VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA RAZNICE DO KŮŽE S VYUŽITÍM 3D TISKU

PRODUCTION OF A STAMP FOR LEATHER USING 3D PRINTING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Pavel Vrána

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2023

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Bc. Pavel Vrána**
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok:	2022/23

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 diplomové práce:

Výroba raznice do kůže s využitím 3D tisku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Autor nejprve provede rozbor problematiky ražby do kůže. Zaměří se jak na kožené materiály, tak na materiály a provedení razidel. Navrhne vhodné technologie 3D tisku a experimenty pro zjištění potřebných parametrů ražení s využitím 3D tištěných razidel. Experimenty provede, vyhodnotí a doporučí nejvhodnější technické parametry a postupy.

Cíle diplomové práce:

– rešerše problematiky
– rozbor používaných materiálů
– návrh experimentu
– rozbor a vyhodnocení výsledků experimentu
– zhodnocení a doporučení autora

Seznam doporučené literatury:

BILÍK, O. a M. VRABEC. Vrabec Martin Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univ., 2002. 128 s. ISBN 80-248-0034-9.

FOŘT, P. a J. KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007. 296 s. ISBN 978-80-251-1773-6.

CHANG, T.-Ch., R. WYSK a H.-P. WANG. Computer-Aided Manufacturing. 3. vyd. New Jersey: Prentice Hall, 2005. 684 s. ISBN 0-13-142919-1.

CHUA, Ch. K., K. F. LEONG a Ch.-S. LIM. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3. vyd. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2010. 512 s. ISBN 978-981-277-897-0.

PÍŠKA, M. et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zaměřuje na možnosti využití technologie 3D tisku pro výrobu raznic do kůže a popisem vlivů ovlivňující proces ražení, jako je například množství obsažené vody, tvrdost jednotlivých oblastí usně nebo vliv tloušťky kůže. Pro popis chování kůže a raznice při procesu ražení na hydraulickém lise byl navržen experiment, pomocí kterého se určily regresivní křivky popisující oblast pěchování kůže a oblast vybočení raznice. Jednotlivé křivky raznic vyrobené z materiálů určené pro FDM a DLP tisk byly srovnány s konvenčně vyráběnou mosaznou raznicí. Porovnáním křivek se určila vhodnost materiálu pro ražbu. Materiály PLA a Resin - Basic dosahují požadovaných parametrů a je možné je použít. Využití technologie 3D tisku otvírá možnosti výroby jak rozměrných, tak velmi detailních raznic, při výrazném snížení ceny produktu.

Klíčová slova

3D tisk, výroba raznic, kůže, FDM, DLP

ABSTRACT

The thesis focuses on the possibilities of using 3D printing technology for the production of leather stamps and describes the influences affecting the stamping process, such as the amount of water contained, the hardness of individual areas of the leather or the effect of the thickness of the leather. In order to describe the behaviour of the leather and the stamp during the embossing process on a hydraulic press, an experiment was designed to determine regression curves describing the skin deformation area and the stamp buckling area. The individual curves of stamps made from materials designed for FDM and DLP printing were compared with conventionally manufactured brass stamps. By comparing the curves, the suitability of the material for embossing was determined. PLA and Resin - Basic materials achieve the required parameters and can be used. The use of 3D printing technology opens up the possibility of producing both large and highly detailed stampings, at a significant reduction in product cost.

Keywords

3D printing, production of stamps, leather, FDM, DLP

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VRÁNA, Pavel. *Výroba raznice do kůže s využitím 3D tisku* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/145905. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Oskar Zemčík.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba raznice do kůže s využitím 3D tisku vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 22.5.2023

místo, datum

Pavel Vrána

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Zadání práce
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD 10
1 VOLBA TECHNOLOGIE A MATERIÁLU 11
1.1 Technologie CNC obrábění 12
1.2 Technologie FDM 13
1.3 Technologie DLP 15
1.4 Materiály raznic 17
1.4.1 Mosaz 17
1.4.2 Hořčík 18
1.4.3 Ocel 19
1.4.4 PLA 20
1.4.5 ABS 20
1.4.6 PET-G 21
1.4.7 Resin 22
2 KŮŽE A JEJÍ DEKOROVÁNÍ 23
2.1 Suroviny pro výrobu usní 23
2.2 Struktura kůže 24
2.3 Rozdělení kůže 25
2.4 Výroba usně 26
2.4.1 Zpracování kůží na holiny 26
2.4.2 Činění kůže 27
2.5 Dekorování kůže 28
2.5.1 Ruční dekorace 28
2.5.2 Ražení 28
3 PRAKTICKÁ ČÁST 29
3.1 Návrh raznice 29
3.2 Měření tvrdosti kůže 30
3.2.1 Shore A tvrdoměr 30
3.2.2 Požadavky na zkušební těleso 30
3.2.3 Výroba vzorků 31
3.2.4 Měření v oblasti hřbetu 32

3.2.5 Měření v oblasti boku ... 32
3.2.6 Měření v oblasti kruponu ... 32
3.2.7 Porovnání naměřených hodnot ... 32
3.3 Měření hmotnosti vody při navlhování ... 33
3.4 Měření vlivu nasáknuté vody ... 34
3.5 Měření tlaku při ražení ... 35
3.5.1 Výroba raznice metodou CNC obrábění ... 35
3.5.2 Výroba raznice metodou FDM tisku ... 35
3.5.3 Výroba raznice metodou DLP tisku ... 36
3.5.4 Měření zátěžného tlaku při ražení ... 37
3.5.5 Měření materiálu Ms58. ... 38
3.5.6 Měření materiálu PET-G ... 40
3.5.7 Měření materiálu PLA ... 43
3.5.8 Měření materiálu ABS Plus ... 47
3.5.9 Měření materiálu Resin - Basic ... 50
3.6 Měření vlivu tloušťky kůže ... 53
4 TRVANLIVOST RAZNICE ... 54
5 MĚŘENÍ REÁLNÉHO RELIÉFU RAŽBY ... 56
6 Zhodnocení použitých materiálů ... 60
7 Ekonomické zhodnocení jednotlivých technologií ... 62
ZÁVĚR ... 63

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratek
Seznam příloh

ÚVOD

Pro dekorování kůže se využívají převážně jednoduché kovové nástroje, popřípadě raznice se složitějšími ornamenty. Dnešní raznice se vyrábí klasickými technologiemi, jako je např. obrábění. Výroba těchto raznic je nákladná a je méně vhodná pro kusovou ražbu. Pro originální ražbu na zakázku není potřeba dlouhé životnosti raznice a je proto možné využít i jiné materiály než kov. Pro výrobu unikátních raznic se mohou používat technologie, které v minulosti nebyly známé. Mezi nové způsoby výroby se řadí laserové řezání, 3D tisk a to jak kovu, tak plastu.

Aditivní technologie přináší několik výhod oproti konvenčním metodám, díky kterým nachází uplatnění ve velkém množství odvětví, sedlářství nevyjímaje, viz obr. 1.

Obr. 1 Ukázka kožených produktů.

1 VOLBA TECHNOLOGIE A MATERIÁLU

Při výrobě součástí je potřeba vždy volit takovou technologii, která bude nejvhodnější pro dané zadání. Hlavními rozdíly mezi konvenčními a aditivními technologiemi je způsob vytvoření hotového modelu. [1; 2; 3]

Pod pojmem konvenční metody řadíme technologie jako je např. soustružení, frézovaní, vrtání a další. Všechny tyto metody mají společný postup výroby, kterým je postupné odebírání základního materiálu do požadovaného tvaru. Postupné odebírání navyšuje dobu výroby, ale na druhou stranu tímto postupem lze vyrábět součásti s vysokou přesností. Další nevýhodou je vysoký podíl odpadu, který vznikne při obrábění, viz obr. 2. [1; 2; 3]

Obr. 2 Výroba konvenčním obráběním. [3]

Aditivní technologie oproti konvenčním metodám materiál neodebírají, ale naopak ho nanáší. Díky této opačné koncepci je omezen vzniklý odpad na minimum, viz obr. 3 a je možné vytvářet odlehčené modely, které sníží náklady na materiál. Aditivní technologie ale není vhodná pro větší počty kusů. V praxi je většinou využívána pro výrobu prototypů a kusovou výrobu speciálních součástí z různých materiálů jako je např. korozivzdorná ocel, nástrojová ocel a samozřejmě termoplasty. [1; 2]

Obr. 3 Výroba aditivním přístupem. [3]

Do aditivních technologií řadíme různé metody, které se liší jak formou materiálu, tak způsobem tvorby modelu. Materiál se u tohoto způsobu výroby využívá převážně v prášku, struně, nebo tekutině. [1]

Pro následné spojování materiálu se využívají vyhřívané trysky, laser, elektronový paprsek a další. [1]

1.1 Technologie CNC obrábění

Pojem CNC obráběcí stoj je spojován se strojem, který umožňuje opakovatelně, přesně, rychle a automaticky vyrábět různorodé součásti. Pro tuto výrobu je potřeba obráběcí stroj s řídící jednotkou, která kontroluje jednotlivé polohy nástroje a obrobku, řeznou rychlost a další parametry. [4; 5; 6]

Pro výrobu každé součásti je potřeba vytvořit program, který ovládá jak pohyb nástroje a obrobku, tak i ostatní parametry, jako je např. výměna nástroje, otáčky vřetene, posuv a další. Každý CNC obráběcí stroj se skládá z několika základních prvků. Mezi tyto prvky patří mechanická část, do které řadíme např. rám stroje, pohybové osy, vřetena, ale i ochranné kryty. Hlavním charakteristikou mechanických částí je schopnost realizovat pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Pro řízení a ovládání mechanických součástí slouží elektrická část stroje. Prvky elektrické části slouží ke kontrolovanému pohybu jednotlivých os, k zajištění výměny nástrojů i k ovládání procesních médií. Další částí stroje je mezičlánek nazývaný PLC (programmable logic controllers), který slouží pro řízení a monitorování blokových úloh. U těchto úkolů je typickým znakem řada opakujících se funkcí, které nejsou vázané na daný výrobek. Jedná se např. o výměnu nástroje, přívod chladící kapaliny, zapnutí a vypnutí stroje. [4; 5; 6]

CNC obráběcí stroje dělíme podle různých kritérií, jako je např. uspořádání kinematického řetězce, polohy os vřetena, počet řízených os, počet vřeten, tvar obráběného obrobku a další. [4; 5; 6]

Tvorbu programu lze provádět dvěma způsoby. První možností je tzv. online programování. U tohoto postupu se program programuje přímo na stroji. U druhé možnosti, označené offline programování, je proces výroby programu přenesen na počítač, který nemá přístup ke stroji. [4; 5; 6]

Programování je náročný proces na soustředění programátora a u klasického programování jednotlivých pohybů stroje je jednoduché udělat chybu. Proto je kladen důraz na tvorbu programu v systému CAD/CAM. V části CAD je vytvořen model požadované součásti. Model je zde definovaný jako uzavřená kontura nebo objemový model. V CAM je následně vytvořen polotovar, nastaven proces obrábění a určení nástrojů, řezných podmínek a další. V CAM programu se pak generuje obráběcí program, který obsahuje jednotlivé trasy i další nastavené parametry obrábění. [4; 5; 6]

Výhodou offline programování je možnost vizualizace obráběcího procesu, bezpečné odladění procesu obrábění a možnost vytvářet program za chodu stroje, neboli příprava programu není vázaná na stroj a není tak omezena výrobní kapacita CNC obráběcího centra. [4; 5; 6]

Řídící program stroje je složen z jednotlivých bloků, které jsou postupně předávány stroji. Blok obsahuje slova, která vyjadřují číslo bloku, konec bloku, posuvovou funkci, funkci ovládající rychlost otáčení vřetena a další. [4; 5; 6]

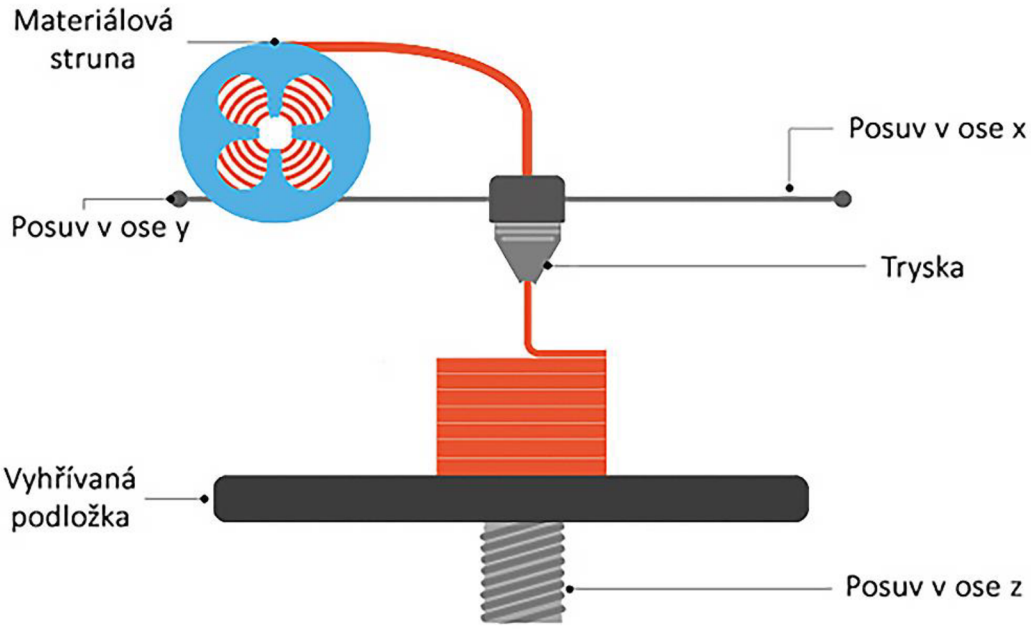
Bloky mohou mít proměnnou délku, nebo mohou být s pevnou délkou. Bloky s pevnou délkou mají stejnou délku v celém programu a nelze vynechat žádné slovo ani znak. Oproti tomu bloky s proměnnou délkou mohou jednotlivá slova vynechávat a zapisují se pouze ta, kde se vyžaduje změna. Skládáním jednotlivých bloků se vytváří program, který následně ovládá stroj. [4; 5; 6]

1.2 Technologie FDM

Jednou z nejběžnějších a nejznámějších technologií 3D tisku je metoda FDM (fused deposition modeling), také známá pod zkratkou FFF (fused filament fabrication). Způsob tisku je založen na nanášení tenkých horizontálních vrstviček definovaného tvaru, které vytváří model. [1; 7]

Při výrobě modelu pomocí FDM tisku se začíná tvorbou modelu, který definuje geometrii požadované součásti. Pro tvorbu je možné využít mnoho programů jako je např. Inventor Professional, Fusion 360, Catia a další. Zhotovený model je následně převeden do polygonové sítě, kde je model reprezentován body a trojúhelníky. Převod způsobí určitou ztrátu přesnosti výsledného modelu, jelikož jednotlivé křivky jsou rozděleny na krátké úsečky. Pro zvýšení kvality je potřeba zvýšit hustotu sítě, aby jednotlivé geometrické prvky byly reprezentovány v potřebné kvalitě. Hustší síť způsobí zpřesnění modelu, ale zhotovený soubor obsahuje větší množství dat a tím dojde ke zvětšení velikosti souboru a k náročnějšímu zpracování v následující operaci. [1]

Model v polygonální reprezentaci je následně vložen do sliceru, kde je model rozdělen na jednotlivé vrstvy. Vrstvy modelu nejsou jednolité a každá část má jiné vlastnosti tisku. Hlavní části vrstvy jsou: vnější, vnitřní stěna a výplň. U vnějšího perimetru se nastavuje nižší rychlost tisku, aby se zlepšila kvalita a přesnost povrchu součásti. U dalších nepohledových částí je zvolena vyšší rychlost tisku pro zkrácení celkové doby tisku. U modelů, kde je určitá část pod úhlem větším jak 45°, je možné využít podpůrné struktury, která je následně odstraněna. Ve sliceru se dále nastavují jednotlivé tiskové parametry jako je např. teplota tisku, průměr trysky, výška vrstvy a další. Výška vrstvy má velký vliv na celkovou dobu tisku a její hodnota je závislá na průměru trysky. [1]



Obr. 4 Schéma technologie FDM. [1]

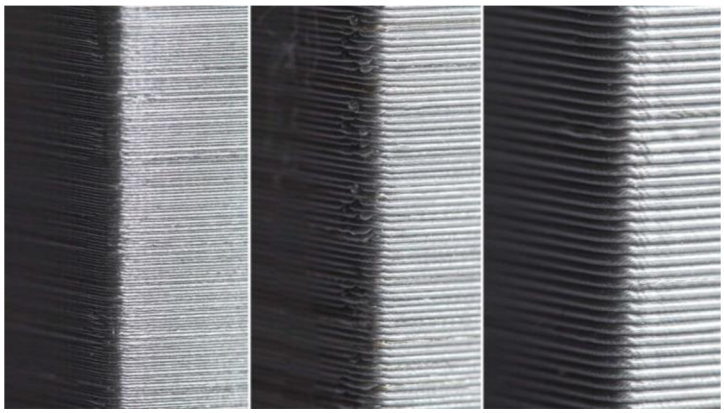
Následný vygenerovaný soubor je využit pro řízení tiskárny a model je u metody FDM tvořen natavováním termoplastu ve formě struny, která se přivádí do trysky, kde je materiál nahřátý na teplotu blízkou teplotě tání a následné nanášení vrstev vytváří hotový model, viz obr. 4. Pohyb trysky může být realizován několika způsoby jako je např. kartézské uspořádání, kde se tryska pohybuje v osách x, z a v ose y se pohybuje tisková podložka. Další možný pohyb je

delta, kde je tisková hlava lehká a pohybuje ve všech osách stejnou rychlostí. Díky tomu je možné dosahovat rychlejšího tisku než u ostatních metod pohybu. [1]

Rychlost tisku není závislá pouze na typu tiskárny, ale i na geometrii trysky. Pro rychlejší tisk se využívají trysky o větších průměrech, u kterých lze následně volit i vyšší výšku vrstvy. Další možností je využít speciální hotendy, které jsou osazeny delší tryskou pro rychlejší tavení většího objemu plastu. [1; 8; 9]

Výhodou, která je u všech metod 3D tisku, je možnost rychlé a levné výroby kusových součástí, vhodné pro rychlé ověření zvolené konstrukce. FDM metoda je nejlevnější způsob 3D tisku a to jak materiálu, tak cenou samotné tiskárny. Podporované materiály jsou termoplasty jako je např. PLA, ABS, PET-G, ale i materiály obsahující kovové částice, nebo uhlíková vlákna. Další výhodou je, že složitost modelu nemá zásadní vliv na době tisku. [1]

Nevýhodou FDM technologie je rozdílná pevnost vytištěného modelu v jednotlivých osách. Tato nehomogenita je způsobena postupným nanášením materiálu, který se musí spojit s předcházející vrstvou. Tvorba po vrstvách také způsobí typický vzhled výsledného modelu, viz obr 5. FDM tisk má také určitá specifika tvorby modelu pro zjednodušení tisku, jako je např. využití zkosení namísto zaoblení v ose z. [1; 10]



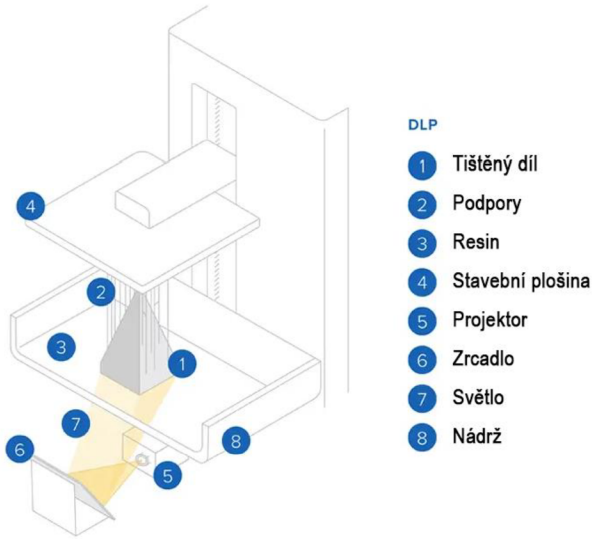
Obr. 5 Vzhled vrstveného modelu. [8]

V dnešní době existuje řada výrobců FDM tiskáren, jako je např. Ultimaker, Creality nebo česká firma Prusa Research, viz obr. 6. Nejrozšířenější tiskárny na trhu využívají kartézký pohyb a jejich maximální tisknutelný rozměr se pohybuje okolo 200 × 200 × 200 mm. Pro natavování materiálu využívají mosazné trysky o různých průměrech např. 0,4 mm. [11; 12]

Obr. 6 Ukázka 3D tiskárem. [11; 12]

1.3 Technologie DLP

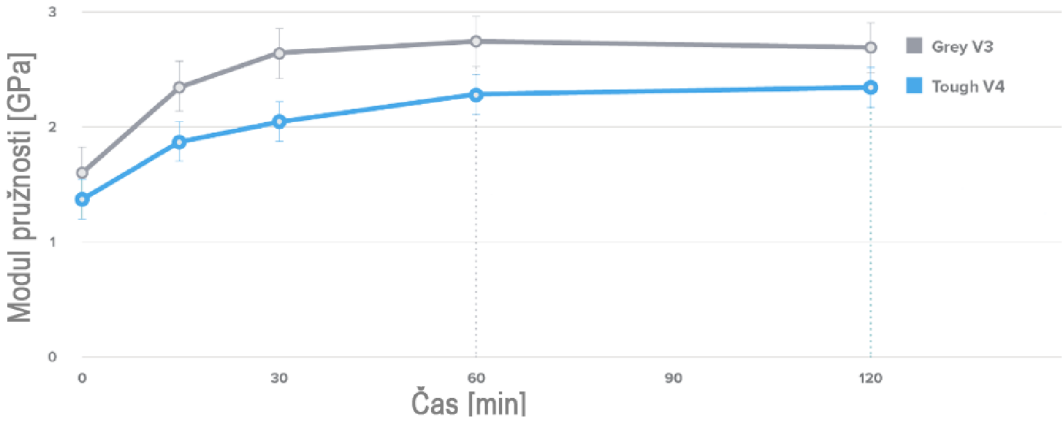
Technologie DLP (digital light processing) společně s SLA (stereolithography) patří do metod 3D tisku využívající vytvrzování fotopolymeru. Fotopolymer je dodáván v tekuté podobě a až v průběhu tisku je pomocí světelného zdroje vytvrzen. [13]



Obr. 7 Princip DLP tiskárny. [13]

Princip tisku metodou DLP, viz obr. 7, spočívá ve vytvrzování tenkých vrstviček fotopolymeru, které se skládají na sebe a vytváří tak požadovaný model. Tisk začíná ponořením stavební plošiny do tekutého materiálu. Projektor osvítí požadovanou plochu a dojde k vytvrzení mezery mezi průsvitným dnem nádrže a stavební plošinou. Aby další vrstva mohla být vytvořena, je potřeba model odlepit od dna a vyplnit další mezeru tekutinou. Opakováním je vytvořen model, který má požadovaný tvar, ale nedosahuje požadovaných vlastností. Vytištěný model je potřeba očistit od nevytvrzeného fotopolymeru a provést další operaci, kde dojde ke zlepšení mechanických vlastností. [13; 14]

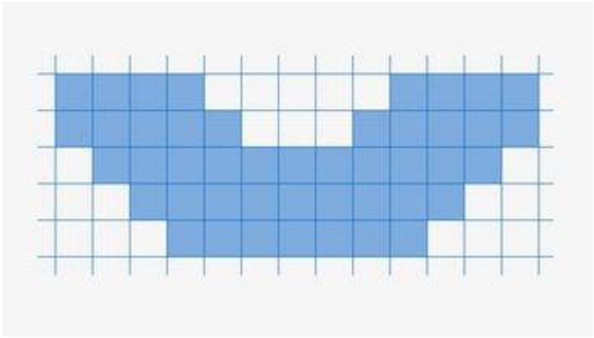
Tato operace se nazývá dodatečné vytvrzování a patří sem např. způsoby využívající světlo: vytvrzení sluncem, vytvrzení UV světlem nebo metody, kde se použije světlo i zvýšená teplota.



Obr. 8 Vývoj modulu pružnosti při vytvrzování. [14]

Cílem této závěrečné operace je dodat modelu co nejlepší vlastnosti. Zlepšení mechanických vlastností je způsobeno tvorbou dalších vazeb, které zvýší pevnost a tvrdost, viz obr. 8. [14]

Hlavní výhodou metod SLA a DLP je jejich přesnost a kvalita oproti např. FDM tisku. Tato kvalita je díky způsobu vytvrzování, kde využíváme laser nebo projektor. Kvalita tisku v XY ploše je u DLP závislá na rozlišení projektoru a velikosti tisknutelné plochy. Vyšší rozlišení projektoru způsobí, že jednotlivé pixely budou vytvrzovat menší plochu a vytvoří tak detailnější reprezentaci požadovaného tvaru, viz obr.9. Další výhodou je rychlost tisku. Vyšší rychlost je způsobena vytvrzováním celé vrstvy najednou. Výška vrstvy se pohybuje od 25 do 300 µm a je možné tak ovlivnit dobu tisku. [13]



Obr. 9 Reprezentace vrstvy pomocí pixelů. [13]

Nevýhodou DLP je omezení velikosti tisknutelného objemu. Tisk velkých modelů je komplikovaný kvůli potřebné síle pro odlepení od dna. Zvětšením tisknutelného rozměru také dojde ke snížení kvality tisku a je potřeba využít kvalitnější projektor. Mezi další nevýhodu je možné zařadit také nutné očišťování a vytvrzování modelu, které prodlouží dobu výroby tištěného modelu. [13]

Výrobce, který prodává DLP tiskárny je např. firma Anycubic, která nabízí tiskárnu Anycubic Photon Ultra (obr. 10), která je vhodná pro modely do rozměru 102.4 × 57.6 × 165 mm nebo tiskárnu Anycubic Photon D2 (obr. 10), která má vyšší rozlišení projektoru 2560 × 1440 px a možnost tisknout součást do velikosti 165 × 131 × 73 mm. [15; 16]

Obr. 10 Ukázka DLP tiskáren. [15; 16]

1.4 Materiály raznic

V současné době je většina raznic vyráběna metodami, které jsou vhodné pro střední a velké série. Při výrobě velkých sérií se sníží cena výsledného výrobku, ale musí se využít vhodná technologie jako je např. slévání. Pro jednotlivé způsoby výroby lze využít pouze určité materiály, které mohou být zpracovány danou technologií. Tlak na nízkou cenu způsobil využívání vysoko sériových technologií, a proto je většina dnešních raznic vyráběna z oceli a mosazi.

