

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: Stavba výrobních strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Návrh upínacích přípravků pro 3D skener

Autor: **Josef Vnouček**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Josef VNOUČEK</b>
Osobní číslo:	<b>S19B0472P</b>
Studijní program:	<b>B2301 Strojní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Stavba výrobních strojů a zařízení</b>
Téma práce:	<b>Návrh upínacích přípravků pro 3D skener</b>
Zadávací katedra:	<b>Katedra konstruování strojů</b>

### Zásady pro vypracování

#### Základní požadavky:

Cílem je návrh upínacích přípravků pro 3D skener do manipulačního zařízení pro součásti do 5 kg. Navržená řada přípravků bude umožňovat upínání výrobků o různých tvarech a velikostech při respektování požadavků z pohledu procesu skenování.

#### Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

#### Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše, úvod do problematiky
2. Specifikace zadání
3. Návrh řady upínacích přípravků
4. Konstrukční návrh jednotlivých představitelů
5. Zpracování výrobní dokumentace

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran A4**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

POCH, J. *Upínání na obráběcích strojích v kusové výrobě*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962

ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3*. Praha: Scientia, 2005

HOSNEDL, S. *Obecné strojní části 1: teoretické základy, spoje, přenosové části, otočná uložení, akumulátory energie, hřídelové spojky*. Plzeň: : Západočeská univerzita v Plzni, 2012

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**



---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan



---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Vnouček	<b>Jméno</b> Josef	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Stavba výrobních strojů a zařízení		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Kubec, Ph.D.	<b>Jméno</b> Václav	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh upínacích přípravků pro 3D skener		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	51	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	49	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	2
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Úkolem této práce je popsat metody 3D tisku. Popsat technologičnost konstrukce pro součásti tisknuté na 3D tiskárně. Navrhnout sérii upínačů pro použití na 3D skenovacím zařízení.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	3D tisk, 3D skener, strojní svěrák, upínání obrobků

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Vnouček	<b>Name</b> Josef	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Design of Manufacturing Machines and Equipment		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Kubec, Ph.D.	<b>Name</b> Václav	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of fixtures for 3D scanner		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	51	<b>TEXT PART</b>	49	<b>GRAPHICAL PART</b>	2
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The task of this work is to describe 3D printing methods. Describe the technological design for components printed on a 3D printer. Design a series of clamps for use on a 3D scanning device.
<b>KEY WORDS</b>	3D printing, 3D scanner, machine vice, workpiece clamping

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Václavu Kubcovi. Ph.D., za odborné vedení práce, cenné rady, připomínky a poskytnuté materiály. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu a trpělivost.

## Obsah

Obsah.....	8
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	9
1 Úvod.....	10
1.1 Cíl práce.....	10
2 Upínání výrobků .....	11
2.1 Soustružení – rotační součásti .....	11
2.2 Frézování .....	14
2.3 Speciální upínací prvky .....	17
3 3D skenery .....	18
3.1 Destruktivní skenery.....	18
3.2 Kontaktní skenery.....	18
3.3 Bezkontaktní skenery .....	19
4 3D tisk.....	21
4.1 Metody 3D tisku .....	22
4.2 Materiály pro 3D tisk.....	24
5 Návrh modelu pro 3D tisk.....	27
5.1 Technologičnost konstrukce .....	27
5.2 Umístění a orientace výtisku v prostoru tiskárny .....	29
6 Specifikace požadavků.....	30
6.1 3D skener ATOS Capsule.....	31
6.2 Požadavky na svěráky .....	32
7 Popis konstrukce svěráků.....	33
7.1 Varianta 1. ....	34
7.2 Varianta 2 .....	37
7.3 Výměnné čelisti .....	40
Závěr.....	44
Zdroje .....	45
Seznam obrázků .....	48
Seznam tabulek .....	49
Seznam příloh.....	49



## Seznam použitých zkratk a symbolů

PJM –	PolyJet Matrix
MJP –	MultiJet Printing
LOM –	Laminated Object Manufacturing
FFF –	Fused Filament Fabrication
FDM –	Fused Deposition Modeling
MLS –	Micro Laser Sintering
SLS –	Selective Laser Sintering
DED –	Directed Energy Deposition
PET –	Polyethylentereftalát
PETG –	Polyethylentereftalát modifikovaný glykolem
FLEX –	Flexfill obchodní název pro termoplastický polyuretan
TPU –	Termoplastický polyuretan
ABS –	Akrylonitrilbutadienstyren
PLA –	Polylactic acid
UV –	Ultrafialové světlo
CT –	Počítačová tomografie
Mx (M6,..)–	Označení metrických závitů
DIN –	Označení německé normy
ČSN –	Označení české normy
°C –	Stupeň Celsia
i –	Převodový poměr
$n_1$ –	Počet otáček hnacího kola
$n_2$ –	Počet otáček hnaného kola
$d_2$ –	Průměr roztečné kružnice hnaného kola
$d_1$ –	Průměr roztečné kružnice hnacího kola
$z_2$ –	Počet zubů hnaného kola
$z_1$ –	Počet zubů hnacího kola
T-drážka –	Drážka s průřezem ve tvaru T
2D –	Dvojměrný (v ploše)
3D –	Trojměrný (v prostoru)
mm –	Milimetr
kg –	Kilogram

# 1 Úvod

Upínání obrobků při konvenčním i nekonvenčním obrábění je realizováno jednoduchými zařízeními (například svěráky), nebo upínkami. Pro složitější součástky může být zvoleno upnutí do zvláštního přípravku. Při výrobě větších sérií výrobků je nutné, aby bylo upínání nejen přesné a tuhé, ale také rychlé. Pro použití u měřících přístrojů jako je 3D skener však nelze využívat klasické metody. Skener je určen pro lehké součástky (má nosnost jen 5 kg), a proto není možné použití standartních kovových upínacích zařízení. Je tedy nutné navrhnout lehké a rychlé upínací přípravky.

## 1.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce s názvem „Návrh upínacích přípravků pro 3D skener“ je vytvoření řady přípravků pro upínání různých součástí do 3D skenovacího zařízení. Při návrhu těchto zařízení je nutné respektovat požadavky procesu skenování. Dále je nutné zohlednit při návrhu metodu výroby těchto upínacích přípravků. Výroba by měla probíhat pomocí 3D tisku.

## 2 Upínání výrobků

Požadavky pro upínání obrobků při obrábění se příliš neliší od upínání obrobků do měřících přístrojů. Záleží samozřejmě na velikosti a tvaru samotného výrobku (obrobku).

Požadavky pro správné upnutí jsou:

1. Vymezení přesné polohy obrobku vůči měřicímu zařízení (optické, dotykové).
2. Dostatečná tuhost upnutí i při pohybu obrobku, případně při dotyku měřícího přístroje.
3. Upínání musí být jednoduché a snadno proveditelné obsluhou.
4. Zajištění přístupnosti měřené části vzorku.

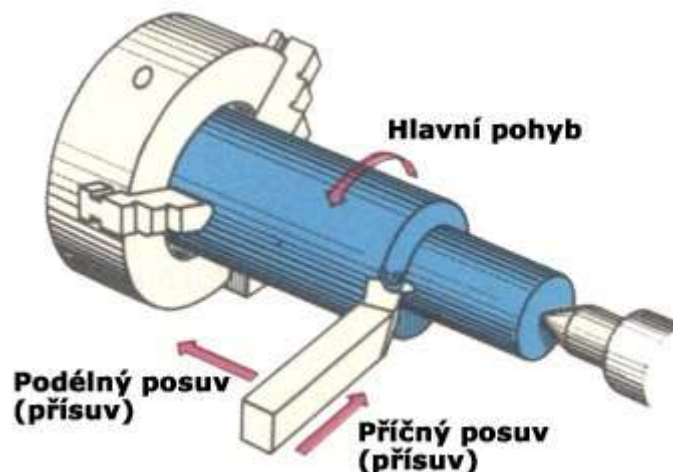
Další požadavky jsou specifické pro jednotlivé součásti, nejvíce záleží na jejich velikosti, hmotnosti a tvaru. Pro upnutí rotačních součástí jsou jiné upínače než pro upínání tvarově složitých odlitků.

Specifické upínání vyžadují i různé objemy výroby. Pro malosériovou, případně kusovou výrobu se nevyplatí složité a drahé přípravky. Naopak není možné, aby se u velkosériové a hromadné výroby součástí používali univerzální upínací nástroje. [3]

### 2.1 Soustružení – rotační součásti

#### 2.1.1 Univerzální sklíčidlo

Upínání rotačních součástí je většinou realizováno pomocí univerzálního sklíčidla. Pomocí univerzálního sklíčidla lze upínat obrobky rozličných rozměrů. Při upínání rozměrnějších (a těžších) součástí je nutné počítat s přídatnou podpěrou v podobě koníku, nebo lunety. Koník slouží k opření obrobku na druhé straně, než je umístěno sklíčidlo. Luneta se používá pro podepření dlouhých kusů mezi koníkem a sklíčidlem. Univerzálním sklíčidlem můžeme upínat obrobky za vnitřní i vnější průměr.



Obrázek 1: Upnutí rotační součásti do univerzálního sklíčidla a opření o hrot v koníku [6].

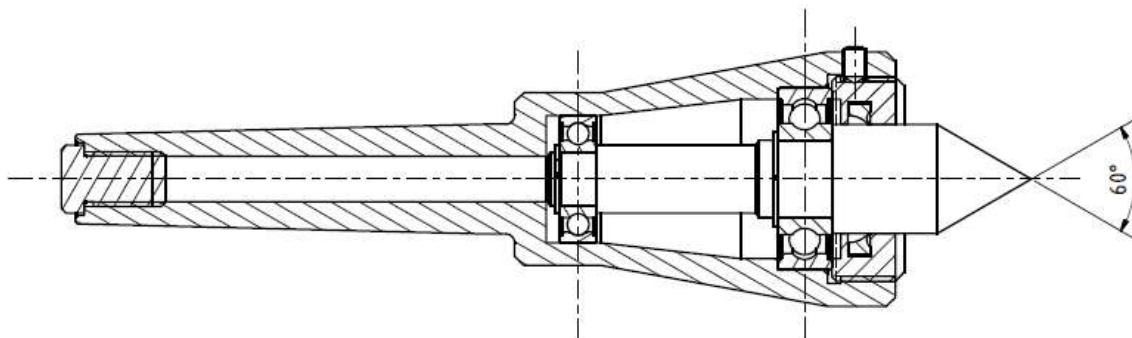
Univerzální sklíčidlo je nejčastěji tříčelist'ové, případně čtyřčelist'ové. Méně často se vyskytuje jen dvoučelist'ové sklíčidlo. Univerzální sklíčidlo může být ovládáno ručně, pneumaticky nebo hydraulicky. V kusové výrobě najdeme hlavně ručně ovládaná sklíčidla. Naopak při upínání obrobků u sériové, případně hromadné výroby musíme tuto činnost zrychlit a automatizovat,

proto se užívají sklíčidla ovládaná pomocí stlačeného vzduchu, případně hydraulického systému.

Ruční sklíčidlo se skládá z několika hlavních částí: spirálový kotouč s plochým čelním závitem, upínací čelist, tělo samotného sklíčidla a pastorek s kuželovým ozubeným kolem. Upínací čelisti, které svírají obrobek, se pohybují v T drážkách (drážky jsou v těle sklíčidla). Jejich pohyb zabezpečuje obsluha sklíčidla pomocí kliky. Klika otáčí pastorkem. Tento pastorek má kuželové ozubené kolo, které otáčí kuželovým ozubením na kotouči se spirálou. Čelist má v sobě drážky zapadající do spirály. Tímto způsobem se čelisti pohybují v T drážce v kolmém směru na osu otáčení. [4]

### 2.1.2 Upínání mezi hroty

Pokud je při obrábění na soustruhu vyžadována větší přesnost výroby, používá se upnutí obrobku mezi hroty. Používají se dva typy hrotů, pevný a otočný. Hroty jsou vyrobeny s kuželovou stopkou. Pevný se zpravidla upíná do vřetena stroje a otočný do koníku. Do obrobku před obráběním obsluha připraví středící důlky. Důlky slouží k ustavení obrobku do přesné polohy (do osy obráběcího stroje). Přesné navrtání středících důlků zabezpečí, že po obrobení součást nemá nežádoucí kuželovitý tvar. Pro přenos otáčivého pohybu vřetena na obrobek se používá unášecí srdce. Toto srdce se našroubuje na obráběnou součást. Je opřeno buď o vodící trn na unášecí desce (spojena s vřetenem), nebo má vlastní unášec. Tento unášec zapadá do drážky v unášecí desce (opět připevněna k vřetenu). [4]

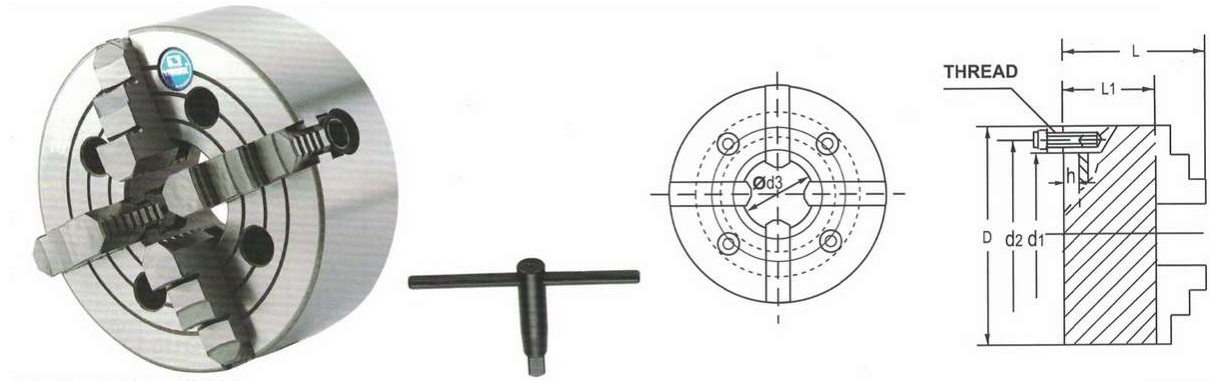


Obrázek 2: Otočný hrot

### 2.1.3 Upínací deska

Upínací deska slouží k upínání obrobků větších rozměrů. Navíc umožňuje upnutí obrobku mimo osu rotace soustruhu (např. klikový hřídel). Dále je možné pomocí dalších přídatných upínacích prvků (úhelníky, podložky) upínat tvarově složité součásti. Upínací deska vypadá podobně jako univerzální sklíčidlo, ale její použití je jiné. Oproti sklíčidlu je možné u upínací desky pohybovat s každou čelistí samostatně a nezávisle na pohybu (pozici) ostatních čelistí. Nejčastěji má lící deska čtyři čelisti. Po ustavení obrobku do přesné polohy je nutné zajistit jednotlivé čelisti pojistnou maticí (zamezí nežádoucímu pohybu čelisti). Tímto je zajištěno pevnější sevření než u univerzálního sklíčidla. Upínací deska dokáže tedy upnout obrobek pevněji, ale samotné upnutí je časově náročné. Upnutí musí obsluha provádět pomocí číselníkového úchylkoměru, tak aby obráběná rotační plocha byla přesně vystředěna s osou rotace stroje (upínací desky). Dále je nutné při upínání nesymetrických součástí tyto staticky

nebo dynamicky vyvážit. Z tohoto důvodu jsou také lící desky opatřeny drážkami pro umístění protizávaží nebo upínek. [4]



Obrázek 3: Upínací deska VKC-12B (volně nastavitelné sklíčidlo) [10].

#### 2.1.4 Kleština

Pomocí kleštiny se upíná většinou tyčový materiál (kruhový, čtyřhranný, šestihranný). Materiál je upnutý do kleštiny za vnější plochu. Otvor v kleštině, do kterého se umísťuje materiál, je jen o málo větší než rozměr samotného materiálu. Je tedy nutné pro různé průměry (rozměry) materiálu používat jiné kleštiny.

Kleština má kuželový tvar se zářezy do více než dvou třetin její délky. Na konci může být opatřena závitem. Do tohoto závitu se šroubuje tažný šroub. Tento šroub vtahuje kleštinu do kuželového pouzdra a tím se sevře materiál v kleštině. Kleština drží materiál za větší plochu (nejedná se o bodový ani čárový dotyk) a tím nepoškozuje povrch obráběného materiálu. Kleštiny se vyrábí z kalené oceli.

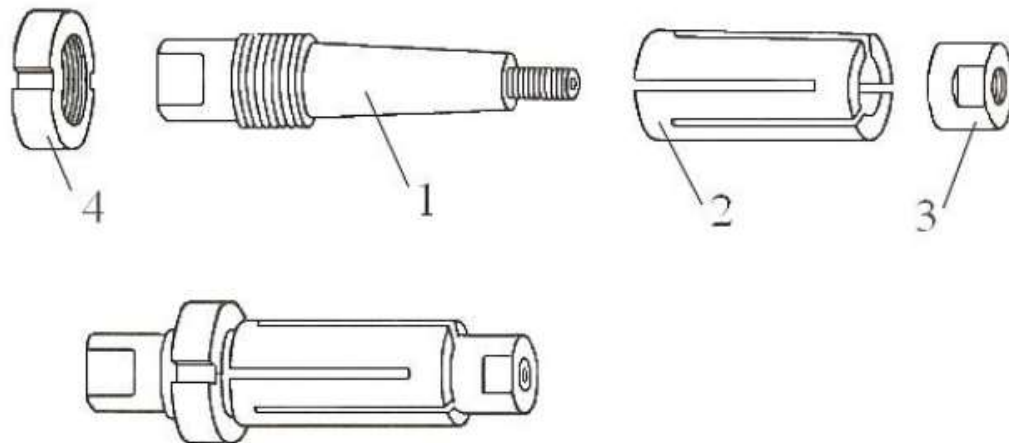


Obrázek 4: Kleština [8].

