



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY BEZPEČNOSTNÍHO
KLÍČE**

TECHNOLOGICAL PROCESS OF SECURITY KEY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Richard Bouše

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Richard Bouše**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologický postup výroby bezpečnostního klíče

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Principy klíčů a zámků.
3. Rozbor konkrétního typu klíče.
4. Návrh technologického postupu.
5. 3D tisk modelu.
6. Porovnání procesů.
7. Diskuze.
8. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování TPV dokumentace zakončené výrobou vzorku na 3D tiskárně včetně vyhodnocení navržených procesů.

Seznam literatury:

- Píška, M. et al. (2009): Speciální technologie obrábění. CERM, s. r. o., Brno.
- Forejt, M. a Píška, M. (2006): Teorie obrábění, tváření a nástroje. CERM, s. r. o., Brno.
- Humár, A. (2008): Materiály pro řezné nástroje. MM publishing, s. r. o., Praha.
- Freibauer, M., Vláčilová, H. a Vilímková, M. (2010): Základy práce v CAD systému SolidWorks. Computer Press, a. s., Brno.
- Gibson, I., Rosen, D., W. and Stucker, B. (2010): Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. Springer, New York.

Kolektiv autorů. (1997): Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednávající o technologickém postupu výroby bezpečnostního klíče k cylindrické vložce. V práci je zahrnut stručný popis historického vývoje klíčů a zámků. Vývoj je popsán od výskytu prvních primitivních zámků vyrobených ze dřeva, až po vynález moderního cylindrického zámku. V technologickém postupu jsou navrženy a vypočteny základní parametry výroby. Postup je zpracován od vystřížení polotovaru, až po kontrolu finálního výrobku. Předmětem práce je také pokus o náhradu standardního výrobního postupu moderní metodou 3D tisku.

Klíčová slova

technologický postup výroby, bezpečnostní klíč, cylindrická vložka, materiál CW404J, stříhání, frézování, 3D tisk

ABSTRACT

Bachelor thesis dealing with the technological process of a security key to the cylinder lock. In the thesis, there is a brief description of the lock and key history and development. Development is described from the first appearance of the primitive wooden locks to the invention of the modern cylindrical lock. In the technological process there are proposed and calculated basic parameters of manufacturing. Process is elaborated for all steps. From cutting a key blank to final product check. Subject of the thesis is also an attempt to substitute conventional technological process with the modern method of 3D printing.

Keywords

technological process, security key, cylinder lock, material CW404J, cutting, milling, 3D printing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BOUŠE, R. *Technologický postup výroby bezpečnostního klíče*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 49 s. 17 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Technologický postup výroby bezpečnostního klíče** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Richard Bouše

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi, z VUT FSI v Brně, za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto panu Ing. Tomáši Cvekovi, vedoucímu výroby z firmy Guard v Tišnově, za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto panu Martinu Hájkovi, mistrovi z firmy Guard v Tišnově, za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 PRINCIPY KLÍČŮ A ZÁMKŮ	11
1.1 Historie	11
1.1.1 Starověk – Egypt, Řecko a Řím.....	11
1.1.2 Novověk – Německo, Velká Británie a USA	13
1.2 Současnost	18
1.2.1 Materiály	19
1.2.2 Požadavky na cylindrické vložky a klíče.....	20
1.2.3 Uzamykací systémy	26
2 ROZBOR KONKRÉTNÍHO TYPU KLÍČE.....	28
2.1 Základní plochy klíče	28
2.2 Ukázka vlivu funkčních ploch klíče na funkčnost soustavy vložka-klíč.....	29
3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU	30
3.1 Vystřížení polotovaru	32
3.2 Frézování hřbetu	33
3.3 Frézování profilu	34
3.4 Nalisování loga	35
3.5 Vyražení označení	35
3.6 Frézování zářezů.....	36
3.7 Odstranění ostřin.....	37
3.8 Navléknutí na kroužek.....	37
3.9 Kontrola profilu	37
3.10 Kontrola zářezů.....	38
4 3D TISK MODELU.....	39
4.1 Využité technologie	39
4.2 Tisk klíče	40
4.3 Dodatečné úpravy	41
5 DISKUZE	42
5.1 Výpočty	42

5.2	3D tisk.....	42
5.3	Porovnání procesů	43
ZÁVĚR		44
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		48
SEZNAM PŘÍLOH.....		49

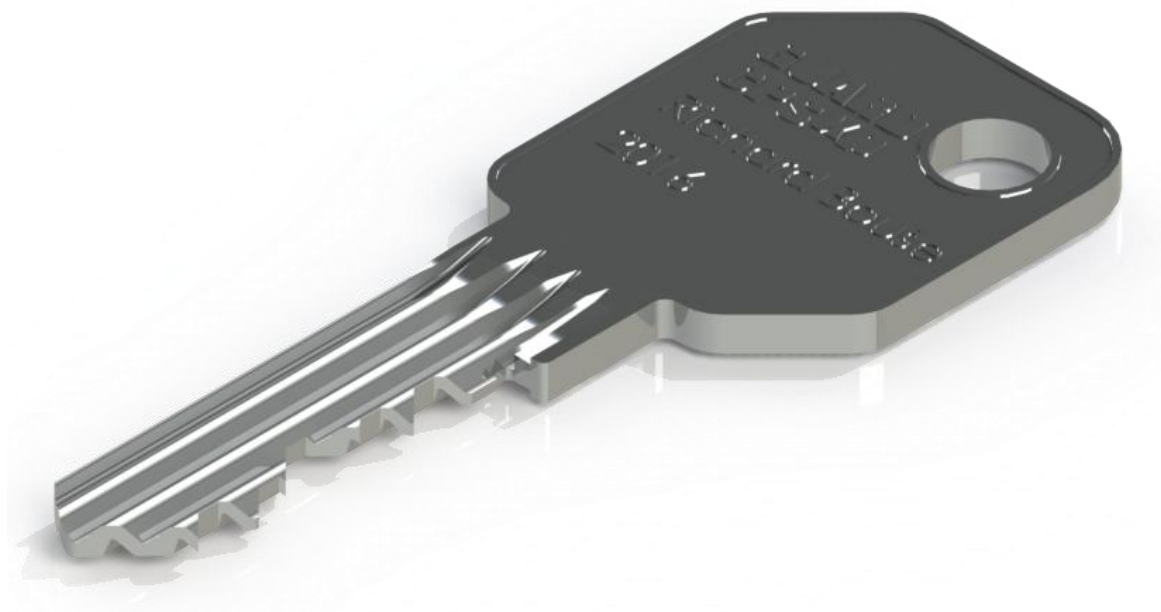
ÚVOD

V první kapitole je pojednáno o historii a současnosti zámků. Jsou v ní také představeny současné požadavky na bezpečnost cylindrických vložek a zámků. U požadavků jsou popsány i příslušné zkoušky, kterým jsou vložky nebo klíče podrobovány. Dále v práci je vysvětlena funkce sestavy mechanické cylindrické vložky a klíče. Je pojednáno o jednotlivých funkčních plochách bezpečnostního klíče a jejich vlivu na funkčnost. Na uzamykacím systému je ukázáno, jak jednotlivé funkční plochy ovlivňují funkci sestavy vložka-klíč a jak se, díky modifikacím tvarů funkčních ploch, dají vytvářet různé kombinace klíčů a vložek v uzamykacích systémech.

V další kapitole je, po jednotlivých operacích, zhotoven technologický postup výroby bezpečnostního klíče k mechanické cylindrické vložce. Pro vybrané operace jsou zpracovány výpočty a výrobní výkresy.

Ve čtvrté kapitole je pojednáno o 3D tisku. Model hotového klíče, zobrazený na obrázku 1, je využit k 3D tisku. V reálné cylindrické vložce je ověřena funkčnost klíče vytisknutého 3D tiskárnou. V závěru práce je porovnán klasický výrobní postup s moderní metodou 3D tisku.

Cílem práce je ukázat čtenáři jak se vyvíjely možnosti zabezpečení pomocí zámků a klíčů, navržení a představení technologického postupu výroby moderního bezpečnostního klíče. Dalším cílem je realizace pokusu o nahrazení tradičního výrobního postupu metodou 3D tisku a vyhodnocení výsledků tohoto pokusu.



Obr. 1 3D náhled CAD¹ modelu hotového klíče.

¹ Computer aided design – počítačem podporované navrhování

1 PRINCIPY KLÍČŮ A ZÁMKŮ

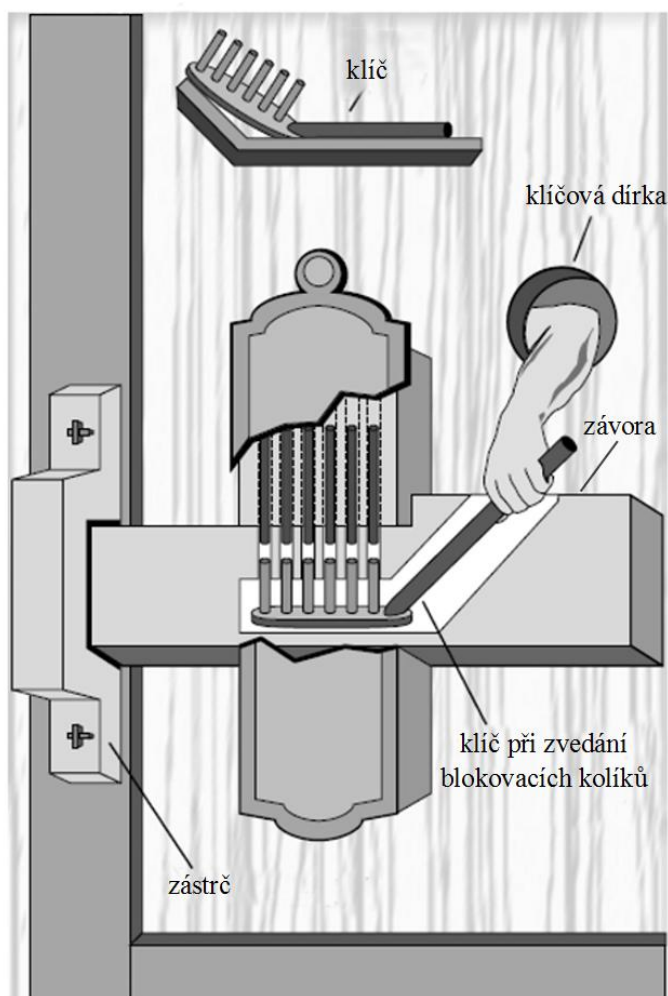
1.1 Historie

Zámky a klíče jsou lidmi využívány už tisíce let, od počátků soukromého vlastnictví existuje snaha o zabezpečení majetku proti krádeží. U mnoha typů zámků jsou využity principy staré stovky let. Mechanické zámky a klíče jsou sice postupně nahrazovány elektronickými, ale pořád jsou nejvyužívanější všude tam, kde je potřeba něco zabezpečit. Období vzniku zámků je odhadováno na dobu 2000 let před naším letopočtem. Archeologickými nálezy bylo zjištěno, že již v této době byly klíče vyrobeny z bronzu nebo ze železa. [1, 2, 3, 4, 5]

1.1.1 Starověk – Egypt, Řecko a Řím

Egypt

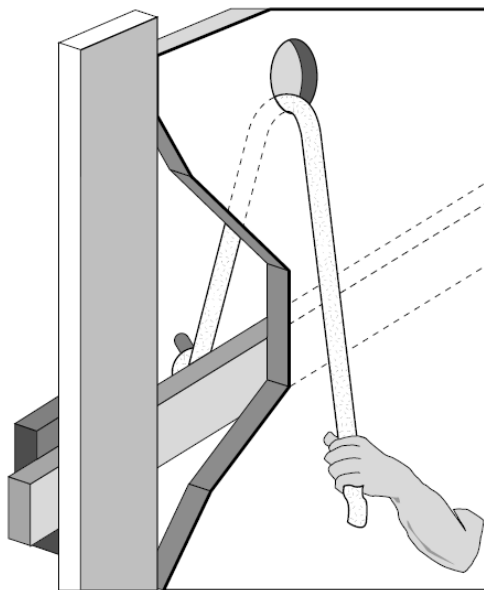
První zámky byly vyrobeny ve starověkém Egyptě. Zámky byly pouze primitivní, vyrobené převážně ze dřeva a skládaly se z těla zámku, kolíků a závory. V těle zámku byla zasunutá závora a v obou součástech byly vyrobeny díry o stejných rozměrech a roztečích, ve kterých byly umístěny blokovací kolíky. Klíčem byla pouhá zahnutá dřevěná páka s natlučenými železnými kolíky, které přesně zapadaly do děr v závoře. Díky tomu bylo klíčem možné zvednout kolíky a poté vytáhnout závoru. Vzhled a princip funkce zámku viz obrázek 1.1. [1, 2, 3, 4, 5]



Obr. 1.1 Egyptský typ zámku. [1]

Řecko

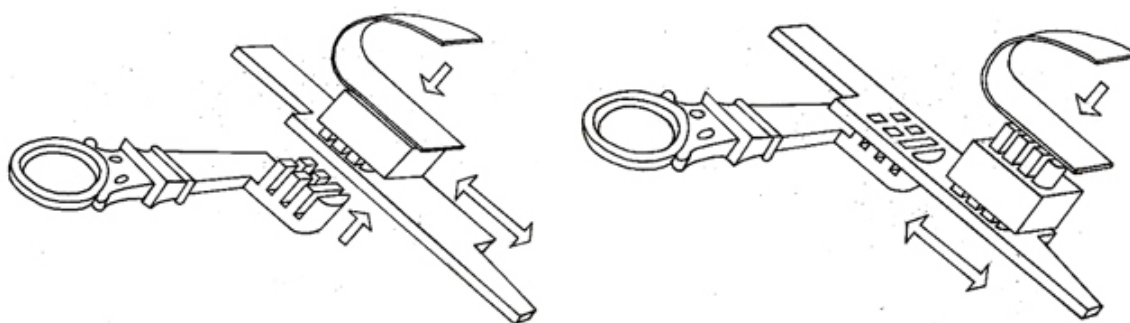
Většina dveří ve starověkém Řecku byla otočných. Dveře byly upevněny ve středu pomocí čepů. K jejich zajištění byly používány provazy, zavázané do složitých uzlů. V Řecku se věřilo, že pokud se někdo pokusí rozvázat uzel na cizích dveřích, bude proklet. Zámky, používané Řeky, byly velice primitivní. Šlo o klíč srpovitého tvaru, kterým se vysunula závora na vnitřní straně dveří. Funkce tohoto typu zámku je ilustrována na obrázku 1.2. [1, 2, 3, 4, 5]



