemu 3D tlač získala komerčné využitie. Začali sa predávať prvé stroje na výrobu 3D objektov na základe digitálnych dát metódou stereolitografie - prvé 3D tlačiarne. Taktiež v roku 1992 spoločnosť DTM Inc. predstavila svetu prvú tlačiareň založenú na technológii SLS.

Medzi rokmi 1999 až 2010 nebola verejnosť stále oboznámená o možnostiach 3D tlače, ale určité skupiny ľudí mali o tejto technológii vedomosti, napríklad lekári. V tomto období vznikol prvý 3D tlačený ľudský orgán - močový mechúr. Najskôr sa na 3D tlačiarňi vytlačil skelet orgánu. Potom ho obalili skutočnými bunkami odobratými od pacientov. Prevrätne bolo to, že imunitný systém implantát neodmietol.

V roku 2005 spustilo svoju činnosť hnutie vedené Dr. Adrianom Bowyerom. Jeho úlohou bolo vytvoriť 3D tlačiareň, ktorá má schopnosť stavať sa, alebo aspoň vytlačiť diely potrebné pre ďalšiu novú 3D tlačiareň. Tento projekt bol nazvaný "The Replication Rapid-Prototyper Project" alebo skrátene RepRap. V roku 2008 vznikla tlačiareň Reprap Darwin 3D. Hoci si mohol podľa návodu postaviť svoju 3D tlačiareň, pričom niektoré diely boli vyrobiteľné na inej 3D tlačiarňi. Tento "open source" projekt posunul 3D tlač bližšie k verejnosti. Po prvýkrát začali ľudia vážne hovoriť o potenciáli 3D technológii. Ľudia pochopili, že majú moc zhmotniť svoje návrhy.

### 3. SÚČASNOSŤ 3D TLAČE

3D tlač v súčasnosti preniká do mnohých oblastí. Zaujímavým využitím 3D tlače je výroba rôznych protéz v zdravotníctve, v stavebníctve 3D tlačiarne tlačia malé budovy z betónovej zmesi, v gastronómii 3D tlačiarne vyrábajú zákusky. Našli by sme množstvo príkladov, niekedy možno až "exotických". 3D tlač má ale obrovské využitie predovšetkým v strojárstve, často krát je využívaná na účely rýchleho prototypovania a malosériovú výrobu.

Môžeme uviesť príklad výroby kovovej turbíny na obr.10. V prípade trieskového obrábania začína proces výroby polotovarom valcového tvaru. Polotovar sa umiestni do CNC frézy a následne kúsok po kúsku odoberá frézovacia hlavica prebytočný materiál až kým nevznikne finálna podoba výrobku. Pri tomto procese výroby vzniká značné množstvo odpadu vo forme triesok. Na rozdiel od trieskového obrábania pri 3D tlači nanášame len potrebné množstvo materiálu, zbytočný odpad nevzniká. Výnimkou sú však prípady kedy počas 3D tlače generujeme tzv. podporný materiál, ktorý sa stáva odpadom. Pri veľmi zložitých tvaroch 3D objektov môže nastať situácia, že výroba trieskovým obrábaním dokonca ani nie je možná, vtedy sa javí výroba pomocou 3D tlače ako vhodná alternatíva.

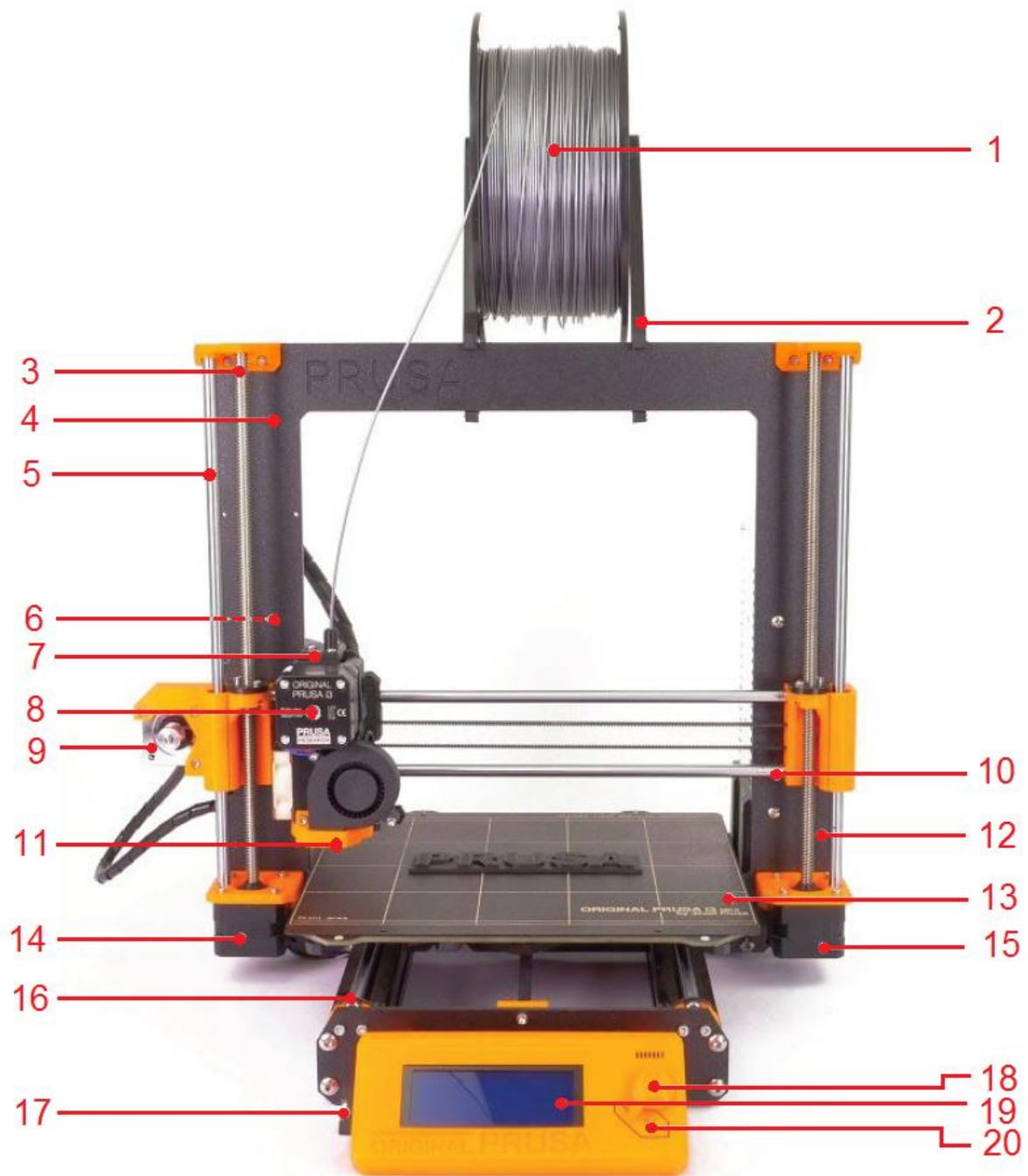
V prípade výroby kovových, alebo plastových komponentov metódou odlievania potrebuje firma najprv zainvestovať nemalé finančné prostriedky do výroby odlievacích foriem. Predpokladom návratnosti investície je veľkosériová výroba. Čím viac vyrobených kusov, tým je metóda odlievania finančne výhodnejšia. Pre malosériovú výrobu niekoľko stoviek, alebo tisícov kusov, je však výroba odlievacích foriem nerentabilná. Čo v tom prípade ak je potrebné vyrábať v malých sériách? Túto situáciu môže vyriešiť použitie 3D tlače.



*Obr.10 Turbína vyrobená z kovu pomocou 3D tlače*

#### 4. KONŠTRUKCIA 3D TLAČIARNE

V tejto kapitole si popíšeme základné časti 3D tlačiarne Prusa i3 MK2 / MK3 pracujúcej na báze technológie FDM, ktorá je znázornená na obr.11.



Obr.11 3D tlačiareň Prusa i3 MK3

1. Tlačová struna, alebo tiež nazývaná filament. Je to termoplast z ktorého bude vyrobený 3D objekt. O materiáloch využívaných pri 3D tlači sa dočítate v kapitole 5.
2. Držiak filamentu.
3. Tyč s trapézovým závitom slúži na posúvanie tlačovej trysky v smere osi Z. Druhá tyč s trapézovým závitom sa nachádza na pravej strane tlačiarne.
4. Rám tlačiarne je základnou konštrukčnou časťou tlačiarne. Na ráme tlačiarne sú uchytené všetky ostatné časti ako vodiace tyče osí, krokové motory, napájací zdroj, riadiaca doska atď. Počas prenášania tlačiarne sa odporúča uchytiť tlačiareň za hornú časť rámu.
5. Vodiaca tyč osi Z. Dve vodiace tyče zabezpečujú lineárny pohyb v smere osi Z.
6. USB port (zo zadnej časti rámu na riadiacej doske). Využijeme ho hlavne v prípade ak potrebujeme aktualizovať firmware tlačiarne. USB port sa tiež používa na pripojenie tlačiarne k PC v prípade, že PC riadi proces tlače.
7. Riadiaca doska (zo zadnej časti rámu). Jej úlohou je riadiť polohovanie tlačovej trysky, regulovať teplotu trysky a vyhrievanej podložky na základe G-kódu ktorý je načítavaný buď z SD karty, alebo z PC ku ktorému je tlačiareň pripojená cez USB. K riadiacej doske sú pripojené všetky časti tlačiarne ako snímače koncových polôh osí X, Y, snímač vzdialenosti trysky od podložky, krokové motory, vyhrievacie teliesko trysky, vyhrievanie tlačovej podložky, snímač teploty trysky, snímač teploty podložky, modul LCD displeja so slotom na SD kartu.
8. Krokový motor pre posúvanie filamentu smerom k vyhrievanej tryske. Riadením otáčok tohto motora je možné presne dávkovať filament cez tlačovú trysku.
9. Krokový motor pre posúvanie tlačovej trysky v smere osi X.
10. Vodiaca tyč osi X. Dve vodiace tyče zabezpečujú lineárny pohyb v smere osi X. Posúvanie trysky v smere osi X po vodiacich tyčiach je zabezpečené pomocou ozubeného remeňa ktorý prechádza cez remenicu krokového motora.
11. Tlačová tryska, alebo tiež nazývaná Hotend. Na tlačiarňach Prusa i3 MK2 / MK3 sa používa tryska o priemere 0,4mm. Jej úlohou je roztaviť a nanášať filament. Na vyhrievanie trysky je použité vyhrievacie teliesko na báze odporového drôtu. Teplotu trysky sníma teplotný snímač na báze termistora NTC. Prívod filamentu k tryske je ochladzovaný ventilátorom. Účelom chladenia je zabrániť taveniu filamentu skôr ako dorazí k tryske. Roztavený filament vychádzajúci z trysky je ochladzovaný ďalším ventilátorom za účelom rýchlejšieho tuhnutia po nanosení na predchádzajúcu vytlačenú vrstvu 3D objektu. Tlačová tryska spolu s mechanizmom posúvania

filamentu a ventilátormi tvoria celok nazývaný Extruder. Na extruderi je upevnený indukčný snímač vzdialenosti od podložky využívaný pri kalibrácii tlačiarne.

