

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**TESTOVÁNÍ VHODNOSTI POUŽITÍ BAREV
PRO TISK MULTIBAREVNÝCH
3D HMATOVÝCH MODELŮ PRO
OSOBY S TĚŽKÝM ZRAKOVÝM POSTIŽENÍM**

Bakalářská práce

Martin ZÁBRANSKÝ

Vedoucí práce Mgr. Radek BARVÍŘ, Ph.D.

Olomouc 2026

Geoinformatika a kartografie

ANOTACE

Hlavním cílem bakalářské práce je zhodnotit vhodnost použití barev přibližujících se realitě při vícebarevném 3D tisku modelů pro osoby s těžkým zrakovým postižením. Teoretická část se pro úspěšné naplnění tohoto cíle věnuje možnostem 3D tisku se zaměřením na vícebarevný a specifikům vizualizací pro osoby se zrakovým postižením. V této souvislosti rozebírá různé typy zrakových vad a využití barev v tyflografice a tyflokartografii. Součástí je i rešerše dosavadních prací, které se touto problematikou zabývaly, a to jak z jiných pracovišť, tak přímo z Katedry geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci.

Praktická část popisuje proces tvorby 3D modelů od jejich prvotního návrhu až po realizaci tisku na 3D tiskárně umožňující vícebarevný tisk. Následně bylo navrženo a realizováno uživatelské testování, které porovnávalo vhodnost modelů v realistických barvách s modely v barvách kontrastních. Získané poznatky byly analyzovány a posloužily k vyvození závěrů ohledně vnímání realistických barev cílovou skupinou. Tato zjištění se stala základem pro vytvoření praktického manuálu, který nabízí doporučení pro vhodnou volbu barev při vícebarevném tisku.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D tisk; tyflografika; zrakové postižení; barvy

Počet stran práce: 54

Počet příloh: 4 (z toho 4 volné)

ANNOTATION

The primary objective of this bachelor thesis is to evaluate the suitability of using colors closely approximating reality in multicolor 3D printing of models for individuals with severe visual impairments. To achieve this objective, the theoretical section examines 3D printing capabilities, with a focus on multicolor printing and the specifics of visualization for the visually impaired. Within this context, the thesis analyzes various types of visual impairments and the application of color in typhlography and typhlocartography. It also includes a comprehensive review of previous research addressing this issue, encompassing both international studies and work conducted at the Department of Geoinformatics at Palacký University Olomouc.

The practical section details the process of creating 3D models, from initial design to multicolor printing. Subsequently, user testing was designed and conducted to compare the effectiveness of models in realistic colors against those in high-contrast colors. The results were analyzed to draw conclusions regarding the target group's perception of realistic colors. These findings served as the basis for a practical manual providing recommendations for the appropriate selection of colors in multicolor 3D printing.

KEYWORDS

3D printing; tactile graphics; visual impairment; colours

Number of pages: 54

Number of appendixes: 4

Prohlašuji, že

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou/diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, že údaje o mé bakalářské práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé bakalářské v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé bakalářské práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Děkuji RNDr. Aleně Vondrákové, Ph.D., LL.M. za vedení v úvodu práce a za návrh tématu bakalářské práce. Děkuji vedoucímu práce Mgr. Radku Barvířovi, Ph.D. za podněty, připomínky při vypracování práce a za poskytnutí digitálních modelů vypracovaných různými autory v rámci činnosti KGI. Dále děkuji konzultantu RNDr. Janu Brusovi, Ph.D. za rady ohledně 3D tisku a za pomoc se zajištěním filamentů. Také bych chtěl poděkovat Mgr. et Bc. Veronice Růžičkové, Ph.D. a Gymnáziu pro zrakově postižené Praha za zprostředkování uživatelského testování.

Práce vznikla v rámci projektu "Inovace uměleckého vzdělávání a podpora estetického vnímání žáků se zrakovým postižením prostřednictvím haptizace výtvarných děl pomocí 3D tištěných modelů" číslo TQ23000224 podpořeného Technologickou agenturou ČR.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Martin ZÁBRANSKÝ
Osobní číslo: R23646
Studijní program: B0532A330011 Geoinformatika a kartografie
Téma práce: Testování vhodnosti použití barev pro tisk multibarevných 3D hmatových modelů pro osoby s těžkým zrakovým postižením
Zadávající katedra: Katedra geoinformatiky

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit vhodnost použití barev pro tisk multibarevných 3D modelů. Student provede analýzu problematiky multibarevného 3D tisku a použití barev na tyflomapách a u hmatových modelů v českém i mezinárodním prostředí, zaměří se přitom na návody, pokyny nebo doporučení pro výběr barev u cílové skupiny osob s těžkým zrakovým postižením. Získané poznatky bude student analyzovat a vyvodit z nich, jaké barvy (jejich kombinace, pořadí apod.) jsou vhodné pro tisk 3D hmatových modelů. Zaměří se přitom nejen na rozlišitelnost barev na 3D modelu, ale také na vnímání modelů cílovými respondenty (především na asociativnost) a vlivu použitých barev na jejich interpretaci získaných poznatků. Jednou z otázek, na které by práce měla odpovědět, je: Jsou pro multibarevný tisk 3D hmatových modelů pro osoby s těžkým zrakovým postižením vhodnější kontrastní barvy, které neodpovídají reálným vlastnostem objektu, nebo barvy přibližující se realitě i za cenu nižšího kontrastu?

Testování student provede na modelech, které vzniknou úpravou již existujících modelů vzniklých na Katedře geoinformatiky UP (diplomová práce Kateřiny Bečicové, modely z projektu RIDARP, případně další) i na modelech, které pro potřeby demonstrace a testování navrhne sám. Naváže na práci V. Čecha týkající se návrhu barevných schémat pro tvorbu tyflomapy, práci J. Henryho o multibarevném 3D tisku, práce K. Bečicové a další aktivity realizované v oblasti tvorby hmatových modelů pro osoby s těžkým zrakovým postižením na Katedře geoinformatiky UP (KGI). Student využije především technologie dostupné v 3D laboratoři na KGI, ale v teoretické rovině se může zabývat i možnostmi tisku na novějších tiskárnách dostupných na trhu.

Všechny poznatky shrne student do manuálu pro výběr barev při tisku multibarevných 3D modelů pro osoby se zrakovým postižením. Všechny verifikované modely ve vhodném formátu uveřejní na webových stránkách práce a umožní jejich stažení. Minimální počet pro hlavní uživatelské testování je 10 modelů (např. 5 různých modelů ve dvou barevných provedeních). Text práce student zpracuje v souladu se závaznou šablonou pro kvalifikační práce KGI. O diplomové práci student vytvoří webovou stránku a poster. Celou práci (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, poster a web) odevzdá student v digitální podobě na datové úložiště katedry. Do evidence STAG student odevzdá úplný text práce s přílohami, které určí vedoucí práce. Fyzicky student odevzdá pouze přílohy určené vedoucím práce.

Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování bakalářské práce: elektronická

Seznam doporučené literatury:

VONDRÁKOVÁ, A., RŮŽIČKOVÁ, V. et al. Tyflomapy–tyflomodely–tyflpomůcky: rozvoj představivosti osob se zrakovým postižením prostřednictvím 3D modelů s auditivními prvky. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2023. ISBN 978-80-244-6382-7.

VONDRÁKOVÁ, A. et al. Tyflomapy–tyflografika–tyflokartografie: percepce prostoru prostřednictvím audio-taktilních 3D map. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2020. ISBN 978-80-244-5788-8.

Práce z tyflokartografického výzkumu na Katedře geoinformatiky UP (dostupné prostřednictvím portálu hmatovemapy.upol.cz), kvalifikační práce studentů na pracovišti, odborné tuzemské i zahraniční zdroje dostupné přes databáze WoS, Scopus, Sciencedirect, GoogleScholar a další.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Radek Barvíř, Ph.D.**
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: **5. května 2025**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. května 2026**

L.S.