1.4.1 Mosaz

Pod pojmem mosaz je označen materiál, který je složen převážně z mědi a zinku. Obsah zinku do 45 hm. % zvyšuje pevnost. Při překročení této hodnoty dojde k převládání fáze β´ a výraznému poklesu pevnosti. Pro zlepšení určitých vlastností se využívají přísady jako např. nikl pro zvýšení pevnosti a korozní odolnosti. [17]

Mosazi dělíme na mosazi pro tváření, slévání a zvláštní mosazi. Mosazi pro tváření obsahují od 5 do 45 hm.% Zn. Označují se značkou Ms s číslicí, která udává množství mědi. Mosazi pro odlitky mají obvykle obsah mědi 58 až 63 hm.%. Jsou charakteristické dobrou zabíhavostí, ale dosahují vysoké smrštivosti. Ta způsobuje staženiny a možnost tvorby dutin. Tyto mosazi se využívají pro méně namáhané součásti např. kování nábytku, části čerpadel, či kluzná ložiska. [17]

Pro výrobu raznic je mosaz jeden z nejvíce využívaných materiálů. Vyrábí se z ní jak ruční, tak zakázková razidla, viz obr 11. [18; 19]

Obr. 11 Ukázka mosazných raznic. [18; 19]

Možným materiálem, který se využívá pro frézované raznice je např. materiál Ms58 s mechanickými vlastnostmi viz tab. 1. [20; 21]

Tab. 1 Vybrané vlastnosti materiálu CuZnPb2. [20]

Hustota [g/cm3]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Tvrdost [HB]
8,4	470	91 000	85

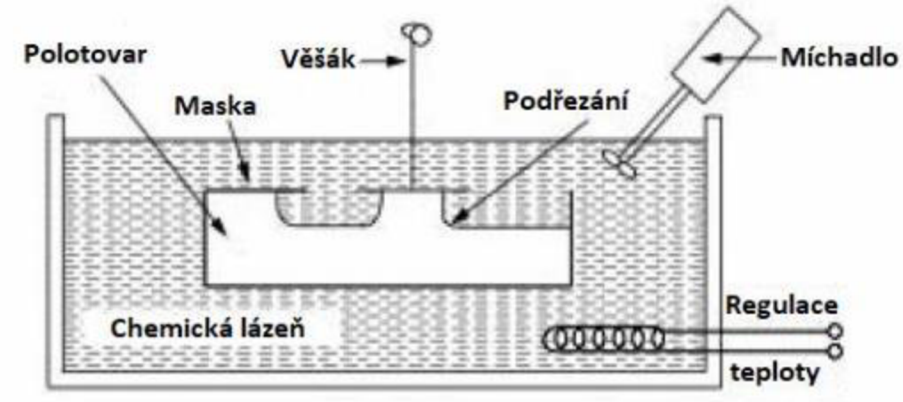
1.4.2 Hořčík

Využití čistého hořčíku je v praxi velmi malé, ale díky svým vlastnostem se využívá jako přísada do slitin (tab. 2). Díky hexagonální mřížce má špatnou tvárnost, ale má velmi dobrou měrnou pevnost, která je srovnatelná s řadou ocelí. Nedostatkem tohoto materiálu je jeho reaktivita při zvýšené teplotě a tím i složitější a náročnější výroba součástí. Hořčíkové slitiny se využívají pro odlitky, u kterých je potřeba snížení hmotnosti při zachování požadované pevnosti. [17]

Tab. 2 Vlastnosti hořčíkových slitiny AZ91C-T6 ve vytvrzeném stavu. [22]

Hustota [g/cm3]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Tvrdost [HB]
1,81	275	44 800	70

Pro výrobu raznic z hořčíku se využívá leptání, kdy je na polotovar nanesena maska, která chrání materiál před chemikálií. Ta v nezakrytých oblastech odstraňuje materiál a dochází tak k tvorbě požadovaného reliéfu, viz obr. 12. [23]



Obr. 12 Princip leptání hořčíku. [23]

Hořčíkové raznice jsou oproti konvenčně obráběným raznicím levnější, ale jejich životnost je nižší. Nelze u nich dosáhnout vysoké přesnosti jako u frézovaných raznic kvůli technologii leptání, která způsobuje podřezání. Proto nelze vyrobit raznice s malými detaily. Uplatnění nacházejí jak při ražbě do kůže, viz obr. 13, tak v tiskařském průmyslu pro embosing nebo tisku knih. [23; 24; 25; 26]

Obr. 13 Ukázka hořčíkové raznice. [26]

1.4.3 Ocel

Ocel je dnes jedním z nejvíce využívaných materiálů, a to jak při stavbě budov, tak k výrobě nástrojů. Ocel je směs železa, uhlíku a dalších legujících prvků. Uhlík má výrazný vliv na vlastnosti materiálu. Při překročení hranice 2,14 hm.% uhlíku se daný materiál označuje jako litina. Podle obsahu uhlíku můžeme oceli rozdělit na [17]:

Nízkouhlíkové oceli – obsahují uhlík od 0,05 do 0,3 hm.% C. Nízký obsah uhlíku způsobuje dobrou houževnatost, nízkou mez kluzu, dobrou tvárnost a nízkou cenu. Využívá se pro automobilové díly, trubky, konstrukce a další. [17; 27]

Vysokopevnostní oceli – vychází z nízkouhlíkových ocelí do kterých jsou přidány legující prvky pro zvýšení pevnostních vlastností, jako je např. chrom, molybden, křemík a další. Při tepelném zpracování tyto přísady zvyšují mez kluzu, mez pevnosti a otěruvzdornost. Uplatnění těchto ocelí nachází např. v automobilovém a lodním průmyslu. [17; 27; 28]

Oceli s vyšším obsahem uhlíku – obsahují uhlík od 0,3 do 1,7 hm%. Vyšší obsah uhlíku se využívá při tepelném zpracování, kdy dochází k tvorbě martenzitu, který výrazně zvyšuje pevnost, tvrdost, otěruvzdornost, ale sníží tažnost, houževnatost. Díky svým vlastnostem mají tyto oceli užší zaměření než např. nízkouhlíkové oceli. Používají se pro výrobu ručních nástrojů, v pružinářském průmyslu, nebo pro výrobu vysokopevnostních drátů. [17; 27]

Pro výrobu razidel se využívá kalené, vysokouhlíkové nástrojové oceli (obr.14), která dosahuje nejvyšší životnosti ze všech používaných materiálů a má nejlepší mechanické vlastnosti, viz tab. 3. [29]

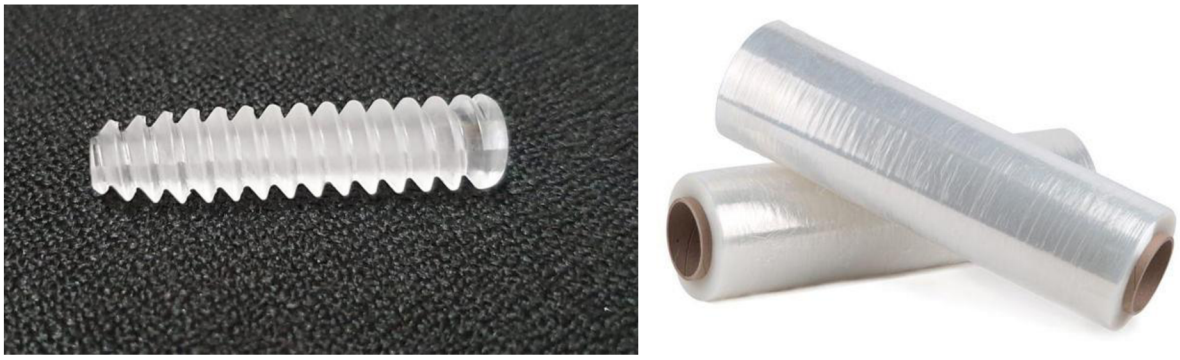
Tab. 3 Vlastnosti oceli 90MnCrV8. [30; 31]

Hustota [g/cm3]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Tvrdost [HRC]
7,85	740	210 000	60

Obr. 14 Ukázka ražeb s využitím ocelových razidel. [32]

1.4.4 PLA

PLA (Polylactic acid) je jedním z materiálů, které řadíme mezi bioplasty. Výroba tohoto termoplastu není závislá na ropném průmyslu a vyrábí se z obnovitelných zdrojů jako je např. bramborový škrob. Další charakteristikou tohoto materiálu je možnost recyklace a kompostování. Biodegrabilita materiálu je způsobena rozpadem hlavního řetězce působením vody, teploty, oxidace a další. Díky této vlastnosti má široké využití jak v medicínském průmyslu, tak při výrobě platových folií, viz obr. 15 [33; 34; 35; 36]



Obr. 15 Ukázka využití materiálu PLA. [37; 38]

PLA se vyznačuje vysokou tvrdostí a s tím je spojená i křehkost. Teplota tavení se pohybuje okolo 170°C a při 3D tisku se tak nekroutí a má menší tepelnou smrštivost. Je málo odolný proti zvýšené teplotě, kdy při 50°C ztrácí svoje mechanické vlastnosti, viz tabulka 4. [34; 35; 36]

Tab. 4 Mechanické vlastnosti PLA. [39; 40]

Hustota [g/cm3]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Deformace na mezi pevnosti [%]
1,25	45,3	2521	2,7

1.4.5 ABS

ABS (Akrylonitrilbutadienstyren) je termoplast amorfního charakteru, který je tvořen třemi monomery. Změnou poměru jednotlivých monomerů lze jednoduše upravovat výsledné vlastnosti polymeru. Např. butadien zvyšuje odolnost proti nárazu, ale způsobuje horší odolnost proti přírodním vlivům. Výhodou tohoto materiálu je cena vzhledem k mechanickým vlastnostem. ABS dosahuje dobré pevnosti (tab. 5) a odolnosti i proti chemikáliím, až na polární rozpouštědla. Díky nízké teplotě tání lze jednoduše zpracovávat a to jak vstřikováním tak extruzí, která se využívá při 3D tisku. Mezi nevýhody se řadí hořlavost i po odstranění plamene, špatná otěruvzdornost a degradace materiálu při působení přírodních vlivů např. UV záření. [41; 42]

Tab. 5 Mechanické vlastnosti ABS. [40; 43]

Hustota [g/cm3]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Deformace na mezi pevnosti [%]
1,05	29	1825	1,8

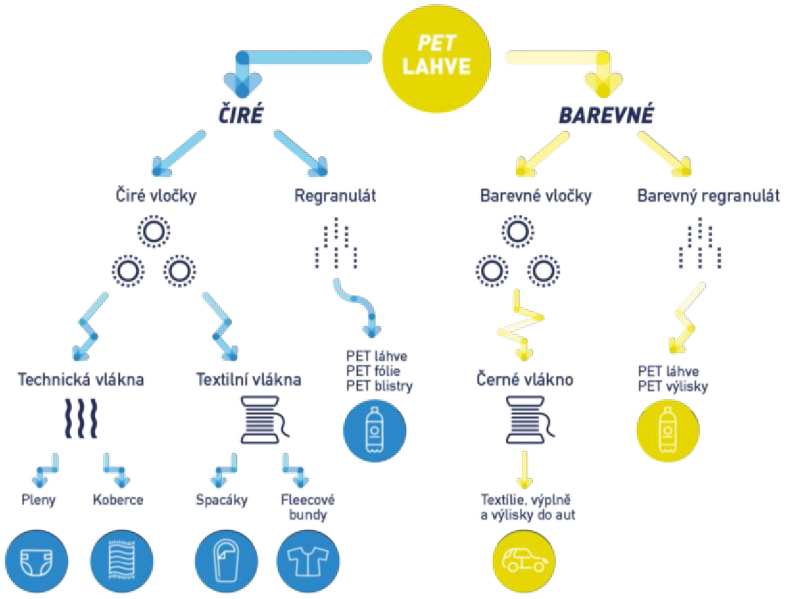
ABS nachází uplatnění při výrobě autodílů, krytů elektroniky, spotřebního zboží nebo hraček jako je např. lego. [41]

Při tvorbě raznic pomocí technologie 3D tiku je možné využít vyhlazování pomocí acetonu a docílit tak velmi hladký povrch, který se následně vyrazí do kůže a docílí se tak jemného přechodu bez viditelných vrstev. [44]

1.4.6 PET-G

Materiál PET-G vychází z materiálu PET, který se využívá např. pro výrobu v potravinářském průmyslu. Jedná se o termoplast plastický od 70 do 135 °C s vysokou pevností, odolností proti vlhkosti, kyselinám a rozpouštědlům. PET se vyskytuje jak v amorfním stavu, ve kterém je průhledný, tak v semikrystalickém, kdy je materiál neprůhledný. [35; 45]

PET je jeden z nejvíce využívaných plastů na světě. Nezastupitelný podíl má v potravinářském průmyslu, kde se využívá pro výrobu obalů na potraviny, např. lahve, ale využívá se i v oděvním průmyslu, kde se z recyklátu vyrábí vlákna pro šití oblečení viz obr. 16. [46]



Obr. 16 Využití recyklátu z PET lahví. [46]

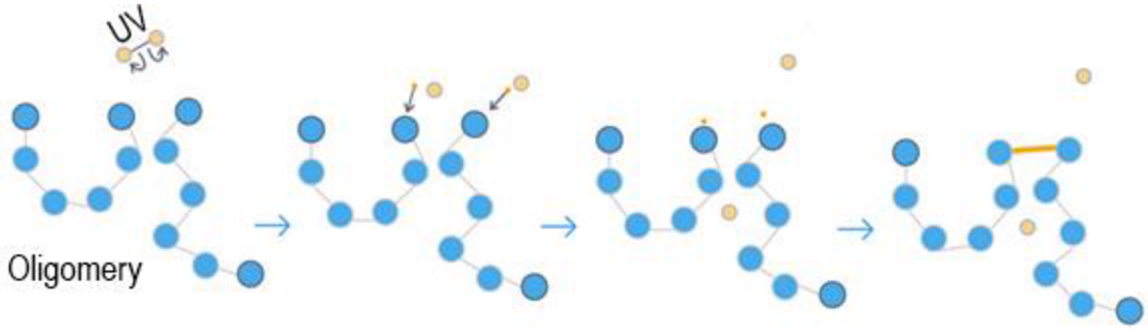
Při využití pro 3D tisk se tento materiál modifikuje glykolem, který zlepší vlastnosti (tab. 6) pro extruzi. Vyznačuje se vyšší pevností, odolností proti teplotě a lepší přilnavostí k tiskové podložce. Díky těmto vlastnostem je tento materiál vhodný pro tisk mechanických, voděodolných dílů. Využití dále nachází při tisku velkých modelů, jelikož se skoro nekroutí a má malou tepelnou roztažlivost. [47; 48]

Tab. 6 Mechanické vlastnosti PET. [40; 47]

Hustota [g/cm3]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Deformace na mezi pevnosti [%]
1,35	42,3	1809	4,1

1.4.7 Resin

Resiny se řadí mezi tekuté materiály, které jsou schopné fotopolymerace. Fotopolymerace znamená, že při působení emise světla se navazují nízko molekulární monomery a oligomery. Vzniká tak dlouhý řetězec, takzvaný polymer, viz obr. 17. [49; 50; 51]



Obr. 17 Vznik polymeru z nízko molekulárních monomerů a oligomerů. [49]

Na mechanické vlastnosti výsledného polymeru má vliv jak chemické složení monomerů, tak vzájemná provázanost vláken. Hustěji spletená vlákna způsobují vyšší pevnost (tab. 7), ale dochází i ke zvýšení křehkosti. [50; 51]

Tab. 7 Mechanické vlastnosti Resin. [40; 52]

Hustota [g/cm3]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Deformace na mezi pevnosti [%]
1,184	37,5	2076	2,4

Resiny se skládají z monomerů a oligomerů, které tvoří hlavní složky resinu. Dále to jsou fotoiniciátory a aditiva. Fotoiniciátory jsou molekuly reagující na světlo a iniciují polymerační reakci. Různými typy jednotlivých složek se vytváří resiny s různými vlastnostmi např. barva, průhlednost, odolnost proti teplotě a další. [49]

Pro vytvrdnutí resinu se v 3D tisku využívá světlo a UV laser. Světlo využívá metoda DLP a laser metoda SLA. [50]

Standardní resiny se využívají pro rychlé návrhy produktů. Dále se využívá pro výrobu šperků, nebo lékařských pomůcek, viz obr. 18. Ve většině případů se však tyto materiály specificky upravují na požadované využití a mají tak úzce specifikované využití. [49]

Obr. 18 Ukázka využití materiálu Resin. [49]

2 KŮŽE A JEJÍ DEKOROVÁNÍ

Surová kůže se získává stahování různých zvířat, avšak tu nelze rovnou využít v praxi. Nejdříve se musí vyčinit, z kůže se tak stává useň, která splňuje požadované vlastnosti. [53]

2.1 Suroviny pro výrobu usní

Pro výrobu usní je základním materiálem kůže zvířete. Zvířecí kůže se u každého jedince vyvíjí odlišně a záleží na mnoha faktorech. Mezi tyto činitele patří druh, rasa, stáří, výživa zvířete a další. Podle druhu zvířete dělíme kůže na [53]:

Hověziny – se získávají z hovězího dobytka. Jedná se o kůži již z dospělého zvířete, a proto je plocha i tloušťka kůže větší než u jiných zvířat. Při zpracování se odstraňuje podkožní vazivo a kůže je tak tvořena hlavně škárou. Pokožka tvoří asi 1,5 % tloušťky, následuje vrstva papilární (20 % tloušťky) a vrstva retikulární (75 % tloušťky). V papilární vrstvě jsou vlákna hustá a jemná a způsobují málo výrazný líc. Retikulární vrstva oproti tomu obsahuje pletivo husté, tlusté a pevné. [53]

Teletiny – vnikají zpracováním mláďat skotu, který je živený hlavně mlékem. Pletivo kožních vláken je husté a tenké. Papilární vrstva zde tvoří 30 % tloušťky. Na omak je kůže po vyčinění velmi hebká a jemná. Teletina je velmi drahý materiál, a proto se využívá na luxusní produkty. [53; 54]

Koziny – se získávají z různých druhů koz. Kůže je tvořena převážně papilární vrstvou, která u kozin dosahuje nad 50 % tloušťky. Koziny jsou typické svým ozdobným lícem, který vzniká po odstranění chlupů. Ty sahají hluboko do škáry a rostou ve skupině 3 až 5 chlupů. Retikulární vrstva je řidší, ale dostatečně pevná. Kozina je značně prodyšná a ohebná. [53]

Vepřovice – je tvořena pouze vrstvou retikulární. Vrstva papilární je v průběhu stahování odstraněna, jelikož je prorostlá tukem. Kůže obsahuje řídké rovné štětiny, které při odstranění zanechávají prohlubně. Líc vepřovice je značně prodyšný a otěru odolný. Využívá se hlavně na podšívkové usně. [53]

Koniny – jsou kůže získané nejen z koní, ale i hříbat, oslů, mulů a mezků. Škára je řidší oproti hovězinám a líc má výraznou kresbu, která připomíná kozinu. Koniny mají odlišné vlastnosti v různých oblastech, a proto je i zpracování různé. [53]

Skopovice – je kůže z různých druhů ovcí. Kvalita u skopovic je velmi nízká. Špatná jakost kůže je způsobena strukturou. Papilární vrstva tvoří přes 50 % tloušťky škáry a je velmi prostoupená tukovými buňkami, potními a mazovými žlázami, které po odstranění způsobí houbovitou a řídkou strukturu usně. [53]

2.2 Struktura kůže

Kůže je přírodní materiál, který ve svém průřezu není stejný a jednotlivé vrstvy mají odlišné vlastnosti i strukturu. U většiny živočichů se vyskytují tři vrstvy. A to pokožka, škára a podkožní vazivo. [53; 55; 56]

Kůže je tvořena jak organickými látkami, tak anorganickým. Do organických řadíme proteiny, které tvoří kolem 33 %. Nejdůležitějším proteinem je kolagen. Spojováním kolagenu se vytváří vlákna, která následným splétáním mohou vytvářet vlákna o tloušťce až 0,2 mm. Anorganické sloučeniny, které kůže obsahuje je např. voda (60 až 70 %) a minerály (0,35 až 0,5 %). [53; 55; 56]

- **Pokožka** je nejsvrchnější část kůže. Skládá se ze souvislých vrstev buněk, které vytváří nepravidelné výběžky do škáry. Tyto výběžky slouží k upevnění pokožky se škárou a k výživě. Nové buňky pokožky vznikají na pomezí pokožky a škáry, starší se zplošťují a vzdalují se od škáry, kde odumírají a odlupují se. Základní bílkovinou, která tvoří pokožku se nazývá keratin. Pokožka většinou tvoří asi 2 % celkové tloušťky kůže a při následném zpracování se odstraňuje. [53; 55]
- **Škára** je nejcennější část kůže, protože tato část se zpracovává na useň. Jedná se o nejtlustší vrstvu, která tvoří 70 až 90 % tloušťky. Struktura je tvořena kožními vlákny, která jsou mezi sebou provázaná. Čím provázanější je struktura, tím je kůže pevnější a má nižší tažnost. Ve škáře se nachází vlákna z několika druhů bílkovin. Hlavní vlákna jsou tvořena kolagenem. Dále škáru tvoří vlákna elastinová a retikulinová. Škára se dělí na dvě vrstvy, a to na vrstvu papilární a retikulární. Tyto dvě vrstvy jsou od sebe odděleny myšlenou plochou, která prochází chlupovými cibulkami. [53; 55]
  - **Papilární vrstva** je tvořena nejjemnějším pletivem. Hustota pletiva směrem k vnější vrstvě stoupá a líc je díky vysoké hustotě na omak hladký. Po vyčinění se neztrácí kresba a zůstávají zde otvory po chlupech, které mají vliv na prodyšnost usně. [53; 55]
  - **Retikulární vrstva** obsahuje řidší, ale tlustší vlákna. Poměr mezi retikulární a papilární vrstvou má vliv na mechanické vlastnosti a u každého druhu zvířete je tento poměr odlišný. U hovězin je 1:4, ale např. vepřovice papilární vrstvu neobsahují. [53; 55; 57]
- **Podkožní vazivo** je nejnižší vrstva kůže. Stejně jako škára je tvořena vlákny, která jsou hrubá. Dále obsahuje blány a ukládá se zde tuk. Slabé napojení vláken na svaly umožňuje jednoduché stažení kůže ze zvířete. Vrstva podkožního vaziva není využívaná při výrobě usní. Proto se v průběhu výroby odstraňuje a slouží k výrobě klihu. [53; 55; 57]
- **Chlupy** prostupují několika vrstvami a vyrůstají na pomezí papilární a retikulární vrstvy. Ve škáře se nachází vlasová cibulka, ze které vyrůstá šikmo chlup. Ten prostupuje pokožkou a na povrchu tvoří část zvanou stvol. Část chlupu nacházející se pod pokožkou je označena jako kořen. Chlupový kořen je nejmladší část a je nejméně odolný vůči chemikáliím. Nízká odolnost proti chemikáliím je využita ve zpracování pro částečné odchlupení. U chlupu se nachází přímící sval, který slouží k naježení srsti, nervy a vyživující cévky. Do chlupové dutiny je přiváděn maz z mazní žlázy, který slouží k maštění chlupů. [53; 55]

2.3 Rozdělení kůže

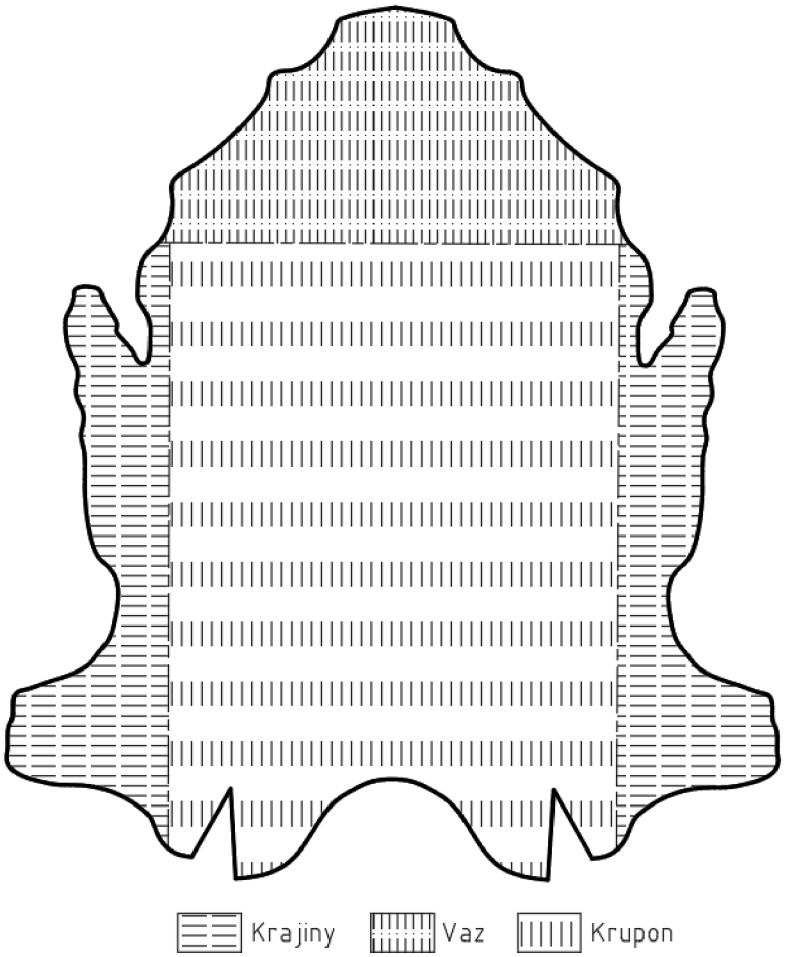
Useň není v celé své ploše stejně jadrná, neboli hustota vláken, která určuje hlavní mechanické chování, není ve všech místech stejná a kůži tak rozdělujeme do několika částí, viz obr. 19. [53; 58]

Nejdůležitější částí usně je krupon, které se nachází na hřbetě zvířete. Tato oblast pokrývá zadek, hřbet a žebra. Obsahuje nejhustší spleť vláken a má nejlepší vlastnosti z celého zvířete, proto je vhodné využití pro namáhané dílce. [53]

Další částí je vaz. Ten pokrývá za života zvířete krk. Tloušťka je přibližně stejná jako u jádra, ale je zde řidší jádro a často se zde vyskytují vrásky, které mohou ovlivnit vzhled. [53]

Oblasti s nejřidším spletením vláken jsou označeny jako krajiny, které jsou z oblasti břicha a nohou. Zde je pevnost nejnižší z celého zvířete a není vhodné využívat tuto oblast na namáhané díly. Jelikož je zde velmi řídké a tenké vlákno, useň zde dosahuje vysoké tažnosti. [53]

Celková plocha hovězí usně je u každého zvířete lehce odlišná, ale obsah se pohybuje v rozmezí 280 až 440 dm^2, přičemž největší obsah zaujímá krupon s rozměrem cca 180 dm^2, následuje vaz s plochou 120 dm^2 a nejmenší oblastí je krajina 45 dm^2. [59; 60; 61; 62]



Obr. 19 Rozdělení usně na jednotlivé oblasti. [58]

2.4 Výroba usně

Výroba usně z kůže je složitý proces, který se skládá jak z mechanických úprav, tak z chemických. Při výrobě je několik výrobních kroků prováděno za mokra, proto je potřeba velké množství vody o požadované kvalitě. Kvalitní užitková voda pro výrobu by měla být neutrální, čirá, s nízkým obsahem solí. Dalším požadavkem je nepřítomnost organických látek a mikroorganismů. Postup výroby můžeme rozdělit do třech fází, a to do fáze zpracování na holiny, činění a konečná úprava. [53; 63]

2.4.1 Zpracování kůží na holiny

Výroba holiny se skládá z několika operací, jejichž cílem je odstranit chlupy a podkožní vazivo.

