

Gymnázium Přírodní škola, z.ú
profilová práce — třída KsÍ
vyšší stupeň studia
2023/2024

Štěpán Jícha

**Postprocessingové úpravy
výtisků z materiálu ABS**

Vedoucí práce: František Tichý

Datum odevzdání: 20. prosince 2023

Úvod.....	2
Tématika	3
Základní informace	3
- Druhy postprocessingu	3
- Tvorba voděodolných produktů	4
- Materiál ABS	4
- Postprocessing polotovarů z materiálu ABS	5
Hypotéza	5
Cíle	6
Metodika.....	6
Obecný postup pro ověření hypotézy.....	6
plán výzkumu	7
Bezpečnost.....	7
realizace výzkumu.....	7
Poznámka k realizaci výzkumu.....	8
výsledky	8
Závěr	9
možná interpretace	10
potvrzení/ vyvrácení hypotézy.....	10
ovlivňující faktory.....	10
doporučení pro příště	11
poděkování	11
Přílohy.....	12

ÚVOD

TÉMATIKA

3D tisk během uplynulého desetiletí nabírá na významu. Na klasické FDM tiskárně je dnes možné vyrábět prototypy mechanických součástí, hračky, náhradní díly, nebo i pomůcky do školní výuky. Ve chvíli, kdy je daný předmět vytištěn, je možné na něm provádět různé postprocessingové úpravy. Taková úprava mění charakteristiku předmětu, (dále jen produktu), zejména jeho povrchu. Produkt dosahuje oproti předmětu, který ještě neprošel postprocessingovou úpravou, (dále jen polotovaru), vyšších estetických standardů, má vyšší mechanickou odolnost. Postprocessingová úprava využívá mnoha možných postupů, jedním z nich je naleptání polotovaru jeho přirozeným rozpouštědlem, takové naleptání způsobuje silnější spojení jednotlivých vrstev, zároveň také celkové vyhlazení nerovností vnějšího povrchu produktu. Vlivem naleptání a zpevnění vrstev se povrch hotového produktu stává vodotěsným. Voděodolné produkty vytištěné na 3D tiskárně jsou využívány zejména jako prototypy mechanických součástí, které mají být vystaveny kapalině, hračky, či ochranné kryty elektronických zařízení. Tato výzkumná práce se zabývá vlivem postprocessingové úpravy s využitím acetonu na voděodolnost produktu s ohledem na konkrétní použité dílčí části postupu.

ZÁKLADNÍ INFORMACE

- DRUHY POSTPROCESSINGU

Postprocessing je souhrnný název pro veškeré úpravy prováděné na polotovarech vytištěných na 3D tiskárně po dokončení samotného tisku. Postprocessing se zpravidla provádí kvůli zlepšení kvalit hotového výrobku, jako jsou jeho mechanické vlastnosti, nepropustnost povrchu a v neposlední řadě vzhled. Mezi nejčastěji prováděné způsoby postprocessingu patří mechanická úprava, broušení polotovaru, díky kterému se odstraní zbytky pomocných podpěr, také se tím vyhladí celkový povrch, jedná se však o hrubý způsob úpravy polotovarů. Dalším způsobem postprocessingu je tepelná úprava polotovaru. Pokud se výtisk zahřeje na určitou teplotu odpovídající danému druhu materiálu [OBR. 1], jednotlivé vrstvy se nataví a vytvoří jednolitou hladkou vrstvu s menší pórovitostí. Na takovou úpravu se dá použít například horkovzdušná pistole. Na povrch polotovaru je možné také nanést lak, barva vyplní nerovnosti v jednotlivých vrstvách a vytvoří celkové hladší povrch, zároveň se tak může značně upravit i celkový vizuální vzhled. Poslední hojně využívanou metodou je naleptávání polotovaru pomocí rozpouštědel, ty se u jednotlivých materiálů opět liší [OBR. 2]. Naleptaný povrch obdobně jako při tepelné úpravě mění své molekulární uspořádání, díky tomu se jednotlivé vrstvy narušují a slévají dohromady, vzniká tedy hladký lesklý povrch, Společnost Prusa printers ve svém článku popisuje že houževnatost a spojitost vrstev výrobku z materiálu ASA se po úpravě acetonem znatelně zlepšuje, odolnost v tahu je naopak menší. "The results showed us that smoothed models have slightly better tenacity than the untreated ones, plus they have more

than twice better layer adhesion. On the other hand when testing tensile strength, the force at which material tears were a little bit lower for smoothed parts.”¹

- TVORBA VODĚODOLNÝCH PRODUKTŮ

Výtisky na 3D tiskárně je do určité míry možné vytvořit voděodolné. Pro tvorbu voděodolných výrobků může být vícero důvodů, může se jednat o autorský záměr vytvořit konkrétní zařízení, či objekt, který je běžně vystaven vodnímu prostředí, nebo také o firemní prototyp dílu, který se bude později odlévat sériově z formy, a je nutné nejdříve otestovat jeho přibližné vlastnosti. Základem tvorby voděodolných dílů je samotné nastavení tisku a volba materiálu. Všechny termoplasty jsou přirozeně voděodolné, pokud jejich výroba probíhá správně, stejně i výtisky na 3D tiskárně mohou dosahovat obstojných kvalit. Materiál PLA má větší sklony ke křehnutí s časem oproti jiným materiálům. Hlavní problém s propustností povrchu 3D výtisků vzniká spolu s charakteristickou vrstevnatostí polotovarů, hotový výtisk má uvnitř i na povrchu znatelné vrstvy filamentu podle toho, jak byl postupně tištěn, mezi těmito vrstvami dochází přirozeně ke vzniku pórů a nerovností, jakákoliv metoda pro zvýšení nepropustnosti povrchu výtisku tedy pracuje na lepším spojení vrstev, odstranění nerovností a pór. Platí že čím méně vrstev výtisk má, tím menší je pravděpodobnost výskytu pór, pokud to tedy nekoliduje s funkcí výrobku, dá se propustnosti povrchu dobře předejít použitím tlustší trysky, zvětšením velikosti vrstev a zvýšením dávkování materiálu až na 150%. Nepropustnost se dá zlepšit také zvýšením množství okrajových vrstev, které tvoří kontinuální obal výtisku, pokud se jedná předmět, který není dutý, je vhodné nastavit vnitřní výplň až na 100%.