Mgr. Jan Říha, Ph.D.
děkan



prof. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.
vedoucí katedry

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 CÍLE PRÁCE	12
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	13
2.1 3D tisk	13
2.1.1 Technologie pro barevný 3D tisk	14
2.1.2 Materiály pro 3D tisk.....	15
2.2 Tyflografika a tyflokartografie	16
2.2.1 Specifika vizualizace pro osoby se zrakovým postižením	17
2.2.2 Typy zrakového postižení.....	18
2.2.3 Použití barev v tyflokartografii	21
2.3 Podobně zaměřené práce	22
3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ	25
4 NÁVRH A TVORBA 3D MODELŮ	27
4.1 Volba objektů k vymodelování	27
4.2 Modelování digitálních modelů	28
4.2.1 Základy práce ve SketchUp Make 2017	28
4.2.2 Použitá rozšíření.....	28
4.2.3 Specifika tvorby modelů pro 3D tisk	29
4.3 Tvorba jednotlivých modelů.....	30
5 TISK FYZICKÝCH MODELŮ	32
5.1 Volba vhodných barev a filamentů.....	32
5.2 Předtisková příprava	34
5.2.1 Nastavení tisku	34
5.3 Průběh tisku.....	35
5.3.1 Problémy a nedokonalosti při tisku	35
5.4 Hotové modely	36
6 UŽIVATELSKÉ TESTOVÁNÍ.....	38
6.1 Návrh testování.....	38
6.2 Testové otázky	38
6.3 Průběh testování.....	39
7 ZJIŠTĚNÍ Z TESTOVÁNÍ	41
7.1 Individuální rozbor respondentů.....	41
7.2 Respondenti jako celek.....	42
7.3 Hodnocení jednotlivých modelů a palet	45
7.4 Doporučení používání barev	47

8	VÝSLEDKY	49
8.1	Vytvořené digitální a fyzické 3D modely	49
8.2	Uživatelské potřeby zjištěné z uživatelského testování	49
8.3	Uživatelské preference a hodnocení barevných palet	50
8.4	Vyhodnocení specifik jednotlivých modelů	50
8.5	Příručka pro tvorbu vícebarevných 3D modelů	51
	DISKUZE	52
9	ZÁVĚR	54

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
3D	trojdimenzionální
ABS	acrylonitrile butadiene styrene
AMS	Automatic Material System
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, black
CMYKW	Cyan, Magenta, Yellow, black, White
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
HIPS	high impact polystyrene
ICA	International Cartographic Association
KGI	Katedra geoinformatiky
LPBF	Laser Powder Bed Fusion
PC	polycarbonate
PET	polyethylene terephthalate
PETG	polyethylene terephthalate glycol
PLA	polylactic acid
PVA	polyvinyl alcohol
SLA	stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering
TPU	thermoplastic polyurethane
UV	ultraviolet
WHO	World Health Organization

ÚVOD

Předávání informací o okolním světě představuje jeden ze základních pilířů lidského vzdělávání a orientace v prostoru. Pro majoritní populaci je hlavním zdrojem těchto informací zrak, který zprostředkovává až 85 % vjemů z okolí. Pro osoby s těžkým zrakovým postižením je však tento vjem významně omezen či zcela nedostupný, což vyžaduje využití kompenzačních prostředků, mezi které neodmyslitelně patří tyflografika a tyflokartografie. Právě tyto disciplíny umožňují převádět vizuální informace do hmatové podoby, čímž významně přispívají k edukaci, orientaci a rozvoji představivosti osob se zrakovým znevýhodněním.

S rozvojem technologií aditivní výroby, konkrétně 3D tisku, se otevřely nové možnosti pro tvorbu hmatových pomůcek. Zatímco dřívější metody výroby byly často nákladné nebo časově náročné, moderní 3D tisk umožňuje efektivní produkci odolných a detailních modelů. Na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci je výzkumu v oblasti využití 3D tisku pro potřeby osob se zrakovým postižením věnována pozornost již řadu let. Předchozí práce se zaměřovaly zejména na tvorbu výukových tyflomap a ověřování jejich funkčnosti. Tato práce na dosavadní výzkum navazuje a posouvá jej k problematice vícebarevného 3D tisku s použitím barev přibližujících se realitě.

Hlavním motivem této práce je otázka, zda je pro cílovou skupinu vhodnější využívat barevná schémata, která sázejí na vysoký vizuální kontrast, nebo zda existuje prostor pro implementaci barev přibližujících se realitě. Ačkoliv kontrast je v tyflografii klíčovým faktorem, je pravděpodobné, že barvy věrně reprezentující reálné vlastnosti objektů mohou uživatelům poskytnout nejen praktické informace, ale i hlubší estetický a autentický zážitek z poznávání. Cílem práce je proto vyhodnotit vhodnost použití realistických barev při vícebarevném 3D tisku, analyzovat preference uživatelů a na základě těchto poznatků vytvořit praktický manuál, který bude sloužit jako doporučení pro budoucí tvorbu vícebarevných hmatových modelů.

1 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem bakalářské práce je **vyhodnotit vhodnost použití barev pro tisk multibarevných 3D modelů** a zjistit, zda jsou pro multibarevný 3D tisk hmatových modelů pro osoby s těžkým zrakovým postižením vhodnější kontrastní barvy, neodpovídající reálným vlastnostem objektu, nebo barvy přibližující se realitě i za cenu nižšího kontrastu.

V rámci teoretické části práce bude provedena rešerše možností 3D tisku, se zaměřením na **metodu FFF** (Fused Fillament Fabrication), rešerše specifík a aspektů tyflografie a tyflokartografie, a rešerše zrakových postižení, jejich limitací a příčin vzniku. Dále bude provedena rešerše podobně zaměřených prací, které se taktéž zabývaly problematikou 3D tisku se **zaměřením na osoby se zrakovým postižením**. Na základě zjištěných poznatků budou vytvořeny, či upraveny modely, na kterých bude provedeno uživatelské testování.

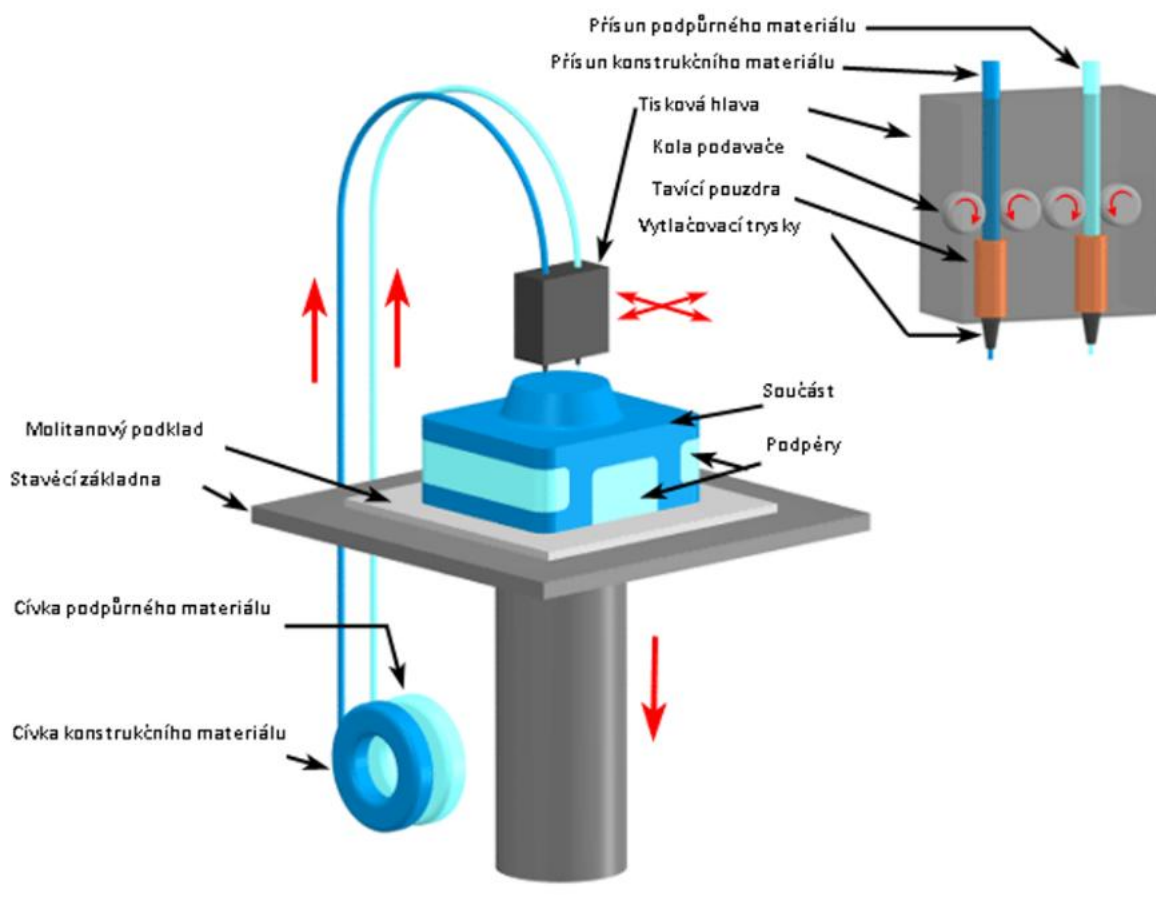
Výsledky uživatelského testování budou analyzovány a na jejich základě budou vypracována doporučení pro 3D tisk multibarevných modelů v barvách kontrastních a podobajících se realitě. Všechny klíčové **poznatky budou popsány v příručce**, které bude stručně prezentovat výsledky práce.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 3D tisk

