

# Demonstrace reverzního inženýrství pro zhotovení prvku z fotografií

František Bakala

---

Bakalářská práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2018/2019

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **František Bakala**  
Osobní číslo: **T18815**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Demonstrace reverzního inženýrství pro zhotovení prvku z fotografií**

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte literární studii na dané téma.**
- 2. Realizujte experiment pořízením fotografie běžného klíče k mechanickým zámkům.**
- 3. Fotografie transformujte do geometrických dat.**
- 4. Na základě transformovaných dat vyrobte duplikát klíče.**

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**  
Rozsah příloh:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. Výrobní inženýrství a technologie. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.**
2. **NEFF, Ondřej. Digitální fotografie polopatě. Brno: Computer Press, 2015. ISBN 978-80-251-4599-9.**
3. **LAXTON, Benjamin, WANG, Kai and SAVAGE, Stefan, 2008, Reconsidering Physical Key Secrecy: Teleduplication via Optical Decoding. Security [online]. 2008. P. 469-478. DOI 10.1145/1455770.1455830.**

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství  
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 14. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 23. 5. 2019

*Bakala*



---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Předmětem předkládané bakalářské práce je výroba duplikátu klíče do cylindrické vložky na základě jeho fotografie. Jako nástroj k vytvoření trojrozměrného modelu tato práce využívá metody 3D tisku, kterou byly vtištěny dva odlišně propracované typy trojrozměrných modelů klíčů. Přestože se rozměry výtisku propracovanějšího modelu liší od originálu mnohem více než rozměry výtisku jednoduchého modelu, nebyl duplikát klíče zhotovený podle předlohy tohoto přesnějšího výtisku funkční, zatímco duplikát zhotovený na základě výtisku jednoduchého modelu byl plně funkční. Bylo zjištěno, že na vytvoření funkčního duplikátu klíče touto metodou má vliv řada faktorů, např. preciznost provedení virtuálního 3D modelu, smrštění materiálu nebo opotřebení cylindrické vložky.

Klíčová slova: 3D tisk, klíč, reverzní inženýrství, zámek.

## **ABSTRACT**

The subject of the bachelor thesis is the production of a key duplicate for a lock cylinder based on a photograph of a key. In the thesis, the 3D printing method is used as a tool for creation of a three-dimensional model. Two distinctly sophisticated types of three-dimensional key models were printed using the 3D printing method. Although the size of the print of the more sophisticated model differs from the original much more than the size of the print of the simple model, the duplicate key made according to the more accurate model was not functional, while the duplicate made on the basis of the simple model was fully functional. It was found that a number of factors influence the creation of a functional duplicate key by this method, such as the precision of the virtual 3D model, the shrinkage of the material or the wear of the cylinder.

Keywords: 3D printing, key, reverse engineering, lock

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, PhD. za odborné vedení, cenné rady a věnovaný čas.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 MECHANICKÉ ZÁMKY</b> .....	<b>11</b>
1.1 HISTORIE ZÁMKŮ .....	11
1.2 DOZICKÝ ZÁMEK .....	11
1.3 ZÁMKY S CYLINDRICKOU VLOŽKOU .....	12
1.3.1 Princip zámku s cylindrickou vložkou.....	13
1.3.2 Základní části cylindrické vložky .....	14
1.3.3 Klíč cylindrické vložky .....	17
1.4 DALŠÍ TYPY MECHANICKÝCH ZÁMKŮ .....	19
1.4.1 Destičkový.....	19
1.4.2 Diskový (kotoučový).....	20
1.4.3 Tubulární .....	21
<b>2 ZABEZPEČENÍ MECHANICKÝCH ZÁMKŮ</b> .....	<b>22</b>
2.1 BEZPEČNOSTNÍ TŘÍDY ZÁMKŮ .....	22
2.2 PASIVNÍ BEZPEČNOSTNÍ PRVKY ZÁMKŮ S CYLINDRICKOU VLOŽKOU .....	23
2.3 METODY PŘEKONÁNÍ ZÁMKŮ .....	24
2.3.1 Destruktivní metody.....	24
2.3.2 Nedestruktivní metody .....	24
<b>3 3D TISK</b> .....	<b>27</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>29</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>30</b>
<b>5 PRACOVNÍ POSTUP</b> .....	<b>31</b>
5.1 PŘÍPRAVA GEOMETRICKÝCH DAT .....	32
5.1.1 Pořízení fotografie klíče.....	32
5.1.2 Převedení fotografie na geometrická data.....	33
Proces tvorby geometrických dat.....	34
5.2 VÝROBA 3D MODELU KLÍČE.....	37
5.2.1 Výtisky klíčů .....	37
5.3 VÝROBA DUPLIKÁTU KLÍČE.....	38
5.4 SHRNUÍ PRACOVNÍHO POSTUPU .....	40
<b>6 DISKUZE</b> .....	<b>41</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>43</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>47</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>48</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>49</b>

## ÚVOD

Na začátku každého klasického výrobního procesu stojí návrh daného výrobku. Následně jsou definovány technické parametry, na jejichž základě se daný prvek vyráběn. U reverzního inženýrství, jak už sám název napovídá, se jedná o postup opačný tomuto klasickému výrobnímu procesu. Na začátku tohoto procesu bývá nějaká předloha. Může tím být například fotografie nebo i hotový výrobek, který je podroben analýze a na základě získaných dat a měření je vytvořen co nejpřesnější digitální model, který slouží pro finální výrobu.

Ve strojírenském průmyslu jsou při těchto reverzních postupech využívány zejména - trojrozměrná digitalizace a CAD systémy. Vzhledem k současnému rychlému rozvoji v oblasti 3D tisku zde nachází právě i tato technika stále větší prostor pro své uplatnění.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 MECHANICKÉ ZÁMKY

Mechanický zámek je zařízení sloužící k zabezpečení objektů (např. domy, dopravní prostředky, schránky nebo nábytek), které je ovládáno klíčem.

Podle konstrukce se zámky dělí na:

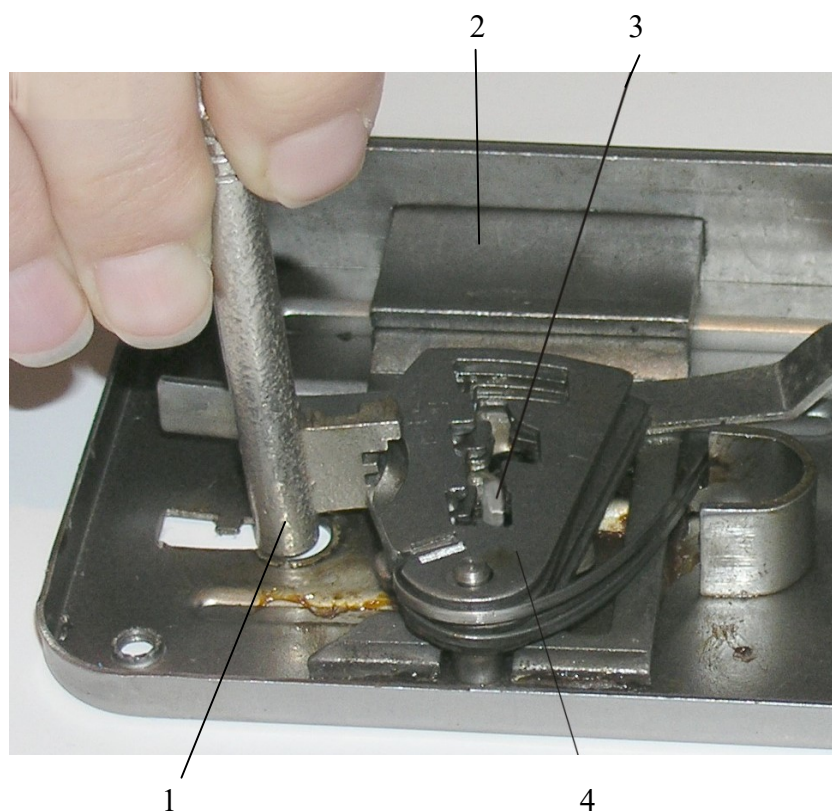
- dozické,
- zámky s cylindrickou vložkou.

## 1.1 Historie zámků

Zámky znali již dlouho před naším letopočtem, kdy byla nutnost chránit domy a majetek. Ve svých počátcích byly zámky poměrně jednoduché. S vývojem lidské společnosti a zároveň i s vývojem metod na jejich překonání bylo zapotřebí vytvářet složitější mechanismy. Začaly se používat kolíčková stavítka, která své uplatnění nachází i v dnešních bezpečnostních zámcích. V roce 1788 získal Robert Barron patent na zámek vybavený stavítky. Tohoto mechanismu využíval i zámek s cylindrickou vložkou, kterou si v roce 1865 nechal patentovat americký mechanik Linus Yale (1821 – 1868). K masovému rozšíření tohoto typu zámku došlo na evropském kontinentu až po skončení 1. světové války. Profilová cylindrická vložka, jak ji známe v současné době, byla patentována 11. listopadu 1924 berlínskou firmou Zeus Ikon A. G. Goerz-Werk. Výroba tohoto typu zámků na území dnešní České republiky započala roku 1931 firmou Fáborský a Šeda (budoucí FAB) z Rychnova nad Kněžnou. [1, 2]

## 1.2 Dozický zámek

Dozický zámek patří k nejjednodušším zámkům, jehož mechanismus tohoto typu zámku (viz obr. 1) je tvořený stavítky, která jsou řízena pružinami. Vložením jednostranně ozubeného klíče jsou stavítka uzamykající závoru proti pevnému čepu v základové desce posouvána, čímž zároveň dochází k posunutí závory. Klasický dozický zámek se vyrábí na dva západy [3, 4, 5].