Mezi jednotlivé operace řadíme: námok, odtučňování, loužení, odchlupování, mízdření, omykání, štípání, kruponování, odvápnění, moření. [53; 63]

Námok je první operace, při které se kůže věší do námokových jam s vodou, která má teplotu 12 až 18°C. Při vyšších teplotách je zkrácená doba námoku, ale zvyšuje se riziko vzniku hnilobných bakterií, které by znehodnotily kůži. Cílem námoku je zvýšit obsah vody na 70 až 75% a získat tak stav, který byl při procesu stahování. Dalším účelem námoku je odstranění konzervačních látek, očištění kůže a odstranění mezivláknitých bílkovin a navázání vody na kolagenová kožní vlákna, což způsobí zbobtnání. [53; 63]

Loužení následuje po námoku. V této operaci dochází k uvolnění pokožky a chlupů. Také se odstraní další podíl bílkovin a struktura kožních vláken se přizpůsobuje pro přístup činících látek. Působením chemikálií dochází k rozpouštění vlasových cibulek, které upevňují chlupy v kůži. Po rozpuštění se chlupy i s pokožkou jednoduše odstraní. Při vnikání vodních látek dochází k dalšímu bobtnání, které je výraznější než u námoku. Zbobtnalá kůže lépe přijímá chemikálie a je vhodnější pro proces činění. [53; 63]

Odchlupování vyloužené kůže je poměrně snadný krok, který se provádí na odchlupovacím stroji, který využívá tupé spirálové nože pro odstranění pokožky a chlupů [53; 63]

Mízdření je proces, u kterého se z rubu odstraňuje podkožní vazivo se zbytky podkožních blan a svalů. Mízdření se provádí strojově pomocí spirálových nožů. Při odřezávání nepotřebné části je kůže přitlačována pomocí pružného válce. Po provedení mízdření je rub vyrovnaný a lépe přijímá chemikálie. [53; 63]

Omykání má za cíl odstranit zbytky chlupových kořínků, pokožky a malých chlupů, které nebyly odstraněny při procesu loužení. Při omykání dochází k vytlačení uvolněných pigmentů a polorozpuštěných bílkovin, které by způsobily nerovnoměrné vyčinění. [53; 63]

Štípání je proces kde se kůže o různé tloušťce seřezává na požadovanou tloušťku. Odřezaná část se nazývá štípenka a je např. vhodná pro výrobu podšívkových usní. Štípání se provádí na štípacích strojích, které využívají nekonečný nůž pro odřezání nadměrné tloušťky. [53; 63]

Kruponování se provádí pro rozdělení kůže na jednotlivé části. Dělení kůže se provádí podle kvality, kterou určí zkušený pracovník. Kruponování hovězin se provádí na: půlky, štiky, krupony, vazy, krajiny a další. [53; 63]

Odvápnění je proces, u kterého se odstraňují volné i vázané chemikálie z předchozích operací. V teplé lázni se hydroxid vápenatý převádí na rozpustné vápenaté soli, které jsou jednoduše odstranitelné. [53; 63]

Moření je poslední operace při zpracování na holinu. Mořením se upraví mechanické vlastnosti. Zvyšuje se tažnost, měkkost a odbobtnaní. Proces moření se provádí v teplých enzymatických lázních, které způsobí štěpení bílkovin na aminokyseliny. [53; 63]

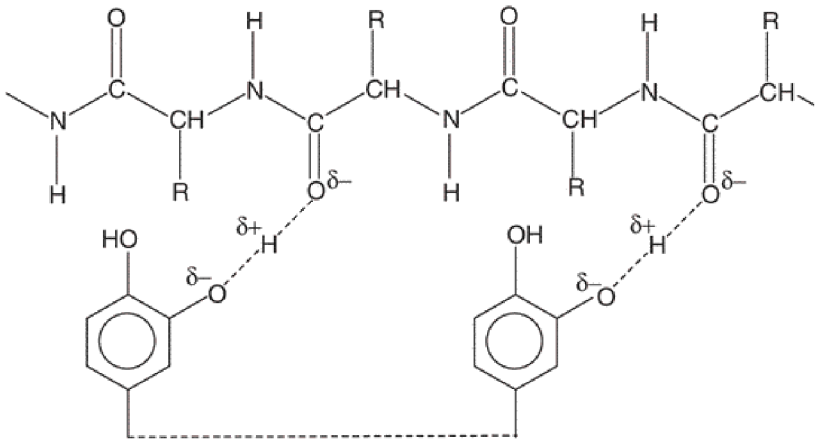
Piklování je proces, kdy se odvápněná kůže okyseluje a snižuje se jí tak pH. Kyselé prostředí je důležité pro rozpouštění činících látek, které se využívají při dalším zpracování. Okyselení se provádí pomocí piklu, který se vyrábí např. z kyseliny sírové. Celý proces se provádí v piklovací lázni o teplotě 18 až 25 °C po dobu několika hodin. [53; 64; 65]

2.4.2 Činění kůže

Činění je proces, kdy se kůže mění na useň. Cílem předchozích operací bylo co nejlépe připravit strukturu kůže na proces činění, kdy se z nabobtnalých kolagenových vláken odstraní voda a odbobtnatělá vlákna přijdou do kontaktu s činící látkou a vzniknou tak usňová vlákna, která se neslepí s ostatními a zůstávají volná. Useň je ve vyčiněném stavu odolná proti hnilobě, mikroorganismům, horké vodě, zachovává si pružnost a ohebnost. Po procesu činění vlákna nenasávají vodu. Vodu useň může přijmout pouze do mezivláknového prostoru. [53; 66]

Činících látek je několik a rozdělujeme je na organická, anorganická a kombinovaná činidla. Mezi anorganická činidla řadíme soli chromu, hliníku, železa a další. Nejdůležitějším organickým činidlem jsou třísloviny. [53; 66]

Činěním usně pomocí solí chromu vznikají usně lehké, pevné a trvanlivé. Při využití solí chromu je možno celý proces činění zkrátit na 4 až 24 hodin. Pro činění se využívají sudy, ve kterých je břečka obsahující chromité soli. Břečka se do sudu přidává postupně a při každé dávce se zvyšuje bazicita. Zvýšená bazicita má příznivý vliv na dobu činění, protože je zvýšená afinita kolagenu na chrom. [53; 64; 67]



Obr. 20 Model interakce mezi kolagenovým vláknem a třísloviou. [68]

Činění pomocí třísloviny je nejstarším procesem, který je z chemického pohledu složitý. Pro vyčiňovaní se využívají třísloviny, které mají schopnost se vázat na kolagenová vlákna a zabraňují tak rozkladu viz obr. 20. Třísloviny jsou organické látky s vlastnostmi jako je např. svíravá chuť, srážejí roztoky klihu, se solemi železa vytváří tmavé sraženiny a další. Třísloviné látky se běžně vyskytují ve všech druzích rostlin a plní zde funkci obrany proti škůdcům. Podle části rostliny, ze které je tříslovina získávána se nazývají: tříslodárné kůry, dřeva, plody, kořeny a další. [53; 67; 68]

Samotný proces činění se provádí několika způsoby jako je např. činění v chladných roztocích, činění v koncentrovaných roztocích, ohřívaných za tepla, kombinovné činění. [53]

2.5 Dekorování kůže

Při zdobení kůže je možné využít různé přístupy, které mají výrazný vliv na celkový design výrobku. Tyto přístupy můžeme rozdělit podle toho jestli deformují kolagenová vlákna a vytváří tak reliéf jako je například ražení, nebo na metody, které ovlivňují barvu kůže. Sem se řadí barvení, vypalování atd. Některé metody mohou kombinovat oba přístupy a vytváří tak tvarový ornament doplněný určitou barvou, jako je například horká ražba s využitím fólie. [69; 70]

2.5.1 Ruční dekorace

Ruční dekorace kůže patří do metod, které mění tvar kůže. Je to nejjednodušší metoda, která se využívá jak pro jednoduché obtahování ornamentu, tak pro složitější a detailnější design. Při ručním dekorování je kůže navlhčena a požadovaný tvar je do vlhké kůže vtláčen pomocí různých typů nástrojů. [69; 70]

Tato metoda je časově náročná jak na čas, tak na schopnosti umělce, který výtváří daný ornament. Výhodou je vysoká flexibilita při výrobě dekoru a možnost reagování na požadavky zákazníka. [69]

2.5.2 Ražení

Při ražení, stejně jako u ruční dekorace, je kůže deformovaná, ale požadovaný tvar není vytvořen ručně, nýbrž pomocí raznice, která má jasně definovanou geometrii. Při ražení menších raznic s opakujícími se vzory se využívají ruční raznice, které jsou údery kladiva vtlačeny do kůže. Pro tyto účely se převážně používají raznice z oceli, které mají vyšší životnost. Další možností je raznice vtláčet do kůže na lisu. [70]

Při ražení ornamentů je možné využívat více raznic a napojováním jednotlivých dekorů je vytvořen složitější design stejně jako u ruční dekorace. Sníží se tak potřebná doba na dekoraci produktu, ale je zachována určitá část kreativního přístupu umělce. Nevýhodou je potřeba mnoha nástrojů, aby nedošlo k přílišnému zjednodušení a nevznikl tak repetitivní motiv. Pokud je žádoucí vytvářet opakující se motiv je možno využít rotačních raznic, které dokážou vytvářet nekonečný motiv. Tyto raznice nachází uplatnění například při výrobě opasků nebo při dekorování popruhů, viz obr. 21. [71; 72]

Ražení pomocí raznic je hojně využíváno pro vtlačování loga nebo názvu výrobce do svých produktů. Při využití přípravků pro usazení raznice do požadované polohy je možné velmi rychle a efektivně razit motivy i pro větší série. [73]

Obr. 21 Ukázka ražení motivů na opasku. [71]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Návrh raznice

Při návrhu testovací raznice je potřeba vzít do úvahy všechny geometrické tvary, které se u raznic daného typu vyskytují a vybrat z nich ty, které jsou nejtypičtější nebo ty, které budou nejnáchylnější na možné vady. Proto při návrhu nebyly použity odstupňované raznice, jelikož u těchto typů raznic nedochází ke ztrátě vzpěrné stability a je u nich nejmenší nebezpečí zničení raznice při procesu ražení.

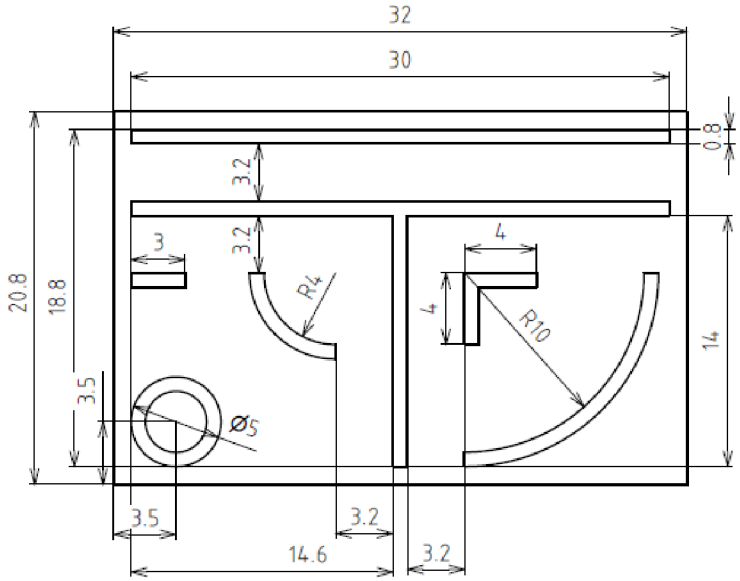
Mezi typické tvary, které jsou hojně využívány u všech raznic je dlouhá linie, která přechází plynule mezi dalšími liniemi. Na tyto hlavní linie se pod určitým úhlem napojují sekundární linie a vytváří tak složitější a detailnější tvary. Tyto sekundární linie mohou a nemusí být odlišné tloušťky a mohou být využity jako prvek stínování. Použití sekundárních linií má příznivý vliv na chování hlavní linie, která je lépe ukotvená a sníží se tak riziko ztráty vzpěrné stability.

Mezi nejkritičtější tvary, které může raznice obsahovat jsou velmi krátké úsečky a malé kruhy. Tyto tvary mají nejmenší průřez a mají nejmenší styčnou plochu se základem raznice. Malá styčná plocha způsobí, že při zatížení je tento tvar náchylnější na vybočení a odštípnutí v místě napojení. Tyto tvary jsou také složité na vytisknutí především u metody FDM a při špatném nastavení parametrů nedosahujeme požadované kvality pro ražení.

Mezi zvolené prvky raznice, která reprezentuje složitou raznici byly zahrnuty: rovná úsečka 20 mm, úsečka 3 mm, poloměr R8, poloměr R4, T napojení 20 × 10 mm, viz obr.22.

Výška reliéfu tvaru byla stanovena na 3 mm. Tato hodnota je maximální, kterou je potřeba pro ražení do kůže, jelikož nejtlustší kůže, která se běžně využívá je kůže tloušťky 4 mm. Při vyšších výškách raznice se zvyšuje nebezpečí vybočení linií a při nižších je možné do kůže vytvarovat základnu raznice a znehodnotit tak výrobek.

Pro ražení do kůží menších tlouštěk je možno tuto výšku upravit a snížit tak pravděpodobnost vybočení raznice a současně omezit dobu tisku raznice.



Obr. 22 Návrh raznice pro experiment.

3.2 Měření tvrdosti kůže

Tvrdost je definována jako vlastnost materiálu odolávat proti vnikání cizího tělesa. Kůže není homogenní materiál a tvrdost se v jednotlivých místech liší. Neheterogenita je způsobena hustotou pletiva kožních vláken, která je v jednotlivých částech odlišná. [74; 75]

Měření tvrdosti je provedeno v jednotlivých oblastech a to v oblasti kruponu, vazu a boku. V jednotlivých oblastech je změřeno několik bodů, ze kterých je následně vypočítána průměrná hodnota tvrdosti. [74]

Pro měření tvrdosti je využita metoda měření tvrdosti dle Shore. Tato metoda se využívá pro měření tvrdosti nekovových materiálů a je vhodná pro měření tvrdosti kůže. [74; 75]

Princip této metody, jako i jiných způsobů, je vnikání indentoru s definovanou geometrii do zkoušeného materiálu. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vtisku a je definována velikostí působící síly, době působící síly a geometrií indentoru. [74; 75]

Metoda dle Shore má několik stupnic např. Shore D, Shore A, Micro Shore a další. Každá stupnice je vhodná pro jiný typ materiálu. Shore D je vhodná pro tvrdší materiály jako je plast. Shore A je využívána pro měkké materiály jako jsou kaučuky, měkké gumy a kůže. [74; 75]

3.2.1 Shore A tvrdoměr

Tvrdoměr typu Shore A se skládá z opěrné patky, ze které se vysunuje kalený hrot. Zkušební hrot má geometrii zkoseného kuželu s vrcholovým úhlem 35° a menším průměrem 0,79 mm. Dále tvrdoměr obsahuje ukazatel délky vysunutí špičky. Poslední součástí je kalibrovaná pružina, která vytváří sílu při vtlačování hrotu do materiálu. Síla odporu je definována pro tvrdoměr typu Shore A rovnicí [75]:

$$F = 550 + 75\,H_A \tag{3.1}$$

kde: F – vtlačovaná síla [mN],

H_A – hodnota tvrdosti [Sh A]

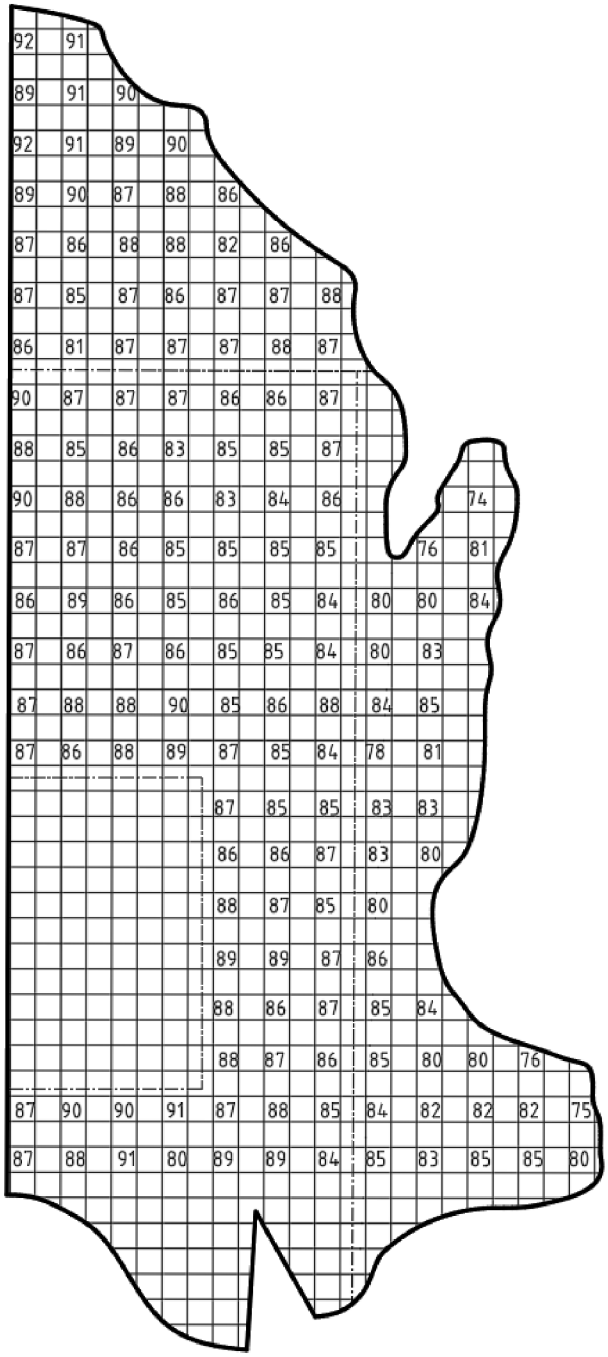
3.2.2 Požadavky na zkušební těleso

Norma ČSN EN ISO 868 požaduje, aby tloušťka zkoušeného materiálu byla minimálně 4 mm. Proto byla zvolena tloušťka materiálu nad požadovanou hodnotu 4 mm. Norma umožňuje seskládání tenčích vrstev materiálu, aby byla splněna podmínka tloušťky. Tato možnost ale nebyla využita, protože stavba kůže není v průřezu stejná a jednotlivé vrstvy kůže mají různé vlastnosti. [75]

Dále norma stanovuje, aby vtisky byly nejméně 9 mm od okraje. Zkoušený materiál musí být rovný na ploše o průměru 12 mm aby se opěrná patka tvrdoměru mohla opřít o zkoušený materiál. [75]

3.2.3 Výroba vzorků

Tvrdost kůže byla měřena na hovězí usni, která byla zakoupena od společnosti KUMO s.r.o. se sídlem v Jablůnce. Kůže byla objednána bez probarvení v tloušťce nad 2 mm. Celá polovina byla nafocena a byl vytvořen digitální obrys, který byl rozdělen na jednotlivé oblasti. Tyto oblasti byly následně rozděleny čtverci 40 × 40 mm, ve kterých byla měřena tvrdost. V oblasti kruponu byla vyhrazena plocha 280 × 500 mm pro měření vzorků ražeb. Jednotlivá měření tvrdosti se zaznamenávala do grafického nákresu, viz obr. 23.



Obr. 23 Naměřená tvrdost v jednotlivých místech.

3.2.4 Měření v oblasti hřbetu

Měření tvrdosti v oblasti hřbetu byla provedena tvrdoměrem Shore A. Jednotlivá měření byla vzdálená od sebe 80 mm a pro tuto oblast bylo naměřeno 34 hodnot, které byly následně zpracovány, viz tabulka 8**.** Nejvyšších hodnot dosahovala oblast nejblíže k hlavě, kde tvrdost dosáhla hodnotu 92 Sh A.

3.2.5 Měření v oblasti boku

V oblasti boku bylo naměřeno 34 hodnot, pro které byly vypočteny charakterizující hodnoty a zaneseny do tabulky 8. Jednotlivé hodnoty směrem od hřbetu klesaly, kde dosahovaly hodnoty 75 Sh A.

3.2.6 Měření v oblasti kruponu

Pro oblast kruponu bylo naměřeno nejvíce hodnot a to 88. Hodnoty byly měřeny v celém kruponu až na oblast, ze které byly vyřezány vzorky pro měření zátěžného tlaku při ražení.

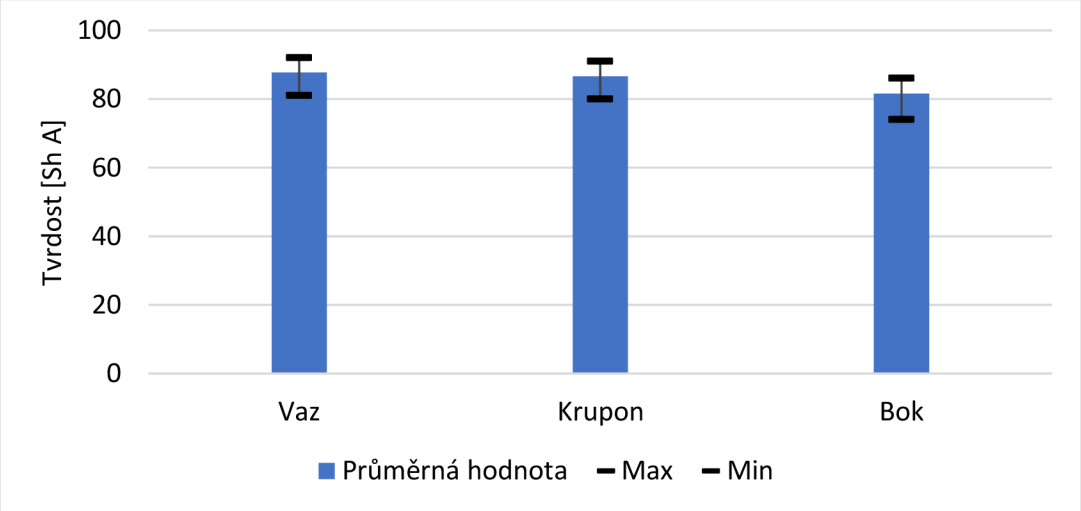
3.2.7 Porovnání naměřených hodnot

Pro každou oblast byla spočtena střední hodnota, směrodatná odchylka a medián, viz tabulka 8.

Tab. 8 Naměřené a vypočtené hodnoty pro jednotlivé oblasti.

Oblast	Vaz	Krupon	Bok
Střední hodnota	87,706	86,591	81,588
Medián	87	87	82
Směrodatná odchylka	2,431	1,885	3,115
Minimální hodnota	81	80	74
Maximální hodnota	92	91	86

Jednotlivé průměry, maximální a minimální naměřené hodnoty byly vloženy do grafu 1.