#### 2.1.5 Soustružnické trny

Upnutí pomocí soustružnického trnu se používá u obrobků s předem vytvořeným otvorem v ose obrobku. Obrobek se nasadí na trn a společně s trnem se poté upne do soustruhu například do sklíčidla nebo mezi hroty. Trn zde funguje pouze jako nosný prvek a umožňuje soustružení součásti po celé délce najednou. Rozlišujeme soustružnické trny rozpínací nebo pevné. Pevné mohou být kuželové, válcové, závitové, případně speciální (například tvarově přesně kopírující otvor v obrobku).

U pevných trnů, má trn stálou velikost a pro různé průměry otvorů musí být i jiné trny. Kuželový trn má určitou vůli ve velikosti otvoru, ale po naražení obrobku může dojít k odchýlení vlivem působení řezných sil a k následné nepřesnosti výroby. U válcových a speciálních trnů se obrobek pouze nasune a zajistí maticí, je nutné předem obrobít čela součásti. Rozpínací trn má v sobě kuželový prvek podobný kleštině. Ten se postupně utahuje na kužel a tím se rozevívá v otvoru obrobku. Rozpínací trn má dále na sobě druhou matici se závitem, ta slouží k vytlačení součásti a pouzdra po obrobení. [3]



Obrázek 5: Rozpínací soustružnický trn [4].

## 2.2 Frézování

Upínání součástí při frézování je odlišné než u soustružení, protože se zpravidla nejedná o rotační součásti. Navíc je při frézování v záběru několik zubů obráběcího nástroje. Tím vnikají větší síly, a je nutné tedy obrobek upnout ještě pevněji. Nesmí však vynikat nežádoucí deformace obrobku od upínacích sil.

### 2.2.1 Strojní svěráky

Strojní svěrák se nejčastěji používá k upnutí menších a tvarově jednodušších součástí při frézování. Samotný svěrák se upíná k pracovnímu stolu frézky pomocí šroubů (s čtvercovou hlavou) a T-drážek. Většinou se svěráky upínají ve směru kolmém (čelisti kolmo na T-drážky), nebo rovnoběžném. Je nutné součástku ve svěráku dostatečně upevnit, případně vypodložit tak aby ve své poloze držela i při působení řezných sil.

Pevný svěrák se skládá ze dvou základních částí: tělo svěráku s pevnou nepohyblivou čelistí a dále pohyblivá čelist. Tyto čelisti se pohybují proti sobě a tím svírají obrobek. Samotné sevření svěráku je zabezpečeno ručně (klikou), pneumaticky, případně hydraulicky.

Strojní svěráky se vyrábí v různých provedeních, dále je možné využívat svěrák otočný, sklopný, nebo se středící funkcí. Otočný svěrák je velmi podobný běžnému pevnému svěráku s tím rozdílem, že je možné jej otáčet v ose kolmé na pracovní stůl frézky. Těleso sklopného svěráku je možné natáčet v několika směrech, tímto je možné ustavit obrobek do správné

polohy. Samotný svěrák je nutné na pracovním stole vyrovnat pomocí úhelníků a upínat ho na čistou plochu. Odchylka při upnutí by se následně přenesla do přesnosti výroby. [4]



Obrázek 6: Otočný strojní svěrák s hydraulickým posilovačem [11].

### 2.2.2 Upínání pomocí pomůcek

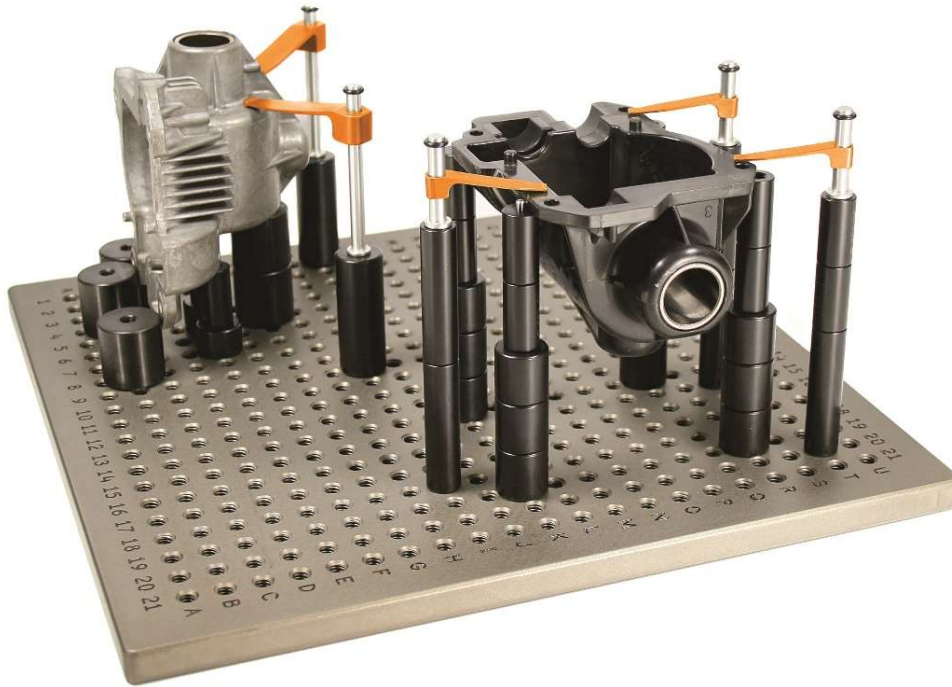
Toto upínání přímo na pracovní stůl s T-drážkami má velice malou produktivitu práce. Slouží pro upínání tvarově složitějších a rozměrnějších obrobků. K upínání slouží především: opěry, podpěry, upínky, včetně šroubů. Upínání je složité, musí se pro každý obrobek volit jiná sestava upínacích pomůcek. Využívá se především v malosériové výrobě. [2]



Obrázek 7: Upínací pomůcky se šrouby do T-drážky [13].

### 2.2.3 Přípravky pro upínání

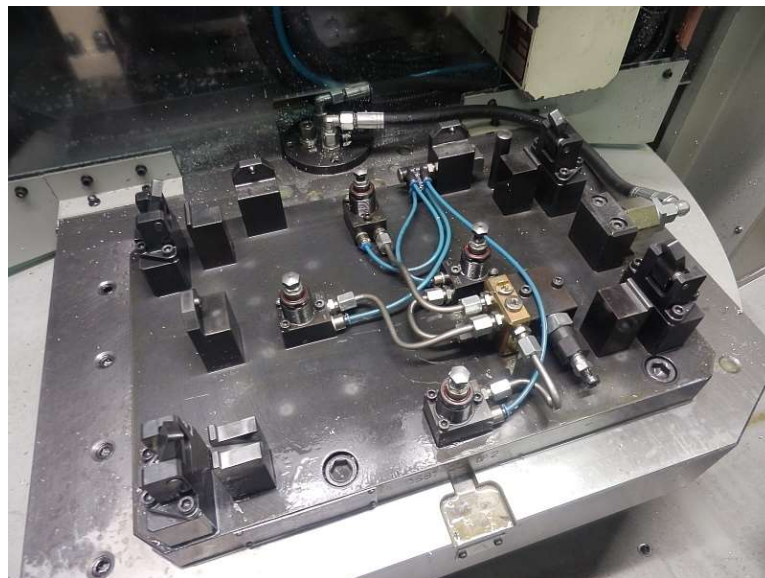
Pro upínání tvarově složitých obrobků převážně v sériové výrobě se používají speciální (jednoučelové) případně univerzální (víceúčelové) upínací přípravky. Ustavení obrobku do přípravku je zpravidla rychlé a velice přesné. Nevýhodou těchto přípravků je jejich vysoká cena, a i přes jistou univerzalitu jejich omezené možnosti použití. Univerzální přípravek je možné použít pro různé obrobky, ale musí se vždy přestavit jednotlivé upínací pomůcky. S výhodou se univerzálních upínacích přípravků využívá u měřících přístrojů. Například při ověřování rozměrů sériově vyráběných součástí složitých tvarů. [2]



Obrázek 8: Stavebnicový upínací přípravek pro měřicí přístroje firmy Renishaw [14].

Upínání hlavně u jednoúčelových upínacích přípravků je možné realizovat ručně případně automaticky (hydraulicky, pneumaticky).

Nároky na upínací přípravky jsou vysoké, musí zabezpečit přesné ustavení obrobku, přenášet veškeré síly vznikající při obrábění, umožnit rychlou výměnu obrobku a nesmí být příliš těžký. Pokud je přípravek příliš těžký, znesnadňuje manipulaci s ním při výměně. Velice často jsou podobné přípravky používány nejen při obrábění, ale i při svařování složitějších konstrukcí.



Obrázek 9: Speciální hydraulický přípravek firmy Naros [15].



## 2.3 Speciální upínací prvky

### 2.3.1 Technologické palety

Jedná se o speciální druh upínacího přípravku. Obrobek je v tomto přípravku nejen obráběn, ale i transportován mezi jednotlivými pracovišti v rámci výrobního podniku. Takto je možné obrobek na více strojích bez nutnosti ho pokaždé ustavovat do pracovního prostoru stroje. Ustaví se pouze samotná paleta, která má však jasně daná místa, pro snadné a rychlé upnutí. Transport takto upevněných obrobků do stejných přípravků se dá snáze automatizovat pomocí různých dopravníkových pásů. To přináší určitou nevýhodu při ruční manipulaci těžších obrobků, protože technologická paleta samozřejmě přidává další hmotnost navíc. Samotná technologická paleta může být v univerzálním provedení například s T-drážkami, několika sklíčovými nebo pravidelně vyvrtanými přesnými otvory.

### 2.3.2 Magnetické desky

Dva základní druhy těchto desek jsou elektromagnetická upínací deska a upínací deska s permanentními magnety. Magnetické desky se nejčastěji používají při upínání na zařízeních s menšími silami při obrábění (např. broušení), ale je možné je použít i při frézování. Na těchto deskách je možné upínat jen obrobky z magnetických materiálů.

Elektromagnetické desky obsahují cívky. Tyto cívky indukují v lamelách magnetické pole, které vyvozuje magnetickou sílu přitahující obrobek k desce. Upínací deska (plocha pro umístění obrobku) je tvořena samotnými lamelami z mosazi a ocele. Ovládání probíhá pomocí zdroje stejnosměrného napětí. Při sepnutí zdroje je vyvozena síla pro upnutí, při vypnutí opět odezní. V obrobku však zůstává zbytkový magnetismus. Ten je pomocí řízeného procesu v samotném zdroji odmagnetován opačnou polaritou magnetické desky.

Desky s permanentními magnety jsou ovládány ručně. Ovládání probíhá pomocí mechanického otočení magnetů uvnitř desky. Lamely jsou tvořeny opět z oceli a mosazi. U desky s permanentními magnety je nutné odmagnetování provést po odepnutí obrobku pomocí externího zdroje magnetismu. [17]



Obrázek 10: Elektromagnetická upínací deska [16].

### 3 3D skenery

Jsou to zařízení, která převádějí rozměry a tvar skutečných obrobků (objektů) do 3D počítačového modelu. Tento model je dále možné v počítači zpracovávat. Téměř všechny technologie 3D skenerů pracují na principu snímání jednotlivých bodů objektu (různými metodami). Čím více bodů je metodou získáno, tím větší je přesnost výsledného modelu. Po nashromáždění dostatečného počtu bodů (mračna bodů) daného objektu je počítačovými metodami objekt zrekonstruován (extrapolace bodů). Metod pro získání těchto bodů je několik, jejich základní rozdělení je na kontaktní a bezkontaktní. Tyto kategorie se pak dále dělí podle principu snímání jednotlivých bodů. 3D skenery a výstup z těchto zařízení (3D model) najdou široké uplatnění v:

- rozměrové kontrole dílů (možnost automatické kontroly při výrobě)
- tvorbě filmových efektů, designování a počítačových her
- skenování budov, továren, památek

#### 3.1 Destruktivní skenery

Destruktivní metoda snímání dokáže zaznamenat i vnitřní geometrii objektu. Při snímání dojde ke zničení předmětu. Před samotným skenováním se musí snímaný předmět zalít do kontrastního materiálu, který vyplní veškeré dutiny. Následně se pomocí frézky odfrézuje součást i s kontrastním materiálem. Každá vrstva je zaznamenána kamerou. Výsledkem tohoto skenování je soubor 2D dat z kamery a výška jednotlivých vrstev. Z tohoto záznamu se následně složí 3D mračno bodů a extrapolací se vytvoří následně digitální model součásti. Nejčastěji je tato metoda využívána při reverzním inženýrství (potřeba digitalizovat již vyrobenou součást do počítačového modelu) součástí se složitou vnitřní geometrií. [39]

#### 3.2 Kontaktní skenery

Snímání probíhá pomocí dotykové sondy. Měření je možné pomocí mechanické, nebo robotické paže, případně pomocí souřadnicového měřicího stroje. Mechanická (robotická) paže snímá postupně jednotlivé body měřeného objektu. Obsluha ručně navádí rameno a vybírá kontaktní body. Při dotyku měřicí sondy s objektem dojde k zaznamenání pozice podle aktuální pozice jednotlivých kloubů. Složením údajů o umístění jednotlivých bodů v prostoru můžeme vytvořit 3D model. Případně je možné použít mechanickou ruku jen ke kontrole některých rozměrů součásti. Robotická paže využívá stejný systém, jen není vedena přímo obsluhou, ale její pohyb je automatický. [39]



Obrázek 11: Mechanické rameno FARO Quantum S [19].

### 3.3 Bezkontaktní skenery

Využívají k měření součásti různé metody: magnetické, transmisivní a reflexivní. Oproti kontaktnímu skenování jsou tyto metody výrazně rychlejší a zároveň přesnější. [39]

#### 3.3.1 Transmisivní skenery

Jedná se o metodu počítačové tomografie (CT), která se hojně využívá i v lékařství. Při použití ve strojírenství pro snímání součástí je využíváno rentgenové záření vyšší intenzity (oproti lékařským tomografům). Počítačová tomografie dokáže získat informaci i o vnitřní geometrii součásti. Této skutečnosti se využívá i při hledání vnitřních vad například u odlitků. Skenování probíhá v uzavřené komoře zařízení, součást je nasnímána ze všech úhlů. Z těchto snímků a pozice součásti (natočení při jednotlivých snímcích) je následně složeno prostorové seskupení bodů součásti. Z těchto bodů je následně vytvořen 3D model součásti. Tato metoda je velice rychlá a přesná. Je však také finančně náročná a komora má omezené vnitřní rozměry. [39]

#### 3.3.2 Magnetické skenery

Ve strojírenství se využívá dvou metod: skener s magnetickou sondou a skener na principu magnetické rezonance. Druhá metoda dokáže získat i data o vnitřní geometrii objektu. Nejčastěji jsou využívány při kontrole potrubí, kotlů, nebo velkých tlakových nádob. Tímto skenerem je také možné hledání vad v materiálu odlitků a dalších součástí. [39]

#### 3.3.3 Reflexivní skenery

Reflexní skenery jsou založeny na principu odrazu paprsku od daného povrchu součásti. Mohou být optické, laserové a akustické. Nejpoužívanější jsou skenery optické.

- Laserové skenery

Laserové skenery pracují na principu odrazu laserového paprsku od povrchu snímaného objektu. Pokud chceme vytvářet prostorový model součásti, je nutné pohybovat se součástí nebo samotným skenerem. Je tedy nutné znát přesnou polohu skeneru. Pro její určení se používá metoda trackování, nebo se používají referenční značky. Trackování probíhá pomocí dalšího zařízení, které sleduje přesnou pozici skeneru v prostoru. Tato metoda však není příliš přesná. Referenční značky se umísťují přímo na snímaný objekt. Následně je z blízka snímán povrch součásti. Do jednoho objektu jsou složeny jednotlivé části pomocí referenčních značek. Zařízení pro tento druh skenování jsou levná a vhodná spíše pro méně náročná měření. Laserové snímání je hojně využíváno při skenování celých budov (interiérů i exteriérů). [40]

- Akustické skenery

Akustický skener při snímání součásti vyšle ultrazvukový signál. Na základě jeho odrazu vytváří počítačový model povrchu součásti. Zařízení se nejčastěji používá při kontrole kvality, protože je levné, rychlé a relativně přesné.

- Optické skenery

Součást je snímána z několika úhlů optickým zařízením. Na součást je nutné vyznačit referenční body. Pomocí těchto bodů dojde ke složení jednotlivých obrazů do prostorového mračna bodů součásti. Toto mračno je počítačovými metodami převedeno na 3D počítačový model. Nejčastěji je využívána metoda strukturovaného světla.