Obr. 1. Dozický zámek v praxi. [6]

1 – dozický klíč, 2 – závora, 3 – čep zásuvky, 4 – stavítka

Pro svou značnou jednoduchost je dozický zámek snadno překonatelný. Přispívá tomu také velký klíčový otvor, který umožňuje bezproblémový přístup ke stavítkům. Na běžné použití dostačující. Ještě na počátku minulého století byl tento typ zámku značně rozšířen. Zabudovával se například do vstupních dveří domů. V současné době ale se využívá zejména u interiérových dveří nebo u objektů nevyžadujících zvýšenou bezpečnost (např. nábytek, branky, vrata od kůlny apod.). [3,4]

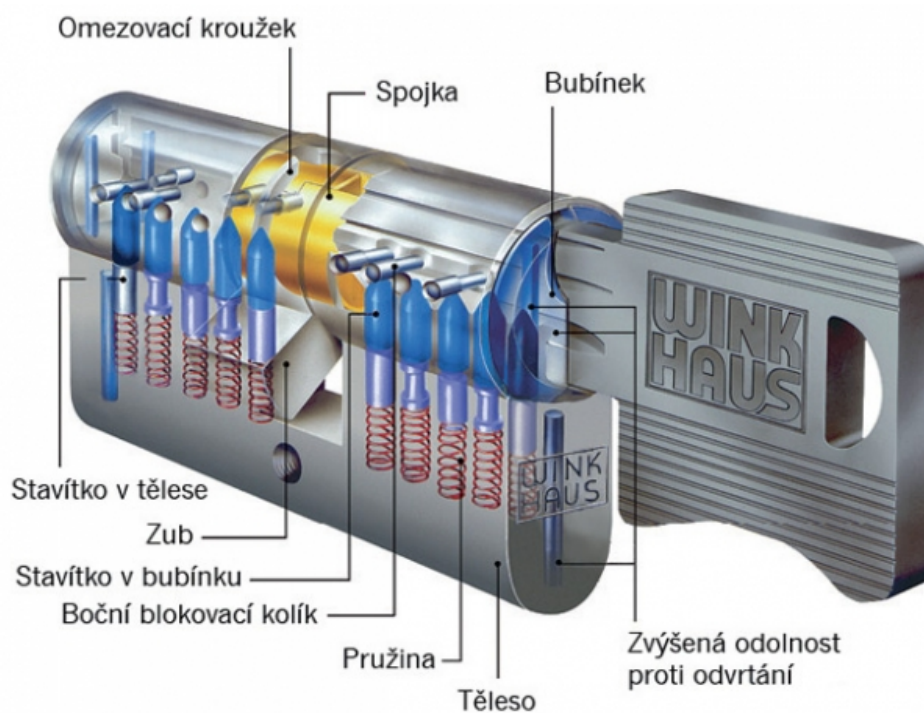
### 1.3 Zámky s cylindrickou vložkou

Jelikož nabízí v jednoduché formě a za nízké finanční náklady poměrně dostačující stupeň bezpečnosti, jsou zámky s cylindrickou vložkou nejpoužívanějším typem v západním světě. [3]



### 1.3.1 Princip zámku s cylindrickou vložkou

Cylindrická vložka se skládá z vnější obalové části (tělesa), která je vzhledem k celé soustavě zámku ve stacionární poloze, a vnitřní otáčivé části (cylindru neboli bubínku) ve tvaru válce (viz obr. 2). Oběma těmito částmi prochází několik vertikálně vrtaných komor uzavřených mosaznými zátkami – tzv. stavítky. Každá komora je vyplněna pružinou udržující stavítka v nejvyšší poloze. Bubínkem je vedena drážka pro zasunutí klíče, která odpovídá jeho příčnému profilu. Po zasunutí správného klíče dojde na základě jeho podélného profilu ke stlačování stavítek proti tlaku pružin a k vytvoření mezery na úrovni rozhraní roviny vložkového tělesa a otáčivého válce, čímž se odjistí bubínek a zub posune odemykací mechanismus zámku (tzv. závoru). Při použití nesprávného klíče nedojde k vytvoření mezery zůstává otáčivý válec zablokovaný a zámek uzamčen. [1, 3, 5]



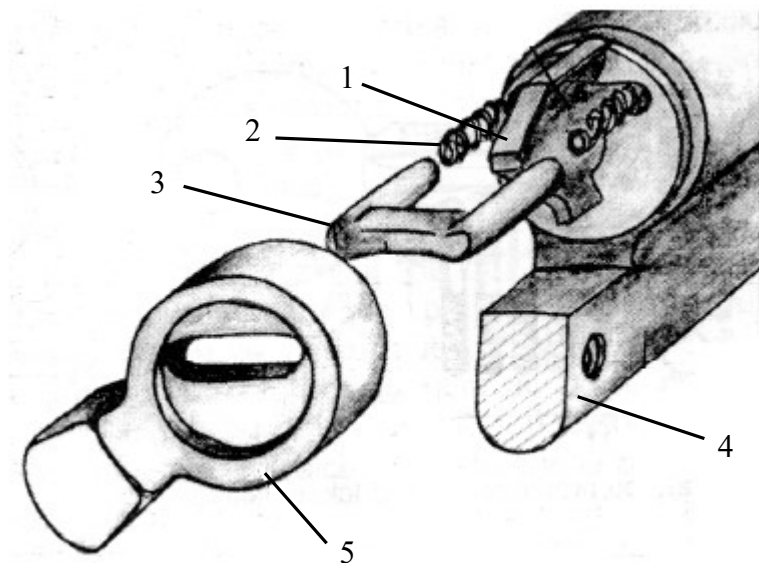
Obr. 2. Konstrukce cylindrické vložky. [7]

### 1.3.2 Základní části cylindrické vložky

- a) **Těleso** – tvoří základní kostru celé cylindrické vložky, jelikož drží všechny části pohromadě a umožňuje ji tak jednoduše upevnit v systému zámku. V dnešní době je nejpoužívanější profilovou cylindrickou vložkou v Evropě tzv. Europrofil. [1, 3, 5]

Podle tvaru se rozdělují např. profilové, oválné, kruhové, osmičkové aj. tělesa cylindrických vložek. Volbu vhodného tvaru určuje následný způsob použití cylindrické vložky nebo výrobce, který tím zamezuje jejich využívání do konkurenčních prvků. Dalším kritériem je délka tělesa, která je předem dána konstrukcí celého uzamykacího systému, do něhož je cylindrická vložka zabudovaná. Rozeznáváme cylindrické vložky např. jednostranné, oboustranné, asymetrické, symetrické, s monolitním tělesem nebo sestavovatelé. [5]

- b) **Bubínek (cylindr)** – v uvolněném stavu, tedy po zasunutí správného klíče, se jedná o otáčivý válec (možnost otočení o  $360^\circ$ ), který pomocí spojky pootáčí zubem cylindrické vložky. Válcem radiálně prostupují sloupcové komory navazující na komory prostupující skrze těleso. [1, 3]
- c) **Zub** – je obdobou zubu dozického klíče. Otočením dochází k nadzvednutí závorníku a následně posunutí závory až o dva západy. Podle konstrukce rozlišujeme:
- *jednoduchý zub* – každé otočení klíče o  $360^\circ$  posouvá závoru o jeden západ;
  - *dvojzub* – otočení klíče o  $360^\circ$  posouvá závoru o dva západy;
  - *ozubený pastorek* – skrze ozubený hřeben je ovládáno zasouvání a vysouvání závora na obou stranách dveří. [3, 5]
- d) **Spojka** – zajišťuje spojení bubínku se zubem a přenos otáčivé síly mezi nimi (viz obr. 3). U oboustranných dveřních cylindrických vložek se využívá spojky, která je do pohybu uváděna zešikmenou špičkou zasunutého klíče. Tento typ spojky dovoluje zasunutí klíče pouze z jedné strany dveřní vložky. Existuje i speciální tzv. prostupový typ spojky, který umožňuje ovládat cylindrickou vložku i při zasunutém klíči na protilehlé straně vložky. [8] Bubínek jednostranné vložky je se zubem přímo pevně spojen. Toto pevné spojení výrazně znemožňuje vytržení bubínku z vložkového tělesa. [1, 3, 4]



Obr. 3. Funkce klasické spojky u oboustranné dveřní  
cylindrické vložky. [5]

1 – klíč, 2 – pružina, 3 – spojka, 4 – těleso, 5 – zub

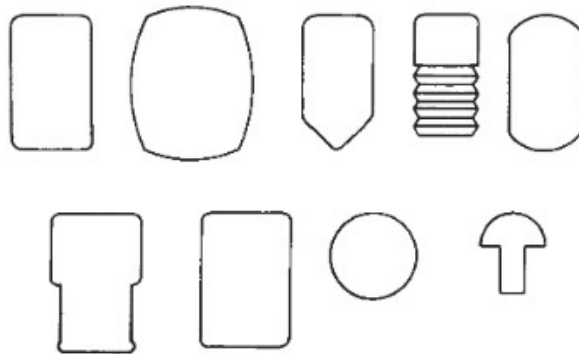
- e) **Stavítka** – jsou válečky zasazené do vrtaných sloupcových komor procházejících bubínkem i tělesem. Podle jejich umístění rozlišujeme tedy stavítka v tělese a stavítka v bubínku. Jejich účelem je vytvoření mezery na úrovni rozhraní roviny vložkového tělesa a otáčivého válce a odjištění bubínku. [1] Klasická stavítka mají tvar válce o průměru asi 3 mm [5] a délce v rozmezí od 3,81 mm do 7,62 mm [3], který je zakončen kuželem nebo komolým kuželem. Nejčastějším materiálem pro výrobu stavítek je tvrzený bronz, ale také např. nikl, tvrzená ocel nebo mosaz. Vzhledem k rychlému opotřebování se při výrobě zásadně nepoužívají měkké slitiny. [1]

Cylindrické vložky mají obvykle pět a více stavítek, ale vyrábí se i malé jednostranné zámky se třemi stavítky (např. u nábytkových nebo visacích zámků). Stavítka mohou být uspořádány do souběžných či protilehlých přímek, trojúhelníku, kříže, hvězdice, spirály či soustředěného kruhu a zároveň mohou být sestaveny do jedné nebo více řad. [3, 5]

Stavítka jsou ovládány klíčem a podle způsobu se cylindrické vložky dělí na:

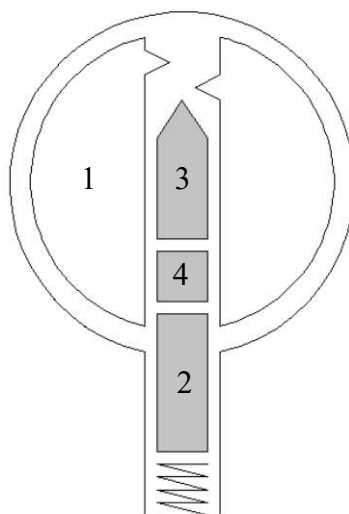
- *mechanické*,
- *magnetické* (posuvné, výkyvné a otočné magnety),
- *elektronické* (čipové),
- *kombinované* (magneto-mechanické, mechanicko-elektronické).

f) **Blokovací kolík** – je speciální formou stavítka, který je důležitý při zabezpečení cylindrické vložky. Vyrábí se v několika tvarových provedeních vyobrazených na Obr. 4 (např. válec, soudeček, hříbeček, svazek prstenců, apod.).



Obr. 4: Tvary blokovacích kolíků  
cylindrické vložky. [4]

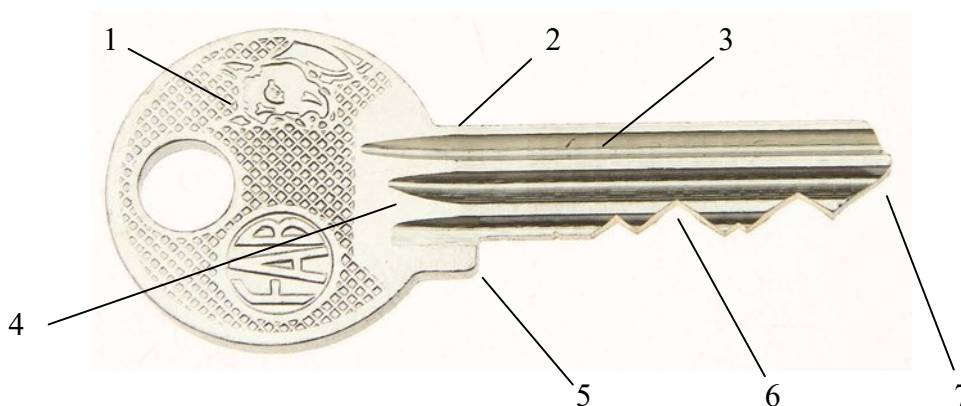
- g) **Pružina** – slouží k odpružení stavítek a blokovacích kolíků. Je vyráběna nejčastěji z mosazi. [1]
- h) **Mezistavítko** – je obdobou klasického stavítka. Bývá umístěno ve sloupcových komorách mezi stavítko a blokovací kolík (viz obr. 5). Jeho účelem je vytvořit dvě mezery ve sloupcové komoře, které mohou být nastaveny do stejné výše s dělicí rovinou válce a tělesa vložky [5]. Umožňuje tak používání společných klíčů.