Dalším ovlivňujícím faktorem při přilnavosti jednotlivých vrstev je teplota, za níž je výtisk tištěn, pokud má tiskárna svou ochrannou atmosféru, díky vnějšímu krytu, tedy se v ní drží během tisku stálá teplota např. 80°C, materiál má oproti tisku za pokojové teploty vzduchu podstatně více času na vytvrnutí a utvoření pevnější krystalické mřížky a spojení s předchozími vrstvami.

Poslední metodou pro zlepšení nepropustnosti materiálu je leptání povrchu polotovaru přirozeným ředidlem materiálu, ze kterého je vyroben. Materiál PLA se dobře leptá chloroformem, materiál ABS acetonem, v případě použití těchto roztoků o silné koncentraci je vhodné na polotovar spíše nechat působit výpary rozpouštědla, než jej máčet do koncentrované lázně.

- MATERIÁL ABS

ABS, neboli Akrylonitril-Butadien-Styren je poměrně levná chemická látka vyráběná z ropy, využívá se hojně v automobilovém průmyslu, známá je také firma LEGO, která své kostky odlévá právě z tohoto materiálu. Z ABS se vyrábějí filamenty pro 3D tisk, tento materiál je vhodný pro výrobu mechanicky namáhaných dílů, jeho doporučená tisková teplota je 255°C a pro své správné zatvrnutí vyžaduje vnější obal 3D tiskárny, který zajistí vhodnou ochranu atmosféru tisku, také díky němu do volných prostor

¹ Improve your 3D prints with chemical smoothing. Online. *Blok Průša*. 2020. Dostupné z: https://blog.prusa3d.com/improve-your-3d-prints-with-chemical-smoothing_36268/. [cit. 2023-12-20].

neuniknou lidskému zdraví škodlivé styreny, které se během tisku uvolňují. Na výtiscích z materiálu ABS je možné provádět postprocessingové úpravy. “ABS lze nejen snadno brousit za sucha i za mokra, ale také vyhlazovat acetonovými výparý.”²

- POSTPROCESSING POLOTOVARŮ Z MATERIÁLU ABS

Materiál ABS je rozpustitelný acetonem, za specifických podmínek se tedy dají polotovary z materiálu ABS pomocí acetonu obrobit. existuje vícero způsobů, jak lze materiál vystavit přímému kontaktu s rozpouštědlem, nejběžnějším je přímé namáčení výtisku v acetonové lázni, umístění polotovaru do uzavřené atmosféry s vysokou koncentrací acetonu a také přímá aplikace acetonu na povrch polotovaru pomocí štětce, či jiného náčiní. Namáčení do acetonové lázně nese vysoké riziko špatné kontrolovatelnosti, rozpouštědlo působí velmi rychle, již po pár vteřinách se výtisk začíná deformovat, zároveň jakékoliv náčiní, kterým výtisk v lázni přidržujeme za sebou zanechává v rozměklém materiálu stopy. Na druhou stranu se jedná o tu nejrychlejší metodu. Aceton se rozpuštěným materiálem znehodnocuje, celý proces má tedy ve srovnání s dále popsányými metodami vyšší spotřebu rozpouštědla.

Působení acetonových výparů na polotovar pro svou efektivitu vyžaduje specifické podmínky, mělo by probíhat v uzavřené, ne však vzduchotěsné nádobě, to proto, aby acetonové výparý byly dostatečně koncentrovány v atmosféře nádoby, zároveň by ale nemělo docházet k přetlakování, doporučuje se tedy příliš neutěsnit víko nádoby, či v ní vytvořit drobné otvory. Dále se doporučuje zvolit nádobu o vhodném rozměru, čím menší nádoba bude, tím rychleji bude proces probíhat, samotný aceton je možné buď nalít na dno nádoby, nebo ho nechat nasáknout do papírového ubrousku, či jiného materiálu, obloženého po stěně nádoby, ze kterého se aceton bude odpařovat do atmosféry nádoby, díky tomu bude celkový proces urychlen. Polotovar se do nádoby umísťuje na plošinu 2-5cm nade dnem nádoby, aby nepřicházel do kontaktu s kapalným acetonem. Nádoba musí být z materiálu, který není možné rozpustit acetonem, “we chose a transparent PP (polypropylene) storage box available at IKEA”³

HYPOTÉZA

Existuje jistá konkrétní nevhodnější doba působení par acetonu na polotovar, a konkrétní nevhodnější materiál, který je umístěn uvnitř nádoby, je zde napuštěn acetonem a poté během postprocessingu distribuuje jeho výparý, při jehož využití dochází k nejlepším výsledkům nepropustnosti výrobku, to vše za předpokladu, že acetonový postprocessing opravdu má pozitivní efekt na nepropustnost povrchu

² ABS. Online. *Prusa knowledge base*. Dostupné z:

https://help.prusa3d.com/cs/article/abs_2058. [cit. 2023-12-20].

³ Improve your 3D prints with chemical smoothing. Online. *Blok Průša*. 2020. Dostupné z:

https://blog.prusa3d.com/improve-your-3d-prints-with-chemical-smoothing_36268/. [cit. 2023-12-20].

upraveného výrobku z materiálu ABS, *“Not only do the finished parts look better, they now have a higher resistance to water ingress”*.⁴

CÍLE

Tato práce má za cíl ověřit, zda má postprocessingová úprava acetonem vliv na nepropustnost povrchu produktu, dále pak nalézt pomocí výzkumu vlastností vzorků vhodnou dobu pro působení acetonových výparů na výtisk a vhodnou látku pro distribuci acetonových výparů během procesu, pro dosažení nejvyšší míry nepropustnosti.