Strukturované světlo se využívá k tvorbě velice přesného počítačového modelu, včetně rekonstrukce povrchu součásti. Na součást jsou promítány velice tenké pruhy světla. Při dopadu na nerovný povrch součásti dojde k jejich zakřivení. Toto zakřivení je následně snímáno kamerou z jiného úhlu (než je vyslán světelný pruh). Poté jsou mezi sebou porovnávány vzory nasnímané kamerou a vysílané světelným emitorem. Toto porovnání dává potřebné mračno bodů pro tvorbu 3D počítačového modelu. Objekt je samozřejmě nutné nasnímat z několika úhlů. Ke složení dojde za pomoci referenčních značek. Velkou nevýhodou těchto skenerů je závislost na odrazivosti povrchu. Nedají se proto použít u lesklých, případně transparentních materiálů, protože dochází k velkým odchylkám modelu oproti měřené součásti. U lesklých materiálů se může na povrch měřené součásti nanést vrstva prášku, který povrch zmatní a následně je možné jej spolehlivě skenovat. Pro použití v průmyslu jsou tyto skenery nejčastěji

dodávány s otočným stolem, případně může být skenovací hlava umístěna na robotické paži. Tímto dosáhneme plné automatizace skenovacího procesu. [41] [40]



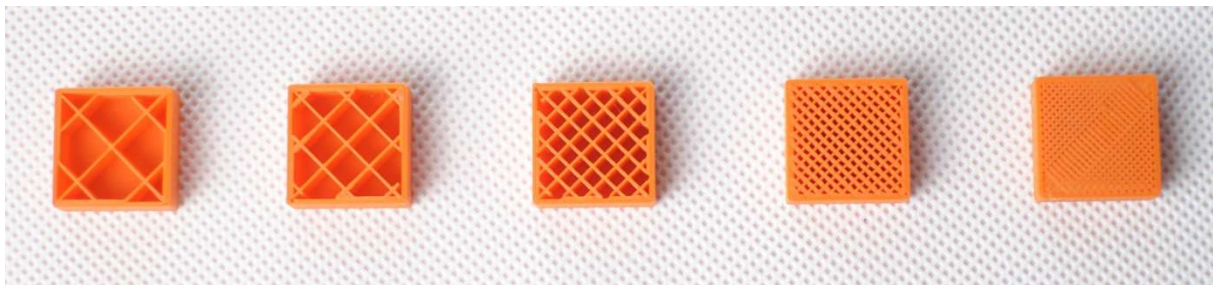
Obrázek 12: Skenovací box firmy ATOS - ScanBox Series 4 [20].

## 4 3D tisk

Metoda 3D tisku je určitý způsob výroby součástí pomocí speciálních zařízení – 3D tiskáren. Jedná se o aditivní metodu výroby součástí. Součástky touto metodou vznikají přidáváním materiálu, ten je nanášen v tenkých vrstvách. Tyto vrstvy jsou spojovány tavením nebo lepením. Na rozdíl od obrábění, kde dochází k ubírání materiálu z bloku, až na požadovaný tvar. Zásadní výhodou 3D tisku je možnost výroby velice složitých a komplikovaných tvarů výrobků. Pomocí 3D tisku je možné vytvořit konstrukce, které není možné vyrábět konvenčními metodami. Dále jsou 3D tiskárny využívány při výrobě prototypů. U některých součástí je nutné tisknout i vertikální podpory, které se po tisku musí odstranit. Vertikální podpora (výztuha) brání zhroucení součásti při tisku. Tiskárny také využívají metody pro úsporu materiálu. Uvnitř součásti může vytvářet místo plného materiálu jen určitou strukturu. Struktura je tvořena již řádově několika procenty materiálu (procentuální podíl materiálu a prázdného místa). Pro mechanicky namáhané součásti se doporučuje používat více než 50% výplně. Dále je možné zvolit si tloušťku stěn součásti.



Obrázek 13: 3D tištěný objekt (metodou FDM) s vertikální podporou [35].

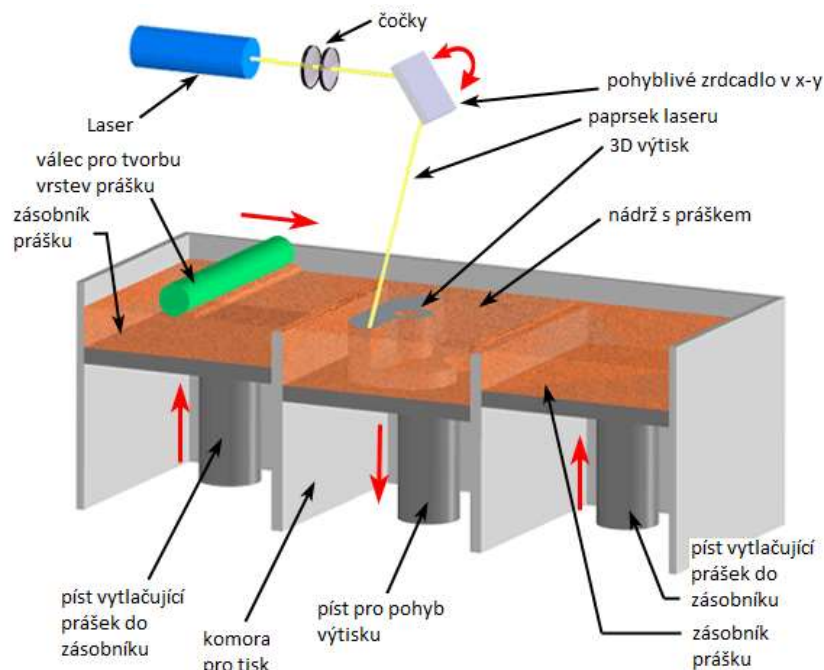


Obrázek 14: Různé úrovně výplně u tiskařské metody FDM [34].

## 4.1 Metody 3D tisku

Výběr nejběžnějších metod 3D tisku. Některé metody jsou založeny na stejném principu, jen mají jiný obchodní název. Každá metoda je vhodná pro tisk z jiného materiálu, ale většina umožňuje tisk z plastů.

- SLS – Selective Laser Sintering



Obrázek 15: Schéma 3D tisku metodou SLS, upraveno [23].

Tiskárna funguje na principu zapékání práškového materiálu pomocí laserového paprsku. Materiál je nanášen po tenkých vrstvách. Touto metodu je možné vyrábět součástky z plastu, kovu, keramiky i písku. [30]

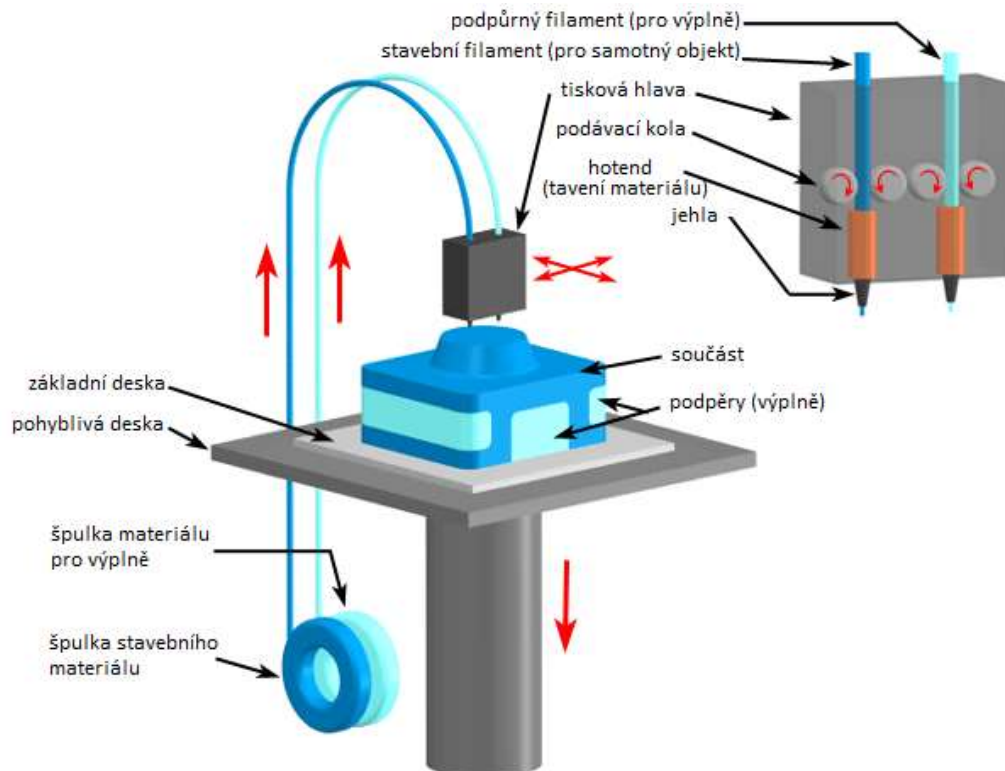
- MLS – Micro Laser Sintering

Technologie podobná SLS, ale tato metoda umožňuje tisknout v ještě tenčích vrstvách. Dokáže tedy vytisknout součástky přesněji s jemnou strukturou. Nevýhoda spočívá v dlouhé době tisku. [30]

- FFF/FDM – Fused Filament Fabrication/Fused Deposition Modeling

Tato metoda spočívá v nanášení roztaveného materiálu v tenkých pruzích. Jednotlivé pruhy se při nanášení spojují. Tímto však vzniká nerovný povrch součásti. Některé tiskárny dokážou tento povrch vyhladit. Pro tisk podpor se může používat jiný materiál (například barevně odlišný). Nejčastěji se pro tisk používají plastové materiály.

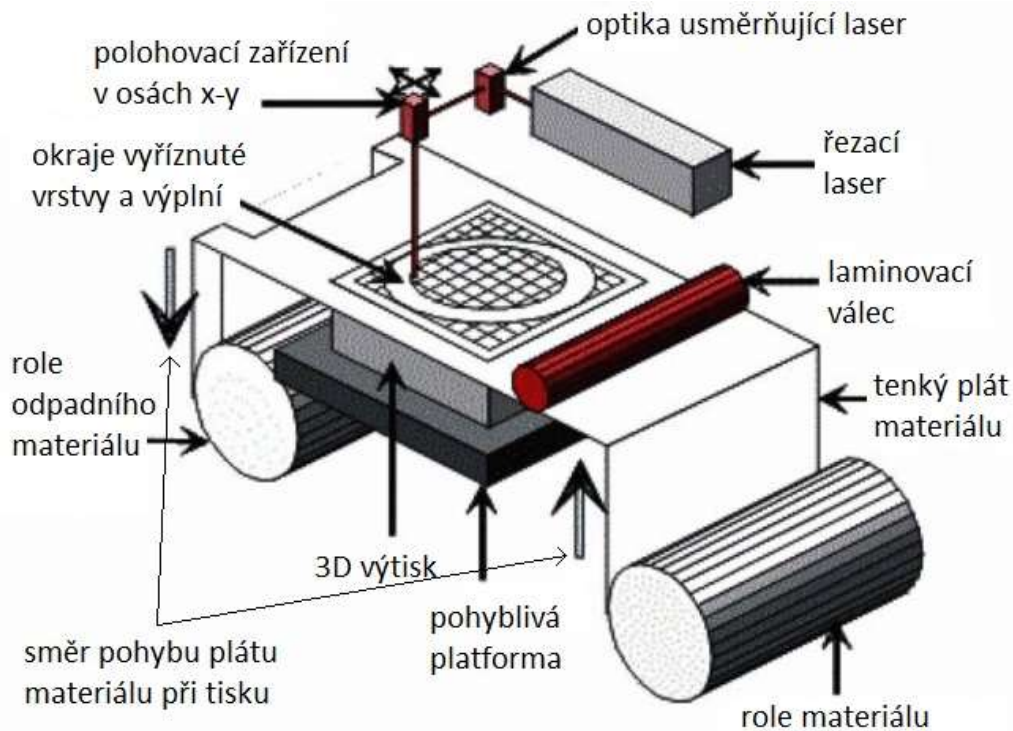
Tento typ tiskáren je hojně rozšířen i v domácnostech. Jsou poměrně levné a dostupné a při tisku nevzniká téměř žádný odpad. [21] [30]



Obrázek 16: Schéma 3D tisku metodou FFF/FDM, upraveno [22].

- LOM – Laminated Object Manufacturing

Tisk opět probíhá ve vrstvách (toto využívají téměř všechny metody). Každá vrstva je nejprve vyříznuta z plastu a následně plošně přilepena k předchozí vrstvě. Zásadní nevýhodou je velké množství odpadního materiálu při vyřezávání jednotlivých vrstev. [30]



Obrázek 17: Schéma 3D tisku metodou LOM, upraveno [12].

- PJM/MJP – PolyJet Matrix/MultiJet Printing

Obě metody jsou založeny na vytvrzování fotopolymerního materiálu pomocí UV světla. Takto vzniklé výtisky mají dobré mechanické vlastnosti, s velmi kvalitním povrchem. Velkou nevýhodou je nízká životnost materiálu. [30]

- DED – Directed Energy Deposition

Tato metoda využívá energie laseru ke svařování přídavného práškového materiálu. Tento prášek proudí tryskou na místo svaření spolu s inertním plynem (svařování v ochranné atmosféře). Z tohoto materiálu vzniká výsledný výrobek.

## 4.2 Materiály pro 3D tisk

### 4.2.1 Kov

Při tisku 3D součástí z kovu jsou využívány kovové prášky. Tiskárna nanáší prášek po tenkých vrstvách. Následně jsou částice prášku spojovány vysoce výkonným laserem. Při některých metodách tisku je nutné používat podpurné konstrukce. Tyto jsou poté manuálně odstraněny. Díly mohou být dále tepelně zpracovávány. Kovové výtisky z 3D tiskárny mohou mít speciální strukturu (nebo mikrostrukturu), která šetří materiál. Tím odlehčuje výslednou součást při zachování potřebných mechanických vlastností. Součásti je dále možné konvenčně obrábět. U složitých součástí vzniká problém s upnutím takových součástí a je třeba na toto pamatovat při návrhu součásti s ohledem na další zpracování. Kovové součástky je možné dále zpracovávat i tepelně (žhánění, popouštění). [25] [26] [27]

- Ocel



Pro aditivní metody výroby součástí je možné použít více druhů oceli. Je možné tisknout z nerezových i nástrojových ocelí. Součástky je možné povrchově kalit, svařovat.

- Slitiny niklu

Součástky mají velmi dobré mechanické vlastnosti. Jsou odolné vůči korozi a dobře odolávají vysokým teplotám. Nejčastěji se používají v leteckém průmyslu a pro závodní účely.

- Slitiny kobaltu a chromu

Výtisky z těchto kovů se vyznačují vysokou pevností, odolností vůči korozi a dobrou tepelnou odolností. Dokonce mohou být i biokompatibilní a dají se použít například v zubním průmyslu.

- Měď a její slitiny

Používají se pro tvorbu tepelných výměníků a aplikací, kde je zapotřebí tepelné nebo elektrické vodivosti.

- Titan

Výtisky si zachovávají vlastnosti titanu. Má výborný poměr mezi hmotností a pevností. Je biokompatibilní a odolný korozi. Jeho využití je v leteckém průmyslu, automotive nebo medicíně.

- Hliník

Použití pro běžné součástky v automotive, leteckém průmyslu nebo strojírenské výrobě. Hliníkové díly mají dobrou tvrdost a mechanickou odolnost i při dynamickém namáhání. [25] [26]



Obrázek 18: Architektonický „pavouk“, výroba tiskárnou Renishaw AM250 z titanu [24].

#### 4.2.2 Plast

Plast je nejčastěji používaným materiálem při 3D tisku. Je využíván jak pro hobby použití v malých domácích tiskárnách, tak pro výrobu prototypů v průmyslu. Používají se hlavně termoplasty, ale je možné provádět tisk i z reaktoplastů. V tomto přehledu jsou zobrazeny jen

nejběžnější plastové materiály pro 3D. Tiskárny pro tisk plastů musí být vybaveny vyhřívanou podložkou, to umožňuje pomalejší a rovnoměrné tuhnutí výrobku. [28]

- PLA – Polylactic acid

Nejpoužívanější termoplastický materiál pro tisk. Je dobře biologicky odbouratelný a snadno se tiskne. Má nízkou teplotní roztažnost, je tvrdý a křehký. Je také možné jej znovu používat (opětovně zahřát přes teplotu tání) s minimální degradací. [28]

Teplota trysky: 215 °C

Teplota podložky: 50–60 °C

- ABS – Akrylonitrilbutadienstyren

Dalším hojně používaným plastem pro 3D tiskárny je ABS. Má vyšší teplotu tání než PLA a proto s rostoucí teplotou nemění svůj tvar až do zhruba 100 °C. V kategorii plastů pro 3D tisk je velice pevný, odolný nárazům a UV záření (nedegraduje na slunečním světle). Velkou výhodou ABS je rozpustnost v acetonu, tímto je možné součástky z ABS slepovat, případně je možné vyhladit povrch výtisku. [28]

Teplota trysky: 255 °C

Teplota podložky: 100–110 °C

- PET – Polyethylentereftalát

Tento materiál má velice podobné vlastnosti jako ABS (pevnost, UV stálost), ale snáze se tiskne (podobně jako PLA). Častěji se používá modifikovaný PET pomocí glykolu (PETG). Glykol ve složení plastu snižuje jeho křehkost, a ještě více usnadňuje tisk. [28]

Teplota trysky: 240 °C

Teplota podložky: 80-100 °C

- FLEX/TPU – Flexfill/Termoplastický polyuretan

Termoplastický polyuretan má obchodní název flexfill. Je poměrně odolný, a hlavně velice pružný. Má malou teplotní roztažnost, hodí se tedy i pro přesnou výrobu dílů. [28]

Teplota trysky: 230 °C

Teplota podložky: 50-65 °C

### 4.2.3 Ostatní materiály

Existují tiskárny na různé potravinové materiály. Jediná podmínka je, aby byl materiál pro tisk plastický (vhodná je například čokoláda). To se však v praxi příliš nepoužívá, a proto zde představím pouze materiály využitelné v průmyslu.

- Vosk

3D tisk z vosku se používá především při odlévání kovů. Jedná se o metodu takzvaného ztraceného nebo vytavitelného modelu. Tiskárna vyrobí 3D voskový model, kolem tohoto modelu se vytvoří forma, do které je následně nalitý kov.