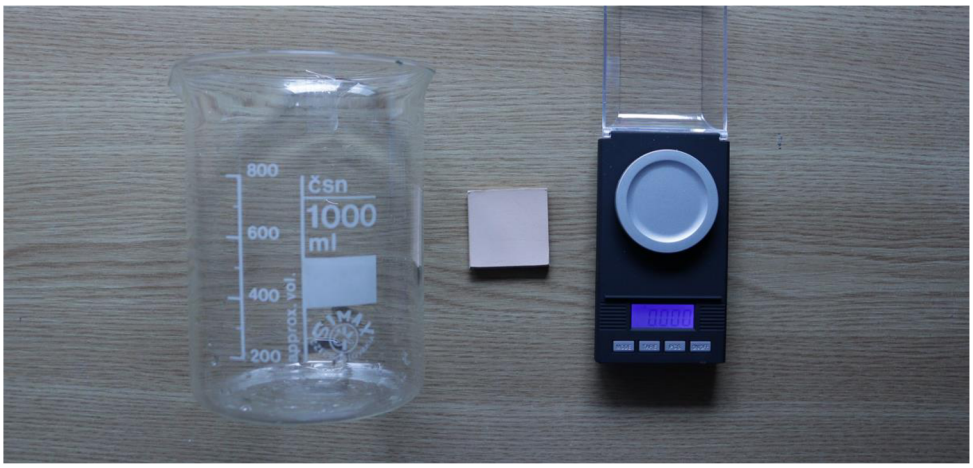
Graf 1 Srovnání tvrdosti jednotlivých oblastí.

Nejvyšší tvrdosti dosahoval vaz s průměrnou hodnotou 87,7 Sh A, následovala oblast kruponu (86,6 Sh A) a nejměkčí částí je bok s tvrdostí 81,6 Sh A. Bok dosahuje nejvyšší směrodatné odchylky 3,06 Sh A a nejnižší krupon.

3.3 Měření hmotnosti vody při navlhování

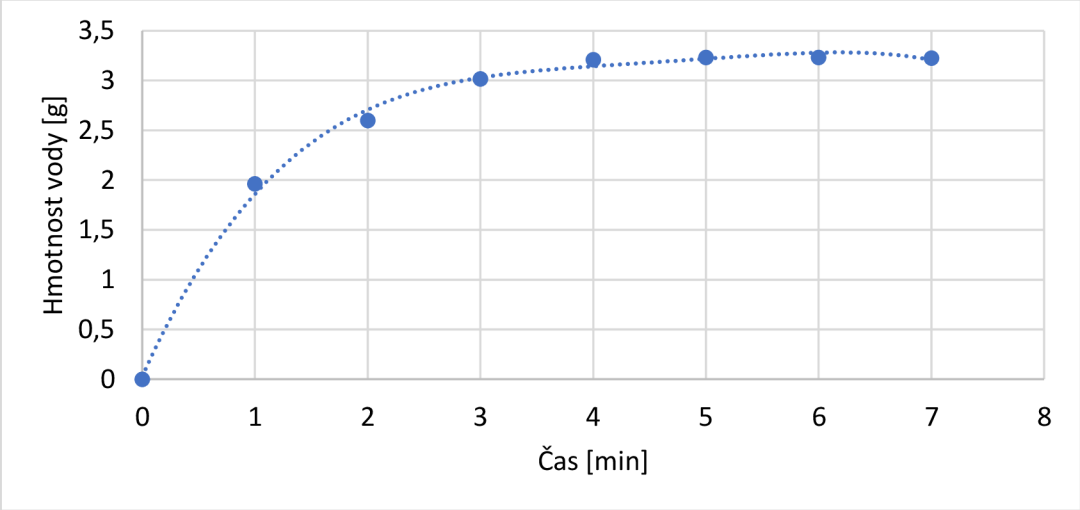
Obsah nasáté vody má výrazný vliv na proces ražení a je potřeba určit jak rychle a po jakou dobu je useň schopna nasávat tekutinu. Pro stanovení obsahu nasákávosti vody za statických podmínek existuje norma ČSN EN ISO 2417. Tato norma popisuje zkoušku, kdy se využívá Kubelkův aparát, do kterého se nalije přesné množství vody s přesností +-0,1 ml. [76]

Tato voda je následně přelita na kůži a nevsáknutý obsah vody je změřen. Rozdílem počátečního a koncového objemu vody je určeno množství vody v kůži. Tato metoda měří objem vody, který následně lze převést na hmotnost, ale pro měření hmotnosti vody byl navrhnut experiment, který využívá digitální váhu, viz obr. 24. [76]



Obr. 24 Pomůcky pro experiment.

Experiment spočívá v namočení vzorku kůže, o rozměru 40 × 40 mm do kádinky, která má danou výšku vodního sloupce, aby byl zajištěn stejný hydrostatický tlak. Po dané době je vzorek vyjmut a je změřena jeho hmotnost. Rozdílem počáteční a konečné hmotnosti získáme hmotnost nasáknuté vody, která je následně zanesena do grafu 2.

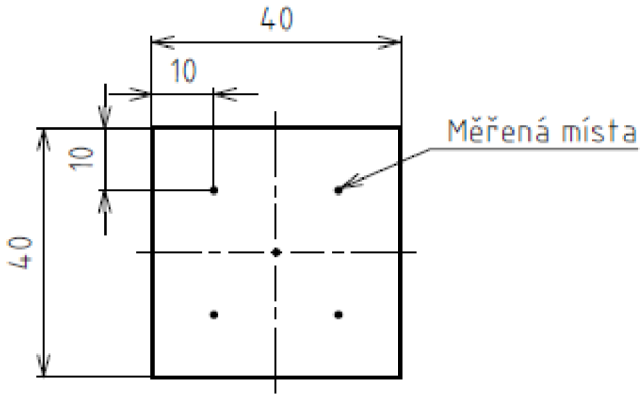


Graf 2 Závislost hmotnosti vsáknuté vody na čase.

Při měření hmotnosti vody bylo zjištěno, že po době 5 min vzorek nemění hmotnost obsažené vody a je plně nasáknut za daných podmínek.

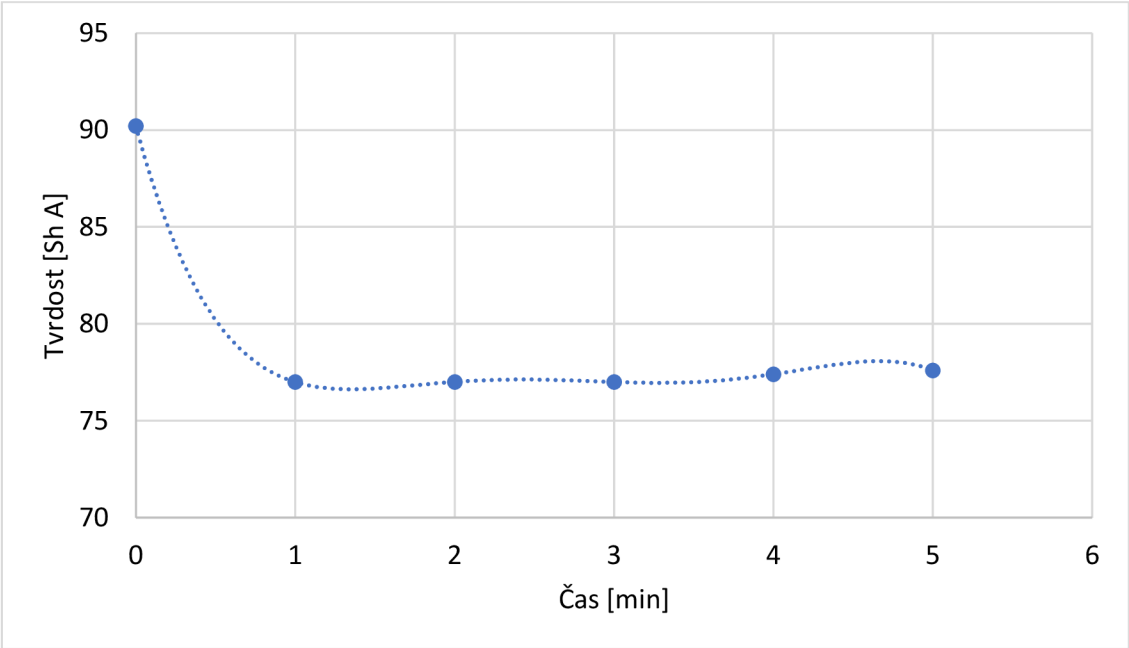
3.4 Měření vlivu nasáknuté vody

Aby mohla být stanovena optimální doba namáčení usně je potřeba zjistit vliv vody na mechanické vlastnosti materiálu. Jednotlivé vzorky, o rozměru 40 × 40 mm, byly vloženy do vody o teplotě 26 °C na dobu 1 min, po které byla změřena tvrdost na pěti místech viz obr. 25.



Obr. 25 Místa měření tvrdosti na vzorku

Jednotlivé naměřené tvrdosti byly zprůměrovány a následně zaneseny do grafu 3.



Graf 3 Závislosti tvrdosti na době vsakování vody.

Z rozboru grafu zjišťujeme, že tvrdost kůže už po 1 minutě klesne na hodnotu 77 Sh A, na které zůstává po celou dobu navlhování materiálu.

Srovnáním grafu hmotnosti nasáknuté kůže (graf 2) a tvrdosti (graf 3) je patrné, že není potřeba, aby pro snížení tvrdosti byla kůže plně nasycena vodou.

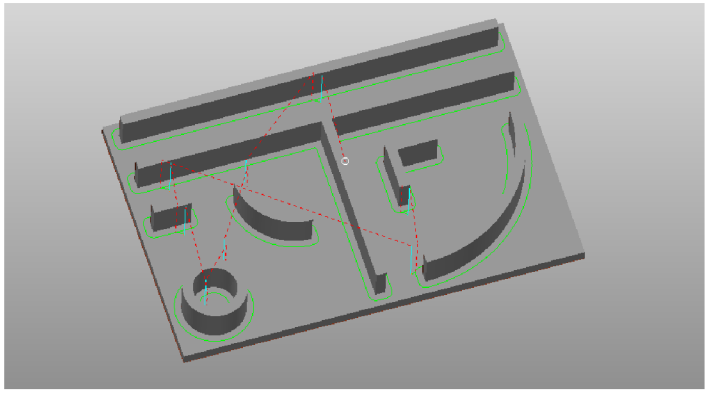
3.5 Měření tlaku při ražení

Pro měření tlaku při ražení byl navrhnut experiment, který se skládá z několika jednotlivých kroků. Prvním je výroba raznice jednotlivými technologiemi. Následuje samotná ražba a měření. V posledním kroku jsou naměřená data využita pro tvorbu grafů, ze kterých jsou určeny regresivní funkce popisující chování daného materiálu za daných podmínek.

3.5.1 Výroba raznice metodou CNC obrábění

Při výrobě raznice metodou CNC obrábění byla oslovena firma SIC-Venim, která má dlouholeté zkušenosti s výrobou razidel různého druhu. Tato firma pro výrobu raznice využila materiál Ms58, který byl následně obroben do požadovaného tvaru.

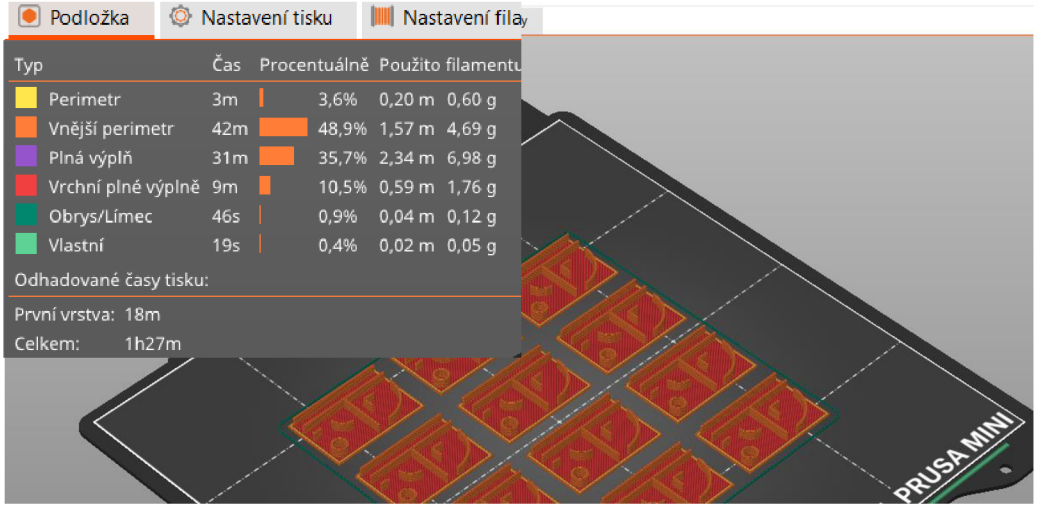
Pro výrobu tvarově složitých raznic je vhodné využít CAM programy, které urychlují a zjednodušují tvorbu programu pro obráběcí stroj. Zde se jednoduše nastaví jednotlivé dráhy, řezné podmínky a další parametry, které mají vliv na celkovou dobu obrábění, viz obr. 26.



Obr. 26 Ukázka drah zbytkového obrábění.

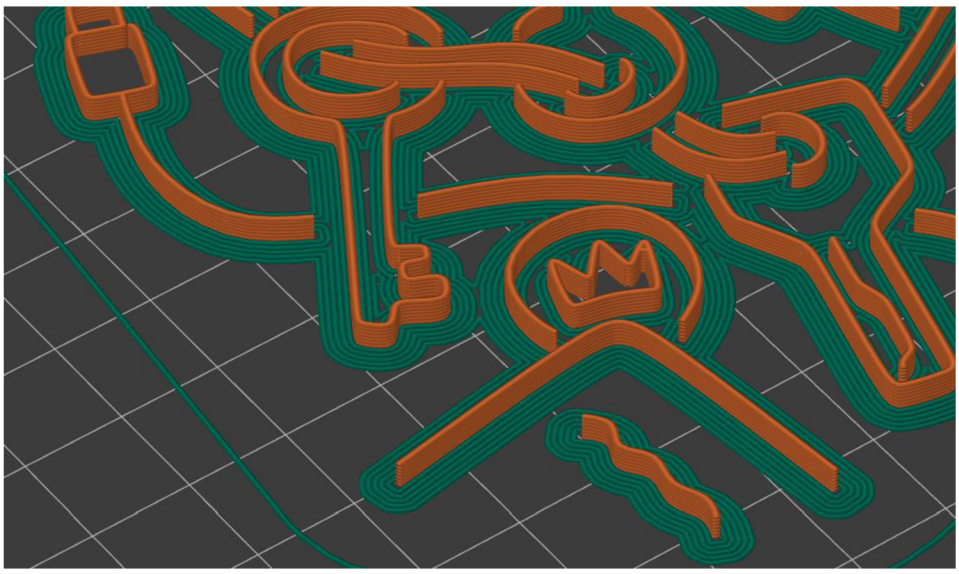
3.5.2 Výroba raznice metodou FDM tisku

Při výrobě raznic pomocí FDM tisku byla využita tiskárna Original Prusa mini, na které bylo možné tisknou všech deset vzorků najednou. U tisku vzorků bylo zvoleno přednastavené nastavení sliceru 0,20 mm QUALITY. Pro toto nastavení je výška vrstvy 0,2 mm a rychlosti tisku perimetrů 40 mm/s. Doba tisku raznice je z velké části závislá na rychlosti tisku vnějších perimetrů, které tvoří výslednou geometrii ražby, viz obr. 27.



Obr. 27 Odhadovaná doba tisku v programu PrusaSlicer.

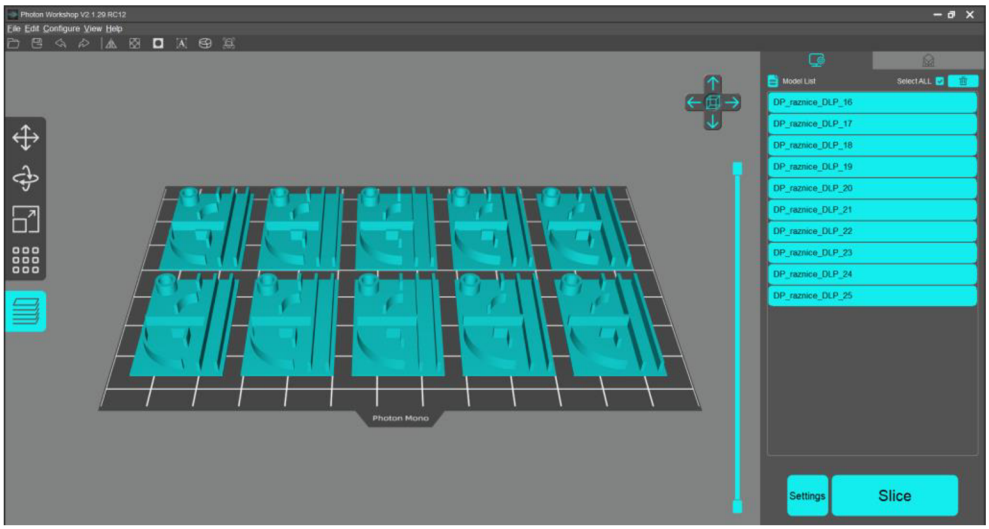
Celková doba tisku dvanácti vzorků byla 1 h 27 min. Tuto dobu je možné zkrátit jak nastavením jiných parametrů, které nemají vliv na výslednou ražbu, jako je například výška vrstvy, tak možnou úpravou geometrie raznice, kde se odstraní základní deska raznice a vytiskne se pouze ražená geometrie s využitím límce, viz obr. 28.



Obr. 28 Geometrická úprava raznice pro zrychlení tisku.

3.5.3 Výroba raznice metodou DLP tisku

Při výrobě metodou DLP byla využita tiskárny firmy Anycubic s označením Photon mono. Tiskárna disponuje tisknutelnou plochou 80 × 130 mm. Na tuto plochu bylo vloženo deset kusů vzorků, které byly pomocí programu Photon Workshop připraveny pro tiskárnu, viz obr.29. U DLP tiskárny má nejvyšší vliv na dobu tisku počet vrstev a doba vytvrzování jedné vrstvy. U tisku vzorků byla celková doba tisku 14 min. Následné vytvrzení bylo nastaveno na 4 min z horní strany a 2 min ze spodní strany. Celková doba tisku u této metody není rozhodující faktor, jelikož na celkovou dobu tisku má výrazný vliv i pracovník, který musí provést jednotlivé oplachy a očištění modelů.



Obr. 29 Ukázka programu Photon Workshop

3.5.4 Měření zátěžného tlaku při ražení

Měření byla provedena v oblasti kruponu, ze kterého byly vyřezány vzorky 40 × 30 mm pro lepší manipulaci. Tyto vzorky vyly vloženy na kalenou ocelovou podložku, která byla společně s raznicí ustavena do ručního hydraulického lisu. Při stlačování byla poloha odměřována úchylkoměrem a zátěžný tlak byl měřen pomocí manometru. Naměřený tlak a poloha razníku byly zaznamenávány po jednotlivých krocích. Jeden krok byl stanoven jako posunutí lisovníku o 0,1 mm. Odečtená data byla zaznamenána do excelové tabulky, kde byly následně zpracovány.

Naměřený tlak byl ponížen o hodnotu atmosférického tlaku a dalších vlivů. Tento zátěžný tlak byl následně převeden pomocí vzorce (3.2) na zátěžnou sílu, kterou vytváří hydraulický válec o průměru 50 mm.

$$F_z = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \tag{3.2}$$

kde: F_z – zátěžná síla [N],

p – zátěžný tlak [MPa],

D – průměr hydraulického válce [mm]

Při pěchování kůže předpokládám, že raznice se bude chovat jako tuhé těleso a že u kůže nedochází k přesouvání materiálu do stran, ale pouze k zhuštění kolagenových vláken a vytlačení vzduchu z mezivláknového prostoru. Plocha, která je takto zhušťována je pouze plocha pod raznicí. Tato plocha byla vypočtena z geometrie raznice pomocí programu Inventor Professional a rovnala se hodnotě 96,52 mm^2.

Vynesením zátěžné síly na polohu razníku získáme graf, který popisuje, jakou silou byl vzorek kůže pěchován. Vydělením této síly plochou kontaktu s raznicí získáváme napětí v kůži, viz vzorec 3.3

$$\sigma_p = \frac{F_z}{S_{raznice}} \tag{3.3}$$

kde: σ_p – přetvárné napětí [MPa],

F_z – zátěžná síla [N],

$S_{raznice}$ – Plocha kontaktu s raznicí [mm^2]

Pro každý materiál bylo provedeno pět měření pro lepší statistické vyhodnocení. Z naměřených a vypočtených grafů byly vytvořeny jednotlivé grafy. Při porovnání grafů napětí mosazi a ostatního materiálu bylo zjištěno, jestli raznice z daného materiálu dosahuje vlastností podobné konvenčně využívaného materiálu. Pokud jsou jednotlivé grafy od sebe výrazně odlišné znamená to, že zkoumaná raznice není stejně tuhá jako raznice z mosazi. Po provedení zkoušky je následně taky změřena výška raznice. Pokud je menší, než původní rozměr došlo k deformaci raznice a nelze ji znovu využít.

3.5.5 Měření materiálu Ms58.

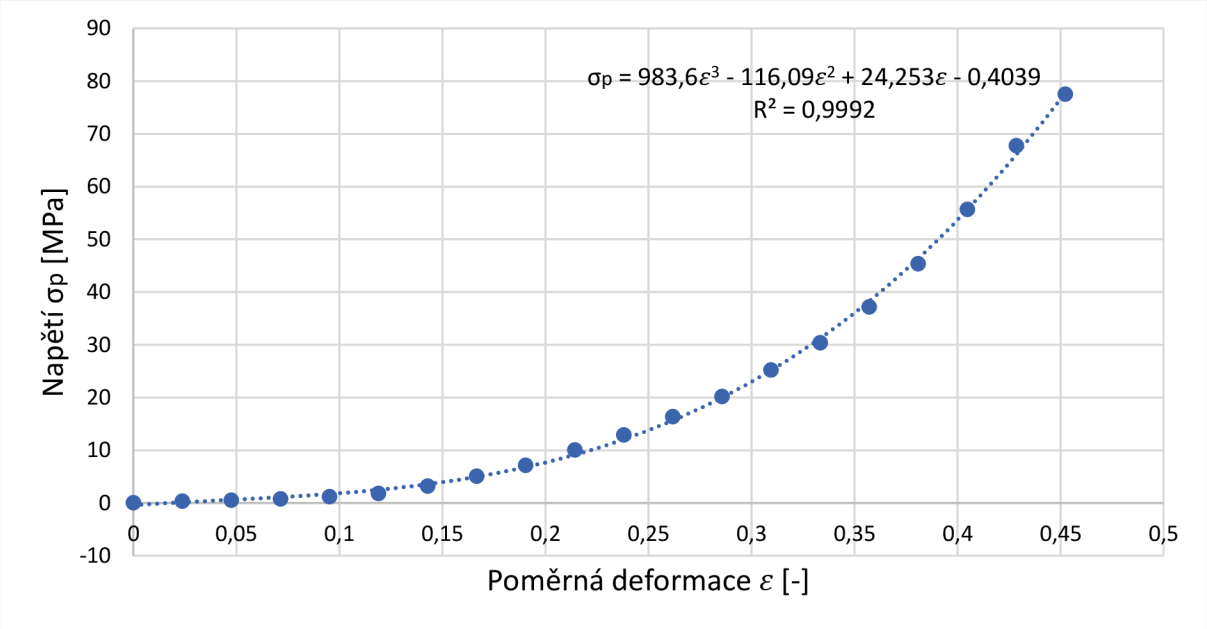
Mosazná raznice byla vyrobena frézováním firmou SIC-Venim. Materiál byl zvolen Ms58. Tato raznice díky svým mechanickým vlastnostem nejlépe charakterizuje napětí v kůži a naměřené hodnoty budou využity pro porovnání s ostatními raznicemi.

Měření bylo provedeno na hydraulickém lisu v počtu pěti vzorků. Vzorky kůže byly jak v suchém stavu, tak v namočeném. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulek 9,10.

Tab. 9 Ukázka naměřených dat pro suchou ražbu materiálem Ms58.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,01	0,01	0,02	0,015	0,03
0,2	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04
…	…	…	…	…	…
1,8	2,79	3,3	3,59	3,48	3,49
1,9	3,69	3,89	3,89	3,79	3,79

Z naměřených hodnot byly následně vyjádřeny sledované veličiny, které byly zaneseny do grafu 4.



Graf 4 Závislost napětí na poměrné deformaci při suché ražbě materiálem Ms58.

Z grafu je patrné, že chování kůže má exponenciální charakter, který byl popsán rovnicí:

$$\sigma_p = 983{,}6 \cdot \varepsilon^3 - 116{,}09 \cdot \varepsilon^2 + 24{,}253 \cdot \varepsilon - 0{,}4039 \tag{3.4}$$

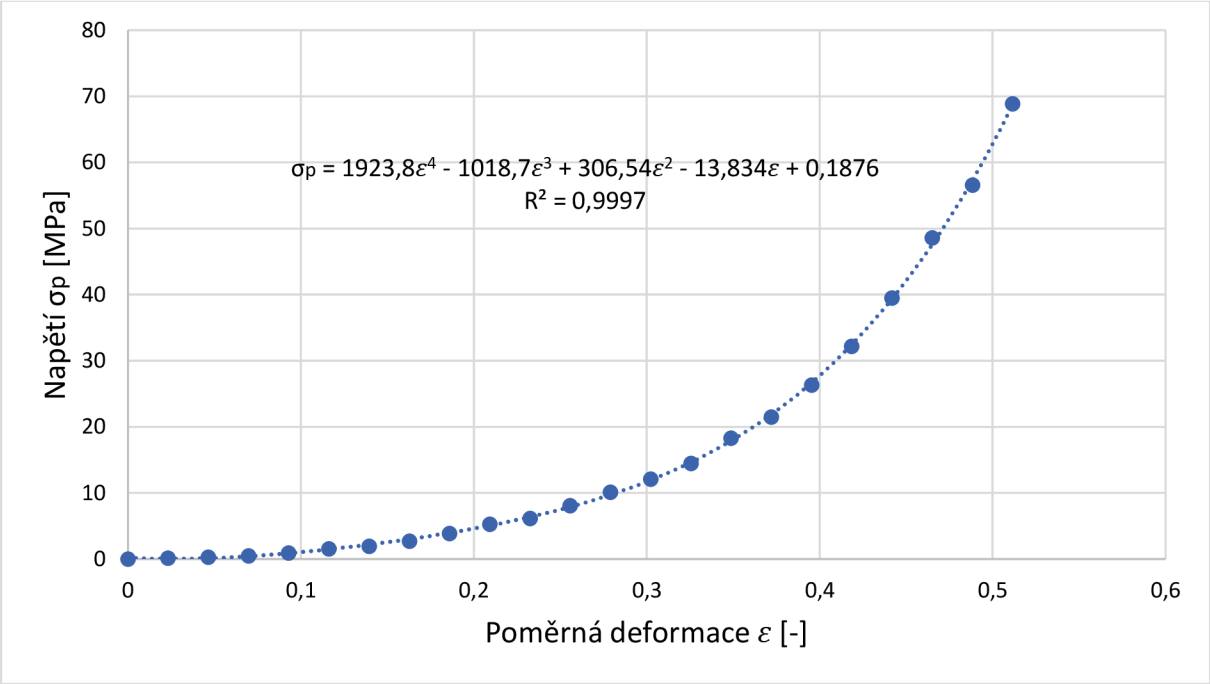
kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Při ražbě do mokré kůže byly jednotlivé vzorky namočeny do vody o teplotě 16 °C po dobu 5 min. Za tuto dobu neunikaly ze vzorků bublinky vzduchu a docílilo se tak vyplnění mezivláknového prostoru. Naměřené hodnoty se vynesly do tabulky 10.