Obr. 5. Princip mezistavítka. [9]

1 – bubínek, 2 – stavítko,  
3 – blokový kolík, 4 – mezistavítko

### 1.3.3 Klíč cylindrické vložky

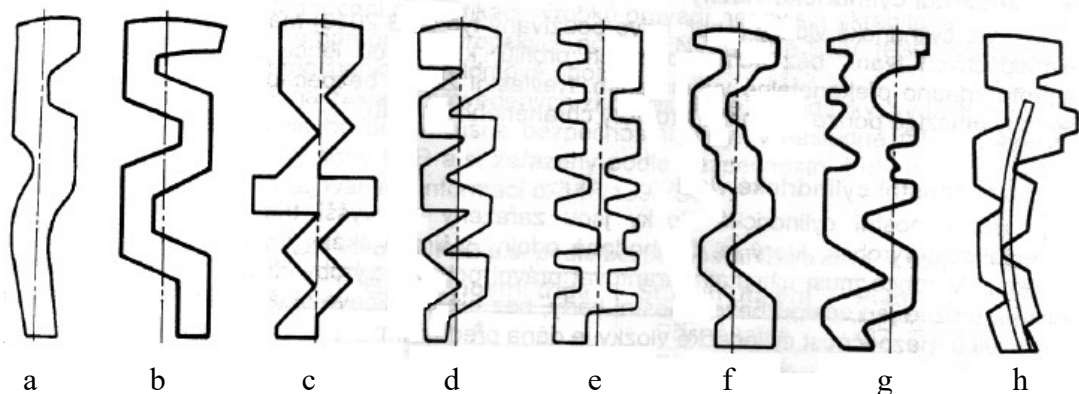


Obr. 6. Konstrukce klasického klíče. [10]

1 – hlava, 2 – hřbet, 3 – základní drážka, 4 – řezné roviny, 5 – doraz,  
6 – zářez, 7 – náběhový úkos

Klasický klíč cylindrické vložky je tvořen dvěma základními částmi – hlavou, která slouží k uchopení a snadné manipulaci s klíčem, a čepelí, což je aktivní část klíče, která je tvořena řadou následujících funkčních prvků (viz obr. 6):

- a) **Hřbet** – rovina hřbetu je základna, od které se odměřují hloubky zářezů. Ne vždy je tato plocha opracovaná. V tomto případě pozbývá své funkce a využívá se plochy základní drážky.
- b) **Náběhový úkos** – sražení náběhové hrany, které umožňuje snadnější zasouvání klíče skrze odpružená stavitka. Zároveň u oboustranných dveřních cylindrických vložek posouvá spojku a zajišťuje tak její přenos otáčivé síly z bubínku na zub.
- c) **Doraz** – opracovaná plocha sloužící jako základna, od které se odměřují rozestupy zářezů.
- d) **Profil** – příčný průřez aktivní části klíče, který se shoduje s profilem drážky pro zasunutí klíče cylindrické vložky. Existuje následujících deset základních profilů zobrazených na obr. 7.



Obr. 7. Některé ze základních tvarů profilu pro klíč v bubínku. [5]

- a – standardní, b – překrytý, c – překrytý profil s bočními drážkami, d – integrovaný,  
e – labyrintový, f – kaskádový, g – asymetrický, h – kružnicový

- d) **Základní drážka** – slouží pro přesné horizontální zavedení klíče do bubínku a zároveň se od její osy, v případě klíče s neopracovanou plochou hřbetu, měří hloubky zářezů.
- e) **Řezné roviny** – jsou souborem hloubek jednotlivých zářezů, které se měří buď od roviny hřbetu nebo od osy základní drážky.

- f) **Zářezy** (neboli zuby klíče) – jsou vyfrézované prvky na čepeli klíče, které stlačují stavítka po zasunutí klíče do bubínku. [1, 3, 4, 5]

Klíče cylindrických vložek jsou vyráběny o tloušťkách v rozmezí od 1,8 do 2,8 mm. [5]

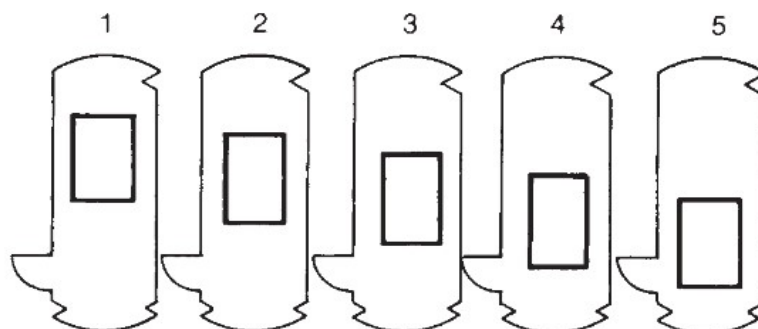
## 1.4 Další typy mechanických zámků

Existuje řada dalších zámků na podobném principu jako zámek s cylindrickou vložkou a stavítka ve tvaru válečků. Liší se především tvarem stavítek, čemuž musí být mírně uzpůsoben i mechanismus. Mezi nejvíce používané patří následující tři typy zámků:

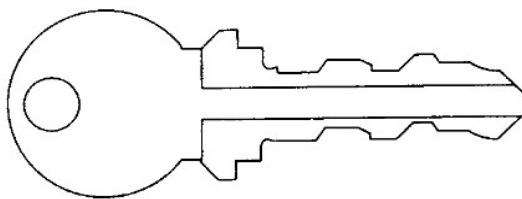
- destičkový,
- diskový (kotoučový),
- tubulární.

### 1.4.1 Destičkový

Destičková stavítka jsou ocelové výlisky, které jsou uspořádány v drážkách válcového tělesa. Ve středu stavítka se nachází výřez (může mít pět poloh – viz obr. 8) odpovídající zářezu na klíči. Na straně je pak háček zajišťující kontakt s pružinou. Stavítka jsou v zásobníku umístěny střídavě s háčkem na pravé a s háčkem na levé straně. Z jádra vyčnívají do drážek na vnitřním průměru válce. Po zasunutí správného klíče se stavítka uspořádají tak, aby nepřečnívaly do prostoru vložkového tělesa a umožnily tak otočení válce. [4] Klíč diskového zámku (viz obr. 9) je obecně drobnější a mívá pět zářezů.



Obr. 8. Stavítka diskového zámku mohou mít pět variant. [4]

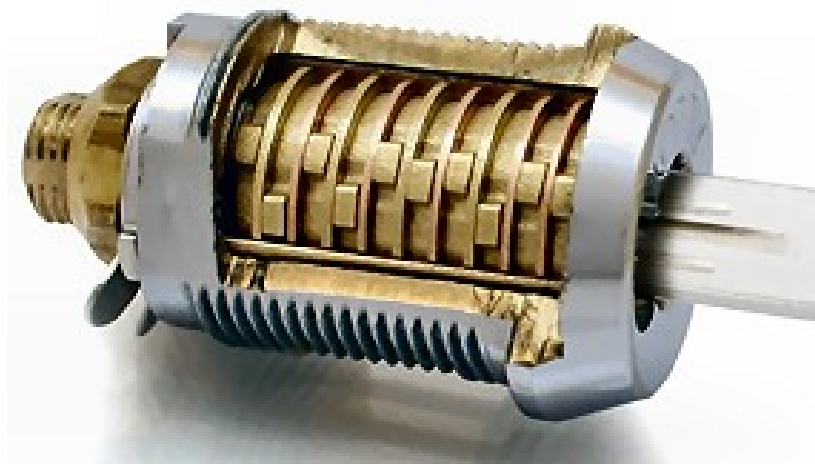


*Obr. 9. Klíč destičkového zámku. [4]*

Setkat se s tímto typem zámku můžeme na skleněných vitrínách, kartotékách, klíčových spínačích atd.

#### **1.4.2 Diskový (kotoučový)**

Tento typ zámku je tvořený sadou šterbinových disků (viz obr. 10). Po vložení správného klíče se jeho otočením všechny disky seřadí tak, že se jejich zářezy srovnají do roviny. Následně je možné otočit klíčem do další pozice, čímž dojde k posunutí závory a odemčení zámku. [4, 11]



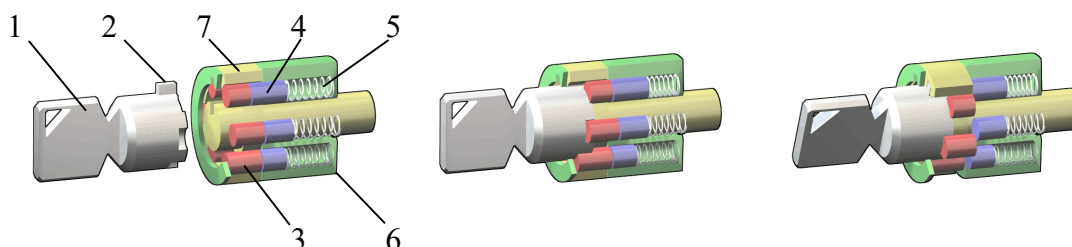
*Obr. 10. Konstrukce diskového zámku [12]*

Vzhledem k tomu, že diskový zámek nemá stavítka odpružená pružinami, nachází často využití v extrémnějších venkovních podmínkách (např. visací zámky, atd.).



### 1.4.3 Tubulární

Klíčová dírka tubulárního zámku (viz obr. 11) má kruhový tvar s pevným kovovým válcem uprostřed. Mechanismus je tvořen čtyřmi až osmi kolíky. Klíč má také kruhový tvar, ale s otevřeným prostorem v jeho středu a se zářezem na vnější straně, který zjednodušuje jeho zasunutí ve správné poloze. Profil klíče stlačí tzv. klíčové kolíky (stavítka) a následně i posuvné kolíky proti tlaku pružin tak, že dojde ke vzniku mezery na úrovni rozhraní bubínku a vnějšího pláště, čímž se bubínek uvolní o je možno s ním otočit a uvolnit závoru. [3, 4, 13]



Obr. 11. Mechanismus tubulárního zámku. [14]

1 – klíč, 2 – vnější zářez, 3 – klíčový kolík, 4 – posuvný kolík, 5 – pružina,  
6 – vnější plášť, 7 – otočný válec (bubínek)

Např. prodejní automaty, bankomaty atd. Použití tohoto typu zámku značně klesá, ale stále se s nimi můžeme setkat.

## 2 ZABEZPEČENÍ MECHANICKÝCH ZÁMKŮ

Na zabezpečovací mechanismy je kladen stále větší důraz. Následující kapitola se zabývá jednak klasifikací mechanických zábranných systémů dle současných technických norem, dále jsou zde uvedeny pasivní bezpečnostní prvky mechanických zámků s cylindrickou vložkou a možné způsoby jejich překonání.

