



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**DESIGN PORCELÁNOVÉHO SETU PRO ADITIVNÍ
VÝROBU**

DESIGN OF A PORCELAIN SET FOR ADDITIVE MANUFACTURING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Vítek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Škaroupka, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Jan Vítek**
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: Průmyslový design ve strojírenství
Vedoucí práce: **Ing. David Škaroupka, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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

Design porcelánového setu pro aditivní výrobu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kusová výroba porcelánových produktů je v konvenčním procesu velmi nákladná. S rozvojem technologie SLA (stereolitography) byly ověřeny a jsou komerčně dostupné tiskové hmoty na bázi fotocitlivé pryskyřice s příměsí keramického prášku. Na Ústavu konstruování je ve vývoji proces zpracování 3D tiskového materiálu s příměsí porcelánu a ve spolupráci s lokálním výrobcem byly provedeny první experimenty. Podstatou této práce je vypořádat se s výzvou, kterou kladou technologické limity jak samotného 3D tisku nového materiálu, tak i problémy vyplývající s tradičního postprocesu v pecích.

Typ práce: vývojová – designéřská

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je návrh sady porcelánových hrnků s podšálky a výroba jednoho prakticky použitelného šálku na espresso pomocí 3D tisku technologií SLA.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- identifikovat možnosti a limity technologie a 3D tiskového materiálu,
- navrhnout parametrizované varianty řešení sady 3 hrnků s podšálky,
- 3D tisk variant technologií FFF z plastu – zvolení vhodného návrhu pro technologii SLA,
- nalezení vhodných procesních parametrů 3D tisku SLA a vytištěný funkčního vzorku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

BOHNACKER, Hartmut, Benedikt GROSS, Julia LAUB a Claudius LAZZERONI. Generative design: visualize, program, and create with processing. New York: Princeton Architectural Press, c2012. ISBN 9781616890773.

MORRIS, Richard. The fundamentals of product design. Lausanne: AVA, c2009. ISBN 978-2-9403-3-17-8.

FRANCE, Anna Kaziunas. Make: 3D printing. Sebastopol, CA: Maker Media, 2013. ISBN 978-14-7182-938.

LIDWELL, William, Kritina HOLDEN a Jill BUTLER. Univerzální principy designu: 125 způsobů jak zvýšit použitelnost a přitažlivost a ovlivnit vnímání designu. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3540-2.

TEDESCHI, Arturo. AAD_Algorithms-aided design: parametric strategies using grasshopper. Brienza, Italy: Le Penseur Publisher, 2014. ISBN 978-88-95315-30-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem sady porcelánových šálek na kávu. Při návrhu jsou použity principy parametrizace a rovněž inovativní způsob tvorby dekoru pomocí generativních algoritmů. Na návrhu práce zkoumá možnosti využití aditivních technologií při produkci porcelánových výrobků, a to jak při výrobě forem, tak při přímé výrobě technologií SLA. Součástí je i vývoj vlastního materiálu pro 3D tisk z porcelánu a nalezení vhodných procesních parametrů tisku.

KLÍČOVÁ SLOVA

design, šálek, porcelán, parametrizace, technologie SLA

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a set of porcelain coffee cups. The principles of parameterization are used in the design, as well as an innovative way of creating decor using generative algorithms. The thesis examines the possibility of using additive technologies in the production of porcelain products, both in the production of molds and in the direct production by SLA technology. It also includes the development of material for 3D printing from porcelain and finding suitable process parameters for printing.

KEYWORDS

design, coffee cup, porcelain, parametrization, SLA technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÍTEK, Jan. Design porcelánového setu pro aditivní výrobu. Brno, 2020, 80 s. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124916>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Ing. David Škaroupka, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Davidu Škaroupkovi, Ph.D. za vedení mé práce, podnětné rady a zasvěcení do problematiky parametrického designu a aditivních technologií. Dále také děkuji MgA. Jiřímu Hlušíčkovi za odborné rady, týkající se výroby porcelánu a za poskytnutí možnosti realizovat výrobu.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Davida Škaroupky Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	14
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	15
2.1	Designérská analýza	15
2.1.1	Historický vývoj	15
2.1.2	Design	16
2.1.3	Příklady stávajících výrobků	17
2.2	Technická analýza	20
2.2.1	Složení a vlastnosti porcelánu	20
2.2.2	Tradiční technologie výroby	21
2.2.3	Aditivní výroba	22
2.2.4	Ergonomické zásady tvarování šálků	25
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	26
3.1	Analýza problému	26
3.2	Cíl práce	26
3.3	Cílová skupina	27
3.4	Základní parametry	27
3.5	Použité výrobní technologie, možný trh a cena	27
4	VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU	29
4.1	Varianty struktury dekoru	29
4.1.1	Struktura „list“	29
4.1.2	Struktura „kůrvec“	33
4.2	Varianty tvaru	35
4.2.1	Varianta I	36
4.2.2	Varianta II	37
4.2.3	Varianta III	38
4.3	Výběr finální varianty	39
5	TVAROVÉ ŘEŠENÍ	40
5.1	Základní varianta – šálek	40
5.1.1	Kompoziční řešení šálku	40
5.1.2	Tvarové řešení šálku	41
5.1.3	Struktura dekoru šálku	41

5.2	Základní varianta – podšálek	43
5.2.1	Tvarové řešení podšálku	43
5.2.2	Struktura dekoru podšálku	44
5.3	Finální varianty	45
5.3.1	Šálek na espresso	46
5.3.2	Šálek na lungo	46
5.3.3	Šálek na cappuccino	47
5.4	Parametrizace	47
5.4.1	Tělo šálku	47
5.4.2	Ouško	48
5.4.3	Struktura dekoru šálku	50
6	KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ	55
6.1	Rozměry	55
6.2	Materiálové řešení	57
6.2.1	Materiál pro výrobu odléváním	57
6.2.2	Materiál pro tisk šálku na SLA tiskárně	57
6.3	Technologie	58
6.3.1	Lití na jádro	58
6.3.2	Tisk na SLA tiskárně	61
6.3.3	Procesní parametry tisku	62
6.4	Ergonomie	63
6.4.1	Ergonomie ouška	63
6.4.2	Ergonomie těla šálku	64
6.4.3	Ergonomie podšálku	65
6.5	Hygiena	65
7	BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ	66
7.1	Barevné řešení	66
7.2	Grafické řešení	68
7.2.1	Logo	68
8	DISKUZE	69
8.1	Psychologická funkce	69
8.2	Sociální funkce	69
8.3	Ekonomická funkce	69

8.4	Význam parametrizace	70
8.5	Vyvinutý materiál	70
9	ZÁVĚR	71
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	72
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	74
11.1	Použité zkratky	74
11.2	Použité veličiny	74
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
13	SEZNAM PŘÍLOH	78

1 ÚVOD

Porcelánové výrobky měly v rámci užité keramiky vždy prestižní postavení, plynoucí jak z unikátních vlastností materiálu, tak z jeho historické vzácnosti a nedostupnosti. Tradičně jde o často luxusní výrobky, u kterých je důležitá jak jejich praktická, tak především estetická a reprezentativní funkce, ať už jde o neodmyslitelnou součást „parádních pokojů“ našich babiček, či o vybavení designové kavárny.

V současné době je design porcelánových výrobků do značné míry omezen používanými výrobními technologiemi, které rovněž neumožňují plně využít předností materiálu. Díky rozvoji technologií se otevírají nové možnosti, jak k tvorbě přistupovat. Jde především o využití aditivních technologií, jejichž použití by mohlo nejen umožnit větší tvůrčí svobodu, ale také významně zlevnit malosériovou výrobu, která je nyní závislá na používání drahých forem.

Obsahem práce je návrh „digitálního porcelánu“ – sady porcelánových šálek na kávu využívající nových přístupů a technologií, jako je parametrizace, díky které je možné precizně pracovat s tvarem a detaily za účelem nalezení nejlepšího řešení, či generativních algoritmů pro vytvoření dekoru. Dále také práce zkoumá možnosti a limity využití 3D tisku při produkci porcelánových výrobků, a to jak při výrobě forem, tak u přímé výroby tiskem z upravené porcelánové směsi.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Designérská analýza

2.1.1 Historický vývoj

Porcelán byl vynalezen ve starověké Číně, přičemž pravý porcelán se vyrábí přibližně od 7. století n. l. Postupně vznikly rozmanité varianty, lišící se použitím různých příměsí, glazur a dekorů – od zeleného tzv. seladonového porcelánu až po porcelán tzv. jižního typu s vysoce transparentním bílým střepem, dekorovaným rytím a namodralou glazurou. Ačkoliv se Čína snažila tajemství výroby porcelánu utajit, technologie se rozšířila v 11. stol. do Koreje a později i do Japonska.

Do Evropy přiváží porcelán údajně jako první Marco Polo kolem roku 1290 a velice rychle se stal velmi vyhledávanou a luxusní záležitostí. Fascinace porcelánem dokonce zašla až tak daleko, že mu Evropané přikládali magické účinky (např. v nádobách z porcelánu údajně neměl přetrvat jed, drcený porcelán byl používán jako všelék). Není tedy divu, že se následně snažili odhalit tajemství jeho výroby. [1]

Prvním pokusem o napodobení porcelánu byl tzv. Medici porcelán, vyráběný od konce 15. stol. v italské Florencii. Šlo o bílou, pórovitou hmotu, vyráběnou z bílých jílů z Vincenzy, které mají jenom malý obsah kaolínu. Výsledek nedosahoval v žádném případě takové pevnosti a transparentnosti jako originál. Zdobení (podobně jako u keramiky z nizozemského Delftu) kopírovalo čínské vzory. Ve Francii byl vyráběn tzv. fritový porcelán, který rovněž obsahoval pouze málo kaolinu a svým složením se spíše podobal sklu. [1]

První skutečně úspěšný pokus o napodobení porcelánu vznikl roku 1708 v Míšni, poté se technologie rozšířila dále po Evropě. Jedním z důvodů, proč bylo objevení výroby porcelánu v Evropě tak zdlouhavé, byla nutnost znalosti správného poměru surovin, kdežto v Číně existovala ložiska, ze kterých šlo jíly pro výrobu porcelánu těžit přímo. [1]

V současné době se rozvíjí zcela nové technologie zpracování keramických materiálů založené na 3D tisku. Postupně se rozvíjí více metod (např. SLA, DLP či FDM), které umožňují vytvářet z keramiky tvary, které by byly tradičními metodami pouze těžko realizovatelné. Takto vyráběné produkty se uplatňují v celém spektru odvětví, od medicínských aplikací, přes elektrotechniku až po šperkařství. [3, 4]

2.1.2 Design

Porcelánové šálky představují velice širokou a různorodou skupinu produktů. Lze však vysledovat a do jisté míry kategorizovat přístupy k jejich designu.

Tvar těla šálku

Základní tvar šálku je tradičně rotační, kruh je pak v naprosté většině případů zachován na horní hraně hrnku, která přichází do styku s ústy. Kruhový tvar je výhodný z hlediska výroby, tak i z ergonomického hlediska. V některých případech se můžeme setkat s šálky, které vycházejí z jiných geometrických tvarů, například ze čtverce. Jde o řešení originální, ale z hlediska ergonomie krajně nepraktické, protože rovné hrany neumožňují pohodlné pití a často dochází k únikům nápoje koutky úst.

Tradičně pojaté, historizující tvarování porcelánu bývá značně dekorativní – vychází z období, kdy porcelán zažíval největší rozmach. V současné době se můžeme setkat spíše s tvarově čistými řešeními.

Oblíbená je i inspirace kubismem (např. legendárními dózami Pavla Janáka), či japonským origami a tvorba krystalicky tvarovaných hrnků, jejichž oblíbenost ještě umocnil nedávný trend low-poly designu.

Tvar ouška

Důležité je rovněž tvarování ouška, které má zásadní vliv na výraz a harmonickou proporcionalitu šálku. Zde rovněž platí, že u tradičního, historizujícího porcelánu je kladen důraz na dekorativnost, někdy značně v neprospěch ergonomie. V současnosti jsou preferovány jednodušší tvary.

Dekor

Důležitou roli v designu porcelánových hrnků hraje dekor – ať už plastický, tak malovaný, či tištěný. Plastický dekor může představovat velice zajímavý přístup, jelikož může využívat jedné z hlavních předností porcelánu – průsvitnosti, což vede k velice působivým výsledkům.

Malovaný či tištěný dekor se i v současnosti často odkazuje na původní čínské vzory, specialitou českých designérů je pak navazování na tradici tzv. cibuláku, který je pro český porcelán typický. Některé šálky jsou pak vyloženy grafickou záležitostí, kdy je tvarování potlačeno, aby mohlo dát vyniknout dekoru.

2.1.3 Příklady stávajících výrobků

Šálek Vjemy

Porcelánový set od české designérky Světlany Koženové. Přísně geometrické, krystalické tvarování dává jasně najevo inspiraci českým kubismem. Tvary jsou vystavěny z trojúhelníkových ploch, trojúhelník se uplatňuje i v tvaru ouška. Sympatický je fakt, že podšálky do sebe tvarově zapadají. Nevýhodou může být trojúhelníkové ouško s velmi ostrým úhlem, který nepřispívá k pohodlnému úchopu, a navíc znesnadňuje umývání. Varianta s plným ouškem nepřispívá jistotě úchopu, obzvláště v případě vlhkých rukou, nebo u uživatelů se zhoršenou jemnou motorikou. [5, 6]



obr. 2-1 Šálek Vjemy – varianta šálku s plným a běžným ouškem [5,6]

Šálek LOVES ME

Tvarově velmi čistý a uměřený šálek, který využívá průsvitnosti porcelánu. Dno šálku je z vnější strany plasticky zdobeno rozetovým dekorem, který skrz dno prosvítá dovnitř a odhalí se tak po dopití nápoje. Problémem je řešení ouška, protože pro podepření šálku je nutné si prst opřít o jeho tělo, které je, díky nápoji vevnitř, horké, a tudíž nepříjemné na dotek. [7]



obr. 2-2 Šálek LOVES ME [7]

Šálek Bohemia Cobalt

Šálek, který navrhl Jiří Pelcl pro porcelánku v Dubí, je velmi tvarově uměřený, což dává vyniknout dekoru, který je založen na tradici českého cibuláku. Podobnou tvarovou filozofii sleduje i ouško, vycházející tvarem z kruhu, díky čemuž obepíná prst a umožňuje jistý úchop. Problémem tohoto řešení je opět nutnost podepření šálku ne o ouško, ale o tělo šálku, což je v případě horkého nápoje uvnitř, nepříjemné. Součástí setu je i podšálek, který tvarově spíše odpovídá misce. Toto řešení sice efektivně zabraňuje rozlití nápoje, problémem je pak umístění lžičky či cukru a podobně při servírování. [8]



obr. 2-3 Šálek Bohemia Cobalt [8]

Šálek Rollin Model NO. RY0406

Šálek čínské provenience se snaží zaujmout svým netypickým tvarem vycházejícího ze čtverce. Toto řešení, ač originální, je z hlediska ergonomie naprosto nevhodné, protože při pití dochází k unikům nápoje koutky úst. Také omývání šálku je díky ostrým hranám značně znesnadněno. [9]



obr. 2-4 Šálek Rollin Model NO. RY0406 [9]

Šálek Tonino Lamborghini

Tvarově čistý ale poměrně masivní, jak vizuálně, tak provedením, vzhledem k silným stěnám těla šálku, ze kterých pramení i poměrně značná hmotnost. Silné stěny mají zabránit rychlému vychladnutí nápoje, což ale funguje pouze v případě, že je šálek přehřátý. V opačném případě je však efekt přesně opačný. Problematické je opět ouško, které je v tomto případě koncipováno pro uchopení mezi palcem a ukazovákem. Tvar ouška, který vychází z trojúhelníku, příliš nerespektuje anatomii lidských prstů a neumožňuje jistý a pohodlný úchop. Problém je ještě umocněn výše zmíněnou hmotností. [10]



obr. 2-5 Šálek Tonino Lamborghini [10]

Šálek Hay Paper porcelain

Šálek se svým vzhledem snaží napodobovat recyklovaný papír, a to jak barvou, tak i tvarováním, což lze sledovat především na podšálku. Zajímavý nápad, který však jde naprosto proti podstatě porcelánu, jenž je (na rozdíl od keramiky) založen na čistotě a dokonalosti zpracování. Rovněž ouško, ač vzhledově elegantní, nemá žádný otvor či prolis, který by poskytoval oporu prstům při úchopu, což je z ergonomického hlediska značně problematické, zvláště u větších a tím pádem těžších variant. [11]



obr. 2-6 Šálek Paper porcelain [11]

Hrnek The floating mug

Odvážná konstrukce, kombinující hrnek i podšálek v jednom. Design jednoznačně zaujme, na druhou stranu přináší problémy oproti tradičnímu řešení. Tvarování sice zabraňuje tvorbě koleček na stole, při jen trochu větším rozlití nápoje však nemůže zabránit polití. Rovněž neumožňuje servírování kávy se vším, co to obnáší. Vzhledem ke křehkosti porcelánu je tato konstrukce také značně diskutabilní z hlediska odolnosti. [13]



obr. 2-7 Hrnek The floating mug [12]

2.2 Technická analýza

2.2.1 Složení a vlastnosti porcelánu

Základní složkou porcelánu je kaolin, vzniklý zvětřením živcových hornin, dále pak oxid křemičitý (křemen) a živce. Poměr těchto tří surovin určuje vlastnosti porcelánu, který díky tomu můžeme dělit na:

- **Měkký porcelán** – obsahuje zvýšený podíl taviv, díky čemuž se vypaluje na nižší teplotu (méně než 1300 °C). Většinou to znamená větší zastoupení živce ve směsi, ale například v případě fritového porcelánu jsou jako tavivo použity skelné frity. Tento typ porcelánu je nasákavý – do 0.2 hmotnostního procenta. Původní čínský porcelán patří mezi měkké porcelány. [1, 2]
- **Tvrký porcelán** – jde o porcelán evropského typu, obvyklé složení je 50 % kaolinu, 25 % křemene a 25 % živce. Vypalovací teplota je mezi 1350–1430 °C, díky čemuž dochází k dokonalému slinutí a střep tak není nasákavý ani pod tlakem. Podle aplikací se dá dělit na více typů, lišících se od sebe poměry složek, případně jejich částečným nahrazením (např u technického porcelánu bývá křemen nahrazen korundem) Chemické složení při obvyklém poměru složek odpovídá 64,4 % SiO₂, 24,4 % Al₂O₃ a 4,2 % K₂O. [1, 2, 14]

Mezi přednosti tvrdého porcelánu, na který se ve své práci zaměřím, patří, absence pórů a z toho pramenící naprostá nenasákavost, což je velmi důležité, jak z hlediska praktičnosti, tak především z hlediska hygieny. [1, 2]