Tab. 10 Ukázka naměřených dat pro mokrou ražbu materiálem Ms58.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,005	0,005	0,01	0,005	0,01
0,2	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
…	…	…	…	…	…
2,1	2,74	2,77	2,64	2,99	2,76
2,2	3,54	3,4	3,21	3,79	2,99

Při porovnání naměřených tlaků je patrné, že obsah vody výrazně sníží požadovaný zátěžný tlak při stejné hloubce ražby. Z těchto dat byly následně spočítané hodnoty, které se zanesly do grafu 5.



Graf 5 Závislost napětí na poměrné deformaci při mokré ražbě materiálem Ms58.

Exponenciální křivka nemá tak strmý charakter jako při ražení do suché kůže a byla popsána rovnicí:

$$\sigma_p = 1923{,}8 \cdot \varepsilon^4 - 1018{,}7 \cdot \varepsilon^3 + 306{,}54 \cdot \varepsilon^2 - 13{,}834 \cdot \varepsilon + 0{,}1876 \qquad (3.5)$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

3.5.6 Měření materiálu PET-G

Pro raznici vyrobenou z materiálu PET-G od výrobce 3DFiL byla nastavena teplota tisku 230 °C a teplota vyhřívané podložky 80°C. Ostatní parametry tisku byly určeny ze základního profilu pro tisk tohoto materiálu, který je možné nastavit ve sliceru od firmy Prusa Research.

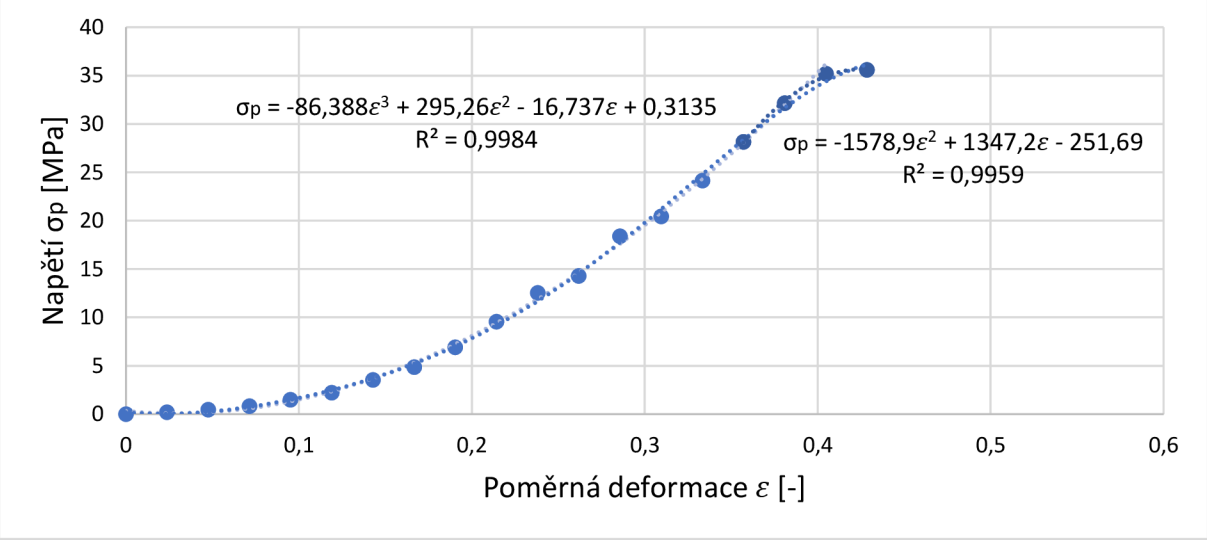
Samotný tisk raznic byl proveden na tiskárně Prusa mini, která byla schopna tisknout všech 10 vzorků pro daný materiál naráz.

Vytištěné raznice byly následně využity pro měření tlaku při ražení do suché a mokré kůže. Jednotlivé hodnoty byly zaznamenány do tabulky 11.

Tab. 11 Ukázka naměřených dat pro suchou ražbu materiálem PET-G.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,01	0,015	0,005	0,01	0,01
0,2	0,02	0,03	0,01	0,015	0,04
…	…	…	…	…	…
1,7	1,79	1,79	1,59	1,69	1,79
1,8	1,89	1,69	1,69	1,59	1,89

Z naměřeného tlaku byl následně vypočtena zátěžná síla a napětí v kůži. Napětí bylo následně zaneseno do grafu 6. Rozborem grafu je zjištěno, že raznice při dosažení poměrné deformace 40 % začne vybočovat a dojde k poklesu měřeného tlaku. Tato poměrná deformace rozděluje chování při ražení na oblast I a oblast II



Graf 6 Závislost napětí na poměrné deformaci při suché ražbě materiálem PET-G.

Pro oblast I, kdy dochází pouze k deformování kůže byla stanovena polynomická regresivní funkce třetího řádu:

$$\sigma_p = -86{,}388 \cdot \varepsilon^3 + 295{,}26 \cdot \varepsilon^2 - 16{,}737 \cdot \varepsilon + 0{,}3135 \tag{3.6}$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Pro celý interval byla zvolena funkce pátého řádu:

$$\sigma_p = -9825{,}8 \cdot \varepsilon^5 + 7853 \cdot \varepsilon^4 - 2072{,}2 \cdot \varepsilon^3 + 453{,}95 \cdot \varepsilon^2 - 16{,}784 \cdot \varepsilon + 0{,}197 \quad (3.7)$$

Rovnice 3.7 je regresivní funkcí jak deformace kůže, tak vybočení raznice. Pro popis chování kůže při deformaci není vhodnější než funkce 3.6 a pro oblast II byla stanovena funkce:

$$\sigma_p = -1578{,}9 \cdot \varepsilon^2 + 1347{,}2 \cdot \varepsilon - 251{,}69 \quad (3.8)$$

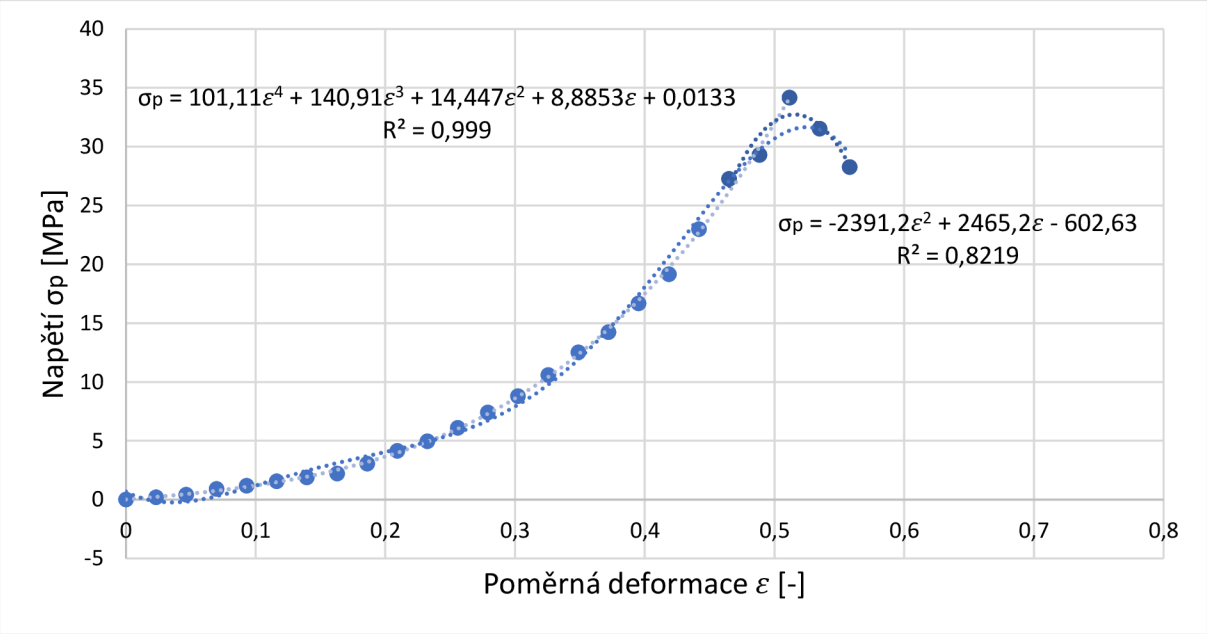
Rovnice 3.8 popisuje chování raznice v oblasti II. Pro tuto část zatěžování je charakteristické vybočení raznice a k následnému poklesu zátěžné síly. Tvar poklesu napětí je podobný u každého měřeného vzorku, ale začátek vybočení se liší u jednotlivých měření.

Pro druhou sadu pěti vzorků byl proveden stejný postup měření tlaku, viz tab. 12, ale měření bylo provedeno do mokré kůže, která byla namáčena po dobu 5 min ve vodě o teplotě 16°C.

Tab. 12 Ukázka naměřených dat pro mokrou ražbu materiálem PET-G.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,2	0,02	0,02	0,015	0,02	0,03
…	…	…	…	…	…
2,1	1,49	1,39	1,44	1,49	1,39
2,2	1,64	1,69	1,69	1,79	1,59

Z naměřených hodnot byly následně vypočítána poměrná deformace, pěchovací síla a napětí, viz graf 7.



Graf 7 Závislost napětí na poměrné deformaci při mokré ražbě materiálem PET-G.

Stejně jako u ražby do suché kůže se vyskytují typické oblasti I a II.

Pro oblast I byla stanovena rovnice:

$$\sigma_p = 101{,}11 \cdot \varepsilon^4 + 140{,}91 \cdot \varepsilon^3 + 14{,}447 \cdot \varepsilon^2 + 8{,}8853 \cdot \varepsilon + 0{,}0133 \quad (3.9)$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Pro celý zatěžný cyklus byla zvolena rovnice:

$$\sigma_p = -13120 \cdot \varepsilon^5 + 15882 \cdot \varepsilon^4 - 6472{,}3 \cdot \varepsilon^3 + 1144 \cdot \varepsilon^2 - 59{,}155 \cdot \varepsilon + 0{,}687 \quad (3.10)$$

A pro oblast vybočení raznice:

$$\sigma_p = -2391{,}2 \cdot \varepsilon^2 + 2465{,}2 \cdot \varepsilon - 602{,}63 \quad (3.11)$$

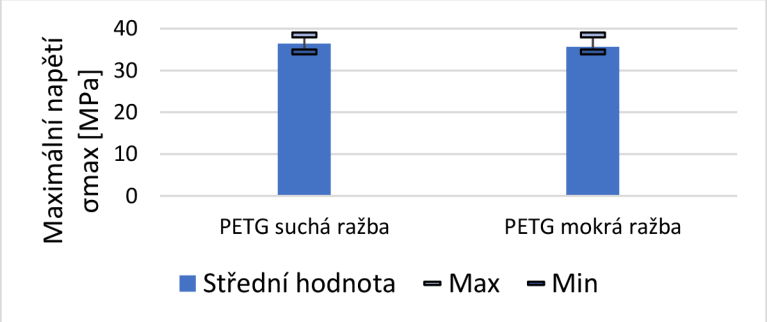
Při porovnání ražení do suché a mokré kůže zjišťujeme, že při stejném napětí v kůži dochází k větší deformaci kůže. Například pro hodnotu napětí 20 MPa dosahuje suchá kůže poměrné deformace 31 % a mokrá 42%.

Z jednotlivých měření byly získány maximální zátěžné tlaky, ze kterých bylo vypočteno napětí, pro které došlo k vybočení raznice. Z těchto hodnot byly vypočteny základní statistické parametry, viz tabulka 13.

Tab. 13 Statistický rozbor pro maximílní zatížení před vybočením pro materiál PET-G.

	Mokrá ražba		Suchá ražba	
Střední hodnota [MPa]	35,600		36,414	
Medián [MPa]	34,379		36,414	
Směrodatná odchylka [MPa]	1,820		2,034	
Minimální hodnota [MPa]	34,379		34,379	
Maximální hodnota [MPa]	38,448		38,448	
Hladina spolehlivosti	95 %		95 %	
Interval spolehlivosti [MPa]	33,341	37,859	33,888	38,940

Střední hodnoty maximálního napětí jsou od sebe odlišné o 0,816 MPa (graf 8). Tuto odchylku může způsobovat vliv neheterogenity kůže, ale lze usoudit, že vliv vody neovlivní, při jakém napětí dojde k vybočení raznice.



Graf 8 Maximální napětí před vybočením raznice.

3.5.7 Měření materiálu PLA

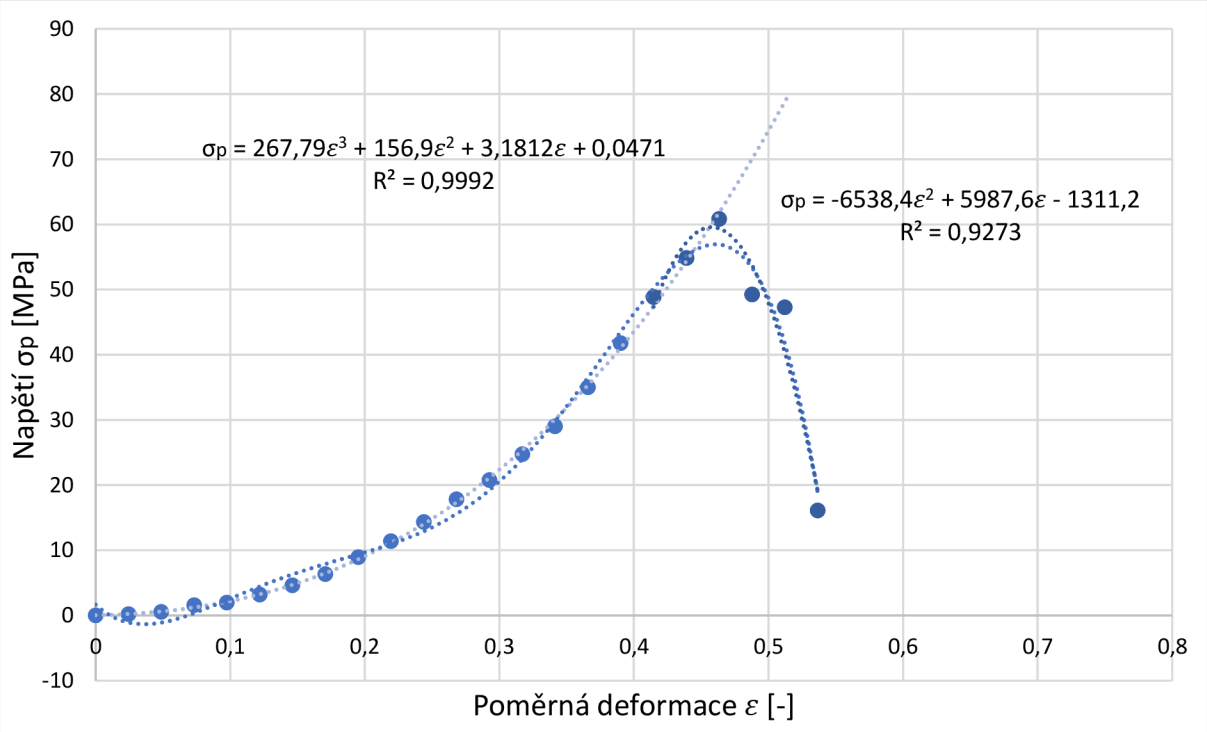
Vzorky raznic byly vyrobeny z materiálu PLA od společnosti Plasty Mladeč. Tisk vzorků byl jednodušší než u předchozího materiálu, jelikož teplota tisku i ohřev podložky nemusí být tak vysoký. Pro tisk byla zvolena teplota 215 °C a pro tiskovou podložku 60°C. Jednotlivé tiskové parametry byly nastaveny podle přednastaveného profilu pro tento materiál. Mezi hlavní nastavené parametry ovlivňující kvalitu tisku se řadí např. výška vrstvy a rychlost tisku. Výška vrstvy byla pro trysku 0,4 mm nastavena na 0,2 mm a rychlost tisku perimetrů 40 mm/s.

Pro jednotlivé vzorky byla provedena ražba do suché kůže a jednotlivé hodnoty byly zaneseny do tabulky 14.

Tab. 14 Ukázka naměřených dat pro suchou ražbu materiálem PLA.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,02	0,005	0,005	0,01	0,01
0,2	0,06	0,01	0,01	0,03	0,02
…	…	…	…	…	…
1,8	2,69	2,61	2,79	2,79	2,59
1,9	3,04	2,99	2,99	3,04	2,89

Z naměřených hodnot byly vypočteny sledované parametry, které byly využity pro tvorbu grafu 9.



Graf 9 Závislost napětí na poměrné deformaci při suché ražbě materiálem PLA.

Na grafu byly stejně jako u předchozích materiálů určeny oblasti, ve kterých dochází ke spěchování materiálu a k vybočení raznice.

Pro oblast I byla vyjádřená rovnice:

$$\sigma_p = 267{,}79 \cdot \varepsilon^3 + 156{,}9 \cdot \varepsilon^2 + 3{,}1812 \cdot \varepsilon + 0{,}0471 \tag{3.12}$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Pro celý průběh zatěžování byla určena rovnice:

$$\sigma_p = -52489 \cdot \varepsilon^5 + 58122 \cdot \varepsilon^4 - 22148 \cdot \varepsilon^3 + 3670{,}7 \cdot \varepsilon^2 - 189{,}08 \cdot \varepsilon + 1{,}652 \tag{3.13}$$

Pro oblast II kdy dochází k velmi rychlé ztrátě vzpěrné stability byla navrhnuta regresivní funkce druhého řádu:

$$\sigma_p = -6538{,}4 \cdot \varepsilon^2 + 5987{,}6 \cdot \varepsilon - 1311{,}2 \tag{3.14}$$

Pro materiál PLA byl typickým projevem vybočení nalomení v oblasti napojení na základní materiál. Pro zlepšení tohoto jevu je možné upravit napojení geometrie raznice na základní podložku a snížit tak koncentrátor napjatosti. Tato konstrukční úprava by měla vést ke zlepšení chování raznice při zatěžování.

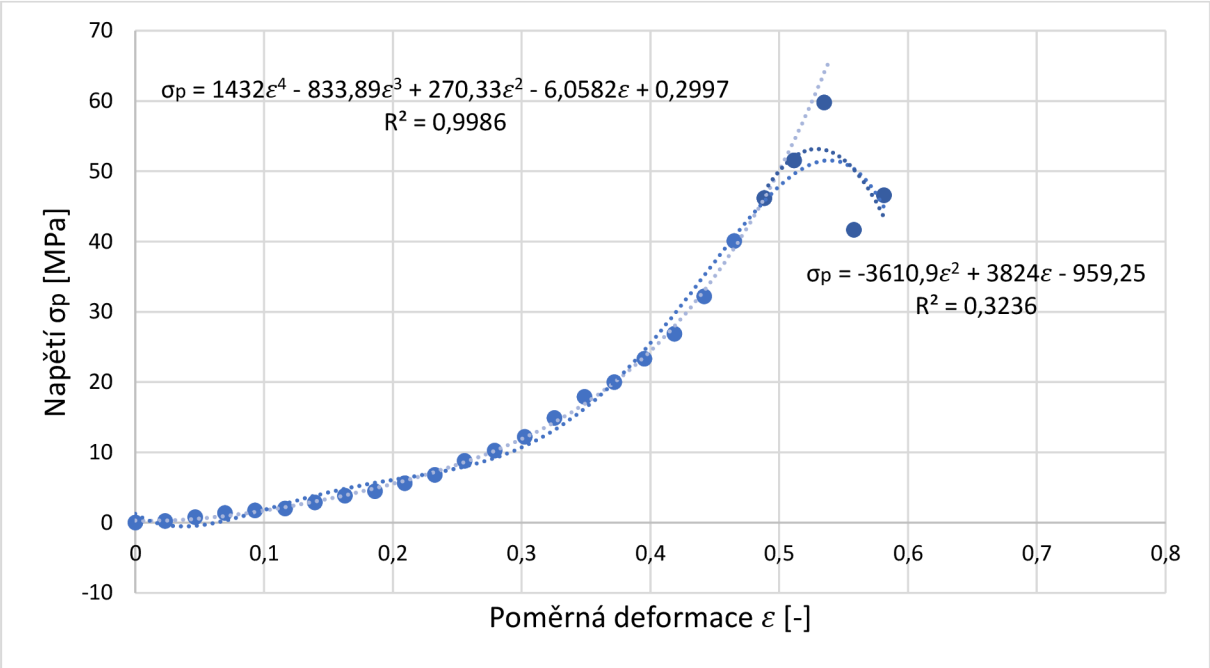
Druhá sada pěti vzorků byla ražena do kůže, která byla před samotnou zkouškou namočena na 5 min do vody o teplotě 16°C. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky 15 a následně z nich byly vyhodnoceny potřebné veličiny.

Tab. 15 Ukázka naměřených dat pro mokrou ražbu materiálem PLA.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
0,2	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05
…	…	…	…	…	…
2,2	2,39	2,24	2,64	2,69	2,71
2,3	2,69	2,79	2,99	3,09	3,14

Už z naměřených hodnot zátěžného tlaku lze pozorovat, že při ražení do mokré kůže dochází ke snížení tlaku při stejné hloubce deformace kůže. Například pro deformaci kůže 1,5 mm byl průměrný naměřený tlak u suché kůže roven hodnotě 1,72 MPa u mokré kůže to bylo pouze 0,88 MPa. Díky tomu je možné do mokré kůže vytvořit hlubší reliéfy a získat tak výraznější znázornění vyraženého vzoru.

Z jednotlivých naměřených tlaků byly vypočteny potřebné veličiny a ty byly využity pro tvorbu grafu 10.



Graf 10 Závislost napětí na poměrné deformaci při mokré ražbě materiálem PLA.

U materiálu PLA při ražení do mokré kůže byly pozorovány oblasti I a II.

U oblasti I pozorujeme plytčí chování, než u ražby do suché kůže a byla charakterizována rovnicí:

$$\sigma_p = 1432 \cdot \varepsilon^4 - 833{,}89 \cdot \varepsilon^3 + 270{,}33 \cdot \varepsilon^2 - 6{,}0582 \cdot \varepsilon + 0{,}2997 \tag{3.15}$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Celý zátěžný cyklus byl popsán rovnicí pátého řádu:

$$\sigma_p = -21628 \cdot \varepsilon^5 + 27184 \cdot \varepsilon^4 - 11477 \cdot \varepsilon^3 + 2052{,}8 \cdot \varepsilon^2 - 110{,}32 \cdot \varepsilon + 1{,}27 \tag{3.16}$$

Pro oblast II se stanovila rovnice:

$$\sigma_p = -3610{,}9 \cdot \varepsilon^2 + 3824 \cdot \varepsilon - 959{,}25 \tag{3.17}$$

Oblast vybočení raznice je u tohoto materiálu velmi rychlá a nedochází k postupné deformaci raznice, nýbrž k okamžitému nalomení a zatlačení ulomených částí do kůže. Tím dochází k okamžité a nevratné vadě nejen na raznici, ale i na kůži.

Z naměřených hodnot byly určeny maximální hodnoty tlaku, kterých raznice dosahuje. Z těchto dat byla následně určena jednotlivá napětí, která byla zpracována statistickým rozborem. Jednotlivé statistické hodnoty byly vloženy do tabulky 16.

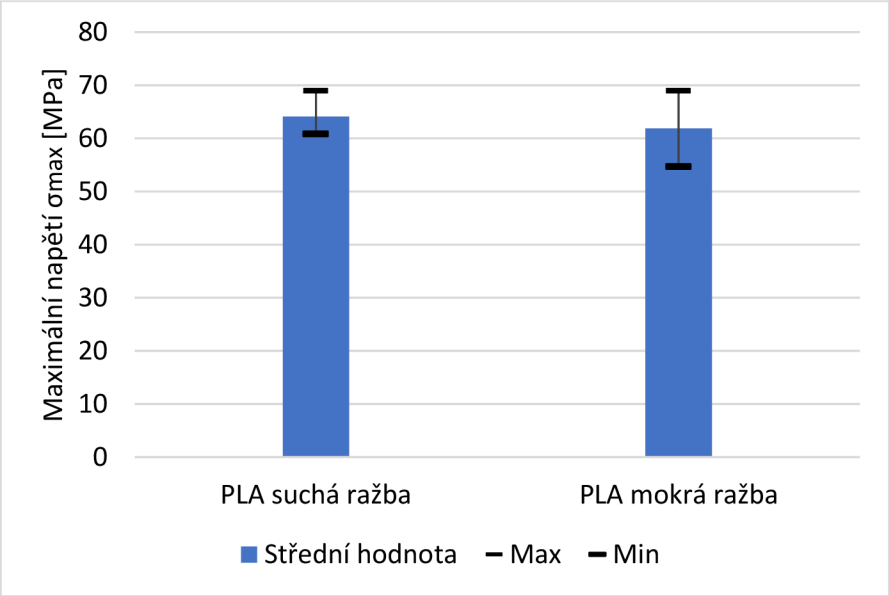
Tab. 16 Statistický rozbor pro maximílní zatížení před vybočením pro materiál PLA.