- Beton

Tiskárny vyvinuté pro tisk z betonu mají rozměry v řádech metrů (i desítky metrů). Slouží k tisku domů a staveb. [30]

- Sklo

Při tisku se využívá skleněného prášku z recyklovaného skla. Ten je spékán pomocí laseru do požadovaného tvaru. Jiné technologie zase využívají roztoku částic skla s polymerním materiálem. Roztok je opět vytvrzován po vrstvách pomocí laseru. [29]

- Keramika

Pro tisk se používá běžná keramika. Po vytisknutí je nutné ji standardně glazovat a vypalovat v peci. [30]

## 5 Návrh modelu pro 3D tisk

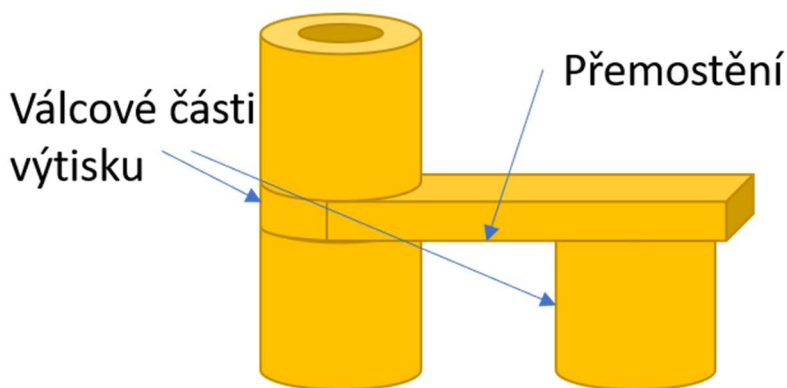
Tak jako pro návrh součástí, které se vyrábějí konvenčními metodami, platí určitá pravidla technologičnosti návrhu konstrukce i pro návrh součástí, které se budou vyrábět technologií 3D tisku z plastu, nejběžnější metodou FDM. Pro různé metody platí i jiná pravidla, proto zde budeme pojednávat pouze o této metodě tisku. Tyto pravidla jsou nutná k vytvoření kvalitního výtisku s požadovanými vlastnostmi na pevnost, povrch součásti a estetičnost. Zásadní roli hraje i cena výsledného výtisku. Špatný návrh součásti může způsobit zdražení výtisku a zhoršení jeho vlastností, případně nemožnost tuto součást vytisknout v požadované kvalitě. V neposlední řadě jsou vlastnosti součásti ovlivněny i orientací a umístěním v tiskovém prostoru tiskárny. [36]

### 5.1 Technologičnost konstrukce

Princip metody FDM pro tisk součástí vytváří určitá úskalí pro návrh součástí. Tím, že dochází k vrstvení materiálu, je nutné mít, vždy pevný bod, na který se může připojit další vrstva. Tento bod musí tvořit ideálně spodní vrstva součásti. V některých případech je možné při tisku využívat výztuhu, která vytváří opěrný bod pro vrstvu nad sebou. Tato výztuha je po vytištění odstraněna (může být z jiného materiálu než samotný výtisk) mechanicky, případně může být rozpustná (na rozdíl od výtisku) v příslušném rozpouštědle. [36]

#### 5.1.1 Přemostění, převis

Při tisku součástí s určitým mostem ve své konstrukci bez výztuh může dojít k prověšení jednotlivých vrstev tisknutých do prázdna. Bez výrazného poškození povrchu je možné tisknout přemostění do zhruba 5 mm (v závislosti na materiálu a tiskárně). Toto se dá eliminovat například vhodným umístěním na podložku tiskárny. Jsou však aplikace, kdy toto není možné. Například při tisku válcových součástí jako na obrázku (19). Při položení součásti na bok odstraníme problém s přemostěním, avšak tisk válcových ploch v tomto směru je nepřesný a výtisk rozměrově neodpovídá válci. Navíc je ve válci díra, která by opět nebyla kruhová. Při umístění jako na obrázku (19) dojde k výtisku rozměrově přesných válců (i s otvorem), ale při tisku přemostění dojde k prověšení spodních vrstev. V tomto případě by bylo vhodné použití podpěr v místě přemostění. Druh podpěr by následně vycházel z analýzy nákladů na tisk (promítne se čas tisku i spotřeba materiálu).



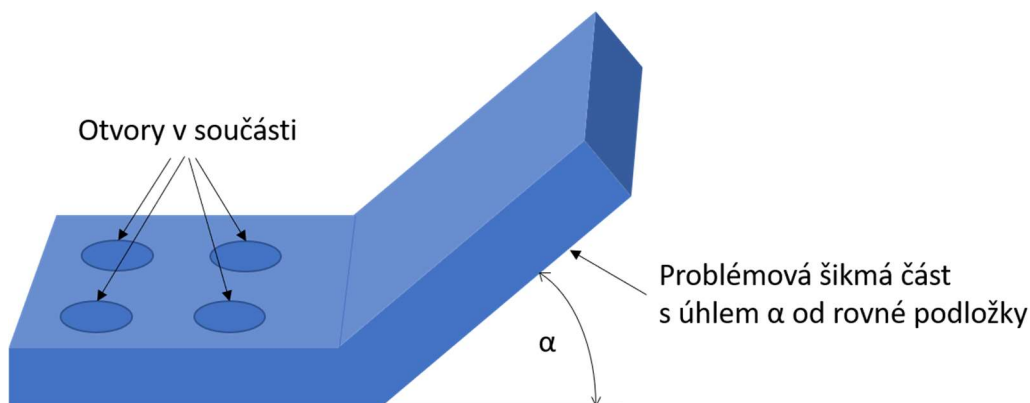
Obrázek 19: Model ve tvaru „h“ s válcovými podpěrami [1].

Je důležité, abychom se při návrhu součásti podobného tvaru dobře rozhodli, jaké přesně vlastnosti by měl výsledný výtisk mít. Například pokud není důležitá válcová část, je možné součást při tisku položit. Naopak pokud je nutné mít válcovou část přesnou, je nutné součást umístit vertikálně a využít podpor. Další možností je úplně změnit návrh celé součásti, nebo ji rozdělit na několik snadno tisknutelných dílů a ty následně spojit/slepit.

Tisk převisů je ještě náročnější než tisk přemostění. Podpora spodní vrstvy převisu je jen z jedné strany. Tím dochází k ohybu převislé části. Tento problém, je možné vyřešit pomocí žeber nebo správného umístění šikmé stěny. Pokud není tato úprava možná, nezbyvá než využít tisku podpor. To prodrazí tisk součásti (zvýší se spotřeba materiálu a prodlouží doba tisku). [36]

### 5.1.2 Šikmé stěny

Tisk zešikmených stěn provází podobné problémy jako tisk přemostění. Při určitém úhlu již není možné klást jednotlivé vrstvy materiálu na sebe a dojde ke zborcení výtisku. Tento úhel je závislý na výšce jedné vrstvy a šířce „vlákna“ tvořeného tiskárnou. Záleží samozřejmě i na nastavení tiskárny a druhu materiálu. Tento problém je možné opět vyřešit orientací na podložce tiskárny, to ovšem nemusí být u všech součástí možné.

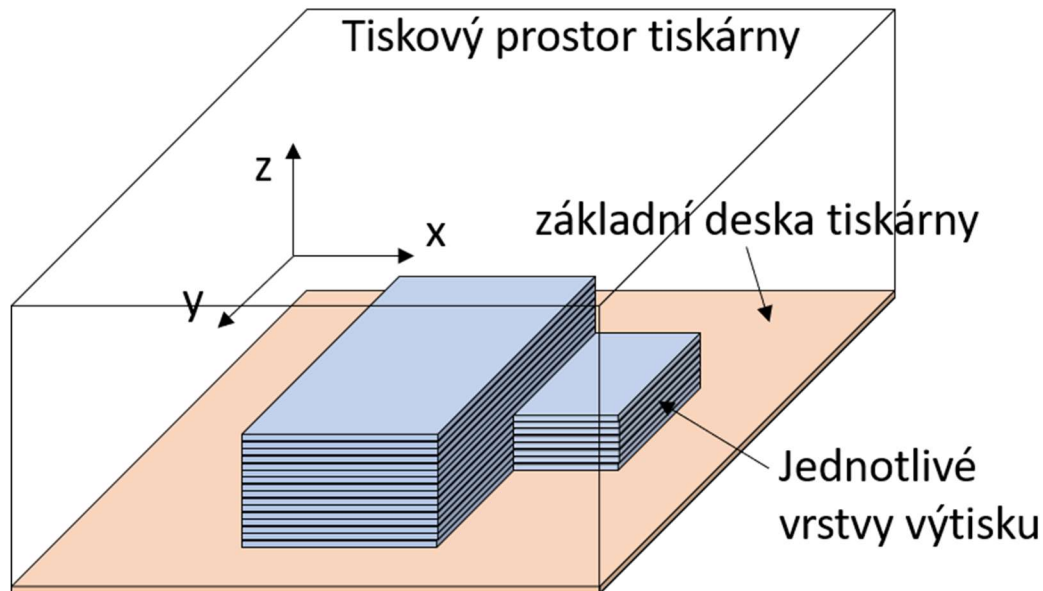


Obrázek 20: Příklad součásti s šikmou částí. [1].

Příklad takové součásti je na obrázku (20). Tuto součást není možné na tiskovou podložku umístit jinak než tímto způsobem, protože hlavním požadavkem je přesnost výroby otvorů. Je tedy nutné se při návrhu součásti ujistit, že je šikmá část potřebná a případně ji navrhnout s co největším úhlem  $\alpha$  [°] (v rozmezí 0°-90°). [36]

## 5.2 Umístění a orientace výtisku v prostoru tiskárny

Tiskárna vytváří objem součásti pomocí tenkých pruhů nataveného materiálu. Ty mají uvnitř součásti určitou orientaci v závislosti na natočení v prostoru tiskárny. Tato skutečnost ovlivňuje mechanické vlastnosti. Pevnost v obou směrech roviny základní desky tiskárny (x-y) je dobrá, ale ve směru růstu výtisku (v ose z) je výrazně nižší. Orientace výtisku je zobrazena na obrázku (21).



Obrázek 21: Tiskový prostor 3D tiskárny.

Umístění objektu v prostoru tiskárny má vliv na dobu tisku samotné součásti. Obecně platí pravidlo, že součásti orientované spíše horizontálně (směr x-y) mají dobu tisku kratší, než součásti orientované na výšku (směr z). Orientování ve směrech základní desky může také způsobit velké pnutí uvnitř součásti, případně odlepení od vyhřívané desky. To je způsobeno nerovnoměrným chladnutím materiálu. Odlepení od základní desky může zapříčinit kolizi výtisku s tryskou.

V některých případech je také možné rozdělit výtisk na více částí, které se po výtisku slepí. Slepění však může způsobit nežádoucí snížení pevnosti v místě spoje. Je tedy nutné dobře zvolit dělicí rovinu součásti.

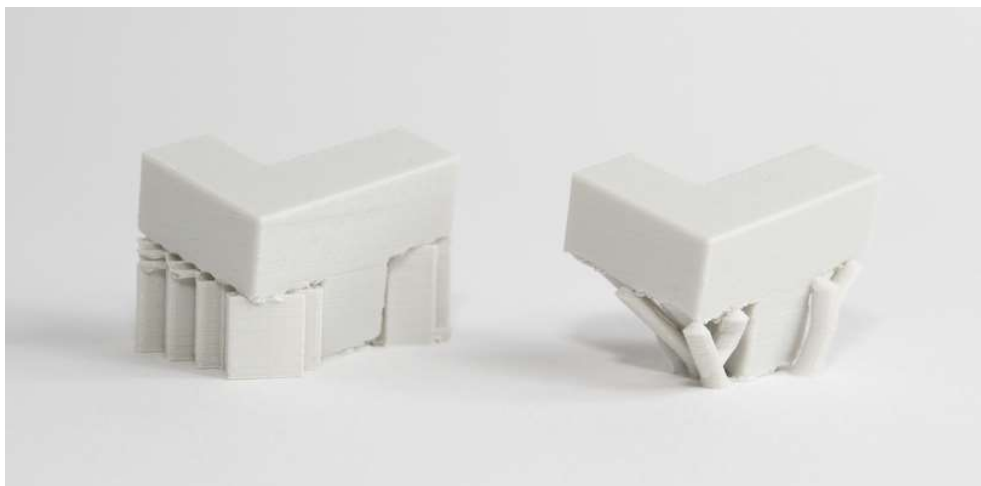
Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.1.1, orientace výtisku je důležitá i s ohledem na tvarovou shodu s modelem. Již zmíněný válec je mnohem přesnější při tisku vertikálním směrem, než horizontálním směrem (obrázek (22)). Z obrázku je také patrné, výrazné zkreslení válcové plochy, která se dotýká přímo podložky. Na začátku tisku válce totiž nedosedají jednotlivé vrstvy na sebe a dochází tím k deformaci výsledného výtisku.



Obrázek 22: Válec tištěný vertikálně (vlevo) a horizontálně (vpravo) [31].

### 5.2.1 Podpory

V předchozích kapitolách již byly podpory při 3D tisku zmíněny. U metody FDM se používají nejčastěji dva typy těchto podpor. První typ je ve formě mřížky, případně harmoniky. Tato mřížka (harmonika) je následně vrstvena ve formě sloupu. Další typ je podobný větvím stromu, a proto je označován jako podpora typu strom (anglicky „tree support“).



Obrázek 23: 3D modely s podporou typu harmonika (vlevo) a strom (vpravo) [32].

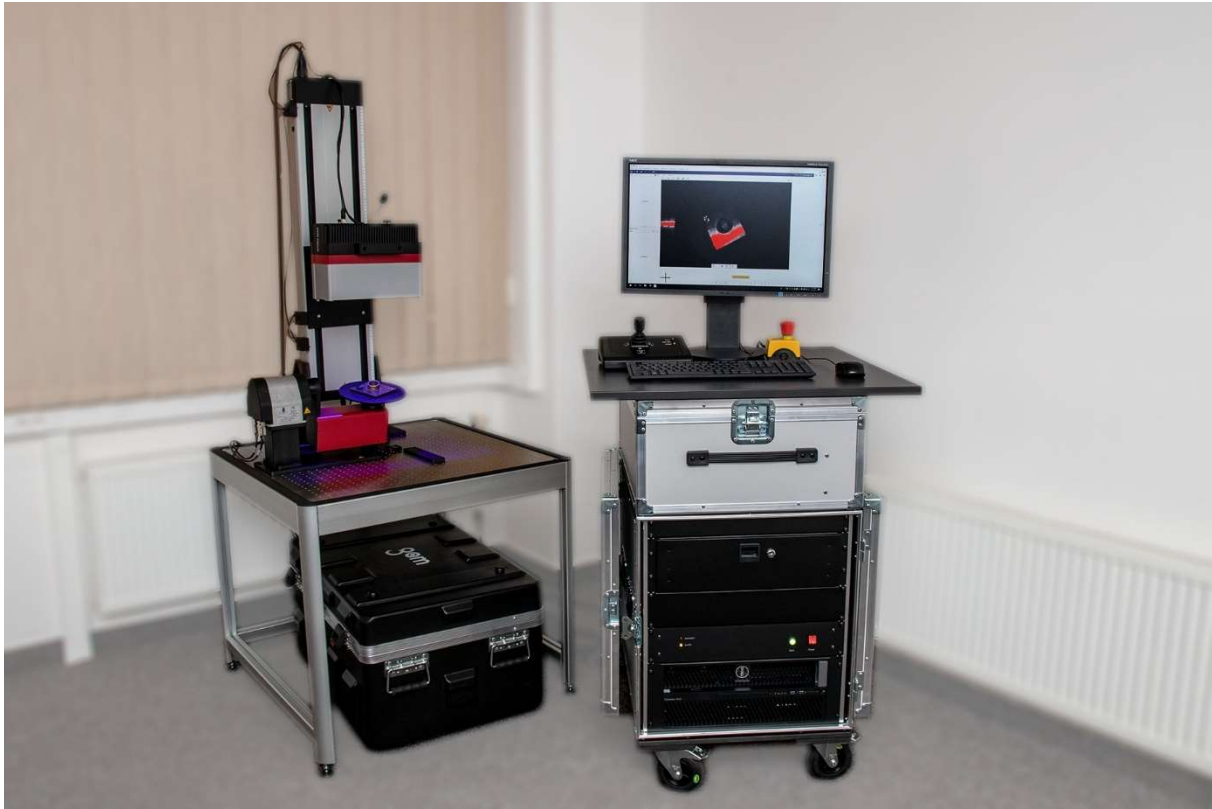
Tisk podpor je obecně neekonomický, protože vyžaduje často velké množství materiálu. Tím se prodlouží i doba tisku. V tomto ohledu jsou podpory typu strom výrazně lepší. Mají nižší spotřebu materiálu a tím i kratší dobu tisku. Kontaktní plocha s výrobkem je také menší, a proto má takto vyrobený výtisk po odstranění podpor kvalitnější povrch. Stromové podpory naopak nepodpírají výtisk tak kvalitně jako sloupy vytvořené z harmoniky (mřížky). [32]

## 6 Specifikace požadavků

V této kapitole je nutné specifikovat požadavky na návrh svěráků. Je také nutné specifikovat skenovací prostor 3D skeneru a upínací podmínky svěráku s otočným stolem.