Mezi další přednosti patří vysoká pevnost v tlaku (až 345 MPa). Z estetického hlediska je to také vysoká bělost, a hlavně pak průsvitnost. [16]

2.2.2 Tradiční technologie výroby

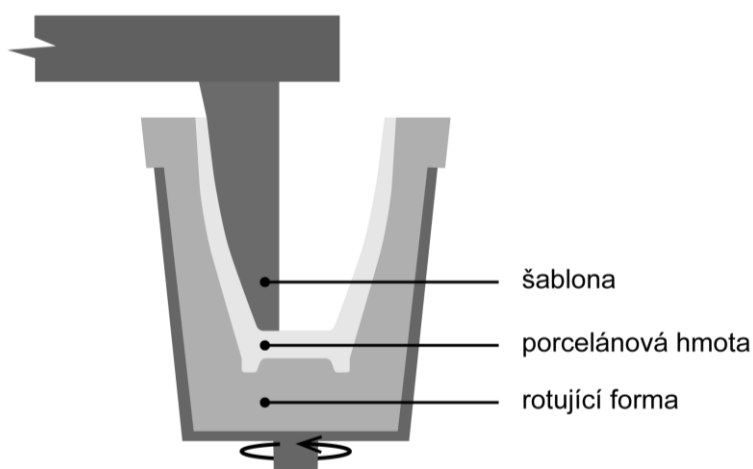
Jednotlivé suroviny se melou v kulových mlýnech na požadovanou jemnost a následně se míchají s vodou. Výjimkou je technologie lisování, která využívá materiál ve formě granulátu. [17]

Ve své práci se zaměřím na technologii odlévání do sádrových forem, která je nejdůležitější technologií při malosériové výrobě. Používají se výhradně sádrové formy, které mají schopnost absorbovat vodu. Porcelánová směs v tomto případě obsahuje větší podíl vody (30 %), zajišťující lepší tekutost. [1, 14, 17]

Výroba forem není jednoduchá záležitost, vzhledem k jejich náročnosti na přesnost, proto je jejich pořizovací cena vysoká, zvláště u vícedílných forem, které vyžadují práci zkušeného formíře. V případě prototypování nebo skutečně malých sérií je možné použití štípané formy, kde se dělicí rovina vytvoří rozstřípnutím formy na více částí. Tyto formy jsou sice výrobně jednodušší, nemají však dlouhou životnost. [17]

Lití na střep

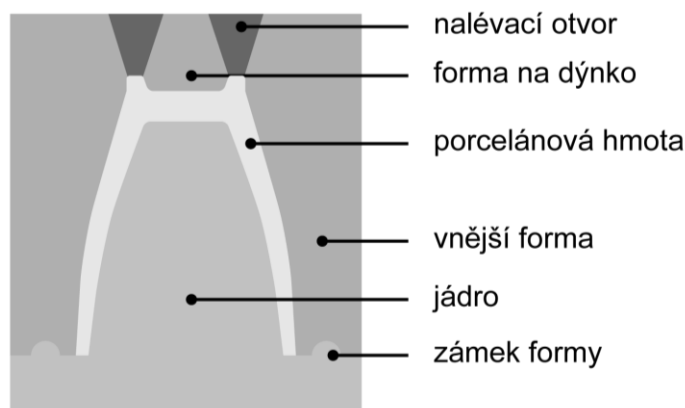
V tomto případě se do formy naleje porcelánová směs, která na kontaktu s formou tuhne a začíná se tvořit střep. Jeho tloušťka se odvíjí od času, po který byla porcelánová směs ponechána ve formě. Po uplynutí dostatečného času se přebytečný materiál vyleje. Takto vznikají výrobky s konstantní tloušťkou střepu, které však lze dále upravovat metodou zatáčení do formy, kdy forma rotuje a pomocí šablony se dotvoří přesný tvar. [15, 17]



obr. 2-8 Schéma technologie lití na střep

Lití na jádro

Jádrem označujeme část formy, která následně tvoří vnitřní stranu výrobku. Mezi ním a vnější formou je dutina, která definuje tloušťku střepe a tvar výsledného výrobku. Platí zde, že střepe by se měl směrem od nalévacího otvoru zužovat. U šálků se objevuje ještě část formy na tzv. dýnko, do kterého ústí nalévací otvory a přebytečný materiál lze následně snadno odříznout a začistit. Všechny části formy jsou spojeny zámky, které umožňují jejich přesné sesazení. [15, 17]



obr. 2-9 Schéma technologie lití na jádro

Šálky se odlívají většinou bez ouška, které se odlévá zvlášť a následně se lepí. Je možné odlévat hrnek i jako celek, není to však vhodné, protože v místě napojení ouška vznikají na vnitřní ploše šálku nevzhledné vtaženiny. Po zaschnutí se zaretušují spáry a jiné nedostatky. [17]

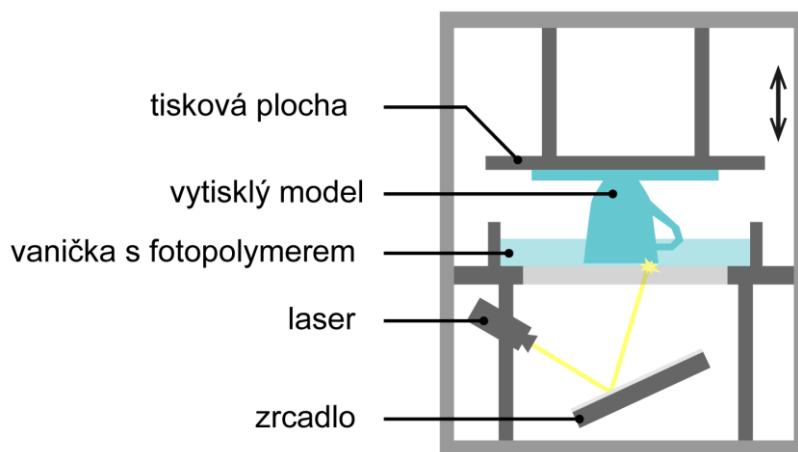
Výpal

Po zaschnutí následuje tzv. přežah, který probíhá na 900-950 °C, přičemž střepe získá základní pevnost. Poté dochází ke glazování či dekoraci. Glazury mají takřka stejné složení jako porcelán, proto zde není problém s kompatibilitou a rozdílnými teplotními roztažnostmi. Po glazování přichází na řadu konečný výpal, prováděný na teplotu okolo 1380 °C, obvykle v redukčním prostředí. [1, 14, 17]

2.2.3 Aditivní výroba

Existuje více typů aditivní výroby využitelné pro keramické materiály. Ve své práci se zaměřím na technologii SLA.

Tato technologie obecně využívá jako materiál fotocitlivou pryskyřici – resin. V tiskárně je umístěna nádoba a v ní ponořená tisková deska. Tvar je vykreslen světelným paprskem, jehož vlivem dojde k vytvrzení materiálu. Následně se tisková deska posune vzhůru a celý proces se opakuje. Po tisku je výrobek nutné omýt v isopropylalkoholu. [19]



obr. 2-10 Princip technologie SLA

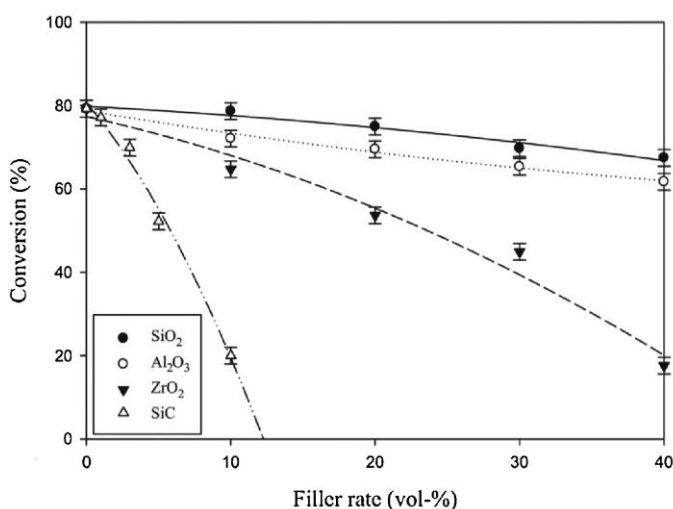
Keramické tiskové materiály jsou směsí jemných částí keramického materiálu a fotocitlivé pryskyřice, která v tomto případě slouží jako nosič pro částice keramiky. Při výpalu dochází k vyhoření pryskyřice a slnutí keramických částic. Tím, že pryskyřice vyhoří, dochází k podstatnému smrštění výrobku.

Vliv na viskozitu

Horní mez viskozity, při které je materiál úspěšně použitelný, je kolem 3 Pa·s. Pro nejlepší výsledky musí být obsah keramických částí co největší, nicméně platí, že čím větší obsah částic, tím vyšší viskozita. Dále také záleží na velikosti částic. Platí, že čím menší částice, tím menší viskozita. [4, 18]

Vliv na vytvrzování pryskyřice

V tomto případě záleží na množství materiálu ve směsi a na jeho indexu lomu. Například SiO_2 , či Al_2O_3 významně neovlivňují prosvěcování a vytvrzování pryskyřice ani při vyšších koncentracích, na rozdíl např. od SiC. [18]



obr. 2-11 Vliv materiálu na vytvrzování pryskyřice [19]

Vliv na přesnost tisku

Přesnost tisku záleží především na velikosti částic. Teoreticky může být výška vrstvy rovna velikosti největší částice rozptýlené v pryskyřici. [19]

Vliv na smrštění při výpalu

Ideální je dosáhnout co nejvyšší koncentrace keramických částic v materiálu. Čím menší koncentrace, tím více objemu materiálu vyhoří při výpalu a tím větší je smrštění výrobku. [4, 18]

Vliv na sedimentaci

Záleží na hustotě materiálu a velikosti částic. Čím větší a těžší částice, tím snadněji sedimentují, což je nežádoucí.

Na trhu již existují keramické materiály optimalizované pro 3D tisk, například Ceramic Resin od firmy Formlabs či Porcelite od Tethon 3D, kde je jako plnič použit SiO_2 . Jejich problémem je vysoká porozita střepu po výpalu, nekompatibilita s běžnými glazurami a také poměrně vysoká cena. [21, 22]

Oproti tradiční metodě výroby porcelánu se liší i proces vypálení, kdy je nutné teplotu zvyšovat pomalu, aby z výrobku stíhaly odcházet plyny vzniklé vyhořením pryskyřice a nedošlo k roztrhání střepu. Navíc se neprovádí přežah, ale už při prvním výpalu se dosahuje maximální teploty. [17, 20, 21]



obr. 2-12 Popraskaný střep po výpalu modelu tištěného z materiálu od společnosti FormLabs

2.2.4 Ergonomické zásady tvarování šálků

Tělo šálku

Při návrhu těla šálku musí být kladen důraz zejména na horní hranu, která přichází do kontaktu s ústy. Příliš malé (např. u čtvercových šálků), či naopak příliš velké zakřivení neodpovídá anatomii úst a může docházet k úniku nápoje koutky úst. Důležitá je také její tloušťka a průřez. Vhodnější jsou šálky, které se směrem vzhůru rozšiřují, jelikož se z nich nápoj snadněji přelévá do úst a šálek není nutné příliš naklánět.

Ouško

Ouško je navrženo buď pro držení mezi palcem a ukazovákem, což je relativně oblíbené řešení především u malých šálků, u kterých se předpokládá menší hmotnost, problémem je, že tímto způsobem není možné udržet větší hmotnosti a lidé se sníženými schopnostmi jemné motoriky (například starší lidé) mohou mít s tím úchopem problém. V tomto případě může být ouško i plné, je však nutné úchopové plochy vytvarovat tak, aby po nich prsty neklouzaly. [17]

Dalším způsobem držení je prostrčení ukazováku skrz ouško a jeho zapření dalším prstem. Tento úchop je daleko pevnější, vyžaduje však větší ouško. V některých případech je, vlivem nešikovného tvarování ucha, nutné si další prst opírat o horké tělo hrnku, což vede ke snížení uživatelského komfortu. Důležité je také zaměřit se na plochu pro opření palce a zabránit jeho vylamováním do nepřirozených úhlů. Vnitřní stranu ouška je vhodné tvarovat bez ostrých hran, to platí i o průřezu.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

I přes dlouhý vývoj užité keramiky se u šálek často setkáváme s řešeními, která nerespektují ergonomii. Zarážející je také skutečnost, že naprostá většina porcelánových šálek nevychází ze zásadních předností materiálu, například z jeho průsvitnosti, kterou by bylo možné velice působivě využít. Současné výrobní technologie také značně omezují tvarování a tvorbu dekoru, který je v tomto případě velmi důležitý, protože jedna z nejdůležitějších funkcí porcelánových výrobků je funkce dekorativní.

Současně roste poptávka po individualizaci produktů, na kterou současné technologie nedokážou reagovat.

Při použití parametrizace je možné rychlé prototypování, díky čemuž je možné šálek dokonale přizpůsobit jak estetickým, ergonomickým, ale i technickým požadavkům. Zároveň je tak možné vytvořit rodinu produktů, sdílející stejné tvarové postupy, a především umožňuje produkt individualizovat.

Problémem dnešní malosériové výroby je nutnost vytváření forem, které jsou velmi nákladné a výrobně náročné. Tato technologie navíc značně omezuje možnosti designu a potažmo využití všech předností materiálu.

Řešením by bylo buď výrobu forem zlevnit a zjednodušit, nebo vyrábět zcela novou technologií. Rozvoj aditivních technologií otevírá možnosti k efektivnější výrobě forem, či případně rovnou k výrobě přímým tiskem z porcelánu, díky čemuž by došlo k podstatnému zlevnění malosériové výroby a její větší flexibilitě.

Ačkoliv existují komerčně dostupné keramické materiály pro 3D tisk technologií SLA, jedná se stále o experimentální materiály, které se potýkají s vysokou porozitou stěpu po výpalu a nekompatibilitou s glazurami. Nabízí se tedy možnost vývoje vlastního materiálu, který by, na rozdíl od komerčně dostupných materiálů, vycházel přímo ze složení porcelánu.

3.2 Cíl práce

Hlavním cílem je návrh sady porcelánových šálek s podšálky na kávu za použití parametrického designu, přizpůsobený pro aditivní výrobu technologií SLA a dále prověřit možnosti využití aditivních technologií při produkci porcelánových výrobků, a to jak při výrobě forem, tak při přímé výrobě technologií SLA.

Dílčí cíle:

- identifikovat možnosti a limity technologie a 3D tiskového materiálu
- navrhnout parametrizované varianty řešení sady 3 hrnků s podšálky
- 3D tisk variant technologií FFF z plastu – zvolení vhodného návrhu pro technologii SLA
- nalezení vhodných procesních parametrů 3D tisku SLA a vytištění funkčního vzorku
- vývoj porcelánového materiálu pro 3D tisk technologií SLA

3.3 Cílová skupina

Produkt je vzhledem k malosériové výrobě určen především pro domácí použití, pro milovníky kávy a netradičního designu všech věkových kategorií, případně pro malé podniky. S masovým použitím například restauracích, či jídelnách se nepočítá.

3.4 Základní parametry

U šálek na kávu je, co se parametrů týče, důležitý především objem. Na espresso, espresso macchiato a ristretto se používají šálky o objemu 60–90 ml, na espresso doppio se dají použít stejné šálky jako na espresso, běžnější je však objem 100–150 ml, na lungo a cappuccino 150–180 ml, na americano obvykle objem 180 ml. Největší šálky o objemu 250 ml jsou na café latte. Na latte macchiato a flat white se správně používají sklenice.

3.5 Použité výrobní technologie, možný trh a cena

Pro verzi vyráběnou tradiční metodou bude použita technologie odlévání do sádrové formy – metoda lití na jádro, avšak využívající možností 3D tisku pro zjednodušení výroby formy. Pro verzi vyráběnou aditivní technologií bude použita SLA technologie 3D tisku, využívající vlastní materiál, založení na jemném porcelánovém prášku o fotocitlivé pryskyřici.

Vzhledem ke stávající a stále narůstající oblíbenosti konzumace kávy, především mezi mladou generací, kdy si spousta uživatelů zakládá na příkladném servírování a kvalitním a nápaditým designu jak samotných šálek, tak i prostředí, ve kterém si kávu vychutnávají, je trh poměrně rozsáhlý. Navíc mnoho lidí si přímo na kávě a jejím popíjení staví svoji prezentaci na sociálních sítích. Produkt ty mohou zakoupit jak jednotlivci, tak i malé podniky, například kavárny, které staví svoji prestiž na stylu a designu.



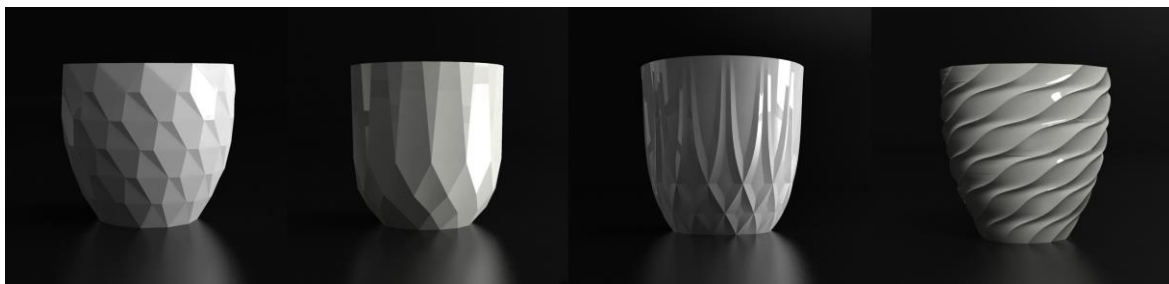
obr. 3-1 Influencerka fotící se u popíjení kávy [22]

Cena je u menších sérií v současné době problém vzhledem k ceně forem. Použitím aditivních technologií a vlastního materiálu je možné cenu dramaticky snížit, navíc SLA tisk stále zlevňuje, takže tento efekt bude v budoucnosti ještě znatelnější.

4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

4.1 Varianty struktury dekoru

Návrh dekoru byl zpočátku vytvářen pomocí parametrických struktur, které umožnily vytvořit zajímavě řešený povrch šálku, ne však dekor v pravém slova smyslu a všechny vzniklé varianty nebyly stále vzhledově dostatečně inovativní.



obr. 4-1 Testování možností parametrického designu při tvorbě dekoru

Po hlubším studiu parametrického designu a práce v Grasshopperu byly objeveny možnosti tvorby rostoucích struktur, generovaných na základě algoritmu, kdy se body struktury generují přímo na povrch šálku a odpadá tak problém s mapováním, které zvláště při použití složitějších struktur selhává. Principy generative artu a obecně používání počítače v umělecké tvorbě, můžeme sledovat už od 60. let minulého století. Jeho průkopníkem byl český malíř Zdeněk Sýkora, jenž používal počítač ke kombinatorickým výpočtům, které byly základem pro jeho tvorbu. Při tvorbě generativních struktur lze rovněž analyzovat a následně aplikovat pravidla, která se vyskytují v přírodě, případně tyto pravidla dále modifikovat. Na základě těchto poznatků byly rozvíjeny dvě varianty.