### 2.1 Bezpečnostní třídy zámků

Od ledna roku 2012 vstoupil v platnost upravený soubor norem ČSN EN 1627 až ČSN EN 1630 vyjadřující odolnost mechanických zábranných systémů (MZS) proti vloupání s vynaložením fyzické síly a pomocí definovaného náradí. Norma klasifikuje šest bezpečnostních tříd s označením RC (resistance class). Tento platný soubor norem plně nahrazuje a ruší dřívější technický předpis platný v České republice ČSN 74 7731:1991, který byl překladem normy DIN 18 103. [15, 16]

Posuzovací hlediska pro klasifikaci mechanického zábranného systému do bezpečnostních tříd jsou konkrétně uvedeny v normě ČSN EN 1627 a znějí následovně:

- **RC 1** – použití malého jednoduchého náradí a fyzického násilí (např. kopání, narážení ramenem, zdvihání nebo vytrhávání) bez způsobování hluku a po krátký čas; zloděj nemá žádné zvláštní znalosti o úrovni odolnosti MZS;
- **RC 2** – doba napadení do 3 minut; příležitostný zloděj se navíc pokouší o vloupání s použitím jednoduchého náradí a fyzického násilí; o úrovni MZS má malé znalosti, snaží se nezpůsobit hluk a má málo času;
- **RC 3** – doba napadení do 5 minut; použití páčidla do délky 710 mm a dalšího šroubováku, ručního náradí (např. malé kladívko, důlčíky nebo mechanická vrtačka); zloděj má povědomí o systému uzávěru a s tímto náradím je schopen těchto znalostí využít; použitím páčidla délky 710 mm lze aplikovat zvýšené fyzické násilí;
- **RC 4** – doba napadení do 10 minut; zkušený zloděj používá navíc zámečnické kladivo, sekeru, dláta, sekáče, přenosnou akumulátorovou vrtačku atd.; tato zařízení umožňují zloději rozšířit počet způsobů napadení, příp. jejich kombinace – vrtání, sekání, páčení atd.; zloděj neřeší šíření hluku;

- **RC 5** – doba napadení do 15 minut; velmi zkušený zloděj navíc používá jednoruční elektrické nářadí (např. úhlovou brusku do průměru 125 mm, přímočarou pilu atd.); vznikající hluk jej neznepokojuje;
- **RC 6** – doba napadení do 20 minut; velmi zkušený zloděj navíc používá dvouruční elektrické nářadí (např. úhlovou brusku do průměru kotouče 230 mm, přímočarou pilu atd.); vznikající hluk jej neznepokojuje. [15, 16]

Výrobky, které charakterizují bezpečnostní třídy RC 1 a RC 2 slouží k zabezpečení méně rizikových objektů. Pro zajištění vstupních dveří bytů se nejčastěji používají výrobky spadající do bezpečnostní třídy RC 3. Nejvyšší v praxi využívaná je bezpečnostní třída RC 4. Výrobky do ní spadající jsou aplikovány k zajištění ochrany objektů, u nichž se předpokládá napadení zkušeným zlodějem s určitými znalostmi o MZS. Aby mohl být výrobek zařazen do bezpečnostních tříd RC 5 a RC 6, musí vyhovovat vysokým materiálovým, konstrukčním nárokům, které splňují např. trezorové techniky. [15, 16]

## 2.2 Pasivní bezpečnostní prvky zámků s cylindrickou vložkou

Součástí konstrukce cylindrické vložky jsou také různé druhy zábran ke zvýšení její pasivní bezpečnosti. Podle způsobu překonání se rozdělují na:

- **Zábrany proti odvrtání:** Ke ztížení odvrtání cylindrické vložky běžně dostupnou vrtací technikou (např. elektrická vrtačka, gravírovací fréza, apod.) se do vložky pevně zabudovávají kalené ocelové tyčinky válcového průřezu, které brání proniknutí vrtáku nebo vrták ohýbají, čímž mohou způsobit až jeho zlomení. Tento typ zábran se umísťuje do přední části tělesa, do cylindru, stavítek nebo blokovacích kolíků. [1]
- **Zábrany proti rozlomení:** Středová část cylindrické vložky, v níž se otáčí zub je celkově nejslabším a nejnáchylnějším místem k rozlomení. Další zeslabení způsobuje také přítomnost upevňovacího šroubu. Některé firmy používají díly z pevných houževnatých materiálů, které se pevně přichytí k oběma částem vložky a ztíží tak její rozlomení. Český výrobce zámků NIXOR např. používá krátký a dlouhý bubínek, které účinně středovou část přemostí. [1, 17] Firma GUARD – Mudroch aplikuje speciální uzamykací nos, který semkne oba válce vložky k sobě. [18]
- **Zábrany proti bumpingu:** Řada výrobců proto přichází na trh se speciálními úpravami cylindrických vložek, které napadení tímto způsobem předchází. Např. cylindrické vložky firmy NIXOR využívají speciální lamely a tzv. přesuvník, který fungu-

je jako klín mezi bubínkem a vložkovým tělesem blokující možnost otočení při páčení a zabraňuje bumpingu [17]. Další výrobce zámků značky FAB aplikuje speciálně tvarovaná stavítka a přídatné blokovací prvky [19].

## 2.3 Metody překonání zámků

Je celá řada možností, jak zámek překonat na základě jeho charakteru. Následující metody popisují způsoby zdolávání se zaměřením pouze na cylindrické vložky.

### 2.3.1 Destruktivní metody

#### a) Rozlomení

Zasazená cylindrická vložka je do zámkového systému upevněna upínacím šroubem. V tomto místě je vložka zároveň nejnáchylnější na poškození. Použitím jednoduchého nářadí (např. hasáku, kleští atd.), lze zachytit část vložky vyčnívající do prostoru a kroutivým pohybem způsobit její rozlomení. Bezpečnostní kování může tomuto způsobu poškození zabránit. Další možností však je, v případě tohoto způsobu zabezpečení, zaseknutí šroubu do bubínku, čímž se vložka povytáhne a otočením šroubu je bubínek vytažen a mechanismus zámku je volně přístupný. [1, 4, 5, 20]

#### b) Odvrtání

Jedná se o metodu překonání zámkového systému, která je velmi hlučná. Existují dvě místa, která je možné odvrtat:

- *drážka pro zasunutí klíče vedená bubínkem*
- *soubor vrtaných sloupcových komor se stavítky* – vyvrtání asi pěti otvorů nad sebou, téměř po celé výšce komor s následným vyfrézováním vzniklých můstků vertikálním pohybem vrtačky a odstraněním stavítek ze vzniklé šterbiny. [1, 4, 5, 20]

### 2.3.2 Nedestruktivní metody

#### a) Vyklepání (bumping)

Princip tohoto způsobu překonání zámku spočívá v rozkmitání stavítek úderem a následném uvolnění bubínku. To umožňuje nejen rychle odemknout, ale i zamknout. Vzhledem k tomu, že nedochází k žádnému viditelnému porušení zámku, je těžké prokázat zásah cizí osoby. [1, 4, 5, 20]

### b) Vyhmatání planžetou

Velmi známá mezi laickou veřejností je metoda vyžadující jednoduchý nástroj tzv. planžetu. Tímto tenkým, pružným a většinou kovovým páskem se stavítka umísťují do poloh, jejichž výsledné postavení umožní otočení bubínku za pomoci napínaču. [1, 4, 5, 20]

### c) Kopie klíče

Existuje několik způsobů, kterými lze opatřit duplikát klíče:

- *otisk* – polotovar klíče se zasune do zámku; postupným otáčením a jeho narážením na stavítka dochází k vytvoření značek na tomto polotovaru, které jsou následně zařezávány; tento proces je opakován, dokud není vytvořen co nejpřesnější profil klíče, který umožní odemknout zámek; [21]
- *odlitek* – v první řadě je nutné dočasně získat správný klíč k danému zámku, k otisknutí do plastické formy, která je následně vylita nízkotavitelnou slitinou; výsledný duplikát je získán po vychladnutí výrobku; [21]
- *dekódování* – vložením správného klíče do dekódovacího zařízení (viz obr. 12), lze klíč popsat řadou čísel vyjadřujících hloubky jednotlivých zářezů na čepeli klíče [21]; profil klíče lze zároveň dekódovat speciálním manuálním měřidlem, který je vyobrazený na obr. 13.



Obr. 12. Dekódovací zařízení v praxi. [22]



Obr. 13. Dekódovací měřidlo v praxi. [23]

Zmíněné způsoby získání duplikátu klíče vyžadují značný fyzický přístup. V případě metody otisku je nutné strávit delší dobu přímo u zámku, ke kterému je klíč vyráběn. Druhé dva případy – metody výroby odlitku a dekodování hloubky zářezů vyžadují dostupnost originálního klíče.

V současné době je předmětem výzkumu možnost vytvoření duplikátu na základě vzdáleného snímání originálního klíče, kterým se zabývali např. *Laxton a kol., 2008* [21].

### 3 3D TISK

Technologie 3D tisku patří mezi aditivní způsoby výroby, kdy je materiál během výrobního procesu postupně přidáván. Podle způsobu, jak je materiál zpracováván, můžeme 3D tisk rozdělit do těchto čtyř následujících metod:

- **Metoda tavení vlákna** (Fused Filament Fabrication – FFF nebo Plastic Jet Printing – PJP) – materiál je na podklad nanášený po jednotlivých vrstvách a to tak, že dochází k postupnému tavení tiskové struny z prostoru trysky vytlačovací hlavy, která se pohybuje jak v horizontálním, tak i ve vertikálním směru. Značnou nevýhodou této metody je především rozptyl přesnosti tisku a dále také časová náročnost procesu.
- **Stereolitografie (SLA)** – tato metoda byla vyvinuta na počátku 80. let 20. století. Samotný pojem stereolitografie zavedl ve svém patentu z roku 1986 americký inženýr Charles Hull (\* 1939). Metoda funguje na principu vytvrzování tekutého polymeru působením UV záření. Tekutý materiál je umístěn ve speciální nádobě s tiskovou deskou. Paprsek UV záření vykresluje požadovaný tvar na tuto tiskovou desku. Působením záření z ultrafialové oblasti na tekutý materiál dochází k fotochemické reakci a vytvrzení materiálu do pevného skupenství. Následně se tisková deska posouvá o úroveň jedné tiskové vrstvy (0,05 – 0,25 mm) a proces se opakuje. Tímto způsobem je požadovaný objekt vytvrzen po jednotlivých vrstvách. Nakonec je odstraněna přebytečná tekutina a konečný produkt je očištěn např. izopropylalkoholem. Často bývá výrobek ještě dodatečně vytvrzen opětovným působením UV záření. Jedná se o techniku 3D tisku, kdy vznikají výrobky nejpřesnějších rozměrů.
- **Sintrování laserem** (Selective Laser Sintering – SLS, Direkt Metal Printing – DMP) také v tomto případě je používaný materiál umístěn do speciální nádoby s posuvnou tiskovou deskou. Tentokrát se ale jedná o práškový materiál, který je působením paprsku laserového záření v určitém požadovaném místě roztaven a vytvrzen. Po dokončení poslední tiskové vrstvy je odstraněn přebytečný vstupní materiál v práškové formě, který může být opětovně použit. Jedná se např. o různé typy polymerů, kovů nebo materiálů na bázi sádry.