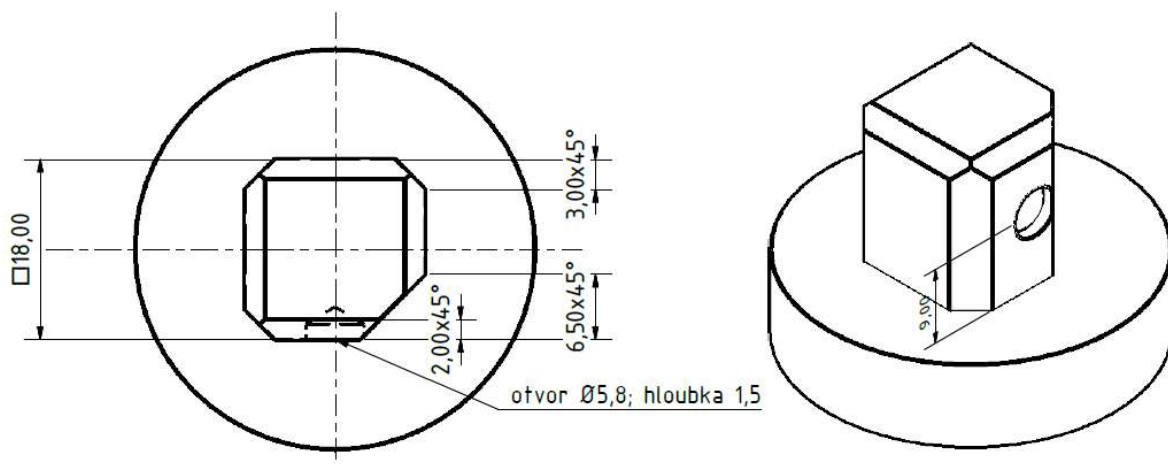
## 6.1 3D skener ATOS Capsule

Jedná se o 3D skenovací zařízení využívající optické metody strukturovaného světla. Je vhodný pro měření menších a středních dílů. Dokáže zachytit i velice malé detaily, proto je vhodný pro skenování například ozubených kol a turbínových lopatek. Skener dokáže vytvořit celoplošný model objektu s barevnou mapou zobrazující odchylku od požadovaného stavu. Je také možné toto měření automatizovat pomocí skenovacích boxů a robotických paží.



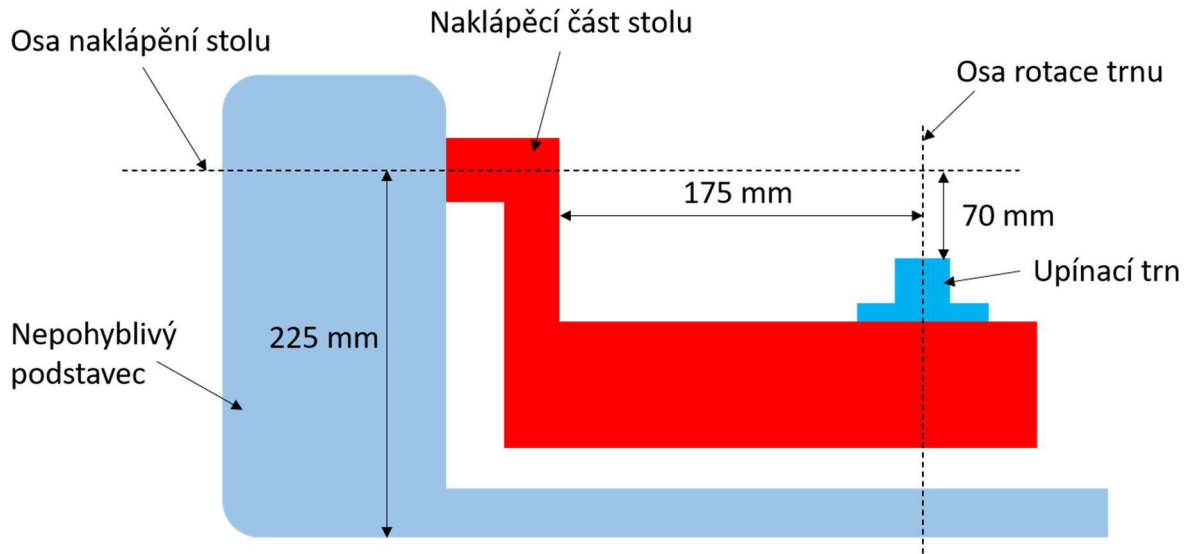
Obrázek 24: Sestava skeneru ATOS Capsule firmy Comtes FHT a.s. [38].

Sestava skeneru zahrnuje počítač pro obsluhu zařízení a polohovací systém skeneru. Rampa pro vertikální pohyb skenovací hlavy a otočný stůl. Stůl zajišťuje pohyb skenované součásti kolem osy rotace stolu a také je možné pomocí něho součást naklápět. Na tento stůl je možné upínat příslušenství (svěráky) pro zajištění součástí při skenování. Upínací trn je naznačen na obrázku (25). [37]



Obrázek 25: Schématický náčrt upínacího trnu pohyblivého stolu.

Základem upínacího trnu je krychle o straně 18 mm. Na boku krychle (ve středu-horizontálně i vertikálně) je také umístěn otvor pro zajištění připojeného příslušenství. Jedna strana je výrazněji zkosena z důvodu jednoznačného umístění příslušenství.



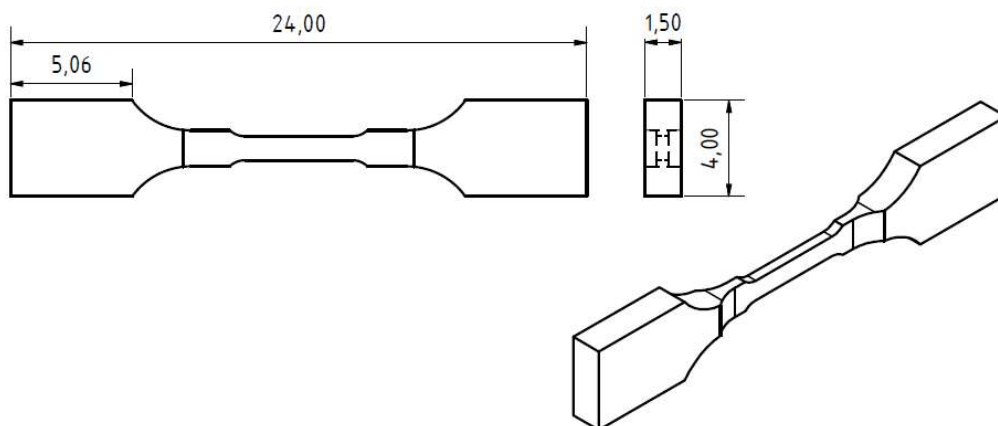
Obrázek 26: Schématický nákres pohyblivého stolu.

Na obrázku (26) je naznačen prostor otočného stolu. Z tohoto schématu plynou rozměrová omezení pro návrh svěráku.

## 6.2 Požadavky na svěráky

Řada svěráků by měla obsáhnout upínání dílů, které jsou nejčastěji skenovány ve firmě COMTES FHT a.s. Jedná se především o díly menších rozměrů. Například:

- zkušební tyčky z mikro tahové zkoušky materiálu
  - upínání za jeden konec materiálu 1,5 x 4 mm
- štíhlé díly (výška násobně větší než rozměr podstavy)
- tenké řezy materiálu pro zjištění zbytkového pnutí
- měření rozměrů (následně objemu) tenkého plechu na platformě cca 60 x 25 x 10 mm
- skenování dílu spolu s upínacím rámem.



Obrázek 27: Schématický nákres zkušebního vzorku mikro tahové zkoušky se základními rozměry.





Obrázek 28: Plastový díl s upínacím rámem.

Jednotlivé díly svěráků by se měly vyrábět především na 3D tiskárně metodou FDM. Samozřejmostí je upnutí na upínací trn otočného stolu dle náčrtu v kapitole 6.1. Posledním požadavkem je upínání výrobků, tak aby bod rotace (rotace kolem vertikální i horizontální osy) byl shodný s těžištěm skenovaného výrobku.

Návrh série svěráků jsem zúžil na 2 varianty, které pokryjí požadavky na upínání.

- Varianta 1.

Multifunkční svěrák s výměnnými čelistmi pro upínání menších dílů převážně štíhlého tvaru. Tento svěrák by měl pokrýt požadavky na upnutí vzorků z tahové zkoušky a štíhlé plastové díly. Dále se zde budou upínat tenké vzorky (řezy) materiálu. Možnost výměny čelistí ještě zvýší využitelnost tohoto svěráku pro upínání i jiných dílů. Dále by měl svěrák umožňovat rychlou výměnu jednotlivých dílů, při skenování celé série stejných kusů.

- Varianta 2.

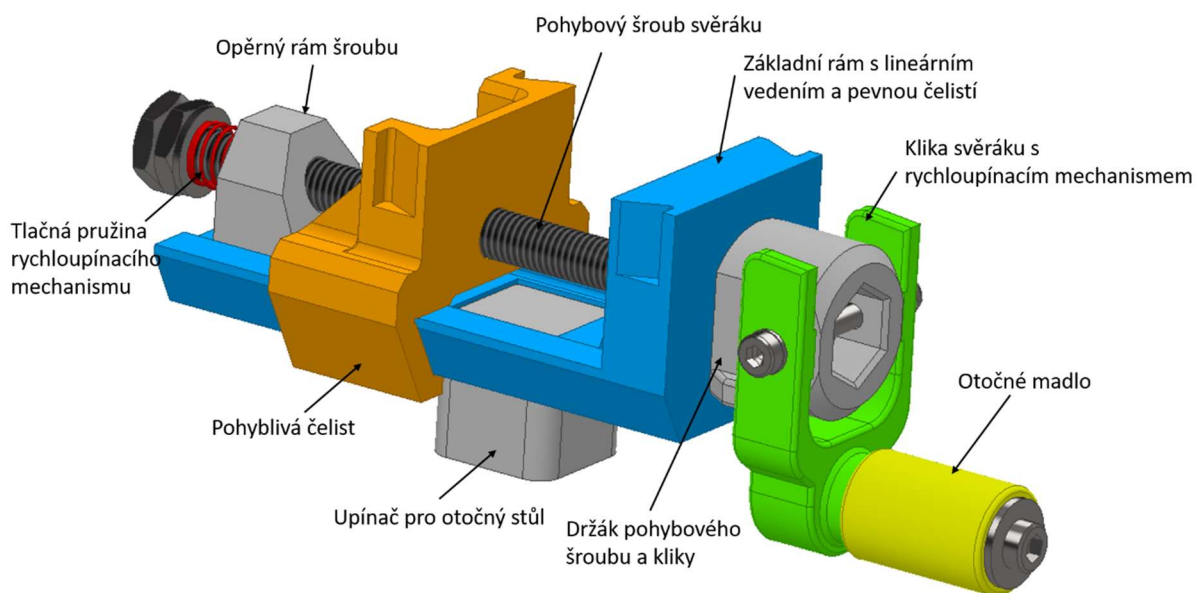
Svěrák pro upínání větších součástí by měl sloužit hlavně pro upnutí plastových dílů spolu s upínacím rámem. Vzhledem k velikosti upínaných součástí musí být jeho zástavba co nejnižší (upínání co nejbliže k otočnému stolu). Jinak by nebylo možné upnout výrobek, tak aby se otáčel ve vlastním těžišti. Tento svěrák, by měl také pojmout platformu s přilepeným plechem pro měření objemu.

## 7 Popis konstrukce svěráků

Celá konstrukce je uzpůsobena výrobě na 3D tiskárně metodou FDM. Jako základní materiál pro jednotlivé díly jsem zvolil PETG. Hlavním důvodem pro volbu tohoto materiálu jsou jeho mechanické vlastnosti podobné ABS. Navíc se tento materiál výrazně lépe tiskne a nedochází k takovému smrštění dílů při tuhnutí. Výtisky z PETG mají také kvalitní povrch a je možné jej dodatečně brousit. Materiál byl také zvolen s ohledem na potřebu některé díly lepit. Lepení PETG je možné pomocí běžně dostupných vteřinových lepidel na plasty. Tímto vznikne velice pevný a odolný spoj.

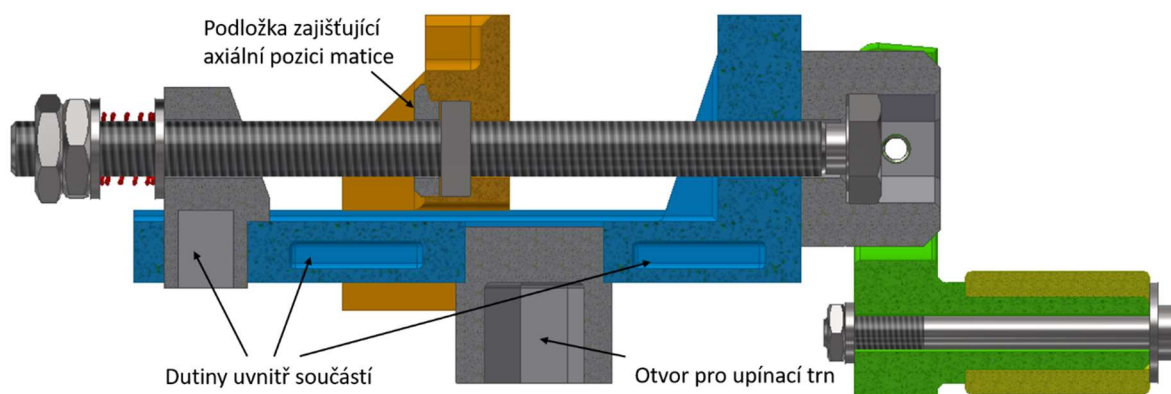
## 7.1 Varianta 1.

První varianta svěráku je navržena pro upínání menších dílů. Maximální rozměr mezi pevnou a pohyblivou čelistí je 64 mm. Tato hodnota se ještě sníží, protože do tohoto prostoru mohou být vloženy jednocelové (případně univerzální) čelisti pro upínání měřených součástí specifikovaných v kapitole 6.2. Pomocí těchto čelistí je možné svěrák upravit pro upínání různě rozměrných součástí, tak aby se jejich těžiště nacházelo přibližně v ose rotace naklápěcího stolu. U tohoto svěráku byl navržen také rychloupínací systém, který zabezpečuje snadnou a rychlou výměnu jednotlivých součástí. Spojení základního rámu s upínačem pro otočný stůl a opěrným rámem pro šroub je zabezpečeno slepením.



Obrázek 29: Popis součástí svěráku bez čelistí – varianta 1.

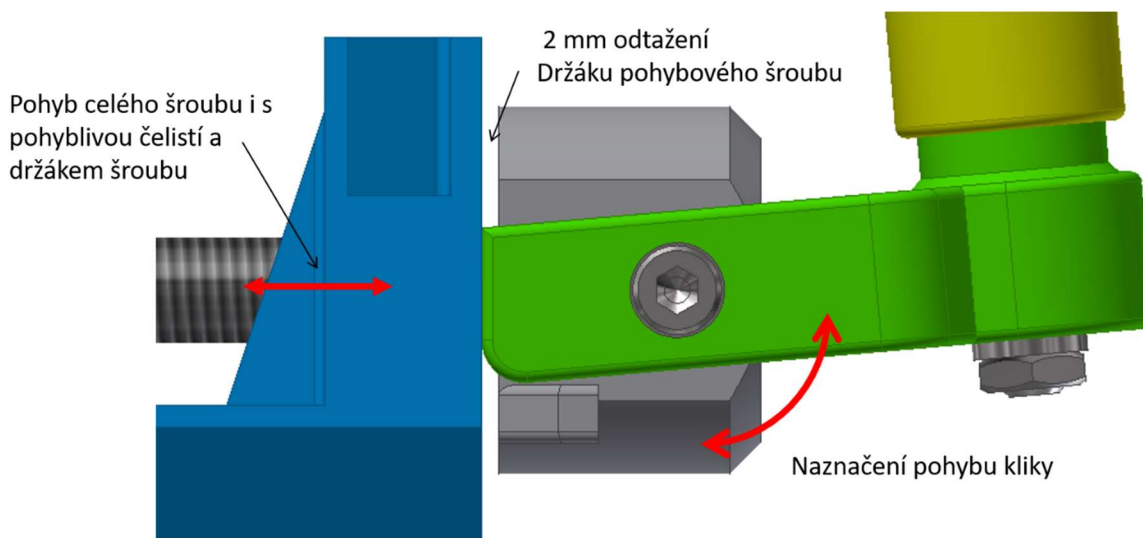
Pohyb čelisti je realizován pomocí šroubu s metrickým závitem. Jeho šestihránná hlava je uchycena v držáku a pevně spojena s klikou. Opěrný rám zamezuje axiálnímu pohybu šroubu a působí také jako opora pro tlačnou pružinu rychloupínacího mechanismu. Jako spojovací materiál jsou zde použity běžně dostupné zápustné šrouby s nízkou hlavou a nízké matice.



Obrázek 30: Popis součástí svěráku bez čelistí – varianta 1.

Na obrázku (30) jsou vidět dutiny uvnitř součástí. Slouží ke zpevnění součástí a úspoře materiálu. Zpevnění je způsobeno tím, že tiskárna na povrchu (i vnitřním povrchu dutiny) tiskne

několik vrstev plného materiálu, a nejen procentuální výplň. Pohyblivá čelist je s pohybovým šroubem spojena za pomoci čtyřhranné matice zabudované do těla čelisti. Matici je možné vložit při tisku a vytvořit takto závitovou vložku (podobně jako při vstřikování plastů). Návrh ale počítá s vložením matice až po tisku a následným zajištěním proti axiálnímu pohybu podložkou přilepenou k čelisti. Jednotlivé kontaktní plochy (vedení a pohyblivá čelist) je nutné po vytisknutí dodatečně brousit a použít olejové mazivo pro lepší kluzné vlastnosti.



Obrázek 31: Schématické naznačení rychloupínacího mechanismu.