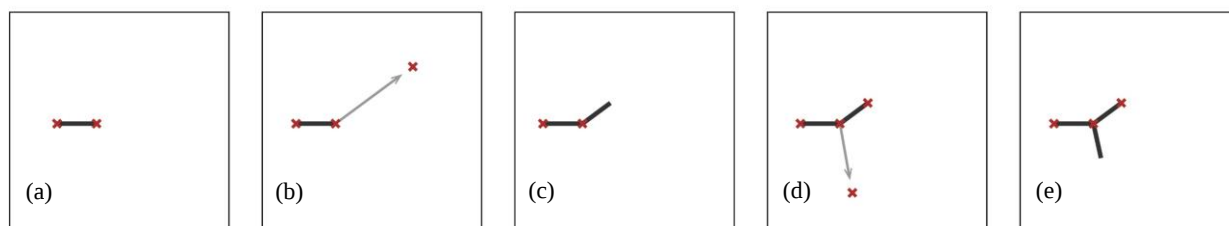
4.1.1 Stuktura „list“

Pro tuto strukturu byl použit plugin Anemone, umožňující vytvářet smyčky o určitém počtu iterací. Inspirací byl přírodní princip, který se uplatňuje například při růstu žilnatiny listu.

Základní varianta struktury roste na planární ploše a je ovlivňována vstupními parametry, mezi které patří základní plocha, či křivka na které se generují řídicí body, počáteční bod struktury a délka liniových segmentů, ze kterých je struktura tvořena.

Z počátečního bodu (může jich být použito i více) je vygenerována linie o stanovené délce libovolného směru. Dále je na zadané ploše vygenerován náhodný bod. K tomuto bodu se hledá nejbližší bod z množiny počátečních a koncových bodů na linii. Spojením těchto bodů je získán vektor a s jeho pomocí sestrojena nová linie o stejné délce, jakou měla výchozí linie, s počátkem v bodě, který byl posouzen jako nejbližší k řídicímu bodu a se směrem

daným dříve získaným vektorem. Poté se celý proces opakuje, vygeneruje se nový náhodný řídicí bod, při hledání nejbližšího bodu se nyní ale používají počáteční a koncové body všech dříve vygenerovaných linií.



obr. 4-2 Princip generování struktury „list“; (a) první liniový segment; (b) vygenerování řídicího bodu a nalezení řídicího vektoru; (c) vytvoření nového liniového segmentu na základě řídicího vektoru; (d) vygenerování dalšího řídicího bodu; (e) vygenerování dalšího řídicího vektoru; (e) vytvoření dalšího liniového segmentu

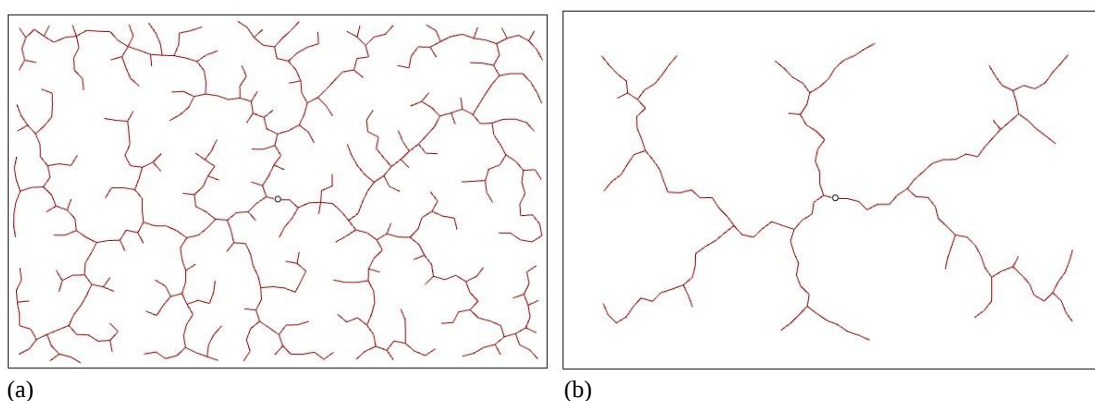
Tato varianta se dá dobře rozvíjet a ovlivňovat přidáním dalších podmínek.

Vzdálenostní omezení řídicích bodů

V tomto případě je posuzována vzdálenost nově vygenerovaného řídicího bodu od struktury. Je dán parametr vzdálenosti, který, v případě, že je překročen, způsobí smazání řídicího bodu, což znamená, že tato iterace nepřinese žádný nový liniový segment.

Toto omezení umožňuje ovlivňovat hustotu výsledné struktury a předchází jejímu „zasukování“

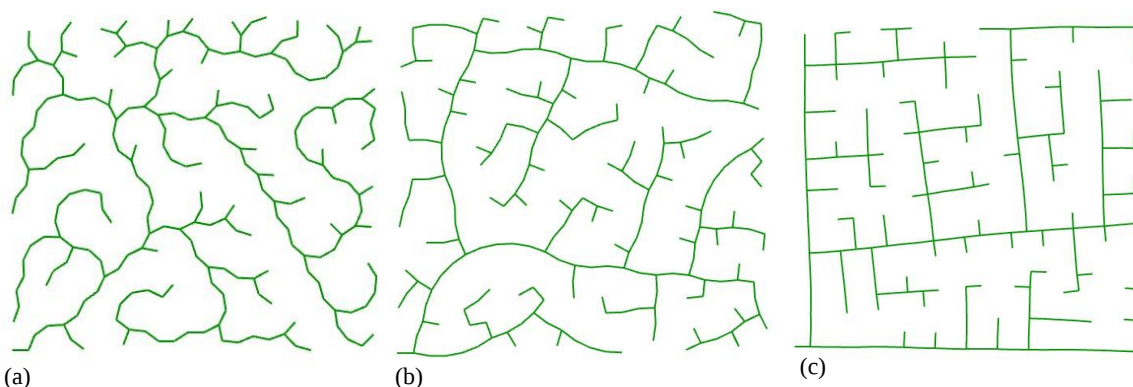
Pro zrychlení růstu je možné vygenerovat více řídicích bodů zaráz, abychom předešli stavu, že iterace vyjde na prázdko. Když disponujeme více řídicími body, pravděpodobnost, že bude alespoň jeden vyhovovat parametru vzdálenosti, je vysoká. V případě, že vyhovuje více bodů, je náhodně vybrán jeden z nich.



obr. 4-3 Vliv vzdálenostního omezení řídicích bodů; (a) řídicí body musí mít vzdálenost větší než 1,2 mm, délka segmentu 0,7 mm; (b) řídicí body musí mít vzdálenost větší než 4 mm, délka segmentu 0,7 mm.

Omezení úhlu mezi novým a navazujícím liniovým segmentem

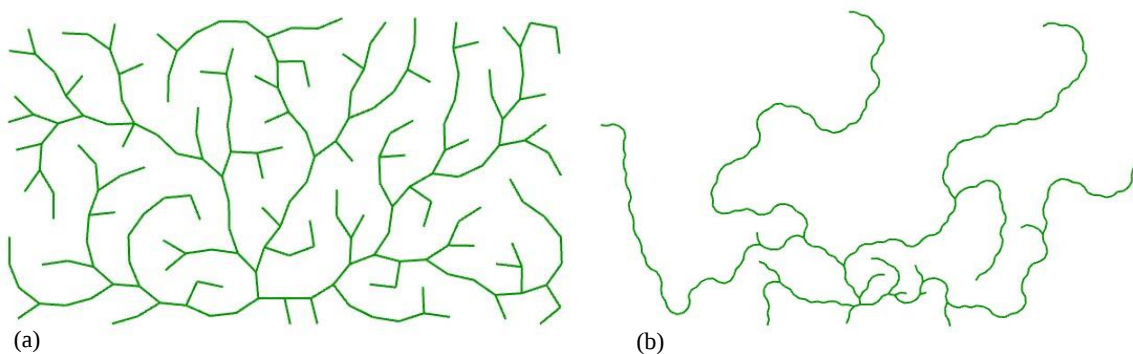
V tomto případě je zkoumán úhel mezi nově vygenerovaným liniovým segmentem a stávajícím segmentem, na který ten nový navazuje. Je dán interval velikosti úhlu, který když není splněn, je potenciální nový segment eliminován. Jelikož by však struktura poměrně brzy dospěla do stavu, kdy již není možné vytvořit nový segment pod vyhovujícím úhlem, je v tomto případě použit sekundární interval.



obr. 4-4 Vliv omezení úhlu mezi nových a navazujícím liniovým segmentem; (a) první interval pro cílovou velikost úhlu (27° , 28°), druhý interval (65° , 90°); (b) první interval pro cílovou velikost úhlu (10° , 12°), druhý interval (78° , 90°); (c) první interval pro cílovou velikost úhlu (0° , 2°), druhý interval (88° , 90°)

Rostoucí plocha pro generování struktury

Další možností je s každou iterací zvětšit plochu na které se generují řídicí body, což značně ovlivňuje vzhled struktury. Důležitá je především míra zvětšení a také bod, vůči kterému se plocha zvětšuje.

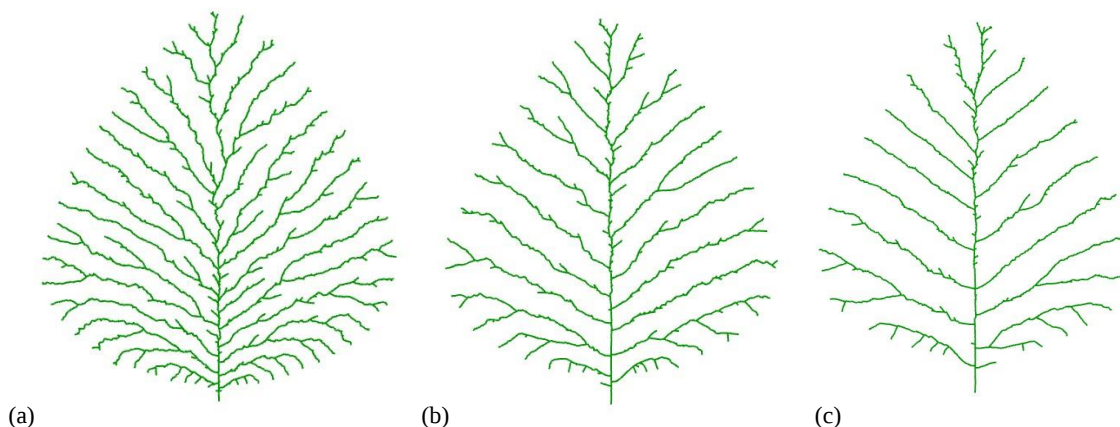


obr. 4-5 Vliv růstu plochy pro generování struktury; (a) nerostoucí plocha; (b) plocha s nárůstem 10% s každou novou iterací

Kombinací parametrů, počtu výchozích bodů a tvarem geometrie pro generování řídicích bodů můžeme získat nespočet možností.

Žilnatina listu

V tomto případě se pro vygenerování řídicích vektorů používá lehce odlišná metoda. Je vygenerován větší počet bodů, ve kterých se najdou shluky a k těmto shlukům se hledají nejbližší body na struktuře. Následně se z těchto bodů vytvoří vektory, ale výsledné řídicí vektory vzniknou jejich zprůměrováním. Zároveň se s každou iterací zvětší plocha listu.



obr. 4-6 Varianty s rozdílným vzdálenostním omezením řídicích bodů; (a) vzdálenost 12 mm; (b) vzdálenost 24 mm; (c) vzdálenost 40 mm

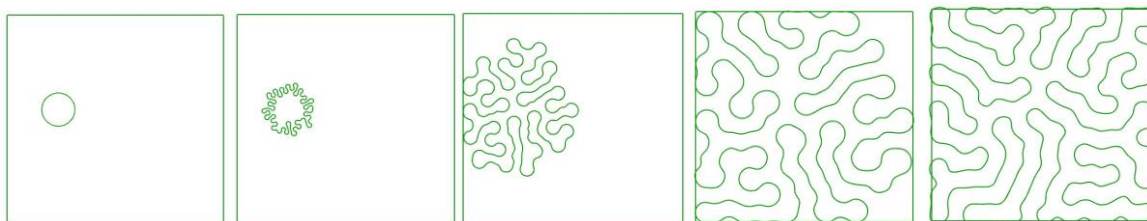
Dalším krokem bylo umožnit růst nejen a planární ploše, ale i v prostoru. Toho bylo docíleno promítáním řídicích vektorů na plochu, po které struktura roste. Tímto způsobem lze generovat na přímo prostorovou plochu všechny výše uvedené varianty struktur.



obr. 4-7 Struktura rostoucí přímo na ploše

4.1.2 Struktura „kůrovec“

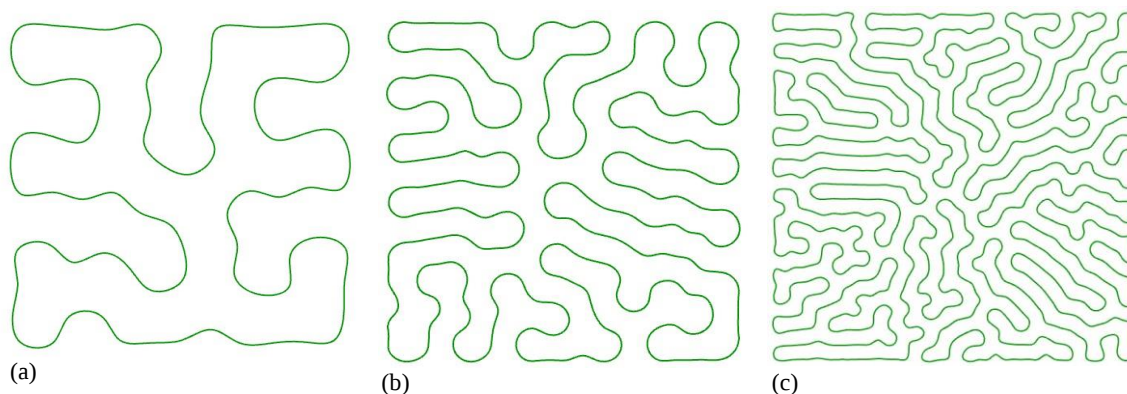
Tato struktura je vytvořena pomocí fyzikálního pluginu Kangaroo 2. Principem je diferenciální růst. Základem je křivka, která je rozdělena určitým počtem bodů a těmito body je následně proložena lomená čára, která je opět rozdělena v bodech zlomu. Dále je vytvořena plocha, na které má struktura růst a následně je převedena na mesh. V každém bodě zlomu je vygenerována pomyslná koule. Samotný růst struktury je dán násobením délky původních liniových segmentů lomené čáry, kdy již vynásobené segmenty porovnávají s původní křivkou. Zároveň se počítají kolize mezi pomyslnými koulemi, které byly dříve vygenerovány v bodech zlomu, díky čemuž se struktura nemůže „zamotat“ do sebe. Zároveň je stanoveno, že body struktury musí zůstat na ploše, která je definována pro růst. Výstupem jsou body, kterými je následně proložena křivka. Zde se tedy negenerují přímo nové body, generuje se však jejich nová poloha při zachování jejich stejného pořadí, jaké bylo v původní křivce.



obr. 4-8 Postupný růst struktury „kůrovec“

Vliv počtu výchozích bodů

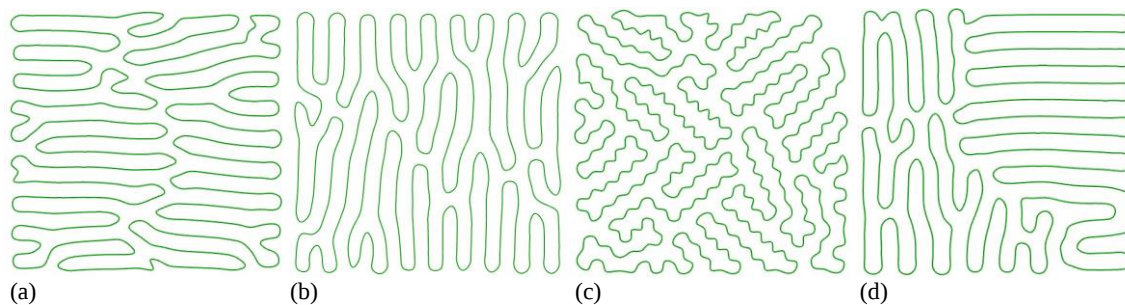
Jde o stěžejní parametr celé struktury. Ovlivňuje její „jemnost“, jelikož se nové body již negenerují, znamená to, že čím více bodů bylo na počátku, tím více liniových segmentů vzniklo a tím pádem není nutné jejich délku tolik násobit, takže jsou výsledné body blíže u sebe.



obr. 4-9 Závislost hustoty struktury na množství výchozích bodů; (a) 80 výchozích bodů; (b) 315 výchozích bodů; (c) 1000 výchozích bodů

Nastavení upřednostňovaných vektorů

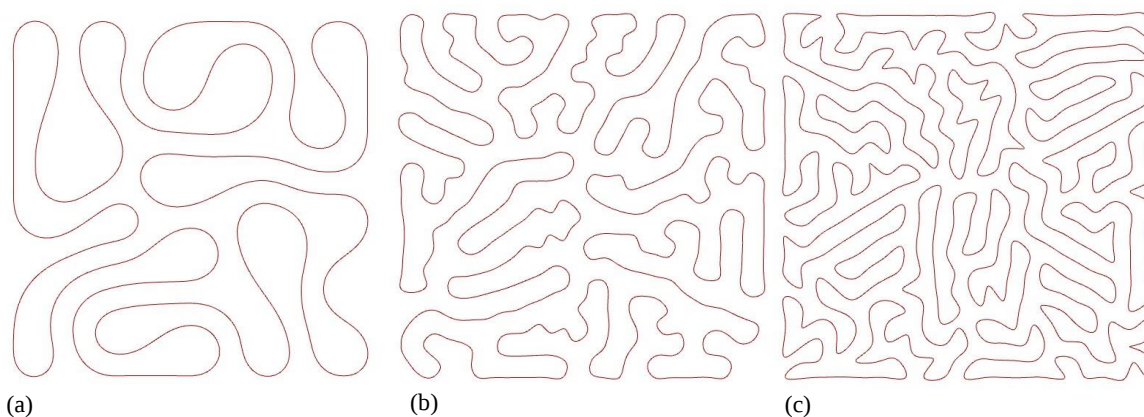
Dalším parametrem, který lze přidat je směr, po kterém se mají body přednostně pohybovat, což ovlivňuje orientaci struktury. Zároveň lze nastavit pro různé body různé směry. Sílu tohoto parametru lze měnit.



obr. 4-10 Vliv nastavení upřednostňovaných vektorů; (a) vektor v ose x; (b) vektor v ose y; (c) body se sudými indexy mají vektor v ose x, body s lichými indexy mají vektor v ose y; (d) polovina bodů má sleduje vektor v ose y, druhá polovina sleduje vektor v ose x

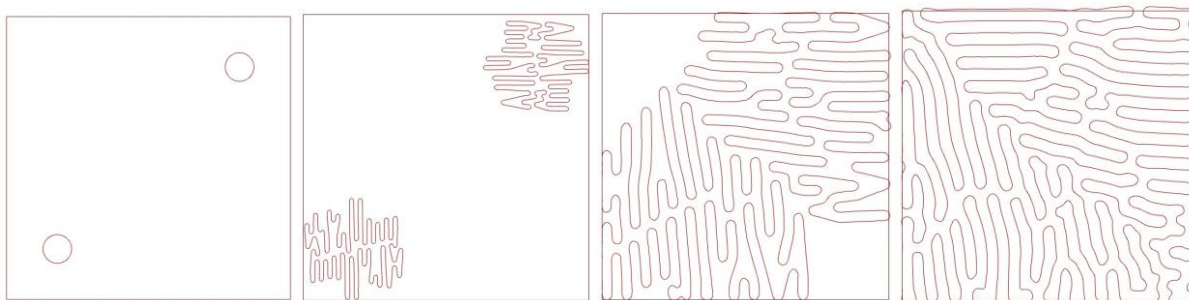
Nastavení poloměru koulí pro výpočet kolizí

Důležitý parametr, který ovlivňuje jemnost a „fluidnost“ struktury, je poloměr pomyslných koulí, které se používají pro výpočet kolizí. Nejdůležitější je poměr poloměru vůči vynásobené délce liniového segmentu. Samotným parametrem je tedy dělitel již vynásobené délky liniového segmentu.