METODIKA

OBECNÝ POSTUP PRO OVĚŘENÍ HYPOTÉZY

Nejprve je potřeba vytisknout na 3D tiskárně polotovary z materiálu ABS pro následná měření a postprocessingové úpravy. S větším počtem testovaných vzorků narůstá věrohodnost měření, zároveň se tím stává časově, i finančně nákladnějším. Celková velikost, tvar a výplň vzorků určují o čem měření bude vypovídat. Pro ověření vhodného časového úseku vystavení polotovaru acetonu je zapotřebí zvolit více časových úseků, jejichž účinek je možné porovnat. Rozptyl zvolených časových úseků je možné odvodit od časových úseků doporučených předešlými výzkumy. Důležitým faktorem je i způsob zkoumání a testování hotového produktu. Delší doba vystavení acetonovým výparům vede k vytvoření silnější deformace povrchu, což může mít i vodotěsnící efekt, nicméně tak hotový výrobek ztrácí na přesnosti detailů povrchu, může docházet i k celkovému pokroucení, je tedy nutné stanovit jaká míra deformace je ještě akceptovatelná. Měření by tedy nemělo brát v potaz pouze míru vodotěsnosti, ale i přijatelnost deformace. Propustnost materiálu závisí na době, po kterou je vystaven kapalnému prostředí, během měření by se mělo přihlídnout k tomu jaké míry vodotěsnosti materiálu je cílem dosáhnout. Pro ověření nejvhodnějšího materiálu pro distribuci acetonových par je zapotřebí zvolit testované materiály a za totožných ostatních podmínek průběhu postprocessingu je mezi sebou porovnat. Vodotěsnost produktu je možné zjistit pomocí rozdílu váhy produktu před ponořením do kapaliny a po něm, při známé hustotě kapaliny je podle rozdílu vah možné vypočítat objem

⁴ Smoothing – Best Vapor Polish Method. Online. *3D Sourced*. 2023. Dostupné z: <https://www.3dsourced.com/rigid-ink/acetone-vapor-smooth-3d-prints-abs-asa/>. [cit. 2023-12-20].

kapaliny, kterou produkt absorboval. Pro upřesnění objemu kapaliny absorbovaného přímo dovnitř materiálu je nutné před zvážením hmotnosti po namočení v kapalině povrch produktu důkladně vysušit. Čím menší je objem nasáklé kapaliny, tím vyšší míry vodotěsnosti materiál dosahuje.

PLÁN VÝZKUMU

Plán výzkumu je uveden chronologicky. Bude vytištěno 30 totožných kvádrů z materiálu ABS o hraně 20x20x50mm s 50% výplní. Kvádry budou rozděleny na 3 skupiny po 10 vzorcích. Každý kvádr bude mít identifikační číselné znaménko, každý kvádr bude zvážen, ponořen pod vodní hladinou po dobu 15min. a znovu zvážen, díky tomu bude zjištěna propustnost materiálu za krátkodobého vystavení kapalnému prostředí. Po vysušení bude každý kvádr ponořen pod vodní hladinu po dobu 24h., tím bude zjištěna propustnost polotovaru za střednědobého vystavení kapalnému prostředí. Dále po opětovném vysušení proběhne postprocessingová úprava, kvádry v první skupině - vzorky s číselným označením V_1 až V_10 budou vystaveny acetonovým výparům po dobu 30min., vzorky z druhé číselné dekády po dobu 50min. a vzorky ze třetí číselné dekády po dobu 70min. Z každé skupiny vzorků bude ponechán jeden, konkrétně V_5, V_15 a V_25, na kterých nebude provedena postprocessingová úprava, díky tomu je bude během pozdějších měření možné názorně srovnat s hotovými produkty. Postprocessingová úprava bude prováděna souběžně ve dvou nádobách, v jedné bude využito papírového kapesníku, coby materiálu pro distribuci acetonových výparů v atmosféře nádoby, v druhé bude pro stejné účely použito nanovláknů. Po postprocessingové úpravě budou všechny vzorky zváženy, ponořeny pod vodní hladinu na 15min. a znovu zváženy, po vyschnutí budou ponořeny pod vodní hladinu na 24h. a naposled zváženy, díky tomu bude zjištěna míra propustnosti vzorků, které prošly postprocessingovou úpravou po krátkodobém a střednědobém máčení.

BEZPEČNOST

Během měření bude zacházeno s acetonem, který je vysoce hořlavou a toxickou látkou. Bude tedy nutné zajistit dostatečné větrání laboratoře pro chvíle, kdy bude nádoba s acetonem bezprostředně otevřená. Při veškeré manipulaci s acetonem v otevřeném prostředí je nutné využívat ochranné rukavice, brýle a mít zakryté pokud možno všechny plochy lidské pokožky.

REALIZACE VÝZKUMU

Realizace výzkumu je uvedena chronologicky [OBR. 3]. Na 3D tiskárně bylo vytištěno 30 vzorků s 50% výplní, o hraně 20x20x50mm [OBR. 4]. Do vzorků byla pro přehlednost vyryta číselná označení 1-30. Poté byly všechny vzorky zváženy na chemické váze [OBR. 5], průměrná hmotnost vzorků dosahovala 7,77g. Následně byly všechny vzorky ponořeny a zatíženy kovovou cihlou pod hladinou vody v kýblu po dobu 15min [OBR. 6]. Poté byl vzorkům papírovým ubrouskem důkladně otřen povrch, což se později opakovalo po každém máčení, následovalo opětovné vážení, po vyschnutí máčení vzorků na 24h. a další vážení. Po vyschnutí byla postupně na většině vzorků provedena postprocessingová úprava acetonovými výparů, pro tyto účely bylo použito