- **Laminování** (Laminated Object Manufacturing – LOM) – nejméně využívaná metoda trojrozměrného tisku, která jako vstupní materiál používá zejména papír nebo různé typy fólií o tloušťce cca 0,2 mm. Z tohoto archu je nožem vyříznutý požadovaný tvar, na který je přilepena další tisková vrstva materiálu. V případě této aditivní metody vytváření 3D objektů se často hovoří o nízkých finančních nákladech, ale je důležité brát také do úvahy množství přebytečného materiálu (ořezů), které při výrobě vznikají. [24,25,26]

Pro trojrozměrný tisk bývá využívána široká škála materiálů. Mezi nejčastější patří zejména syntetické polymery, ale výtisky mohou být tvořeny i z různých druhů kovů nebo materiálů na bázi sádry.

- **ABS (akrylonitril-butadien-styren)** je vzhledem ke svým materiálovým vlastnostem a relativně nízké pořizovací ceně nejčastěji používaným materiálem při komerčním využití 3D tisku. Nevýhodou jinak vysoce tepelně a mechanicky odolného polymeru je ztráta objemu výtisku po jeho ochlazení na pokojovou teplotu (cca 0,3 – 0,7 %). ABS je zpracováván při teplotách v rozmezí od 210 do 250 °C. Nicméně pro objekty menších velikostí je vhodnou volbou.
- **PLA (kyselina polyléčná)** – tento biologicky rozložitelný materiál je využíván především pro aplikaci výtisků za nižších teplot, jelikož při teplotách nad 50 °C začíná měknout. Bývá zpracováván při 180 až 220 °C. Jedná se však o materiál s vyšší pevností než dříve zmíněný ABS a při tisku lépe zpracovatelný.
- dále např. **PC (polykarbonát)**, který se vyznačuje velmi dlouhou dobou měknutí a proto je nutné jej zpracovávat při 230 až 280 °C, nebo pružnější Nylon PA6, u něhož se však špatně pojí jednotlivé tiskové vrstvy k sobě. [27, 28]

U prvních dvou uvedených technik – metody tavení vlákna a stereolitografie, je často zapotřebí během tisku vytvářet podpěry některých částí objektů. Pro tento účel bývají volené polymerní materiály, jejichž vlastnosti se liší od tiskového materiálu a proto je snadné je např. odstranit rozpouštědlem. Např. houževnatý polystyren HIPS je rozpustný v acetonu nebo lebonenu. Méně oblíbeným je polyvinylalkol (PVA), který je sice rozpustný v obyčejné vodě, ale je značně hygroskopický a neustálým vstřebáváním všudy přítomné vzdušné vlhkosti působí velmi rychlé měknutí tohoto materiálu. [27, 28]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit funkční kopii klíče na základě pořízené fotografie. A zároveň také ověřit kvalitu a spolehlivost 3D tisku při relativně jemné a přesné mechanické práci, kterou výroba klíče do cylindrické vložky je.

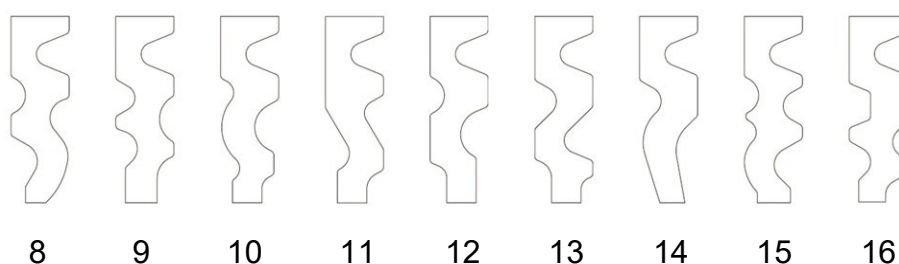
Dílčí cíle práce:

- Transformovat fotografii do geometrických dat.
- Z geometrických dat vytvořit na 3D tiskárně výtisk klíče.
- Vyrobít duplikát klíče na kopírovacím stroji pro výrobu klíčů.

## 5 PRACOVNÍ POSTUP

Experiment výroby duplikátu klíče na základě jeho fotografie byl realizován na klíči do cylindrické vložky, který patří mezi nejčastěji používané v běžné praxi. Tento typ klíče může disponovat několika různými bočními profily čepele (viz obr. 14), přičemž v tomto případě se jednalo o profil s označením společnosti SILCA – FB1, které odpovídá značení společnosti FAB jako 4093/11. Pro účel experimentu jsme cylindrickou vložku měli k dispozici pro kontrolu celého postupu.

Duplikát klíče byl vytvářen tak, aby byl schopen odemknout cylindrickou vložku FAB – typ 200RSD s pěti stavítky (viz obr. 15), která je certifikovaná dle normy ČSN EN 1627 v bezpečnostní třídě 3.



Obr. 14. Nejběžnější typy bočních profilů používané pro cylindrické vložky (typ 4093 u společnosti FAB). [10]

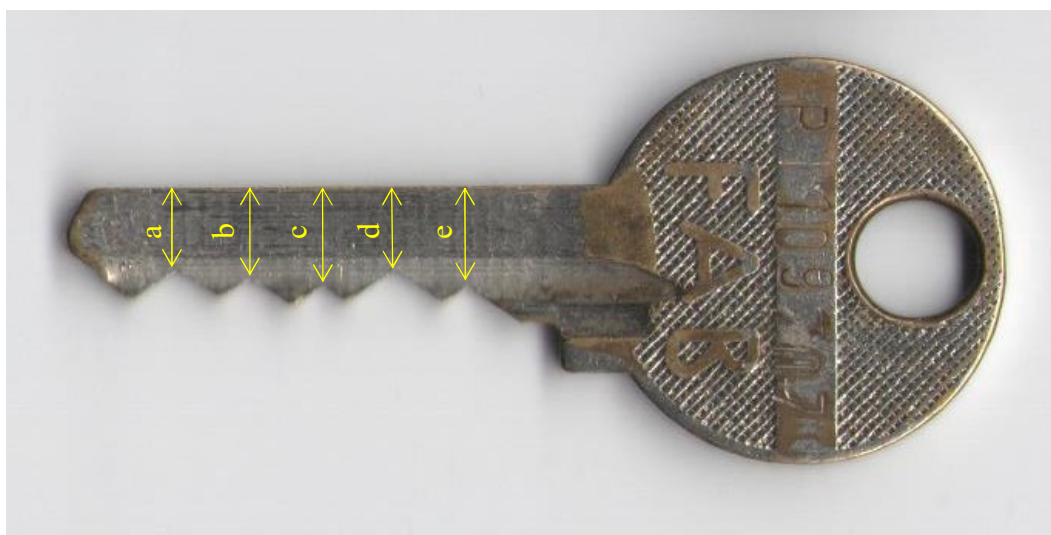


Obr. 15. Cylindrická vložka FAB.

V následující tabulce I jsou uvedeny rozměry jednotlivých zářezů na čepeli originálu klíče (viz obr. 16) do zmíněné cylindrické vložky.

Tabulka I: Rozměry zářezů originálního klíče.

Označení zářezu na čepeli klíče (viz obr. 16)	Délka [mm]
a	4,73
b	5,26
c	5,76
d	4,87
e	5,81



Obr. 16. Detail originálu klíče s označením jednotlivých zářezů.

## 5.1 Příprava geometrických dat

Podstatou reverzního inženýrství je vytvořit technicky přesnou kopii výrobku avšak bez přesných znalostí jeho technických parametrů. Například na základě fotografie.

### 5.1.1 Pořízení fotografie klíče

Za účelem tohoto experimentu byla pořízena fotografie (viz obr. 17) odloženého svazku klíčů na okenním parapetu fotoaparátem Canon EOS 1100D.



*Obr. 17. Fotografie svazku klíčů.*

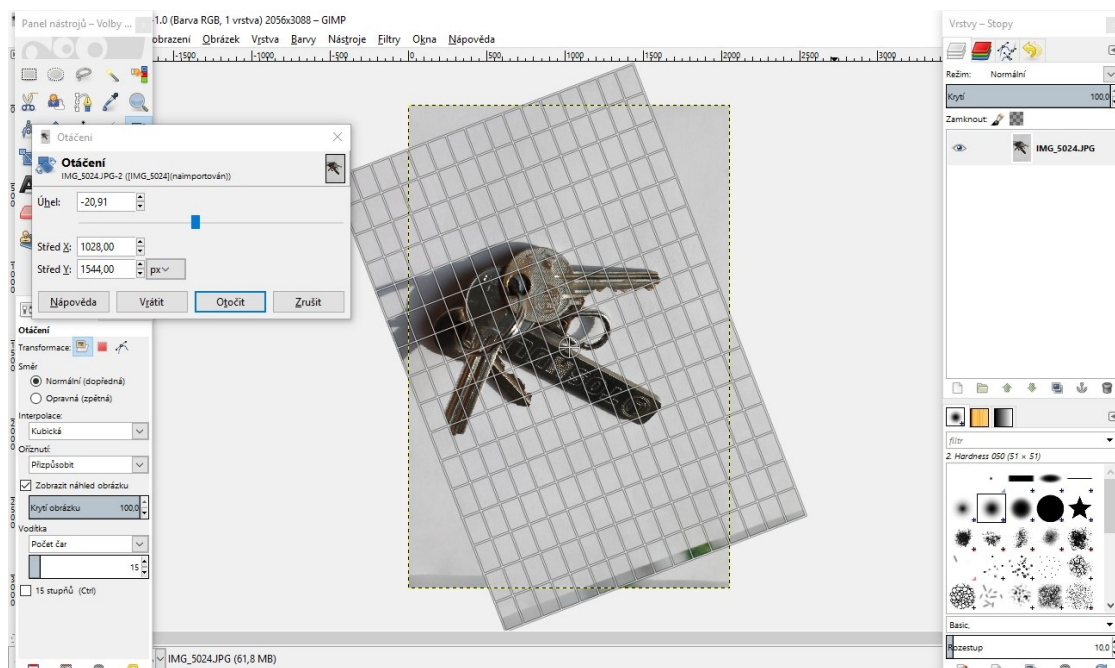
### 5.1.2 Převedení fotografie na geometrická data

K vytvoření dat pro následný tisk na 3D tiskárně byly použity následující tři programy, které jsou mezi uživateli běžně rozšířené:

- **Grafický editor GIMP** (GNU Image Manipulation Program, verze 2.8.22) – bitmapový grafický editor pro úpravu a vytváření rastrové grafiky, který obsahuje několik vektorových funkcí. [29]
- **Autodesk Inventor Professional 2017** – CAD aplikace velmi rozšířená a oblíbená v oboru strojírenského modelování.
- **Solid Edge** – stejně jako u dříve zmíněného programu společnosti Autodesk se i v tomto případě jedná o CAD aplikaci používanou pro tvorbu strojírenských návrhů. Tento program je uživatelsky srozumitelnější, byl během vytváření geometrických dat preferován. Jelikož ale neumožňuje zobrazení souboru ve formátu *.jpg*, byl k tomuto kroku využit právě program Autodesk Inventor Professional 2017.