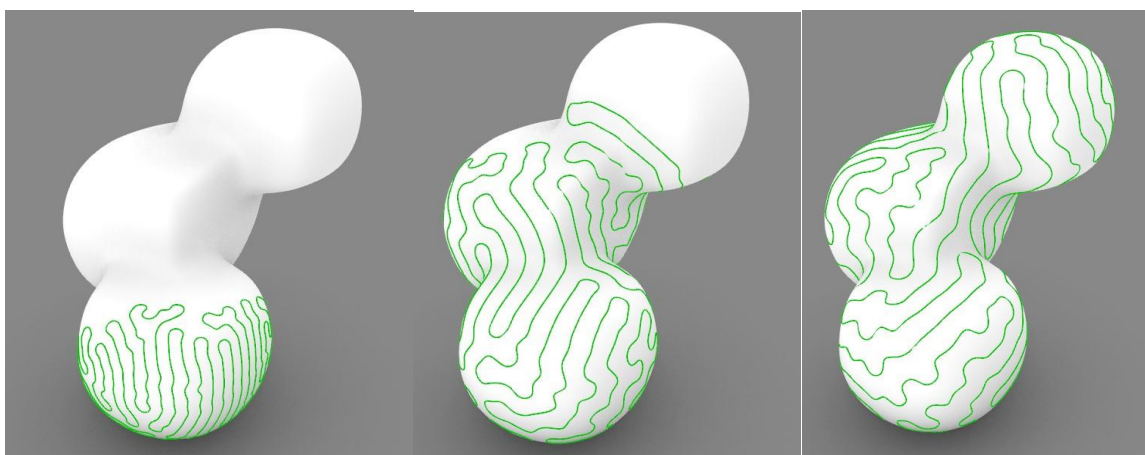
obr. 4-11 Vliv poloměru koulí pro výpočet kolizí; (a) dělitel 0,3; (b) dělitel 1; (c) dělitel 1,7

Rovněž je možné použít více základních křivek jako jádra růstu a nastavit jim různé parametry a vzájemné kolize, takže se mohou navzájem ovlivňovat.



obr. 4-12 Růst struktury ze dvou jader, jedno jádro sleduje vektor v ose x, druhý vektor v ose y, postupně dochází ke vzájemné interakci.

Velkou výhodou je fakt, že struktura může růst po jakékoliv geometrii a je tedy univerzálně použitelná.



obr. 4-13 Růst struktury po 3D geometrii

4.2 Varianty tvaru

Za finální dekor byla vybrána struktura „kůrovec“, jelikož se ukázalo, že se strukturou „list“ je problematické pracovat v prostoru a obtížně se převádí do plastické podoby. Velkou výhodou struktury „kůrovec“ je její „fluidnost“ což umožňuje lépe pracovat s detaily, a právě detaily jsou při designu šálek stěžejní. Jde například o řešení kořenů ouška ve vztahu ke struktuře, kdy v tomto případě může dekor kořeny ouška plynule obtéct, takže mohou harmonicky fungovat společně, bez jakýchkoli kolizí. Další výhodou je také rovnoměrnější zaplnění plochy.

Hledání ideálního tvaru započalo testováním rozličných proporcí a tektonik šálek. Bylo zvažováno i to, zda tvar vůbec odpovídá představě o pojmu „šálek“. Ukázalo se například, že kónické, směrem vzhůru se zužující tvary sice esteticky fungují poměrně dobře, ale

z hlediska pojmu působí spíše jako korbel, či džezva. Za vhodnější byly tedy vyhodnoceny tvary, které se směrem vzhůru rozšiřují, a to jak z estetického, tak i z funkčního hlediska, kdy v tomto případě uživatel nemusí při pití šálek tolik naklánět, což je pohodlnější.

4.2.1 Varianta I

Tělo první varianty je horizontálně rozčleněno do dvou částí. Obrysové křivky obou částí jsou víceméně přímé, jejich přechod je však realizován v plynulé návaznosti. Horní část je pokryta strukturou, která se přelévá i přes rozhraní obou částí, což opticky podporuje její tekutost, spodní část je hladká.

Ouško je řešeno s ohledem na tvarování obrysové linie šálku, tedy základní linie jsou rovné, ovšem celek je zjemněn plynulými oblými přechody. Rovněž spodní kořen ouška sleduje obrysovou linii těla šálku, tím je docíleno dokonalé návaznosti ouška s tělem šálku.

Netradičně je zde řešena část ouška pro opření prstu, která je zde v podobě vybíhající části, orientované stejně jako vertikální část ouška. Toto řešení mělo otestovat, zda je tímto způsobem možné vyřešit problém s opíráním prstu o horké tělo šálku. Zároveň vznikl velmi výrazný tvarový prvek, dodávající šálku na ikoničnosti.



obr. 4-14 Varianta I

4.2.2 Varianta II

Tělo druhé varianty je rovněž tvořeno obrysovými křivkami, které mají pouze minimální křivost. Výrazný zlom dělí tělo šálku na dvě části. Spodní, hladká část se z malého průřezu prudce rozšiřuje až kde zlomu, kde pokračuje druhá část pokrytá strukturou, rozšiřující se pouze pod malým úhlem. Rozšíření spodní části pod velkým úhlem podstatně ovlivňuje tektoniku šálku a opticky jej odlehčuje od základny.

Na tvarování spodní části tvarově reaguje ouško, které vzniká prodloužením její obrysové linie, díky čemuž šálek tvarově neruší a celek působí velmi vyváženě. Tím, že je spodní část vedena diagonálně, je možné si opřít prst přímo o ouško a vyhnout se tak kontaktu s rozpáleným tělem šálku. Vnitřní obrys ouška je oblý, aby tvarově respektoval bříško prstu. Naopak vnější obrys je lomený, což tvarově odpovídá zlomu na těle šálku a přechází až ve vrchol, který šálek dynamizuje. Zlomy navíc zabraňují proklouznutí ouška v prstech a mají tak i ergonomickou funkci.

Celkově je tato varianta tvarově nejčistší, což jí dodává nejvýraznější siluetu.



obr. 4-15 Varianta II

4.2.3 Varianta III

Tělo třetí varianty má dominantní vertikální směr, který je navíc podpořen vertikální orientací struktury dekoru. Tělo je tvořeno obrysovou křivkou, která vznikla plynulým navázáním konkávního oblouku ve spodní části a konvexního oblouku ve vrchní části. Spodní, nejužší část je bez dekoru a tvoří jakýsi sokl pro celý šálek.

V místě přechodu konkávního prohnutí na konvexní se plynule napojuje spodní kořen ouška, které má vnitřní obrys oblý, reflektující anatomii lidské ruky, naopak vnější obrys se skládá ze dvou oblouků. V tomto případě však nejsou oblouky napojeny hladce, ale sbíhají se do vrcholu, jehož smysl však není pouze estetický, ale i ergonomický, protože vrchní oblouk slouží k položení palce a vrchol zabraňuje protočená šálku v prstech a zajišťuje tak jistější úchop. Ouško také umožňuje opření prsteníku, takže není nutné být v kontaktu s horkým tělem šálku.

Vertikalita také šálku umožňuje plynulejší obtékání kořenů ouška strukturou.



obr. 4-16 Varianta III

4.3 Výběr finální varianty

Za účelem prověření ergonomie a celkového tvarového působení a fyzickém modelu bylo přistoupeno k výrobě modelů pomocí 3D tisku technologií FFF.

U první varianty se sice potvrdilo, že řešení opírání prsteníku o výběh ouška je ergonomicky vyhovující, nicméně vnitřní obrys ouška příliš nevyhovoval pohodlnému úchopu. Řešením by bylo zaoblení horní části ouška, čímž by však byla ztracena tvarová návaznost na zbytek šálku.

Třetí varianta byla shledána ergonomicky vyhovující, nicméně důraz na vertikálnost způsobil, že šálek působí poněkud nestabilní dojmem, ačkoliv stabilita ve skutečnosti nebyla příliš narušena. Po pokusech o částečné zkrácení šálku se tento problém vytratil, ale jelikož zde právě vertikálnost tvořila hlavní charakteristický prvek, utrpěla tím i jistá „ikoničnost“ šálku.

Vybrána byla nakonec druhá varianta, jelikož vyhovovala jak ergonomicky, tak tvarově, jelikož zde bylo dosaženo nejlepší návaznosti ouška na tělo šálku, díky čemuž celek působí velmi vyváženě a díky použití jasně definovaných obrysových linií je celkový tvar nejčistší.

Ukázalo se, že je lepší, když se tělo šálku začne rozšiřovat již v dolní části (jako v případě druhé varianty), protože celek pak působí stabilněji a ouško je možno navázat níže, díky čemuž je možné jednodušeji dosáhnout většího prostoru pro úchop.

Velmi důležitým argumentem pro zvolení druhé varianty byl rovněž fakt, že v tomto případě ouško tvoří převis pod menším úhlem, než je tomu u zbývajících variant, tudíž zde nebude zapotřebí podpor při tisku, případně bude jejich počet minimální. Důležitá je také skutečnost, že plocha se strukturou je téměř vertikální a jediná plocha s přesahem na těle šálku (spodní kónický „sokl“) je hladká, tudíž případné podpory při tisku nebudou zasahovat do dekoru a bude je tudíž mnohem snazší odstranit.



obr. 4-17 Modely vytisknuté technologií FFF

5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

Jak již bylo řečeno v závěru předchozí kapitoly, pro finální řešení byla vybrána druhá varianta, která však prošla dalšími úpravami, které se týkaly především ouška, jehož členění dvěma zlomy bylo shledáno jako příliš agresivní. Lehce přepracován byl i tvar těla šálku za účelem dosažení lepší stability.

Upravena byla rovněž struktura dekoru.

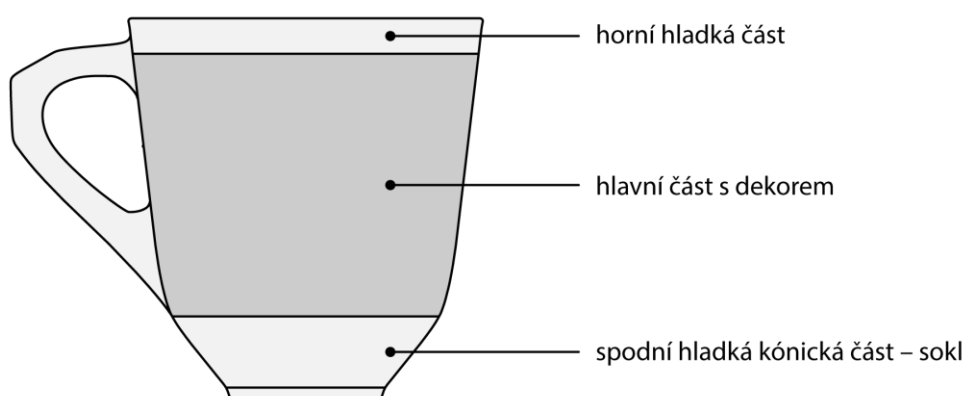
5.1 Základní varianta – šálek

Jako základní produkt finálního řešení celého setu byl zvolen šálek na espresso, jehož výsledný design a použité principy byly použity při tvorbě odvozených variant větších objemů.

5.1.1 Kompoziční řešení šálku

Základní tvar těla šálku je kompozičně členěn na tři části jejichž vzájemná proporce je velmi důležitá. Spodní, kónicky se rozšiřující část je hladká a tvoří pomyslný sokl pro hlavní část s dekorem. Střední část nese dekor a je od spodní části opticky oddělena jak tvarově – jemným zlomem, tak právě i dekorem. Třetí část v horní části šálku je tvořena hladkým pruhem, který opticky ukončuje strukturu dekoru a tvoří plochu pro kontakt se rty uživatele.

Díky tomuto členění na hladké a dekorované části má dekor větší šanci vyniknout a v hmotě šálku dochází ke gradaci.



obr. 5-1 Kompoziční řešení šálku

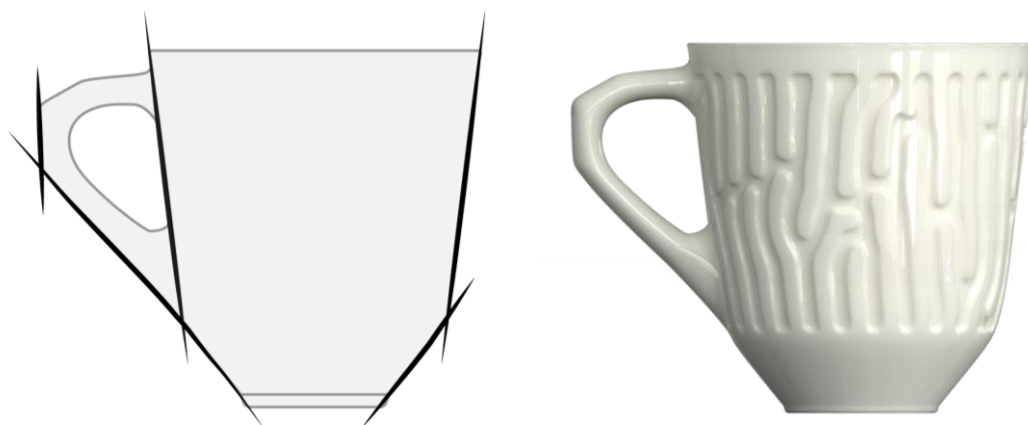
5.1.2 Tvarové řešení šálku

Ve spodní části se šálek prudce rozšiřuje a jemným zlomem přechází do hlavní části, rozšiřující se již pod menším úhlem, která je, kvůli celkovému zjemnění siluety, mírně vypouklá. Díky výrazně kónické části je celek opticky odlehčen od podložky.

Obrysová křivka spodní části je protažena v kořen ouška, takže opticky dokonale navazuje na tělo šálku. Vnější křivka ouška je pak členěna třemi zlomy, které odpovídají zlomu, jenž dělí tělo šálku a dodávají oušku výraznější siluetu. Krajní zlomy mají stejný úhel, díky čemuž je dosaženo harmonického rozčlenění ouška. Poloha, respektive úhel prostředního zlomu, byla velmi důležitá pro celkovou siluetu šálku a její vztah s podšálkem, kvůli čemuž byl vybrán tupější úhel, který si lépe rozumí s hranou podšálku a celek je tak lépe opticky ukončen.

Vnitřní křivka ouška je v kontrastu s vnější křivkou oblá a odpovídá tvaru lidského prstu.

Použití jasně členěných obrysových křivek má za následek čistou a charakteristickou siluetu šálku a díky zvoleným proporcím těla šálku a ouška vůči sobě celek působí velmi vyváženým dojmem.



obr. 5-2 Řídící směry a silueta šálku

5.1.3 Struktura dekoru šálku

Pro tvorbu dekoru je použita struktura „kůrovec“, která však je modifikována přidáním parametru směru, díky čemuž je pak celá orientována vertikálně. Díky této orientaci je dosaženo toho, že dekor plynule obtéká kořeny ouška a nedochází zde k žádnému konfliktu, naopak, ouško a struktura harmonicky fungují společně, což je velmi důležitý detail, jehož řešení je v jiných případech často velmi problematické.

Jako základní křivka pro růst struktury posloužila velmi úzká, horizontálně orientovaná elipsa, který byla namapována na stranu šálku protilehlou vůči oušku.

Důležitý je počet počátečních bodů struktury, ovlivňující celkovou hustotu a potažmo měřítko výsledné struktury. Právě hustota struktury opticky velmi ovlivňovala velikost těla šálku vůči oušku, takže při použití velmi jemné struktury působil celek nevyváženě, protože tělo šálku bylo strukturou opticky zvětšeno.

Změnou parametrů skriptu generujícím strukturu je možné docílit různých variant dekoru.



obr. 5-3 Obtékání kořenů ouška strukturou dekoru

Nakonec je použito 2000 počátečních bodů. Dekor je hluboký 1 mm, takže jím díky vlastnostem porcelánu proniká světlo, což způsobuje velmi atraktivní efekt.



obr. 5-4 Postupný růst struktury dekoru po těle šálku



obr. 5-5 Různé struktury dekoru vygenerované skriptem – individualizace



obr. 5-6 Ukázka průsvitnosti šálku

5.2 Základní varianta – podšálek

Při návrhu bylo dbáno na to, aby byl podšálek atraktivní jak sám o sobě, tak hlavně jako celek s šálkem, který doplní. Důležitá je rovněž zjevná vzájemná příslušnost šálku a podšálku k sobě.