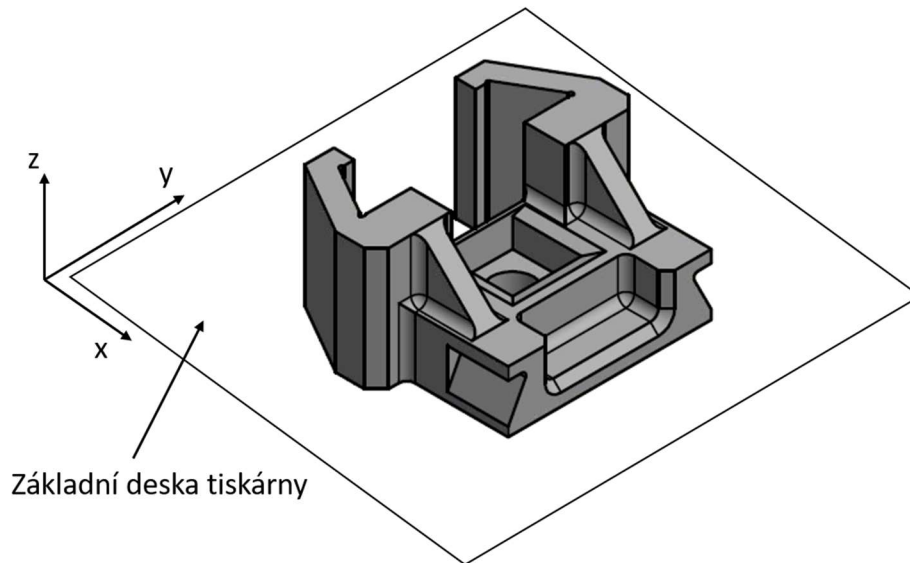
Rychloupínací systém u tohoto svěráku funguje podobně jako u nábojů horského kola. Při sklopení kliky do horizontální polohy dojde k opření obou ramen kliky o základní rám a k povytažení celého pohybového šroubu a stlačení pružiny na jeho konci. Tímto způsobem se pohyblivá čelist posune o 2 mm. Tento pohyb umožňuje rychlou výměnu součástí bez nutnosti neustálého otáčení klikou.

Druh spojovacího materiálu	Označení (norma)	Rozměr	Způsob použití
šroub se šestihrannou hlavou	ČSN 021103, DIN 933	M10 x 150	pohyb čelisti
podložka pro šroub	ČSN 021703, DIN 433	pro šroub M10	vymezení pružiny
Matice čtyřhranná	AS 1474	M10	vložka do čelisti
matice - nízká	DIN 439-2	M10	zajištění pohybového šroubu
podložka pro šroub	ČSN 021703, DIN 433	pro šroub M5	šroub kliky
podložka pro šroub	ČSN 021703, DIN 433	pro šroub M6	šroub otočného madla
matice - nízká	DIN 439-2	M5	zajištění šroubu kliky
matice - nízká	DIN 439-2	M6	zajištění šroubu otočného madla
šroub se zápustnou hlavou	DIN 6912	M5 x 50	šroub kliky
velokoplošná podložka	DIN 9021	pro šroub M6	zajištění otočného madla
šroub se zápustnou hlavou	DIN 6913	M6 x 50	šroub otočného madla

Tabulka 1: Použitý spojovací materiál pro svěrák, varianta 1.

### 7.1.1 3D tisk vybraných součástí

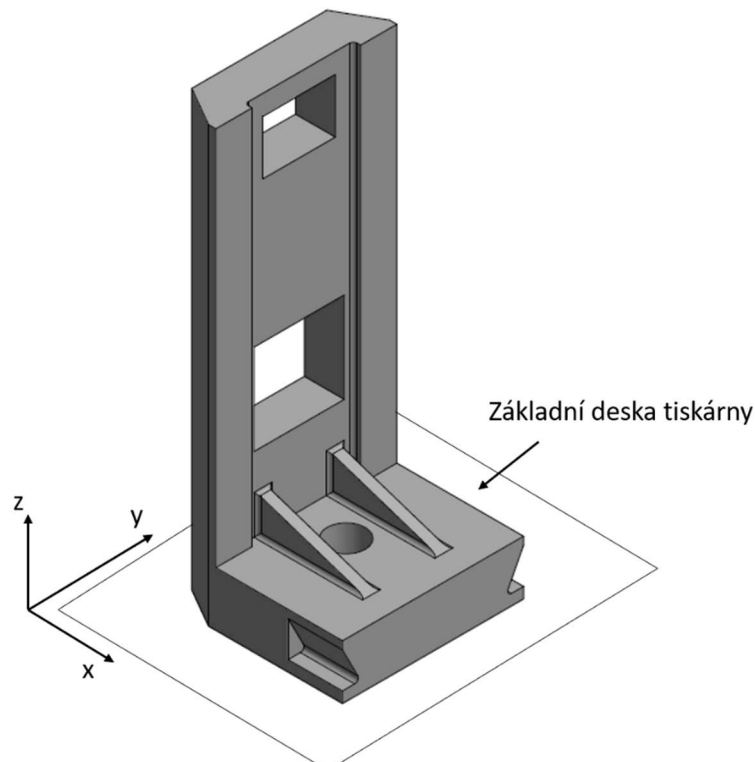
- Pohyblivá čelist



Obrázek 32: Umístění pohyblivé čelisti v prostoru tiskárny.

Součást je navržena s jednou výraznou rovinnou plochou, bez výběžků a dutin. Tato plocha je ideální pro umístění na základní desku 3D tiskárny. Umístění je vhodné i pro výrobu otvoru uprostřed součásti. Největší přesnosti je dosaženo, pokud je směr růstu součásti (ve směru osy z) totožný s osou otvoru. Jediný problém může nastat při tisku menšího převisu (4 mm). Tato vzdálenost je malá a neměla by mít vliv na kvalitu povrchu výtisku v tomto místě. Na výrobu této součást nemusí být použita žádná vzpěra.

- Tělo svěráku

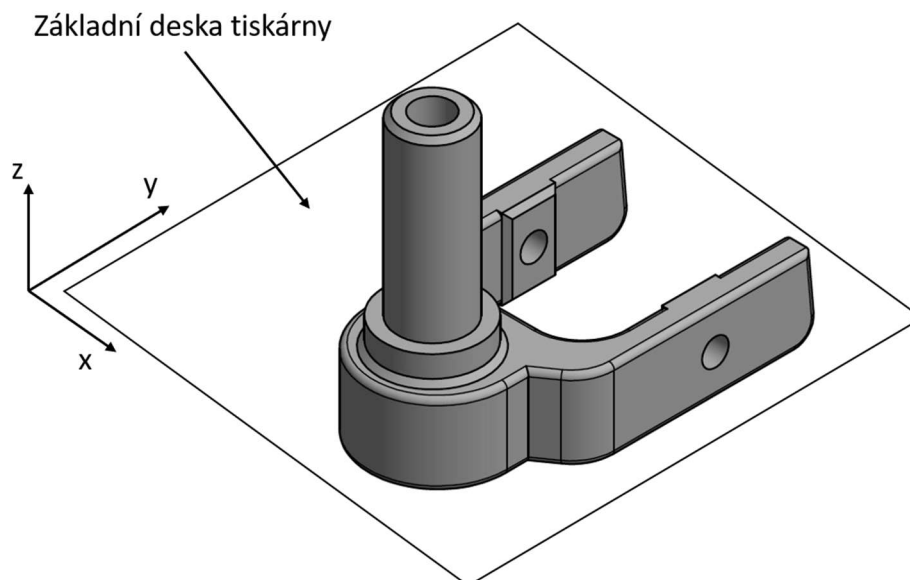


Obrázek 33: Umístění těla svěráku v prostoru tiskárny.

Tělo svěráku je opět navrženo s jednou výrazně rovinnou plochou, která se umístí na základní desku 3D tiskárny. Toto umístění také zajistí přesnou výrobu otvoru pro pohybový šroub. Hranaté otvory pro upínač a opěrný rám šroubu bude nutné vytisknout s pomocí podpěr, protože při rozměrech přemostění nad 5 mm již nedokáže tiskárna vytvořit kvalitní povrch. Tyto podpěry se následně odstraní a zabrousí se povrch otvoru. Bude také nutné brousit kontaktní plochy lineárního vedení pohyblivé čelisti. Uvnitř součásti jsou také navrženy dutiny. To ušetří množství materiálu a dojde tím i ke zpevnění součásti. Pokud by výroba probíhala jiným než aditivním způsobem, nebylo by možné je vyrobit.

Alternativně lze tělo umístit horizontálně. Poté by se nemuselo využívat podpěr u hranatých otvorů. Toto řešení ale může způsobit odlepení výtisku od základní desky tiskárny. Vlivem nerovnoměrného chladnutí se vytvoří pnutí uvnitř výtisku a ten se následně zkroučí a odlepí, tím dojde ke kontaktu s tryskou tiskové hlavy a úplnému zničení výtisku. Také by tato orientace nezaručila rozměrově korektní výtisk kulatého otvoru pro šroub.

- Klika



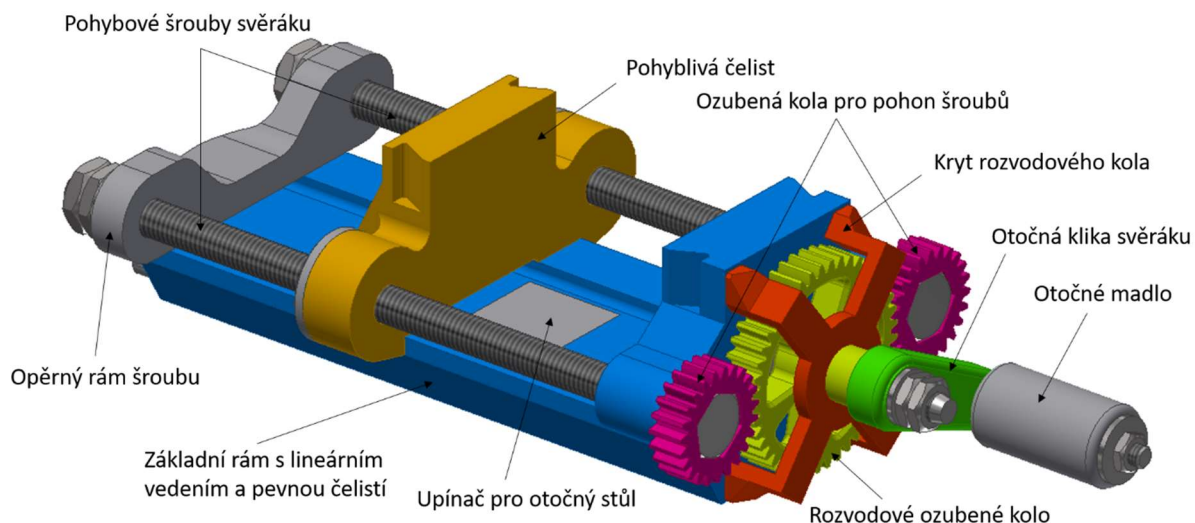
Obrázek 34: Umístění kliky svěráku v prostoru tiskárny.

Klika je navržena s ohledem na potřebu dlouhé válcové části a otvoru s dobrou válcovitostí. Problém nastane při tisku otvorů pro čep kliky. U otvorů je třeba použít podpěry. Následné mechanické odstranění pomocí vrtáku může zlepšit povrch otvoru.

## 7.2 Varianta 2

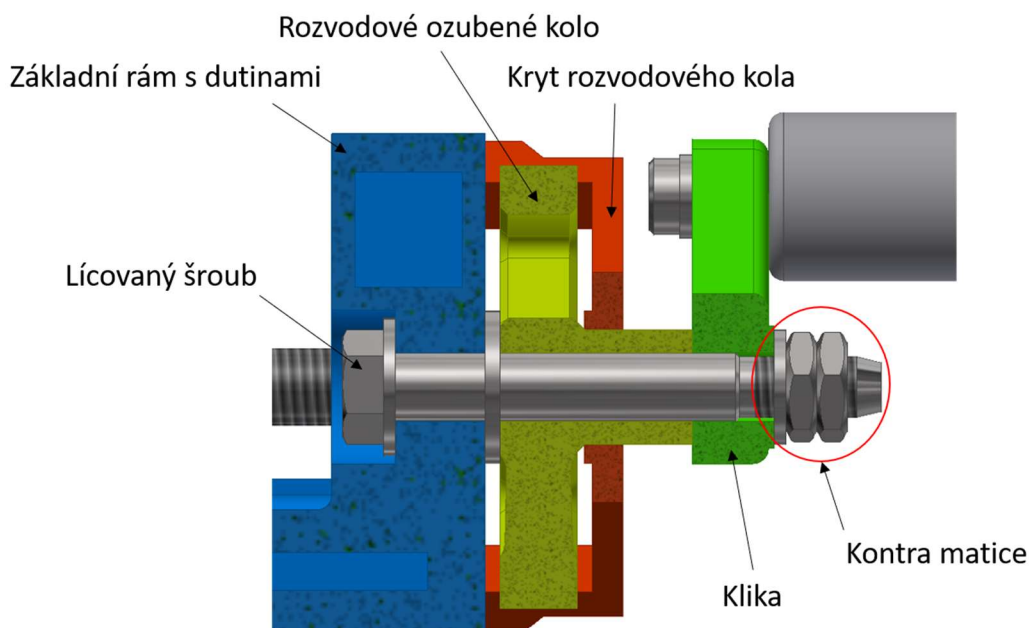
Stejně jako předchozí varianta svěráku bude i tento vyráběn pomocí 3D tisku metodou FDM z materiálu PETG. Tato varianta svěráku je navržena pro upínání rozměrnějších a těžších dílů. Maximální rozměr upínané součásti je mezi pohyblivou a pevnou čelistí 120 mm. V závislosti na vložených čelistech se tento rozměr zmenší. Vzhledem k určení svěráku pro upínání rozměrnějších součástí byl při návrhu kladen důraz na nízkou zástavbu nad otočným stolem. Oproti variantě 1 je tento svěrák výrazně robustnější a širší. Systém pro nasazení čelistí je shodný jako u předchozí varianty. Bude tedy možné jednotlivé čelisti libovolně zaměňovat dle aktuální potřeby. U většího svěráku se hůře nastavuje těžiště skenované součásti do osy rotace.

Tento problém však u většího svěráku lze jen těžko vyřešit konstrukcí svěráku. Pro splnění tohoto požadavku by bylo nutné využívat speciálních jednoúčelových čelistí.



Obrázek 35: Popis základních částí svěráku – varianta 2.

Pohyb čelistí je realizován pomocí dvou pohybových metrických šroubů M10. Točivý moment z kliky na tyto šrouby je přenášán ozubeným soukolím. Pohybové šrouby zároveň slouží jako vedení pohyblivé čelisti. Čelist není se základním rámem spojena žádným systémem s tvarovým stykem jako u varianty 1. Zde se pouze opírá o horní plochu základního rámu. V rámu a pohyblivé čelisti jsou navrženy dutiny pro zpevnění součástí. V pohyblivé čelisti je opět dodatečně vložena matice pro pohyb ve směru šroubu. Matice je s pohyblivou čelistí pevně spojena tvarovým stykem (šestihran) a zajištěna víčkem přilepeným k tělu pohyblivé čelisti. Další součásti jsou k základnímu rámu také přilepeny. Jedná se o opěrný rám šroubů, upínač pro otočný stůl a kryt rozvodového kola. Klika je s rozvodovým kolem spojena pomocí tvarového styku. Tento spoj může být dodatečně spojen pomocí lepidla. Axiálnímu pohybu kliky a kola brání uložení s lícovaným šroubem spojeným se základním rámem.



Obrázek 36: Řez uložením rozvodového kola, svěrák-varianta 2.

Protože při výrobě součástí na 3D tiskárně dojde k určité odchylce (zvětšení rozměrů) je nutné kompenzovat nárůst rozměrů nastavitelným uložením. Pomocí kontra matice je možné nastavit vůli v uložení pro snadné otáčení kliky a ozubeného kola. Z obrázku (36) je patrné, že kryt rozvodového kola slouží také jako opěrný bod pro osu rozvodového kola.

Přenos točivého momentu z kliky přes ozubená kola zabezpečuje rozvod na oba pohybové šrouby současně. Tento systém je zde zařazen i z důvodu zrychlení pohybu čelisti. Převodový poměr je určený dle vzorce (1).

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{23}{44} = 0,523 [-] \quad (1)$$

Ve kterém je:  $i$  – převodový poměr

$n_1$  – počet otáček hnacího kola

$n_2$  – počet otáček hnaného kola

$d_2$  – průměr roztečné kružnice hnaného kola

$d_1$  – průměr roztečné kružnice hnacího kola

$z_2$  – počet zubů hnaného kola

$z_1$  – počet zubů hnacího kola

Pro převodový poměr dále platí:  $i < 1 \rightarrow$  převod do rychla ( $n_1 < n_2$ )

$i > 1 \rightarrow$  převod do pomala ( $n_1 > n_2$ )

Pro spojování vybraných součástí je využito normalizovaných součástí uvedených v přehledové tabulce (2). Jedná se o běžně dostupný spojovací materiál.