	Mokrá ražba		Suchá ražba	
Střední hodnota [MPa]	61,84		64,08	
Medián [MPa]	63,877		63,877	
Směrodatná odchylka [MPa]	5,93		3,17	
Minimální hodnota [MPa]	54,722		60,825	
Maximální hodnota [MPa]	68,962		68,962	
Hladina spolehlivosti	95 %		95 %	
Interval spolehlivosti [MPa]	54,48	69,21	60,15	68,01

Střední hodnoty pro maximální napětí před ztrátou stability se liší o cca 2 MPa. Předpokládané způsobení této odchylky jsou lehce odlišné vlastnosti kůže a možnost zkreslení dat nízkým počtem vzorků.

Při pohledu na směrodatnou odchylku je zjištěno, že pro ražení do mokré kůže je rozptyl hodnot skoro 2x větší než u ražení do sucha. Z toho plyne, že hodnoty pro maximální napětí se více liší od střední hodnoty. Chování maximálního napětí je proto při ražení do mokré kůže méně přesné a je složitější predikování, jak se raznice bude chovat v těchto zatíženích.

Naměřené hodnoty byly následně vloženy do grafu 11.



Graf 11 Maximální napětí před vybočením raznice.

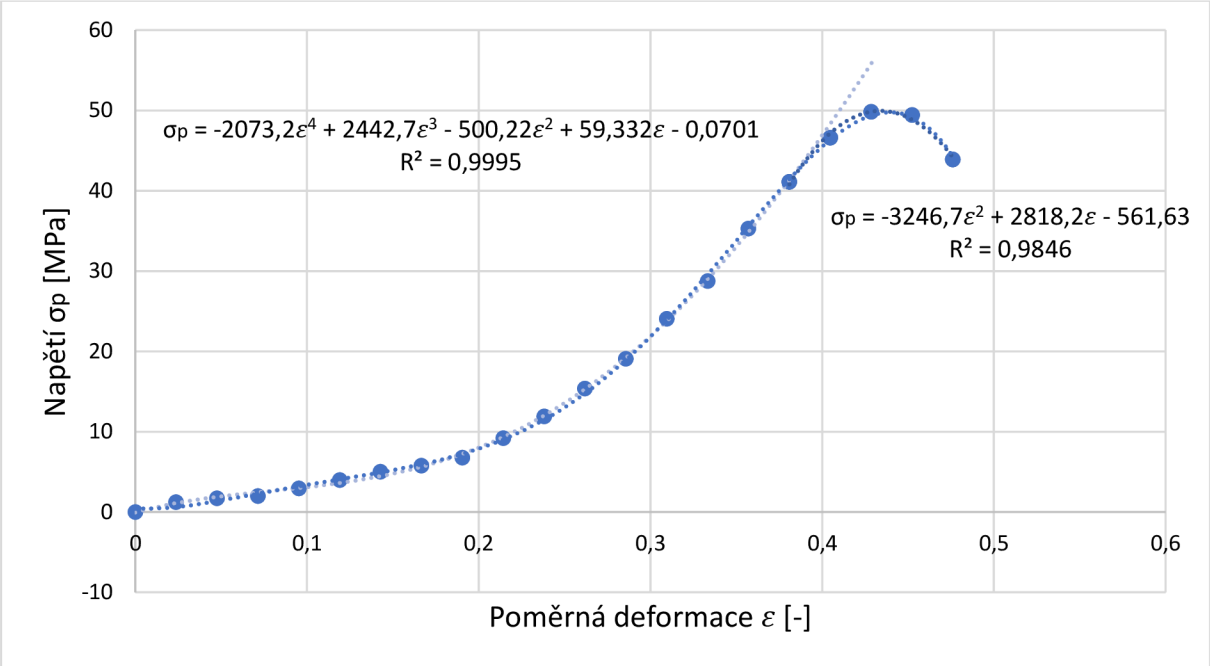
3.5.8 Měření materiálu ABS Plus

Tisk raznic z materiálu ABS Plus má určitá specifika, jako je například nutný tisk na vyhřívané podložce o teplotě aspoň 100 °C a vyšší tavící teploty kolem 250 °C. Dále je u větších modelů doporučen tisk v uzavřené komoře. Materiál byl využit od firmy Stratasys s přesným označením ABS-P430. Data z pěchovací zkoušky byly zaznamenány do tab. 17.

Tab. 17 Ukázka naměřených dat pro suchou ražbu materiálem ABS Plus.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05
0,2	0,09	0,08	0,09	0,09	0,07
…	…	…	…	…	…
1,7	2,34	2,09	2,24	2,39	2,39
1,8	2,49	2,39	2,49	2,49	2,39

Následně byl vytvořen graf, viz graf 12, který popisuje sledované veličiny. Na grafu byly vytyčeny oblasti I a II. Oblast I se vyznačuje pěchováním kůže a platí pro hodnoty poměrné deformace 0 až 0,4. Oblast II popisuje chování raznice pro vyšší hodnoty poměrné deformace.



Graf 12 Závislost napětí na poměrné deformaci při suché ražbě materiálem ABS.

Pro oblast I byla stanovena regresivní funkce:

$$\sigma_p = -2073{,}2 \cdot \varepsilon^4 + 2442{,}7 \cdot \varepsilon^3 - 500{,}22 \cdot \varepsilon^2 + 59{,}332 \cdot \varepsilon - 0{,}0701 \qquad (3.18)$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Celý zátěžný cyklus byl popsán rovnicí:

$$\sigma_p = -32455 \cdot \varepsilon^5 + 29286 \cdot \varepsilon^4 - 8144{,}7 \cdot \varepsilon^3 + 958{,}55 \cdot \varepsilon^2 - 11{,}112 \cdot \varepsilon + 0{,}439 \quad (3.19)$$

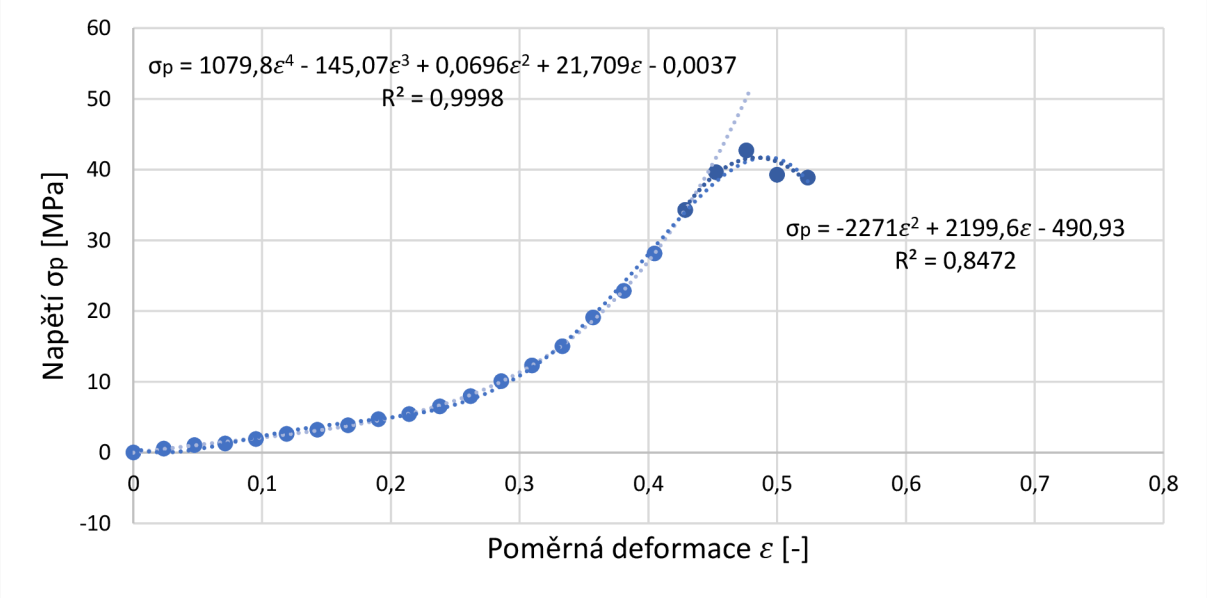
Oblast II byla definována rovnicí:

$$\sigma_p = -3246{,}7 \cdot \varepsilon^2 + 2818{,}2 \cdot \varepsilon - 561{,}63 \quad (3.20)$$

Pro dalších pět vzorků byl experiment proveden stejně, ale kůže byla před započetím zkoušky namočena do vody na 5 min. Naměřená data byla vložena do tabulky 18 a následně byl vytvořen graf popisující závislost napětí na poměrné deformaci, viz graf 13.

Tab. 18 Ukázka naměřených dat pro mokrou ražbu materiálem ABS Plus.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03
0,2	0,05	0,055	0,06	0,05	0,05
…	…	…	…	…	…
1,9	1,97	1,91	2,16	2,24	1,46
2	2,16	2,26	2,06	2,26	1,76



Graf 13 Závislost napětí na poměrné deformaci při mokré ražbě materiálem ABS.

Z grafu byly určeny oblasti I a II.

Pro oblast I je stanovena rovnice:

$$\sigma_p = 1079{,}8 \cdot \varepsilon^4 - 145{,}07 \cdot \varepsilon^3 + 0{,}0696 \cdot \varepsilon^2 + 21{,}709 \cdot \varepsilon - 0{,}0037 \quad (3.21)$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Pro oblast popisující celý průběh se použila regresivní funkce:

$$\sigma_p = -23982 \cdot \varepsilon^5 + 26339 \cdot \varepsilon^4 - 9407{,}3 \cdot \varepsilon^3 + 1381{,}3 \cdot \varepsilon^2 - 50{,}353 \cdot \varepsilon + 0{,}584 \quad (3.22)$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Oblast II byla popsána rovnicí:

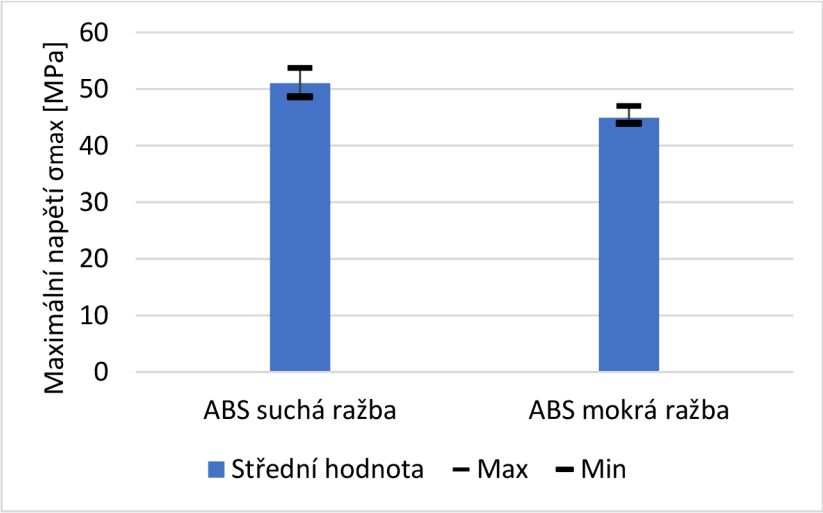
$$\sigma_p = -2271 \cdot \varepsilon^2 + 2199{,}6 \cdot \varepsilon - 490{,}93 \quad (3.23)$$

Z maximálních zátěžných tlaků byl vypočten statistický rozbor, který byl zanesen do tabulky 19.

Tab. 19 Statistický rozbor pro maximílní zatížení před vybočením pro materiál ABS Plus.

	Mokrá ražba		Suchá ražba	
Střední hodnota [MPa]	45,161		51,061	
Medián [MPa]	43,941		50,654	
Směrodatná odchylka [MPa]	1,326		1,848	
Minimální hodnota [MPa]	43,941		48,619	
Maximální hodnota [MPa]	46,992		53,705	
Hladina spolehlivosti	95 %		95 %	
Interval spolehlivosti [MPa]	43,514	46,808	48,766	53,355

Z vypočtených hodnot bylo zjištěno, že směrodatné odchylky jsou u obou způsobů podobné a procesy ražení jsou podobně stabilní. U ražení do sucha byla průměrná hodnota maximálního napětí větší o 5,9 MPa, viz graf 14. Tato odchylka může být způsobena chybou měření a neheterogenitou materiálu.



Graf 14 Maximální napětí před vybočením raznice.

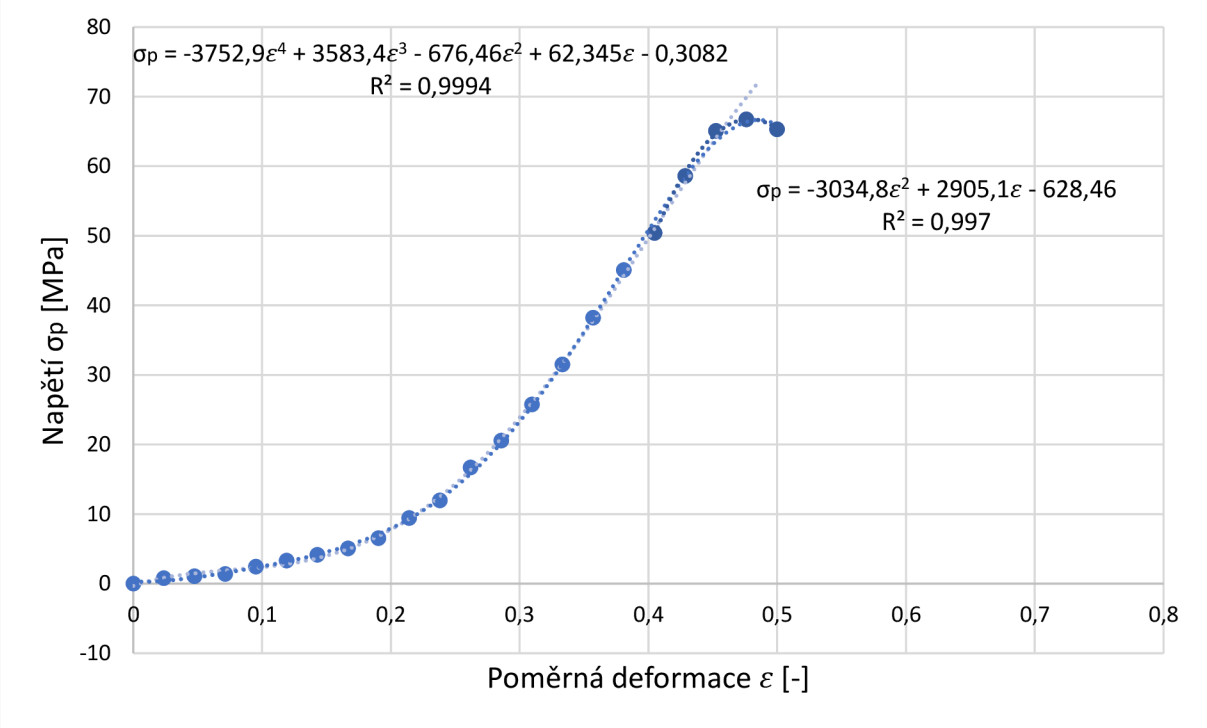
3.5.9 Měření materiálu Resin - Basic

Pro raznici vyrobenou metodou DLP byl využit materiál 3D printing UV sensitive Resin – Basic od společnosti Anycubic. Tloušťka vrstvy byla nastavena na hodnotu 0,05 mm, vytvrzovací doba vrstvy na 1,5 s a pro spodních šest vrstev 40 s. S těmito nastavenými parametry byla raznice vytištěna za 15 min. Následně byl model vytvrzen po dobu 4 min z jedné strany a po otočení další 2 min. Hotové raznice byly následně využity pro naměření zátěžných tlaků, viz tabulka 20.

Tab. 20 Ukázka naměřených dat pro suchou ražbu materiálem Resin-Basic.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04
0,2	0,06	0,06	0,05	0,04	0,05
…	…	…	…	…	…
1,8	2,96	2,66	2,96	3,06	2,76
1,9	3,36	3,11	3,06	3,31	3,16

Z naměřených hodnot byl vytvořen graf závislosti napětí na poměrné deformaci (graf 15).



Graf 15 Závislost napětí na poměrné deformaci při suché ražbě materiálem Resin-basic.

Materiál vykazuje vysokou pevnost a nedochází k rychlému vybočení raznice. Vybočení je doprovázeno praskajícím zvukem a lze podle sluchu poznat začínající defekt.

Z grafu byly odvozeny jednotlivé rovnice popisující charakteristické oblasti:

Oblast I:

$$\sigma_p = -3752{,}9 \cdot \varepsilon^4 + 3583{,}4 \cdot \varepsilon^3 - 676{,}46 \cdot \varepsilon^2 + 62{,}345 \cdot \varepsilon - 0{,}3082 \tag{3.24}$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Celý cyklus:

$$\sigma_p = -18848 \cdot \varepsilon^5 + 17044 \cdot \varepsilon^4 - 4410{,}4 \cdot \varepsilon^3 + 576{,}18 \cdot \varepsilon^2 - 6{,}7945 \cdot \varepsilon + 0{,}299 \tag{3.25}$$

Oblast II:

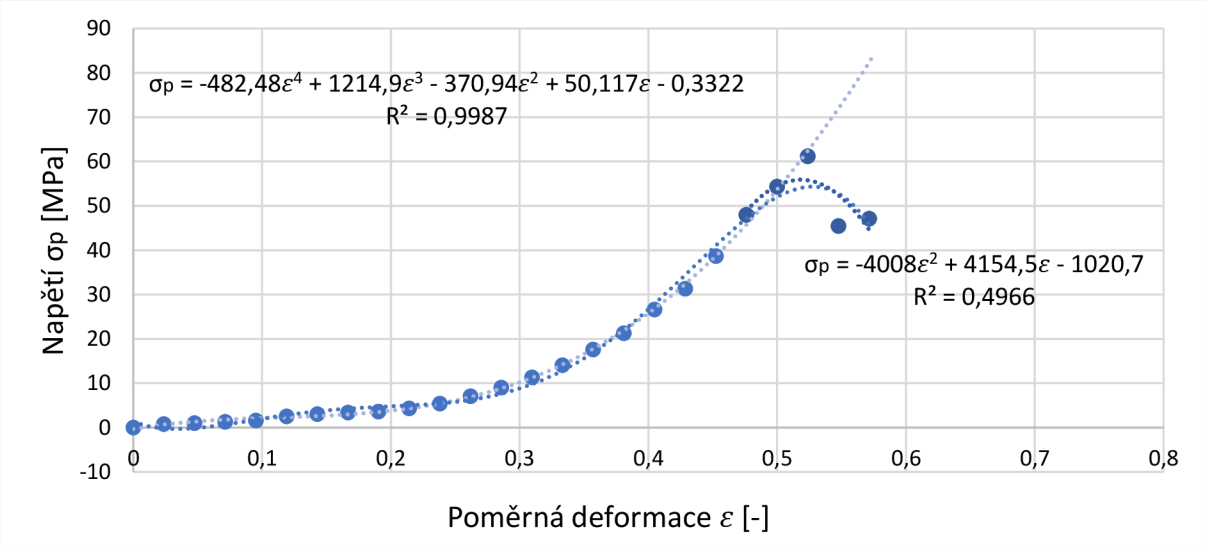
$$\sigma_p = -3034{,}8 \cdot \varepsilon^2 + 2905{,}1 \cdot \varepsilon - 628{,}46 \tag{3.26}$$

Pro ražení do mokré kůže, která byla vložena do vody na 5 min při teplotě 16 °C, byly naměřeny hodnoty, viz tab. 21.

Tab. 21 Ukázka naměřených dat pro mokrou ražbu materiálem Resin-Basic.

Deformace kůže	Měření [MPa]				
[mm]	1	2	3	4	5
0,1	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04
0,2	0,06	0,06	0,05	0,04	0,05
…	…	…	…	…	…
1,9	3,36	3,11	3,06	3,31	3,16
2	3,06	3,36	3,26	3,36	3,36

Následně byly spočítány potřebné hodnoty pro vytvoření grafu 16.



Graf 16 Závislost napětí na poměrné deformaci při mokré ražbě materiálem Resin-basic.

Pro tento graf byly stanoveny rovnice popisující chování v oblasti, kde dochází k pěchování kůže v celém zátěžném cyklu a v oblasti vybočení raznice.

Oblast I:

$$\sigma_p = -482{,}48 \cdot \varepsilon^3 + 1214{,}9 \cdot \varepsilon^2 + 50{,}117 \cdot \varepsilon - 0{,}322 \tag{3.27}$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Celý cyklus:

$$\sigma_p = -26878 \cdot \varepsilon^5 + 32452 \cdot \varepsilon^4 - 12892 \cdot \varepsilon^3 + 2104{,}3 \cdot \varepsilon^2 - 104{,}3 \cdot \varepsilon + 1{,}2849 \tag{3.28}$$

Oblast II:

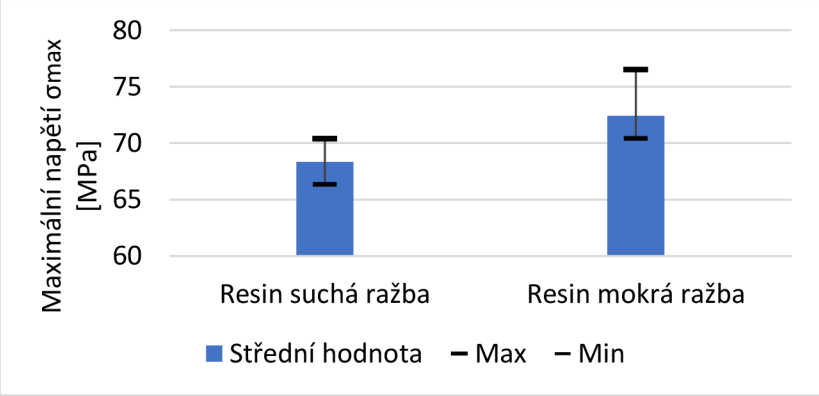
$$\sigma_p = -4008 \cdot \varepsilon^2 + 4154{,}5 \cdot \varepsilon - 1020{,}7 \tag{3.29}$$

Z maximálních naměřených tlaků, které raznice dosáhla, byl vypočten statistický rozbor (tab. 22), který popisuje maximální zatížení, které raznice dosáhla.

Tab. 22 Statistický rozbor pro maximílní zatížení před vybočením pro materiál Resin-Basic.

	Mokrá ražba		Suchá ražba	
Střední hodnota [MPa]	72,62		68,352	
Medián [MPa]	71,404		68,352	
Směrodatná odchylka [MPa]	2,73		1,438	
Minimální hodnota [MPa]	70,386		66,318	
Maximální hodnota [MPa]	76,489		70,386	
Hladina spolehlivosti	95%		95%	
Interval spolehlivosti [MPa]	69,24	76,01	66,566	70,138

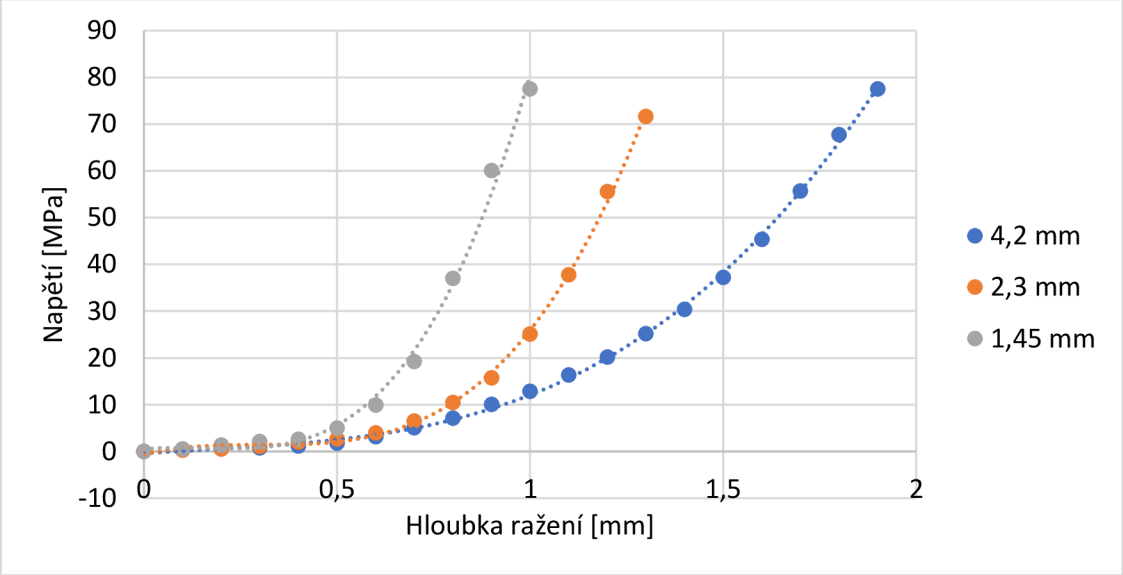
U ražení do suché kůže je průměrná hodnota o cca 4 MPa nižší. Tato odchylka může být způsobena lehce odlišnými vlastnostmi kůže při jednotlivých měření. Hodnoty minimálního a maximálního tlaku byly společně s průměrnou hodnotou zaneseny do grafu 17.



Graf 17 Maximální napětí před vybočením raznice.

3.6 Měření vlivu tloušťky kůže

Při výrobě kůže různých tlouštěk se odřezává vnitřní část kůže, která je tvořena nejméně hustými vlákny. Odřezaná tloušťka ovlivní mechanické vlastnosti kůže. Pro zhodnocení tohoto vlivu na vlastnosti kůže bylo provedeno ražení do kůže o tloušťce 2,3 a 1,45 mm. Jednotlivé zátěžné křivky byly následně zaneseny do grafu 18. Kde byly porovnány jednotlivé křivky napětí v závislosti na hloubce ražby.