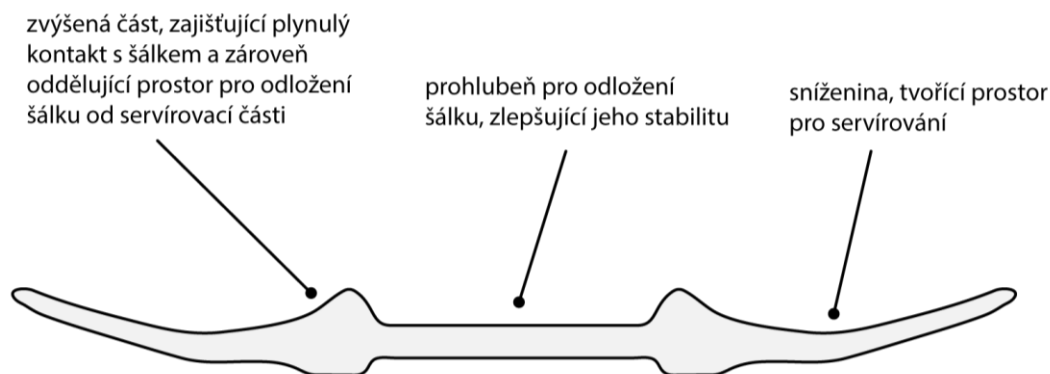
5.2.1 Tvarové řešení podšálku

Tvarosloví podšálku je inspirováno šálkem, tudíž se zde opět objevují lehce vypouklé obrysové křivky, členěné jemnými zlomy.

Šálek částečně zapadá svojí spodní kónickou částí do prohlubně, která je umístěna ve zvýšené středové části podšálku, což zlepšuje stabilitu jak opticky, tak i reálně. Okraje otvoru se poté svažují ven a tvoří obrácený kónus vůči kónické spodní části šálku. Díky tomu

je zprostředkován plynulejší kontakt obou částí, které tak tvoří harmonický celek. Navíc tím, že je střední část šálku vyzvednuta do podoby onoho obráceného kónusu, není šálek vizuálně utopený, ale naopak má šanci více vyniknout.

Mezi zvýšenou střední částí s prohlubní pro šálek a rovněž zvýšeným okrajem podšálku vzniká sníženina členěná dvěma velmi jemnými zlomy.



obr. 5-7 Schéma tvarování podšálku

5.2.2 Struktura dekoru podšálku

Dekor je umístěn ve středové prohlubni pro odkládání šálku. Toto umístění má svoji logiku. Když je šálek postaven na podšálku, je tento dekor zakrytý, ale dominantou celku je šálek a jeho dekor. Po odejmutí šálku je odkryt dekor na šálku, což obsahuje jistý hravý moment překvapení a zároveň na podšálku tímto vznikne nová dominanta. Dekor rovněž jasně ukazuje příslušnost podšálku k šálku.



obr. 5-8 Pohled na podšálek s odkrytou strukturou dekoru

Jako výchozí křivka byla použita hrana dna prohlubně, odsazená o 2 mm směrem do středu. Počet bodů byl volen za účelem dosažení stejné hustoty struktury jako je na šálku. I zde byl použit parametr směru, kdy upřednostňovaný vektor je zároveň normálovým vektorem výchozí křivky v daném bodě. Dekor má hloubku 0.8 mm a hrany jsou z praktických důvodů zaobleny, stejně jako vnitřní hrana dna prohlubně.

5.3 Finální varianty

Sada se skládá z šálku na espresso, lungo a cappuccino, kdy šálek na espresso je shodný s výše popsanou základní variantou a ostatní varianty z ní vycházejí.

Jelikož vnitřní obrys ouška se u všech variant téměř nemění, bylo nutné upravit těla šálků tak, aby byly zachované vyvážené proporce a charakteristická silueta s návazností ouška na "kónický sokl" i při zvětšeném objemu.



obr. 5-9 Sada šálků – srovnání



obr. 5-10 Pohled na celou sadu šálků

5.3.1 Šálek na espresso

Jak bylo zmíněno dříve, šálek na espresso je shodný se základní variantou.

Objem je navržen na 75 ml.



obr. 5-11 Šálek espresso

5.3.2 Šálek na lungo

To verze má o 2 mm širší ucho, kvůli čemuž musel být přepracován tvar těla šálku, aby byla zachována jeho návaznost v bočním pohledu. Proporce šálku je celkově užší a vyšší, než tomu je u varianty espresso, také je zde menší úhel spodní kónické části.

Objem je navržen na 160 ml a podšálek byl celkově zvětšen.



obr. 5-12 Šálek lungo

5.3.3 Šálek na cappuccino

U šálku na cappuccino proběhly největší změny, jelikož tento typ kávy je nejlepší si vychutnávat spíše z širších šálků, jejichž stěny se více rozšiřují. Tato varianta tomu odpovídá, stěna je navíc více vypouklá a spodní kónická část je vůči zbytku těla šálku poměrově nižší. Aby byla zachována návaznost, ouško muselo být přepracováno, při zachování stejných tvarových postupů.

Objem je navržen na 160 ml a použit identický podšálek jako u varianty lungo.



obr. 5-13 Šálek cappuccino

5.4 Parametrizace

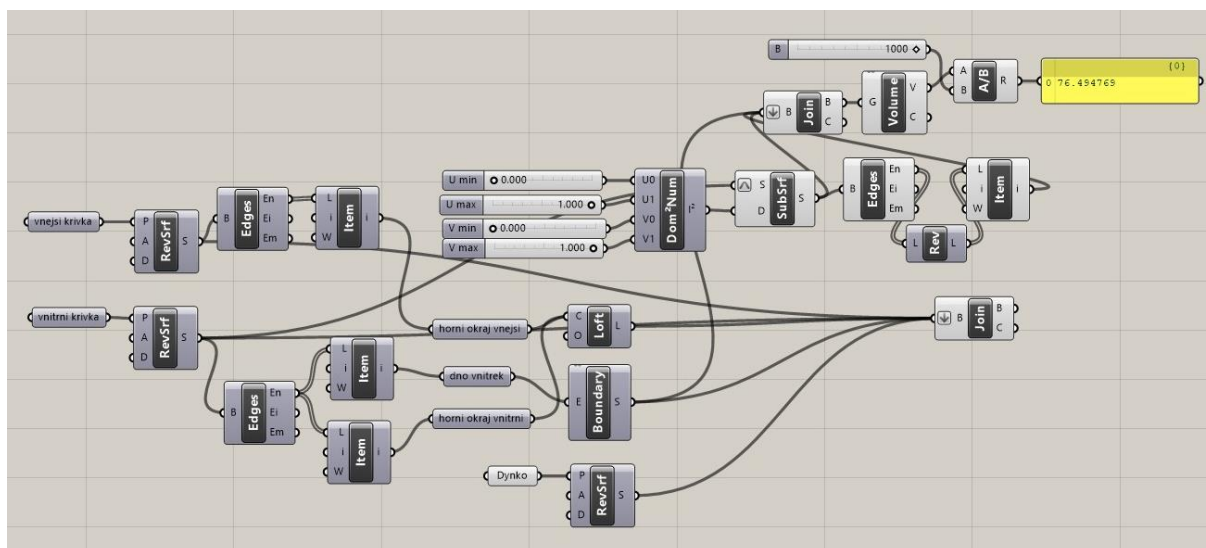
Model šálku i podšálku je kompletně parametrizován. To umožnilo nejen vyladění tvaru tak, aby odpovídal všem požadavkům, ale také velmi precizní práci s detaily, které jsou při návrhu tohoto typu produktu zcela stěžejní.

Parametrizace, tedy možnost snadno upravovat model, jde v ruku v ruce s možností rychlého prototypingu pomocí 3D tisku, pomocí kterého lze provedené změny ověřovat a dosáhnout tak nejlepšího výsledku.

5.4.1 Tělo šálku

Tělo šálku je vytvořeno pomocí obrysových křivek, které jsou orotovány okolo svislé osy. Ze získaných ploch jsou získány její hrany a z těchto hran jsou vytvořeny zbývající plochy tak, aby vzniklo uzavřené těleso. Úpravou výchozích obrysových křivek lze jednoduše měnit tvar těla šálku.

Zároveň je měřen objem šálku, takže je ihned patrný vliv každé úpravy.

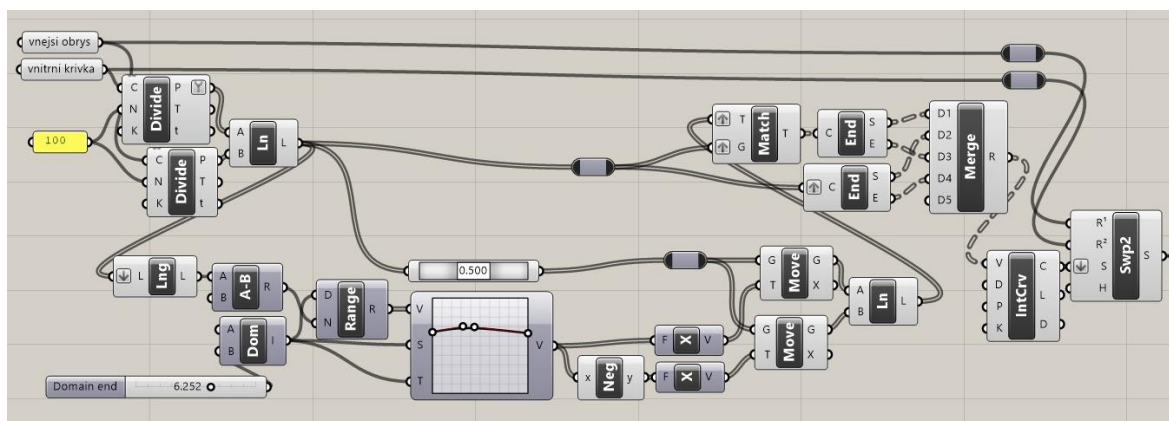


obr. 5-14 Část skriptu tvořící tělo šálku

5.4.2 Ouško

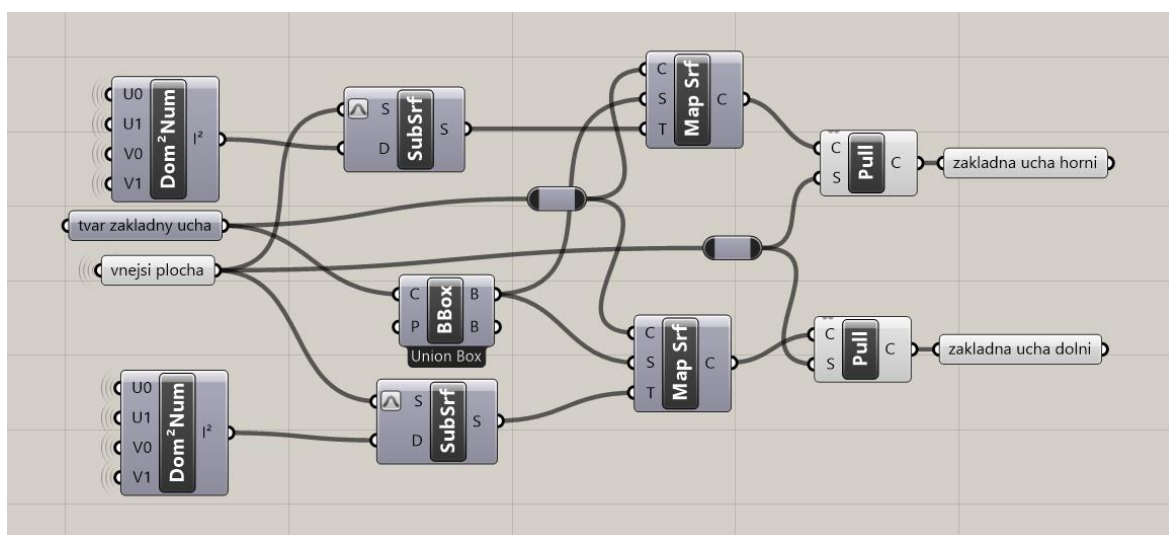
Ouško se skládá s tří ploch – dolního a horního kořene a z hlavní části. Právě kořenům byla věnována zvláštní péče, jelikož cílem bylo dosažení co nejlepší návaznosti na tělo šálku a také na strukturu dekoru.

Hlavní část ouška vychází z křivek tvořících vnitřní a vnější siluetu. Tyto křivky jsou rozděleny stejným počtem bodů a tyto body, respektive z nich vytvořené, vzájemně si odpovídající dvojice, jsou spojeny úsečkami. Ve středu každé úsečky je vytvořen bod a tyto body jsou následně posunuty o určitou vzdálenost vpravo a vlevo. Pro vzdálenosti je vytvořen list čísel, která jsou přemapována pomocí komponenty Graph mapper. Díky tomu je možné body posouvat o různé vzdálenosti tak, že po spojení vytvoří hladkou křivku. Tyto body a body na vnější a vnitřní obrysové křivce jsou spojeny do odpovídajících čtveřic a spojeny v uzavřené křivky. Z těchto křivek a z vnější a vnitřní obrysové křivky je dále pomocí komponenty Sweep2 vytvořena plocha. Tvar ouška lze tedy ovlivňovat změnou obrysových křivek a také změnou komponenty Graph mapper, díky čemuž je možné získat jinou míru a průběh tloušťky ouška v tečném směru k šálku.



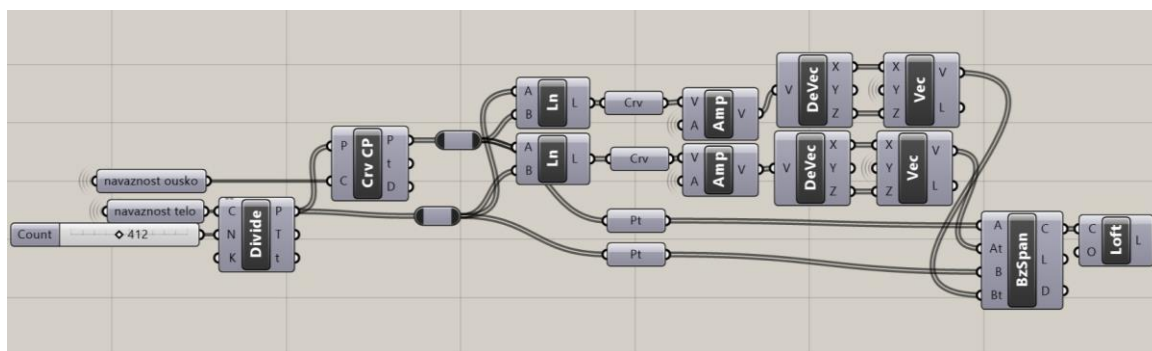
obr. 5-15 Část skriptu tvořící hlavní část ouška

Za účelem vytvoření plynulé návaznosti ouška je na tělo šálku je namapována uzavřená křivka, tvořící základnu budoucího kořene ouška. Poloha této křivky na těle šálku, a tedy i poloha kořene ouška lze měnit, rovněž je možné změnit tvar křivky.



obr. 5-16 Část skriptu tvořící základnu kořene ouška

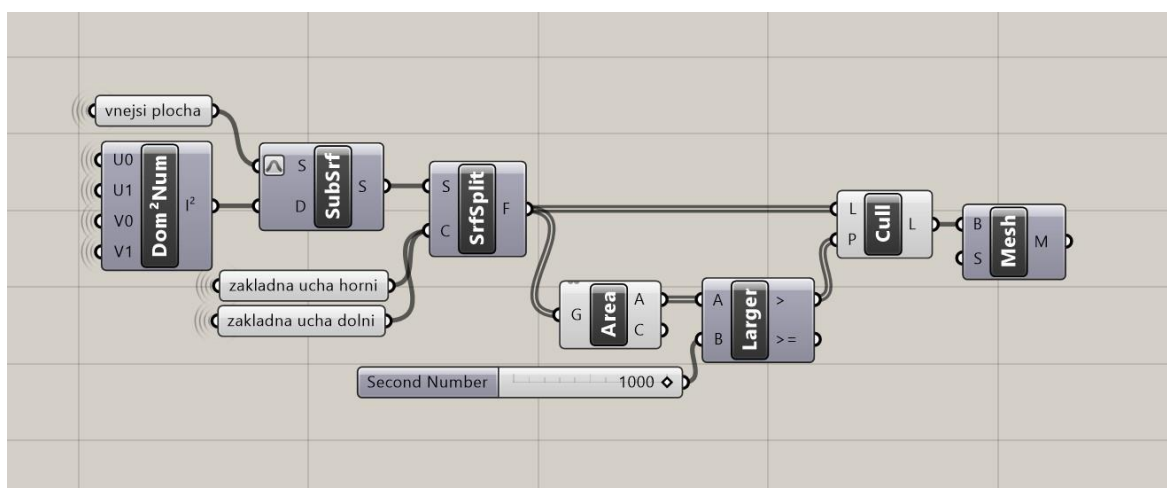
Tato namapovaná křivka je rozdělena určitým počtem bodů a k těmto bodům jsou nalezeny nejbližší body na křivce, která byla získána jako jedna z hran hlavní části ouška. Tyto dvojice bodů jsou spojeny úsečkami, které jsou později převedeny na směrové vektory. Body na zmíněných křivkách a jim příslušící vektory jsou poté použity pro konstrukci bézierových křivek. Násobením velikosti vektorů a korekcí jejich směru je získáno požadované prohnutí bézierových křivek, ze kterých je pomocí příkazu Loft vytvořena plocha.



obr. 5-17 Část skriptu tvořící kořen ouška

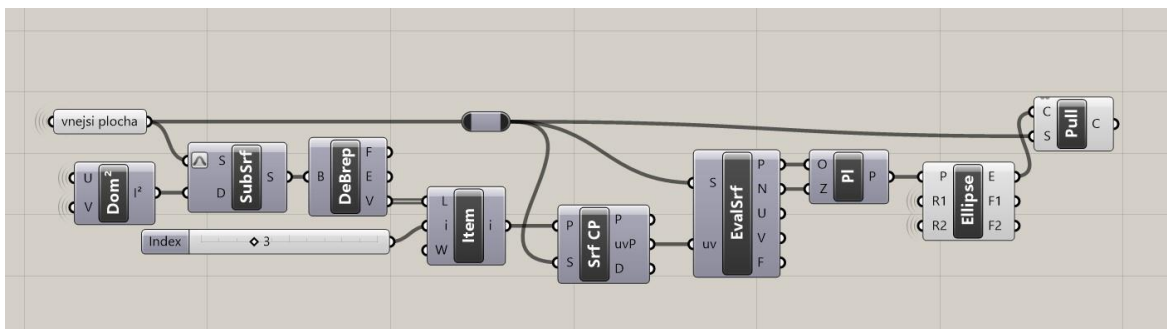
5.4.3 Struktura dekoru šálku

Nejprve je v rámci těla šálku vytvořena plocha, po které bude struktura dekoru růst. Do této plochy jsou „vyříznuty“ otvory pomocí křivek, které tvoří základny kořenů ouška. Díky tomu dochází k obtékání kořenů ouška strukturou. Následně je výsledná plocha převedena na mesh. Velikost a polohu plochy pro růst struktury lze samozřejmě měnit pomocí změny parametrů komponenty Dom²Num.