Obr. 1.2 Primitivní zámek řeckého typu. [1]

Řím

V Římě byl nejen vylepšen princip egyptského zámku, ale také se začaly využívat kovové materiály. Celý zámek byl zasazen do kovového pouzdra a kolíky byly přitlačovány pružinou. V závoře byl tvarový výřez, do kterého mohl přesně zapadnout praporek klíče a tak bylo možné klíčem nadzvednout kolíky a vysunout závoru. Protože římské oděvy byly šity bez kapes, tak klíče byly zdobené a nosily se jako prsteny. Princip římského zámku je ukázán na obrázku 1.3. [1, 2, 3, 4, 5]



Obr. 1.3 Římský zámek s tvarovým klíčem. [6]

1.1.2 Novověk – Německo, Velká Británie a USA

Německo

V Evropě došlo k rozvoji zámečnictví hlavně v Německu, nejvíce v Norimberku, který se stal centrem německé zámečnické školy. Během středověku nedošlo k zásadnímu technickému vývoji zámků. Zámečníci se zaměřovali spíše na vzhled zámků – zdobili je různými ornamenty, aby plnily okrasnou funkci. První změnou v zabezpečení bylo přidání vnitro-zámkových přepážek. Středověcí a renesanční zámečníci zlepšovali bezpečnost výrobou složitých zámků s mnoha přepážkami a tím pádem i klíči s mnoha drážkami, ale i navzdory tomu bylo možné zámek odemknout vhodně tvarovaným paklíčem. Princip zámku a klíče s vnitro-zámkovými přepážkami je zobrazen na obrázku 1.4. [1, 2, 3, 4, 5]

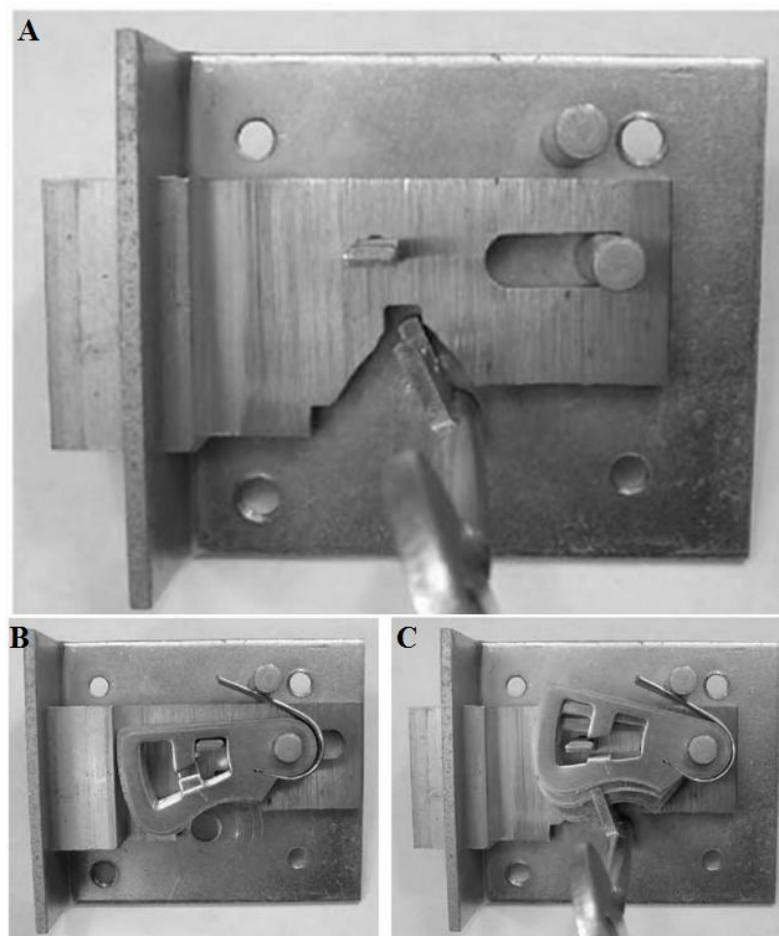


Obr. 1.4 Ukázka klíče a zámku s vnitro-zámkovými přepážkami. [7]

Velká Británie

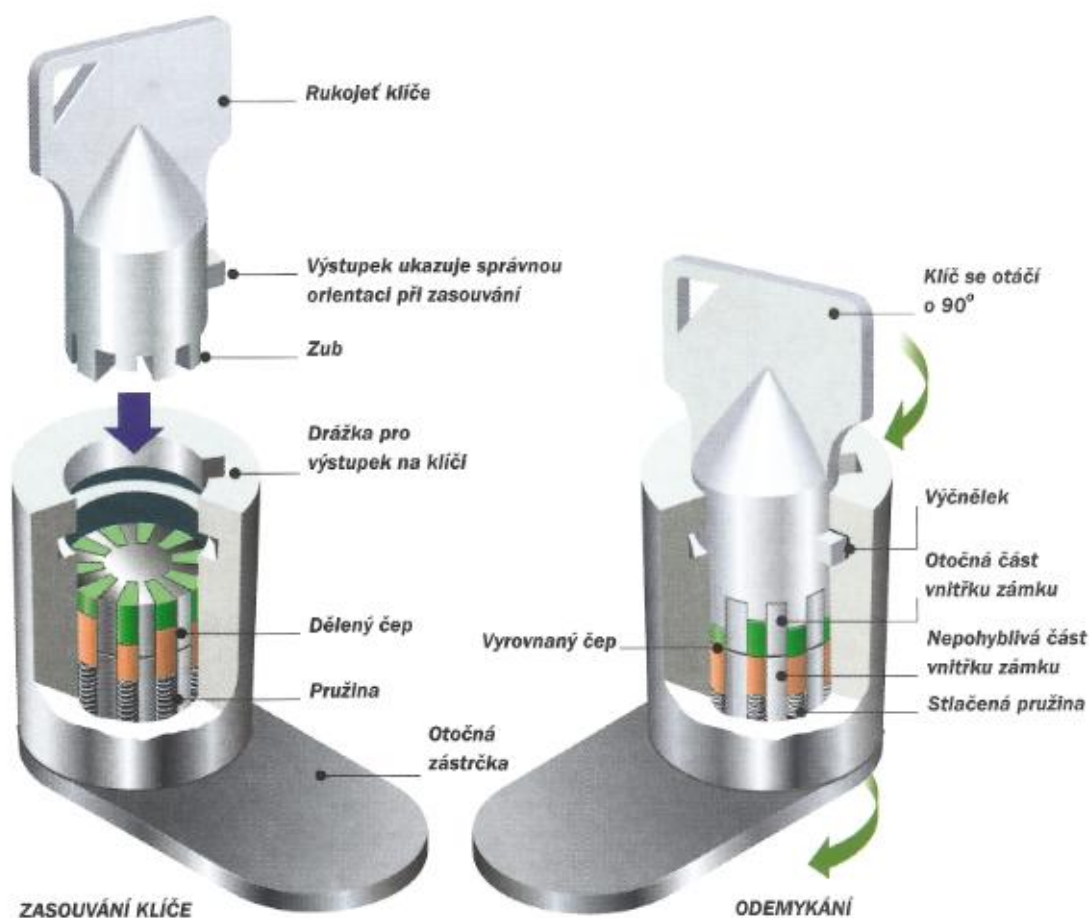
V době průmyslové revoluce se ve Velké Británii začala objevovat poptávka po spolehlivých zámčích. S rozmachem strojů a nástrojů vznikla možnost průmyslové výroby zámků a klíčů v manufakturách. Zdokonalením soustruhů a vynálezem frézky byla umožněna nejen snazší výroba klíčů, ale také hromadná výroba komponentů a jejich vzájemná zaměnitelnost bez nutnosti úprav, nebo s minimálními úpravami. S vynálezem závitových šroubů se zámky staly kompaktnější a opravitelné, na rozdíl od starších typů, které byly snýtované.

Za významný milník je považován rok 1778, kdy byl zámečnickem Robertem Barronem patentován první dvojčinný západkový zámek, který byl bezpečnější než všechny ostatní zámky dostupné v té době. Princip spočíval ve zvedání západek, kdy každá západka, kterých bylo v zámčích obsaženo až 6, byla zvedána jedním výřezem na klíči a musela být zvednuta do přesné výšky, aby byl uvolněn čep zástrčky a ta mohla být posunuta. Západky byly proti klíči tlačeny pružinou. Zámky na podobném principu jsou používány dodnes, např. v domácnostech, ve dveřích jednotlivých místností. Na obrázku 1.5 je ukázána funkce dvojčinného západkového zámku. [1, 2, 3, 4, 5]



Obr. 1.5 Princip západkového zámku: A) zámek bez západek, zástrčka je posouvána zubem klíče, B) odemčený zámek, čep zástrčky je zaklíněný v drážkách západek, západky jsou proti čepu tlačeny pružinou, C) západky jsou zvednuty do správné polohy, zástrčka může být klíčem posunuta do požadované polohy. [8]

V roce 1784 byl Josephem Bramahem patentován axiální zámek, ve kterém je využito šest dělených kolíků. Zámek je ovládán válcovým klíčem. Následujících 50 let byl zámek považován za naprosto bezpečný a jeho vylepšené verze jsou dosud využívány tam, kde se vyžaduje mimořádné zabezpečení, nebo v případech příliš dostupných zlodějům (např. u zámků kol, zámky počítačů Kensington, atd.). V Bramahově zámku je využit princip stlačování dělených čepů proti tlačným pružinám. Každý čep je dělený v jiném místě a odpovídá mu jeden zub klíče. Při správné hloubce stlačení všech čepů jsou dělicí roviny jednotlivých čepů srovnány v odemykací rovině zámku a tím pádem lze zámek odemknout. Šlo o první zámek, kde byl rotační pohyb konán i součástmi zámku, ne jen klíčem. Bramahův zámek byl překonán americkým zámečnickem Alfredem C. Hobbsem až v roce 1851. Po padesáti hodinách snažení se mu podařilo zámek odemknout. Ilustrace funkce Bramahova axiálního zámku, viz obrázek 1.6. [1, 2, 3, 5, 8]



Obr. 1.6 Bramahův axiální zámek. [3]

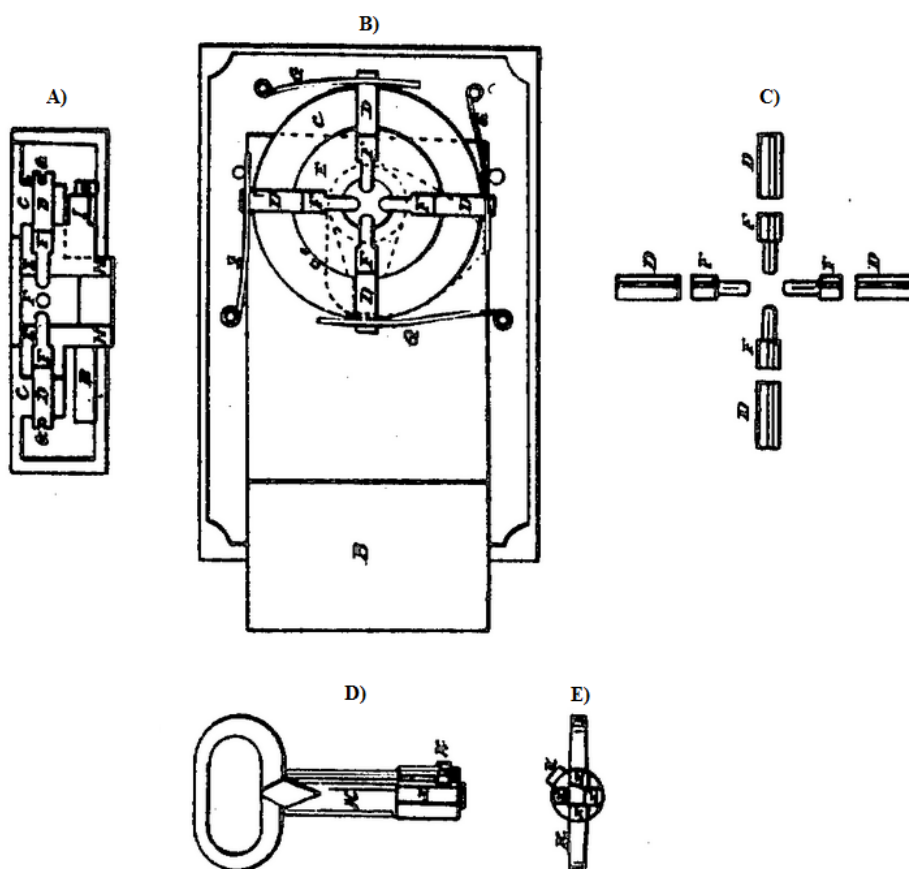
Barronův zámek byl v roce 1818 inovován Jeremiahem Chubbem. Šlo o úpravu zámku se třemi západkami, který byl vylepšen přidáním clony a detektoru. Clona byla spuštěna, pokud se začal pohybovat bezpečnostní mechanismus. To vedlo k tomu, že se značně ztížila práce s paklíčem. Funkcí detektoru byla ochrana proti odemčení paklíčem nebo špatně tvarovaným klíčem, šlo o páku, kterou byl ovládán blokovací čep. Pokud byla některá západka zvednuta příliš vysoko, byl pákou detektoru uvolněn blokovací čep a tím byl zámek zablokován v zamčené poloze. Odblokování zámku bylo možné pouze za pomoci správného klíče. Chubbův zámek se podařilo překonat americkému zámečnickovi Alfredovi C. Hobbsovi v roce 1851, stejně jako Bramahův axiální zámek. Zámek se mu podařilo překonat za pouhých 25 minut. [1, 2, 5, 8]