Graf 18 Závislosti napětí na hloubce ražení pro jednotlivé tloušťky usně.

Při rozboru grafu je patrné, že tenčí kůže, ze které byla odřezána řídká vlákna má strmější charakter. Strmý charakter zatížení způsobuje složitější ražbu jak z hlediska volby vhodné raznice, tak potřebného zatížení, aby vyražený dekor byl dostatečně čitelný i po odpružení kůže.

Pro jednotlivé tloušťky kůží byly odvozeny tyto rovnice popisující závislost napětí na poměrné deformaci:

Tloušťka 4,2 mm:

$$\sigma_p = 13{,}276 \cdot \varepsilon^3 - 6{,}5812 \cdot \varepsilon^2 + 5{,}774 \cdot \varepsilon - 0{,}4039 \tag{3.30}$$

kde: ε – poměrná deformace [-],
σ_p – přetvárné napětí [MPa]

Tloušťka 2,3 mm:

$$\sigma_p = 71{,}105 \cdot \varepsilon^3 - 64{,}355 \cdot \varepsilon^2 + 19{,}857 \cdot \varepsilon - 0{,}6627 \tag{3.31}$$

Tloušťka 1,45 mm:

$$\sigma_p = 133{,}72 \cdot \varepsilon^3 - 61{,}012 \cdot \varepsilon^2 + 7{,}2948 \cdot \varepsilon + 0{,}5086 \tag{3.32}$$

4 TRVANLIVOST RAZNICE

Pro měření trvanlivosti raznice byl zvolen materiál PLA vytištěný metodou FDM. Raznice byla opakovaně zatížena silou 3950 N pro ražení do suché kůže a 2750 N pro ražbu do mokré kůže. Po určitém počtu opakování byla raznice změřena mikrometrem a byla provedena vizuální zkouška, jestli raznice drží požadovaný tvar. Po každých 5 a následně 10 zatíženích byla vyměněna i kůže, aby se do měření vnesl vliv rozdílných vlastností kůže.

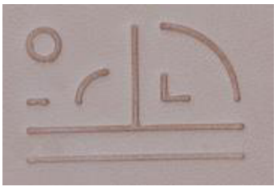
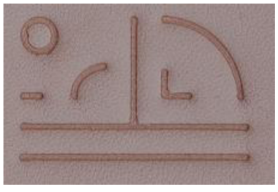
Jednotlivá měření byla provedena na pěti místech po celé raznici. Následné průměrné hodnoty byly zaneseny do tabulky 23.

Tab. 23 Střední hodnoty výšky raznice.

Počet opakování	0	5	10	20	40	100
Střední hodnota výšky raznice pro suchou ražbu [mm]	4,038	4,032	4,034	4,026	4,016	4,022
Střední hodnota výšky raznice pro mokrou ražbu [mm]	3,992	3,988	3,99	3,99	3,99	3,978

Při rozboru tabulky je patrné, že raznice zásadně nemění svůj rozměru. Deformace je v jednotkách setin a tato trvalá deformace nemá zásadní vliv na samotnou ražbu, což bylo ověřeno vizuální kontrolou, která neobjevila ani po 100 zatíženích žádný zásadní vliv na vzhled ražby, viz tab. 24

Tab. 24 Foto ražeb po 5, 20, 100 opakování.

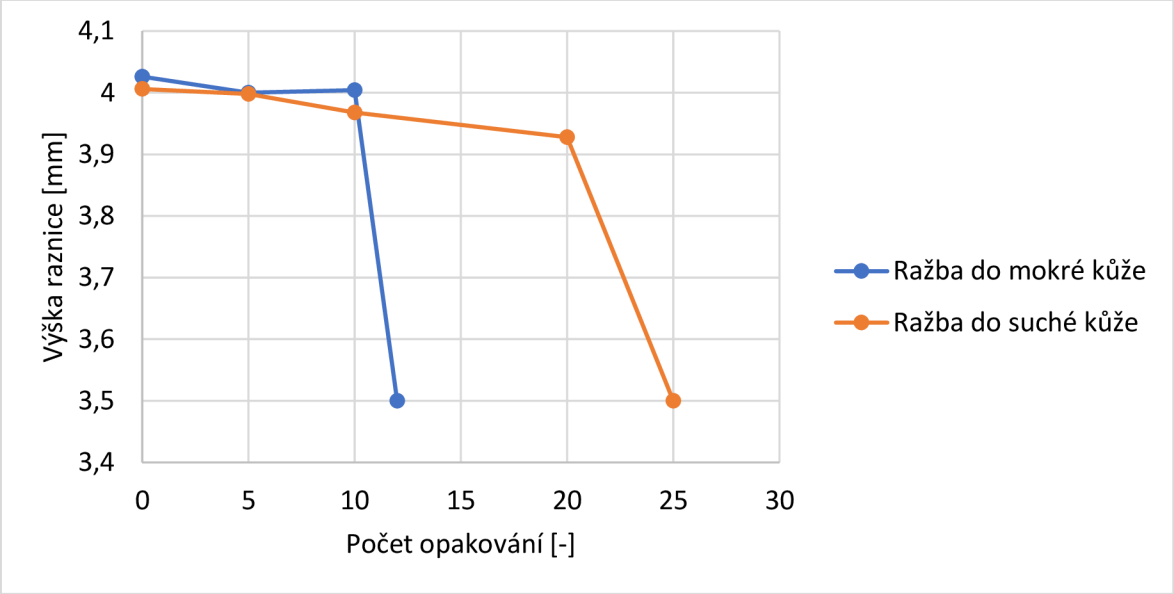
Počet opakování	5	20	100
Foto ražby do suché kůže			
Foto ražby do mokré kůže			

Při zvolení zatěžování maximální silou, kterou raznice dovoluje byl proveden stejný experiment a naměřené hodnoty byly zaznamenány do tab. 25.

Tab. 25 Střední hodnoty výšky raznice při maximálním povoleném zatížení.

Počet opakování	0	5	10	20	25
Střední hodnota výšky raznice pro suchou ražbu [mm]	4,006	3,998	3,968	3,928	3,5
Střední hodnota výšky raznice pro mokrou ražbu [mm]	4,026	4	4,004	3,5	

Při ražení maximální možnou silou zatěžování raznice (4900 N) vykazuje deformování a po 20 zatíženích u suché kůže se láme. Stejná vada se objevuje i u ražby do mokré kůže vybočení raznice však dochází už po 10 opakování, viz graf 19.



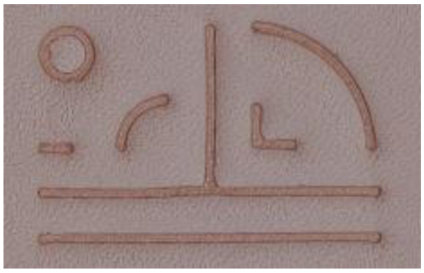
Graf 19 Závislosti výšky raznice na počtu opakování.

Do doby, než dojde ke ztrátě stability, dosahuje raznice kvalitní ražby a mírná deformace nemá vliv na vzhled. Vybočení raznice u materiálu PLA však dochází velmi rychle a při vzniku defektu je znehodnocena i kůže, viz tab. 26,27.

Tab. 26 Foto ražeb po 20 a 25 zatíženích při ražení do suché kůže maximální silou.

Počet opakování	20	25
Foto ražby do suché kůže		

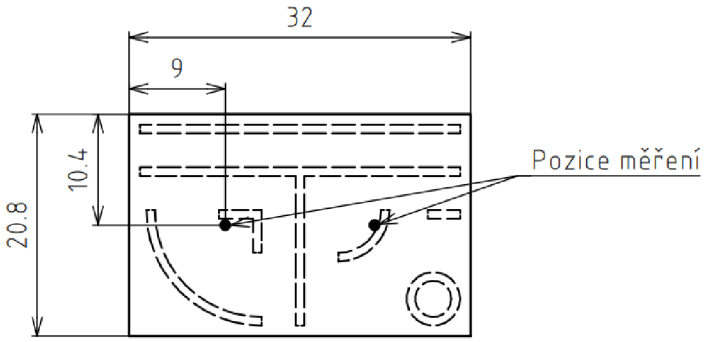
Tab. 27 Foto ražeb po 10 a 12 zatíženích při ražení do mokré kůže maximální silou.

Počet opakování	10	12
Foto ražby do suché kůže		

5 MĚŘENÍ REÁLNÉHO RELIÉFU RAŽBY

Kůže je pružný materiál a při ražení dochází k částečnému odpružení, které má výrazný vliv na vyniknutí ražby. Pro zjištění optimální hloubky ražby byly provedeny odstupňované ražby po 0,2 mm s využitím mosazné raznice. Po 24 hodinách, kdy došlo k ustálení ražby a usušení kůže byla změřena spěchovaná kůže společně s raznicí. Měření bylo provedeno pomocí mikrometru, kdy se měřily potřebné hodnoty.

Pro každou hloubku ražení bylo provedeno pět měření, u kterých byla raznice s kůží měřena na dvou místech, viz obr. 30, a tyto hodnoty byly následně zprůměrovány a zaneseny do tabulky 28.



Obr. 30 Místa měření

Tab. 28 Data z měření ražby 2,1 mm.

Hloubka ražení = 2,1 mm			
Číslo měření	h_{n1} [mm]	h_{n2} [mm]	Střední hodnota h_{n12} [mm]
1.	10,18	10,15	10,165
2.	10,18	10,14	10,16
3.	10,19	10,15	10,17
4.	10,17	10,13	10,15
5.	10,15	10,12	10,135
		h_n =	10,156

Výsledná střední hodnota naměřené hloubky byla využita pro výpočet skutečné hloubky ražby pomocí rovnice:

$$h_s = h_1 - (h_n - h_r) \tag{5.1}$$

$$h_s = 4{,}2 - (10{,}156 - 7{,}03) = 1{,}074\ mm$$

kde: h_s – skutečná hloubka ražby [mm],
h_1 – počáteční tloušťka kůže [mm],
h_n – střední hodnota naměřených tlouštěk [mm],
h_r – výška raznice [mm]

Experiment byl proveden pomocí mosazné raznice a následně jednotlivé fotografie byly zaneseny do tabulky 29.

Tab. 29 Porovnání hloubky ražby s naměřenou hodnotou.

Ražení do suché kůže			Ražení do mokré kůže		
Hloubka ražení	Skutečná hloubka	Fotografie	Hloubka ražení	Skutečná hloubka	Fotografie
2,1	1,07		2,1	0,995	
2,0	0,92		2,0	0,94	
1,9	0,93		1,9	0,91	
1,8	0,82		1,8	0,85	
1,6	0,69		1,6	0,73	
1,4	0,55		1,4	0,59	
1,2	0,44		1,2	0,41	
1,0	0,33		1,0	0,19	

Pro ražení do mokré kůže byla zvolena minimální hloubka ražby 1,8 mm. U kůže, která nebyla namočena dochází k výraznější ražbě a je možné volit hodnotu 1,6 mm.

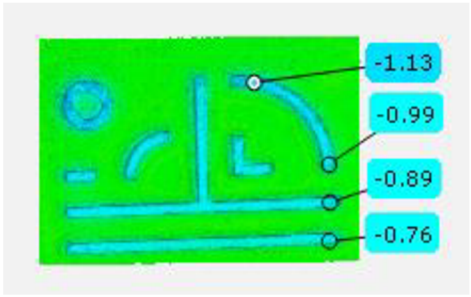
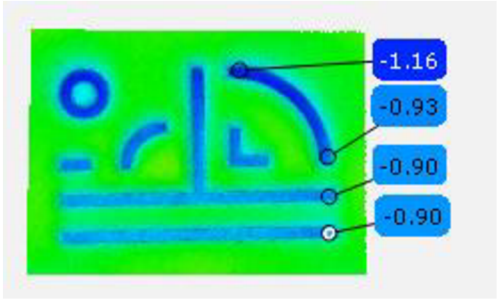
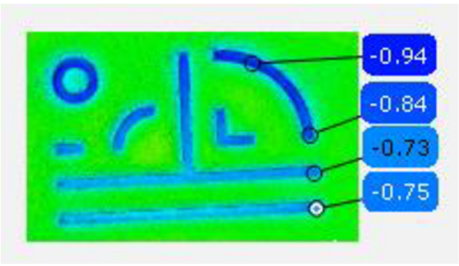
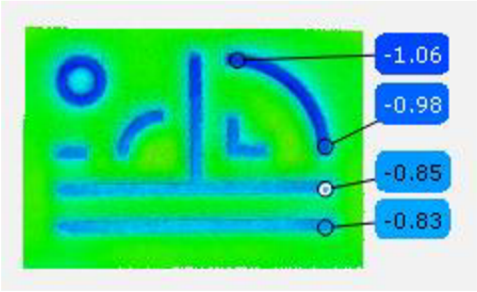
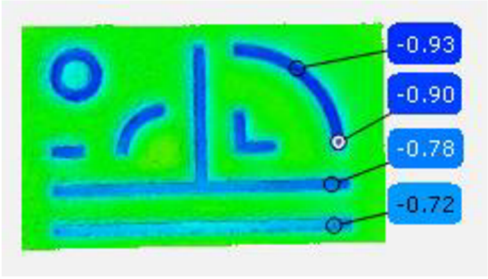
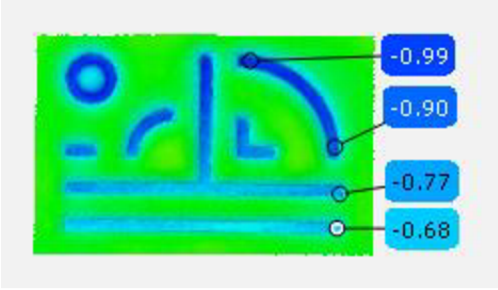
Jednotlivé vzorky byly následně naskenovány metodou fotogrammetrie s využitím fotoaparátu Canon EOS 250D, Optikou EF-S 18-55 mm f/4-5.6 IS STM, bleskem Canon Speedlite 580 EX, a polarizačním filtrem jak na objektivu, tak na čočce. Využití polarizačních filtrů se odstraní odlesky, které se u kůže mohou vyskytovat.

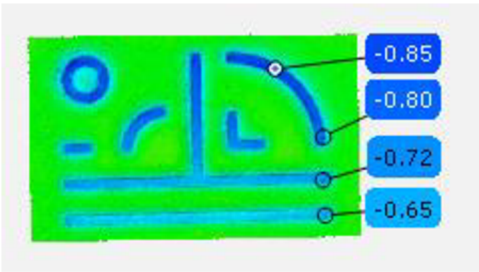
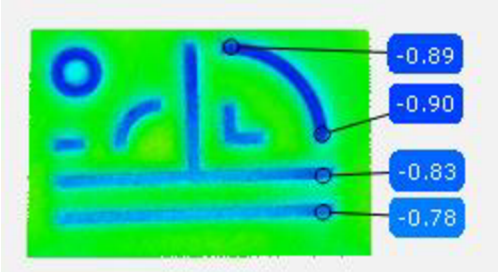
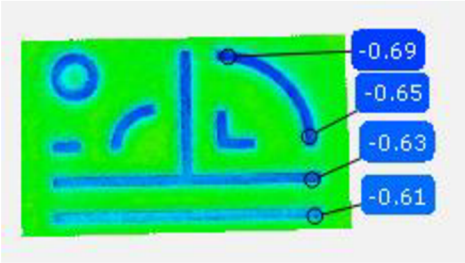
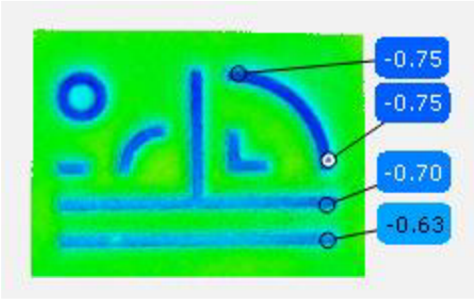
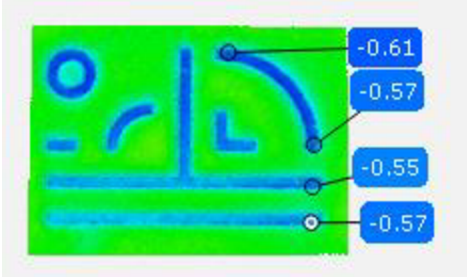
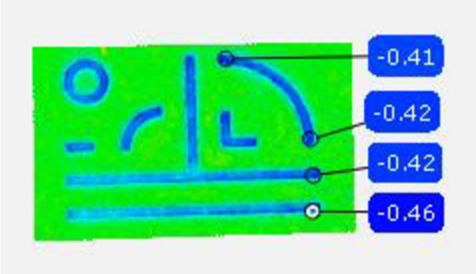
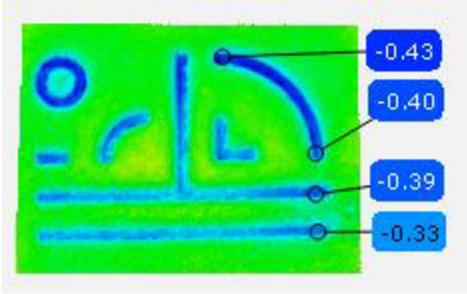
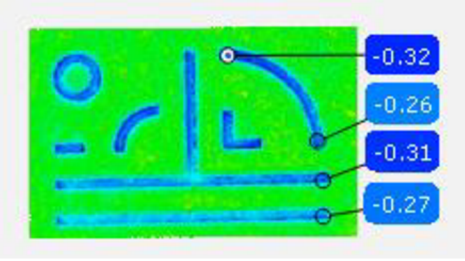
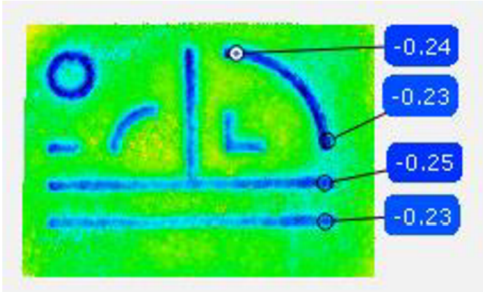
Tato metoda nedosahuje takových přesností jako například metody ATOS, ale oproti profesionálním metodám má několik výhod. Mezi první je její cena a možnost vytvářet dostatečně detailní modely a textury, které se využívají pro následnou prezentaci produktů.

Jelikož první vytvořený produkt bývá naskenován touto metodou pro prezentaci na webu je možné využít tento model pro ověření parametrů ražení a popřípadě upřesnit jednotlivé podmínky a získat tak kvalitnější i detailnější ražbu.

Pro tvorbu modelu byl využit program RealityCapture, ze kterého byl model následně přenesen do programu GOM Inspect 2018, kde se provedla analýza ražby, viz tab. 30. Z analýzy bylo zjištěno, že ražba není ve všech místech stejně hluboká, a že dlouhé linie dosahují vyššího odpružení než například čtvrt oblouky. U ražby bylo také pozorováno, že spodní část ražby dosahuje nižší hloubky než horní část. Tato odchylka může být způsobena hustšími grafickými prvky, které způsobí větší odpor materiálu nebo také chybou při ražení, skenování.

Tab. 30 Měření hloubky ražby v programu GOM Inspect 2018

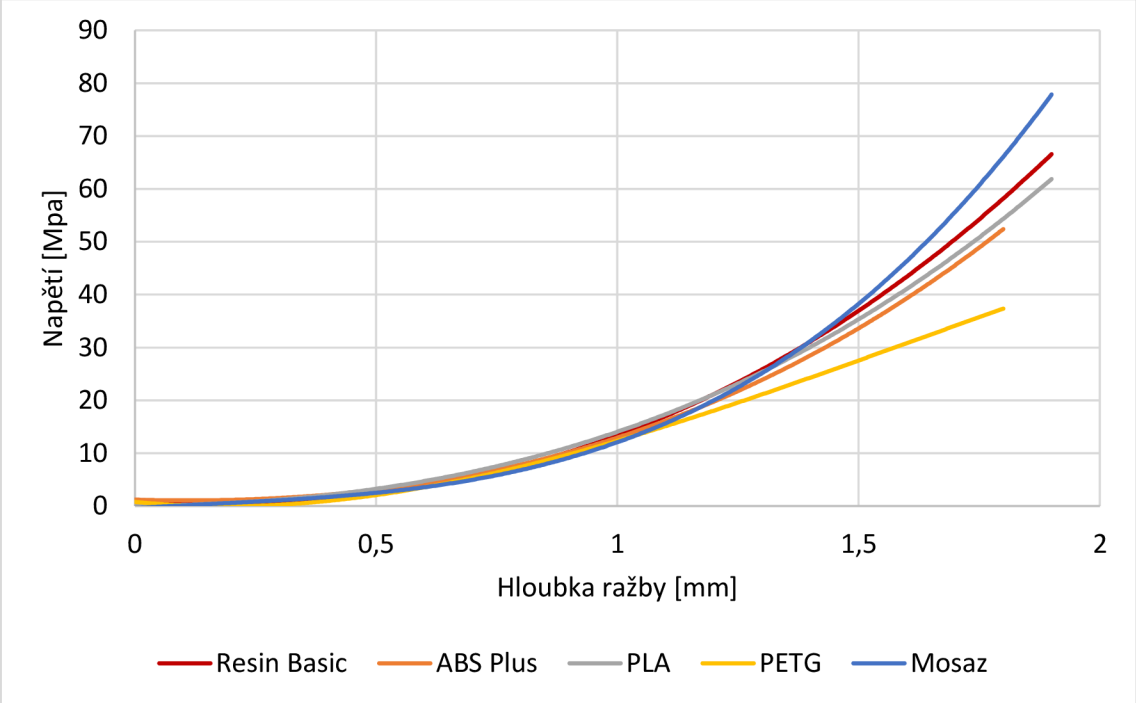
Hloubka ražení	Ražení do suché kůže	Ražení do mokré kůže
2,1		
2		
1,9		

Hloubka ražení	Ražení do suché kůže	Ražení do mokré kůže
1,8		
1,6		
1,4		
1,2		
1,0		

6 Zhodnocení použitých materiálů

Pro posouzení vhodnosti jednotlivých materiálů je hlavním kritériem dosažitelná hloubka ražby. Jelikož materiály z plastu nejsou dokonale tuhé, je nutné zvážit i možné plastické a elastické deformace raznice. Posledním kritériem, které ovlivní vhodnost materiálu pro ražbu do kůže, jsou vlastnosti pro 3D tisk.

Jednotlivé křivky zatěžování byly vloženy do jednoho grafu 20, kde se posuzuje jak jejich maximální hloubka ražby, tak jejich podobnost s materiálem Ms58.



Graf 20 Závislost napětí na hloubce ražby pro suchou ražbu.

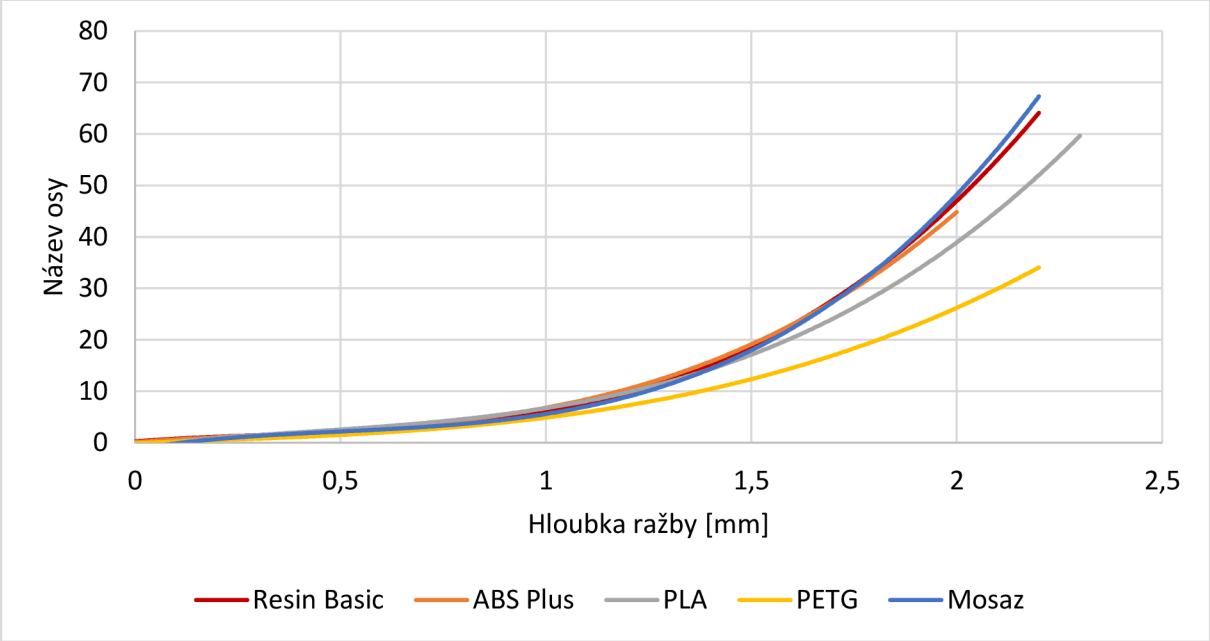
Z rozboru grafu pro ražení do suché kůže je patrné, že materiály ABS Plus a PET-G nejsou vhodné, jelikož při maximálním možném zatížení nedosahují kvůli plastickým a elastickým deformacím požadovanou hloubku ražby.

Materiál PLA a Resin Basic mají podobné vlastnosti ražby, kde Resin dosahuje stejné hloubky ražby, ale projevují se u něho méně deformace raznice.

Materiál PLA je tištěn metodou FDM, která přináší pro tisk mnoho výhod i nevýhod, výhodou je možnost tisknout velké raznice, ale není tak detailní, kvůli využívání trysek. Není proto vhodná pro výrobu malých a velmi přesných raznic jako jsou například texty, či loga firem.