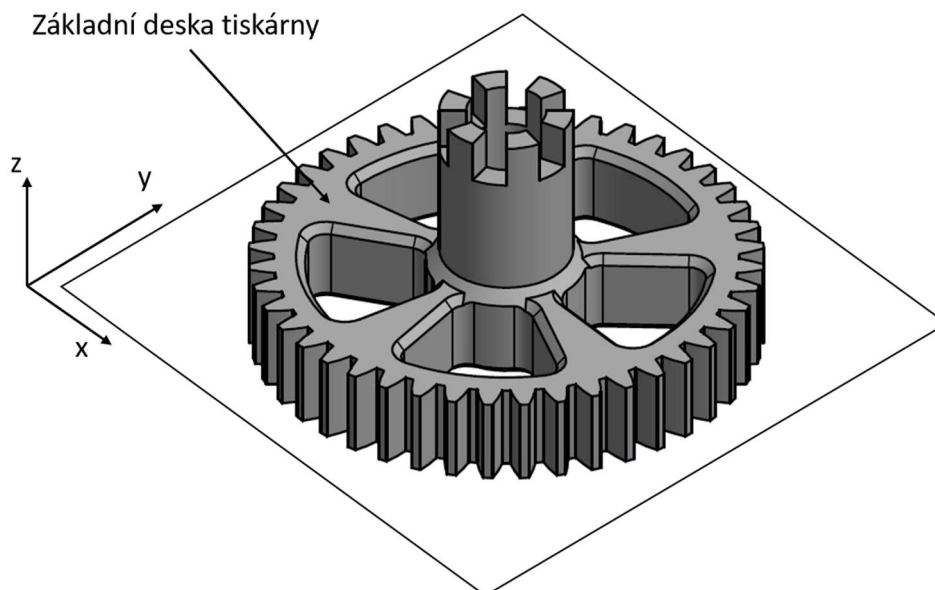
Druh spojovacího materiálu	Označení (norma)	Rozměr	Způsob použití
šroub se šestihrannou hlavou	ČSN 021103, DIN 933	M10 x 200	pohyb čelisti
podložka pro šroub	ČSN 021703, DIN 433	pro šroub M10	vymezení pod matice
matice	DIN 934	M10	vložka do čelisti
matice - nízká	DIN 439-2	M10	zajištění pohybového šroubu
podložka pro šroub	ČSN 021703, DIN 433	pro šroub M8	šroub kliky
podložka pro šroub	ČSN 021703, DIN 433	pro šroub M6	šroub otočného madla
matice - nízká	DIN 439-2	M8	zajištění šroubu kliky
matice - nízká	DIN 439-2	M6	zajištění šroubu otočného madla
šroub se zápustnou hlavou	DIN 6912	M6 x 60	šroub kliky
velokoplošná podložka	DIN 9021	pro šroub M6	zajištění otočného madla
lícovaný šroub	DIN 609	M8 x 65	čep rozvodového kola
podložka pro šroub	DIN 125	pro šroub M10	vymezení ozubených kol

Tabulka 2: Použitý spojovací materiál pro svěrák, varianta 2.

### 7.2.1 3D tisk vybraných součástí

- Rozvodové kolo

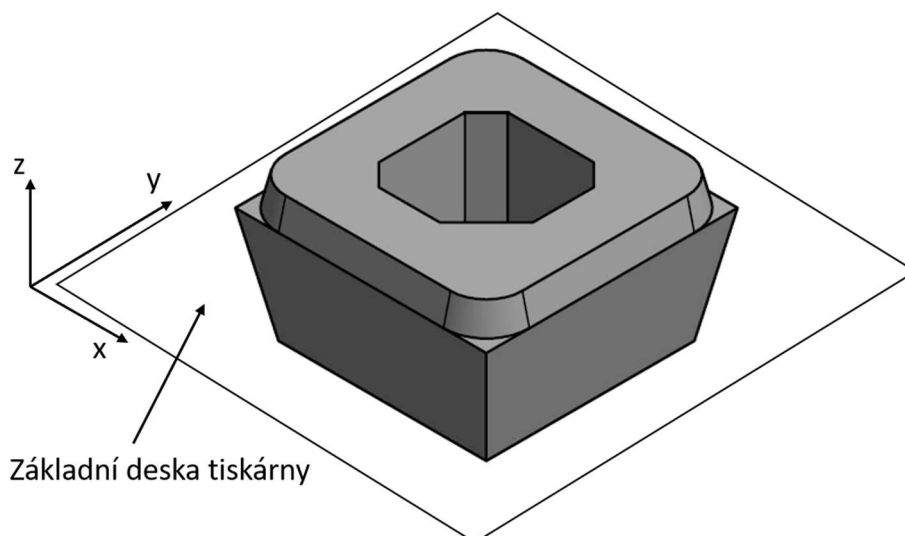
Rozvodové kolo má jeden centrální otvor pro čep (lícovaný šroub). Tento otvor je nutné vyrobit co nejpřesněji. Vzhledem k rotačnímu tvaru celé součásti není možné umístění do prostoru tiskárny jiným způsobem, než je na obrázku (37). Takto umístěný výtisk bude mít kvalitní nejen otvor a kruhový tvar kola, ale i tvar jednotlivých zubů.



Obrázek 37: Řez uložením rozvodového kola, svěrák-varianta 2.

K drobnému poškození povrchu dojde při tisku zaoblení na spodní straně součásti (ležící na základní desce tiskárny). Toto však nemá vliv na funkci součásti. Ve směru os x a y má výtisk ozubeného kola dobré mechanické vlastnosti.

- Upínač pro otočný stůl



Obrázek 38: Řez uložením rozvodového kola, svěrák-varianta 2.

Upínač pro otočný stůl je u tohoto svěráku navržen s menším zkosením stěn, které slouží ke spojení se základním rámem. Zvětší se tím kontaktní plocha pro lepení a ustavení obou dílů je přesnější i při větší nepřesnosti výroby. Tisk takového zkosení (úhel zhruba  $15^\circ$ ) nepředstavuje žádný problém a neprojeví se na kvalitě povrchu.

### 7.3 Výměnné čelisti

Pro upínání konkrétních dílů popsaných v kapitole 6.2 je nutné ke svěráku připojit jednoúčelové čelisti. Přídavná (výměnná) čelist vystředí těžiště upínané součásti do osy rotace otočného stolu. Všechny čelisti jsou snadno vyrobitelné na 3D tiskárně metodou FDM. Na obrázcích (39), (40),

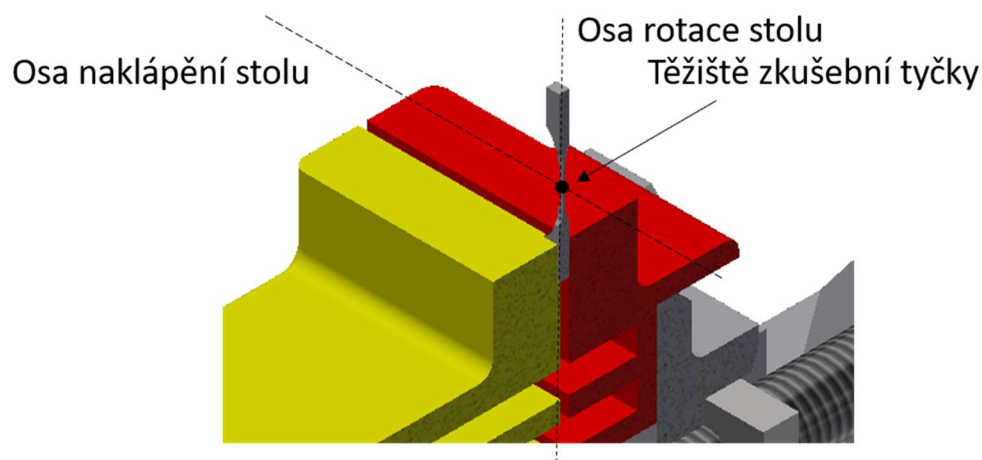


(41), (42) a (43) je vždy zobrazena pohyblivá čelist červenou barvou a pevná čelist žlutou barvou.

Materiál čelistí by měl splňovat požadavky na tuhost upnutí. Pro lehké součásti je ideální použít materiál FLEX/TPU, protože je pevný, pružný a umožní jistou deformaci čelisti. Při větší upínací síle nepraskne. Čelisti pro 1. variantu svěráku jsou navíc navrženy s mechanismem pro nacvaknutí na lineární vedení. To vyžaduje také jistou flexibilitu materiálu.

- Čelist pro zkušební tyčku z mikro tahové zkoušky

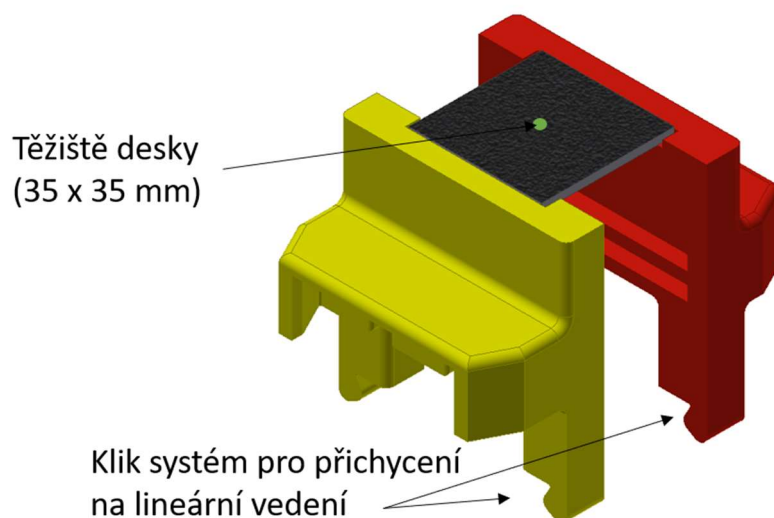
Čelist pro první variantu svěráku a pro upnutí zkušební tyčky (jejího těžiště) přímo do průsečíku os rotace otočného stolu. Menší výřez na konci jedné z čelistí umožňuje přesné ustavení zkušební vzorku na střed svěráku. Díky rychloupínacímu systému je možné snadno vyměnit celou sérii dílů.



Obrázek 39: Čelisti pro upnutí zkušební tyčky, řez, svěrák varianta 1.

- Čelist pro upnutí tenkých plechů materiálu

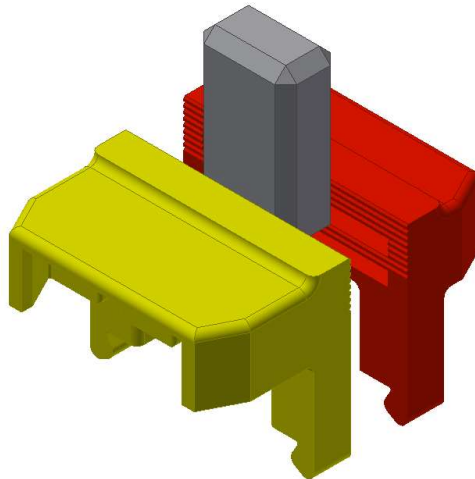
V horní části čelisti je výřez pro vystředění pechu. Čelisti jsou také zvýšené, pro umístění těžiště plechu do osy naklápění stolu. Na obrázku je také patrný klik systém pro spojení s vedením pohyblivé čelisti.



Obrázek 40: Čelisti pro upnutí desky 35 x 35 mm, svěrák varianta 1.

- Čelist pro upnutí štíhlých plastových dílů

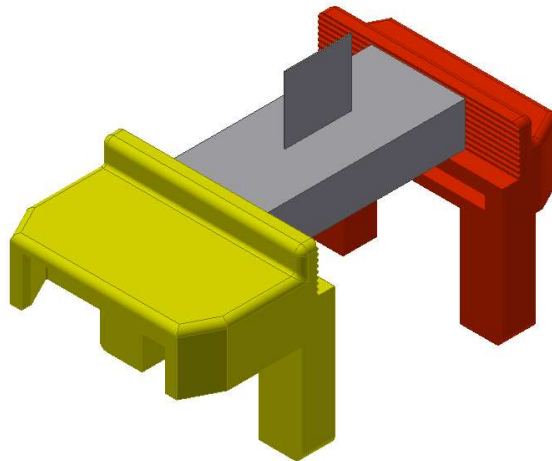
Tato čelist je navržena jako univerzální pro svěrák varianty 1. Je možné ji použít i pro rozměrnější součásti, mezi čelistmi je prostor maximálně 44 mm. Plocha dosedající na součást je opatřena zdrsněním pro lepší úchop. Jejich zástavba v prostoru svěráku je vysoká 53 mm (nejnižší ze všech předchozích typů).



Obrázek 41: Čelisti pro upnutí štíhlých plastových dílů s naznačenou součástí, svěrák varianta 1.

- Čelist pro upnutí platformy s plechem

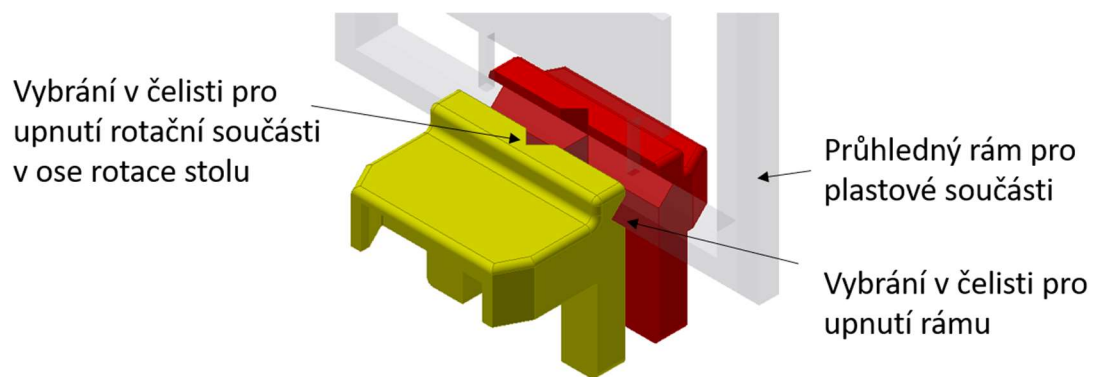
Tato čelist je určena pro variantu svěráku číslo 2. Již nemá klik systém pro připnutí k lineárnímu vedení. Je také určena pro výrazně větší součásti, s upínacím rozměrem více než 50 mm. Výška a rozměr čelistí je upraven pro platformu, je však možné zde upínat i jiné součásti hranatého tvaru.



Obrázek 42: Čelisti pro platformu s plechem, svěrák varianta 2.

- Čelisti pro upnutí rámu se součástí

Tyto čelisti jsou více univerzální. Slouží jak k upnutí rámu, tak pro upínání rotačních součástí. Již nelze tyto součásti upínat přímo do těžiště, vzhledem k jejich velikosti a velikosti svěráku. Pokud by byl svěrák určen jen pro tyto součásti, stačila by upravit celková délka svěráku a pozice upínacího trnu.



Obrázek 43: Čelisti pro rám se součástí, svěrák varianta 2.

## **Závěr**

V první části práce jsou představeny různé metody a druhy upínacích zařízení. Jedná se především o upínače pro frézování a soustružení. Z těchto standardních upínačů jsem vycházel při návrhu vlastní série svěráků. Tyto svěráky by měli být vyráběny pomocí aditivních technologií (3D tisk) převážně z plastů. Nejvhodnější materiály pro výrobu jsou PETG a FLEX/TPU. V práci jsou představena také základní pravidla na konstrukci, která je třeba respektovat při návrhu jednotlivých součástí. Nedodržení těchto pravidel zhoršuje kvalitu výsledného výrobku a zásadním způsobem promlouvá do výrobní ceny součástí. Při skenování součástí nedochází k působení řezných sil, které by bylo třeba přenášet přes svěrák do rámu skenovacího zařízení. Proto jsou pevnostní požadavky na svěráky velice nízké, a není třeba využívat pevnostní analýzy při jejich návrhu. Návrh svěráků pro pokrytí všech upínaných součástí, byl rozdělen na dvě varianty (1. a 2.). První varianta má menší prostor pro upnutí a slouží hlavně pro drobné součásti (velikosti do 44 mm). Nabízí také výhodu rychloupínacího mechanismu pro snadnou výměnu jednotlivých součástí, případně zvýšení přitlačné síly. Druhá varianta je výrazně větší a zabírá téměř celý prostor otočného stolu. Slouží k uchycení středně velkých součástí (do 120 mm) a je také více variabilní. Dále jsou v práci navrženy a popsány jednoúčelové i univerzální přídatné čelisti pro obě varianty svěráku. Tyto čelisti plně pokrývají požadavky pro upínání součástí ve firmě COMTES FHT a. s.

## Zdroje

### Použitá literatura

- [1] HOSNEDL, Stanislav. *Obecné strojní části 1: teoretické základy, spoje, přenosové části, otočná uložení, akumulátory energie, hřídelové spojky*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. vi, 397 s. ISBN 978-80-261-0125-3.
- [2] POCH, Josef. *Upínání na obráběcích strojích v kusové výrobě*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. Knihnice strojírenské výroby.
- [3] ŘÍČKA, Jaroslav a Vladimír BULLA. *Základy strojírenské technologie: obrábění*. Praha: SNTL, 1983.
- [4] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [5] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.