dvou sklenic otočených dnem dolů, udržujících atmosféru nasycenou acetonovými výparů [OBR. 7], vzorky zde byly umístěny na kovovém podstavci. První skupina vzorků (V_1 - V_10) byla vystavena atmosféře nasycené acetonovými parami po dobu 30min., druhá skupina vzorků (V_11 - V_20) po dobu 50min. a třetí po dobu 70min. Stěny sklenice s názvem "Hanka" byly zevnitř obloženy nano folií, do které se napouštěl kapalný aceton, folie byla ke stěně připevněna pomocí dvou magnetů uvnitř a vně nádoby. Sklenice "Linda" byla podobně zevnitř obložena čtyřvrstevným papírovým kapesníkem. Vzorky V_5, V_15 a V_25 byly ponechány bez postprocessingové úpravy, nadále pak byly součástí veškerých měření. Po acetonové úpravě byly všechny vzorky ponechány po dobu 24h. na suchu, aby z nich vyprchala v podobě výparů většina acetonu, který byl během postprocessingu upravovaným výtiskem absorbován. Poté byly vzorky zváženy, namočený na 15min. do vody, znovu zváženy, následovalo vysušení a máčení ve vodě na 24h., poté byly všechny vzorky naposled zváženy. Všechny vzorky byly mezi sebou porovnány podle množství kapaliny, které během obou máčení absorbovaly [OBR. 8]. Byl vypočten rozdíl mezi váhou polotovaru po namočení na 15min. a před ním, ten je roven objemu kapaliny, který polotovar absorboval. Dále byl vypočten rozdíl mezi váhou produktu po namočení na 15min. a před ním, ten je roven objemu kapaliny, kterou absorboval produkt. Následně byl vypočten rozdíl mezi objemem kapaliny absorbované po postprocessingové úpravě a před ní, ten odpovídá míře zvýšení nepropustnosti povrchu produktu, tedy čím vyšší je tato hodnota, tím většímu vsaku kapaliny, která do vzorku před postprocessingovou úpravou pronikla, se právě touto úpravou podařilo zamezit. Postup pro výpočet rozdílů v propustnosti polotovarů a produktů při máčení po dobu 24h. probíhal zcela totožně, jako u máčení po dobu 15min.

POZNÁMKA K REALIZACI VÝZKUMU

Během výzkumu bylo k postprocessingové úpravě využito coby nádob, držících atmosféru, bohatou na acetonové výparů dvou sklenic, původní autorův záměr byl však sestavit a použít "aceton box" [OBR. 9] podle návodu od společnosti Prusa Research, ten se ale během testovacích pokusů především díky svým rozměrům 230x300x350mm projevil jako neefektivní pro úpravu takto drobných polotovarů.

VÝSLEDKY

Za stálé teploty 30°C mezi dny 10. - 21.července 2023 byla na třiceti vzorcích měřena propustnost povrchu, následně pak provedena postprocessingová úprava acetonem, jejíž parametry se u různých vzorků lišily, poté byla opět měřena propustnost povrchu vzorků. Z proběhlých měření vyplývá následující: největšího rozdílu mezi objemem absorbované kapaliny před postprocessingovou úpravou a po ní, při průměru 0,055ml snížení absorbované kapaliny dosahují z celkového souhrnu naměřených hodnot [OBR. 10], při máčení po dobu 15min. vzorky V_16 až V_20 (0,098ml) [OBR. 11], tyto vzorky byly naleptávány acetonovými výparů po dobu 50min. ve sklenici, která byla zevnitř obložena papírovým kapesníkem. Vzorky V_26 až V_30 (-0,036ml) [OBR. 12] byly ve sklenici obloženy papírovým kapesníkem vystaveny acetonovým výparům po dobu 70min., hmotnost kapaliny absorbované během 15min. máčení po provedení postprocessingové úpravy je zde výrazně větší, než před úpravou. Vzorky V_26 až

V_30 (0,122ml) zároveň dosahují největšího rozdílu mezi objemy absorbované kapaliny před postprocessingovou úpravou a po ní při máčení po dobu 24h. Nejmenšího rozdílu mezi objemem kapaliny absorbované před a po postprocessingové úpravě během máčení po dobu 24h. dosahují vzorky V_6 až V_10 (0,044ml) [OBR. 13].

ZÁVĚR

MOŽNÁ INTERPRETACE

Vzorky V_16 až V_20, které byly vystaveny acetonu po dobu 50min. s využitím papírového kapesníku dosáhly nejlepšího výsledku ve změně k větší nepropustnosti povrchu vzorků při máčení po dobu 15min., nicméně při máčení po dobu 24h. došlo k nejvýraznější změně k větší nepropustnosti povrchu u vzorků V_26 až V_30, které byly acetonovým výparům ve sklenici obložené papírovým kapesníkem vystaveny po dobu 70min., jelikož však u těchto vzorků zároveň došlo k výrazné deformaci celkového tvaru, není vhodné tento postup postprocessingové úpravy aplikovat na předměty s žádoucím konkrétním tvarem povrchu, jako jsou přesnější mechanické součástky. Nejvhodnějším kompromisem mezi zvýšením nepropustnosti povrchu a zamezením deformace tvaru produktu je provedení postprocessingové úpravy po dobu 50min. s využitím papírového kapesníku pro vnitřní obložení sklenice, vzorky V_16 až V_20, které byly upraveny tímto způsobem vykazovaly minimální deformaci povrchu, zároveň také dosáhli nejvýraznějšího zvýšení nepropustnosti při máčení po dobu 15min. a druhého nejvýraznějšího při máčení po dobu 24h. Při využití nano folie jako materiálu pro obklad sklenice nedocházelo k příliš výraznému zvýšení nepropustnosti vzorků, zároveň ale takto upravené vzorky dosahovaly nejvyššího estetického standardu, možným vysvětlením je že distribuce acetonových výparů je při využití nano folie rovnoměrnější a plynulejší, než při využití papírového kapesníku. Folie z nanovlákná je tedy vhodná pro upravování výtisků s velmi složitým povrchem.

POTVRZENÍ/ VYVRÁCENÍ HYPOTÉZY

Acetonová úprava má jistý vliv na nepropustnost povrchu upravovaného výtisku. Jako nejvhodnější postup se projevilo upravovat polotovary po dobu 50min. ve sklenici obložené papírovým kapesníkem, produkty takto získávají jistou míru nepropustnosti svého povrchu, zároveň dosahují vyšších estetických standardů, bez přítomnosti výrazné deformace svého tvaru.