Materiál Resin Basic oproti tomu je tištěn metodou DLP, která je schopna tisku velmi detailních raznic a je vhodná pro raznice, které by metodou FDM byly velmi těžce vyrobitelné.

Při ražbě do suché kůže je možné pozorovat odchylky od chování ražení do suché kůže, viz graf 21, jako je například vyšší dosažitelná hloubka ražby, ale kvůli méně výrazné ražbě jsou kladeny vyšší nároky na ražbu, než při ražení za sucha.

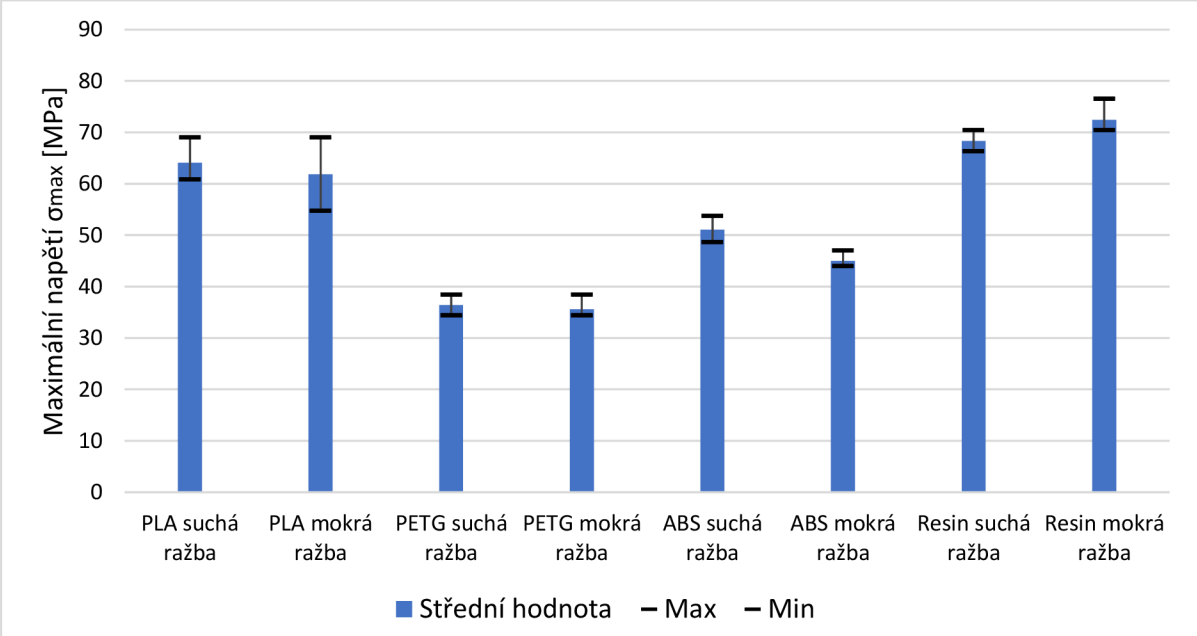


Graf 21 Závislost napětí na hloubce ražby pro mokrou ražbu.

U ražby do mokré kůže pomocí 3D tištěných raznic je dosahováno velmi podobného chování jako u materiálu Ms58.

Materiál Resin Basic a ABS Plus nejlépe kopírují křivku materiálu Ms58. Materiál ABS Plus je možné využít pro dostatečně kvalitní ražbu, ale PLA, i přestože je zde vyšší vliv deformace raznice, dosáhne větší hloubky ražby a tím i výraznějšího znázornění reliéfu.

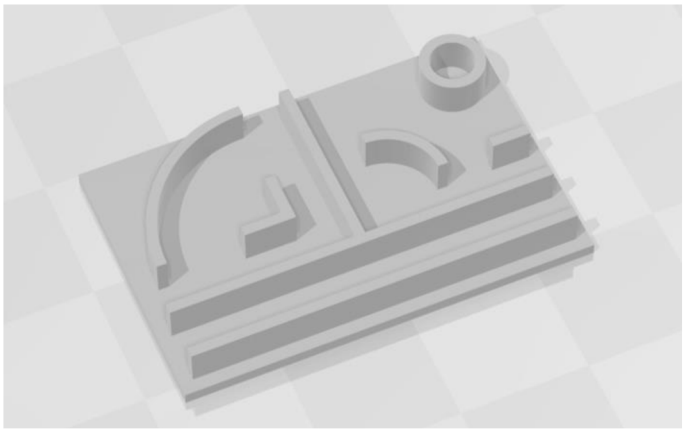
Maximální dosažitelná napětí u jednotlivých materiálů byla zaznamenána do grafu 22.



Graf 22 Srovnání dosažitelným maximálních napětí pro jednotlivé materiály.

7 Ekonomické zhodnocení jednotlivých technologií

Při porovnávání ceny výroby byly srovnány jednotlivé cenové nabídky firem FiberPRO s.r.o., Art Print s.r.o. a PowerPrint3D. Každá firma byla požádána o nacenění navrhnuté raznice, viz obr. 31.



Obr. 31 Model raznice

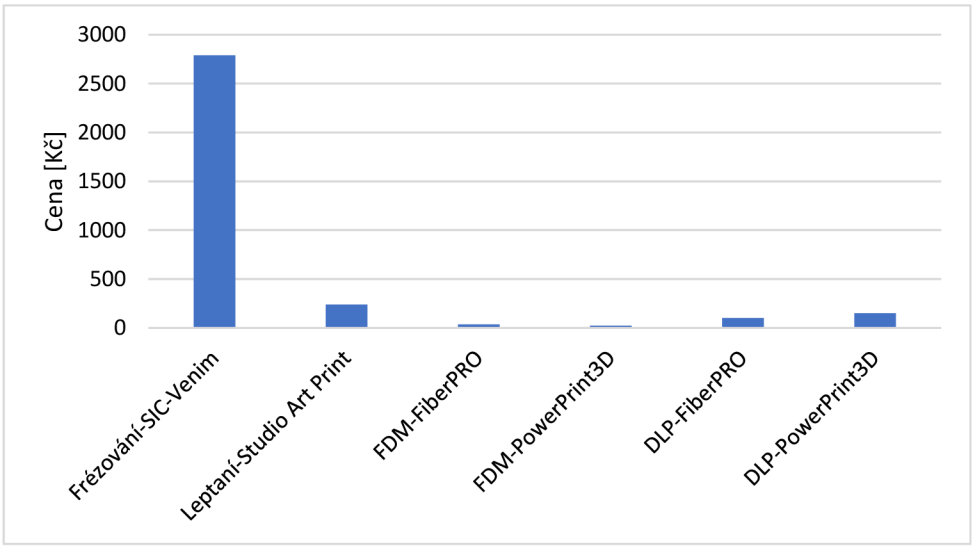
Pro výrobu raznice metodou obrábění byla využita firma SIC - VENIM s.r.o., která vyrobila mosaznou raznici. Cena výroby raznice byla 2787 Kč. [21]

Výrobcem hořčíkových štočků je například firma Studio Art Print s.r.o., která na svých webových stránkách stocky.cz nabízí výrobu leptaných raznic. Výroba raznice byla naceněna na 240 Kč. [77]

Pro metodu FDM byla cena raznice z PLA naceněna firmou FiberPRO na 35 Kč. U firmy PowerPrint3D by vytištění stejného modelu stálo 22 Kč. [78; 79]

Pro metodu DLP byla raznice naceněna firmou FiberPRO na 102 Kč a firmou PowePrint na 150 Kč. [78; 79]

Jednotlivé cenové nabídky byly vloženy do grafu 23.



Graf 23 Srovnání nabídek jednotlivých firem

Využití metody FDM 3D tisku je úspora na ceně raznice až 99 %. U metody DLP je cena o 95 % nižší než výroba raznice frézováním a využití leptaných hořčíkových raznic je úspora 91 %.

ZÁVĚR

Práce se zabývá možností využití technologie 3D tisku pro výrobu raznic do kůže, kde je snaha o snížení nákladů na výrobu jak klasických raznic jako jsou například loga firem, tak raznic větších rozměrů.

Při ražbě do kůže je spousta vlivů, které ovlivní požadavky na výslednou ražbu. Z těchto parametrů byla popsána tvrdost kůže v jednotlivých oblastech, vliv tloušťky kůže, rychlost vsakování vody a její vliv na tvrdost.

Z měření vlivu vody na mechanické vlastnosti usně je doporučeno před ražením kůži namočit, aby došlo ke změkčení materiálu, čímž se sníží silové nároky na ražbu a je možné docílení hlubšího reliéfu.

Technologie 3D tisku využívají různé materiály, které mohou a nemusí být vhodné pro výrobu raznic. Byly vybrány materiály PLA, ABS, PET-G, Resin Basic, které byly následně porovnávány s konvenčně vyrobenou raznicí z materiálu Ms58.

Materiál PLA tištěný metodou FDM splnil podmínky pro vznik dostatečně kvalitní ražby a při zatěžování silou 3950 N do suché kůže, popřípadě 2750 N do mokré kůže, nebyly zjištěny defekty, které by mohly ovlivnit výslednou ražbu.

Dále splnil požadavky materiál Resin Basic, který vykazoval nejpodobnější chování jako klasicky vyrobená raznice z materiálu Ms58. Raznice vyrobené metodou DLP jsou díky kvalitě tisku vhodné pro vysoce detailní ražby menších rozměrů.

Jednotlivé technologie 3D tisku mají pozitivní vliv jak na cenu, kde úspora na výrobu dosahuje až 99 %, tak na možnost vytvářet rozměrově různorodé raznice a vyrábět tak produkty, které se v současnosti klasickými metodami nevyrábí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. VRÁNA, Pavel. *3D tisk kovů.* Brno, 2021. Dostupné také z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/132142. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček
2. 3D Printing vs CNC Machining: Which is best for prototyping?. *3Dnatives* [online]. 2018 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-vs-cnc-160320184/
3. MACALPINE, Jessie. Machining or 3D Printing: How Do I Decide Which to Use?. *Engineering* [online]. Mississauga, 2021 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.engineering.com/story/machining-or-3d-printing-how-do-i-decide-which-to-use
4. KIEF, Hans Bernhard, Helmut Albert ROSCHIWAL a Karsten SCHWARZ. 3.1 The Path to NC. In: *The CNC Handbook*. South Norwalk: Industrial Press, 2022, s. 19-32. ISBN 978-0-8311-3636-9. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012RT2PS/cnc-handbook/the-path-to-nc
5. MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.
6. KOCMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3. přeprac. v dopl. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2562-8.
7. Learning Library: 3D Printing Basics. *Markforged* [online]. Massachusetts, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics
8. GRAMES, Emmett. 3D Printing Layer Height: How Much Does It Matter?. *All3DP* [online]. München: Emmett Grames, 2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://all3dp.com/2/3d-printer-layer-height-how-much-does-it-matter/
9. Volcano Hotend Direct Drive - 1,75 mm. *3Djake* [online]. Paldau, c2010-2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.3djake.cz/e3d/volcano-hotend-direct-drive-175-mm
10. BIRON, Michel. 5.13.4 3D Printing. In: *Thermoplastics and Thermoplastic Composites*. 3rd Edition. Oxford: Elsevier, c2018, s. 809-811. ISBN 978-0-08-102501-7. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011Q2515/thermoplastics-thermoplastic/another-wa-3d-printing
11. UltiMaker S7. *3dwiser* [online]. Praha, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://eshop.3dwiser.com/fff-fdm/ultimaker-s7/
12. 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+. *Prusa Research* [online]. Praha [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.prusa3d.com/cs/produkt/3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3s-3/
13. SLA vs. DLP: Guide to Resin 3D Printers. *Formlabs* [online]. Somerville, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://formlabs.com/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp/
14. An Introduction to Post-Curing SLA 3D Prints. *Formlabs* [online]. Somerville, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://formlabs.com/eu/blog/introduction-post-curing-sla-3d-prints/
15. Anycubic Photon Ultra. *Anycubic* [online]. c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.anycubic.com/collections/dlp-3d-printer/products/photon-ultra

16. Anycubic Photon D2. *Anycubic* [online]. c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.anycubic.com/collections/dlp-3d-printer/products/photon-d2-dlp-3d-printer
17. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
18. Custom Brass Stamp for leather. *Etsy* [online]. StampsLT, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.etsy.com/listing/1105428157/custom-brass-stamp-for-leather-leather?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=bronze+stamp&ref=sc_gallery-1-4&sts=1&plkey=ad9b5eeb7d78af52712dcbf5ed0b49a437273da2%3A1105428157.%20[Online]%20https://www.etsy.com/listing/1105428157/custom-brass-stamp-for-leather-leather?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=bronze+stamp&ref=sc_gallery-1-4&sts=1&plkey=ad9b5eeb7d78af52712dcbf5ed0b49a437273da2%3A1105428157
19. Custom Leather Brass Stamp for leather hammer press. *Etsy* [online]. Hong Kong: MyKitlifeworld, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.etsy.com/listing/1215916102/custom-leather-brass-stamp-for-leather?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=bronze+stamp&ref=sr_gallery-1-3&pro=1&frs=1&sts=1&organic_search_click=1.%20[Online]%20https://www.etsy.com/listing/1215916102/custom-leather-brass-stamp-for-leather?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=bronze+stamp&ref=sr_gallery-1-3&pro=1&frs=1&sts=1&organic_search_click=1
20. ČSN 42 3223. *Slitina mědi tvářená 42 3223 CuZn40Pb2*. Praha: Český normalizační institut, 1992, 12 s.
21. SVRČINA, David. Re: Výroba raznice do kůže [e-mailová komunikace]. 15. února 2023 15:02 [cit. 2023-04-22].
22. BENEŠ, Libor. *Slitiny hořčíku* [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/Slitiny_Mg.pdf
23. FALTEJSEK, Jakub. *Chemické obrábění*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, fakulta strojní.
24. Technologie. *Rudorfer* [online]. Ústí nad Labem [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.rudorfer.cz/technologie/
25. MAGNESIUM DIES. *Phillipsengraving* [online]. Springfield (Missouri) [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: http://www.phillipsengraving.com/magnesium-dies.html
26. Custom leather magnesium stamp. *Etsy* [online]. LeatherTagGoods, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.etsy.com/listing/642209736/custom-leather-magnesium-stamp
27. Carbon steel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_steel#Bibliography
28. DOLEJŠ, Jakub. *Vysokopevnostní oceli pro stavební konstrukce*. Praha, 2013. Akademická práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
29. Leather Stamp Types. *Steelstampsinc* [online]. Boise [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.steelstampsinc.com/collections/custom-leather-stamps

30. NÍSTROJOVÉ OCELI PRO PRÁCI ZASTUDENA. *Bohler* [online]. Kapfenberg, 2022 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.bohler.cz/app/uploads/sites/92/2022/11/productdb/api/k720_cs.pdf
31. Katalog broušená ocel. *Preciz* [online]. Napajedla: PRECIZ, 2013 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.preciz.cz/images/brousena_ocel/katalog-brousena-ocel.pdf
32. Leather tooling stamps. *Steelstampsinc* [online]. Boise [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.steelstampsinc.com/collections/leather-tooling-stamps
33. ROGERS, Tony. Everything You Need To Know About Polylactic Acid (PLA). *Creativemechanisms* [online]. Warminster, 2015 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-polylactic-acid-pla-prototypes
34. FARAH, Shady, Daniel Griffith ANDERSON a Robert LANGER. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced drug delivery reviews* [online]. AMSTERDAM: Elsevier B.V, 2016, 107, 14-16 [cit. 2023-04-22]. ISSN 0169-409X. Dostupné z: doi:10.1016/j.addr.2016.06.012
35. BALCAROVÁ, Kateřina. Co je to filament?. *Miroluk* [online]. 2018 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.miroluk.cz/clanky-jake-je-zakladni-rozdeleni-materialu-filamentu-pro-3d-tiskarny-a-jake-jsou-v-nich-rozdily.html
36. HORÁK, Ondřej. *Analýza rozměrové přesnosti a mechanických vlastností plastových komponentů zhotovených 3D tiskem*. Brno, 2020. Dostupné také z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=211175. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství.
37. Bio Absorble Screws -PLA. *Indiamart* [online]. Earth Ortho Private Limited, c1996-2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.indiamart.com/proddetail/bio-absorble-screws-pla-24213362091.html
38. Biodegradable PLA Plastic Packaging Film. *Chinapla* [online]. Nanjing, c1998-2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://chinapla.en.made-in-china.com/product/LBZElOfDhIrU/China-Biodegradable-PLA-Plastic-Packaging-Film.html
39. PLA. *Materialpro3d* [online]. Brno, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovnik/pla/
40. Mechanické vlastnosti materiálů pro 3D tisk. *LKE* [online]. Brno: L.K. Engineering [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.lke.cz/cz/mechanicke-vlastnosti-materialu-pro-3d-tisk/
41. BIRON, Michel. 4.11.1 General Properties. In: *Thermoplastics and Thermoplastic Composites*. 3rd Edition. Oxford: Elsevier, c2018, s. 349-356. ISBN 978-0-08-102501-7. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011Q1VB1/thermoplastics-thermoplastic/abs-methyl-general-properties
42. Comprehensive Guide on Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). *Omnexus* [online]. c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs-plastic
43. ABS. *Materialpro3d* [online]. Brno, c2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovnik/abs/
44. CAROLO, Lucas, Alexander ISSAL a Pranav GHARGE. ABS Acetone Smoothing: 3D Print Vapor Smoothing Guide. *All3DP* [online]. 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://all3dp.com/2/abs-acetone-smoothing-3d-print-vapor-smoothing/

45. FELLOWS, Peter. 23.2.4.8 Polyethylene terephthalate. In: *Food Processing Technology - Principles and Practice*. 5th Edition. Cambridge: Elsevier, s. 652-653. ISBN 978-0-323-85737-6. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0131EK7B/food-processing-technology/laminated-films
46. ENCYKLOPEDIE PLASTŮ: POLYETHYLEN – TEREFTALÁT (PET). *Samosebou* [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.samosebou.cz/2021/02/26/encyklopedie-plastu-polyethylentereftalat-pet/
47. PET, PET-G. *Materialpro3d* [online]. Brno, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovnik/pet-g/
48. PETG. *Prusa Research* [online]. Praha [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/petg_2059
49. *The Ultimate Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing* [online]. Formlabs, 2017 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://static.treatstock.com/static/fxd/wikiMaterials/resin/files/resin_3d_printing_guide.pdf?_ga=2.146247350.360810529.1675433037-450182840.1675433037
50. ZHANG, Lijie Grace, John FISHER a Kam LEONG. 11.5.2.1 Liquid-Based AM Approaches. In: *3D Bioprinting and Nanotechnology in Tissue Engineering and Regenerative Medicine*. London: Elsevier, c2015, s. 245-246. ISBN 978-0-12-800547-7. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UR9AU4/bioprinting-nanotechnology/liquid-based-am-approaches
51. EBNESAJJAD, Sina. 10.2.1.1 UV-Curable Acrylate Resins. In: *Handbook of Adhesives and Surface Preparation - Technology, Applications and Manufacturing*. C2011. Oxford: Elsevier, 2011, s. 221-225. ISBN 978-1-4377-4461-3. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008TYGP1/handbook-adhesives-surface/uv-curable-acrylate-resins
52. Pryskyřice pro 3D tiskárnu - Anycubic 3D Printing UV Sensitive Resin Basic 1L - Čirá. *Botland* [online]. Kunčice, c2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://botland.cz/pryskyrice-pro-3d-tiskarny/21894-pryskyrice-pro-3d-tiskarnu-anycubic-3d-printing-uv-sensitive-resin-basic-1l-cira-5905071001121.html
53. MĚŘÍNSKÝ, Vlastimil. *Materiály pro výrobu obuvi pro 1., 2. a 4. ročník SPŠ kožařské*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada kožedělné literatury. Dostupné také z: http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:34121090-9db5-11e7-ae0a-005056827e52
54. Teletina. *Bevedo* [online]. Praha, c2016 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.bevedo.cz/napoveda/clanky/teletina/
55. PAŘILOVÁ, Hana. Struktura kůže. *Skolatextilu* [online]. Brno [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: http://www.skolatextilu.cz/elearning/45/textilni-terminologie-zboziznalstvi/kuze-a-kozesiny/Struktura-kuze.html
56. FALKIEWICZ-DULIK, Michalina, Katarzyna JANDA a George WYPYCH. 6.8 LEATHER AND LEATHER PRODUCTS. In: *Handbook of Biodegradation, Biodeterioration, and Biostabilization*. 2nd Edition. Toronto: ChemTec Publishing, 2015, s. 133-137. ISBN 978-1-895198-87-4. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00U7X321/handbook-biodegradation/composition-raw-leather
57. Činění kůží a kožešin. *Livinghistory* [online]. 2010 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://livinghistory.cz/node/410

58. PAŘILOVÁ, Hana. Podle jakosti. *Skolatextilu* [online]. Brno [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: http://www.skolatextilu.cz/elearning/48/textilni-terminologie-zboziznalstvi/kuze-a-kozesiny/Podle-jakosti.html
59. Krupon. *KUMO* [online]. Jablůnka, c2020 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.kumo-kozeluzna.cz/p/krupon2/
60. Vaz. *KUMO* [online]. Jablůnka, c2020 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.kumo-kozeluzna.cz/p/vaz/
61. Kraj. *KUMO* [online]. Jablůnka, c2020 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.kumo-kozeluzna.cz/p/kraj/
62. Půlka. *KUMO* [online]. Jablůnka, c2020 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.kumo-kozeluzna.cz/p/pulka/
63. PAŘILOVÁ, Hana. Koželužské zpracování kůží na usně. *Skolatextilu* [online]. Brno [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: http://www.skolatextilu.cz/elearning/50/textilni-terminologie-zboziznalstvi/kuze-a-kozesiny/Kozeluzske-zpracovani-kuzi-na-usne.html
64. DIKEMAN, Michael a Carrick DEVINE. Tanning. In: *Encyclopedia of Meat Sciences*. 2nd Edition. London: Elsevier, c2014, s. 112-121. ISBN 978-0-12-384731-7. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00U6FNL3/encyclopedia-meat-sciences/hides-and--tanning
65. PAŘILOVÁ, Hana. Činění. *Skolatextilu* [online]. Brno [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: http://www.skolatextilu.cz/elearning/51/textilni-terminologie-zboziznalstvi/kuze-a-kozesiny/Cineni.html
66. ROUETTE, Hans-Karl. Chrome Tanning. In: *Encyclopedia of Textile Finishing*. Woodhead Publishing, 2001, s. 92-94. ISBN 978-3-540-65031-7. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003VS528/encyclopedia-textile/chrome-tanning
67. Metody činění kůží. *Patrickpoppet* [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.patrickpoppet.cz/l/metody-cineni-kuzi/
68. COVINGTON, Tony. 13. Vegetable Tanning. In: *Tanning Chemistry - The Science of Leather*. Cambridge: Royal Society of Chemistry (RSC), c2009, s. 281-284. ISBN 978-0-85404-170-1. Dostupné také z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00AC4D4B/tanning-chemistry-science/vegetable-tanning
69. VÍTKOVÁ, Lucie. Výrobní postupy. *4hunters* [online]. Horní Benešov, c2011 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://4hunters.webnode.cz/vyrobni-postupy/
70. *Guide to the Decoration of Leather - A Collection of Historical Articles on Stamping, Burning, Mosaics and Other Aspects of Leather Decoration*. Read Books, c2011. ISBN 1447424921.
71. LEATHER BELT. *Wheatleather* [online]. Příbram, c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.wheatleather.com/listing/294782557/western-style-leather-belt-001-brown
72. Embossing Roller. *Linkedin* [online]. 2022 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.linkedin.com/pulse/embossing-roller-rinku-patel/
73. How To Emboss Leather: The Ultimate Guide For Every Enthusiast. *Glytterati* [online]. c2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://glytterati.com/blogs/articles/how-to-emboss-leather
74. Metoda dle Shore. *Hanyko* [online]. Praha, c2016 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.hanyko-praha.cz/produkty/tvrdomery/co-je-tvrdost-a-jak-se-meri/shore/
75. ČSN EN ISO 868. *Plasty a ebonit - Stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore)*. Praha: Český normalizační institut, c2023, 12 s.

76. ČSN EN ISO 2417. *Usně - Fyzikální a mechanické zkoušky - Stanovení absorpce vody za statických podmínek*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
77. KUČEROVÁ, Jana. Re: Výroba hořčíkové raznice [e-mailová komunikace]. 11. dubna 2023 10:38 [cit. 2023-04-22].
78. HŘEBÍČEK, Radek. Re: 3D tisk modelu [e-mailová komunikace]. 5. dubna 2023 20:13 [cit. 2023-04-22].
79. RYCHTÁREK, Jan. Re: 3D tisk modelu [e-mailová komunikace]. 5. dubna 2023 20:46 [cit. 2023-04-22].
80. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: http://citace.lib.vutbr.cz/info

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
D	Průměr hydraulického válce	[mm]
F_z	Zátěžná síla	[N]
h_1	Počáteční tloušťka kůže	[mm]
H_A	Hodnota tvrdosti	[Sh A]
h_n	Střední hodnota naměřených tlouštěk	[mm]
h_{n1}	Měření tloušťky v pozici 1	[mm]
h_{n12}	Střední hodnota naměřených tlouštěk stejného měření	[mm]
h_{n2}	Měření tloušťky v pozici 2	[mm]
h_r	Výška raznice	[mm]
h_s	Skutečná hloubka ražby	[mm]
p	Zátěžný tlak	[MPa]
$S_{raznice}$	Plocha kontaktu s raznicí	[mm^2]
ε	Poměrná deformace	[-]
σ_p	Přetvárné napětí	[MPa]

Zkratky

Označení	Legenda
CAD	Computer aided design
CAM	Computer aided manufacturing
CNC	Computer numerical control
DLP	Digital Light Processing
FDM	Fused deposition modeling
FFF	Fused filament fabrication
PLC	Programmable logic controllers
SLA	Stereolithography

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Model raznice