USA

Počátky zámečnictví v USA byly provázeny velkými problémy. Ve Velké Británii platila pravidla, která zakazovala zkušeným řemeslníkům opouštět zemi, aby nedocházelo k jejich odlivu za oceán. Ke zlepšení, v zámečnickém oboru, došlo až s rozvojem průmyslu a vznikem měst, kdy vzrostla i zločinnost, takže se zvýšila poptávka po zámcích. Američtí zámečníci si velice brzy osvojili výrobu britských typů zámků. V USA byla vynalezena také řada nových zámků. Do roku 1920 bylo v USA podáno cca 3000 patentů týkajících se zámků a klíčů. [1]

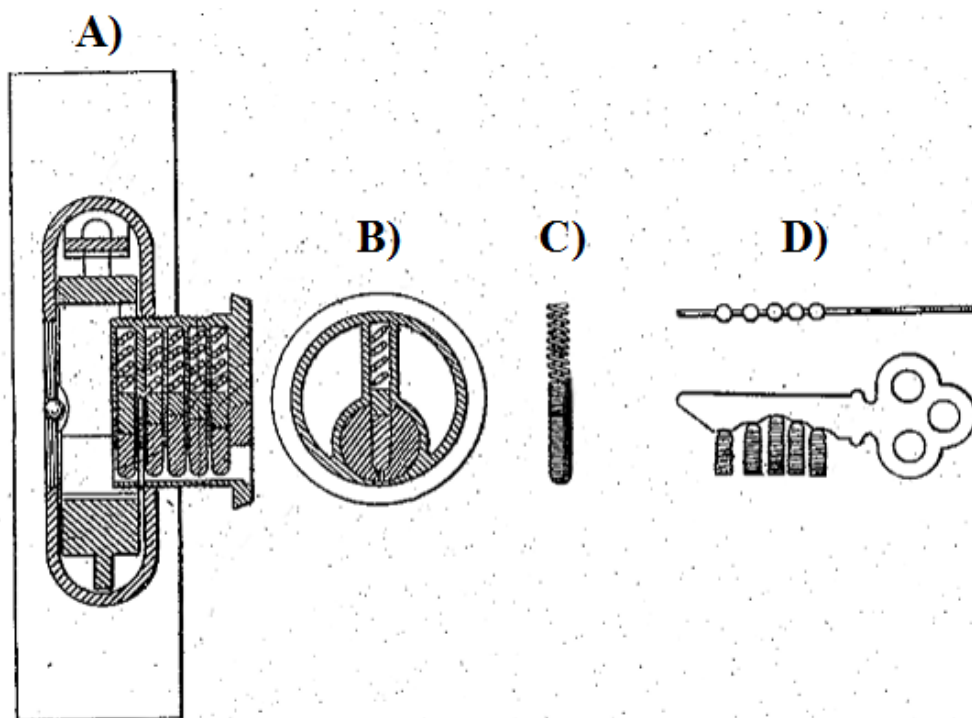
Ve Velké Británii byl roku 1805, americkým fyzikem Abrahamem O. Stansburym, patentován dvojčinný zámek, v němž byly využity principy egyptského a Bramahova zámku. O 2 roky později mu byl udělen také první patent na zámek v USA. Princip spočíval v tom, že pokud byl některý z čepů zatlačen příliš hluboko, tak všechny čepy byly automaticky vráceny do výchozí polohy. Jeho vynález nebyl nikdy sériově vyráběn, ale princip byl o pár let později využit Linusem Yalem, Sr. a jeho synem Linusem Yalem, Jr. [1, 2, 5]

V roce 1844 byl patentován „čtyřnásobný“ bankovní zámek, jehož vynálezcem byl Linus Yale, Sr. Jeho vynález je považován za předchůdce dnešních moderních zámků, protože v něm byla využita dělená válcová stavítka a otočné válcové jádro. Fungoval na principu srovnání dělicích rovin stavítek do odemykací roviny válcového tvaru. Princip je zobrazen na obrázku 1.7. [1, 2, 5, 8, 9]



Obr. 1.7 Náčrty Yaleova bankovního zámku: A) podélný řez, B) příčný řez, C) rozmístění stavítek, D) boční pohled na klíč, E) čelní pohled na klíč. [9]

Jeho synem, Linusem Yalem, Jr., byl 27. 6. 1865 podán patent, kterým byl položen základ konstrukce moderních cylindrických vložek. Princip otočného válcového jádra, dělených stavítek a odemykací roviny byl převzat z vynálezu jeho otce. Změnilo se jen umístění stavítek a tvar odemykací roviny. Stavítka nebyla umístěna po obvodu jádra, ale po jeho délce a tím pádem se tvar odemykací roviny změnil z válcového na rovinný. Tato změna přinesla celkové zvýšení bezpečnosti zámku na velmi vysokou úroveň. Také se změnil jak tvar zámků, tak i klíčů. Zámek mohl být zasazen přímo do dveří, nezávisle na jejich tloušťce a bylo umožněno použití plochého, krátkého klíče, namísto dosud používaných válcových, čímž se klíč podstatně zmenšil. Velikou výhodou byla snadná výroba všech komponentů, takže mohly být produkovány sériově. Tento zámek je zobrazen na obrázku 1.8. [1, 2, 5, 8, 10]



Obr. 1.8 Nákres cylindrického zámku patentovaného Linusem Yalem, Juniorem: A) podélný řez zámku, B) příčný průřez zámku, C) dělené stavítko s tlačnou pružinou, D) čelní a spodní pohled na klíč se stavítky zarovnanými do odemykací roviny. [10]

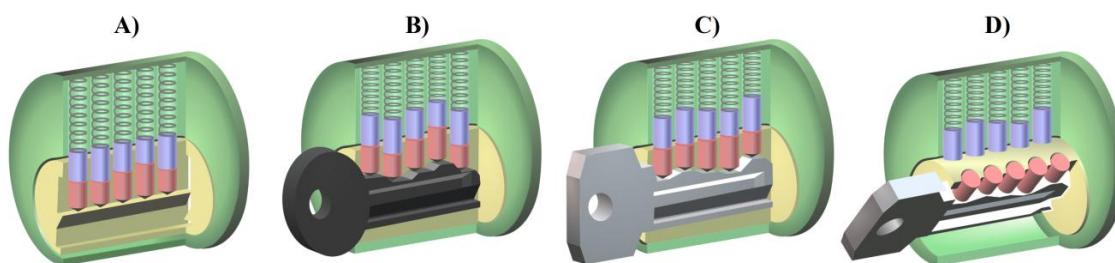
Od vynálezu Yaleova cylindrického zámku v USA bylo patentováno ještě mnoho inovací, ale pro tuto práci nejsou důležité a proto zde nejsou zmíněny.

1.2 Současnost

I dnes je u cylindrických vložek využíván stejný princip jako u Yaleova cylindrického zámku. Tedy princip otočného jádra, uloženého v tělese vložky a blokováného pomocí válcových stávek, která jsou tlačena pružinami. Tento princip je zobrazen v obrázku 1.9. Pouze koncept produktu byl pozměněn, Yaleův zámek byl vyroben jako jeden kus, ale v dnešní době je zámek složen z více částí, které mohou být libovolně zkombinovány dle přání zákazníka. [10]

Zámek se nyní dělí na 3 základní části:

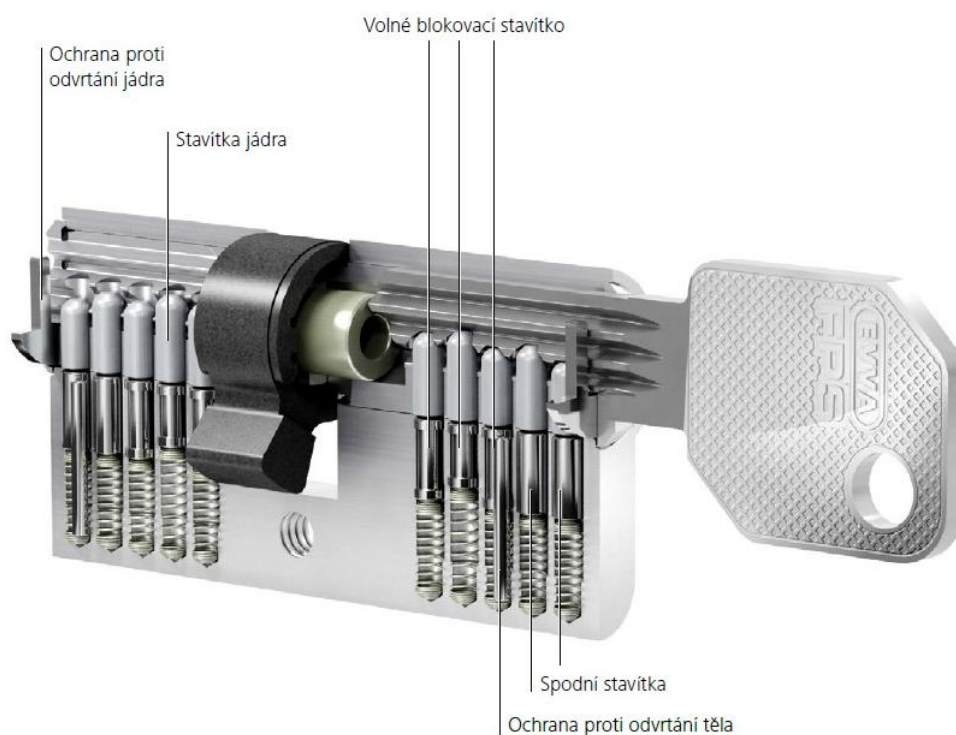
- Cylindrická vložka – funkční část zámku, ovládána klíčem,
- zámek – určen pro zasazení cylindrické vložky a základní zajištění dveří,
- kování – ochrana vložky (štít proti odvrtání), ovládá zámek (např. klika), vizuální funkce.



Obr. 1.9 Funkce moderní cylindrické vložky: A) bez klíče, B) se špatným klíčem – stávitka nejsou srovnána do odemykací roviny – není možné otočit jádrem, C) se správným klíčem – stávitka jsou srovnána do odemykací roviny – jádrem je možné otočit, D) vložka s pootočeným jádrem. [11]

U cylindrických vložek a klíčů, se změnilы použité materiály a bylo přidáno mnoho bezpečnostních prvků. Jako příklad může být uveden podélný profil klíče, protiodvrtací tělesa vložená do jádra vložky, stávitka ve dvou osách a překódovatelné vložky. Všechny klíče k bezpečnostním cylindrickým vložkám jsou patentovány.² Na obrázku 1.10 je zobrazen řez moderní cylindrickou vložkou včetně popisu důležitých částí. [1, 12]

² Patentovaný klíč se nesmí duplikovat jinde než v oficiální síti zámečníků a bez doložení bezpečnostní karty. [12]



Obr. 1.10 Schéma moderní bezpečnostní vložky vyráběné firmou EVVA. [13]

1.2.1 Materiály

V následující podkapitole je pojednáno o materiálech, které jsou v dnešní době používány na výrobu komponentů cylindrických vložek a klíčů.

Klíče

Materiály, které jsou používány pro výrobu klíčů a jejich vlastnosti, jsou zapsány v tabulce 1.1.

Tab. 1.1 Přehled materiálů používaných na výrobu klíčů [14]

Název	Alpaka	Mosaz
Označení	CuNi13Zn24Pb1	CuZn39Pb3
Výhody	vyšší pevnost není nutná povrchová úprava	nižší cena
Nevýhody	vyšší cena	nižší pevnost nutná povrchová úprava

Povrchová úprava klíčů je prováděna chemickým niklováním, tloušťka vrstvy je 10 až 15 μm . [14]

Jádra

Mosaz – CuZn39Pb3 – povrchová úprava (niklovaná vrstva o tloušťce 10-15 μm) [14]

Stavítka

Mosaz – CuZn39Pb3 - povrchová úprava (niklovaná vrstva o tloušťce 10-15 μm) [14]

Protiodvrtací prvky

Slinutý karbid – bez povrchové úpravy [14]

1.2.2 Požadavky na cylindrické vložky a klíče

Norma definující požadavky na cylindrické vložky a klíče k nim je označována jako ČSN EN 1303. Dle ČSN EN 1303 jsou zámky a klíče testovány zda splňují dané parametry. Podle výsledků testů jsou pak řazeny do příslušných tříd. Je možný také opačný postup, kdy je výrobcem určeno, do kterých tříd jeho produkt patří a je testováno, jestli jsou splněny požadavky daných tříd. [15]

S ČSN EN 1303 jsou spojovány také normy ČSN EN 1627 a ČSN EN 1630, v nichž je pojednáno o bezpečnosti dveří, oken a uzávěrů a metodách pro jejich zkoušení. [16, 17, 18]

ČSN EN 1303

Norma pro cylindrické vložky definující několik požadavků na vložku a klíč. Jsou v ní určeny hodnoty požadavků pro jednotlivé bezpečnostní třídy a také jsou zde předepsány způsoby zkoušení jednotlivých požadavků. [15]

Požadavky dle ČSN EN 1303:

Všechny požadavky v následujících osmi bodech vycházejí ze zdroje [15].

1) Pevnost klíče

Na klíč, zasunutý ve vložce, která je upevněna v přípravku, je působeno krouticím momentem 2,5 Nm. Klíč se nesmí zlomit. Po odtížení musí být možné klíč vysunout a poté jím danou cylindrickou vložku uzamknout. Maximální moment při zamykání musí být 1,5 Nm.