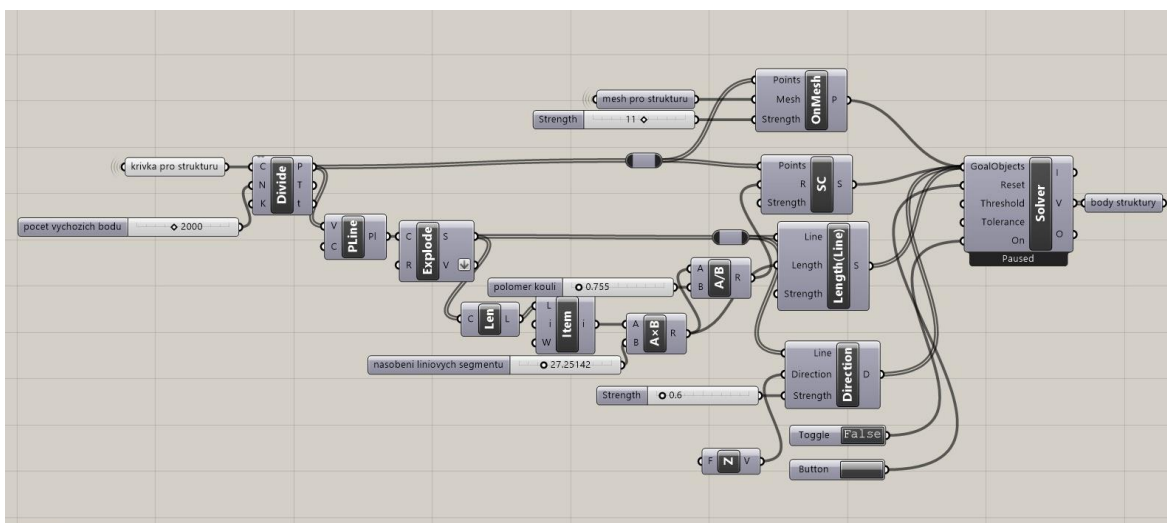
obr. 5-18 Část skriptu vymezující plochu pro růst struktury dekoru

Dále je vytvořena výchozí křivka pro růst struktury dekoru. V rámci vnější plochy těla šálku je vytvořena plocha, jejíž velikost a polohu lze měnit. Dekonstrucí této plochy je získán jeden z jejích rohových bodů, k tomuto bodu je nalezen nejbližší bod na vnější ploše těla šálku a následně je v něm určena normála na tuto plochu. Pomocí normály a zmíněného bodu je získána rovina, ve které je zkonstruována elipsa a ta je následně namapována a vnější plochu těla šálku. Rozměry a polohu elipsy lze měnit.



obr. 5-19 Část skriptu vytvářející základní křivku pro růst struktury dekoru

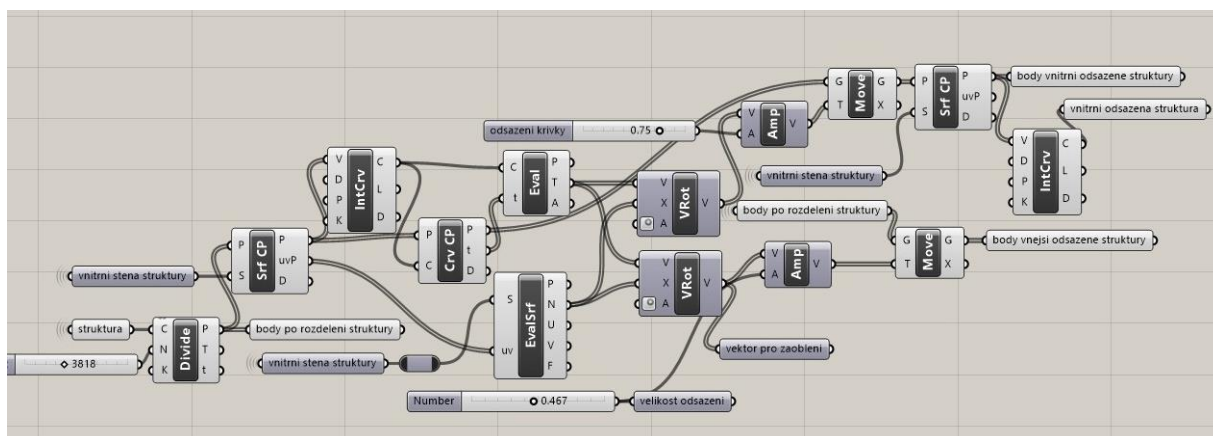
Princip růstu samotné struktury a možnosti jeho modifikace jsou popsány v kapitole 4.1.2. V tomto kroku získáme body struktury, které jsou následně proloženy křivkou.



obr. 5-20 Algoritmus struktury dekoru

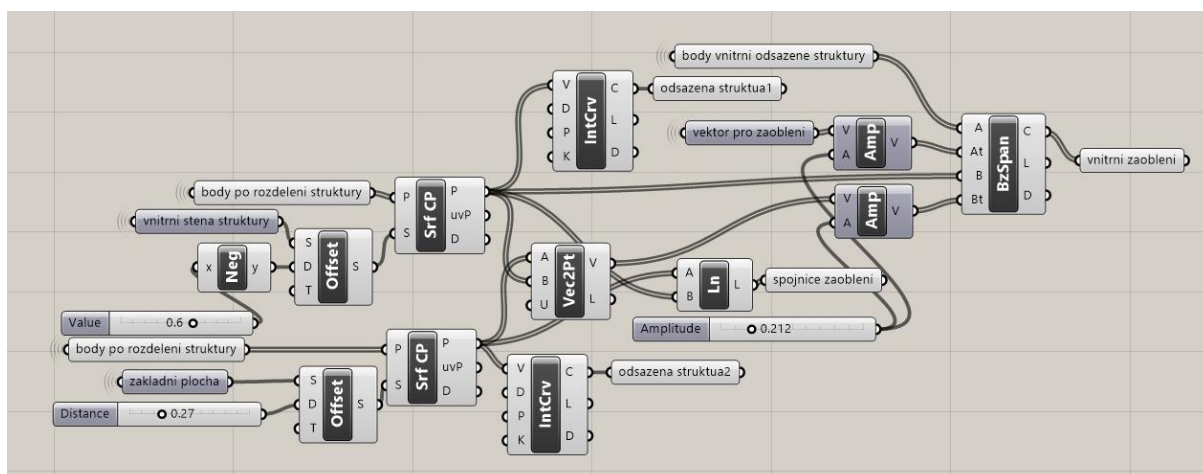
Následně dochází k „vtlačení“ struktury do těla šálku. Jelikož by vznikly ostré hrany, které jsou nežádoucí a funkce na zaoblování hran vzhledem ke složitosti geometrie nefunguje, je třeba zkonstruovat vlastní řešení.

Nejprve je křivka struktury rozdělena na určitý počet bodů. Dále je vnější plocha těla šálku odsazena dovnitř o vzdálenost, která určuje plastičnost dekoru. Na této odsazené ploše jsou najity body, které jsou nejbližší bodům vzniklým rozdělením křivky struktury. V těchto bodech jsou získány tečné vektory na křivku jimi proloženou, následně jsou získány normálové vektory na odsazenou plochu v těchto bodech. Tečné vektory jsou následně orotovány o 90° okolo os, které tvoří dříve zjištěné normálové vektory. Vektory získané rotací slouží pro translaci bodů, jejich vynásobením jsou body posunuty a z nich získána odsazená křivka. Tento krok byl nutný z důvodu nefunkčnosti komponenty Offset on Surface vzhledem k složitosti geometrie a také získané vektory poslouží po vygenerování bázierových křivek pro účely zaoblení hran.



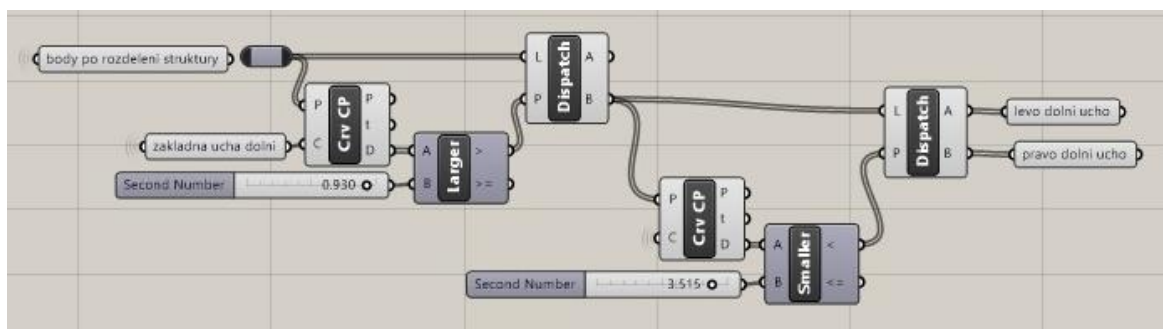
obr. 5-21 Část skriptu pro odsazení křivky struktury

Základní struktura je odsazena ještě dvakrát tak, že jsou tyto křivky poté pužity pro tvorbu úzké spojovací plochy mezi vnějším a vnitřním zaoblením. Pomocí sobě si odpovídajících bodů jsou také získány vektory pro tvorbu bázierových křivek zaoblení, které zajišťují plynulou návaznost na tuto spojovací plochu.

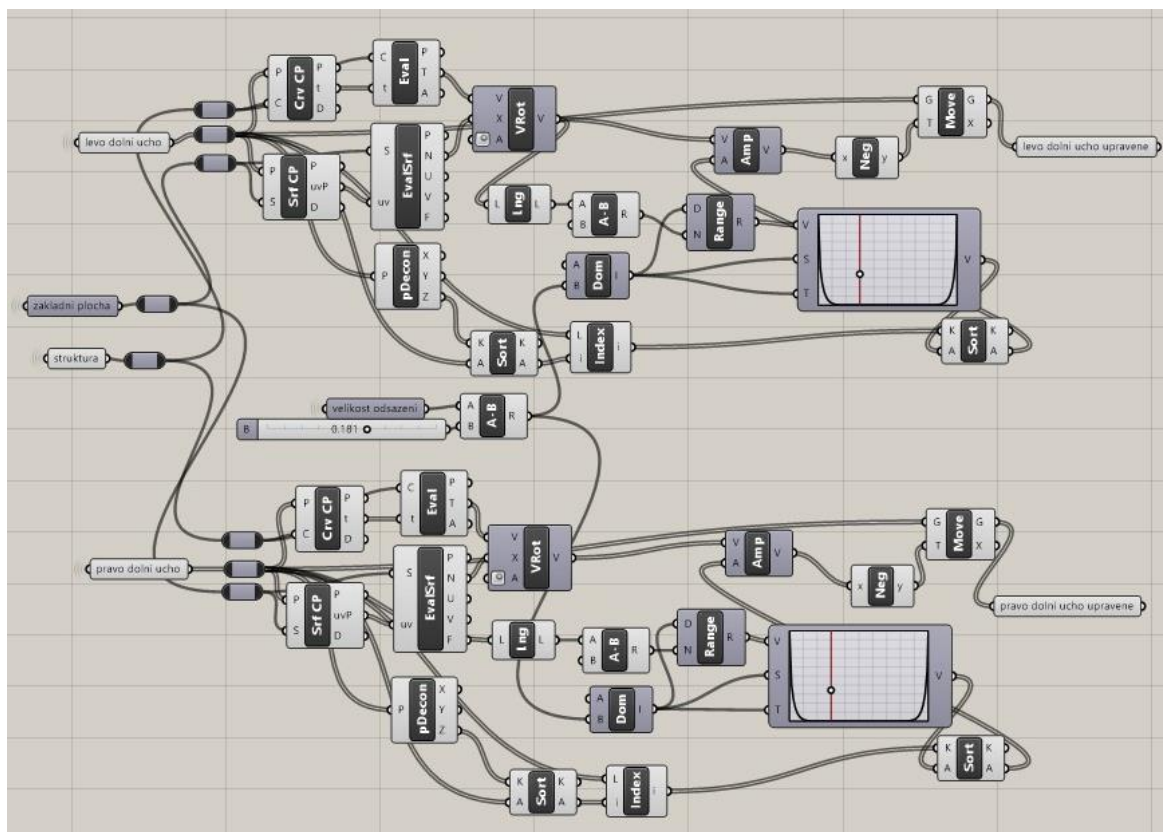


obr. 5-22 Část skriptu vytvářející bázierovy křivky pro zaoblení

Větší problém nastal s vnějším zaoblením, a to v oblasti kořenů ouška. V těchto místech ouško přechází přímo ve strukturu a zaoblení vnější hrany by zde vytvořilo „schod“. Bylo nutné vytvořit vnější odsazenou křivku struktury, která však nebude odsazena v místech styku s kořenem ouška. Byly odsazeny všechny body struktury (stejným způsobem jako proběhlo odsazení výše). Následně však byly vybrány body křivky, se kterými bude nutné pracovat specifickým způsobem. Dále došlo v listech vybraných bodů k odsazení pouze krajních bodů, čímž byla zaručena návaznost na odsazenou křivku, ale střed listu odsazen nebyl. Odsazení je za účelem plynulosti řízeno komponentou Graph Mapper.

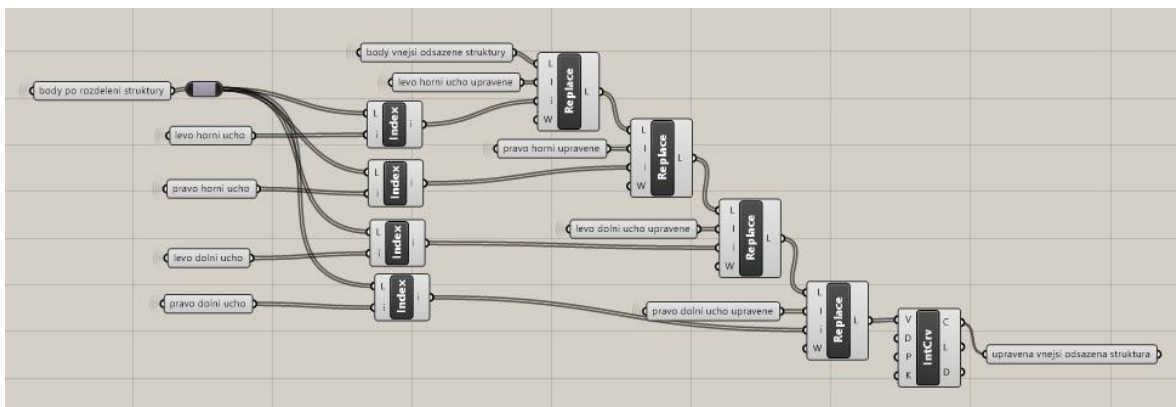


obr. 5-23 Část skriptu pro výběr bodů křivky struktury, které jsou v kontaktu s kořenem ouška



obr. 5-24 Část skriptu pro korekci odsazení bodů v kontaktu s kořenem ouška

Následně bylo nutné v listu odsazených bodů nahradit odpovídající body těmito specificky odsazenými body. Toho bylo dosaženo použitím komponent Item Index (identifikace indexů bodů k nahrazení v listu odsazených bodů) a Replace Item (nahrazení bodů).

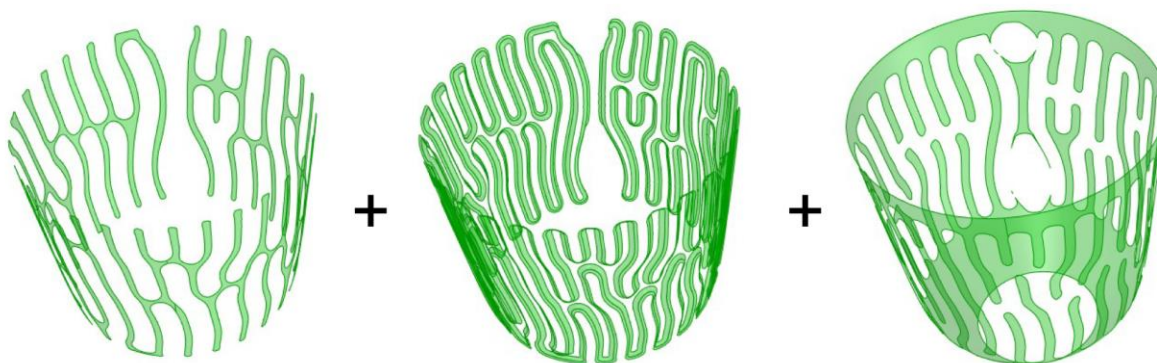


obr. 5-25 Část skriptu pro nahrazení bodů v listu

Po tomto kroku byly vytvořeny bázierovy křivky pro vnější zaoblení, podobně jak tomu bylo u zaoblení vnitřního.

Z bázierových křivek a odsazených křivek struktury byla následně vytvořena plocha pomocí komponent Sweep2

Odsazené struktury byly rovněž použity k rozdělení vnitřní a vnější plochy struktury pomocí komponenty Surface Split. Ze vzniklých ploch byly vybrány ty potřebné komponentami Item Index. Do vnější plochy byly rovněž „vyřezány“ otvory, ohraničené křivkou základny kořene ouška. Na závěr je vše spojeno dohromady spojeno komponentou Brep Join.



obr. 5-26 Skládání plastického dekoru

6 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

Sada je přizpůsobena jak výrobě litím na jádro, tak i technologií SLA 3D tisku. Díky tomu bylo možné porovnat výhody, ale i případné nevýhody výroby pomocí 3D tisku vůči tradiční technologii výroby. Dále byla také zkoumána možnost využití 3D tisku při výrobě forem pro tradiční výrobu.

6.1 Rozměry

Jelikož byly pro sadu vybrány typy šálků espresso, lungo a cappuccino, jejich objemy byly voleny tak, aby odpovídaly zvyklostem. Od požadovaných objemů se tedy odvíjí i rozměry těl šálků. Zároveň byl kladen důraz i na ergonomii a u podšálků také na dostatečnou velikost umožňující jejich stoprocentní funkčnost.



obr. 6-1 Rozměry šálku na espresso



obr. 6-2 Rozměry šálku na lungo



obr. 6-3 Rozměry šálku na cappuccino

6.2 Materiálové řešení

6.2.1 Materiál pro výrobu odléváním

Pro technologii lití na jádro je použit klasický bílý tvrdý (evropský) porcelán.

Forma je použita sádrová s příměsí vápna, které snižuje změnu objemu sádry při tuhnutí.