3D (trojdimenzionální) tisk je aditivní metodou výroby trojrozměrných modelů, fungující na principu postupného nanášení vrstev. Dnes se při běžném tisku nejčastěji využívá technologie FFF nebo SLA (stereolitografie). První praktické pokusy s 3D tiskem probíhaly v 80. letech 20. století, kdy se prováděly první pokusy s polymerizací pryskyřice pomocí UV (ultraviolet) světla. Tyto experimenty daly vzniknout metodě SLA, která je jednou z nejpřesnějších metod 3D tisku (FS ČVUT, 2025; Čech, 2024; Redwood a kol., 2020)

V současnosti však v běžném prototypování ve firmách i v domácím prostředí převládá u 3D tisku metoda FFF, která funguje na principu postupného nanášení nataveného plastového materiálu, takzvaného filamentu, který je nanášen pomocí tiskové hlavy (extruderu) a trysky (Obrázek 1). Tato metoda se někdy nazývá FDM (Fused Deposition Modeling), avšak jak uvádí společnost Stratasys (2018), toto označení je jejich registrovanou ochrannou známkou, a proto se s ním nelze setkat u jiných výrobců, než je právě Stratasys. Existují různé typy tiskáren s více extrudery, jež umožňují při tisku používat více filamentů naráz, to je například vhodné i pro použití při vícebarevném tisku (FS ČVUT, 2025).



Obrázek 1: Princip technologie FDM (FS ČVUT, 2025).

Další z metod 3D tisku je SLS (Selective Laser Sintering), která pracuje na principu spojování prášku (ten může být i kovový) pomocí laseru nebo směsí lepidla. Na podobném

principu funguje také metoda LPBF (Laser Powder Bed Fusion) (FS ČVUT, 2025; Redwood a kol., 2020)

Existují také metody, které používají i subtraktivní proces výroby, dochází zde tedy k ořezávání vrstev při tisku. Subtraktivní metody lze kombinovat i s ostatními typy 3D tisku, jako například FFF, zde se však jedná spíše o konečné úpravy výrobku (Vondráková a kol., 2020).

Tiskárny lze dělit také podle toho, jakým způsobem se pohybuje (nebo nepohybuje) extruder a tisková plocha při tvorbě modelu. Co se týče domácího 3D tisku, tak nejrozšířenější jsou **kartézské tiskárny**, u kterých dochází při tisku k pohybu v pravoúhlých souřadnicích za pomoci motorů, toho je docíleno nejčastěji tak, že se tisková hlava pohybuje na osách X a Z, a tisková plocha na ose Y (dopředu a dozadu), u některých typů tiskáren se tisková hlava pohybuje na osách X a Y, tisková plocha pak na ose Z. Tohle řešení patří k nejběžnějším a také k nelevnějším (O'Connell, 2023; PRUSA RESEARCH, 2025b).

Dalším typem jsou tiskárny **CoreXY**, které fungují na podobném principu jako kartézské. Hlavní rozdíl však spočívá v tom, že u CoreXY tiskáren se extruder pohybuje na osách X a Y pomocí řemenů a osy jsou tak na sobě závislé. Podložka se pak pohybuje ve směru osy Z. Díky pohybu řemeny není třeba osazovat těžké motory přímo k extruderu, který se tak může rychleji pohybovat a zkracuje se tím doba tisku (Svět Hardware, 2019; PRUSA RESEARCH, 2025b).

Mezi další, již méně rozšířené typy patří tzv. **delta tiskárny**, u kterých se tisková plocha nepohybuje, ale celý pohyb extruderu je řízen pomocí ramen ve tvaru trojúhelníků. Dále stojí za zmínku **tiskárny Polar**, které pracují v polárním souřadnicovém systému a jejich pracovní plocha se nejen pohybuje do stran, ale také otáčí (PRUSA RESEARCH, 2025b).

2.1.1 Technologie pro barevný 3D tisk

Ve svých počátcích byl 3D tisk omezen hlavně na tisk pouze jednou barvou, jelikož vícebarevné možnosti byly limitovány různými faktory jako jsou vysoké finanční nebo technologické požadavky. S rozvojem trhu a technologií se však začaly dostávat do širšího povědomí 3D tiskárny, jež umožňují 3D tisk pomocí různých metod (Brus a kol., 2023).

Při barevném tisku lze docílit i fotorealistických barev, to je však možné pouze na specializovaných tiskárnách, které míchají barvy podobně jako běžné kancelářské tiskárny. Tyto tiskárny mohou používat různé technologie, jako například zapékání prášku (Binder Jet) nebo pryskyřice (Polyjet), princip samotného obarvení je však podobný, a to mícháním barev CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black), popřípadě CMYKW (Cyan, Magenta, Yellow, black, White) (Shirazi, 2025).

Tisk s jednou tiskovou hlavou a jednou tryskou

Tiskárny s jedním extruderem a jednou tryskou mohou v jeden čas tisknout pouze v jedné barvě. Ale i na těchto typech tiskáren lze tvořit vícebarevné modely, ale pouze manuální výměnou filamentu. Toho lze docílit nastavením pauz v souboru G-code, a tisknout po jednotlivých souborech a před spuštěním dalšího je potřeba manuálně vyměnit filament. Tohle řešení je však limitující, jelikož jak už předurčuje princip fungování 3D tiskárny, tak jiné barvy mohou být pouze v horizontálních vrstvách (FIT ČVUT, 2025).

Tisk s více tryskami

K provedení vícebarevného tisku lze využít tiskárny, které jsou vybaveny dvěma nebo více tryskami. U tohoto řešení již odpadá limitace, kdy lze střídát barvy pouze v horizontálních vrstvách. Mezi nevýhody tohoto řešení patří možné riziko odkapávání zbytků roztaveného

plastu z aktuálně nepoužívané trysky, a může tak dojít k pokapání modelu. (FIT ČVUT, 2025).

Tisk s více nástrojovými hlavami

Tiskárny osazené více nástrojovými hlavami, které všechny ústí do jedné trysky. Tiskne se tedy vždy jen jedním filamentem v jeden čas a při změně barvy se provede automatická výměna pomocí měniče nástrojů. Tato změna materiálu sebou obnáší problém zbytků předešlého materiálu v trysce. Tento problém lze řešit buďto pomocí takzvané čistící věže, která je tvořena vedle modelu z vytlačeného odpadového materiálu. Tohle řešení však produkuje mnoho přebytkového odpadu, leč se výrobci tiskáren snaží o co největší optimalizaci. V opačném případě se naskytuje možnost tisku bez čistění trysky při výměně filamentu, to však může způsobit menší vizuální vady na modelu (PRUSA RESEARCH, 2025a; FIT ČVUT, 2025).

Konkrétní řešení pro tisk s více filamenty naráz nabízí například tiskárna Prusa XL, kterou je možné nakonfigurovat až na pět tiskových hlav (PRUSA RESEARCH, 2025a). Další možností pro tisk s více filamenty naráz je tiskárna Bambu Lab X1C (Obrázek 2), která v základní výbavě nabízí možnost tisku modelu ze čtyř filamentů, které jsou sdruženy v jednom AMS (Automatic Material System), což je zásobník filamentů, který mimo jiné hlídá zde nejsou filamenty zamotané, chrání je před vlhkostí a podobně, ale díky příslušenství v podobě hubů, které umožňují propojení více AMS, je možné na této tiskárně použít při jednom tisku až 16 různých filamentů (Bambu Lab, 2025c; 2025b). Bambu Lab taktéž nabízí cenově dostupnou mini tiskárnu A1 mini Combo s rozměry tiskové plochy 180 mm ve všech dimenzích, která umožňuje tisk až čtyřmi filamenty naráz (Bambu Lab, 2025a). Dále tiskárna Snapmaker J1s nabízí možnost buďto tisku dvou modelů paralelně, nebo tisk jednoho modelu ze dvou filamentů (Snapmaker, 2025).