### Online

- [6] *Soustružení* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce1.htm>
- [7] *Soustružení* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T13.pdf>
- [8] *Kleština Narex* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.narex-makita.cz/prislusenstvi-naradi/frezovani/klestiny-loziska/optimum-10-mm-mk3-m12>
- [9] *Software pro přípravu modelu na 3D tisk - novinky* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/simplify3d-pro-pripravu-3d-tisku-prichazi-s-verzi-4-0-a-radou-novinek/>
- [10] *Skličidlo VKC 12b* [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <https://www.shop.strojniveraky.cz/produkty/sklicidlo-vkc-12b-detail>
- [11] *Strojní svěrák* [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.bernardo.at/cz/hochdruck-maschinenschraubstock-phv-250.html>
- [12] *Laminated Object Manufacturing - LOM* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Laminated-Object-Manufacturing-LOMCourtesy-CoustomPartNet-Inc\\_fig3\\_322096608](https://www.researchgate.net/figure/Laminated-Object-Manufacturing-LOMCourtesy-CoustomPartNet-Inc_fig3_322096608)
- [13] *Přestavitelná upínací železa* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ovládací-prvky-normované-díly/Upínací-náradí/K0003-přestavitelná-upínací-železa-přímá-se-šrouby.html>
- [14] *Stavebnicový upínací přípravek Renishaw* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/upinaci-pripravky-renishawupinani-dilcu-na-souradnicovych-mericich-strojich--20993>

- [15] *Hydraulický přípravek Naros* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.naros.cz/fotogalerie.php?akce=zobraz&prids=5>
- [16] *Elektromagnetické upínače* [online]. [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.magnety.cz/elektromagneticke-upinace/>
- [17] *Magnetické desky* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.magnety.cz/magneticke-systemy/>
- [18] *Laserové skenování budov* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <http://www.iqservices.eu/sluzby/laserove-skenovani.html>
- [19] *Měřicí rameno FARO* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.merici-pristroje.cz/merici-rameno/>
- [20] *Scanbox ATOS series 4* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.gom.com/metrology-systems/atos-scanbox/atos-scanbox-series-4.html>
- [21] *Fusef filament fabrication 3 D print method* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/134/fdm-fused-filament-fabrication>
- [22] *Fused deposition modeling 3 D print method* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
- [23] *Selective laser Sintering 3 D print method* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>
- [24] *Odlehčované kovové konstrukce při 3D tisku* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/3d-tisk-kovu-k-cemu-slouzi-odlehcene-kovove-konstrukce/>
- [25] *Kovové materiály pro 3D tisk* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.3rsystems.cz/3d-tisk-kovu/material>
- [26] *Metals for 3D printing* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: [https://www.eos.info/03\\_system-related-assets/material-related-contents/material\\_pdf/eos\\_materials\\_overview\\_metal\\_en.pdf](https://www.eos.info/03_system-related-assets/material-related-contents/material_pdf/eos_materials_overview_metal_en.pdf)
- [27] *Efektivní dokončovací metody při 3D tisku kovů* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/3d-tisk-kovu-jak-efektivne-dokoncovat-vytistene-komponenty/>
- [28] *Materiály pro 3D tisk* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>
- [29] *3D tisk skla* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://tuni.tul.cz/rubriky/veda-a-vyzkum/id:97059/3d-tisk-skla-ma-velky-potencial-tak-at-nam-s-nim-neujede-vlak>
- [30] *3D tisk v kostce* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/3d-tisk-v-kostce/>
- [31] *How does part orientation affect 3D print* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-does-part-orientation-affect-3d-print/>

- [32] *Supports 3D printing technology* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/>
- [33] *Lepení plastového materiálu PETG* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: [https://www.prumex.cz/lepidlo-pro-petg/?gclid=CjwKCAjw0\\_T4BRBIEiwAwoEiAVwR9BACWD6BsExkD\\_7ZeC5\\_LtnFiMcLa\\_-jIQUg4my1T2\\_N0cbaGhoCyn0QAvD\\_BwE](https://www.prumex.cz/lepidlo-pro-petg/?gclid=CjwKCAjw0_T4BRBIEiwAwoEiAVwR9BACWD6BsExkD_7ZeC5_LtnFiMcLa_-jIQUg4my1T2_N0cbaGhoCyn0QAvD_BwE)
- [34] *Rozdíl mezi výškou vrstvy, množstvím výplně a počtem stěn u FFF technologie* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://sharplayers.cz/rozdily-mezi-vyskou-vrstev-mnozstvimi-vyplne-a-poctem-sten-u-fff-technologie/>
- [35] *Podpěry při 3D tisku* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.3dprintingmedia.network/simplify3d-4-0-launches-variable-print-settings-much/>
- [36] *FDM design guidelines* [online]. [cit. 2020-06-29]. Dostupné z: <https://www.stratasysdirect.com/resources/design-guidelines/fused-deposition-modeling-old>
- [37] *Skener ATOS Capsule* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.mcae.cz/cs/produkty/atos-capsule/>
- [38] *Nové vybavení firmy Comtes FHT a. s.* [online]. [cit. 2020-07-2]. Dostupné z: <https://www.comtesfht.cz/nove-vybaveni-3d-scanner>
- [39] *Popis a rozdělení 3D skenerů.* [online]. [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni.html>
- [40] *The Assessment of structured light and laser scanning methods in 3D shape measurements* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://bib.irb.hr/datoteka/170686.p126.pdf>
- [41] *Structured light 3D scanner* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: [https://www.academia.edu/1107159/Structured-light\\_3D\\_scanner\\_-\\_Samadi](https://www.academia.edu/1107159/Structured-light_3D_scanner_-_Samadi)

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Upnutí rotační součásti do univerzálního sklíčidla a opření o hrot v koníku [6].	11
Obrázek 2: Otočný hrot.....	12
Obrázek 3: Upínací deska VKC-12B (volně nastavitelné sklíčidlo) [10].	13
Obrázek 4: Kleština [8].....	13
Obrázek 5: Rozpínací soustružnický trn [4].	14
Obrázek 6: Otočný strojní svěrák s hydraulickým posilovačem [11].	15
Obrázek 7: Upínací pomůcky se šrouby do T-drážky [13].	15
Obrázek 8: Stavebnicový upínací přípravek pro měřicí přístroje firmy Renishaw [14].	16
Obrázek 9: Speciální hydraulický přípravek firmy Naros [15].	16
Obrázek 10: Elektromagnetická upínací deska [16].	17
Obrázek 11: Mechanické rameno FARO Quantum S [19].	19
Obrázek 12: Skenovací box firmy ATOS - ScanBox Series 4 [20].	21
Obrázek 13: 3D tištěný objekt (metodou FDM) s vertikální podporou [35].	22
Obrázek 14: Různé úrovně výplně u tiskařské metody FDM [34].	22
Obrázek 15: Schéma 3D tisku metodou SLS, upraveno [23].	22
Obrázek 16: Schéma 3D tisku metodou FFF/FDM, upraveno [22].	23
Obrázek 17: Schéma 3D tisku metodou LOM, upraveno [12].	24
Obrázek 18: Architektonický „pavouk“, výroba tiskárnou Renishaw AM250 z titanu [24].	25
Obrázek 19: Model ve tvaru „h“ s válcovými podpěrami [1].	28
Obrázek 20: Příklad součásti s šikmou částí. [1].	28
Obrázek 21: Tiskový prostor 3D tiskárny.	29
Obrázek 22: Válec tištěný vertikálně (vlevo) a horizontálně (vpravo) [31].	30
Obrázek 23: 3D modely s podporou typu harmonika (vlevo) a strom (vpravo) [32].	30
Obrázek 24: Sestava skeneru ATOS Capsule firmy Comtest FHT a.s. [38].	31
Obrázek 25: Schématický nákres upínacího trnu pohyblivého stolu.	31
Obrázek 26: Schématický nákres pohyblivého stolu.	32
Obrázek 27: Schématický nákres zkušební vzorku mikro tahové zkoušky se základními rozměry.	32
Obrázek 28: Plastový díl s upínacím rámem.	33
Obrázek 29: Popis součástí svěráku bez čelistí – varianta 1.	34
Obrázek 30: Popis součástí svěráku bez čelistí – varianta 1.	34
Obrázek 31: Schématické označení rychloupínacího mechanismu.	35
Obrázek 32: Umístění pohyblivé čelisti v prostoru tiskárny.	36
Obrázek 33: Umístění těla svěráku v prostoru tiskárny.	36
Obrázek 34: Umístění kliky svěráku v prostoru tiskárny.	37
Obrázek 35: Popis základních částí svěráku – varianta 2.	38
Obrázek 36: Řez uložením rozvodového kola, svěrák-varianta 2.	38
Obrázek 37: Řez uložením rozvodového kola, svěrák-varianta 2.	40
Obrázek 38: Řez uložením rozvodového kola, svěrák-varianta 2.	40
Obrázek 39: Čelisti pro upnutí zkušební tyčky, řez, svěrák varianta 1.	41
Obrázek 40: Čelisti pro upnutí desky 35 x 35 mm, svěrák varianta 1.	41
Obrázek 41: Čelisti pro upnutí štíhlých plastových dílů s naznačenou součástí, svěrák varianta 1.	42
Obrázek 42: Čelisti pro platformu s plechem, svěrák varianta 2.	42
Obrázek 43: Čelisti pro rám se součástí, svěrák varianta 2.	43

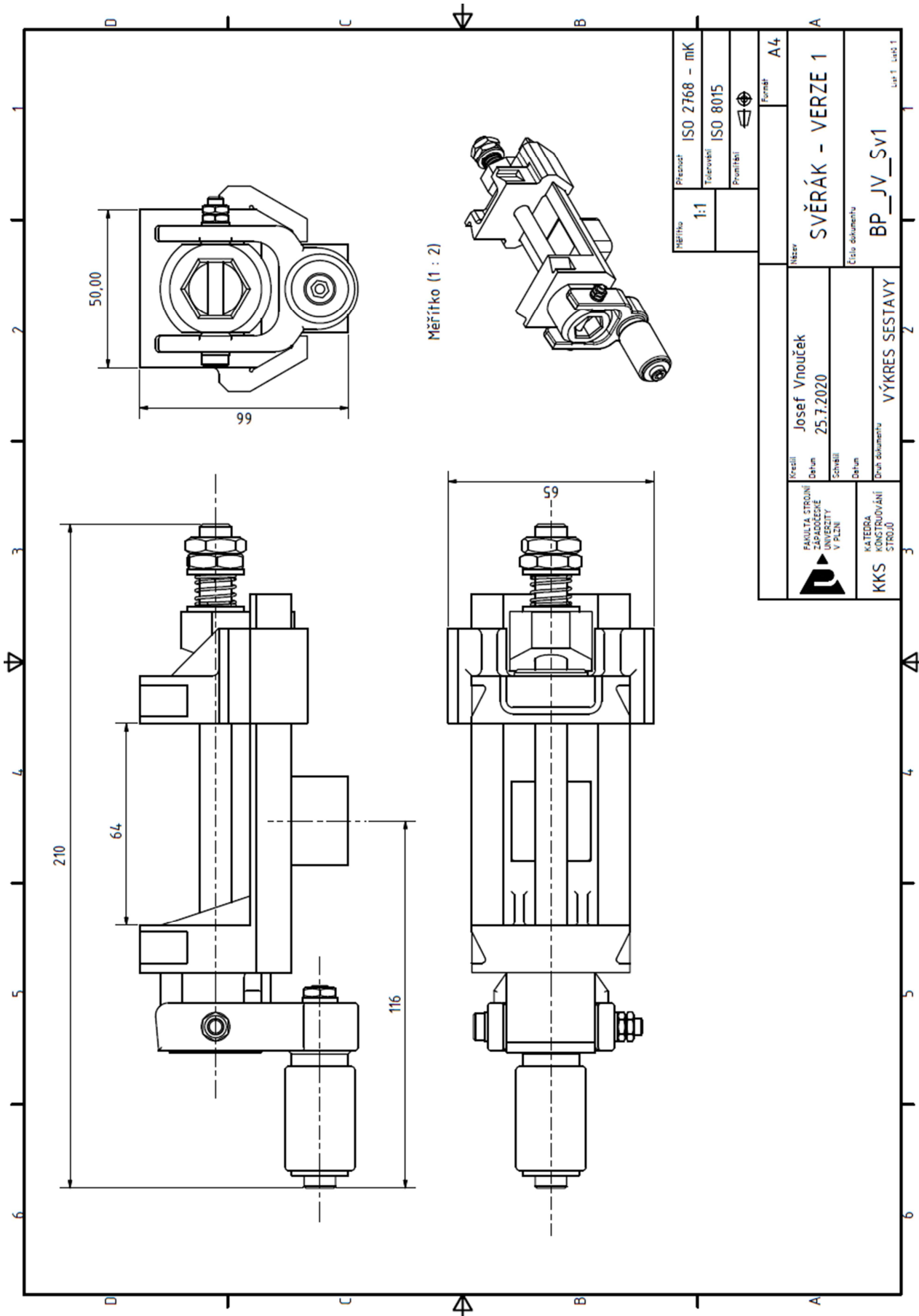


## Seznam tabulek

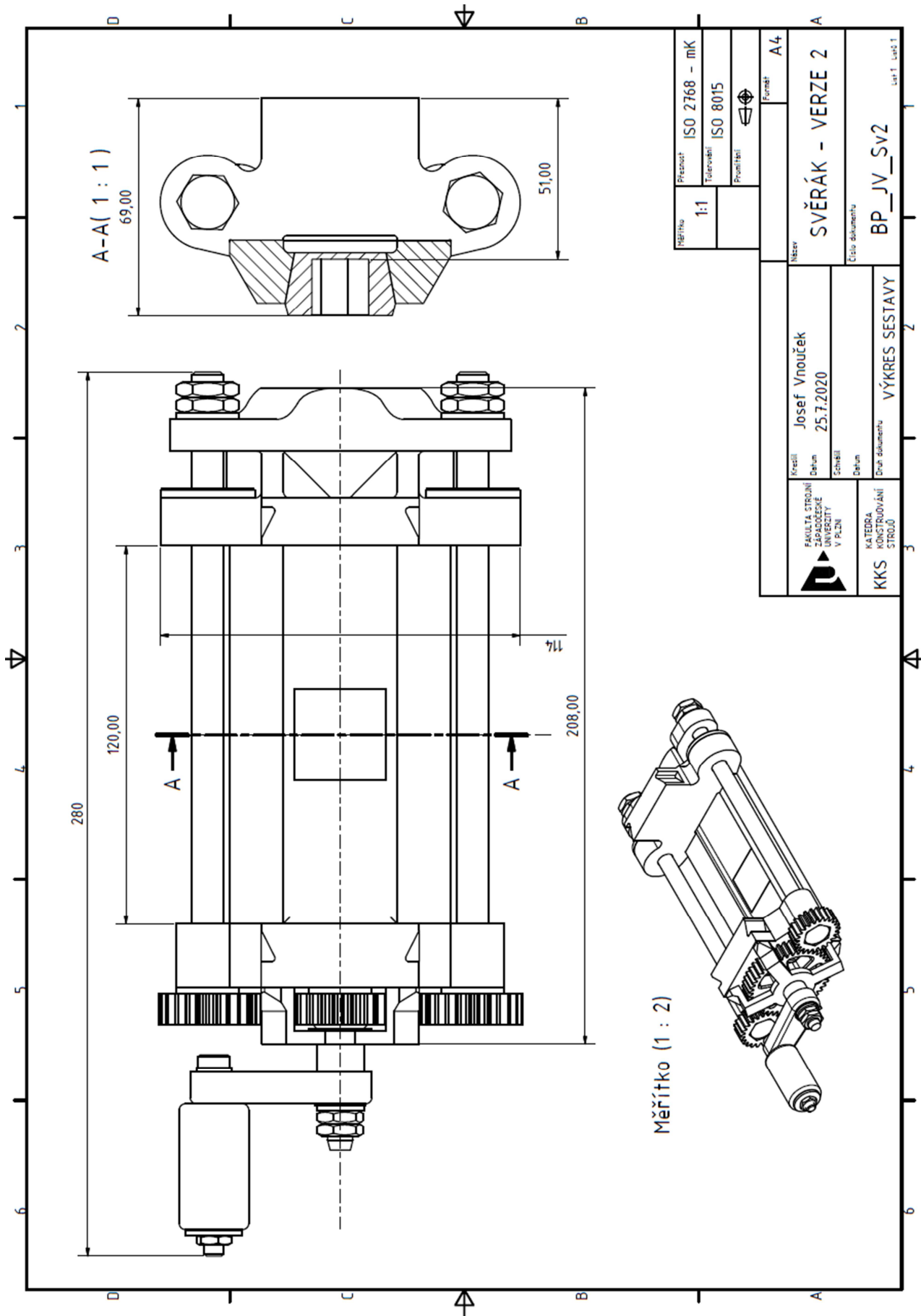
<i>Tabulka 1: Použitý spojovací materiál pro svěrák, varianta 1.</i> .....	35
<i>Tabulka 2: Použitý spojovací materiál pro svěrák, varianta 2.</i> .....	39

## Seznam příloh

Příloha č. 1	Výkres sestavy s vnějšími rozměry, svěrák varianta 1
Příloha č. 2	Výkres sestavy s vnějšími rozměry, svěrák varianta 2



Měřítko	1:1	Přesnost	ISO 2768 - mK	Formát	A4
		Tolerovství	ISO 8015		
		Provozní			
Kreslil			Josef Vnouček	Název	
Dejtn			25.7.2020	SVĚŘÁK - VERZE 1	
Schválil				Číslo dokumentu	
Dejtn				BP_JV_Sv1	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERSITY V PLZNI			VÝKRES SESTAVY		
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			Číslo dokumentu		
			Lst. 1 z celk. 1		



Měřítko	1:1	Přesnost	ISO 2768 - mK
		Tolerování	ISO 8015
		Provedení	
		Formát	A4

Název <b>SVĚRÁK - VERZE 2</b>	
Číslo dokumentu <b>BP_JV_Sv2</b>	
Kreslil <b>Josef Vnouček</b>	Datum <b>25.7.2020</b>
Schválil 	Datum 
Účel dokumentu <b>VÝKRES SESTAVY</b>	



FAKULTA STROJNÍ  
ZÁPADOČESKÉ  
UNIVERSITY  
V PLZNI

KATEDRA  
KONSTRUOVÁNÍ  
STROJŮ

Měřítko (1 : 2)