- 12.** Napájací zdroj (zo zadnej časti rámu). Jeho úlohou je vyrobiť zo sieťového napätia (~230V) jednosmerné napájacie napätie (12V pri MK2, 24V pri MK3) pre komponenty tlačiarne.
- 13.** Vyhrievaná tlačová podložka, tiež nazývaná Bed, alebo Heatbed. Na tejto podložke rastie 3D objekt postupne po vrstvách. Aby sa predišlo krúteniu 3D objektu počas tlače z dôvodu rôznych teplôt na vrchnej a spodnej strane tlačeneho objektu, je podložka elektricky vyhrievaná. Teplota podložky je regulovaná riadiacou doskou, ktorá získava údaj o teplote podložky pomocou snímača teploty na spodnej strane podložky.
- 14.** Krokový motor č.1 pre posun tlačovej trysky v smere osi Z.
- 15.** Krokový motor č.2 pre posun tlačovej trysky v smere osi Z.
- 16.** Vodiaca tyč osi Y. Dve vodiace tyče zabezpečujú lineárny pohyb tlačovej podložky v smere osi Y. Posúvanie podložky zabezpečuje krokový motor umiestnený pod tlačovou podložkou. Otáčky krokového motora sa prevádzajú na lineárny pohyb podložky prostredníctvom ozubeného remeňa ktorý prechádza cez remenicu na hriadelí krokového motora.
- 17.** Slot pre SD kartu. G-kód potrebný k 3D tlači objektu môže byť umiestnený na SD karte. Užívateľ má možnosť spustiť tlač objektu priamo z SD karty.
- 18.** Ovládací prvok. Na pohybovanie sa po menu zobrazenom na LCD obrazovke tlačiarne slúži otočný enkóder s tlačidlom.
- 19.** LCD obrazovka. Spolu s ovládacím prvkom predstavujú rozhranie medzi užívateľom a tlačiarňou. Obrazovka dáva užívateľovi informácie o stave 3D tlače a teplote, umožňuje vykonávať rôzne nastavenia tlače, spúšťať, prerušovať a zastavovať tlač, spúšťať proces kalibrácie tlačiarne a iné.
- 20.** Tlačidlo Reset. V prípade potreby je možné zreštartovať riadiacu dosku tlačiarne.

## 5. PREHĽAD MATERIÁLOV POUŽÍVANÝCH PRI TECHNOLOGII FDM

Materiálom pre 3D tlač najrozšírenejšou technológiou FDM je plastový drôt, nazývaný filament - obr.12. Pri starších tlačiarňach sa často používal filament o priemere 3mm (2,85mm). Súčasné 3D tlačiarne používajú filament o priemere 1,75mm. Na trhu existuje široká paleta filamentov rôznych materiálov a samozrejme aj rôznych farieb. Konštruktér volí správny filament podľa kritérií ako mechanická odolnosť, teplotná odolnosť, ohybnosť, časová stálosť a pod. Medzi najpoužívanejšie a najdostupnejšie filamenty môžeme zaradiť typy PLA, ABS, PET, PETG. Ďalšiu skupinu filamentov tvoria rôzne špeciálne ohybné, elektricky vodivé, magnetické, svetielkujúce, farbu meniace a vo vode rozpustné filamenty. V nasledujúcom texte nájdeme základné informácie.



Obr.12 Tlačová struna - filament

PLA - polylactic acid - kyselina polymliečna je v oblasti domácej 3D tlače možno najviac využívaný materiál. Výhodou je nižšia teplota tavenia a menší problém s krútením objektu počas tlače oproti materiálu ABS. V mnohých prípadoch ani nie je potrebná vyhrievaná tlačová podložka. Ďalšou výhodou oproti ABS je menší zápach počas tlače. Tento materiál je biologicky odbúrateľný, vyrobený na báze kukuričného škrobu, alebo cukrovej trstiny. Nevýhodou materiálu PLA oproti ABS, alebo PETG je nižšia odolnosť voči ohýbaniu. Pri vystavení teplotám vyšším ako 60°C hrozí mäknutie materiálu [8].

*Pevnosť: vysoká*

*Ohybnosť: nízka*

*Trvanlivosť: stredná*

*Obtiažnosť používania: nízka*

*Teplota trysky pri tlači: 180 - 230 °C*

*Teplota vyhrievanej podložky: 20 - 60 °C*

*Zmršťovanie/krútenie objektu počas tlače: minimálne*

ABS - Acrylonitrile butadiene styrene - Akrylonitrilbutadiénstyrén je druhým najviac používaným materiálom hneď po PLA. Z tohto materiálu je vyrábaná známa stavebnica LEGO. Výrobky vyrobené z ABS sa vyznačujú vysokou trvanlivosťou, pevnosťou a schopnosťou odolávať vysokým teplotám, ale nadšenci 3D tlačiarň by mali mať na pamäti, že oproti PLA potrebujeme vyššiu teplotu trysky a podložky a teda aj viac energie k 3D tlači. ABS materiál má tendenciu deformácie počas chladenia a počas tlače je cítiť intenzívne výpary [8].

*Pevnosť: vysoká*

*Ohybnosť: stredná*

*Trvanlivosť: vysoká*

*Obtiažnosť používania: stredná*

*Teplota trysky pri tlači: 210 - 250 °C*

*Teplota vyhrievanej podložky: 80 - 110 °C*

*Zmršťovanie/kрутenie objektu počas tlače: značné*

PET, PETG - Polyetyléntereftalát (PET) je jeden z najviac používaných plastov na svete, napríklad na výrobu plastových fliaš. Pri 3D tlači sa PET používa len veľmi málo, avšak jeho varianta PETG je využívaná veľmi často. Písmenko G za PET znamená "glycol modified". Tento filament sa vyznačuje menšou krehkosťou, vyššou ohybnosťou ako pri PLA a jednoduchším použitím ako pri ABS [8].

*Pevnosť: vysoká*

*Ohybnosť: stredná*

*Trvanlivosť: vysoká*

*Obtiažnosť používania: nízka*

*Teplota trysky pri tlači: 220 - 250 °C*

*Teplota vyhrievanej podložky: 50 - 75 °C*

*Zmršťovanie/kрутenie objektu počas tlače: minimálne*

TPE, TPU - Ako to naznačuje názov, termoplastické elastoméry (TPE) sú v podstate plasty s vlastnosťami podobnými kaučuku, ktorý je extrémne flexibilný a odolný. TPE sa bežne nachádza v automobilových dieloch, domácich spotrebičoch a zdravotníckych potrebách. Mäkký a elastický materiál ktorý dokáže zniesť krútenie a namáhanie vo vysokej miere, ktorú ani ABS, ani PLA nedokážu tolerovať. Na druhej strane, tlač nie je vždy jednoduchá, pretože TPE je ťažké vytlačiť. Termoplastický polyuretán (TPU) je zvláštna odroda TPE a je sama o sebe obľúbeným 3D filamentom tlačiarne. V porovnaní s TPE je TPU trochu tuhší, čo uľahčuje tlač. Je tiež o niečo odolnejší a môže lepšie zachovať svoju elasticitu v chlade. Na obr. 13 je ukážka tlače topánok z flexibilného materiálu.

*Pevnosť: stredná*

*Ohybnosť: veľmi vysoká*

*Trvanlivosť: veľmi vysoká*



*Obťažnosť používania: stredná (TPE), nízka (TPU)*  
*Teplota trysky pri tlači: 210 - 230 °C*  
*Teplota vyhrievanej podložky: 30 - 60 °C*  
*Zmršťovanie/kрутenie objektu počas tlače: minimálne*



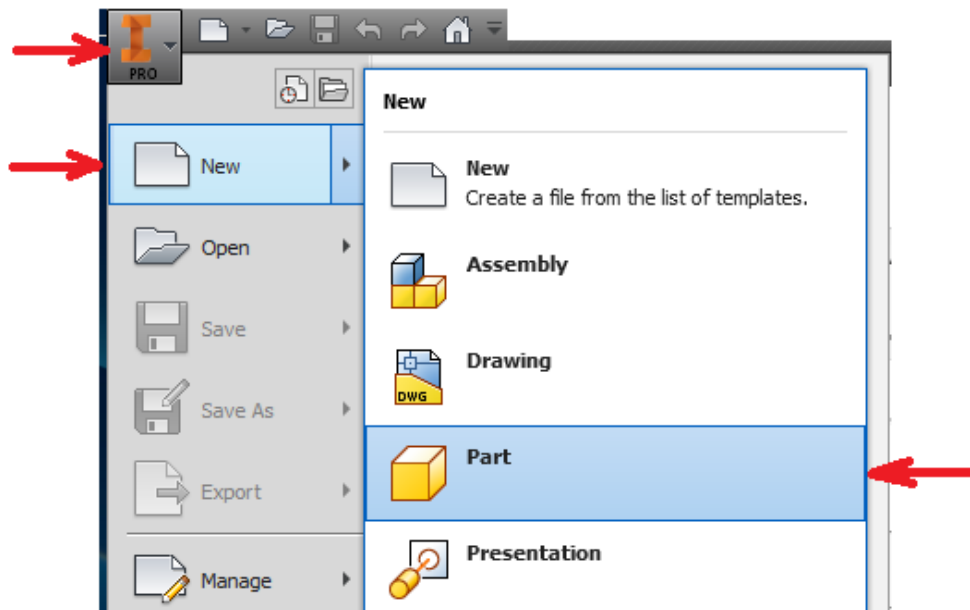
*Obr.13 - obuv vytlačená na 3D tlačiarni*

## 6. GENEROVANIE 3D OBJEKTU PRE 3D TLAČ

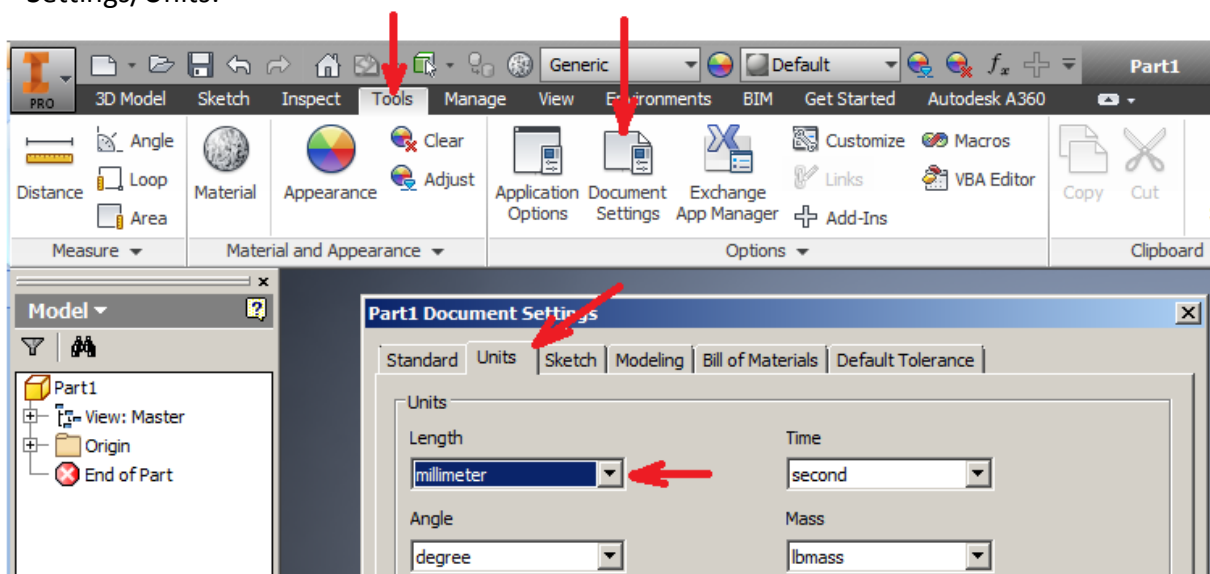
3D objekt v digitálnej podobe, napríklad vo formáte STL, určený k tlači na 3D tlačiarňi môžete získať z rôznych internetových stránok, alebo si ho vytvoriť sami. Na vytvorenie vlastného 3D objektu potrebujete vhodný CAD program ako napríklad Autodesk Inventor, Solidworks, Autodesk 3ds Max, alebo niektorý iný. Dôležité je, aby program umožňoval exportovanie 3D objektu najlepšie vo formáte STL.