## Proces tvorby geometrických dat

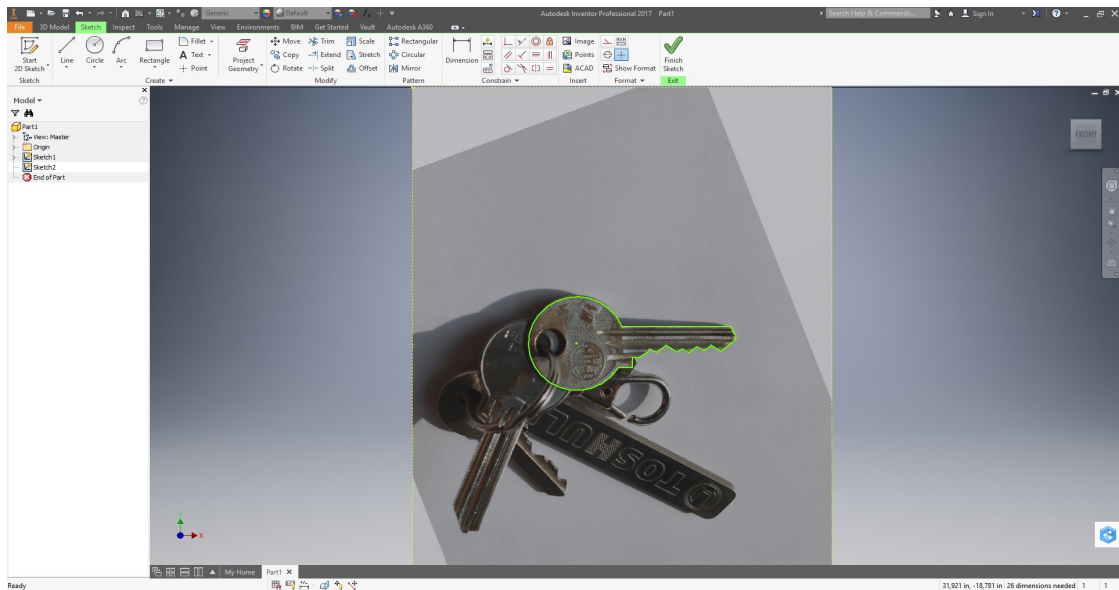
1. **Převedení do roviny** – nejprve bylo nutné upravit pořízenou fotografií tak, aby byl klíč v rovině a další práce na tvorbě geometrických podkladů byla snazší (viz obr. 18).



Obr. 18. Úprava roviny fotografie.

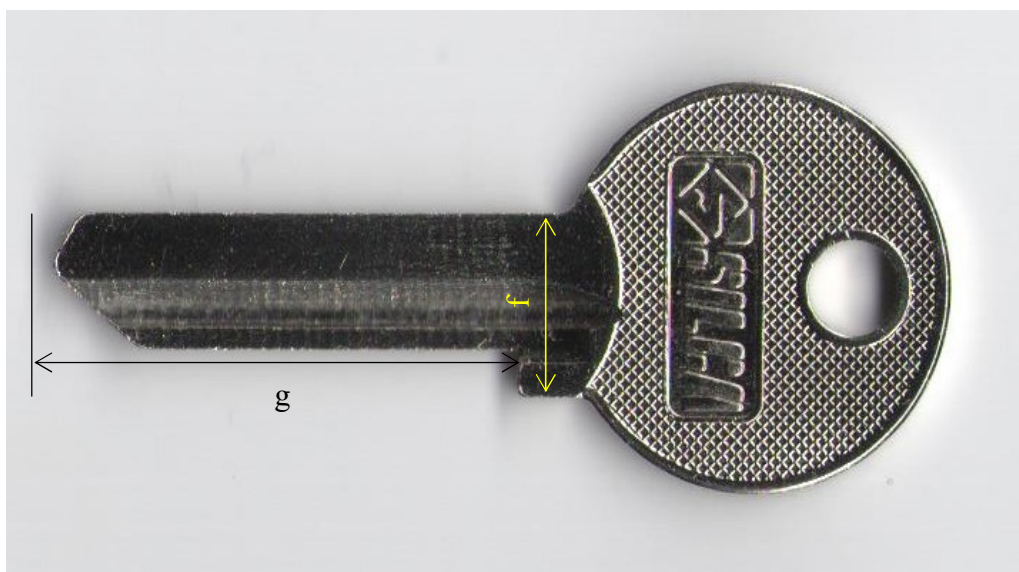
2. **Vyznačení obrysů zářezů klíče** – upravená fotografie byla převedena do programu Autodesk Inventor Professional 2017. S využitím jednoduchých funkcí tohoto programu byla vytvořena co nejpřesnější skica obrysů klíče, která je vyobrazena na obr. 19. Velký důraz na přesné provedení byl vyžadován především v oblasti čepu u jednotlivých zářezů.





*Obr. 19. Skica obrysů klíčového profilu  
vytvořená v programu Autodesk Inventor Professional 2017.*

- 3. Optimalizace rozměrů na planžetu** – vytvořená skica obrysů klíčového profilu byla přenesena do programu Solid Edge, kde byl z tohoto náčrtku vytvořen 3D model klíče s reálnými rozměry. Jelikož planžety pro klasické cylindrické vložky jsou standardizované, posloužila jako předloha slepá planžeta klíče (viz obr. 20). Naměřené rozměry čepele použité pro vytvoření následujících modelů jsou uvedeny v tabulce č. II.



*Obr. 20. Detail planžety s vyznačením rozměrů její čepele.*

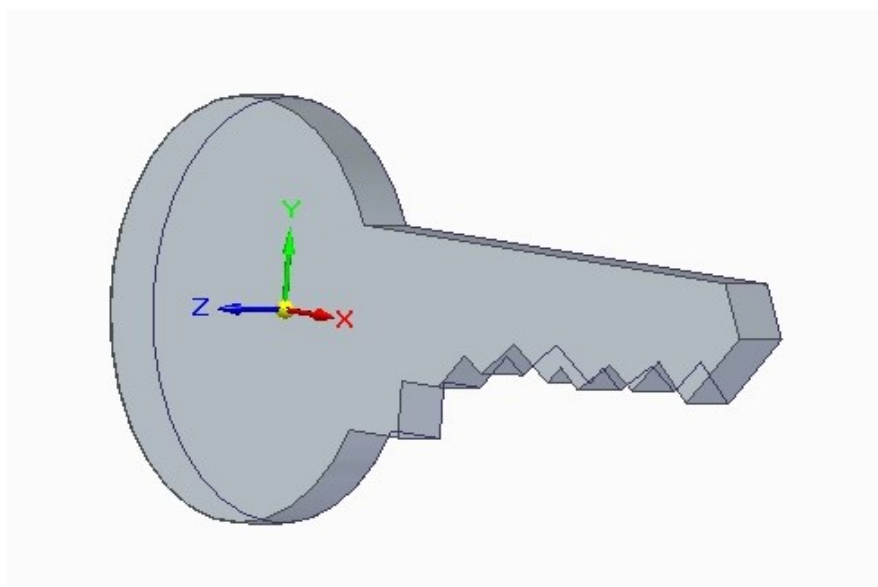
Tabulka II: Naměřené rozměry planžety..

Označení rozměrů čepele planžety (viz obr. 20)	Délka [mm]
f	10,49
g	27,60
h	2,20

*h* – tloušťka čepele

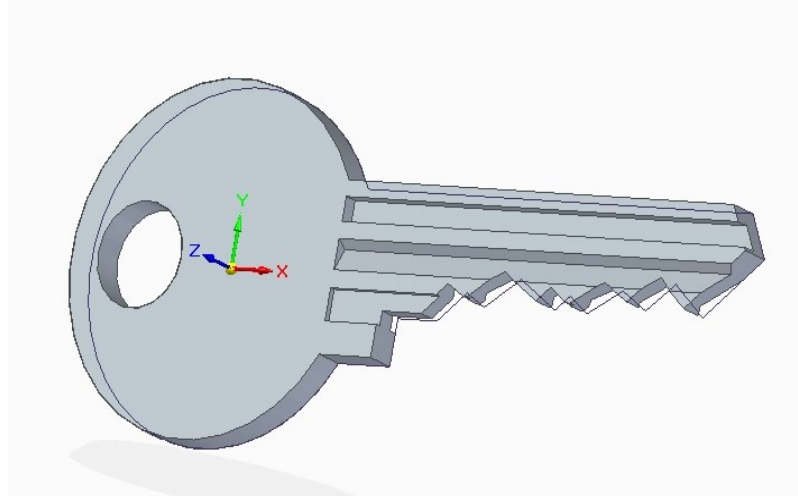
Celkem byly vytvořeny dva 3D modely:

- Jednoduchý model**, který je znázorněný na obr. 21, má vymodelovány pouze jednotlivé zářezy klíče na jeho čepeli a není kladen důraz na tloušťku modelu.
- Propracovanější model**, vyobrazený na obr. 22, mimo jednotlivých zářezů na čepeli už zahrnuje i vytvarování bočního profilu a tloušťka čepele se shoduje s normativními rozměry klíčů určených do klasických cylindrických vložek zámků. Jedná se tedy o téměř přesný model sledovaného klíče.



Obr. 21. Jednoduchý 3D model klíče  
bez vymodelovaného bočního profilu.





*Obr. 22. Propracovanější 3D model klíče  
s vymodelovaným bočním profilem.*

## 5.2 Výroba 3D modelu klíče

Pro účel tohoto experimentu byl zvolen postup výroby duplikátu klíče na kopírovacím stroji podle předlohy modelu klíče vytištěného na 3D tiskárně.

Technologie trojrozměrného tisku je v oblasti strojírenského reverzního inženýrství stále více využívána, jelikož má řadu výhod oproti konvenčním metodám. Mezi tyto hlavní výhody patří zejména:

- rychlost výrobního procesu,
- snadná dostupnost,
- finanční nenáročnost jak použitého materiálu a vstupního zařízení tak i celého výrobního procesu a další.

### 5.2.1 Výtisky klíčů

Podle grafických dat vytvořených v programu Solid Edge byly na 3D tiskárně vytvořeny dva výtisky z esteru kyseliny metakrylové s  $< 1\%$  přídavkem fotoinhibitoru – výtisk jednoduchého i propracovanějšího modelu klíče (viz obr. 23).