Obrázek 2: tiskárna Bambu LabX1C Combo (zdroj: www.3djake.cz/bambu-lab/x1c).

2.1.2 Materiály pro 3D tisk

Materiálu pro 3D tisk je celá řada a jejich volba závisí na technologii 3D tiskárny, požadavcích na pevnost modelu, jeho teplotní a chemickou odolnost, nebo také na barvě a výsledném designu, i proto jsou dostupné například filamenty jež obsahují třpytky nebo svítí ve tmě. U technologie FFF se pro tisk používají výhradně polymery, další technologie

mohou tisknout například i z kovu. V této podkapitole jsou představeny nejvýznamnější materiály pro použití primárně na FFF tiskárnách.

PLA (polylactic acid, česky kyselina polymléčná)

Je rozložitelný termoplast vyrobený z přírodních produktů jako například kukuřičný škrob. Tento materiál je nejrozšířenější materiál pro 3D tisk, tvoří až 50 % všech dostupných filamentů na trhu. Použití tohoto materiálu při tisku je velice jednoduché, jelikož vyžaduje nízké tiskové teploty a výtisky jsou v ucházející kvalitě. Za svou popularitu však také vděčí nízké ceně nebo relativní šetrnosti k životnímu prostředí, jelikož je biologicky rozložitelný. Nevýhodou PLA je však nižší pevnost, to jak proti mechanickému poškození, tak tepelná odolnost, jelikož již od 60 °C může dojít k deformacím (Schwaar, 2025; FS ČVUT, 2025; Wallach Kloski a Kloski, 2017).

ABS (acrylonitrile butadiene styrene, česky akrylonitrilbutadienstyren)

Amorfní polymer vyráběn procesem emulze ze tří složek. V domácím 3D tisku není zas tak hojně rozšířen, a to i kvůli zápachajícím a toxickým výparům, jež vznikají při natavování materiálu. Výsledné výrobky však nejsou toxické a mají vynikající mechanickou i teplotní odolnost, proto je ABS hojně využíváno průmyslově v metodě vstřikování plastů, kterou se masově vyrábí produkty pro běžné denní užívání, nebo například kostičky LEGO (Schwaar, 2025; FS ČVUT, 2025; Wallach Kloski a Kloski, 2017).

PETG (polyethylene terephthalate glycol, česky polyethylentereftalát glykol)

Jedná se o standartní materiál PET, ze kterého se vyrábí například plastové lahve, do kterého se pro účely 3D tisku přidává glykol, pro zvýšení odolnosti výrobků. Výhodou tohoto materiálu je také bezpečnost (vždy je nutné ověřit v pokynech od výrobce) pro použití s potravinami. Nevýhodou je, že finální výrobky mohou kosmeticky vypadat trochu hůře než například z PLA, proto je tento materiál pro svou odolnost vhodnější na výtisky, jež budou používány aktivně a není vyžadována přílišná estetika (Schwaar, 2025; FS ČVUT, 2025; Redwood a kol., 2020).

TPU (Thermoplastic polyurethane, česky termoplastický polyuretan)

Tento materiál je podobný kaučuku, se kterým sdílí také elasticitu, je tedy vhodný pro tisk specifických součástek vyžadující tuto vlastnost, kterými mohou být například součásti dronů určené k tlumení vibrací (Schwaar, 2025; FS ČVUT, 2025; Redwood a kol., 2020).

Nylon

Tento materiál je dobře známý pro své výborné mechanické vlastnosti, výsledné produkty jsou tedy velmi pevné a teplotně odolné. Při 3D tisku se používá u FFF i SLS tiskáren. Na trhu je k dispozici mnoho variant nylonu například s různými příměsemi, a proto se může jeho cena výrazně lišit dle použitého typu. Nevýhodou pro tisk je, že nylon snadno pohlcuje vlhkost a může zapáchat (Schwaar, 2025; FS ČVUT, 2025).

PC (polycarbonate, česky polykarbonát)

Jedná se o jeden z nejodolnějších materiálů, který lze použít pro 3D tisk, a pro své výborné vlastnosti se proto také hojně užívá v průmyslové výrobě, kde je vyžadována vysoká kvalita. Samotný 3D tisk již není tak jednoduchý, jelikož probíhá za velmi vysokých teplot, další nevýhodou je také nízká odolnost vůči UV, není tedy vhodný pro venkovní použití. (Schwaar, 2025; FS ČVUT, 2025)

2.2 Tyflografika a tyflokartografie

Podle Světové zdravotnické organizace WHO (2023) trpí některou z forem zrakového znevýhodnění nejméně 2,2 miliardy osob, které jsou pak výrazně limitovány při vnímání prostředí okolo. Jelikož podle Voženilka (2010) získává běžný člověk přibližně 85 %

informací z okolí prostřednictvím zraku, je důležité těmto osobám vyjít vstříc. Při tvorbě obsahu pro ně je proto vhodné využívat specifické vyjadřovací prostředky, jejichž použití v mapách se zabývá tyflokartografie, odvětví kartografie, které se zabývá tvorbou prostorových vizualizací, map, plánů a modelů srozumitelných hlavně pomocí hmatu (Vondráková, 2012; Vondráková a kol., 2023).

Tyflografika (také reliéfní nebo taktilní grafika) označuje tvorbu a studium reliéfních kreseb určených pro osoby se zrakovým postižením, které lze vnímat hmatem. Zahrnuje jak odbornou disciplínu zabývající se touto tvorbou, tak i vlastní uměleckou činnost nevidomých a slabozrakých osob (Vondráková a kol., 2020).

Tyflografika tedy není pouze o předávání informací, a jako komplexní celek má řadu specifických rolí. Podle Růžickové a Kroupové (2020) mezi její klíčové funkce patří:

- Informativní – přenos a upřesnění informací
- Kompenzační – překonává informační deficit, tím že vizuální vjemy převádí na hmatové
- Aktivizační – stimuluje rozvoj myšlení a představivosti
- Edukativní – je součástí vzdělávacího procesu
- Diagnostická – umožňuje sledovat například úroveň rozvoje hmatového vnímání
- Estetická – snaha o dosažení harmonie mezi funkčností a estetikou
- Volnočasová – může sloužit jako smysluplná náplň volného času

Hmat je jeden z nejdůležitějších kompenzačních činitelů pro osoby se zrakovým postižením, ten je však potřeba také trénovat. Proto mají nevidomé děti speciální hodiny ve školách, kde jsou rozvíjeny jejich orientační dovednosti. Osoby, které o zrak přišly až v průběhu života mohou tyto dovednosti také trénovat na kurzech, které jsou poskytovány specializovanými centry. V rámci těchto hodin se také pracuje právě s pomůckami, které jsou produkty tyflokartografie a tyflografiky. Právě tyto pomůcky pomáhají uživatelům s orientací v prostoru, avšak není možné dosáhnou toho, aby se osoby se zrakovým postižením dokázaly perfektně a samostatně orientovat v neznámém prostoru (Finková, 2010).

Aby bylo možné hmatem identifikovat jednotlivé prvky obsažené v tyflografice nebo v tyflobmapách, je potřeba dodržet minimální rozměry těchto prvků. Tyto parametry definoval Jesenský (1988):

- **Reliéfní bod** by měl mít výšku minimálně 0,75 mm, průměr v základně 1,2 mm, rozestup v základně 1,2 mm a rozestup ve vrcholu 2,4 mm.
- **Reliéfní čára** by měla mít parabolický transversální řez, s poměrem výšky ku šířce 3:2
- **Reliéfní kresba** se vyznačuje tím, že šířka základní čáry se určuje podle použité technologie. Minimální šířka reliéfní čáry nebo dvou hran by měla být přibližně 3 až 5 mm.

V Mezinárodní kartografické asociaci (ICA – International Cartographic Association) je aktuálně zřízena pracovní skupina s názvem *Working Group on Inclusive Cartography*, která se zabývá zpřístupněním kartografie pro osoby s různými typy znevýhodnění, mezi která patří právě i zrakové postižení. (ICA, 2025).