2) Životnost

Po daném počtu cyklů musí být možné ovládat zkoušenou cylindrickou vložku novým originálním klíčem. Ovládací moment musí být maximálně 1,5 Nm. Přehled tříd životnosti a počtu testovacích cyklů je zobrazen v tabulce 1.2.

Tab. 1.2 Životnost cylindrických vložek. [15]

Životnost	Počet cyklů
Třída životnosti 4	25 000
Třída životnosti 5	50 000
Třída životnosti 6	100 000

3) Hmotnost dveří

Zde nejsou normou udávány žádné požadavky.

4) Požární odolnost

Vložka může být výrobcem podrobena zkoušce hoření podle EN 1634-1, ale není to nutné, protože jen u některých vložek je vyžadována požární odolnost.

5) Bezpečnost při používání

Zde nejsou normou udávány žádné požadavky.

6) Odolnost proti korozi

Je zde definována odolnost vložky proti korozi. V tomto požadavku je také zahrnuta funkčnost za extrémních teplot (-20 °C až +80 °C).

7) Bezpečnost související s klíčem

Požadavek, kterým je ve výsledku zvýšena náročnost výroby falešného klíče. Je rozdělen na minimální počet kombinací zářezů a maximální počet zářezů stejné hloubky v trnu klíče a na minimální počet pohyblivých stavítek v cylindrické vložce. Všechny tyto parametry jsou spolu velice úzce spjaty.

a) Minimální počet efektivních kombinací³

V tabulce 1.3 jsou přiřazeny nutné minimální počty efektivních kombinací hloubek zářezů v klíči k jednotlivým třídám bezpečnosti.

Tab. 1.3 Minimální efektivní počet kombinací. [15]

Třída bezpečnosti související s klíčem	Minimální počet efektivních kombinací
1	100
2	300
3	15 000
4	30 000
5	30 000
6	100 000

b) Minimální počet pohyblivých stavítek

V tabulce 1.4 jsou zapsány nutné minimální počty pohyblivých stavítek v cylindrické vložce pro jednotlivé třídy bezpečnosti.

³ Efektivní kombinace = rozdíl mezi cylindrickými vložkami shodné konstrukce, tvořený pouze pohyblivými stavítky, která dovolují odemknutí každé vložky jen příslušným klíčem; počet efektivních kombinací je roven počtu teoretických kombinací, od kterého je odečten počet kombinací, které nelze vyrobit (např. na klíči nelze vyrobit dva zářezy maximální hloubky hned vedle sebe) a kombinace, které jsou omezeny touto normou, viz tabulka 1.4. [15]

Tab. 1.4 Minimální počet pohyblivých stavítek. [15]

Třída bezpečnosti související s klíčem	Minimální počet pohyblivých stavítek
1	2
2	3
3	5
4	5
5	6
6	6

c) Maximální počet zářezů stejné hloubky

Omezení pro stejně hluboké zářezy v klíči pro jednotlivé třídy bezpečnosti jsou zapsána v tabulce 1.5.

Tab. 1.5 Maximální počet zářezů stejné hloubky. [15]

Třída bezpečnosti související s klíčem	Maximální počet zářezů stejné hloubky
1	100 %
2	70 %, nejvýše 2 vedle sebe
3	60 %, nejvýše 2 vedle sebe
4	60 %, nejvýše 2 vedle sebe
5	60 %, nejvýše 2 vedle sebe
6	50 %, nejvýše 2 vedle sebe

d) Značení zářezů na klíči

Na klíčích pro cylindrické vložky bezpečnostních tříd 3, 4, 5 a 6 nesmí být označeny zářezy.

e) Odolnost proti otevření nesprávným klíčem

Před zkouškou životnosti nesmí být možné ovládat cylindrické vložky, bezpečnostních tříd 1, 2 a 3, klíčem, který se nejméně liší od klíče náležejícího vložce⁴, kdy ovládací moment je roven 1,5 Nm.

Po zkoušce životnosti nesmí být možné ovládat cylindrické vložky, bezpečnostních tříd 4, 5 a 6, klíčem, který se nejméně liší od klíče náležejícího vložce, kdy ovládací moment je roven 1,5 Nm.

f) Odolnost cylindrické vložky nebo jádra v krutu, vztaženo k bezpečnosti související s klíčem

Při zkoušce odolnosti v krutu nesmí být možné otočit vložkou nebo jádrem při použití maximálního momentu určeného pro danou třídu, viz tabulka 1.6.

⁴ Jde o klíč, který je rozdílný v jedné hloubce (rozdíl pouze o jednu hladinu) zářezu na jedné pozici. Tento klíč je definován výrobcem odpovídajícím způsobem podle příslušného rozpisu kombinací dle tab. 2. [15]

Vložka je upnuta v normalizovaném přípravku. Vložka je považována za vyhovující, i v případě že na ni nelze aplikovat daný maximální moment síly.

Tab. 1.6 Požadavky na největší moment síly. [15]

Třída bezpečnosti související s klíčem	Největší moment síly [Nm]	Odchylka [Nm]
1	2,5	0 + 0,25
2	5	0 + 0,5
3	15	0 + 1,5
4	15	0 + 1,5
5	15	0 + 1,5
6	15	0 + 1,5

8) Odolnost proti napadení

Dle odolnosti proti napadení jsou cylindrické vložky děleny do tří tříd, které jsou značeny číslicemi 0, 1 a 2 (0=nejmenší odolnost, 2=nejvyšší odolnost). Následující zkoušky se provádějí pouze u vložek s třídami odolnosti 1 a 2. Po skončení zkoušek není požadováno, aby byl příslušný klíč schopen ovládat danou vložku, ale také nesmí být možné ovládat danou vložku, bez použití příslušného klíče, ovládacím momentem menším než 5 Nm.

a) Odolnost proti napadení vrtáním

Je zkoušena ruční vrtačkou s příkonem 700 W ($\pm 10\%$) a s 500 až 800 otáčkami za minutu. Na vrtačku se, bez rázu, působí silou 300 N ($\pm 5\%$). Při zkoušce je vždy použita nová sada tří vrtáků. V tabulce 1.7 je předepsáno trvání zkoušky pro jednotlivé třídy odolnosti.

Tab. 1.7 Doba vrtání. [15]

Třída odolnosti proti napadení	Nejdelší čistá doba vrtání [min]	Celková doba zkoušky [min]
0	-	-
1	3	5
2	5	10

b) Odolnost proti napadení sekáčem

Vložka je testována 30 nebo 40 údery⁵ ocelového sekáče, o tvrdosti 52 až 58 HRC, předepsaných rozměrů. Vložka je vsazená do normalizovaného zkušebního překližkového bloku, jehož tloušťka je definována v souladu s montážními pokyny výrobce.

Jestliže je výrobcem předepsána ochrana vložky proti použití sekáče, např. štítem nebo kováním, je vložka považována za vyhovující i bez provedení zkoušky.

⁵ Vložky třídy odolnosti 1 se testují třiceti údery a vložky třídy 2 čtyřiceti údery. [15]

c) Odolnost proti napadení krutem

Je testována vhodným nástrojem pro ukroucení vložky nebo ochranných prvků, přičemž moment smí dosáhnout maximálně 250 Nm.

d) Odolnost proti napadení vytržením cylindrické vložky a/nebo jádra

Vložka (včetně zesilujících a ochranných prvků) je upnuta do normalizovaného přípravku. Do jádra nebo do vložky je zašroubován normalizovaný samořezný tažný šroub o maximálním průměru 5,5 mm. Zkušební stroj se, tahem za šroub, pokouší vytáhnout jádro nebo vložku. Působící síla se pomalu a bez rázů zvyšuje na maximální hodnotu a působí po předepsaný čas. Čas se začíná odpočítávat od zašroubování tažného šroubu. Hodnoty nutné pro splnění zkoušky jsou zapsány v tabulce 1.8.

Tab. 1.8 Odolnost proti vytržení cylindrické vložky nebo jádra. [15]

Třída odolnosti proti napadení	Největší použitá síla [kN]	Přípustná čistá doba [min]
0	-	-
1	15	3
2	15	5

e) Torzní pevnost cylindrické vložky a/nebo jádra v krutu vztažená k odolnosti proti napadení

Při zkoušce odolnosti v krutu se, při použití momentu určeného pro danou třídu, viz tabulka 1.9, nesmí otočit vložka nebo jádro. Vložka je upnuta v normalizovaném přípravku. Je považována za vyhovující, i v případě že se na ni nedá aplikovat maximální moment síly daný tabulkou 1.9.

Tab. 1.9 Požadavky na největší moment síly. [15]

Třída odolnosti proti napadení	Největší moment síly [Nm]	Tolerance [Nm]
0	¹⁾	-
1	20	0 + 2,0
2	30	0 + 3,0
¹⁾ Viz požadavek na bezpečnost související s klíčem		

V následujících dvou tabulkách 1.10 a 1.11 jsou shrnuty parametry cylindrických vložek a klíčů určených podle normy ČSN EN 1303.

Tab. 1.10 Shrnutí bezpečnosti související s klíčem. [15]

Požadavek	Parametr	Třída bezpečnosti související s klíčem						Jednotka
		1	2	3	4	5	6	
Minimální počet efektivních kombinací	-	100	300	15 000	30 000	30 000	100 000	počet
Minimální počet pohyblivých stavítek	-	2	3	5	5	6	6	počet
Maximální počet zářezů stejné hloubky	-	100	70	60	60	60	60	%
Značení zářezů na klíči	-	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	-
Ovládání bezpečnostního mechanismu	Moment síly	1,5 ¹⁾	1,5 ¹⁾	1,5 ¹⁾	1,5 ²⁾	1,5 ²⁾	1,5 ²⁾	Nm
Odolnost cylindrické vložky a/nebo jádra v krutu	Moment síly	2,5	5	15	15	15	15	Nm

¹⁾ Je provedeno před zkouškou životnosti.

²⁾ Je provedeno po zkoušce životnosti.

Tab. 1.11 Shrnutí odolnosti proti napadení. [15]

Požadavek	Parametr	Třída odolnosti proti napadení			Jednotka
		0	1	2	
Odolnost proti napadení vrtáním	Doba	-	3/5	5/10	min
Odolnost proti napadení sekáčem	Úder	-	30	40	počet
Odolnost proti napadení krutem	Kroucení	-	20	30	počet
Odolnost proti napadení vytržením cylindrické vložky a/nebo jádra	Síla	-	15	15	kN
	Doba		3	3	min
Torzní pevnost cylindrické vložky a/nebo jádra	Moment síly	¹⁾	20	30	Nm

¹⁾ Viz požadavek na bezpečnost související s klíčem

ČSN EN 1627:

„Tato norma určuje požadavky a systém klasifikace vlastností odolnosti proti vloupání u dveří, oken, lehkých obvodových plášťů, mříží a okenic. Vztahuje se na následující způsoby otevírání: otevírání, sklápění, skládání, otevírání a sklápění, posunování (vodorovné a svislé) a navinování jakož i na pevné konstrukce. Také zahrnuje výrobky, jako jsou kryty dopisních schránek nebo větrací mřížky. Určuje požadavky na odolnost stavebního výrobku proti vloupání (jak je definováno v 3.1 této normy). Tato norma přímo nezahrnuje odolnost zámků a cylindrických vložek proti napadení paklíči. Také nezahrnuje prefabrikované betonové prvky. Tato norma také nezahrnuje napadení elektricky, elektronicky a elektromagneticky ovládaných stavebních výrobků odolných proti vloupání použitím metod napadení, které by mohly tyto charakteristiky zničit.“ [16]

ČSN EN 1630:

„Tato norma určuje zkušební metodu pro stanovení odolnosti proti manuálním pokusům o násilné vloupání k hodnocení vlastností odolnosti proti násilnému vloupání u dveří, oken, lehkých obvodových plášťů, mříží a okenic. Vztahuje se na následující způsoby otevírání: otevírání, sklápění, skládání, otevírání a sklápění, posunování (vodorovné a svislé) a navinování jakož i na pevné konstrukce. Tato norma nezahrnuje přímo odolnost zámků a cylindrických vložek napadených paklíči. Také nezahrnuje napadení elektricky, elektronicky a elektromagneticky ovládané stavební výrobky odolné proti násilnému vniknutí použitím metod napadení, které by mohly tyto charakteristiky zničit. Je uznáváno, že jsou dva aspekty plnění odolnosti proti násilnému vloupání do stavebního výrobku: jeho odolnost proti násilné manipulaci a jeho schopnosti zůstat upevněný do budovy. Očekávané vymezení reprodukce těchto aspektů upevňovacích metod a stavebních konstrukcí v laboratorních podmínkách tato norma plně nezahrnuje. To platí zejména pro výrobky zabudované do stavby. Provedení pevných částí výrobku je hodnoceno použitím standardních pomocných rámců. Je zodpovědností výrobce zajistit, že návod na upevnění výrobku je obsažen v montážním návodu a že tento návod je vhodný pro bezpečnostní třídu odolnosti proti násilnému vloupání prohlášené pro výrobek. S dalšími odkazovanými normami tato specifikace používá normu pomocných rámců a výrobek je namontován podle návodu výrobce.“ [17]