Na nasledujúcom príklade si ukážeme ako nakresliť a exportovať 3D objekt nakreslený v programe Autodesk Inventor Professional 2016 do formátu STL. Objektom bude kľúčienka.

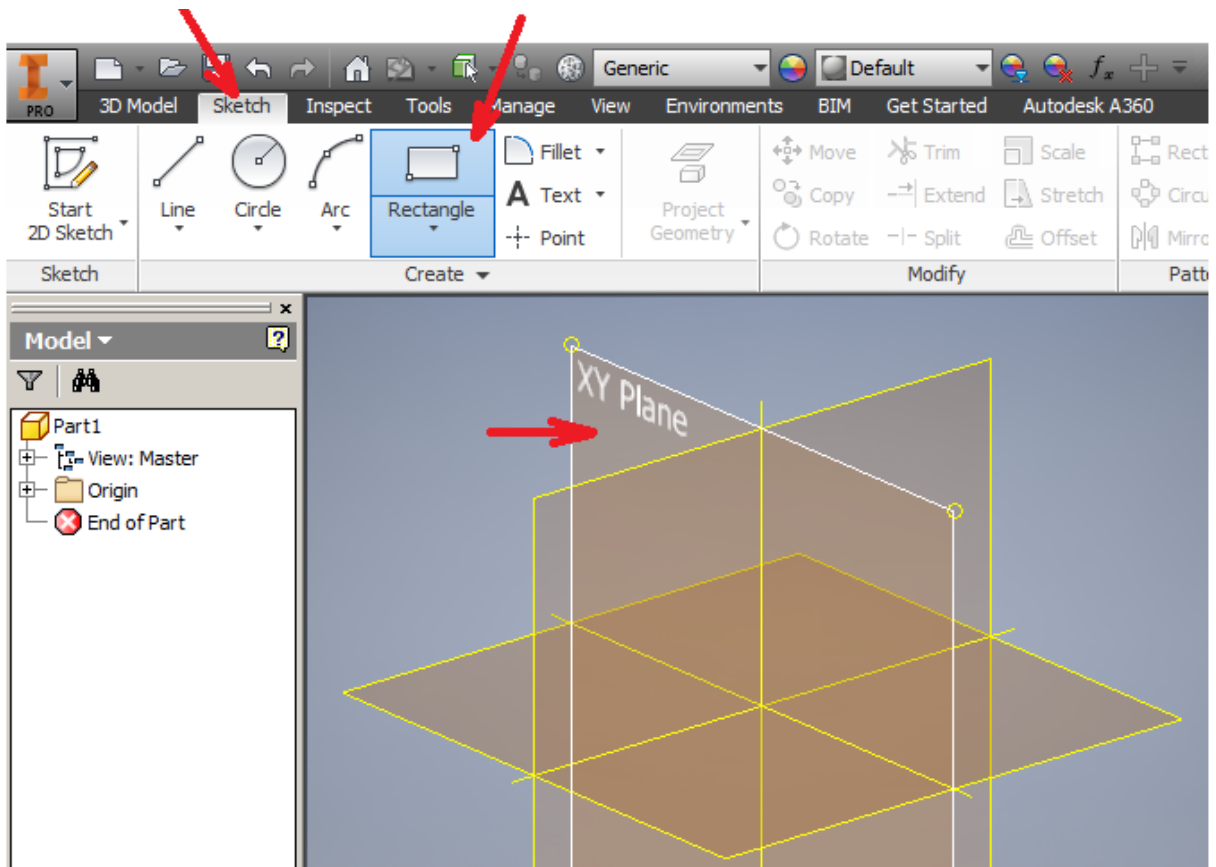
- I. Otvoríme program Autodesk Inventor. Vytvoríme novú súčiastku (Part):



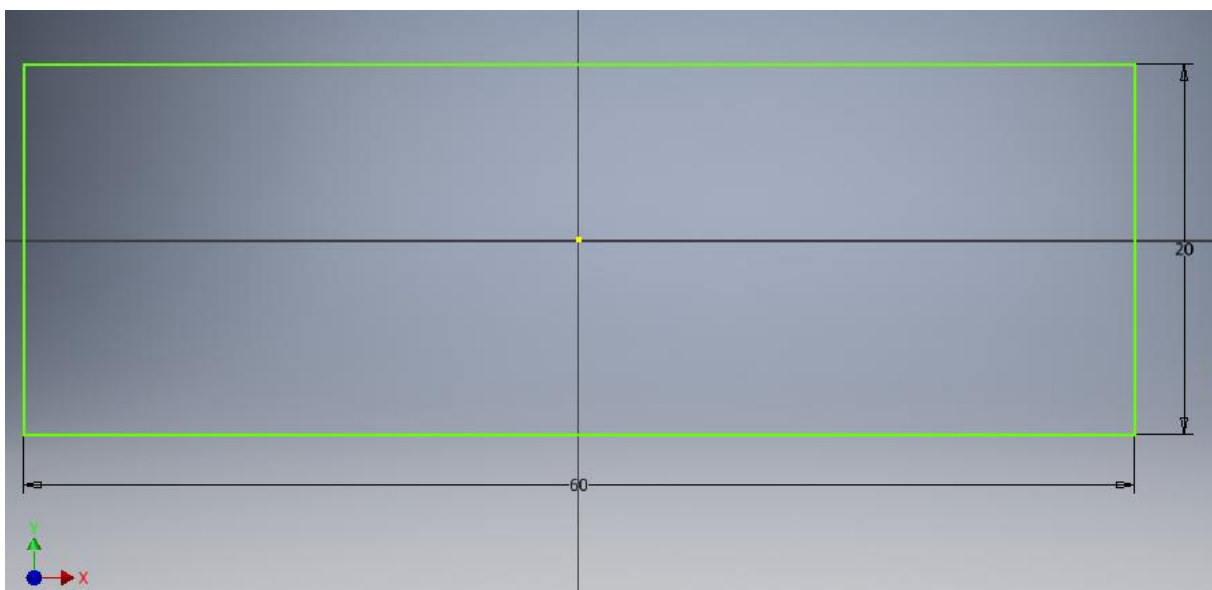
- II. Ubezpečte sa, či máte nastavené ako jednotky dĺžky milimetre. Tools/Document Settings/Units:



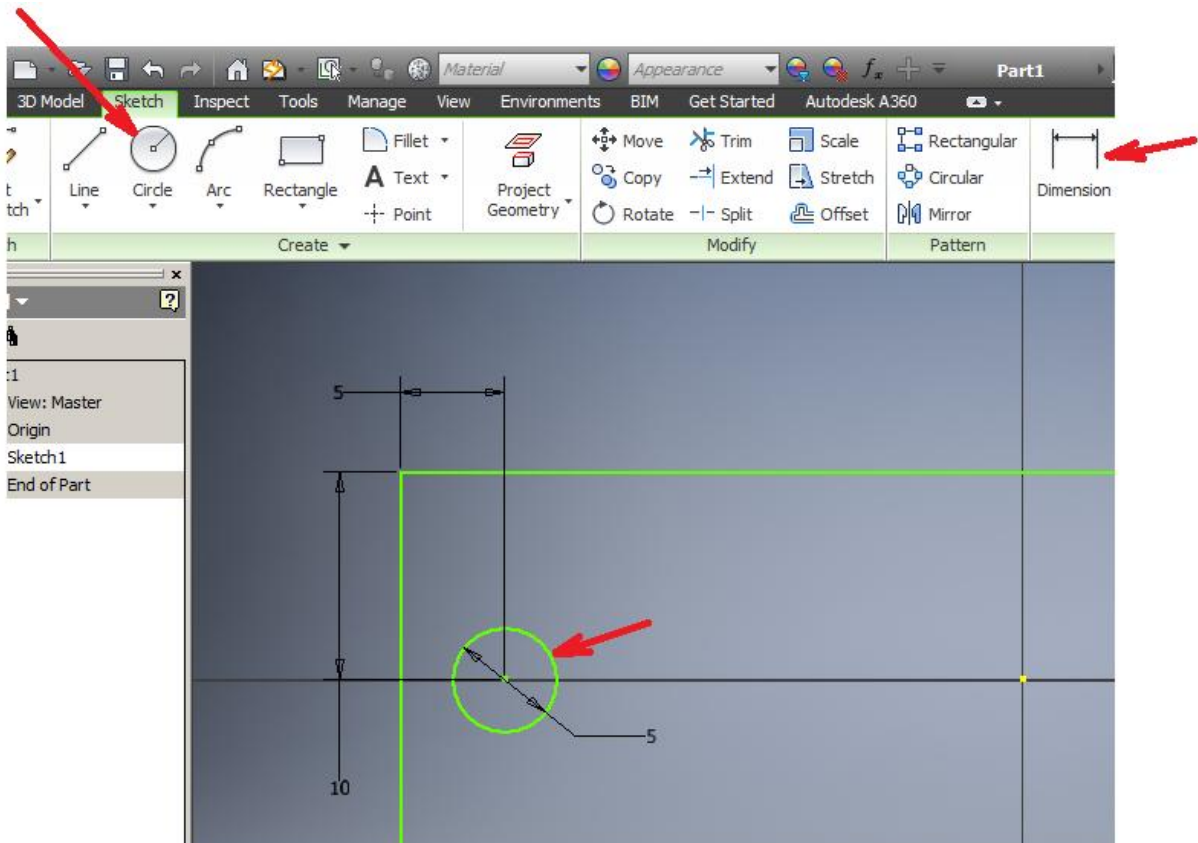
- III. Nakreslite 2D náčrt podstavy klúčenky. V ponuke Sketch vyberte Rectangle (obdĺžnik). Následne sa vám zobrazia roviny v ktorých môžete nakresliť náčrt. Vyberte rovinu XY:



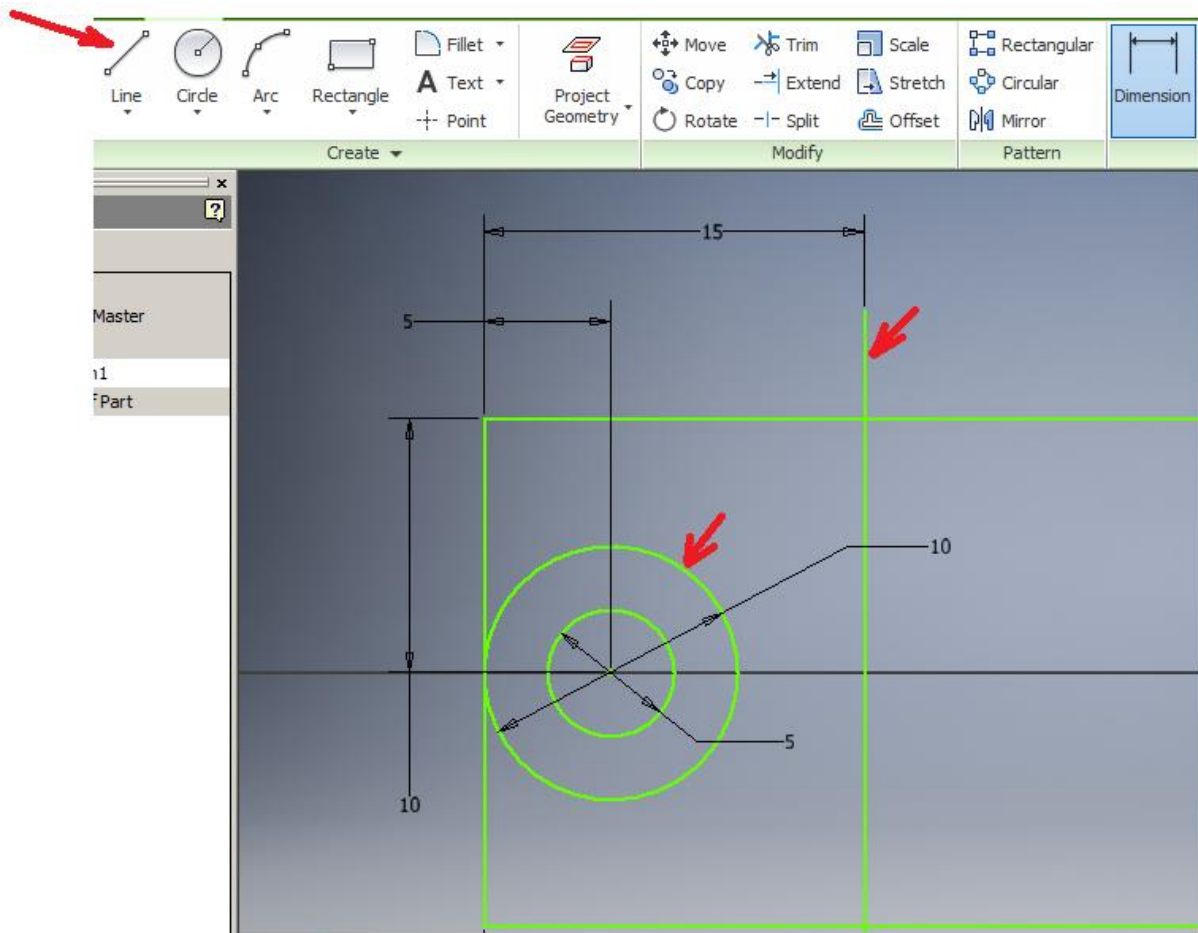
- IV. Po výbere roviny XY máte možnosť vytvoriť obdĺžnik. Prvým kliknutím umiestnite ľavý horný roh obdĺžnika. Posúvaním myši meníte jeho veľkosť. Po prvom kliknutí sa vám objavia aj kóty - rozmery. Kóty môže prepisovať cez numerickú klávesnicu, prepínať sa medzi kótami môžete pomocou tabulátora na klávesnici. Rozmery obdĺžnika nastavte na 60 x 20 mm a stlačte tlačidlo Enter na klávesnici:



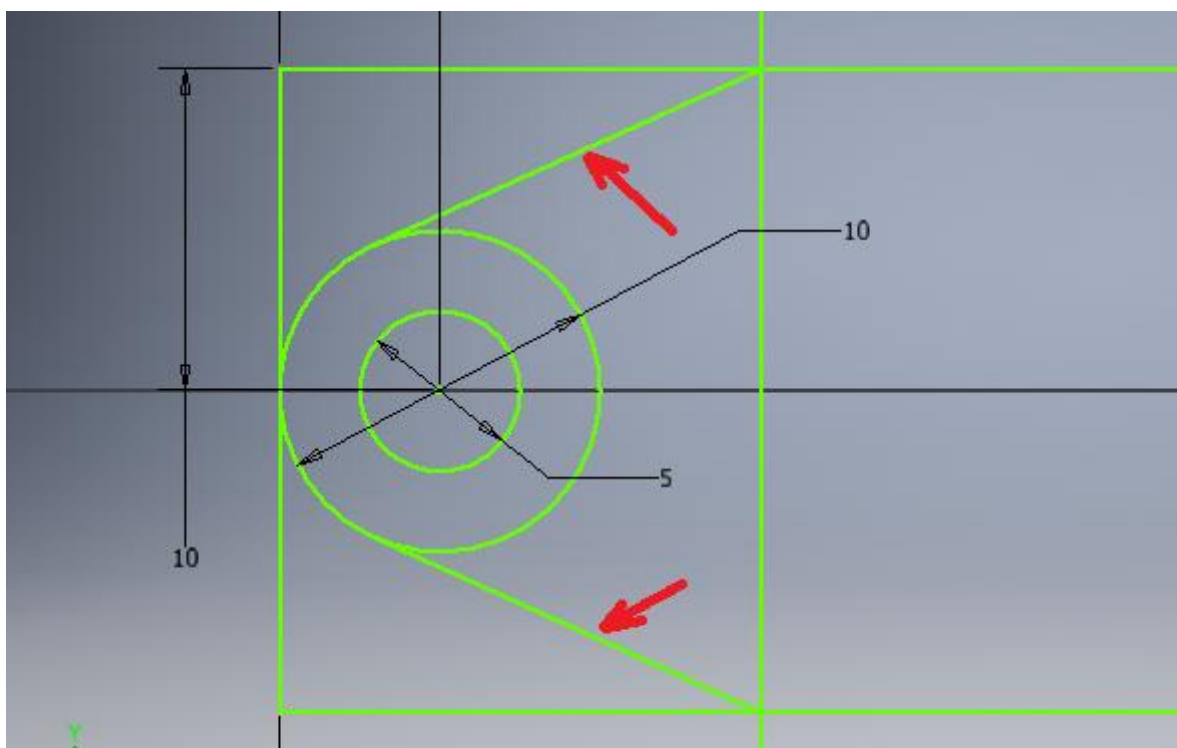
- V. Na kľúčenke budeme potrebovať otvor pre zavesenie na zväzok kľúčov, preto ho vytvoríme už pri kreslení podstavy. Do náčrtu vložte Circle (kružnicu) a kliknutím na náčrt ju umiestnite do vnútra obdĺžnika. Zobrazenú kótu priemeru kružnice prepíšte na 5mm. Pre nastavenie potrebnej pozície kružnice v obdĺžniku použijeme Dimension (kóty / rozmery). Kliknite do stredu kružnice a následne na ľavý okraj obdĺžnika. Vzniknutú kótu prepíšte na 5mm. Opakujte postup a umiestnite kružnicu 10mm od horného okraja obdĺžnika:



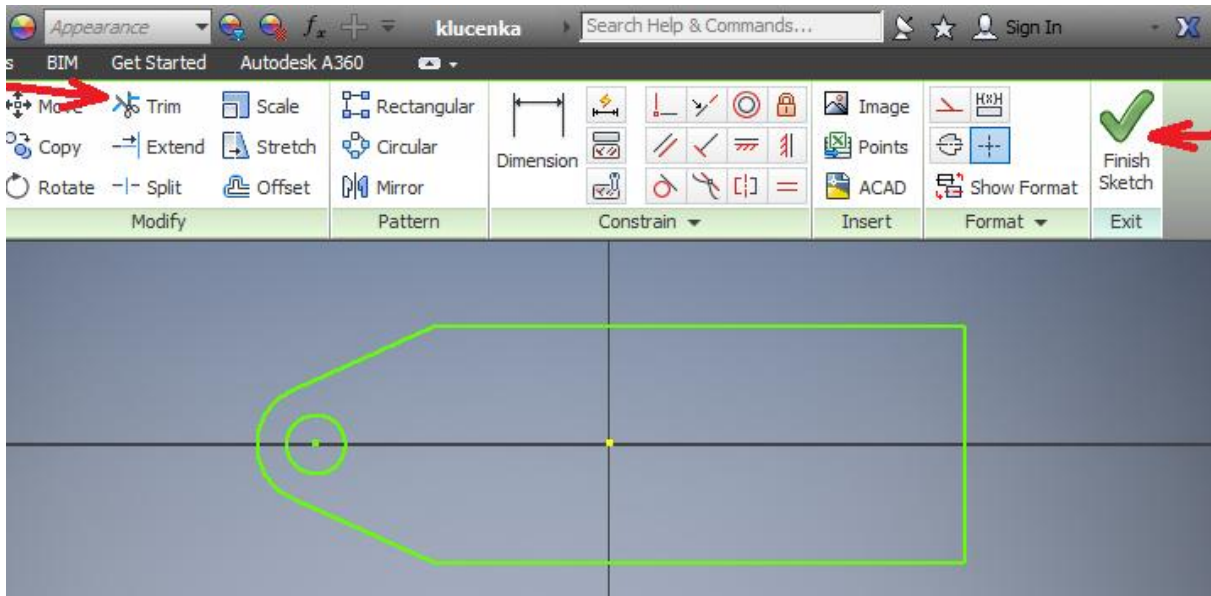
- VI. Do náčrtu vložte ďalšiu kružnicu. Stred novej kružnice umiestnite do stredu predchádzajúcej kružnice. Priemer novej kružnice nastavte na 10mm. Do náčrtu následne vložte Line (priamku). Prvým kliknutím umiestnite prvý koniec priamky, ďalším kliknutím umiestnite druhý koniec priamky. Priamka nech je kolmá na dolnú, resp. hornú stranu obdĺžnika. Pomocou Dimensions umiestnite priamku na vzdialenosť 15mm od ľavej strany obdĺžnika podľa obrázka:



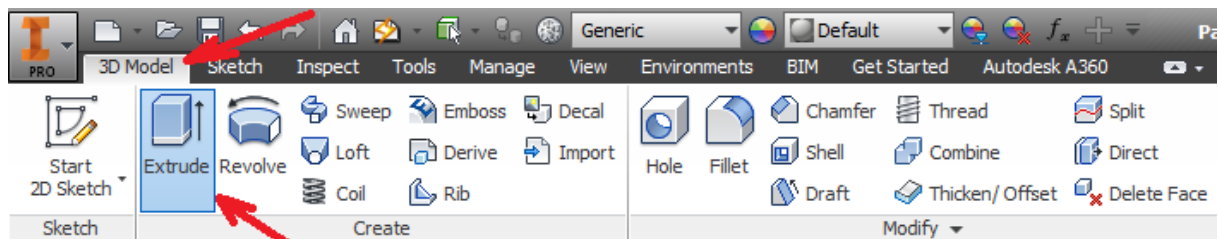
- VII. Z ponuky nástrojov vyberte Line (priamka), kliknite na priesečník zvislej priamky a obdĺžnika. Kurzorom myši pohybujte po okraji väčšej kružnice smerom doľava až sa objaví symbol dotyčnice. Vtedy kliknite druhý krát. Postup opakujte až vznikne takýto náčrt:



- VIII. Pomocou nástroja Trim (v preklade znamená zredukovať) odstráňte nadbytočné čiary kliknutím na časť ktorú chcete odstrániť. Pred použitím tohto nástroja vymažte všetky kóty v náčrte. Na kótu stačí kliknúť myšou s stlačiť klávesu Delete. Ak je náčrt hotový, kliknite na ikonu Finish Sketch. Finálna podoba 2D náčrtu podstavy kľúčenky:

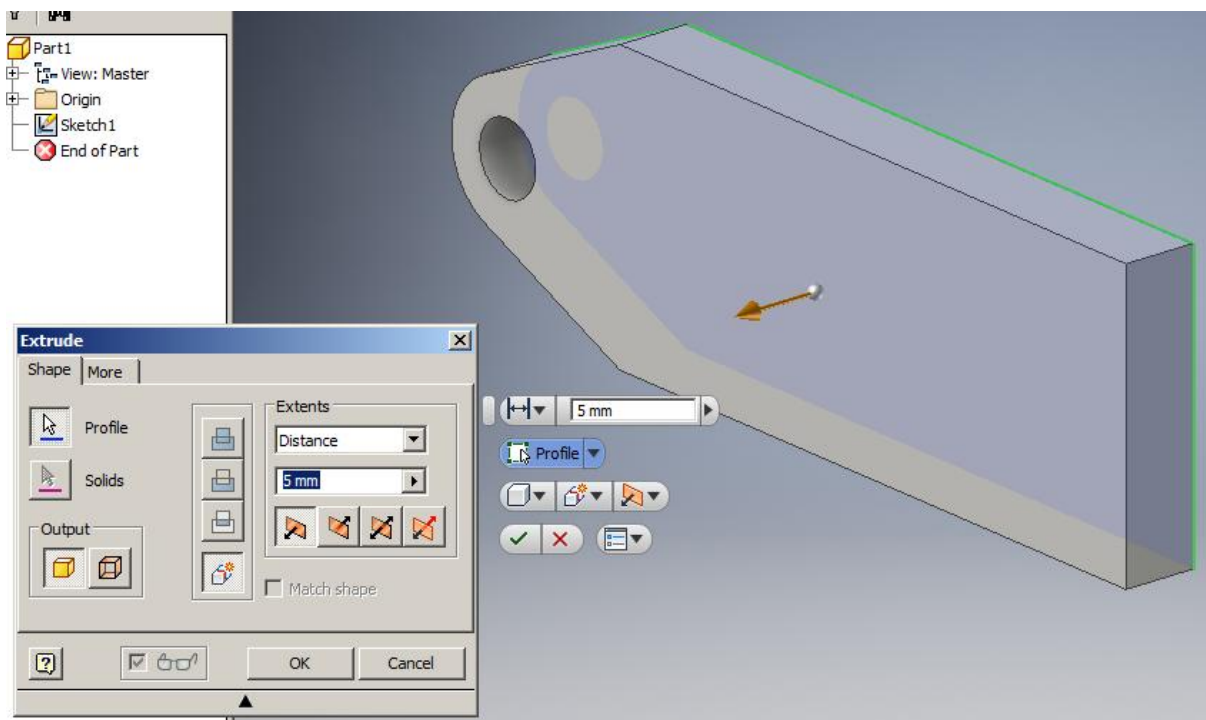


- IX. Z nakresleného 2D náčrtu vytvoríme 3D objekt pomocou nástroja Extrude v záložke 3D Model:

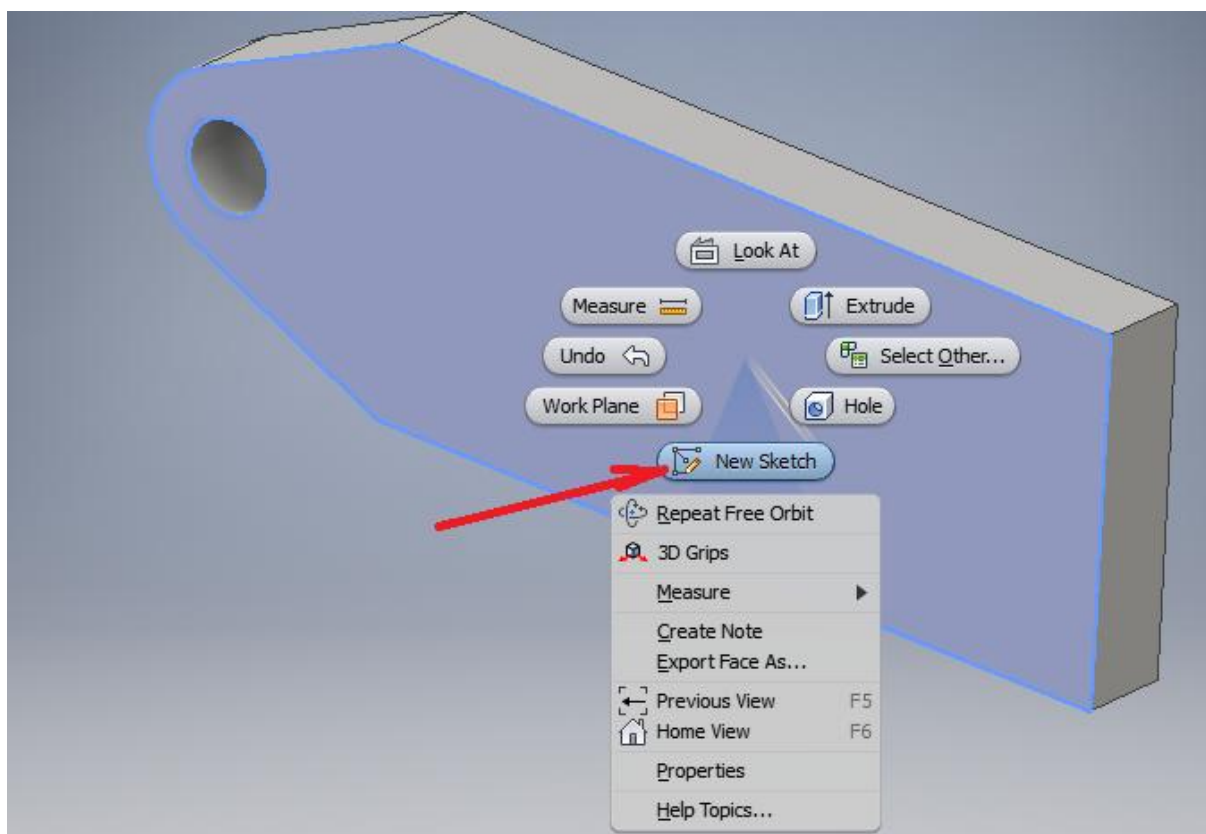


Po kliknutí na náčrt sa objaví okno s nastaveniami, kde môžeme nastaviť smer vzniku tretej dimenzie a hlavne hrúbku 3D objektu. Hrúbku nastavte na 5mm:



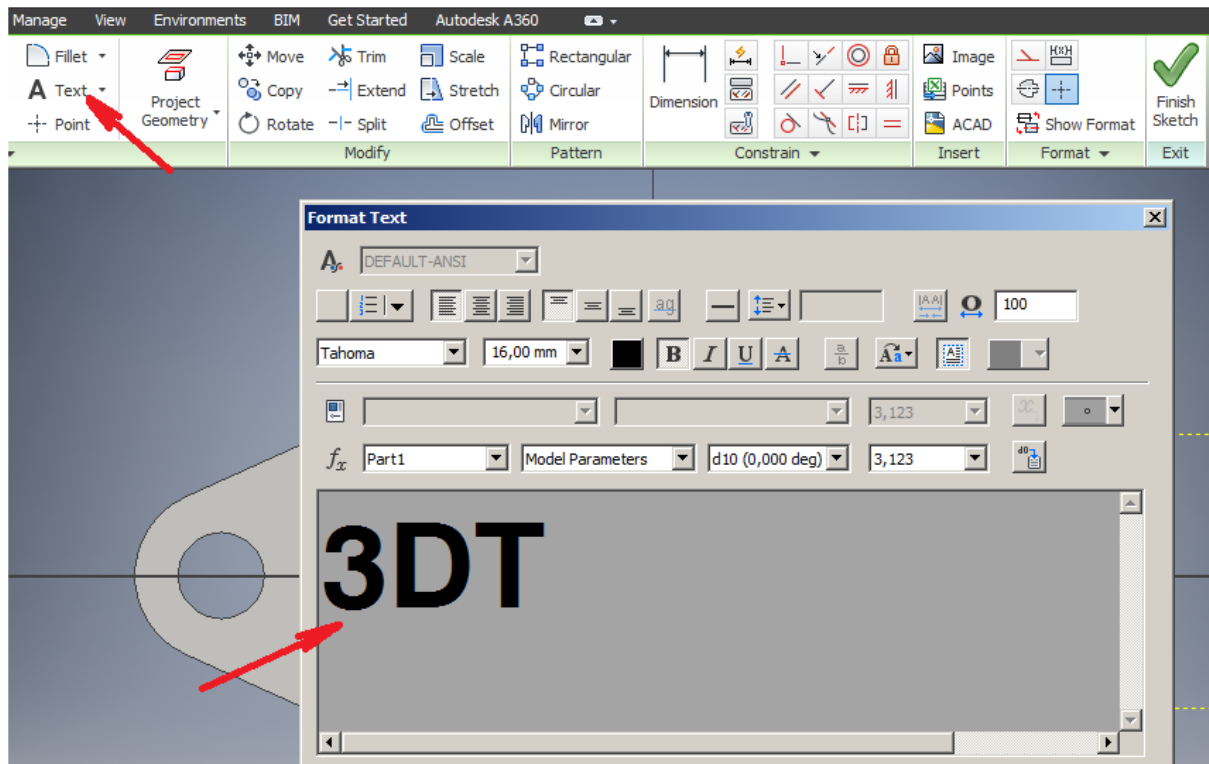


- X. Základ kľúčenky by mal byť hotový. Na kľúčenku umiestnime text ktorý bude z kľúčenky vystupovať von. Volíme napr. skratku projektu 3D Techniques - 3DT. Pri vytváraní 3D textu postupujeme podobne ako pri vytváraní základnej časti, teda začíname 2D náčrtom ktorý umiestnime na kľúčenku. Klikneme pravým tlačidlom myši na vrchnú časť kľúčenky a vyberieme New Sketch:

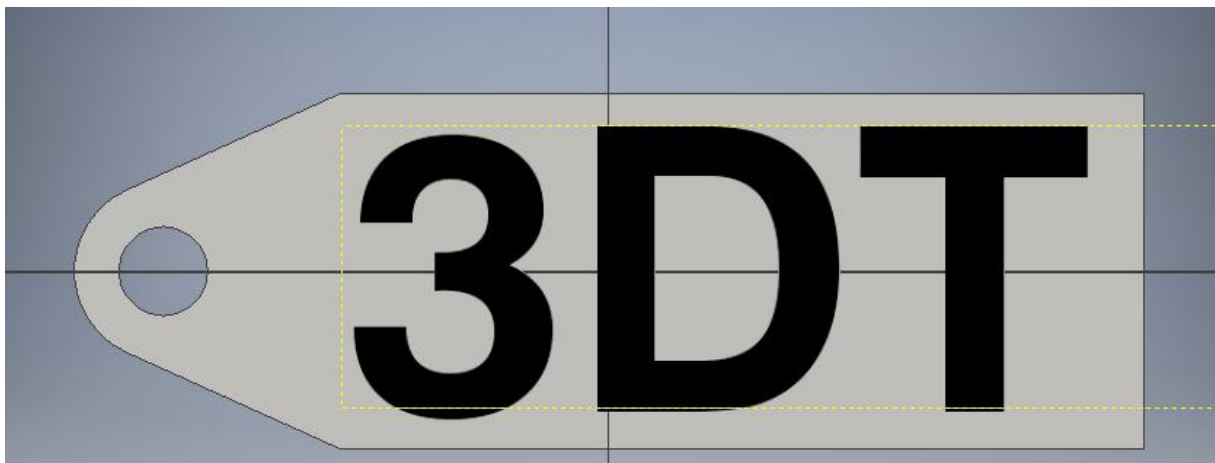




- XI. Na vytváranie textu v 2D náčrte použijeme nástroj Text. Po kliknutí na náčrt sa objaví okno pre písanie a nastavovanie textu. Do okna napíšeme požadovaný text a nastavíme veľkosť písma 16mm, typ napr. Tahoma a zapneme hrubé písmo. Potvrdíme kliknutím na OK.

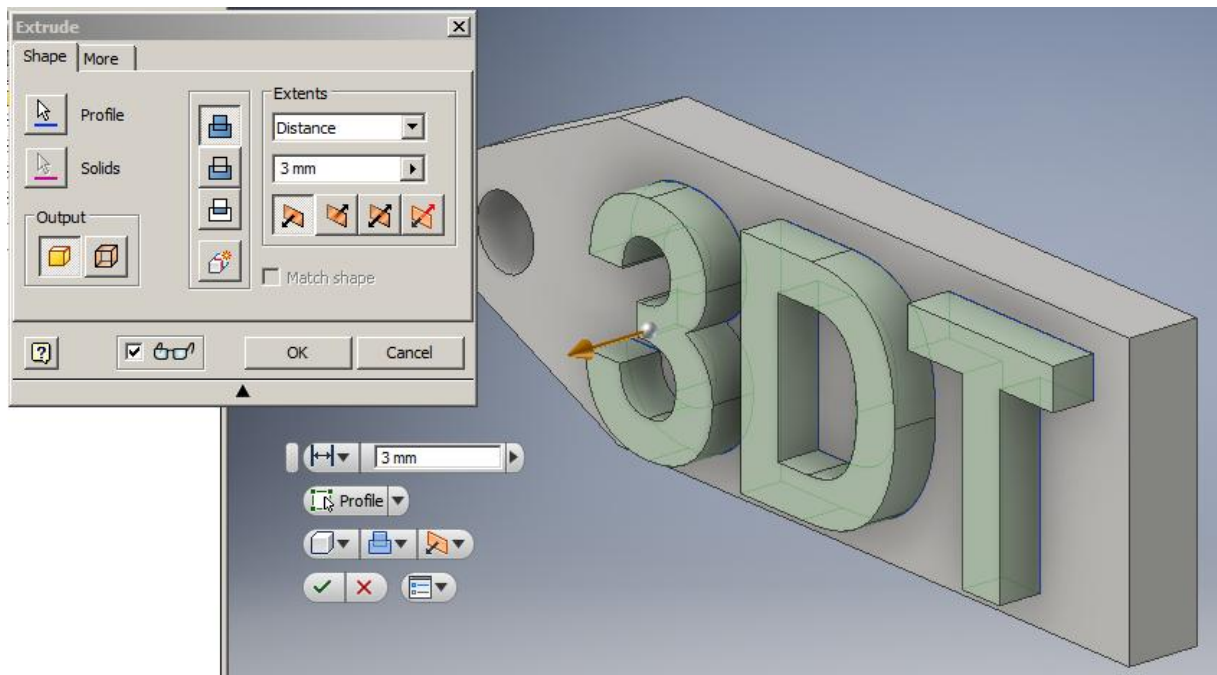


Náčrt by mohol vyzeráť takto:

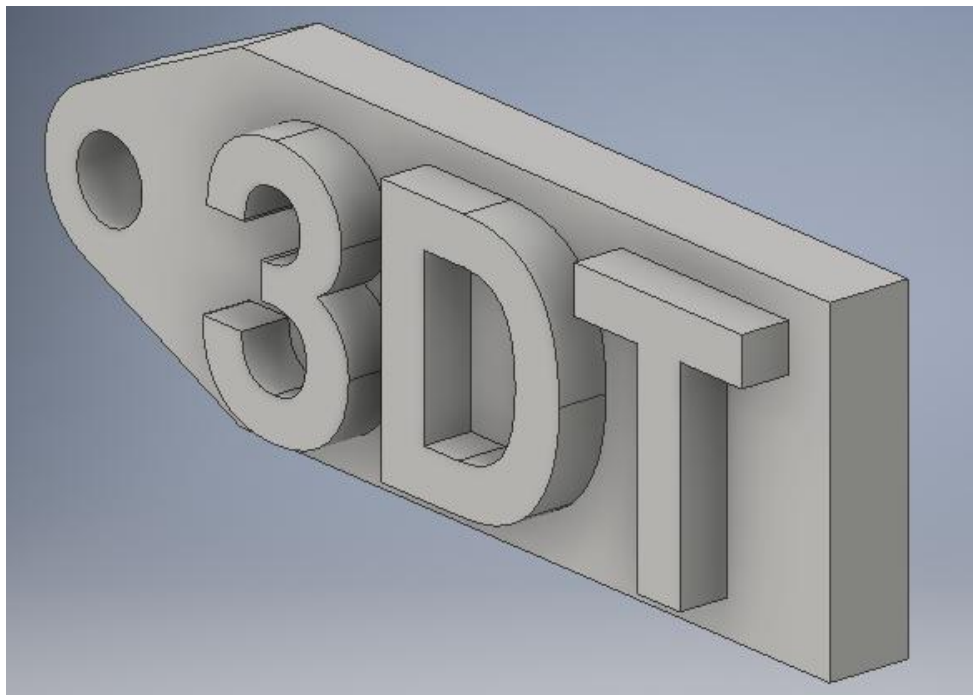


Kliknutím na ikonu Finish Sketch ukončíme vytváranie 2D náčrtu.

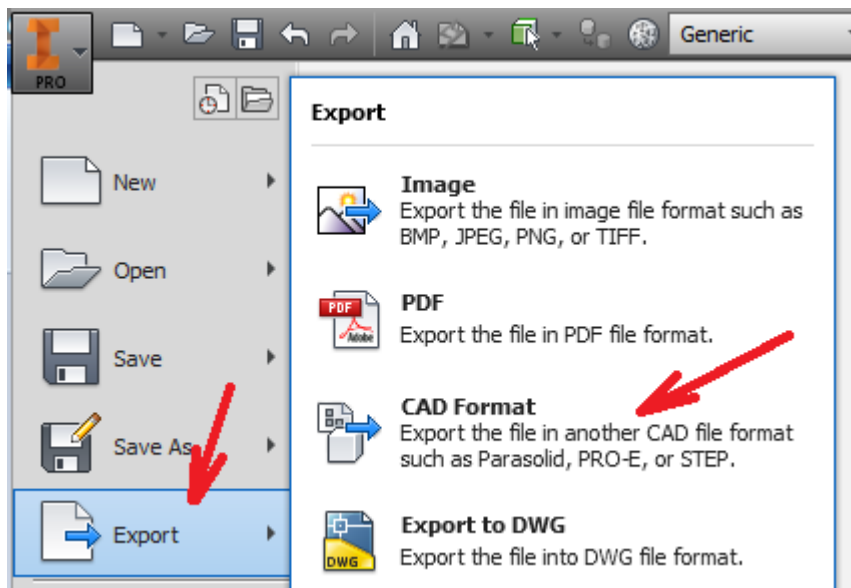
- XII. Pomocou nástroja Extrude vytvoríme z 2D textu 3D text. Tretiu dimenziu náčrtu textu môžeme nastaviť na vzdialenosť 3mm:



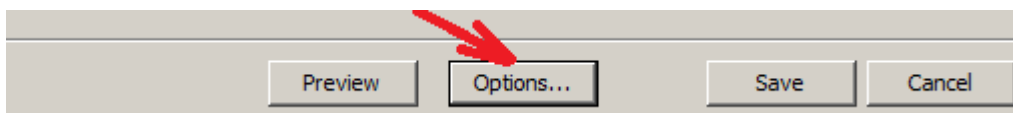
Vo finále by mal 3D objekt, naša kľúčenka, vyzeráť takto:



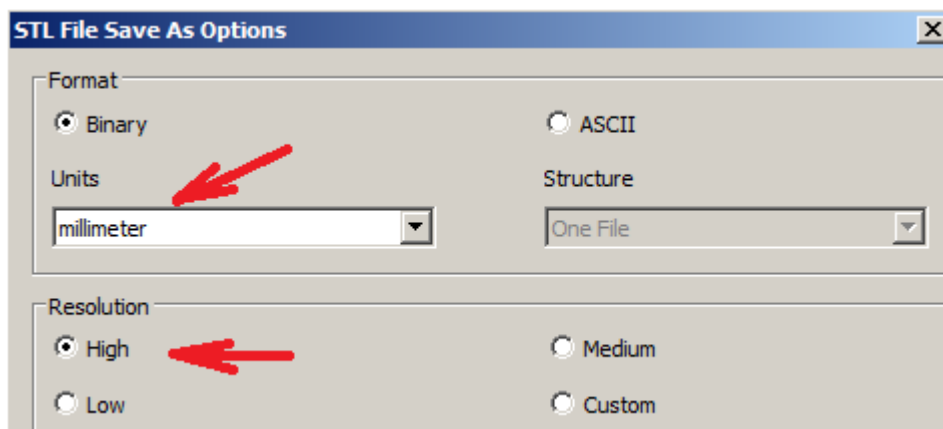
- XIII. K následnej 3D tlači kľúčenky budeme potrebovať 3D objekt vo formáte STL. V hlavnom menu vyberieme Export / CAD Format:



- XIV. Pri exportovaní STL súboru sa objaví nové okno, kde sa nastaví cesta pre uloženie výstupného súboru. Je dôležité skontrolovať nastavenia výstupného STL súboru kliknutím na Options:



Pri vytváraní STL súboru sú asi najdôležitejším parametrom jednotky v ktorých sa generuje STL súbor. Mali by byť nastavené milimetre. V neposlednom rade je dôležité rozlíšenie, ktoré môže byť nastavené na najvyššie:



Kliknutím na tlačidlo OK je vygenerovaný STL súbor, ktorý môžeme ďalej spracovať a nakoniec aj vytlačiť na 3D tlačiarňu.