2.2.1 Specifika vizualizace pro osoby se zrakovým postižením

Při tvorbě vizualizací pro osoby se zrakovým postižením je třeba dbát na specifické potřeby koncových uživatelů a řídit se principy, které pamatují na jejich limity. Jak uvádí

například Červenka (1999), tyto zásady se týkají jak samotného grafického podání (zejména pro uživatele se zbytky zraku), tak fyzického provedení výsledného produktu:

- **Zásada kontrastu** – Je na místě volit barvy adekvátního kontrastu dle potřeb uživatelů. Osobám se zbytky zraku mohou totiž vhodně zvolené barvy výrazně pomoci v práci s informacemi a zvýšit efektivitu jejich získávání.
- **Zásada trvanlivosti** – Použité materiály by měly zachovávat trvalou povrchovou a tvarovou stálost.
- **Zásada kluznosti povrchu** – Povrch výsledného produktu by měl být dostatečně kluzký, aby se na něm při ohmatu nezadrhávaly prsty a příjemně se tak s ním pracovalo.
- **Zásada zdravotní nezávadnosti a bezpečnosti** – Tyflokartografické produkty by měly být zdravotně nezávadné a bezpečné.

Jako podrobnější ilustraci specifík lze uvést příklad z kartografie, kde platí obecné aspekty kartografických znaků, mezi které patří syntaktický, sémantický, sigmatický a pragmatický aspekt (Voženílek a Kaňok, 2011). Avšak při tvorbě tyflomap je nutné se na jevy dívat odlišně a znaky tvořit tak aby obecné aspekty byly srozumitelné z pohledu cílového uživatele.

Obecnými aspekty kartografických znaků v tyflokartografii se zabývala Vondráková (2012). Ta uvádí následující poznatky:

- Syntaktický aspekt – Podobnost znaků je dána dle účelu tyflomapy, například dle podobné nebezpečnosti nebo průchodnosti.
- Sémantický aspekt – Vztah znaku k danému jevu je nutné dodržovat, jelikož nesmí dojít k záměně jevů, a uživatel by si mohl splést potencionálně nebezpečné místo za bezpečné.
- Sigmatický aspekt – Snad svými parametry připomíná reálný jev, toho lze docílit pomocí horizontálních rozměrů, kdy například hladina vody ve spodní vrstvě.
- Pragmatický aspekt – Pomoci uživateli co nejjednodušeji si vybavit daný jev můžeme v tyflokartografii docílit například pomocí dostatečného zjednodušení.

Takový příklad syntaktického aspektu v tyflokartografii uvádí Vondráková et al. (2023), kdy obecné aspekty velí odlišit liniový znak silnice a řeky, avšak na tyflomapě by bylo dle obecných aspektů vhodné neodlišovat silnici a řeku, jelikož oba jevy mohou představovat pro uživatele nebezpečnou situaci. Dále Vondráková a kol. (2020) uvádí, že je potřeba dbát na dostatečné zjednodušení, proto je náplň tyflografiky velmi silně generalizována, aby v daném měřítku nedocházelo při čtení hmatem k upozadování důležitých informací ve prospěch těch méně podstatných.

Zatímco tyto principy definují obecné požadavky na kvalitu a bezpečnost, pro samotný design informací a převod grafiky do hmatové podoby existují podrobnější standardy a doporučení. Klíčovým zdrojem v tomto ohledu jsou pokyny Severoamerického úřadu pro Braillovo písmo (Braille Authority of North America). Tento obsáhlý dokument poskytuje soubor doporučení pro klíčové oblasti, jako je práce s Braillovým písmem, volba měřítko, generalizace a její možnosti, zaměření na koncového uživatele či finální korektura produktu (BANA, 2010).

2.2.2 Typy zrakového postižení

Zrakové postižení ovlivňuje postiženou osobu do takové míry, že ani korekce, které pomáhají osobám se zrakovou vadou, nejsou dostatečné, aby mohl vykonávat běžné úkony bez omezení. Zraková postižení lze rozdělit na několik typů, co se týče závažnosti poškození

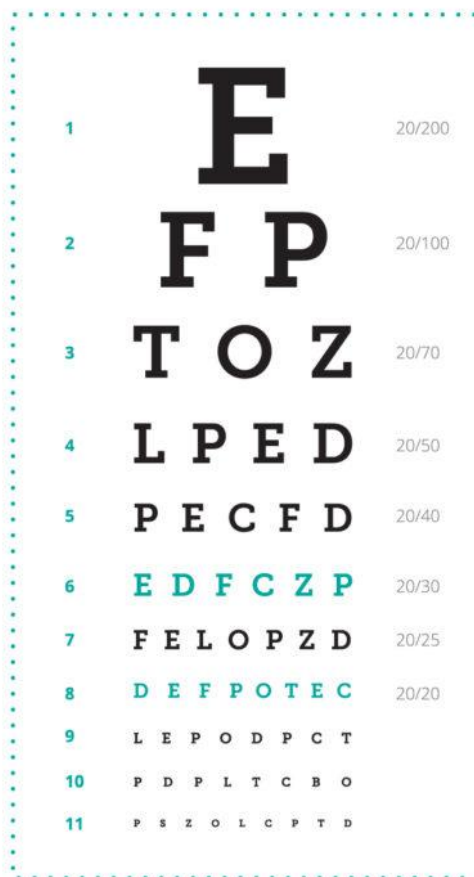
zraku. Dle MNK-11 pro rok 2025, kterou zveřejnila WHO lze závažnost poškození zraku dělit do 6, respektive 8, kategorií (WHO, 2025).

Tyto kategorie jsou utvořeny dle hodnoty zrakové ostrosti neboli vizus, která udává schopnost rozlišit předměty v prostoru. Vizus se udává jako zlomek, kde v čitateli je vzdálenost vyšetřované osoby od optotypu (tabule se symboly o jasně daných rozměrech používaná k vyšetření zrakových vad (Obrázek 3)) a ve jmenovateli číslo řádku, který dokázal vyšetřovaný přečíst bez chyb (Veselý a Synek, 2012; Lékařská fakulta MU, 2021).

Hodnota zrakové ostrosti je v následujících kategoriích poškození zraku uvedena pomocí hodnot dle Schnella v metrické soustavě; dle Schnella metricky na desetinné čísla; dle Schnella ve stopách; stupnice logMAR:

- **Bez poškození zraku** – zraková ostrost je rovna nebo lepší než 6/12; 5/10 (0,5); 20/40; 0,3
- **Kategorie 1 mírné poškození zraku** – zraková ostrost je horší než u osob bez poškození zraku a rovna nebo lepší než 6/18; 3/10 (0,3); 20/70; 0,5
- **Kategorie 2 střední poškození zraku** – zraková ostrost je horší než hodnoty kategorie 1 a rovna nebo lepší než 6/60; 1/10 (0,1); 20/200; 1,0
- **Kategorie 3 těžké poškození zraku** – zraková ostrost je horší než hodnoty kategorie 2 a rovna nebo lepší než 3/60; 1/20 (0,05); 20/400; 1,3
- **Kategorie 4 slepota** – zraková ostrost je horší než hodnoty kategorie 3 a rovna nebo lepší než 1/60 (nebo napočítá prsty na rukou z 1 metru); 1/50 (0,02); 20/1200; 1,8
- **Kategorie 5 slepota** – zraková ostrost je horší než hodnoty kategorie 4 a vrchní hranice je vnímání světla
- **Kategorie 6 slepota** – osoba dokáže vnímat světlo
- **Kategorie 9** – nezjištěno nebo neurčeno

(WHO, 2025)



Obrázek 3: optotyp (zdroj: www.gemini.cz/ocni_vady_a_pojmy/optotyp/)

Vybrané vady zraku

Zrakové vady mohou být vrozené nebo získané v průběhu života. U vad vrozených ke vzniku přispívají exogenní vlivy (mechanické, fyzikální, chemické, poruchy výživy a metabolismu matky) a endogenní neboli dědičné příčiny. Zrakové postižení vzniklé v průběhu života je často následkem jiného onemocnění jako například diabetes, nádory, nebo roztroušená skleróza (Novohradská, 2013). Dle WHO (2023) patří mezi nejčastější příčiny slepoty refrakční vady, šedý zákal, zelená zákal, diabetická retinopatie a věkem podmíněná makulární degenerace

Refrakční vady

Refrakční vady se mohou vyskytovat samostatně nebo být spojeny s jiným onemocněním oka. Mezi hlavní refrakční vady patří krátkozrakost, dalekozrakost a astigmatismus. Při **krátkozrakosti** (myopie) vzniká obraz před sítnicí, a oko tak vidí špatně na dálku. Tuto vadu lze korigovat rozptylovými skly. Naopak při **dalekozrakosti** (hypermetropie) vzniká obraz až za sítnicí, což způsobuje zhoršené vidění na blízko. Tuto vadu lze korigovat pomocí spojných skel. **Astigmatismus** je vadou v lomivosti oka, která je způsobena zakřivením rohovky (někdy i čočky). V důsledku toho se bod nezobrazí na sítnici jako bod, ale jako čára, což vede k rozmazanému vidění. Tato vada se koriguje pomocí cylindrických skel (Novohradská, 2013).