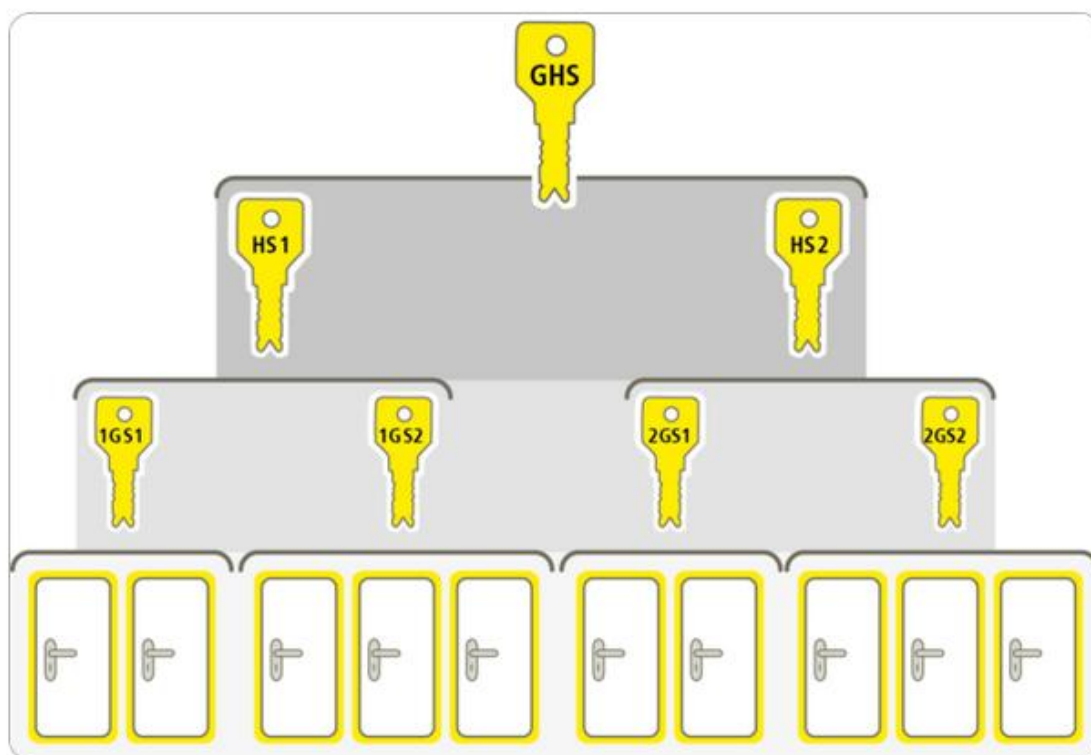
1.2.3 Uzamykací systémy

Účelem uzamykacích systémů je vytvoření funkčního systému nadřazených a vlastních klíčů podle provozně-organizačních požadavků zákazníka, a tím snížení celkového počtu klíčů, které nosí na svazku každá konkrétní osoba, na minimum. Pro uzamykací systémy jsou využívány jiné profily klíčů než pro sériově vyráběné vložky, a proto jsou náhradní klíče zhotovovány výhradně výrobcem systému. Spolu se systémem je majiteli předána také bezpečnostní karta, která slouží k objednávkám dodatků, náhradních vložek a klíčů. [18]

V uzamykacích systémech jsou zpravidla používány tři druhy klíčů.

- Vlastní klíč – lze jím odemknout pouze jednu vložku v systému,
- skupinový klíč – je možné s ním odemknout skupinu vložek v systému,
- generální klíč – lze s ním odemknout všechny vložky v systému.

Vzájemnou kombinací profilů klíče a uzamykací sestavy každé jednotlivé vložky⁶ je možná výroba systému značného rozsahu a složitosti. Objednávka systému se provádí formou vyplněné tabulky, ve které zadavatel uvede veškeré potřebné údaje pro výrobu. Objednací tabulka vzorového uzamykacího systému je umístěna v příloze 17. Nákres principu uzamykacího systému je zobrazen v obrázku 1.11. [14, 18]



Obr. 1.11 Schéma uzamykacího systému. [18]

⁶ Uzamykací sestava vložky = sestava jádra a stavítek, v uzamykacích systémech jsou kombinována jádra s různými profily děr pro klíče a konfiguracemi stavítek. Výsledkem například je to, že ačkoliv mají dvě vložky stejný profil, není možné je odemknout jedním klíčem, protože jsou vyrobeny s různými konfiguracemi stavítek.

2 ROZBOR KONKRÉTNÍHO TYPU KLÍČE

V této kapitole je do detailu rozebrán bezpečnostní klíč⁷ řady FPS vyráběný firmou EVVA. Vzhled klíče je ukázán na obrázku 2.1. Klíče tohoto typu jsou v dnešní době jedním z nejpoužívanějších modelů, a to jak k jednotlivým vložkám, tak i v uzamykacích systémech. Klíče FPS jsou patentované, vyrobené z alpaky⁸. [19]



Obr. 2.1 Klíč EVVA FPS. [13]

2.1 Základní plochy klíče

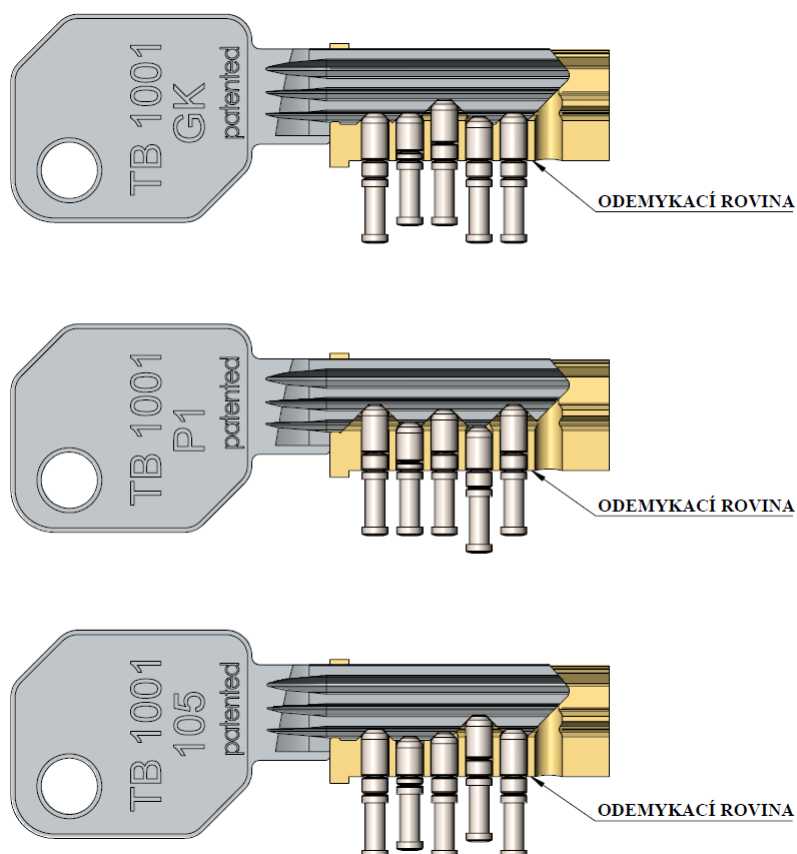
- Hlava – přechází do trnu, je v ní dírka pro navlečení na kroužek a jsou na ní vyraženy údaje o klíči a výrobci,
- patka – slouží jako doraz, aby byl klíč zasunut do správné hloubky,
- trn – funkční část klíče, je v něm vyfrézován profil a zářezy,
- náběhový úkos – usnadňuje zasouvání klíče do vložky.

⁷ Dále jen „klíč“

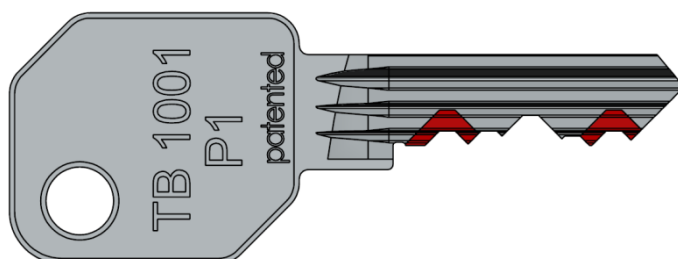
⁸ Alpaka = slitina mědi, niklu a zinku. Může obsahovat i malé množství olova a železa. Alpaka je občas nazývána také jako bílá mosaz, nové stříbro, niklová mosaz a mnoho dalších. V angličtině je alpaka nejčastěji označována jako Nickel Silver a v němčině jako Neusilber. [19, 20, 21]

2.2 Ukázka vlivu funkčních ploch klíče na funkčnost soustavy vložka-klíč

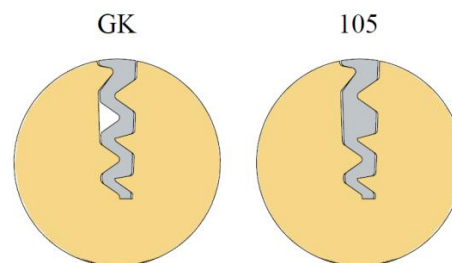
Funkčnost klíče je ovlivněna zejména dvěma prvky, a to podélným profilem a příčnými zářezy. Oba tyto prvky jsou vyfrézovány na trnu. Funkce jednotlivých prvků je ukázána na příkladu tří různých klíčů (vlastní klíč – 105, skupinový klíč – P1 a generální klíč – GK), kterými je odemkávána stejná cylindrická vložka. I když se tyto klíče od sebe liší profilem nebo zářezy, tak s nimi lze odemknout tuto vložku. V následujících obrázcích 2.2, 2.3 a 2.4 jsou detailně zobrazeny rozdíly mezi jednotlivými klíči a vliv těchto rozdílů na funkci jednotlivých klíčů. Funkční plochy na klíčích jsou definovány číselnými kódy v tabulce uzamykacího systému, viz příloha 17.



Obr. 2.2 Porovnání různých konfigurací zářezů. U všech klíčů jsou stavítka, mezistavítka a blokovací stavítka srovnána do odemykací roviny a jádrem lze v cylindrické vložce otočit.



Obr. 2.3 Porovnání zářezů klíčů P1 (šedý) a GK (červený). Na obrázku jsou klíče srovnány přímo za sebe a lze vidět, že na 3 pozicích mají oba klíče stejnou hloubku zářezů. Další 2 zářezy jsou na klíči P1 hlubší než na generálním klíči.



Obr. 2.4 Porovnání profilů klíčů GK a 105. Oba klíče jsou zasunuté ve stejném jádře.

3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

V následující kapitole je navržen technologický postup výroby klíče od vystřižení polotovaru až po navléknutí na kroužek. Tento postup je používán převážně v malosériové výrobě klíčů pro zakázkové uzamykací systémy. Zpracovaný postup je zaměřen na konkrétní klíč z daného uzamykacího systému, přesněji na klíč označený jako GK, viz tabulka v příloze 17.

Výroba bezpečnostního klíče je složena z 8 operací. Zahrnuje jak obrábění, tak i tváření za studena. Obrábění je realizováno na jednoúčelových speciálních strojích, zatímco ke tváření jsou použity konvenční tvářecí stroje. [14]

V podkapitolách 3.1 až 3.8 jsou detailněji rozepsány jednotlivé operace při výrobě. U operací 3.1, až 3.3 a 3.6 jsou v přílohách zpracovány výpočty a výrobní výkresy. Tyto výkresy jsou bez rozměrových a geometrických tolerancí, protože jak je zmíněno v předchozí kapitole, klíč FPS je chráněn patentem, a proto není vhodné, aby byly výrobní výkresy s tolerancemi umístěny ve veřejné verzi práce. Tolerance budou prezentovány až při ústní obhajobě práce.

Kontrolní postupy jsou popsány v kapitolách 3.9 a 3.10. Tyto postupy jsou využívány zejména při změnách nastavení strojů (např. pro začátek výroby další série), aby bylo ověřeno správné nastavení strojů a nedošlo k vyrobení zmetku. [14]

Seznam operací použitých při výrobě klíče:

- 3.1 Vystřižení polotovaru,
- 3.2 frézování hřbetu,
- 3.3 frézování profilu,
- 3.4 nalisování loga,
- 3.5 vyražení označení,
- 3.6 frézování zářezů,
- 3.7 odstranění ostrin,
- 3.8 navléknutí na kroužek,
- 3.9 kontrola profilu,
- 3.10 kontrola zářezů.

Materiál

Jak je popsáno v předchozí kapitole, klíče FPS jsou vyráběny z alpaky, její normalizované označení a vlastnosti jsou popsány v následující tabulce 3.1.

Tab. 3.1 Vlastnosti materiálu klíče. [14, 19, 22, 23, 24]

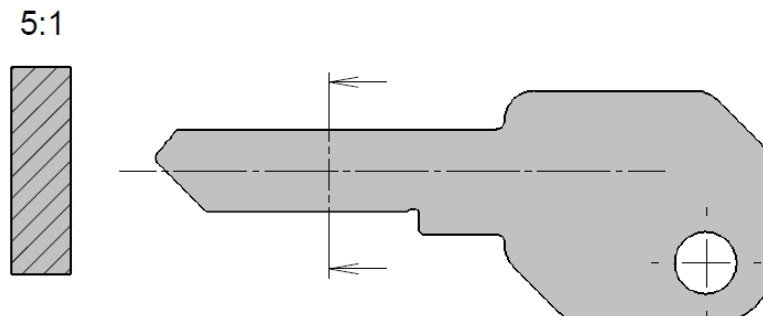
Materiál		
Označení	CuNi12Zn25Pb1	
Kód dle EN	CW404J	
Kód dle UNS	C79200	
Mechanické vlastnosti		
Název	Označení	Hodnota
Mez pevnosti	Rm	600 MPa
Mez kluzu	Rp0,2	>450MPa
Tažnost	A50	>2%
Tvrdost podle Brinella	HB	170
Tvrdost podle Vickerse	HV	185
Měrná řezná síla	kC1	780 MPa
Koeficient nárůstu tangenty úhlu strmosti	m	0,18
Technologické vlastnosti		
Název	Hodnota	
Obrobitelnost	velmi dobrá	
Tříska	dělená, krátká	
Opotřebením nástroje	nízké	
Objemová listovatelnost	vynikající ⁹	
Stříhatelnost	vynikající ¹⁰	

⁹ Dostatečná objemová lisovatelnou zde není určena normou. Vychází se z praktických zkušeností při výrobě, kdy je na materiál vylisováno logo výrobce. Materiál nemusí být před lisováním tepelně zpracován. [14]

¹⁰ Je udávána výrobcem polotovaru v [23].

3.1 Vystřížení polotovaru

Na obrázku 3.1 je zobrazen polotovar klíče vyrobený stříháním.