Obr. 23. Výtisky modelů klíčů.

a) výtisk jednoduchého modelu, b) výtisk propracovanějšího modelu

### 5.3 Výroba duplikátu klíče

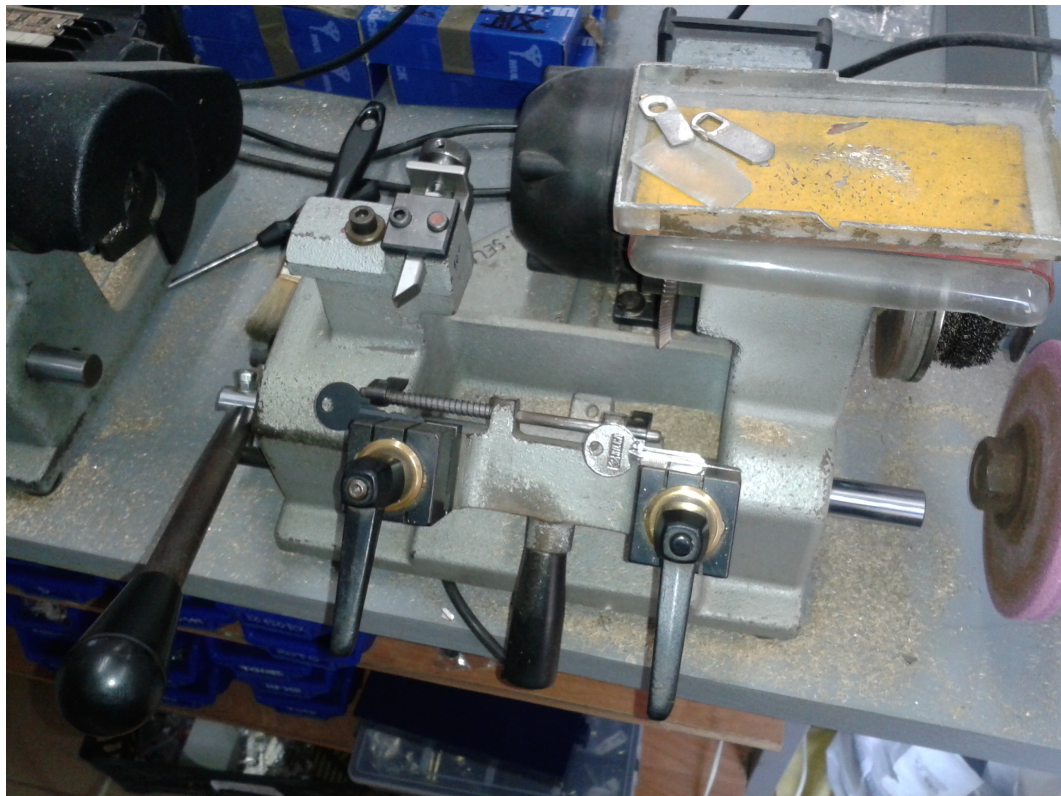
Samotná výroba duplikátu klíče byla provedena na kopírovacím stroji v komerčním zařízení.

Kopírovací stroj se skládá ze dvou základních prvků. Jedním z nich je tzv. dotyk (nejčastěji ocelový hrot) a druhým pilový kotouč. Po upnutí originálu klíče do svorky je tímto klíčem pohybováno tak, že dotyk opisuje jednotlivé zářezy aktivní části klíče. Směr pohybu originálu klíče je kopírován pohybem planžety, která je upevněna ve svorce před brusným kotoučem. Ten následně vytváří jednotlivé zářezy ve stejné hloubce.

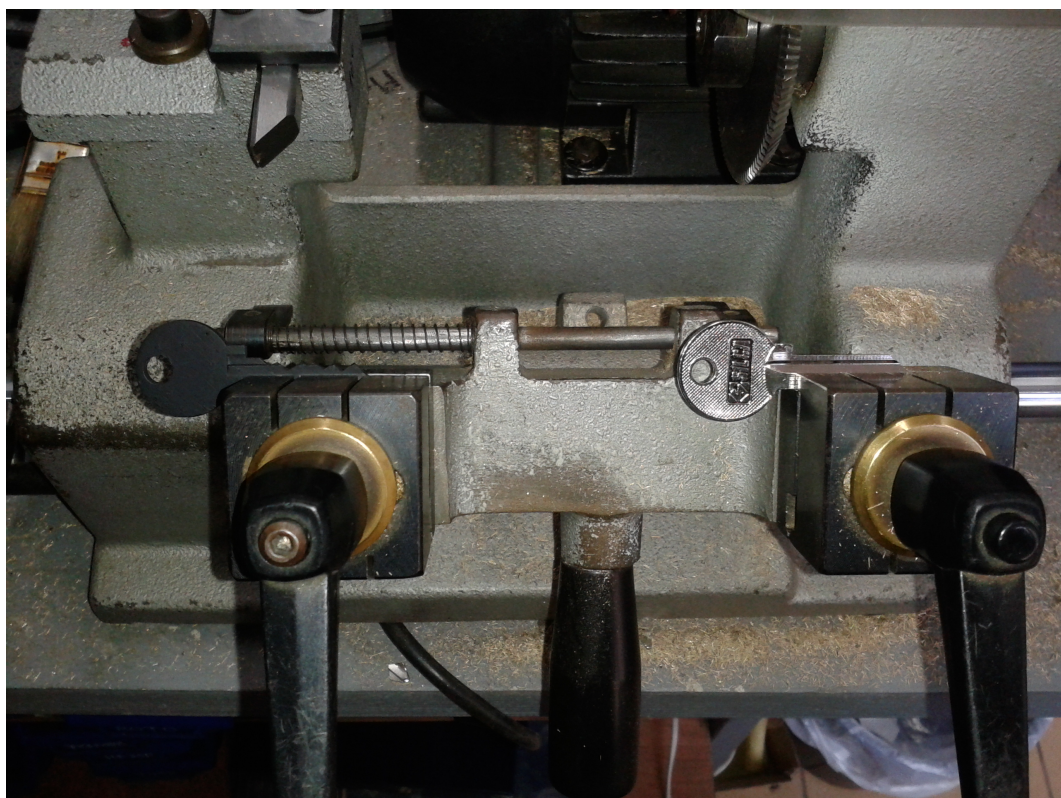
Pro účely této bakalářské práce byl zvolen poloautomatický kopírovací stroj na výrobu klíčů pro cylindrické vložky běžně dostupný v komerčním zařízení specializovaném na výrobu klíčů. Jednalo se o stroj italské výroby od společnosti CEA s.p.a. (220 V, 0,15 kW, 50 Hz) vyobrazeného na obr. 24.

Běžně se při výrobě duplikátu klíče používá jako předloha klasický originál klíče. V tomto případě byl však jako předloha použit výtisk klíče z 3D tiskárny (viz obr. 25).





*Obr. 24. Kopírovací stroj (CEA s.p.a.).*



*Obr. 25. Detail upnutí výtisku klíče a planžety v kopírovacím stroji.*

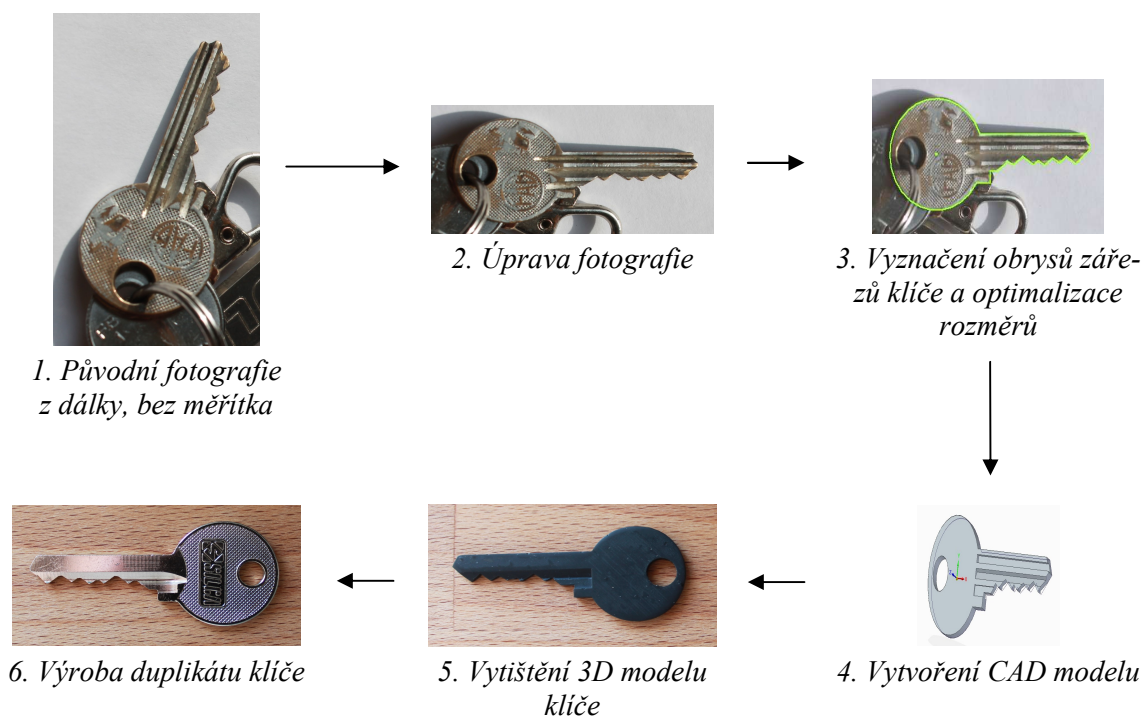




Obr. 26. Vyfrézovaný duplikát klíče.

## 5.4 Shrnutí pracovního postupu

V následujícím schématu na obr. 27 je souhrnně znázorněn postup reverzní výroby klíče.



Obr. 27. Schéma postupu reverzní výroby klíče.

## 6 DISKUZE

Na 3D tiskárně byly zhotoveny dva modely kopírovaného klíče:

- **jednoduchý** (viz obr. 21), u něhož byly vymodelovány pouze jednotlivé zářezy klíče na čepeli a nebyla u něj brána v potaz tloušťka aktivní části čepele ani její boční profil;
- **propracovanější model** (viz obr. 22), který kromě jednotlivých zářezů na čepeli zahrnoval i tvarování bočního profilu. Také tloušťka čepele odpovídala standardnímu rozměru klíčů určených do klasických cylindrických vložek zámků.

Při práci na kopírovacím stroji byla nejprve zhotovena kopie klíče podle propracovanějšího trojrozměrného modelu. Po vložení takto získané kopie klíče do cylindrické vložky však bylo zjištěno, že jednotlivé zářezy nekorespondují se stávkou zámku tak, aby jej vyrovnaly a umožnily jeho otevření. Tento propracovanější model výtisku byl i odborníkem zabývajícím se výrobou klíčů zhodnocen jako nekvalitní.

Proto byla kopie klíče upravena podle jednoduchého trojrozměrného výtisku. Tento výtisk byl i po vizuálním srovnání pouhým okem kvalitnější. Jednotlivé zářezy na aktivní části klíče byly téměř identické. Po této úpravě kopie klíče v kopírovacím stroji a následným zasunutím do zámku se podařilo zámek odemknout bez potíží.

*Tabulka III: Srovnání rozměrů zářezů originálního klíče s vytvořenými trojrozměrnými modely a vyfrézovaným duplikátem..*

Označení zářezu na čepeli klíče	Délka [mm]			
	Originál klíče	Výtisk jednoduchého modelu	Výtisk propracovanějšího modelu	Duplikát klíče
a	4,73	4,68	4,70	4,56
b	5,26	5,23	5,17	5,12
c	5,76	5,80	5,70	5,57
d	4,87	4,95	4,83	4,72
e	5,81	5,90	5,84	5,63

Jak je patrné z tabulky III, rozměry jednotlivých zářezů výtisku jednoduchého trojrozměrného modelu klíče se od originálu liší mnohem více, než rozměry zářezů na výtisku propracovanějším modelu. I přesto se ale s pomocí odborníka nepodařilo vytvořit funkční duplikát klíče na základě tohoto propracovanějšího a z hlediska přesnosti rozměrů zářezů také přesnějšího trojrozměrného modelu.

Při porovnání jednotlivých rozměrů zářezů s výše uvedeným experimentálním zjištěním, lze konstatovat, že vliv na vytvoření funkčního duplikátu klíče na základě jeho fotografie má několik následujících faktorů:

- preciznost provedení virtuálního 3D modelu z fotografie originálu klíče,
- smrštění materiálu během 3D tisku,
- přesnost 3D tiskárny,
- zručnost a zkušenosti osoby ovládající kopírovací stroj,
- stav (resp. opotřebení) cylindrické vložky.