OVLIVŇUJÍCÍ FAKTORY

Během výzkumu byly zkoumány vlastnosti kvádrů vytištěných na 3D tiskárně, která je opatřena ochrannou skříní, filament tedy během tisku tuhne při teplotě 60°C, díky čemuž dochází k výraznému spojení jednotlivých vrstev už během tisku, je tedy možné, že pokud by byla zkoumána nepropustnost povrchu polotovarů a produktů vytištěných na jiném typu 3D tiskárny, která není opatřena ochrannou skříní, výsledný rozdíl v nepropustnosti před a po provedení postprocessingové úpravy by byl větší. Měření nepropustnosti produktů probíhalo s jednodenním odstupem od provedení postprocessingové úpravy, při níž do sebe produkty vstřebaly určité množství acetonu, což ovlivnilo jejich hmotnost. Aceton během jednotlivých měření z produktů stále vyprchával, je tedy možné, že rozdíl v nepropustnosti před a po postprocessingové úpravě byly naměřeny větší, než kdyby měření s produkty probíhalo s větším časovým odstupem od postprocessingové úpravy. Aceton byl do sklenic dávkován v přibližné dávce 10ml, nebylo však využito přesnější odměrné nádoby, je tedy možné, že některé

vzorky byly vystaveny atmosféře s větší koncentrací acetonu, než jiné. Polotovary byly do sklenic umisťovány v různých časových intervalech od napuštění nano vlákniny, případně papírového kapesníku acetonem, sklenice tedy mohly mít před začátkem postprocessingové úpravy u různých vzorků různé předpřipravené atmosféry acetonových výparů, což také mohlo ovlivnit výsledky postprocessingových úprav

DOPORUČENÍ PRO PŘÍŠTĚ

Během postprocessingové úpravy do sebe výtisk absorbuje určité množství acetonu, přítomnost acetonu ovlivňuje jednak mechanické vlastnosti, zároveň také hmotnost produktu, aceton z produktu postupně vyprchává. Veškerá měření hmotnosti produktu je třeba provádět s časovým odstupem v řádech dnů, až týdne od postprocessingové úpravy, v závislosti na velikosti objektu, zamezí se tím zkreslení dat o propustnosti povrchu produktu po postprocessingové úpravě. Základem kvalitní a efektivní postprocessingové úpravy acetonem je dobře zkonstruovaná nádoba pro tento proces. Sklenice se během výzkumu osvědčily pro úpravu drobných objektů v řádech jednotek kusů, pro úpravu většího množství větších objektů je ale potřeba zkonstruovat jiný druh zařízení, takové zařízení by mělo dokázat rovnoměrně distribuovat dostatečné množství acetonových výparů do atmosféry nádoby, která by pro omezení ztrátivosti acetonu neměla být objemově naddimenzovaná upravovanému polotovaru. Kvádry 20x20x50mm, s 50% výplní, které byly ve výzkumu zkoumány, jsou poměrně specifické objekty. Ověření vodotěsnosti produktu je vhodnější zkoumat konkrétně na takových předmětech, které se svým tvarem a celkovou jakostí co nejvíce podobají předmětu, jehož nepropustnosti je záměrem docílit. Pokud je tedy například zapotřebí ověřit, zda může být ochranný obal pro elektronické zařízení v dostatečné míře vodotěsný, je důležité takovou informaci zjistit přímo měřením vodotěsnosti produktu, který svým tvarem a celkovou jakostí přímo odpovídá ochrannému obalu elektronického zařízení, obecné měření vodotěsnosti na univerzálních kvádrech je v takovém případě nedostačující. Jakékoliv vědecké zkoumání získává na validitě spolu se zvyšujícím se množstvím provedených pokusů, stejně tak ověřování voděodolnosti produktů z 3D tiskárny je nutné provádět s co největším počtem vzorků, ideálně okolo 100 vzorků, pro každou zkoumanou kategorii, jakou je například doba vhodná pro postprocessingovou úpravu za využití papírového kapesníku, měření je také možné provádět vícekrát na stejném vzorku. Tento výzkum pozoroval pouze míru voděodolnosti produktů po krátkodobý (15min.) a střednědobý (24h.) časový úsek, pro zjištění voděodolnosti předmětu vystaveného kapalnému prostředí dlouhodobě bude potřeba provést měření s podstatně většími časovými úseky máčení v řádech týdnů, měsíců, nebo i déle. Je vhodné ověřit vlastnosti využití nano folie po delší dobu postprocessingové úpravy, než 70min., je možné, že tak mohou produkty získávat nejvýhodnější kombinaci nepropustnosti a zachování celkového tvaru povrchu.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji firmě STARMANS electronics, v jejíž prostorách za významné spolupráce probíhal výzkum, zejména pak děkuji paní Ing. Ivaně Doubkové, která ochotně asistovala při řešení veškerých materiálních problémů. Děkuji Národní technické knihovně v pražských Dejvicích, kde na knihovnických počítačích v příjemné atmosféře

probíhala rešeršní práce, i podstatná část zpracování výzkumu. Nakonec děkuji skvělé kavárně *Cafe Živé kytky*, kde jsem formuloval slova do závěrečné zprávy o tomto výzkumu.