## 7. PRÍPRAVA OBJEKTU NA 3D TLAČ

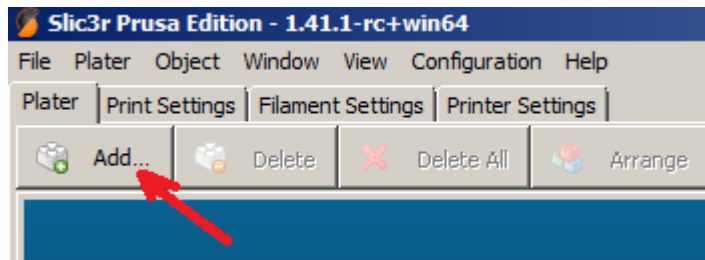
3D tlačiareň nie je schopná vytlačiť 3D objekt vo formáte STL. Tlačiareň ako aj iné CNC stroje pracuje na základe programu zapísanom v G-kóde. Teda aby tlačiareň vytlačila náš 3D objekt, napríklad kľúčenkú z predchádzajúcej kapitoly, potrebujeme jej dodať G-kód. V G-kóde sú zapísané súradnice na základe ktorých je polohovaná tlačová tryska, tiež pokyny pre ovládanie podávania filamentu, nastavenie teploty, zmenu farby filamentu (pri viacfarebnej tlači) a iné.

Vytvoriť G-kód pre 3D tlačiareň je možné pomocou vhodného programu. K tlačiarňam Prusa je dostupný a voľne stiahnuteľný program SLIC3R PRUSA EDITION 1.41.1, ktorý nájdeme na webstránke výrobcu tlačiarňí [10].

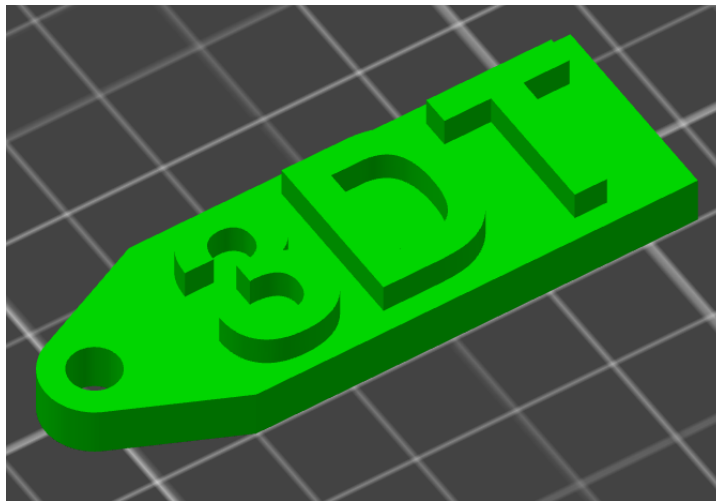
Pri prvom spustení programu sa otvorí uvítacie okno s možnosťou výberu používanej 3D tlačiarne / tlačiarňí. Vyberieme našu tlačiareň, ktorou je Prusa i3 MK2 s priemerom trysky 0.4mm:



Pridať 3D objekt vo formáte STL určený k tlači môžeme kliknutím na ikonku Add v záložke Plater:



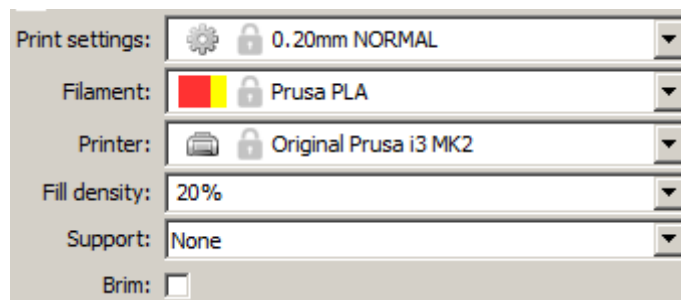
Ak je STL súbor načítaný úspešne, zobrazí sa 3D objekt. Pomocou kurzora myši je možné objekt otáčať v priestore a prezrieť si ho:



V pravej časti obrazovky je potrebné nastaviť (okrem správneho typu tlačiarne - Printer) hlavné požiadavky na 3D tlač:

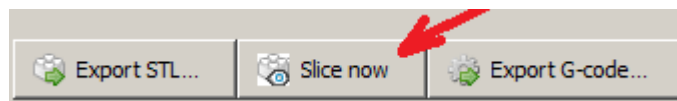
- Print settings - výška vrstvy, štandardne 0,2mm. S výškou vrstvy súvisí precíznosť tlače a rýchlosť tlače. Čím je výška vrstvy nižšia, tým je tlač precíznejšia, ale aj časovo náročnejšia.
- Filament - materiál používaný k 3D tlači.
- Fill density - hustota výplne. Počas tlače 3D objektu sa obvodové steny objektu tlačia súvislo, ale výplň objektu je nesúvislá, má tvar mriežky, alebo včelieho plástu, alebo inú štruktúru. Robí sa to z toho dôvodu šetrenia materiálu. Užívateľ má možnosť nastaviť hustotu výplne v percentách. Ak vytlačený objekt nebude príliš mechanicky namáhaný, postačuje malá hustota výplne. V prípade viac mechanicky namáhaných 3D objektov volí užívateľ vyššiu hustotu výplne.
- Support - podporný materiál. V prípade, že 3D objekt obsahuje rôzne klenby a previsy ktorých stúpanie je menšie ako cca 45°, pod kritickými miestami sa vytvára podporný materiál.
- Brim - rozšírený okraj na najnižšej vrstve. Vďaka rozšírenému kraju prvej vrstvy je 3D objekt lepšie uchytený k tlačovej podložke a je menšia pravdepodobnosť, že sa počas tlače odlepí od podložky.

Tabuľka s hlavnými nastaveniami vyzerá nasledovne:

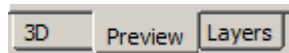


Po vykonaní hlavných nastavení užívateľom program automaticky nastaví parametre 3D tlače ako rýchlosť posunu po osiach X, Y, Z, teplotu trysky, teplotu tlačovej podložky a iné. Všetky programom vygenerované nastavenia by mali byť optimálne pre daný typ tlačiarne, typ filamentu, výšku vrstvy, hustotu tlače. V prípade potreby má užívateľ prístup aj k pokročilým nastaveniam a mohol by napríklad nastaviť viac súvislých vrstiev na spodnej a vrchnej časti 3D objektu, alebo zmeniť teplotu trysky a pod.

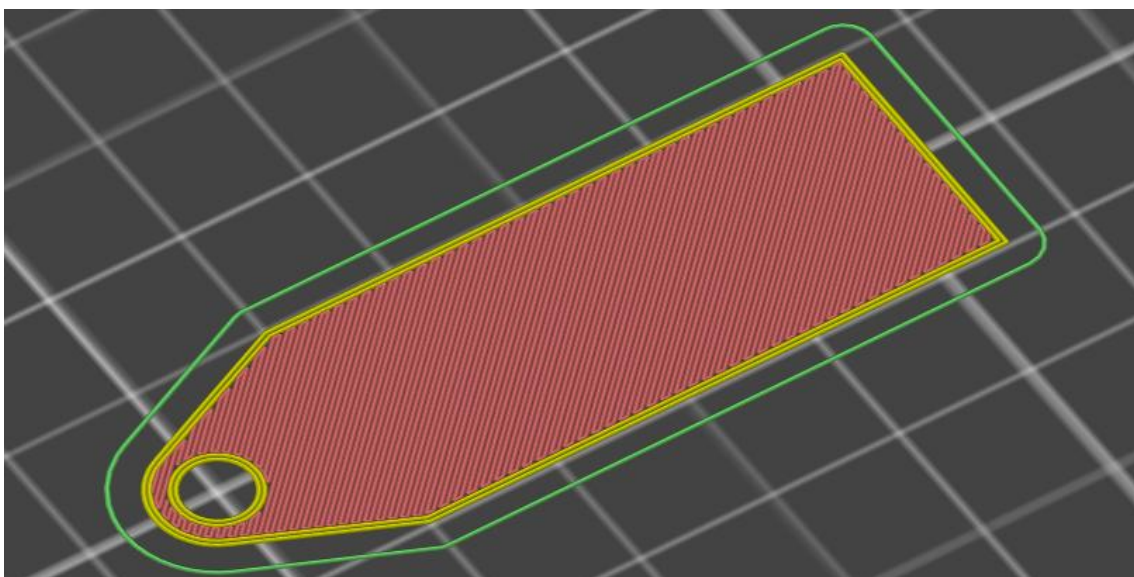
Jednou z výhod programu SLIC3R je to, že užívateľ si môže prezrieť jednotlivé vrstvy tlačeneho objektu ešte predtým ako sa objekt bude tlačiť na 3D tlačiarňu. V našom prípade sme v programe SLIC3R otvorili kľúčenkú nakreslenú v programe Autodesk Inventor, vykonali sme hlavné nastavenia a po kliknutí na tlačidlo Slice now:



je možné v záložke Preview vľavo dole:

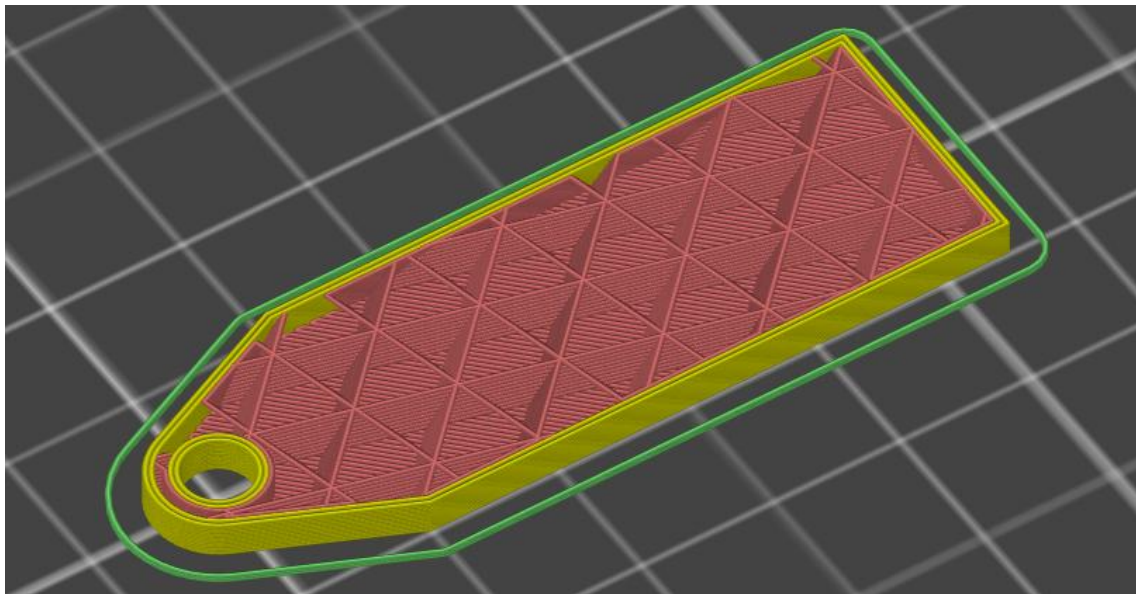


prezerať jednotlivé vrstvy tak ako sa budú postupne na seba ukladať počas procesu tlače na 3D tlačiarňu. Poďme sa na nich pozrieť. Najprv sa na seba uloží niekoľko (väčšinou 5 až 6) súvislých vrstiev:

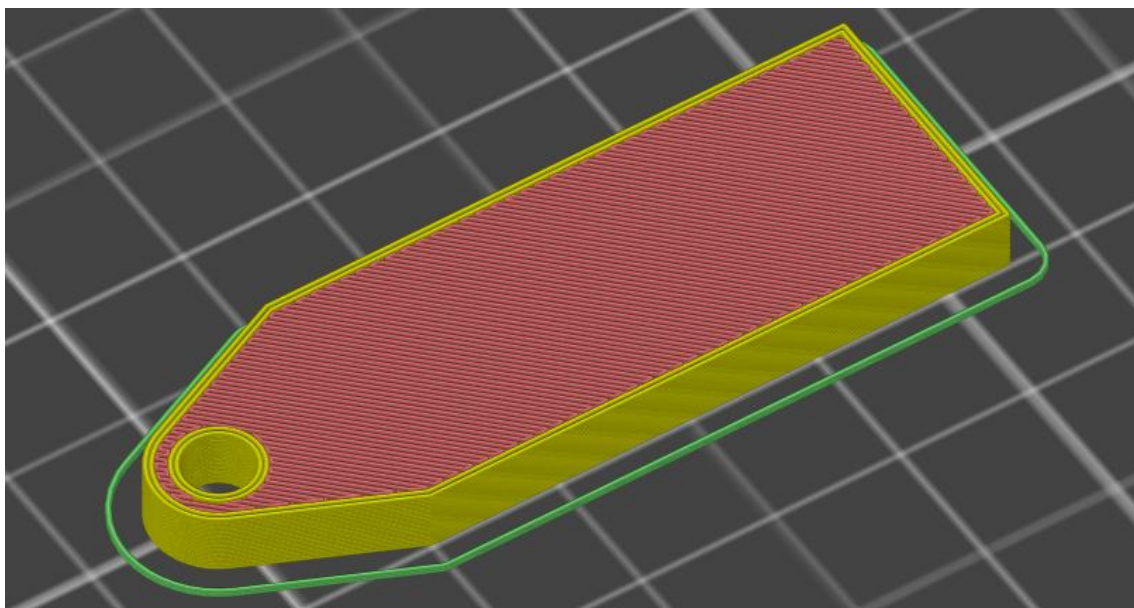




Po súvislých vrstvách nasledujú vrstvy pri ktorých je po obvode vytlačených niekoľko súvislých čiar vedľa seba (na obrázku sú dve čiary, ale môžeme ich nastaviť aj viac) a medzi obvodovými čiarami je vytlačená mriežka:

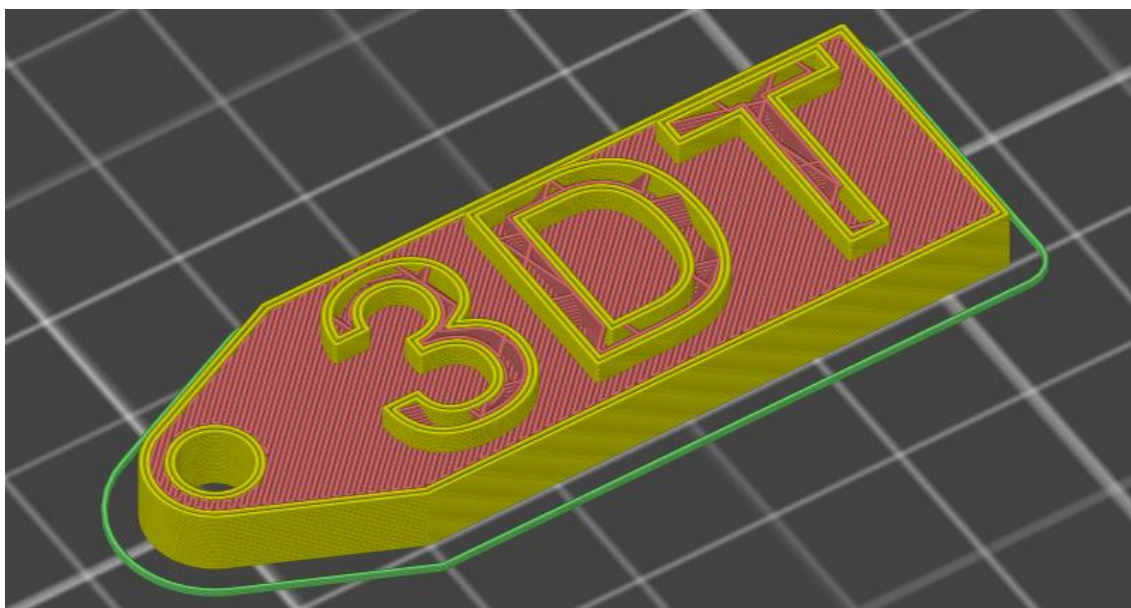


Nasleduje niekoľko horných súvislých vrstiev pomocou ktorých sa uzavrie vnútorná mriežková výplň:

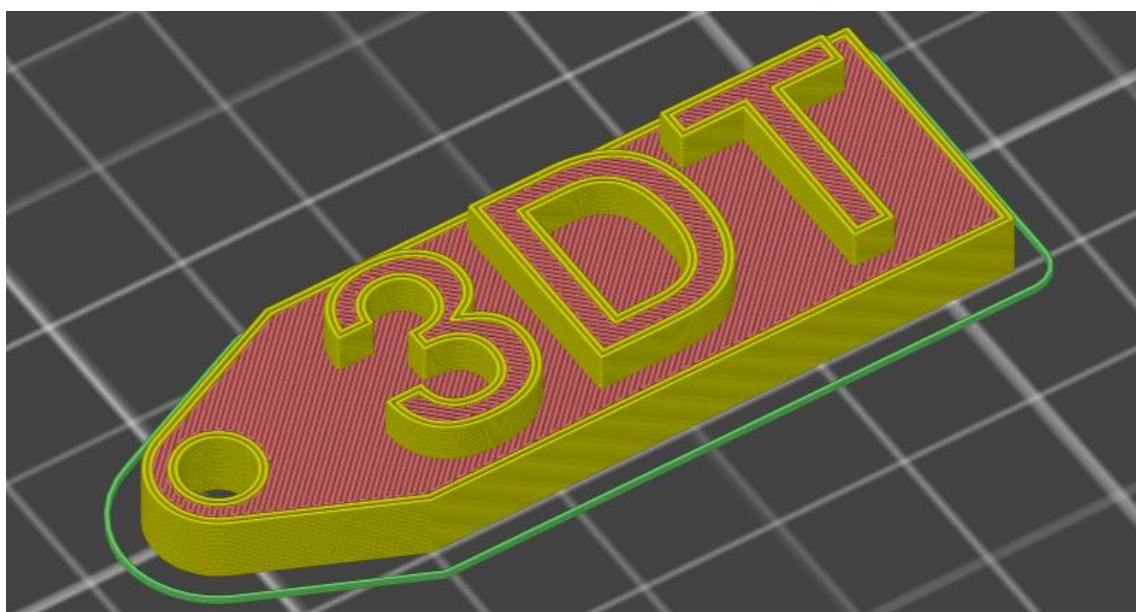


Po vytlačení dolnej časti kľúčenky nasleduje tlač textu. Najprv sa vytlačí niekoľko obvodových čiar písmen medzi ktorými bude opäť vytlačená mriežkovaná výplň:





Niekoľko posledných vrstiev je opäť súvislých a vo finále by mala kľúčenka vyzeráť takto:



G-kód pre tlačiareň je vygenerovaný stlačením tlačidla Export G-code:



Vygenerovaný G- kód umiestnite na SD kartu.

## 8. TLAČ 3D OBJEKTU

Pred používaním 3D tlačiarne je dôležité naštudovať si manuál k tlačiarni a vykonať kalibráciu tlačiarne. Tlačová podložka by mala byť očistená. Na zlepšenie príľnavosti 3D objektu k tlačovej podložke sa zvykne podložka potrieť tyčinkovým lepidlom na papier. V prípade tlače z materiálu ABS je vhodné tlačovú podložku postriekať roztokom ABS filamentu v acetóne, tzv. ABS juice.

SD kartu s G-kódmi pre tlač 3D objektu zasuňte do slotu pre SD kartu. Na LCD obrazovke nastavte tlač z SD karty. Vyberte požadovaný súbor k 3D tlači. Po odštartovaní tlače sa automaticky spustí ohrev trysky a tlačovej podložky. Až teplota trysky a teplota tlačovej podložky dosiahnu požadované hodnoty, spustí sa proces 3D tlače.

Tlač aj malého 3D objektu môže trvať niekoľko hodín. Po ukončení tlače je potrebné vytlačený 3D objekt opatrne odlepiť od tlačovej podložky. Môžete na to použiť napríklad čepeľ noža, alebo špachtľu.

## ZDROJE INFORMÁCIÍ

- [1] <http://www.lascam.cz/sk/technologie-3d-tlace-kovov/>
- [2] <https://education.gov.mt/en/resources/News/Documents/Youth%20Guarantee/3D%20Printing.pdf>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Selective\\_laser\\_sintering](https://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering)
- [4] <https://manufactur3dmag.com/3d-printing-technology-choice-fdm-v-s-sla-v-s-sls/>
- [5] <http://3dinsider.com/3d-printing-history/>
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Chuck\\_Hull](https://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull)
- [7] <https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing-technologies-from-the-80s-to-today/>
- [8] <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>
- [9] [https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d\\_manual\\_mk3\\_cz.pdf](https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_cz.pdf)
- [10] <https://www.prusa3d.cz/slic3r-prusa-edition/>  
alebo: <https://github.com/prusa3d/Slic3r/releases>

## ZDROJE OBRÁZKOV

obr.1 - <http://amedleyofpotpourri.blogspot.sk/2015/02/3d-printing.html>

obr.2 - <https://3dbaz.com/wp-content/uploads/2016/12/fdm-technology.jpg>

obr.3 - <https://www.bfft.de/en/techblog-eng/bfft-techblog-march-3d-printing-combination-flexibe-rigid-filaments/>

obr.4 - <https://www.gearbest.com/blog/how-to/how-to-stop-3d-prints-from-warping-2647>

obr.5 - <https://www.prusaprinters.org/update-multi-material-upgrade-2/>

obr.6 - <http://www.3dprinting.lighting/3d-printing-technologies/stereolithography/>

obr.7 - <https://support.formlabs.com/hc/en-us/articles/360000382864-Form-2>

obr.8 - <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/>

[Selective\\_laser\\_melting\\_system\\_schematic.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Selective_laser_melting_system_schematic.jpg)

obr.9 - <https://manufactur3dmag.com/3d-printing-technology-choice-fdm-v-s-sla-v-s-sls/>

obr.10 - <http://www.manifester.com.au/materials/>

obr.11 - [https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d\\_manual\\_mk3\\_cz.pdf](https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_cz.pdf)

obr.12 - <http://core-61.com/#>

obr.13 - <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>