Šedý zákal (katarakta)

Je jakékoliv zakalení v čočce a jedná se o nejčastější příčinou slepoty na světě. Toto onemocnění postihuje především starší osoby, a projevuje se postupnou ztrátou ostrosti a rozmazaným viděním. Kataraktu lze řešit pomocí chirurgického zákroku (Kuchynka,

2007). Šedý zákal může být však i vrozený, například v důsledku onemocnění matky během těhotenství (Novohradská, 2013).

Zelený zákal (glaukom)

Není pouze jedno konkrétní onemocnění, ale celá skupina onemocnění, při nichž dochází k zvýšení nitroočního tlaku (Kuchynka, 2007). Rozlišujeme chronický glaukom, akutní glaukom a vrozené či sekundární glaukomy. U chronického glaukomu se k léčbě nejčastěji používají kapky pro snížení nitroočního tlaku, u akutního glaukomu se léčivo podává injekčně a v případě potřeby se přistupuje k chirurgickému zákroku. U vrozených a sekundárních glaukomů bývá běžným řešením právě chirurgický zákrok (NZIP, 2025).

Diabetická retinopatie

Je stav vzniklý v důsledku onemocnění cukrovkou, kdy dochází kvůli zvýšené koncentraci glukózy v krvi k poškození cév v sítnici. Tohle onemocnění lze léčit pomocí medikamentů, avšak je důležitý včasný záchyt, tudíž je doporučováno osobám s diabetem obzvlášť dbát na prevenci (NZIP, 2025). Diabetická retinopatie je příčinou asi 15 % případů slepoty v Evropě (Kuchynka, 2007).

Věkem podmíněná makulární degenerace

Je onemocnění sítnice související s věkem, avšak není pravidlem, že postihne každého staršího člověka. Přímé příčiny nejsou stále přesně známy, na vzniku se však mohou podílet rizikové jako genetická predispozice, kardiovaskulární onemocnění nebo poškození UV zářením. Makulární degenerace má suchou a vlhkou formu, kdy u vlhké formy je nástup onemocnění pozvolný. Naopak vlhká forma nastupuje rychle a při neléčení může dojít k úplnému oslepnutí (NZIP, 2025).

Retinopatie nedonošených

Je jednou z nejčastějších příčin slepoty u dětí ve vyspělých a středně vyspělých zemích. Retinopatii nedonošených jsou ohroženy, jak už název vypovídá, předčasně narozené děti. Počty postižených dětí se zvyšovaly spolu s rozvojem neonatologické péče, díky které mají tyto děti šanci na přežití. Avšak s pokrokem oftalmologie se ve vyspělých státech daří snižovat počet dětí s nízkou porodní váhou, které trpí retinopatií nedonošených (Kuchynka, 2007; Novohradská, 2013).

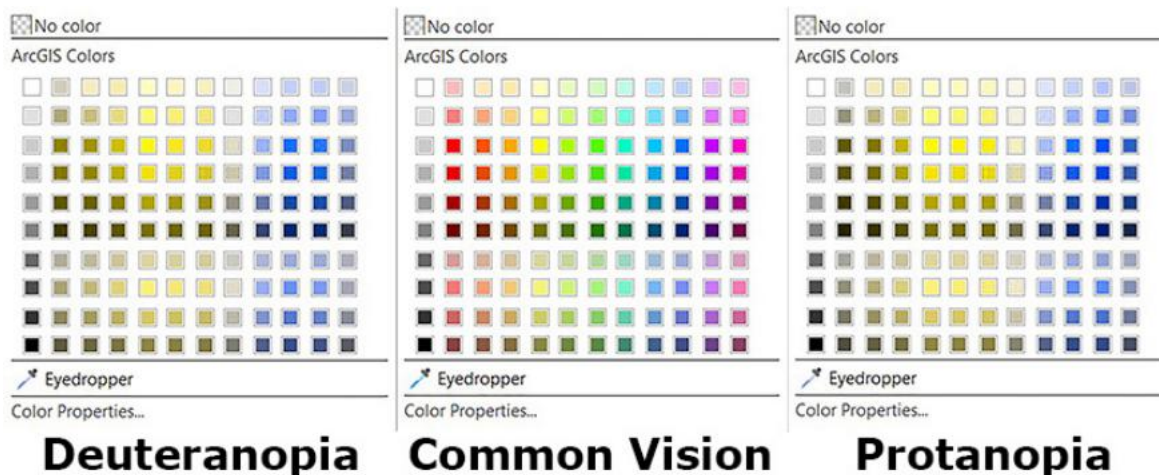
Poruchy barvocitu

Osoby trpící poruchou barvocitu mají sníženou vnímavost vůči určitým barvám, odborné termíny pro jednotlivé poruchy jsou protanopie (porucha vnímání červené barvy), deuteranopie (porucha vnímání zelené barvy) a tritanopie (porucha vnímání modré barvy). Mezi časté případy patří takzvaná červenozelená barvoslepost (ztráta schopnosti rozlišovat červenou a zelenou), která spadá do skupiny částečné barvosleposti. Pokud však postižený nedokáže vnímat a rozlišovat žádné barvy, mluvíme o úplné barvosleposti, která je způsobena úplným selháním čípků. Osoby trpící úplnou barvoslepostí jsou schopny rozlišovat pouze stupně jasu a odstíny šedi (NZIP, 2025).

2.2.3 Použití barev v tyflokartografii

Barva je pro člověka velmi důležitý pomocník při orientaci a zisku informací, proto také právě barvy hrají v kartografii nedílnou roli, jelikož jsou to jen těžko nahraditelný vyjadřovací prostředek k přenosu informací (Voženílek a Kaňok, 2011). V tyflokartografii se nelze spoléhat na tradiční volby barev, které jsou prováděny například pomocí barevného kola, jelikož takzvané komplementární barvy, které se lidem bez poruchy zraku zdají dostatečně kontrastní, mohou znamenat problém pro osoby s poruchou barvocitu, jelikož právě komplementární barvy jsou často ty, které dokážou odlišit jen těžko. Příkladem

těžko rozlišitelných barev z opačné strany barevného kola může být červená a zelená nebo zelenomodrá a růžová (Obrázek 4), s tím že každá postižená osoba má problém s jinými barvami dle toho, kterým typem barvosleposti trpí. Právě i z tohoto důvodu je třeba při tvorbě tyflografiky nepracovat pouze s odstínem barvy, ale také se sytostí a světlostí (RNIB, 2020; Oliver, 2025).



Obrázek 4: Vnímání barevné palety osobami s deuteranopii, bezzávadným zrakem a protanopii (Oliver, 2025)

Obecně platí, že u dvou barev s vyšší barevnou vzdáleností se předpokládá lepší rozlišitelnost osobami se zrakovým postižením i bez něj. V určitých případech je však pro osoby se zrakovým postižením lépe rozeznatelná kombinace barev, které nemají velkou barevnou vzdálenost a mají méně rozdílný tón, ale rozdílnou sytost (Čech, 2024).

2.3 Podobně zaměřené práce

Tyflokartografie, tyflografika a 3D tisk jsou na KGI (Katedra geoinformatiky) v Olomouci velmi rozšířená témata, co se týče výzkumu nebo studentských prací. Pro potřeby této práce byly vybrány čtyři studentské práce z nedávných let, jejichž zaměření se protíná se zaměřením této práce. V zahraničí se tématu 3D tisku, a obecně aditivní výrobě a tvorbě tyflomap, věnuje Jakub Wabiński se svými kolegy.