Obr. 3.1 Hotový výstřížek polotovaru klíče.

Stříhání je prováděno na trojčinném výstředníkovém lisu¹¹. Vzhledem k potřebě vysoké přesnosti a kvality povrchu je vnější obrys polotovaru vyráběn metodou přesného stříhání. Díky tomu se polotovar nemusí opracovávat jinde než na funkčních plochách. Polotovarem je pás potřebné tloušťky. [14, 25]

Stříhání je prováděno postupově. Jako první je vystřížena díra na kroužek, která je stříhána klasickým stříháním bez nátláčné hrany. Poté je vystřížen obvod klíče, který je stříhán přesným stříháním s nátláčnou hranou. [25]

Střížný nástroj je vyroben z nástrojové oceli pro práci za studena, označení dle EN ISO 4957 je 45NiCrMo16, dle ČSN 19 655. Nejdůležitějšími vlastnostmi jsou vysoká houževnatost a dobrá pevnost v tlaku. Proto je tato ocel používána na střížné nástroje vystavené velké síle. [26, 27]

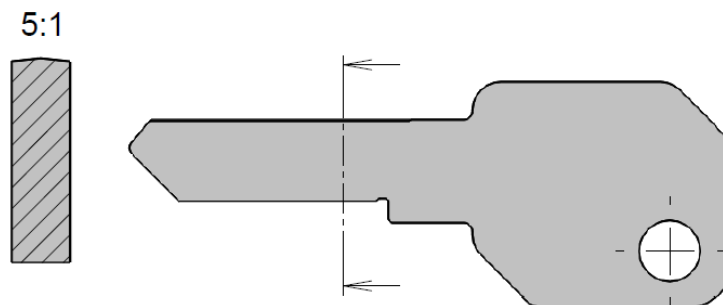
Výsledkem operace je přesně vyrobený polotovar, který musí být obroben jen na funkčních plochách.

V příloze 1 jsou vypočteny příslušné střížné síly a pro přesné stříhání také ostatní příslušné síly. Výstupem výpočtu je celková střížná síla, která je hlavním kritériem při výběru lisu. Výrobní výkres výstřížku je umístěn v příloze 2.

¹¹ Výstředníkový lis je vhodný pro tváření, kde je potřeba rychlý vratný pohyb s krátkým zdvihem.

3.2 Frézování hřbetu

Nákres klíče po ofrézování hřbetu je ukázán na obrázku 3.2.



Obr. 3.2 Klíč po ofrézování hřbetu.

Frézování hřbetu je prováděno nesousledně na jednoúčelové vačkové frézce Giuliani. Frézování je prováděno kvůli lepšímu lícování klíče a jádra, zjednodušení následné výroby ostatních funkčních ploch a snížení opotřebení hřbetu. Poloměr zaoblení hřbetu klíče je roven poloměru vnitřního otvoru cylindrické vložky. [14]

Klíče jsou skládány do zásobníku, odkud jsou planžetou zasouvány do upínače. V upínači jsou automaticky upnuty a zasouvány pod frézu, která rotuje a zároveň koná i vratný pohyb po obloukové dráze. Po ofrézování je obrobek vysunut zpod frézy, odepnut a odeslán do připravené nádoby. Každý klíč je ofrézován na jeden řez. [14]

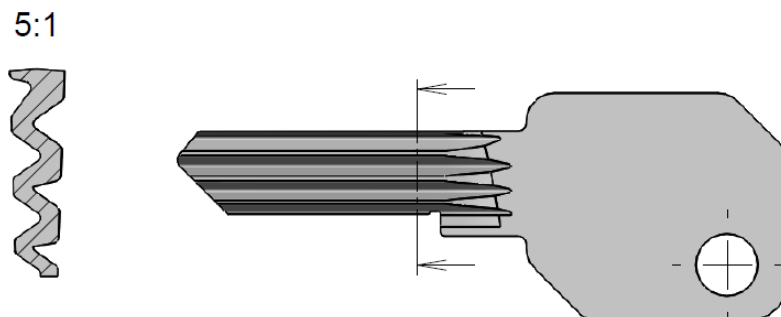
K výrobě je použita tvarová jemnozubá válcová nástrčná fréza z rychlořezné oceli GARANT HSS/Co5. Zuby frézy jsou umístěny na šroubovici, aby byl zajištěn plynulejší chod obrábění. [19]

Výsledkem operace je technologická plocha, ze které se vychází při frézování drážek a zářezů klíče. Díky zvoleným řezným podmínkám je dosaženo dostačující přesnosti a drsnosti povrchu. [14]

V příloze 3 je zhotoven výpočet základních řezných parametrů, řezného výkonu a trvanlivosti nástroje pro tuto operaci. Pro zjednodušení výpočtů byla plocha třísky aproximována obdélníkem o rozměrech $a_e \times a_p$, který se rovná obsahu maximálního reálně odebíraného průřezu. Výrobní výkres pro tuto operaci je umístěn v příloze 4 a v příloze 9 jsou vloženy fotografie frézky používané na frézování hřbetu.

3.3 Frézování profilu

Nákres klíče s vyfrézovaným profilem je zobrazen na obrázku 3.3.



Obr. 3.3 Nákres klíče s vyfrézovaným profilem.

Frézování profilu je prováděno na poloautomatické vačkové CNC frézce dvěma frézami. Profil je, společně se zářezy, nejdůležitější pro funkci klíče. Zároveň je také tvarově nejsložitější a jsou k němu vztahovány vysoké požadavky na přesnost a drsnost obrobené plochy. Proto musí být obráběn přesnými nástroji na speciálním stroji, který dokáže dodržet jak řezné podmínky, tak i dostatečnou přesnost. [14]

Polotovary jsou skládány do zásobníku a jsou z něj vysouvány a upínány pomocí pohyblivé planžety. Profil je frézován na jedno upnutí. Nejprve z horní strany a poté ze spodní, kdy z příslušné opačné strany je polotovar opřen o pohyblivou podpěru, aby bylo zajištěno dostatečné upnutí. Po ofrézování je obrobek odeslán do připravené nádoby. [14]

Nástroji jsou jemnozubé válcové nástrčné tvarové frézy s přímými podbroušenými zuby. Tvar fréz se shoduje s výsledným profilem klíče, proto je pro každý profil potřeba jiný nástroj. Frézy jsou vyrobeny z nepovlakovaného slinutého karbidu GARANT HU 7710, který je určený pro obrábění neželezných kovů a jejich slitin. [19]

Výsledkem operace je klíč s hotovým profilem. Vzhledem ke zvoleným podmínkám obrábění a vlastnostem soustavy obrábění¹² je dosahováno vysoké přesnosti rozměrů a kvality povrchu, takže není nutné žádné další dokončovací obrábění profilu. [14]

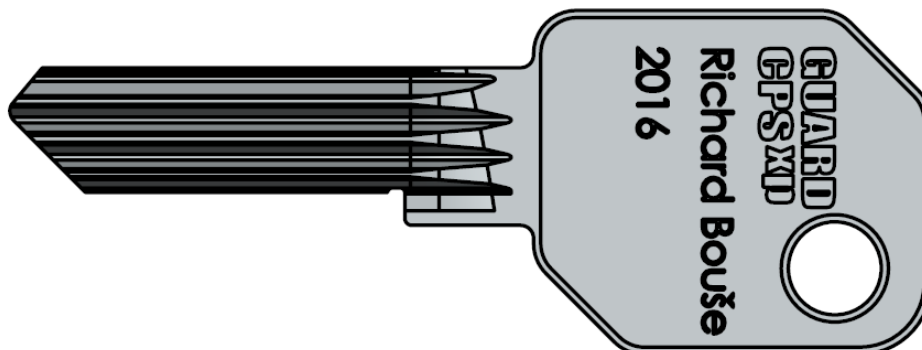
V příloze 5 je zhotoven výpočet základních řezných parametrů, řezného výkonu a trvanlivosti nástroje pro tuto operaci. Pro zjednodušení výpočtů byla plocha třísky aproximována obdélníkem o rozměrech $a_e \times a_p$, který se rovná obsahu reálně odebíraného průřezu. Výrobní výkres pro tuto operaci je umístěn v příloze 6¹³ a v příloze 10 jsou vloženy fotografie frézky určené na frézování profilu.

¹² soustava obrábění = soustava stroj-nástroj-obrobek-přípravek

¹³ Výkres, zmenšený na formát A4, je svázán v práci a výkres v plném měřítku, formátu A3, je vložen v klopě na zadní straně desek. V elektronické verzi práce je pouze výkres v plném měřítku.

3.4 Nalisování loga

Na obrázku 3.4 je zobrazen náčrt klíče s nalisovaným logem.



Obr. 3.4 Náčrt klíče s nalisovaným logem.

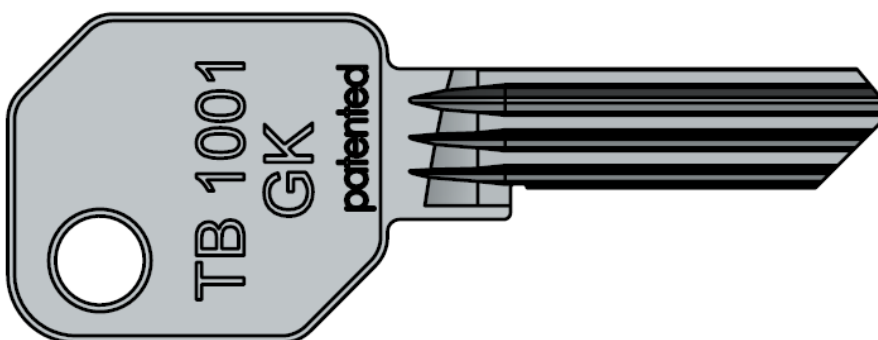
Nalisování loga je prováděno na hydraulickém lisu. Na klíč je působeno silou 7 kN po dobu 5 sekund. Lisovací nástroj je osazen výměnným razníkem a raznicí, které mohou být měněny s ohledem na typ loga a tvar hlavy klíče. Tato operace není automatizována, je prováděna manuálně jedním pracovníkem. [14]

Pracovní plocha nástroje je obrobena gravírováním. Lisovací nástroj je vyroben z nástrojové oceli pro práci za studena. Nástroj je po obrobení kalen ve vakuu, aby nedošlo ke zoxidování, a tím pádem k porušení gravírovaného povrchu. [14]

Fotografie lisu, na kterém je prováděna tato operace, jsou vloženy v příloze 11.

3.5 Vyražení označení

Náčrt označeného klíče je ukázán na obrázku 3.5.



Obr. 3.5 Náčrt klíče s vyraženým označením.

Klíč je označen kvůli usnadnění identifikace. Je označován na jednoúčelovém stroji, který je přes PC ovládán programem. Stroj je poháněn pneumaticky a je na něm možné vyrazit 2,5 mm vysoký kód o deseti znacích za cca 2 sekundy. [14]

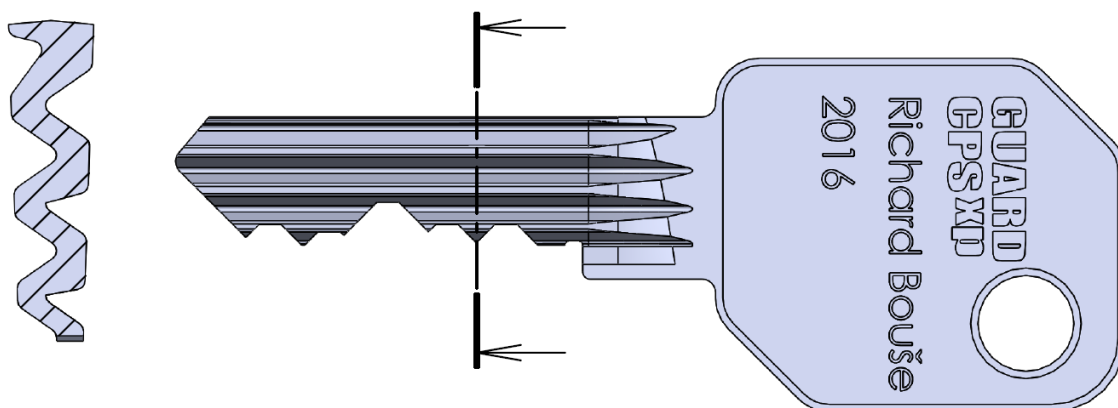
Na hlavu klíče jsou vyraženy dva údaje, a to číslo uzamykacího systému a označení klíče v tomto systému, na obrázku 3.9 je vyraženo označení systému TB 1001 a označení klíče GK. Tyto údaje jsou čerpány z tabulky, která je součástí přílohy 17. [14]

V příloze 12 je umístěna fotografie stroje určeného pro označování klíčů.

3.6 Frézování zářezů

Na obrázku 3.6 je zobrazen klíč s vyfrézovanými zářezy.

5:1



Obr. 3.6 Klíč s vyfrézovanými zářezy.

Proces je prováděn na poloautomatické CNC frézce a nástrojem je kotoučová fréza. Zářezy jsou frézovány zapichovacím způsobem, kdy je fréza nejprve posunuta o rozteč stavítek a poté směrem do trnu klíče, na hloubku která je dána pro konkrétní zářez. [14]

Stejně jako u předchozích dvou frézovacích operací, jsou polotovary skládány do zásobníku a jsou z něj automaticky vysouvány a upínány do přípravku. Zářezy jsou frézovány zapichovacím způsobem, což snižuje nároky na upnutí, protože obrobek je nástrojem tlačěn proti zadní stěně přípravku a při malém posuvu na zub nedochází ani k velkému zatížení na ohyb ve směru kolmém k ostří nástroje. Po ofrémování je obrobek odeslán do připravené nádoby. [14]

K výrobě je použita tvarová kotoučová fréza, jejíž tvar zubu se shoduje s tvarem stavítka vložky. Aby byla zajištěna minimální odchylka v příčném rozměru zářezu, musí být průměr frézy minimálně 130mm. Fréza je vyrobená z nepovlakovaného slinutého karbidu GARANT HU 7710, který je určený pro obrábění neželezných kovů a jejich slitin. [19]

Zářezy již není nutné dále obrábět, protože už v této operaci je na nich dosaženo dostatečné přesnosti tvaru a rozměrů. A proto je výsledkem této operace funkční klíč, který je schopen ovládat příslušnou cylindrickou vložku. Následující operace 3.7 a 3.8 se považují pouze za dokončovací. [14]

V příloze 7 je zhotoven výpočet základních řezných parametrů, řezného výkonu a trvanlivosti nástroje pro tuto operaci. Pro zjednodušení výpočtů byla plocha třísky aproximována obdélníkem o rozměrech $a_e \times a_p$, který se rovná obsahu reálného odebíraného průřezu. Výrobní výkres pro tuto operaci je uložen v příloze 8 a v příloze 13 jsou umístěny fotografie frézky používané na frézování zářezů.