PŘÍLOHY

Materiál	Teplota (°C)		Trvání (h)
	měknutí	sušení	
PLA	60-65	50	8
PETG	75-80	60	6
ABS	105-110	70	6
PA (nylon)	160-180	80	8

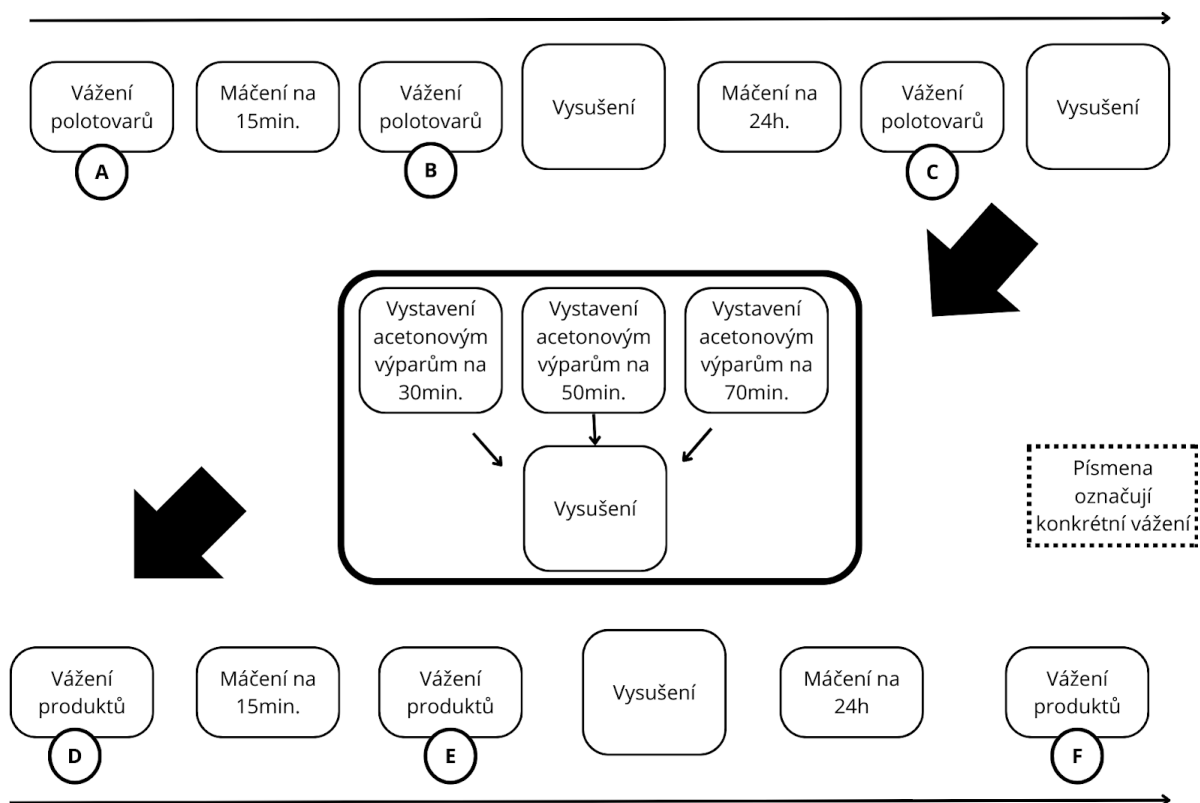
[OBR. 1] TABULKA TEPLoty MĚKNUTÍ PRO JEDNOTLIVÉ MATERIÁLY⁵

	PLA	PVB	PETG	ASA	ABS	PC	PA	PP
Voda (H ₂ O)	A	A	A	A	B	A	A	A
IPA 75% (Isopropylalkohol, C ₃ H ₈ O)	C	D	A	B	B	B	A	A
IPA 99% (Isopropylalkohol, C ₃ H ₈ O)	C	D	B	B	B	B	A	A
Kyselina octová 8% (ocet, C ₂ H ₄ O ₂)	B	C	A	A	B	A	C	A
Chlorid sodný 10% (sůl, NaCl)	B	B	A	B	A	A	A	A
Kyselina citronová (C ₆ H ₈ O ₇)	B	B	A	A	-	A	B	A
Kyselina chlorovodíková 37% (HCl)	C	-	A	C	C	A	D	A
Peroxid vodíku 30% (H ₂ O ₂)	B	-	A	A	A	A	D	A
Kyselina fosforečná 85% (H ₃ PO ₄)	C	-	C	-	A	A	D	A
Kyselina dusičná 69% (HNO ₃)	D	-	D	-	A	D	D	A
Kyselina sírová 96% (H ₂ SO ₄)	D	-	D	-	-	D	D	A
Fridex * (Ethylenglykol, C ₂ H ₆ O ₂)	B	B	A	A	-	A	-	-
Savo ** 1:10 (NaClO)	B	B	A	A	-	B	A	A
Ethanol (C ₂ H ₆ O)	C	D	B	B	A	B	A	A
Aceton (C ₃ H ₆ O)	D	D	C	D	D	C	A	A

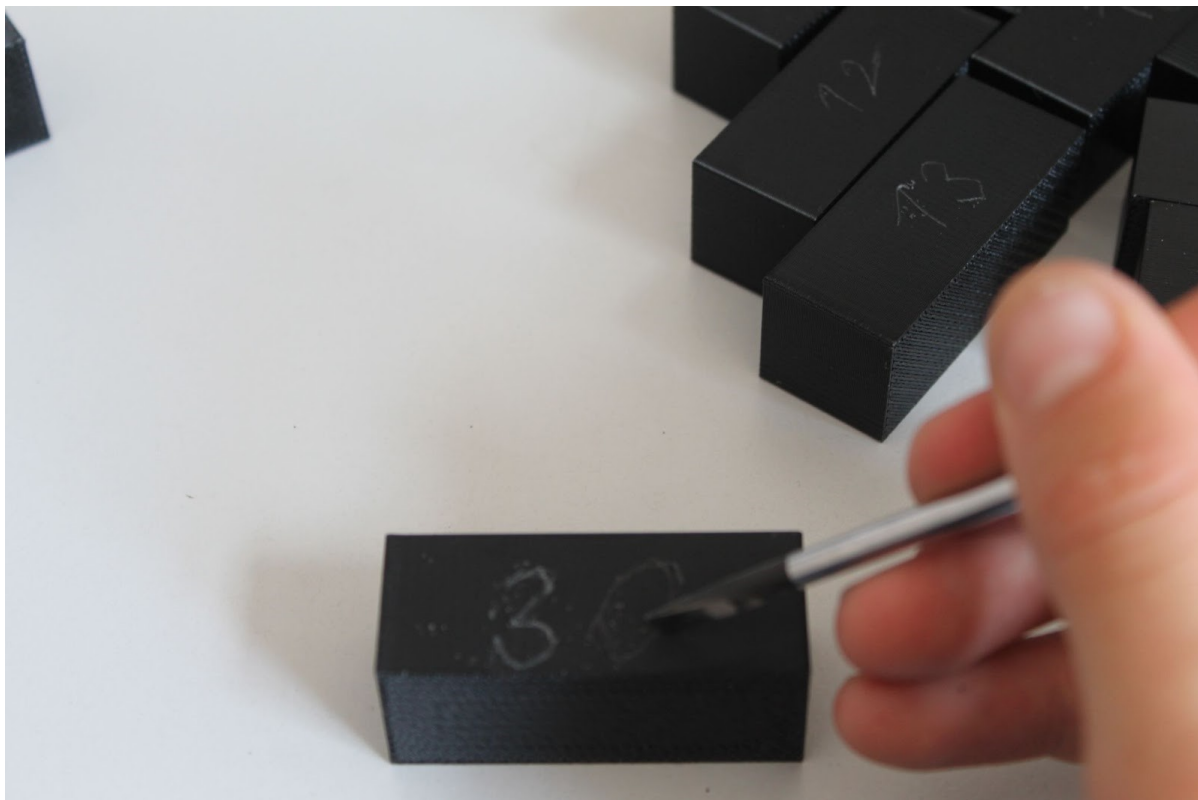
[OBR. 2] TABULKA ROZPOUŠTĚDEL PRO JEDNOTLIVÉ MATERIÁLY, PÍSMENO D ZNAČÍ NEJVYŠÍ ROZPUSTNOST.⁶