Cílem bakalářské práce Bečicové (2020) ***Tvorba tyflomap pro výuku zeměpisu*** bylo navrhnout tyflomapy pro výuku zeměpisu s technologií TouchIt3D. Autorka práce podrobila výsledné mapy uživatelskému testování a sepsala doporučení pro tvorbu hmatových map. Její doporučení uvádí, že je potřeba mapy navrhovat dle věku cílové věkové skupiny, jelikož mladší respondenti se ještě tolik neorientují ve všech tématech, ale také z pravidla nemají tolik zkušeností s používáním hmatu a čtením map. Dále je doporučováno nevolit příliš velké rozdíly mezi vrstvami, jako dostatečný je uváděn 0,5 milimetru a jako ideální jeden milimetr, s tím že větší rozdíly mohou u uživatelů vyvolat pocit přílišného oddělení a nemožnost vnímat mapu jako jeden celek.

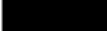
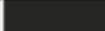
Na svou bakalářskou práci navázala Bečicová (2023) prací ***Výukové zeměpisné 3D modely pro žáky se zrakovým postižením***. Pro účely této práce byly vytvořeny výukové tyflomodely, které opět používaly i technologii TouchIt3D. Vymodelován byl například řez sopečným kuzelem nebo schéma druhů oblaků nebo řez sopečným kuzelem. Výsledné modely byly následně podrobeny uživatelskému testování, aby byl potvrzen jejich přínos pro výuku.

V práci byl zmíněn přínos a potenciál 3D tisku pro tyflografickou tvorbu, byly ale zmíněny taky limitace a nevýhody, jako například neovlivnitelné náhodné chyby ve výtiscích. Zmíněna byla také důležitost barev při tvorbě modelů pro osoby se zrakovým postižením a limitace technologií tiskárny, která je osazena pouze jednou tryskou, a tudíž neumožňují plnohodnotný barevný 3D tisk.

Čech (2024) ve své diplomové práci **Návrh barevných schémat pro tvorbu tyflomap** zkoumal vhodnost barevných schémat pro tvorbu tyflomap pomocí technologie 3D tisku. V rámci práce byla navržena barevná schémata z barev ležících ve vrcholech mnohoúhelníků umístěných do barevného kruhu, dále byla použita také schémata, jež jsou dostupná v nástroji *ColorBrewer 2.0*, kde byly vybrány jak kvalitativní, tak kvantitativní stupnice. Na základě nejnižší barevné vzdálenosti byly poté vybrány vhodné barvy filamentů, které co nejvěrohodněji reprezentují barvy zvolených stupnic. Následně byly vytisknuty destičky pro sestavení barevných schémat, která byla později podrobena uživatelskému testování.

Z dat uživatelského testování vyplynulo, že pro osoby bez zrakového postižení jsou barvy s velkou barevnou vzdáleností lépe odlišitelné. U osob se zrakovým postižením nebyla barevná vzdálenost tak důležitá, jelikož pro ně byly daleko lépe odlišitelné barvy stejného odstínu, ale s odlišnou sytostí. Dále byly vyhodnoceny také barevné stupnice jako celek, a stupnice s nejlepšími výsledky byly vybrány jako doporučené. Doporučených barevných stupnic vznikla v rámci práce řada. Za zmínku stojí následující pětibarevné stupnice, které budou použity v této práci (Obrázek 5). První obsahuje barvy: zelená, modrá, oranžová, fialová a růžová; druhá je složena z: černé, modré, žluté, červené a bílé barvy.

RGB	Označení	Dodavatel	Náhled
	Green	Print With Smile	
	Modrá	FilamentPM	
	Bright Orange	Print With Smile	
	Violet glass	Print With Smile	
	Růžová	FilamentPM	

RGB	Označení	Dodavatel	Náhled
	Černá	FilamentPM	
	Modrá	FilamentPM	
	Yellow	Print With Smile	
	Just Red	Print With Smile	
	Bílá	FilamentPM	

Obrázek 5: Barevná schémata pro tvorbu tyflomap navrhnutá Čechem (2024)

Jevaughn (2024) se v diplomové práci **Multicolor 3D-printed geovisualisation** zabýval možnostmi tvorby barevných vizualizací pomocí vícebarevného 3D tisku. V rámci práce byly vytvořeny například 3D vizualizace využití krajiny, schéma linek pražského metra a také řez zemským tělesem. Tyto vytvořené modely byly poté prezentovány uživatelům bez, ale i se zrakovým postižením, a byla zjišťována jejich atraktivita a čitelnost v porovnání s papírovou mapou, s tím že u obojího zvítězily 3D verze.

Náplní práce bylo také zjistit efektivitu a náročnost 3D tisku, byly tedy popsány zásady správného tisku a u každého modelu bylo zaznamenáno kolik z použitého filamentu skončilo jako odpad. Všechna zjištění z této práce byla následně sdružena do příručky, která v poutavém vizuálu předává rady ohledně vícebarevného 3D tisku.

Wabiński a kol. (2025) v článku **Comparative Evaluation of Production Techniques for Tactile Map Rendering** porovnali přednosti a slabé stránky 11 technik tvorby tyflomap, mezi nimi i tisk pomocí FDM. Metody byly porovnávány z hlediska uživatelského a z hlediska kvality a náročnosti výroby. Jako nejlepší vyšly z testů metody PolyJet s 4,22 body z 4,5 a UV tisk s 3,26 body z 4,5. Metoda FDM se umístila na nižších příčkách s 2,53 body z 4,5.

Co se týče samotné metody FDM, jako její výhody byly zmíněny velká odolnost proti povětrnostním vlivům a velká všestrannost, kdy je možné jednoduše vytisknout téměř

jakýkoliv model. U všestrannosti byla také vyzdvížena možnost vícebarevného tisku, avšak oproti jiným testovaným metodám je možnost kombinace barev značně omezena. Jako nevýhoda byl zmíněn hrubý povrch modelu, způsoben vrstvením filamentu, oproti tomu velmi příjemné na dotek byly pro uživatele modely z papíru. Další nevýhody byly nižší odolnost proti mechanickému poškození, kdy hlavně u malých částí hrozí riziko ulomení při používání, a jako další bylo také zmíněno riziko uvolňování jemných částic nebo výparů při práci s polymery při vysokých teplotách.

Dále se Wabiński a Śmiechowska-Petrovskij (2024) věnovali porovnání kontrastních barevných palet pro tvorbu tyflomap. Byly porovnány čtyři osmibarevné kvalitativní stupnice: stupnice z taktilního atlasu Polska, stupnice vytvořena pomocí Python optimalizátoru, stupnice navržená pro potřebu osob s poruchou barvocitu a stupnice vybrána dle subjektivního výběru autorů. U stupnic byla testována viditelnost, informační hodnota, atraktivita a funkčnost. Z porovnání u celkem 16 respondentů vyšlo najevo, že není žádná jednoznačná shoda na nejlepší barevné paletě, avšak nejhůře vyšla paleta používaná v oficiálních polských taktilních mapách, výsledky byly popsány v článku ***Evaluation of Qualitative Colour Palettes for Tactile Maps.***

Zwirowicz-Rutkowska a kol. (2023) se také věnují tvorbě a testování tyflomap historických zahrad rozdílných stylů v různých měřítkách. Cílem této práce není pouze předat uživateli informace pro orientaci v prostoru, ale taktéž mu přetlumočit uměleckou hodnotu zahrady. Umělecká hodnota je předávána pomocí specificky navrhnutých znaků, které reprezentují specifika jednotlivých stylů (baroko, renesance apod.), pro tento typ tvorby se osvědčila právě technologie 3D tisku.

3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ

Použité metody

Na počátku práce byla provedena důkladná rešerše odborné literatury na témata tyflografiky, 3D tisku a zrakových postižení. Mimo jiné byly také prostudovány kvalifikační práce Bečicové a Čecha, na které tato práce volně navazuje a pracuje s jejich zjištěními. Poté následovala první praktická část, která spočívala ve tvorbě a úpravě digitálních 3D modelů. Tyto modely byly následně připraveny pro 3D tisk pomocí slicovacího programu a následně byly vytištěny na 3D tiskárně umožňující tisk až pěti různými filamenti naráz.