3.7 Odstranění ostřin

Je prováděno automaticky rotačním broušením v omílacím bubnu. [14]

K odstranění ostřin z klíče jsou v omílacím bubnu nasypána keramická tělíska, za chodu je do bubnu přiváděna také kapalná leštící přísada. Po omílání (cca 20-25 minut) musí být klíče usušeny v odstředivce. Klíče jsou do leštícího bubnu vkládány ve svazku, kterým je zaručena jejich pozice, díky čemuž je poté usnadněn proces kompletace zakázky. [14]

Fotografie omílacího bubnu jsou umístěny v příloze 14.

3.8 Navléknutí na kroužek

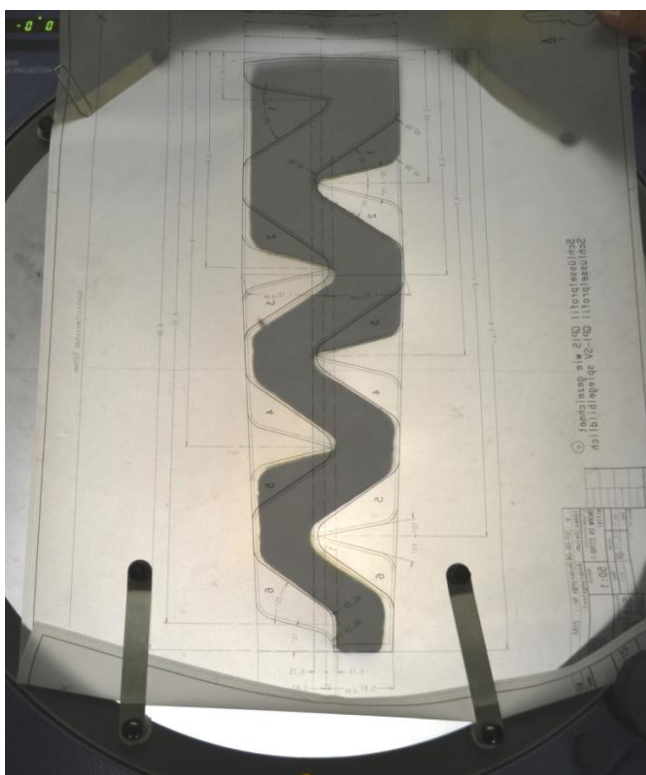
Navlékání je prováděno strojně nebo ručně, záleží na velikosti zakázky a počtu vyráběných klíčů. Klíče jsou na kroužek navlékány maximálně po pěti kusech. [14]

3.9 Kontrola profilu

Profil klíče musí být shodný s profilem jádra vložky, aby bylo možné zasunout klíč do jádra. Kontrola je realizována na prosvěcovacím přístroji. Je prováděna většinou při změnách nastavení stroje a výměnách nástrojů, aby bylo ověřeno, že je stroj správně seřízen.

Jedná se o destruktivní metodu kontroly, protože ke kontrole je nutné klíč rozříznout kolmo k profilu, aby profil mohl být prosvícen a v měřítku 50:1 promítnut na kontrolní plochu. Na kontrolní plochu je poté přiložen výkres v měřítku 50:1 a je porovnáván tvar vyrobeného profilu s tvarem na výkresu. Tvar nesmí překročit povolené toleranční pole vyznačené na výkresu. Ukázka kontroly profilu klíče je zobrazena na obrázku 3.7. [14]

V příloze 15 je uložena fotografie prosvěcovacího přístroje v průběhu kontroly.



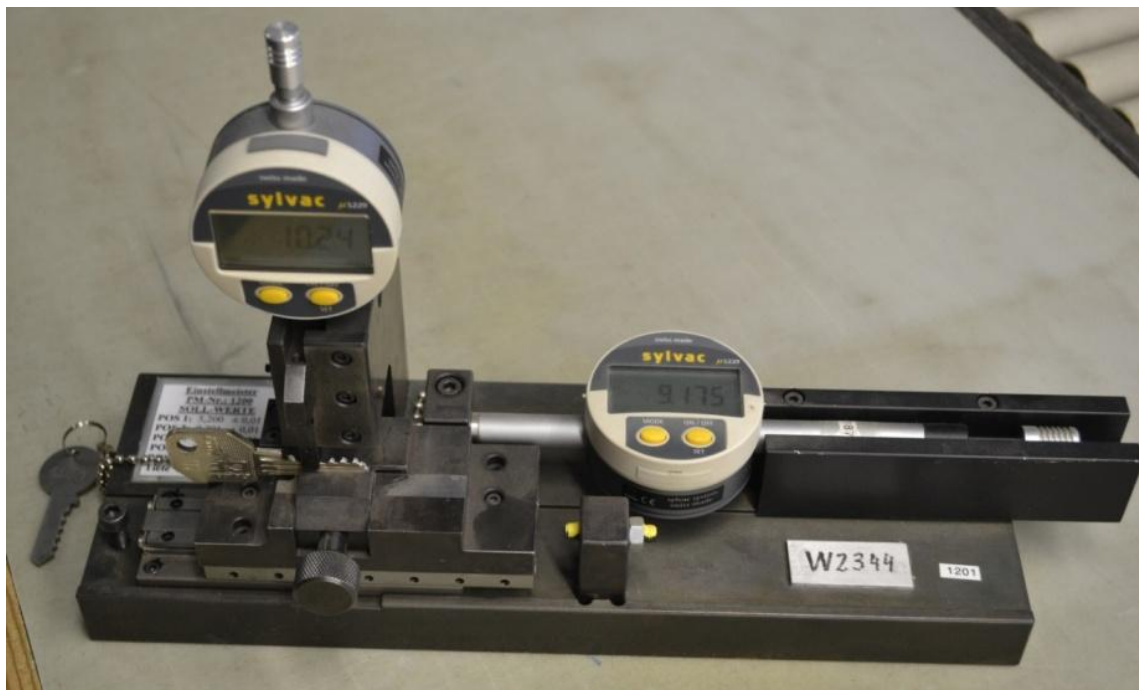
Obr. 3.7 Kontrola profilu klíče prosvěcováním.

3.10 Kontrola zářezů

Je prováděna pomocí speciálního přípravku, ve kterém jsou upnuty dva digitální mikrometry. Těmito mikrometry je v jednom kroku změřena jak vzdálenost zářezů od patky, tak i jejich hloubka. Na přípravku je připevněn štítek, na kterém jsou vypsány hodnoty a dovolené úchytky od těchto hodnot. Pokud jsou naměřeny jiné hodnoty, klíč je vyhodnocen jako vadný. [14]

Klíč je upnut do speciálního přípravku, díky kterému je klíč přesně ustaven, a proto je umožněno hned začít měřit, čímž je urychlen celý postup kontroly. Při této kontrole není klíč zničen, na rozdíl od kontroly prozařováním, kterou je kontrolován profil klíče. Ukázka přípravku a kontroly na je ukázána na obrázku 3.8.

V příloze 16 jsou vloženy fotografie přípravku v průběhu kontroly.



Obr. 3.8 Kontrola hloubky a polohy zářezů ve speciálním přípravku.

4 3D TISK MODELU

V dnešní době je na vzestupu trend 3D modelování a tiskáren. Jedná se o moderní technologii, která je neustále vyvíjena. Díky tomu se 3D tiskárny staly poměrně rozšířeným a cenově dostupným produktem. Proto bylo využito možnosti vytisknout 3D model, pomocí kterého byly vytvořeny výkresy, za účelem porovnání funkčnosti klasického a vytisknutého klíče. Tento pokus je popsán v následující kapitole.

4.1 Využité technologie

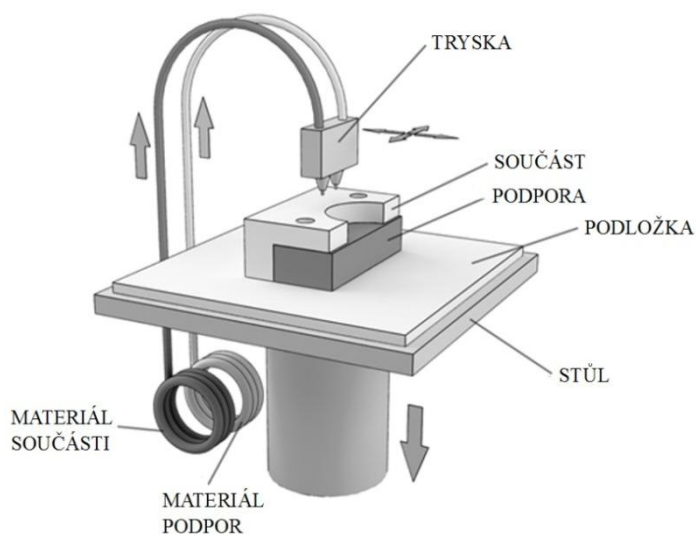
3D model

K tvorbě modelu byl využit program SolidWorks 2015, ve kterém je umožněno rychlé a snadné modelování a export do formátu *.stl. Ve formátu *.stl je model popsán za pomoci sítě, která je tvořena z trojúhelníků. [28]

3D tisk

Pro tisk součásti byla využita technologie FDM¹⁴. Její princip je založen na natavování drátu, který je vyroben z termoplastu a navinut na cívce. Z cívky je materiál vtlačován do vyhřívané trysky, ve které dochází k jeho natavení. Natavený materiál je v jednotlivých vrstvách nanášen na podložku. Při této metodě jsou zpravidla využívány dva materiály, jeden materiál pro stavbu podpor a druhý pro samotnou součást. Tisk je prováděn po jednotlivých vrstvách. K pohybu trysky dochází v osách X a Y, po dokončení vrstvy je tryska posunuta v ose Z¹⁵ o tloušťku vrstvy. Princip je zobrazen na obrázku 4.1. Po dokončení tisku je materiál podpor rozpuštěn ve speciálním roztoku. [28]

Do programu CatalystEX, verze 4.0.1, jsou importována data modelu ve formátu *.stl. V něm jsou vstupní data zpracována. Jsou zde zvoleny parametry tisku, např. tloušťka vrstvy, orientace modelu v pracovním prostoru, měřítko, atd. [29]



Obr. 4.1 Princip 3D tisku metodou FDM. [30]

¹⁴ Fused Deposition Modeling

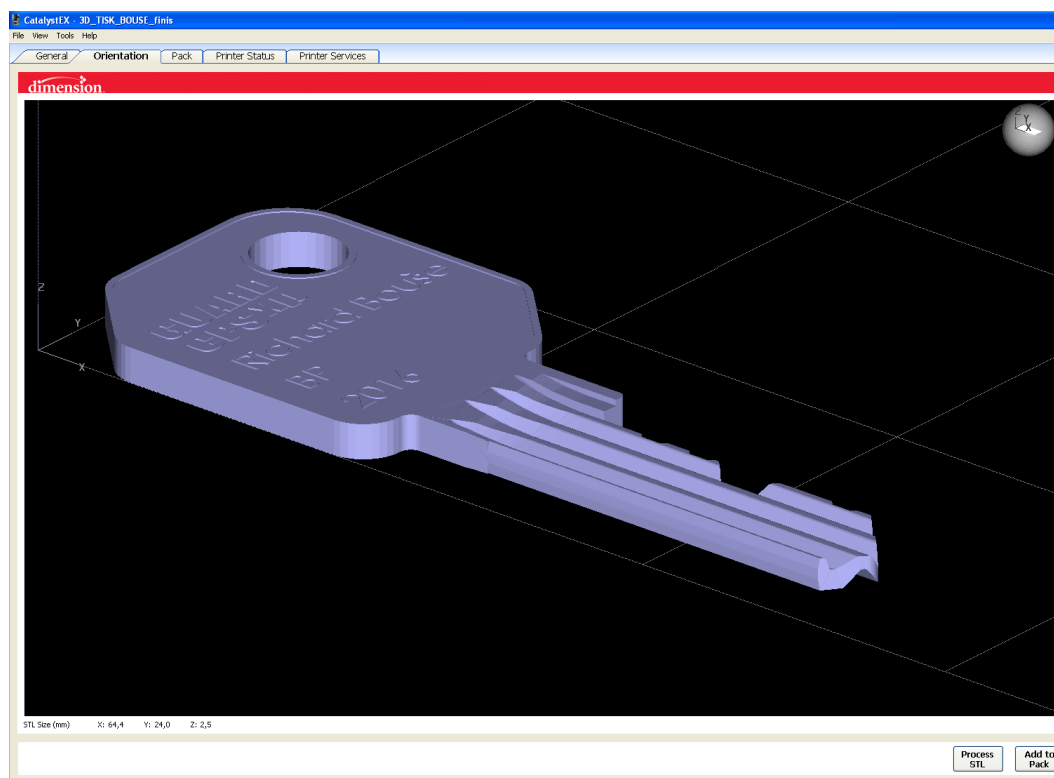
¹⁵ Na obr. 4.1 je zobrazen model tiskárny, kde pohyb v ose Z koná stůl.