⁵ Novinka: Vlhkost a plasty v 3D tisku. Online. *MCU*. 2020. Dostupné z: <http://mcu.cz/print.php?news.4250>. [cit. 2023-12-20].

⁶ Chemická odolnost materiálů pro 3D tisk. Online. *Průša blog*. 2021. Dostupné z: <https://prusament.com/cs/chemicka-odolnost-materialu-pro-3d-tisk/>. [cit. 2023-12-20].



[OBR. 3] SCHÉMA POPISUJÍCÍ CHRONOLOGICKÝ PRŮBĚH MĚŘENÍ



[OBR. 4] OZNAČOVÁNÍ VYTIŠTĚNÝCH VZORKŮ



[OBR. 5] VÁŽENÍ VZORKŮ



[OBR. 6] MÁČENÍ VZORKŮ



[OBR. 7] POSTPROCESSINGOVÁ ÚPRAVA

Máčení po dobu 15min.

$$B - A = m$$

Váha pojmuté kapaliny u polotovaru

$$E - D = n$$

Váha pojmuté kapaliny u produktu

$$m - n = V1$$

Váha kapaliny, jejímuž pojmutí do výtisku se provedením postprocessingové úpravy zabránilo

Písmena odpovídají hodnotám získaným během vážení, které je ve schématu o průběhu měření označeno stejným písmenem

Máčení po dobu 24h.