Zároveň lze říci, že rozměry jednotlivých zářezů se mohou lišit, avšak mnohem důležitější pro otevření zámku je geometrie zubů, na které stavítka dosedají. Pokud je při stejné výšce zubu (resp. hloubce zářezu) rozevření úhlu zubu různé, stavítka dosedne do jiné pozice, což znemožní otevření zámku.

## ZÁVĚR

Předkládaná bakalářská práce měla za cíl vytvořit funkční kopii klíče na základě jeho fotografie. Během praktické části byl/y:

- vytvořeny virtuální trojrozměrné modely klíče v programu Solid Edge a to ve dvojím provedení jednoduchého a propracovanějšího modelu;
- zhotoveny dva výtisky klíče na 3D tiskárně podle výše zmíněných trojrozměrných modelů;
- vyroben duplikát klíče na kopírovacím stroji.

Závěrem lze konstatovat, že vyrobit model klíče pomocí 3D tiskárny a následně i jeho duplikát není vůbec složité.

Bylo ověřeno, že k otevření staršího (opotřebovaného) zámku lze například použít i na první dojem velmi křehký trojrozměrný výtisk. V novém a tedy neopotřebovaném a poměrně přesném zámku by se takovýto výtisk snadno zalomil. Stejně důležitou roli hraje toto opotřebení zámku při preciznosti provedení duplikátu klíče. V případě starší cylindrické vložky není zapotřebí taková přesnost jednotlivých zářezů, jelikož jsou stavítka opotřebovaná a je snazší dosáhnout otevření zámku.

S nástupem nových technologií v oblasti reverzního inženýrství, které jsou v současné době snadno dostupné i široké veřejnosti, je velmi jednoduché prolomit bezpečnost zámku s cylindrickou vložkou, který byl předmětem tohoto experimentu, a to přestože se nachází ve 3. třídě bezpečnosti dle ČSN EN 1627.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] IVANKA, J.: *Mechanické zábranné systémy*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, 151 s. ISBN 978-80-7318-910-5
- [2] KASÍK, P.: *Klíče zapomínáme už 4000 let. Od dřevěných zámků k čtečkám otisků prstů*. In Technet.cz [online] 8. 3 2008 [cit. 20. 11. 2016] Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/klice-zapominame-uz-4000-let-od-drevenych-zamku-k-cteckam-otisku-prstu-1gj-/tec\\_technika.aspx?c=A080307\\_153542\\_tec\\_technika\\_pka](http://technet.idnes.cz/klice-zapominame-uz-4000-let-od-drevenych-zamku-k-cteckam-otisku-prstu-1gj-/tec_technika.aspx?c=A080307_153542_tec_technika_pka)
- [3] PULFORD, G., W.: *High-security mechanical locks: an encyclopedic reference*. Elsevier Inc., Burlington 2007. ISBN 978-0-7506-8437-8
- [4] PHILIPS, B.: *The Complete Book of Locks and Locksmithing* 6. vyd. McGraw-Hill, USA 2005. DOI: 10.1036/0071448292 Dostupné z: <https://murdercube.com/files/Locksmithing/The%20Complete%20Book%20of%20Locks%20and%20Locksmithing,%206th%20Ed.pdf>
- [5] UHLÁŘ, J.: *Technická ochrana objektů: I. díl - Mechanické zábranné systémy*. 1. vyd. Policejní akademie České republiky, Praha 2000. 148 s. ISBN 80-7251-046-0
- [6] VESELÁ, K.: *Jak fungují klíče a zámky*. In FyzWeb.cz [Online]. [cit. 31. 1 2017] Dostupné z: <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=93>
- [7] *Moderní dveřní technika od společnosti Winkhaus*. In Stavební a investorské noviny [online]. 24. 8. 2010. [cit. 20. 11. 2016] Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/863-moderni-dverni-technika-od-spolecnosti-winkhaus>
- [8] *Prostupová spojka* [Online]. FAB-SHOP, 2016. [cit. 22. 12. 2016] Dostupné z: <http://www.fab-shop.cz/prostupova-spojka.htm>
- [9] *Guide To Lock Picking* [Online]. Locksmith Parts and Supplies, 2017. [cit. 22. 12. 2016] Dostupné z: [https://www.lockpickshop.com/lock-picking\\_ch9.html](https://www.lockpickshop.com/lock-picking_ch9.html)
- [10] ASSA ABLOY Czech and Slovakia s. r. o.: *Produktový katalog – FAB 4093*. [cit. 22. 11. 2016] Dostupné z:



- <http://www.assaabloy.cz/cs/local/cz/produkty/klice/fab-4093/>
- [11] BLAZE, M.: *Physical and „Human-Scale“ Security*. Notes on Picking Pin Tumbler Locks. University of Pennsylvania 2016. [cit. 31. 1. 2017] Dostupné z: <http://www.crypto.com/papers/notes/picking/>
- [12] Type of locks [Online]. [cit. 22. 12. 2016] BosnianBill's LockLab, 2016. Dostupné z: <https://lock-lab.com/locklab-university/types-of-locks/>
- [13] *What Is A Tubular Lock?* [Online]. United Locksmith, 2017. [cit. 22. 12. 2016] Dostupné z: <http://united-locksmith.net/blog/what-is-a-tubular-lock>
- [14] Tubular pin tumbler lock [Online]. Poslední aktualizace 26. 4. 2017 [cit. 23. 4. 2018], Wikipedie. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tubular\\_pin\\_tumbler\\_lock](https://en.wikipedia.org/wiki/Tubular_pin_tumbler_lock)
- [15] KOKTAN, P.: *Nové označení bezpečnostních tříd mechanických zábranných systémů není jen překabatenie*. In SECURITY magazín.
- [16] KOKTAN, P.: *Nová klasifikace mechanických zábranných systémů do bezpečnostních tříd RC přináší i zvýšení jejich kvality pro snadnou orientaci občana – zákazníka*. *Zpravodaj cechu MZS* 1, 3 – 5 (2014). [cit. 22. 12. 2016] Dostupné z: [http://cmzs.cz/files/bulletin/zpravodaj\\_01\\_2014\\_WEB1.pdf](http://cmzs.cz/files/bulletin/zpravodaj_01_2014_WEB1.pdf)
- [17] KAMENÍČEK, J.: *Vložky Nixor* [Online]. [cit. 31. 1. 2017] Dostupné z: <http://jma.prodejce.cz/nixor.php>
- [18] GUARD – Mudroch spol. s r. o.: *Produktový katalog (Česká republika)*. Dostupné z: <http://docplayer.cz/19918128-Historie-firmy-guard-mudroch-spol-s-r-o.html>
- [19] *Bezpečnostní vložka FAB 1000U4BDNs* [Online]. Boháček KTZ, 2016. [cit. 31. 1. 2017] Dostupné z: <http://www.bohacek-kzt.cz/produkty/cylindricke-vlozky/fab/vlozka-fab-1000u4/>
- [20] *Podívejte se na metody, jak lze překonat zámeček* [Online]. NIXOR, spol. s r. o., 2016. [cit. 31. 1. 2017] Dostupné z: <http://www.nixor.cz/caste-dotazy/prekonavani-zamku>

- [21] LAXTON, B., WANG, K. and SAVAGE, S.: *Reconsidering Physical Key Secrecy: Teleduplication via Optical Decoding*. *Security* [online]. 2008. 469–478. DOI 10.1145/1455770.1455830. Dostupné z: <http://cseweb.ucsd.edu/~savage/papers/CCS08OptDecode.pdf>
- [22] *Pocket Size Key Decoder* [Online]. Brockhage Corporation, 2016. [cit. 2. 2. 2017] Dostupné z: <http://www.lockpicks.com/pocket-size-key-decoder.html>
- [23] *LDTSDKD – Safe Deposit Key Decoder* [Online]. TimeMaster, 2016. [cit. 31. 1. 2016] Dostupné z: <http://www.time-master.com/products/ldtsdkd-safe-deposit-key-decoder>
- [24] *Historie 3D tisku* [Online]. Imanica, 2018 [cit. 24. 3. 2018]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/%C5%A1%C3%ADtky/historie-3d-tisku/>
- [25] *The history of 3d pointer: from rapid prototyping to additive fabrication* [Online]. Sculpteo 2017. [cit. 24. 3. 2018] Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>
- [26] *3d tisk – metody* [Online]. 14220 2013. [cit. 24. 3. 2018] Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>
- [27] PRŮŠA, J., PRŮŠA, M.: *Základy 3D tisku* [Online]. 2014 [cit. 24. 3. 2018] Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
- [28] *3D tiskové materiály – jak fungují* [Online]. 3D tiskárny 2018. [cit. 24. 3. 2018] Dostupné z: <http://www.3dtiskarny.info/recenze/srovnani-3d-tiskovych-strun/>
- [29] *GNU Image Manipulation Program, User Manual* [Online]. The GIMP Documentation Team 2015. [cit. 8. 5. 2018] Dostupné z: <https://docs.gimp.org/2.8/en/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Akrylonitril-butadien-styren
DMP	Direkt Metal Printing
FFF	Fused Filament Fabrication
HIPS	Houževnatý polystyren
LMP	Laminated Object Manufacturing
MZS	Mechanický zábranný systém
PA6	Polyamid 6
PC	Polykarbonát
PJP	Plastic Jet Printing
PLA	Kyselina polymlečná
PVA	Polyvinylalkohol
RC	Bezpečnostní třída zámků (resistence class)
SLA	Stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering
UV	Ultrafialová oblast spektra záření

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Dozický zámek v praxi.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2: Konstrukce cylindrické vložky.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3: Funkce klasické spojky u oboustranné dveřní cylindrické vložky.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 4: Tvary blokovacích kolíků cylindrické vložky .....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 5: Princip mezistavítka.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 6: Konstrukce klasického klíče .....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 7: Některé ze základních tvarů profilu pro klíč v bubínku .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 8: Stavítka diskového zámku mohou mít pět variant .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 9: Klíč destičkového zámku .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 10: Konstrukce diskového zámku .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 11: Mechanismus tubulárního zámku.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 12: Dekódovací zařízení v praxi.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 13: Dekódovací měřidlo v praxi.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 14: Nejběžnější typy bočních profilů používané pro cylindrické vložky. ....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 15: Cylindrická vložka FAB. ....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 16: Detail originálu klíče s označením jednotlivých zářezů.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 17: Fotografie svazku klíčů. ....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 18: Úprava roviny fotografie. ....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 19: Skica obrysů klíčového profilu vytvořená v programu Autodesk Inventor Professional 2017.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 20: Detail planžety s vyznačením rozměrů její čepele. ....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 21: Jednoduchý 3D model klíče bez vymodelovaného bočního profilu. ....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 22: Propracovanější 3D model klíče s vymodelovaným bočním profilem. ....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 23: Výtisky modelů klíčů.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 24: Kopírovací stroj (CEA s.p.a.).....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 25: Detail upnutí výtisku klíče a planžety v kopírovacím stroji. ....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 26: Vyfrézovaný duplikát klíče. ....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 27: Schéma postupu reverzní výroby klíče. ....</i>	<i>40</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka I: Rozměry zářezů originálního klíče.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka II: Naměřené rozměry planžety.. ..</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka III: Srovnání rozměrů zářezů originálního klíče s vytvořenými trojrozměrnými modely a vyfrézovaným duplikátem.....</i>	<i>41</i>