Pro přípravu modelů pro výrobu formy je použito PLA pro části, tištěné technologií FFF a Black resin od společnosti FormLabs pro části, tištěné technologií SLA.

6.2.2 Materiál pro tisk šálku na SLA tiskárně

V tomto případě bylo přistoupeno k vývoji vlastního materiálu. Ačkoliv se na trhu již objevují materiály na bázi keramiky, jde o materiály stále víceméně experimentální. Navíc jsou založeny většinou pouze na částicích SiO_2 či AL_2O_3 , tudíž nejde o porcelán. Problém je jak s nedostatečným slinutím částic, tak i nekompatibilitou glazur kvůli rozdílné teplotní roztažnosti.

Jako základní surovina pro vlastní materiál posloužil porcelánový granulát, který je běžně používán pro výrobu lisováním. Tento granulát byl následně pomlet v kulovém mlýnu. Mletí bylo provedeno čtyřikrát, a to v délce 3, 5, 7 a 9 hodin, za účelem získání různě jemných frakcí. Vzorky byly následně analyzovány pro mikroskopem. Měření nebylo zcela průkazné, jelikož částice tvořily shluky. Největší rozdíl bych však mezi variantami mletými 3 a 5 hodin.



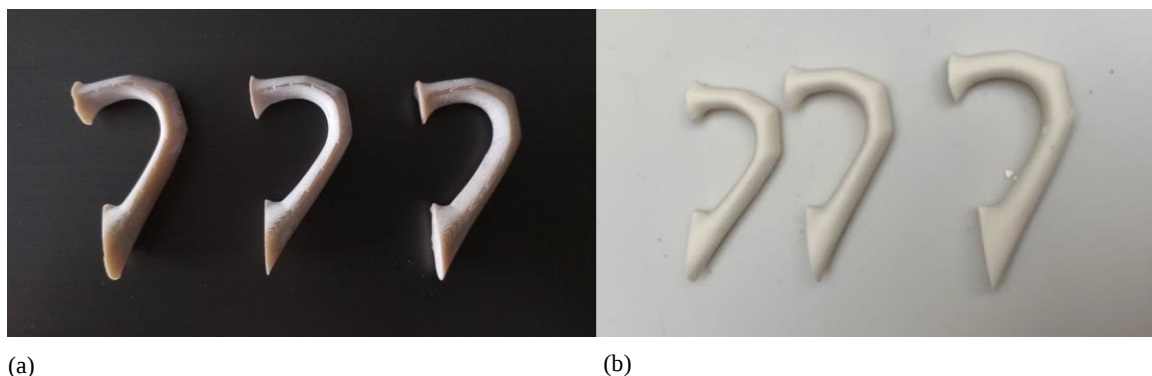
obr. 6-4 Mletí porcelánového granulátu v kulovém mlýnu

Následně byly vzorky smíchány s vodou a zjištěn vliv frakce na sedimentaci a viskozitu. Ukázalo se, že 3 hodiny mletý vzorek je nepoužitelný, jelikož k sedimentaci došlo prakticky

okamžitě po promíchání. Vzorky mleté 7 a 9 hodin vykazovaly vyšší viskozitu než vzorek mletý 5 hodin, který byl nakonec shledán jako neoptimálnější.

Vybraný vzorek byl následně míchán s resinem v různých poměrech tak, že se postupně zvyšovalo množství porcelánového prášku ve směsi. Cílem bylo nalezení nejvyššího možného množství, které lze do směsi přidat, při zachování tisknutelnosti. Jako testovací objekt bylo vybráno ouško šálku. Tisk probíhal v „Open Mode“, takže směs byla míchána přímo v tanku tiskárny bez použití stěrače. Nakonec bylo dosaženo koncentrace 46 %. Funkčnost materiálu byla ověřena výpalem testovacích oušek, které proběhlo úspěšně. Ukázalo se, že materiál je překvapivě dobře tisknutelný a zachovává velké množství detailů.

Při výpalu došlo ke smrsknutí 25 %, což je sice více než například keramický resin od společnosti FormLabs, na druhou stranu je výsledkem kompletně slinutý střep, na rozdíl od zmíněného materiálu od FormLabs, který je po vypálení slabý, pórovitý a nedá se v žádném případě považovat za porcelán.



obr. 6-5 Testovací ouška; a) nevypálená; b) po výpalu

6.3 Technologie

6.3.1 Lití na jádro

Díky pečlivě zvoleným úkosům je možné použít čtyřdílnou formu + jádro. Forma na dýnko není potřeba, jelikož úkosy umožňují rozebírat formu směrem šikmo vzhůru.

Pro přípravu modelu pro výrobu formy, který je upraven tak, že je po jeho zalití získána forma i s dělicími rovinami, je použita technologie SLA na části formy, které tvoří plochy samotného šálku a je tak nutná co nejvyšší přesnost a dále technologie FFF na plochy, tvořící dělicí roviny a podobně.



obr. 6-6 Části, vytištěné pomocí technologie SLA pro výrobu formy



obr. 6-7 Pomůcka pro odlévání formy těla šálku

Ouško je odléváno zvlášť a následně přilepeno, jelikož jde o nejčistší způsob, při kterém na vnitřní ploše šálku nedochází ke vzniku vtaženin. Odlití je realizováno pomocí dvoudílné formy. Zároveň je ouško dostatečně subtilní, takže při výpalu nezpůsobí křivení stěny šálku.

Podšálek je odlit do dvoudílné formy.

Průměr nalévacích otvorů se odvíjí od nejsilnějšího místa ve střepu výrobku.

Vnější plochy dna šálku i podšálku jsou lehce vyklenuty, aby se zabránilo jejich borcení při výpalu.

Výpal probíhá na teplotu 1380 °C v redukčním prostředí.



obr. 6-8 Forma na odlévání těla šálku



obr. 6-9 Forma na odlévání ouška



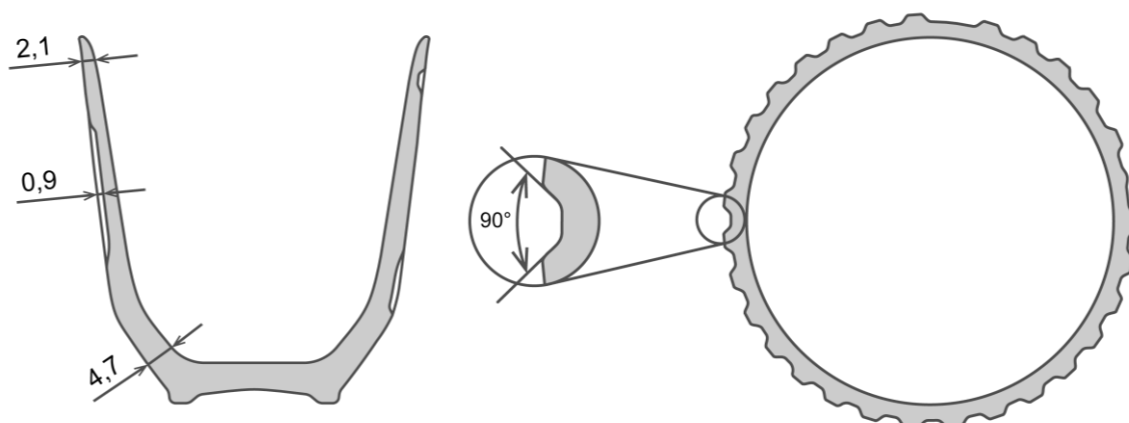
obr. 6-10 Forma na odlévání podšálku

6.3.2 Tisk na SLA tiskárně

Tisk byl realizován na tiskárně FormLabs Form 2.

Tvar těla šálku a zejména ouško je uzpůsobeno tak, že umožňuje tisk pouze s minimem podpor, které by bylo nutné po odstranění retušovat. Důležitý je fakt, že struktura dekoru je navržena tak, že sama o sobě nevyžaduje k vytištění žádný podpůrný materiál.

Je důležité, že šálek je tenkostěnný, díky čemuž mohou při výpalu ze střepu snadněji odcházet plyny vzniklé vyhořením fotocitlivého polymeru a minimalizuje se tak riziko prasknutí. Jak v těle šálku tak i ve struktuře jsou maximálním přípustným zaoblením potlačeny koncentrátoři napětí, které by mohly oslabit střep při výpalu.



obr. 6-11 Řez střepem se strukturou

Tisknutelnost geometrie byla ověřena tiskem z průhledného resinu na tiskárně FormLabs Form 2. Prokázalo se, že je možné šálek tisknout tak, že podpory nezasahují do dekoru a tím pádem je jejich odstranění relativně bezproblémové.



obr. 6-12 Ověření tisknutelnosti geometrie tiskem z čirého resinu

Po odstranění problémů s přichycením modelu k podložce a s nedotékáním tiskové směsi do některých míst výtisku se začaly projevovat problémy s postupnou degradací materiálu. Již u posledního testovacího ucha selhala přibližně třetina podpor, dále se tento problém prohluboval a přidaly se další tiskové chyby, jako tzv. ragging, tedy výskyt tenkých šupin na povrchu výtisku, které se postupně uvolňují a usazují se na dně tanku, čímž omezují průchod světla a správné vytvrzování materiálu. Vyloučen byl vliv geometrie modelu a sedimentace materiálu, jelikož se chyby objevovaly už od prvních vrstev raftu. Pro potvrzení vlivu degradace materiálu bylo znovu tištěno testovací ucho, a to na nastavení tisku, jehož správnost byla potvrzena již dříve, avšak nyní neúspěšně.

Degradace materiálu může být vysvětlena jeho neustálou recyklací a také tím, že použitý resin Tethon 3D Genesis byl již přes rok prošlý. Vzhledem k tomu a díky absenci dalšího resinu nebylo možné v testech pokračovat, jelikož pokračování by vyžadovalo namíchání nové směsi.

6.3.3 Procesní parametry tisku

Existuje tiskový preset přímo pro keramické materiály, ten však generuje enormní množství podpor, které jsou navíc značně masivní a špatně odstranitelné, což znamená také daleko větší spotřebu materiálu. Vzhledem k tomu, že materiál obsahuje množství částic, které pohlcují záření UV laseru v tiskárně, bylo nutné vybrat preset s co nejvyšší délkou expozice. Na základě série testů byl vybrán tiskový preset Flexible V2, který navíc generuje i lehce zesílené podpory, které jsou vhodné pro tisk větších modelů. V úvahu připadá i preset Black V4, který má však podpory subtilnější a hodí se tak spíše pro menší a lehčí objekty.

Velikost dotykových bodů podpor (Touchpoint size) je nastavena na 1,20 mm a parametr hustoty (Density) na hodnotu 1,35.

Vzhledem k tomu, že materiál je těžší než běžné resiny, bylo nutné zajistit perfektní přilnutí tisku k tiskové platformě. Za tímto účelem byla platforma zdrsňena brusným papírem hrubosti 180 a změněno nastavení „Z fine tuning“ na hodnotu -0,1.

Byly zvažovány dvě orientace modelu při tisku. Při prvním byl šálek orientován dnem k tiskové podložce. Tato orientace vyžaduje pouze kratší a lépe odstranitelné podpory, na druhou stranu při ponoření šálku do tanku s tiskovou směsí vzniká v šálku podtlak, který jej může utrhnout z podložky. Aby tomu bylo zamezeno, byla ve dně udělán otvor s průměrem 5 mm, který by se po tisku zacelil tiskovou směsí a zabrousil. Při testování se však ukázalo, že díky vyšší viskozitě materiálu docházelo k ucpávání otvoru a ke ztrátě jeho funkce. Druhá možnost orientuje model přesně obráceně, tedy ústím šálku směrem k tiskové podložce, při lehkém náklonu 10°. Zde odpadá problém s podtlakem, nicméně je nutné podpírat dno šálku zevnitř poměrně dlouhými podporami.

6.4 Ergonomie

6.4.1 Ergonomie ouška

Při návrhu šálku je stěžejní především ergonomie ouška. Ouško je navrženo pro úchop, při kterém je jím prostrčen ukazovák, palec je opřen o ouško v horní části a prostředník ouško podepírá. Důvod výběru této varianty úchopu je zmíněn v kapitole 2.2.4. Vnitřní obrys ouška opisuje v horní části hladkou křivku, která tvarem odpovídá lidskému prstu, a proto zde nemůže docházet k jakýmkoliv otlakům. Velikost je zvolena tak, aby šálek mohli používat i uživatelé s většími prsty.

Vnější obrys šálku je členěn zlomy. Zlom nejvýše na oušku umožňuje dvě polohy opření palce pod různým úhlem a díky tomu, že je velmi jemný, je možné položit palec i přes něj. Prostřední zlom je nejvýraznější a zabraňuje protočení ouška v prstech v případě, že má uživatel vlhké ruce, což je důležité především u větších a tím pádem těžších variant.

Vzhledem k tomu, že spodní kořen ouška je na těle šálku poměrně nízko, část ouška, která je podpírána prostředníkem je poměrně dlouhá a s takovým sklonem, že nehrozí kontakt prstu s tělem šálku a jeho spálení.

Veškeré úhly kontaktních ploch musely být pečlivě voleny tak, aby nedocházelo k nepřírozenému postavení zápěstí při používání šálku.

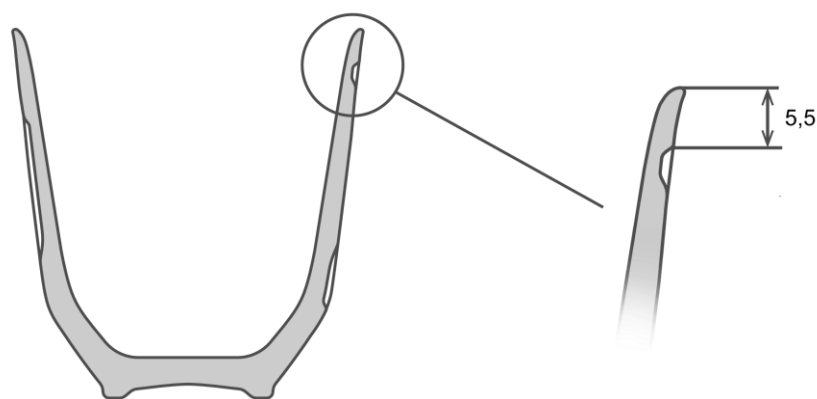


obr. 6-13 Úchop šálku

6.4.2 Ergonomie těla šálku

Zde je důležitá především horní hrana, který přichází do kontaktu s ústy. U kruhového tvaru je důležitý průměr, od kterého se odvíjí křivost. Průměr byl tedy zvolen tak, aby i v případě nejmenšího šálku na espresso nebyla křivost hrany příliš velká, protože to by vedlo ke značně sníženému uživatelskému komfortu. Tvar okraje šálku je lehce vyhnut směrem ven, což zaručuje lepší kontakt se rty a celý okraj je ponechán bez struktury.

Průběh tloušťky stěny šálku, která se u dna poměrně významně rozšiřuje, posouvá těžiště šálku níže a tím jej stabilizuje.



obr. 6-14 Detail provedení horní hrany těla šálku

6.4.3 Ergonomie podšálku

U podšálku záleží na výšce okraje od základny. Tento parametr určuje, jak snadno se dá šálek zvednout například ze stolu. Experimentem byla stanovena hranice 8 mm, která je však i v případě nejmenšího podšálku dodržena s rezervou 2 mm.

Velmi výhodná z pohledu uživatelské přívětivosti je i prohlubeň v podšálku, do které zapadá spodní část šálku, díky čemuž se značně minimalizuje rozlití nápoje při přenášení.

6.5 Hygiena

Vzhledem k použitému plastickému dekoru na šálku i podšálku bylo pečlivě zvažováno jeho provedení z hlediska dopadů na omyvatelnost. Bylo provedeno několik experimentů na modelech vytištěných technologií FFF. Ukázalo se, že vzhledem k hloubce, použitým úkosům, ale i tomu, že je dekor orientovaný jedním směrem je čištění snadné. Hrany dekoru jsou navíc zaobleny tak, že vnitřní hrana je zaoblена více než vnější, což omyvatelnost ještě zlepšilo. Zaoblена je i hrana mezi stěnou šálku a dnem.

Šálek vyroben z porcelánu, který je sám o sobě nenasákavý, zde je však navíc povrch chráněn glazurou a je tak zamezeno zachycování nečistot a množení bakterií v pórech materiálu.

Vzhledem tomu, že byl šálek s podšálkem reálně vyroben, byla omyvatelnost autorem mnohokrát testována a vyhodnocena jako naprosto bezproblémová.

7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

7.1 Barevné řešení

Jako základní byla zvolena bílá barva, tedy přirozená barva materiálu, která je pro porcelán charakteristická a odlišuje jej od většiny ostatních druhů keramik, a proto by byla škoda ji popřít.



obr. 7-1 Základní barevná varianta

Základní varianta je tedy celá čistě bílá, což dává vyniknout průsvitnosti materiálu. Barevné varianty používají glazuru v podobě preparátů drahých kovů, což jsou organické sloučeniny kovů v organických rozpouštědlech, zahuštěných pryskyřicemi tak, že je možné je nanášet na stěp štětcem. Nanesením glazury na povrch dekoru a jejím následným setřením z povrchu těla šálku zůstává glazura pouze v dekoru, který je tímto ještě zvýrazněn.

Byly vybrány preparáty platiny a zlata, které vůči bělostnému šálku působí velmi elegantně.



obr. 7-2 Barevná varianta 1 - bílá



obr. 7-3 Barevná varianta 2 - platinová



obr. 7-4 Barevná varianta 3 - zlatá

7.2 Grafické řešení

7.2.1 Logo

Logo se skládá ze značky a názvu produktu, který značku opisuje v kružnici. Název Bostrico Algoritmico je v italštině, jelikož Itálie je proslulá svojí kavářenskou kulturou a v překladu znamená „algoritmický kůrvec“ což odkazuje na podobu dekoru, který je nejcharakterističtějším prvkem sady. Vzhledem k jazyku i tomu, že obsahuje rým, zní název lehce extravagantně, což se k produktu této kategorie hodí. Na nápis je použit font IBM Plex Sans.

Samotná značka je vytvořena stejným algoritmem jako struktura dekoru a odkazuje tak na filozofii produktu.

Kruhové uspořádání odpovídá umístění loga zespoda dýnka, které je rovněž kruhové. Tato podoba loga je vytvořena výhradně pro použití v této pozici. Logo je analogicky použito i na podšálku.



obr. 7-5 Logo a jeho umístění na šálku

8 DISKUZE

8.1 Psychologická funkce

Tvarování je založeno na jasně definovaných křivkách, díky čemuž je výsledný tvar čistý a má až ikonickou siluetu. Důležitý z hlediska psychologického působení je i detail zasazení šálku do podšálku, díky kterému celek působí stabilním a uklidňujícím dojmem.