$$C - A = o$$

Váha pojmuté kapaliny u polotovaru

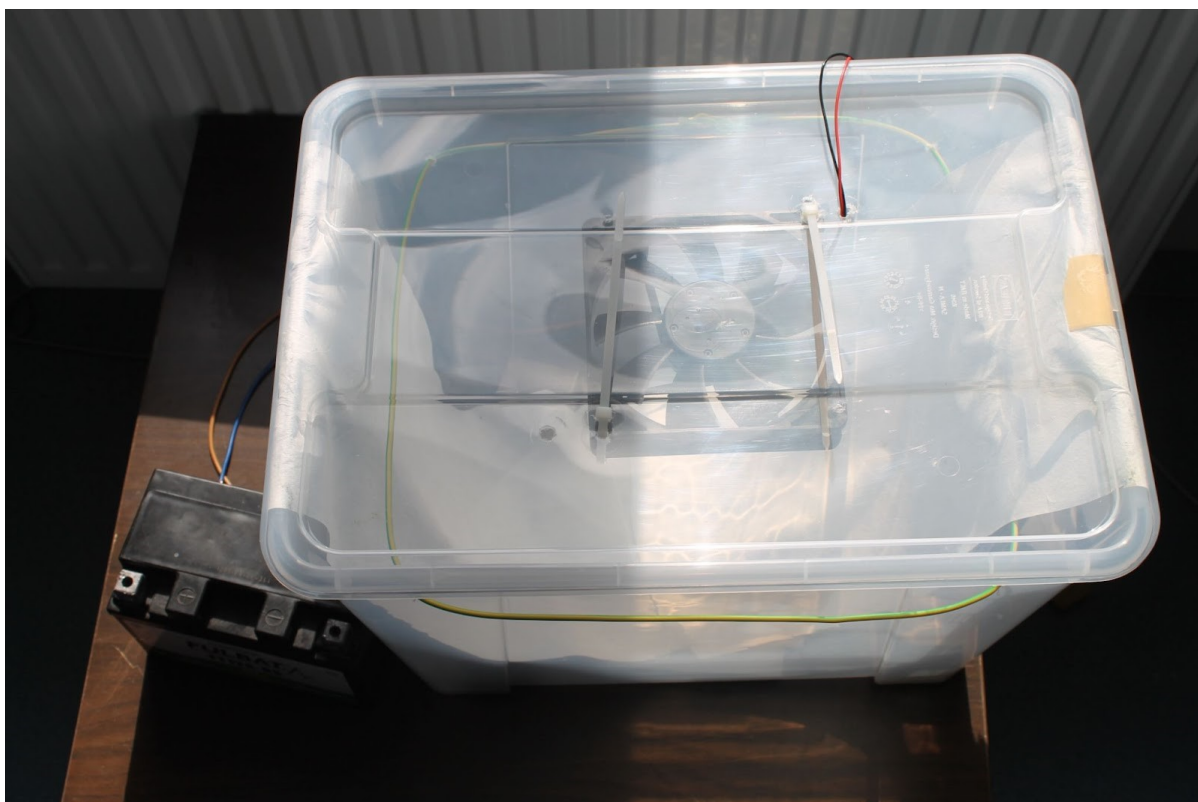
$$F - D = p$$

Váha pojmuté kapaliny u produktu

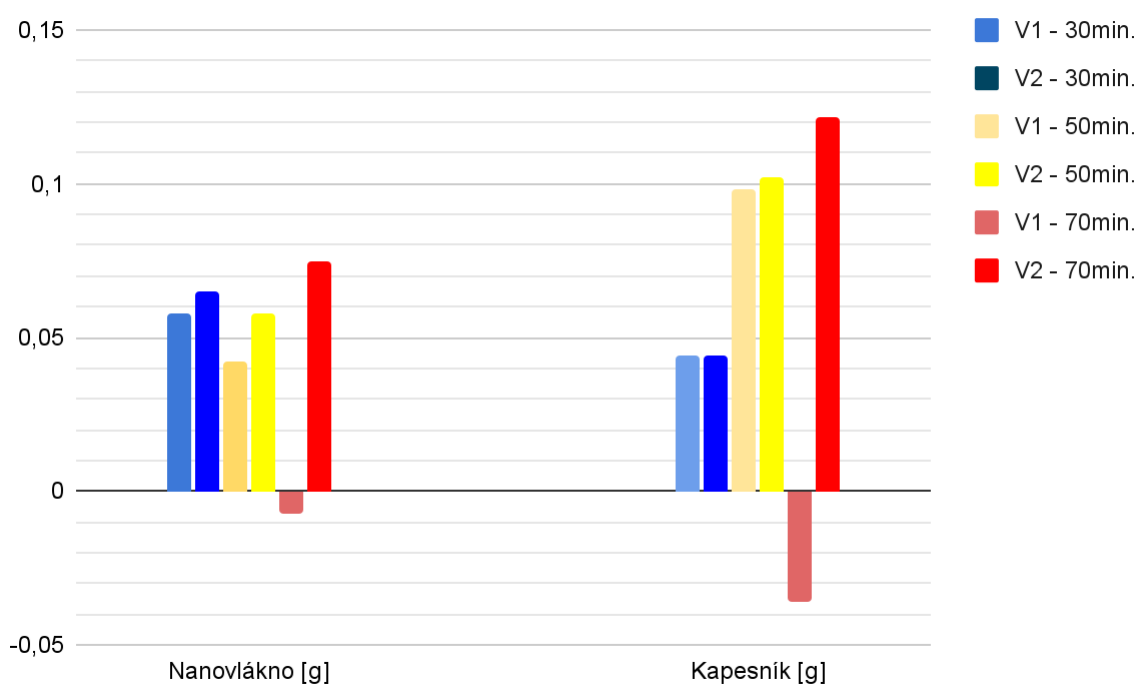
$$o - p = V2$$

Váha kapaliny, jejímuž pojmutí do výtisku se provedením postprocessingové úpravy zabránilo

[OBR. 8] SCHÉMA VÝPOČTU ROZDÍLU ABSORBOVANÉ KAPALINY POLOTOVARU A PRODUKTU



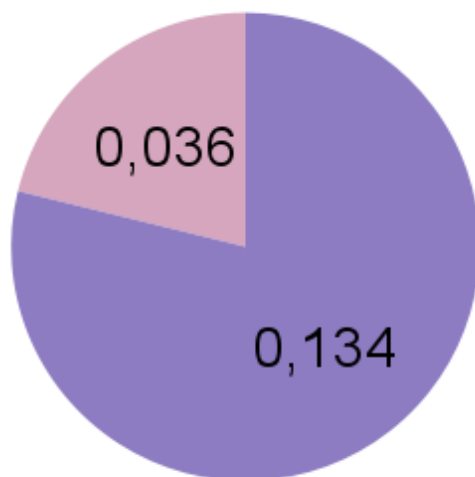
[OBR. 9] ACETON BOX PODLE PRUSA RESEARCHES



[OBR. 10] GRAF ROZDÍLU HMTNOSTÍ VŠECH MĚŘENÝCH KATEGORIÍ

Kapesník, 50min.

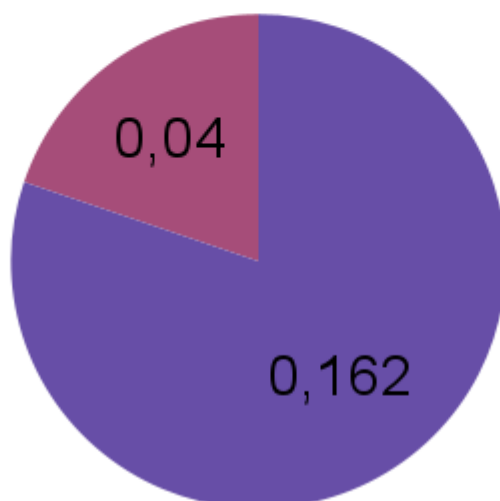
● Hodnota [m] ● Hodnota [n]



[OBR. 11] GRAF VZORKŮ V_16 AŽ V_20

Kapesník, 70min.

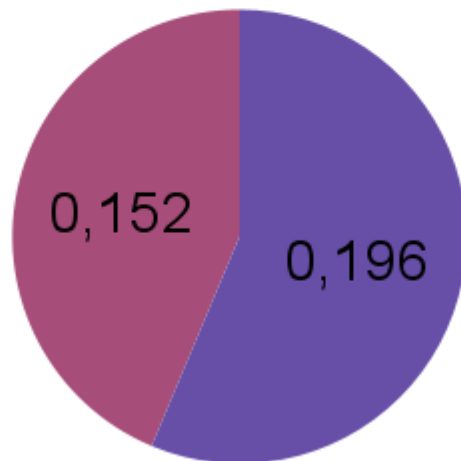
● Hodnota [o] ● Hodntota [p]



[OBR. 12] GRAF VZORKŮ V_26 AŽ V_30

Kapesník, 30min.

● Hodnota [o] ● Hodnota [p]



[OBR. 13] GRAF VZORKŮ V_6 AŽ V_10