4.2 Tisk klíče

Materiálem pro tisk klíče je termoplast ABSplusTM-P430. Mechanické vlastnosti tohoto materiálu jsou zapsány v tabulce 4.1. Klíč byl tisknut v poloze naležato, viz obrázek 4.2. Parametry tisku jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tab. 4.1 Mechanické vlastnosti materiálu ABSplusTM-P430. [31]

Název	Označení	Hodnota
Mez pevnosti	Rm [MPa]	33
Mez kluzu	Re [MPa]	31
Tažnost	A [%]	6



Obr. 4.2 Poloha modelu při tisku zobrazena v programu CatalystEX 4.0.1.

Tab. 4.2 Parametry 3D tisku.

Parametry tisku ¹⁾		
Název	Jednotka	Hodnota
Doba trvání tisku	min	11
Objem součásti	cm ³	1,99
Objem podpor	cm ³	1,20
¹⁾ Hodnoty získány z programu CatalystEX 4.0.1.		

4.3 Dodatečné úpravy

Po tisku byla součást ponořena do speciálního roztoku, ve kterém došlo k rozpuštění podpor. Po vytažení z roztoku, opláchnutí a osušení byla vyzkoušena funkčnost klíče. Klíč nebyl schopen ovládat vložku, protože na hřbetu nebyl vytisknut potřebný rádius a proto klíč nemohl být zastrčen do kruhového otvoru ve vložce. Proto byla provedena úprava hřbetu klíče.

Úprava hřbetu byla provedena jemným pilníkem. Pilníkem byl odebrán přebytečný materiál a vytvořen požadovaný rádius. Po úpravě hřbetu bylo možné klíčem ovládat cylindrickou vložku stejně dobře jako originálním klíčem. Vytisknutý a upravený klíč je ukázán na obrázku 4.3.



Obr. 4.3 Fotografie modelu klíče vytisknutého na 3D tiskárně z materiálu ABSplusTM-P430.

5 DISKUZE

Vzhledem k obsáhlosti tématu a požadovanému rozsahu práce nebylo umožněno jednotlivé operace postupu detailněji rozpracovat, stejně tak umožněno představit detailně jednotlivé metody, jako jsou přesné stříhání, frézování, atd. Je předpokládáno, že čtenář tyto pojmy zná a proto nemusí být vysvětleny.

5.1 Výpočty

Jsou provedeny základní výpočty nutné pro volbu materiálu nástrojů, výběr strojů a zjištění produktivity dané operace.

Vypočtené hodnoty jsou získány pomocí modelových výpočtů. Zjednodušeny jsou hlavně průřezy třísek pro obráběcí operace, protože výpočet pro reálné tvarové frézování by byl velmi náročný. Aproximace tvarů jsou provedeny tak, aby byly splněny nejhorší možné podmínky z hlediska řezných sil a tím pádem potřebného výkonu strojů. Výsledky, které byly získány pomocí výpočtů, jsou odpovídající nejhorším možným podmínkám, které mohou při jednotlivých operacích nastat při výrobě klíče GK.

5.2 3D tisk

Nejprve měl být klíč vytisknut z kovového prášku metodou slinování, ale vzhledem k finanční náročnosti od toho bylo upuštěno. Cena tisku nebyla tolik ovlivněna cenou materiálu, ale spíše strojním časem, který je oceněn velmi vysokou sazbou z důvodu vysokých pořizovacích nákladů. Nakonec byl model vytisknut z plastu a to i navzdory tomu, že byly předpokládány horší mechanické vlastnosti.

Plastový model zprvu nebyl schopen ovládat příslušnou cylindrickou vložku. To bylo způsobeno přebytečným materiálem na hřbetu klíče, který byl odstraněn pilníkem. Po úpravě tvaru bylo možné klíčem ovládat příslušnou vložku stejně dobře jako s originálním kovovým klíčem.

V budoucnu by 3D tisk mohl být využíván jako krizové řešení, např. při ztrátě jediného klíče. Musel by ale být vyřešen problém s patenty bezpečnostních klíčů, protože kdyby byl ke každému zámku dodán 3D model vlastního klíče, mohlo by dojít k úniku citlivých informací. Na druhou stranu tyto informace mohou být získány i odměřením zakoupeného klíče, případně naskenováním pomocí 3D skeneru. Když se vezme v úvahu velký nárůst počtu domácích 3D tiskáren, tak by mohla nastat doba, kdy si budeme schopni vytisknout ztracený klíč. A s tím, jak jsou dnes rozvíjeny technologie 3D tisku, by mohlo být uvažováno nejen o tisk z plastu, ale i o tisk z kovu.

5.3 Porovnání procesů

Nevýhodou plastového modelu je samotný materiál. Mechanické vlastnosti se dají považovat za dostatečné k ovládní samotné cylindrické vložky a dá se předpokládat, že by klíč vydržel i moment nutný k odemčení celého zámku, který by byl vsazený ve dveřích. Avšak je zde riziko poškození modelu při odemykání, protože plast má o poznání menší pevnost než alpaka. Dalším problémem je nízká odolnost proti opotřebení, což je však problém čistě teoretický, protože plastový klíč by mohl sloužit pouze jako dočasné řešení, nikoli jako plnohodnotný klíč.

Naopak za výhodu se dá označit jednoduchost tisku. Na rozdíl od klasického postupu, kdy je nutné vlastnit řadu speciálních strojů a nástrojů, pro 3D tisk je nutný pouze model ve formátu *.stl o dostatečné kvalitě a 3D tiskárna se kterou lze dosáhnout potřebnou přesnost. Případné nedostatky lze snadno odstranit pilníkem nebo brusným papírem. Stejně jako u modelu, který byl vytisknut pro účely této práce.

Se zlevněním 3D tisku z kovu by se nabízela možnost výroby plnohodnotné náhrady klíče. Otázkou je, zdali by se tiskem z kovu dalo dosáhnout požadované přesnosti, protože úpravy kovového modelu by se nedaly provádět tak snadno jako u plastového modelu.

ZÁVĚR

V práci bylo úspěšně dokončeno několik úkolů:

- navržení technologického postupu výroby podle daných výkresů a parametrů materiálu obrobku a nástrojů,
- aproximace tvarových ploch pro obrábění jednoduchými tvary na základě co největší podobnosti rozměrů a tím pádem i měrné řezné síly,
- tisk 3D modelu a jeho porovnání s klíčem vyrobeným klasickým postupem, kdy bylo ověřeno, že vytisknutý model po malé úpravě funguje stejně dobře jako obráběný a tvářený klíč,
- v diskuzi byly porovnány výhody a nevýhody vytisknutého klíče, kdy 3D tisk lze považovat za možnost při výrobě nestandardního klíče, např. klíče z uzamykacího systému, který nemůže být vyroben nikde jinde než u výrobce systému.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PHILLIPS, Bill. 2005. *The complete book of locks and locksmithing* [online]. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 588 s. [cit. 2016-05-05]. ISBN 00-714-4829-2.
Dostupné z: <https://murdercube.com/files/Locksmithing/The%20Complete%20Book%20of%20Locks%20and%20Locksmithing,%206th%20Ed.pdf>
- [2] ASHLEY, Steven. Under lock and key. *Mechanical Engineering*, srpen 1993, roč. 115, č. 8, s. 62-67. ISSN 00256501.
- [3] PATEL, M. N. a Michael WRIGHT (eds.). 2001. *Jak dnes věci fungují*. První vydání. Překlad Jiří Matas, Miroslav Koláč. Bratislava: Mladé letá, 288 s. ISBN 80-060-1133-8.
- [4] MAURIS, Maurice. 1879. The Iron-Smith. *The Art Journal (1875-1887)* [online]. roč. 5, 202-208 [cit. 2016-05-05]. DOI: 10.2307/20569381. ISSN 2152243x.
Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/20569381>
- [5] Lock. In: *Encyclopædia Britannica Online* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/technology/lock-security>
- [6] Roman door locks - more images. *Historical locks: Roman door locks* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.historicallocks.com/en/site/h/other-locks/19-keys-and-locks-from-imperial-rome/Roman-door-locks/Roman-door-locks---more-images/>
- [7] How It works. In: *Bowley Lock Company* [online]. [cit. 2016-05-05].
Dostupné z: <https://www.bowleylockcompany.com/how-it-works.html>
- [8] PULFORD, Graham W. 2007. *High-security mechanical locks: an encyclopedic reference* [online]. Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann, 597 s. [cit. 2016-05-05]. ISBN 978-0-7506-8437-8.
Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=7m41LA8WsvUC&lpg=PP1&hl=cs&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>
- [9] YALE, Linus, Sr. *Door Lock*. USA. US 3630 A. Uděleno 13.6.1844. Dostupné také z: <https://www.google.com/patents/US3630>
- [10] YALE, Linus, Jr. 1865. *Improvement in locks*. USA. US48475 A. Uděleno 2.7.1865. Zapsáno 27.7.1865. Dostupné také z: <https://www.google.com/patents/US48475>
- [11] Pin tumbler lock. In: *Wikipedie* [online]. [cit. 2016-05-05].
Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Pin_tumbler_lock
- [12] *Prospekt k systému FPS*. Dostupné také z: http://www.evva.cz/fileadmin/files_all/Download/Prospekte/Systemprospekte/FPS/W.FD.HBS.FPS.V1.LN.SCZ.pdf
- [13] Bezpečnostní vložka EVVA FPS. *Zámečníci Praha* [online]. [cit. 2016-05-06].
Dostupné z: <http://www.zamecnicipraha.cz/produkt/bezpecnostni-vlozka-evva-fps/>
- [14] CVEK, Tomáš a Martin HÁJEK. *Ústní sdělení*. Koráb 132, Tišnov [2016-05-05]
- [15] ČSN EN 1303. *Stavební kování - Cyldrické vložky pro zámky - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 28s.

- [16] ČSN EN 1627. *Dvěře, okna, lehké obvodové pláště, mříže a okenice - Odolnost proti vloupání - Požadavky a klasifikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 28s.
- [17] ČSN EN 1630. *Dvěře, okna, lehké obvodové pláště, mříže a okenice - Odolnost proti vloupání - Zkušební metoda pro stanovení odolnosti proti manuálním pokusům o vloupání*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 36s.
- [18] Co je uzamykací systém? EVVA [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.evva.cz/sluzby/zabezpecovaci-technika-faq/co-je-uzamykaci-system/cz/>
- [19] GARANT příručka obrábění. 2006. 843 s. ISBN 3-00-016882-6.
- [20] Nickel silver. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_silver
- [21] Neusilber. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/Neusilber>
- [22] CVERNA, Fran. 2001. *Worldwide guide to equivalent nonferrous metals and alloys* [online]. 4th ed. Materials Park, OH: ASM International [cit. 2016-05-06]. ISBN 08-717-0741-1. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=g-aUf3nM6AEC&lpg=PT638&dq=cw404j&hl=cs&pg=PT638#v=onepage&q=cw404j&f=false>
- [23] *Nickel Silver: NX13*. Hemer. Dostupné také z: http://www.diehl.com/fileadmin/diehl-metall/dlc/Beispielordner/DMA/Diehl_Metall_Strips_NX13_V1_M-SM.pdf
- [24] *Recommended machining parameters for copper and copper alloys*. 2010. Düsseldorf, 64 s. Dostupné také z: <http://www.copper.org/applications/marine/cuni/pdf/DKI-Machining.pdf>
- [25] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. 2013. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
- [26] VEJREK, Tomáš. 2010. *Návrh progresivní technologie výroby střížného nástroje*. Brno, 69 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.
- [27] BOGNER EDELSTAHL, *Materiálový list: W.Nr. 1.2767*. 1 s. Dostupné také z: http://www.bogner.cz/files/files/Materialovy_list_1.2767.pdf
- [28] STL (file format). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/STL_%28file_format%29
- [29] PÍŠKA, Miroslav. 2009. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [30] The Difference Between FDM And Polyjet Technology In 3D Printing. *Engatech: The 3D Printer Guys* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://engatech.com/difference-fdm-polyjet-3d-printing/>

- [31] *ABSplus-P430: production-grade thermoplastic for design 3D printers*. Rehovot. Dostupné také z: http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/Material_Spec_Sheets/MSS_FDM_ABSplusP430.pdf
- [32] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. 2006. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	[-]	computer aided desing
ČSN	[-]	česká technická norma
ČSN EN	[-]	převzatá evropská norma
EN	[-]	evropská norma
EN ISO	[-]	převzatá mezinárodní norma
FDM	[-]	fused deposition modeling
HRC	[-]	tvrdost podle Rockwella
UNS	[-]	unified numbering system

A₅₀	[%]	tažnost
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
HV	[-]	tvrdost podle Vickerse
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_{p0,2}	[MPa]	smluvní mez kluzu v tahu
a_e	[mm]	šířka záběru
a_p	[mm]	šířka záběru hlavního ostří
kc1	[MPa]	měrná řezná síla
m	[-]	koeficient nárůstu tangenty úhlu strmosti

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výpočty pro vystřížení polotovaru
Příloha 2	Výrobní výkres výstřižku
Příloha 3	Výpočty pro frézování hřbetu
Příloha 4	Výrobní výkres pro frézování hřbetu
Příloha 5	Výpočty pro frézování profilu
Příloha 6	Výrobní výkres pro frézování profilu
Příloha 7	Výpočty pro frézování zářezů
Příloha 8	Výrobní výkres pro frézování zářezů
Příloha 9	Fotografie frézky na frézování hřbetu
Příloha 10	Fotografie frézky na frézování profilu
Příloha 11	Fotografie lisu s výměnnými razníky používaného k naražení loga na klíč
Příloha 12	Fotografie stroje používaného ke značení klíčů
Příloha 13	Fotografie frézky používané k frézování zářezů
Příloha 14	Fotografie omílacího stroje používaného k odstraňování ostřin z klíčů
Příloha 15	Fotografie ozařovačky používané ke kontrole profilu klíče
Příloha 16	Fotografie přípravku používaného ke kontrole zářezů klíče
Příloha 17	Tabulka uzamykacího systému