Neméně důležitá je také struktura dekoru, která plynule a rovnoměrně pokrývá šálek a díky své proměnlivosti láká k prohlížení a zkoumání z více úhlů a na při zvednutí šálku k ústům se naplno projeví prosvítající dekor. Při zvednutí šálku se navíc odhalí i dekor podšálku a připraví tak uživateli určitý moment překvapení.

Přirovnání struktury dekoru ke strukturám tvořených kůrovcem ukazuje na inspiraci přírodními zákony při tvorbě růstového algoritmu, a navíc v sobě skrývá zajímavý kontrast růstu a zkázy.

Návrh dále počítá s individualizací dekoru, která je z psychologického hlediska velmi důležitá. Individualizace je možná díky vytvoření dekoru pomocí růstového algoritmu, jehož parametry se dají měnit. To je ruku v ruce s vyvinutými výrobními metodami, které můžou pružně reagovat na změny a produkovat série jen o pár kusech. Výsledkem je, že každý šálek může být originál, díky čemuž si k němu může uživatel vytvořit silnější pouto.

8.2 Sociální funkce

V současné době je pití kávy u mnohých lidí povýšeno téměř až na rituál, při němž je důležitá estetická a reprezentativní funkce šálků, ve kterých je káva podávána. Znatelný je také rozmach kaváren, které si zakládají na vybavení reprezentujícím kvalitní design s cílem poskytnout zákazníkovi co nejlepší zážitek jak z konzumace kávy, tak z celé návštěvy. Této filozofii produkt odpovídá, díky novým přístupům k designu zdůrazňuje výjimečnost a reprezentativní funkci.

8.3 Ekonomická funkce

Cena se z velké části odvíjí od velikosti produkované série, jelikož nejpodstatnější cenovou položkou je výroba formy, která je v tomto případě poměrně složitá a tím pádem nákladná. Díky využití nového postupu při výrobě formy, který ve velké míře využívá 3D tisk je možné

výrobu i takto náročné formy, jejíž cena by se pohybovala okolo 20 000 Kč, zvládnout vlastními silami a ušetřit tak za práci formíře.

Při výrobě pomocí SLA 3D tisku problémy s formou zcela mizí. Při použití výše popsaného materiálu se cena odvíjí především od použitého resinu ve směsi. Aktuálně použitý resin Genesis je poměrně nákladný, nicméně existuje možnost použít i levnější resiny. SLA, DLP a především LCD tiskárny, které lze pro výrobu také použít v poslední době dramaticky zlevňují a lze je pořídit i za cenu okolo 10 000 Kč.

V obou případech se jedná o podstatné snížení nákladů, a tak je i při menších sériích možné dosáhnout nízké výrobní ceny za kus a jelikož jde o šálky exkluzivnějšího charakteru, lze je zařadit do vyšší cenové kategorie a účtovat si tak vyšší marži.

8.4 Význam parametrizace

Parametrizace umožnila precizní vyladění všech ergonomických náležitostí, ale uplatnila se především při návrhu produktové rodiny, kdy parametrizační skript zajišťuje společný designový jazyk, propojující celou sadu.

Význam parametrizace ještě vzroste ve spojení s výrobou tiskem z porcelánu, jelikož skript, konkrétně algoritmus pro tvorbu struktury dekoru může po změně parametrů generovat různé výsledky, takže tím pádem může být každý šálek originál a 3D tisk na rozdíl od výroby odléváním dokáže na tyto změny pružně reagovat.

8.5 Vyvinutý materiál

Vyvinutý materiál prokázal jak svoji tisknutelnost, tak i vypalitelnost a možnost glazovat výrobky z něj vyrobené běžnými glazurami. Na rozdíl od komerčních produktů, které mají po vypálení pórovitý střep, se jedná o skutečný, slinutý porcelán, na který lze aplikovat běžné glazury. Bylo by však potřeba další testování, které nemohlo být kvůli nedostatku výchozí suroviny (resinu) uskutečněno v plném rozsahu. Testování by se mělo zaměřit především na dosažení co nejnižší viskozity při největším podílu porcelánového prášku ve směsi. Dále je také otevřená možnost použít jiné resiny než Genesis od Tethon 3D, který je popisován jako základní báze, vhodná k plnění prášky. Teoreticky by šlo použít i čiré či odlévatelné resiny, které jsou však mnohem levnější a celá výroba by začala dávat ještě více ekonomický smysl.

Potenciál vyvinutého materiálu pak není pouze v odvětví užité keramiky, ale také například ve šperkařství, jelikož šperky jsou vzhledem ke svým rozměrům a nárokům na přesnost a detail ideálními adepty pro tisk z porcelánu.

9 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce má několik aspektů. Prvním je samotný design sady porcelánových šálek na kávu, který vychází z designérské a technické analýzy za účelem zjištění nedostatků současné produkce a technologických omezení. K samotnému designu bylo přistoupeno inovativním způsobem pomocí parametrizace, která umožnila precizní práci s tvarem a detaily a snadný prototyping za účelem ověření estetického a ergonomického provedení na reálných modelech a dále také nekonvenční postup při tvorbě dekoru, který byl generován navrženým růstovým algoritmem. Výsledný design navíc využívá hlavní přednosti porcelánu, a to jeho průsvitnosti a umožňuje individualizaci, díky které – ve spojení s použitými výrobními technologiemi – je každý šálek originál.

Výběru finální varianty předcházelo vytištění modelů technologií FFF.

Práce také prověřila možnost použití aditivních technologií při produkci porcelánu. 3D tisk byl použit pro výrobu formy, která by byla běžnými prostředky pouze obtížně vyrobitelná, a navíc velmi nákladná. Tímto postupem byly vyrobeny formy pro šálek a podšálek varianty espresso, a následně byl šálek s podšálkem odlit z porcelánu a vypálen. Díky tomu se prokázala nejen funkčnost navrženého postupu, ale také vyrobitelnost a předpokládané vlastnosti navrženého šálku. Tento výrobní postup znamená dramatické zjednodušení výroby komplikovaných forem, což vede ke zlevnění malosériové výroby, u které je výroba forem největší finanční položkou.

Návrh sady šálek je navíc přizpůsoben pro 3D tisk technologií SLA, tisknutelnost geometrie byla ověřena vytištěním šálku na espresso technologií SLA na tiskárně FormLabs Form 2.

Dalším důležitým aspektem práce je vývoj porcelánové směsi pro tisk technologií SLA. Použitelnost směsi byla ověřena tiskem testovacích objektů a jejich následným vypálením a naglazováním. Vyvinutý materiál, který je na rozdíl od komerčně dostupných keramických směsí skutečným porcelánem, představuje velký potenciál pro další vývoj, jelikož jeho použití by mohlo znamenat zbavení závislosti malosériové výroby na drahé výrobě forem a větší tvůrčí svobodu.

Hlavními limity tisku jsou především omezená velikost tiskové plochy tiskárny, sedimentace materiálu i nutnost doplňování materiálu během objemnějších tisků. Tyto problémy však silně záleží na použité tiskárně. Použitá tiskárna FormLabs Form 2 bohužel není příliš vhodná pro experimentální materiály, protože zde není možnost nastavovat některé parametry tisku, jako je například délka expozice, která je stěžejní a je tedy nutné vycházet z některého z presetů. Tisku by rovněž pomohlo zahřívání resinu snižující jeho viskozitu a použití stěrače, tedy funkcí, které nejsou v Open Mode – který musel být použit – k dispozici. Dalším problémem je i smrsknutí produktu po výpalu, které bude vždy vyšší, než je tomu u tradiční výroby.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HERZÁNOVÁ, Barbora. Historie porcelánek v Čechách. Plzeň, 2012. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Pedagogická fakulta, Katedra výtvarné kultury.
- [2] Porcelán. Arts Lexikon [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <http://www.artslexikon.cz/index.php?title=Porcel%C3%A1n>
- [3] Ceramic 3D Printing: A Revolution within Additive Manufacturing? 3D natives [online]. 16. 4. 2019 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/ceramic-3d-printing-170420194/>
- [4] CHEN, Zhangwei, Ziyong LI, Junjie LI, et al. 3D printing of ceramics: A review. Journal of the European Ceramic Society. 2019, 39(4), 661-687. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013. ISSN 09552219. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0955221918306782>
- [5] Šálek na espresso – Vjemy. Kitchenette shop [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.kitchenetteshop.cz/salek-na-espresso-vjemy>
- [6] Šálek s podšálkem – Vjemy. Kitchenette shop [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.kitchenetteshop.cz/salek-s-podsalkem-vjemy>
- [7] Šálek LOVES ME rozeta Tablo. CZECHDESIGN SHOP [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://shop.czechdesign.cz/porcelan/salek-loves-me-rozeta/>
- [8] Šálek na kávu Kobalt. CZECHDESIGN SHOP [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://shop.czechdesign.cz/cibulak/salek-na-kavu-kobalt-jiri-pelcl/>
- [9] Good Quality Square Shape Porcelain Coffee Cup and Saucer. Made-in-China [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://gdrollin.en.made-in-china.com/product/CyvJPGtdnlWI/China-Good-Quality-Square-Shape-Porcelain-Coffee-Cup-and-Saucer.html>
- [10] Tonino Lamborghini bílý porcelánový šálek s podšálkem 160 ml. Tonino Lamborghini Caffè [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.lamborghinicaffe.cz/eshop/3/tonino-lamborghini-bily-porcelanovy-salek-s-podsalkem-160-ml.html>
- [11] Paper Porcelain coffee cup. Finnish Design Shop [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: https://www.finnishdesignshop.com/tableware-dishware-cups-mugs-paper-porcelain-coffee-cup-light-grey-p-14604.html?region=de&gclid=Cj0KCQiAm4TyBRDgARIsAOU75srBiu-FwVGOFB3Hn7-R6nO6MQjA1a4PE_5l_QFreP0rjW6nKUKnhv0aAttzEALw_wcB
- [12] The Floating mug. Kickstarter [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.kickstarter.com/projects/tiggs/the-floating-mug/comments>

- [13] Silikátová keramika. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/sil/keramika/Ceramic_Technology/SM-Lect-6-C.pdf
- [14] Výroba porcelánu. BOHEMIA PORCELAN 1987 [online]. [cit. 2020-02-14]. Dostupné z: <https://www.bohemiaporcelan.cz/porcelan/vyroba-porcelanu.htm>
- [15] BUČEK, Robert. Technologie keramické výroby [online]. Olomouc: Univerzita Palackého, 2015 [cit. 2020-02-21]. ISBN ISBN978-80-244-4757-5.
- [16] Ceramic Materials Properties. Engineering ToolBox [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/ceramics-properties-d_1227.html
- [17] Informace poskytl Jiří HLUŠIČKA, majitel porcelánové manufaktury Goldfinger. Brno 30. 1. 2020.
- [18] BAE, Chang-Jun, Arathi RAMACHANDRAN, Kyeongwoon CHUNG a Sujin PARK. Ceramic Stereolithography: Additive Manufacturing for 3D Complex Ceramic Structures. Journal of the Korean Ceramic Society. 2017, 54(6), 470-477. DOI: 10.4191/kcers.2017.54.6.12. ISSN 1229-7801. Dostupné také z: <http://www.jkcs.or.kr/journal/view.php?doi=10.4191/kcers.2017.54.6.12>
- [19] 3D tisk fotopolymerizací. Cotu [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/151/3d-tisk-fotopolymerizaci>
- [20] Ceramic Resin [online]. 2018 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://archive-media.formlabs.com/upload/ceramic-user-guide.pdf>
- [21] Porcelite User Guide [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://tethon3d.com/wp-content/uploads/Porcelite-User-Guide.pdf>
- [22] Krystin Tysire. We Heart It [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://weheartit.com/entry/326505804>

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

11.1 Použité zkratky

SLA	Stereolitography
FFF	Fused Filament Fabrication
FDM	Fused Deposition Modeling
DLP	Digital Light Processing
SiO ₂	oxid křemičitý
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý
K ₂ O	oxid draselný
SiC	karbid křemíku
PLA	polymléčná kyselina

11.2 Použité veličiny

MPa	megapascal
Pa·s	pascal sekunda
ml	mililitr
mm	milimetr

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 2-1 Šálek Vjemy – varianta šálku s plným a běžným ouškem	17
obr. 2-2 Šálek LOVES ME	17
obr. 2-3 Šálek Bohemia Cobalt	18
obr. 2-4 Šálek Rollin Model NO. RY0406	18
obr. 2-5 Šálek Tonino Lamborghini.....	19
obr. 2-6 Šálek Paper porcelain	19
obr. 2-7 Hrnek The floating mug.....	20
obr. 2-8 Schéma technologie lití na střep.....	21
obr. 2-9 Schéma technologie lití na jádro	22
obr. 2-10 Princip technologie SLA	23
obr. 2-11 Vliv materiálu na vytvrzování pryskyřice	23
obr. 2-12 Popraskaný střep po výpalu modelu tištěného z materiálu od společnosti FormLabs.....	24
obr. 3-1 Influencerka fotící se u popíjení kávy	28
obr. 4-1 Testování možností parametrického designu při tvorbě dekoru.....	29
obr. 4-2 Princip generování struktury „list“	30
obr. 4-3 Vliv vzdálenostního omezení řídících bodů	30
obr. 4-4 Vliv omezení úhlu mezi nových a navazujícím liniovým segmentem	31
obr. 4-5 Vliv růstu plochy pro generování struktury	31
obr. 4-6 Varianty s rozdílným vzdálenostním omezením řídících bodů	32
obr. 4-7 Struktura rostoucí přímo na ploše.....	32
obr. 4-8 Postupný růst struktury „kůrvec“.....	33
obr. 4-9 Závislost hustoty struktury na množství výchozích bodů	33
obr. 4-10 Vliv nastavení upřednostňovaných vektorů	34
obr. 4-11 Vliv poloměru koulí pro výpočet kolizí.....	34
obr. 4-12 Růst struktury ze dvou jader	35
obr. 4-13 Růst struktury po 3D geometrii	35
obr. 4-14 Varianta I	36

obr. 4-15	Varianta II	37
obr. 4-16	Varianta III	38
obr. 4-17	Modely vytisknuté technologií FFF	39
obr. 5-1	Kompoziční řešení šálku	40
obr. 5-2	Řídící směry a silueta šálku	41
obr. 5-3	Obtékání kořenů ouška strukturou dekoru	42
obr. 5-4	Postupný růst struktury dekoru po těle šálku	42
obr. 5-5	Různé struktury dekoru vygenerované skriptem – individualizace	43
obr. 5-6	Ukázka průsvitnosti šálku	43
obr. 5-7	Schéma tvarování podšálku	44
obr. 5-8	Pohled na podšálek s odkrytou strukturou dekoru	44
obr. 5-9	Sada šálků – srovnání	45
obr. 5-10	Pohled na celou sadu šálků	45
obr. 5-11	Šálek espresso	46
obr. 5-12	Šálek lungo	46
obr. 5-13	Šálek cappuccino	47
obr. 5-14	Část skriptu tvořící tělo šálku	48
obr. 5-15	Část skriptu tvořící hlavní část ouška	49
obr. 5-16	Část skriptu tvořící základnu kořene ouška	49
obr. 5-17	Část skriptu tvořící kořen ouška	50
obr. 5-18	Část skriptu vymezující plochu pro růst struktury dekoru	50
obr. 5-19	Část skriptu vytvářející základní křivku pro růst struktury dekoru	51
obr. 5-20	Algoritmus struktury dekoru	51
obr. 5-21	Část skriptu pro odsazení křivky struktury	52
obr. 5-22	Část skriptu vytvářející bézierovy křivky pro zaoblení	52
obr. 5-23	Část skriptu pro výběr bodů křivky struktury, které jsou v kontaktu s kořenem ouška	53
obr. 5-24	Část skriptu pro korekci odsazení bodů v kontaktu s kořenem ouška	53
obr. 5-25	Část skriptu pro nahrazení bodů v listu	54
obr. 5-26	Skládání plastického dekoru	54

obr. 6-1	Rozměry šálku na espresso	55
obr. 6-2	Rozměry šálku na lungo	56
obr. 6-3	Rozměry šálku na cappuccino	56
obr. 6-4	Mletí porcelánového granulátu v kulovém mlýnu.....	57
obr. 6-5	Testovací ouška; a) nevypálená; b) po výpalu.....	58
obr. 6-6	Části, vytištěné pomocí technologie SLA pro výrobu formy	59
obr. 6-7	Pomůcka pro odlévání formy těla šálku	59
obr. 6-8	Forma na odlévání těla šálku	60
obr. 6-9	Forma na odlévání ouška.....	60
obr. 6-10	Forma na odlévání podšálku	61
obr. 6-11	Řez střepem se strukturou.....	61
obr. 6-12	Ověření tisknutelnosti geometrie tiskem z čirého resinu.....	62
obr. 6-13	Úchop šálku	64
obr. 6-14	Detail provedení horní hrany těla šálku	64
obr. 7-1	Základní barevná varianta	66
obr. 7-2	Barevná varianta 1 - bílá	67
obr. 7-3	Barevná varianta 2 - platinová	67
obr. 7-4	Barevná varianta 3 - zlatá	67
obr. 7-5	Logo a jeho umístění na šálku.....	68

13 SEZNAM PŘÍLOH

Zmenšený poster (A4)

Fotografie výrobku

Sumarizační poster (A1)

Grasshopper skript pro šálek

Grasshopper skript pro podšálek



BOSTRICO ALGORITMICO

Pocelánový set, skládající se z šálků na espresso, lungo a cappuccino, využívající parametrizace, díky které je zaručena tvarová jednotnost celé sady s možností jejího dalšího rozšíření a umožněno vyladění tvaru vzhledem k ergonomickým a technologickým požadavkům. Dále byl použit nekonvenční způsob tvorby průsvitného dekoru generováním pomocí navrženého růstového algoritmu, který v kombinaci s použitými výrobními technologiemi, umožňuje individualizaci produktu.

Návrh je kompletně dotažen až to stádia výroby a jsou na něm zkoumány možnosti využití aditivních technologií při produkci porcelánových výrobků, a to jak při výrobě forem, tak při přímé výrobě technologií SLA z vlastního porcelánového materiálu.



ROZMĚRY M 1:2



Různé varianty dekoru vygenerované pomocí navrženého algoritmu - individualizace produktu



Retušování šálku vyrobeného metodou lití na jádro



Nevypálené ucho, vytisklé technologií SLA z porcelánu, před odstraněním podpor

DESIGN PORCELÁNOVÉHO SETU PRO ADITIVNÍ VÝROBU / BAKALÁŘSKÁ PRÁCE / Autor: Jan Vitek / Vedoucí práce: Ing. David Škaroupka, Ph.D. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2019/20



FOTOGRAFIE VÝROBKU