Po zhotovení fyzických modelů bylo navrženo uživatelské testování, které mělo za úkol zjišťovat jak potřeby, tak preference uživatelů. Testování nejen hodnotilo schopnosti uživatelů s modely pracovat, ale také byly během něj agregovány poznámky a připomínky uživatelů, které hrály důležitou roli při tvorbě výstupů. Po uskutečnění testování byly poznatky analyzovány, a na jejich základě byla vypracována výsledná doporučení.

Použitá data

Pro tvorbu vlastních modelů budov byly použity panoramatické snímky ulic a letecké snímky z mapových portálů Mapy.com a Google Maps, dále byly také využity fotografie publikovány na těchto portálech. Primárně byly používány fotografická data z let 2020 až 2025, pro co největší aktuálnost. K vytvoření modelu půdních horizontů byla použita jako předloha ilustrace z webu Wikipedia.org (<https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%AFda>), která byla publikována Tomášem Kebertem pod licencí CC BY-SA 4.0.

Pro potřeby práce byly také použity a upraveny již existující modely, konkrétně model druhů oblaků od Bečicové (2023) a model Olomouckého hradu od Holuba (2020). Během práce byl také využit model kostelu na Zelené hoře od Popelky (2021).

Použité programy a nástroje

Pro potřeby práce byly používány programy s řádnou licencí a programy volně dostupné:

- SketchUp Make 2017 (17.2.2555) a rozšíření:
 - CleanUp³ (3.4.6)
 - STL Import & Export (2.2.0)
 - Solid Inspector² (2.5.1)
 - Fredo 6 Fredo Tools (4.5c)
 - Universal Importer (2.15.1)
- Balíček Microsoft Office 365
- RStudio (2026.01.1)
- PrusaSlicer (2.9.4)
- 3D Builder (20.0.4.0)
- Canva

Postup zpracování

Práce byla vypracována postupně v na sebe navazujících krocích, jež lze shrnout:

- **Rešerše problematiky:** Mimo vypracování samotné rešerše odborné literatury proběhlo také bližší seznámení se software, který lze použít pro potřeby této práce. Na základě zjištěných poznatků byly vybrány vhodné objekty k vymodelování a byly jim přiřazeny barevné palety jak kontrastní, tak ty přibližující se k realitě.
- **Tvorba a úprava modelů:** Tato déle trvající fáze zahrnovala jak tvorbu nových modelů dle předloh, tak úpravu již existujících modelů. Modelování probíhalo dle

zásad 3D tisku a tyflografiky. Po dokončení byly všechny modely připraveny pro 3D tisk pomocí sliceru.

- **3D tisk:** Byly zajištěny potřebné filamenty a došlo k praktickému seznámení se s funkcemi 3D tiskárny. Za pomoci využití tiskárny s pěti extrudery byly během několika týdnů vytištěny barevné modely z materiálu PLA.
- **Uživatelské testování:** Již během tisku došlo k přípravě uživatelského testování a po dokončení všech modelů bylo realizováno. Testování sloužilo k otestování vhodnosti barev přibližujících se realitě a k zjištění uživatelských potřeb a preferencí ohledně barevnosti modelů.
- **Analýza výsledků a formulace výstupů:** Data z uživatelského testování byla analyzována a byly sepsány doporučení k volbě barev pro vícebarevný 3D tisk pro zrakově postižené osoby. Výsledky jsou také ve zjednodušené formě prezentovány v manuálu pro vícebarevný 3D tisk.

Použití AI

Byla použita umělá inteligence Gemini 3.1 Pro. Její užití spočívalo v kontrole textů práce, pomoci s řešením problémů během modelování a psaní scriptu v jazyce R. AI byla také využita pro tvorbu validních webových stránek bakalářské práce.

4 NÁVRH A TVORBA 3D MODELŮ

Tvorba modelů byla zahájena již v úvodní fázi práce, jelikož bylo třeba mít modely připraveny pro tisk v dostatečném předstihu, aby byly vytištěny a připraveny před plánovaným uživatelským testováním. Před samotným zahájením modelování proběhla rešerše objektů (významné budovy, památky apod.), které by bylo vhodné modelovat pro účely této práce a zároveň bylo vybíráno i mezi modely, které již vznikly na KGI pro potřeby jiných prací a projektů.

4.1 Volba objektů k vymodelování

Vhodné objekty či jevy k vymodelování nebyly vybrány náhodně. Byly zvoleny tak, aby byly reprezentovány jak budovy větší, které bude třeba vyrobit v menším měřítku než budovy menší. Stejný přístup byl i s členitostí, jelikož některé z vybraných budov jsou pravidelného tvaru, a naopak jiné jsou složitější. Byly také vybrány jak budovy, které by mohli respondenti, jakožto žáci pražského gymnázia, znát osobně, tak takové, které by nemuseli moc znát, a museli by se tedy s objektem nejdříve více seznámit.

Výběr doplnila schémata sloužící jako pomůcky pro výuku zeměpisu. Cílem bylo představit žákům i jiné typy modelů, než jsou ty architektonické (budovy). Žáci se tak mohli buď hlouběji seznámit s jevy, které již znají z výuky, nebo se s nimi v rámci testování setkat úplně poprvé.

K tvorbě byly vybrány následující budovy (jevy):

hotel a televizní vysílač na Ještědu

Tato stavba je pravidelného půdorysu a její barvy jsou málo syté a nijak zvlášť výrazné. Co se týče měřítka, budovu bylo potřeba pro tisk zmenšit méně než následující dvě. Také se jedná o velmi známý vysílač, který je dnes ikonou moderní architektury. Bylo tedy pravděpodobné, že ho respondenti budou znát.

Olomoucký hrad – úprava staršího modelu

Areál hradu je velmi členitý, nacházejí se zde otevřené plochy, nejrůznější budovy a celému prostoru dominuje katedrála sv. Václava. Jedná se již o větší areál, který bylo nutné pro potřeby tisku více zmenšit. Barvy zde nejsou příliš křiklavé, avšak ani nejsou jednoduší. Bylo předpokládáno, že tento areál nebude příliš známý mezi pražskými studenty.

Fantova budova

Historická budova pražského hlavního nádraží je velký a poněkud pravidelný objekt s pestřejší barevnou paletou. Původně byla vybrána k modelování pouze budova samotná, avšak pro její protáhlý tvar byly domodelovány i oblouky kryjící nástupiště, aby se využilo prázdné místo na tiskové ploše. Důležitým faktorem pro výběr byl také fakt, že se jedná o významnou budovu v Praze, kterou by žáci mohli znát.

základní členění půdních horizontů

Bylo vybráno ke zpracování formou pomůcky k výuce. Členění je specifické jednoznačným vertikálním členěním s měnícím se odstínem hnědé (až černé). Reálné barvy by tedy mohly zrakově postiženým osobám působit problémy kvůli podobnosti. Měřítka zde nehrálo takovou roli, jelikož se jedná o schéma, jehož hlavním cílem je srozumitelné znázornění principů vrstvení, nikoliv přesná reprodukce rozměrů.

druhy oblaků – úprava staršího modelu

Jsou druhou výukovou pomůckou vybranou pro testování. Barevně se jedná již o více kontrastní objekt. Objekt je opět členěn vertikálně a jsou zde zobrazeny vzájemné rozdíly mezi jednotlivými typy oblaků.

Poutní kostel sv. Jana Nepomuckého na Zelené hoře – úprava staršího modelu

Původně se pracovalo i s tímto kostelem. Z důvodů uvedených dále v textu se však nedostal k finálnímu testování. Kostel byl vybrán pro svůj pravidelnější, a ne tak členitý tvar a také barvy, které jsou velmi pestré má například jasně zelené a červené střechy a bílou fasádu. Měřítkově by byl zmenšen v poměru podobném jako model Ještědu.

4.2 Modelování digitálních modelů

Před samotným zahájením modelování proběhla rešerše programů vhodných k tvorbě modelů pro tuto práci. Jako nejvhodnější byl vybrán program *SketchUp Make 2017* (ve verzi 17.2.2555), který lze používat ve verzi Make i bez zakoupení licence. Mezi jeho přednosti se řadí relativní jednoduchost z uživatelského hlediska, to však přináší i některá omezení funkcionalit, které lze dodat pomocí stažením nejrozličnějších rozšíření. Výhodou pro autora byla i předchozí znalost starší verze programu z výuky. Program je také užíván pro práci na KGI a modely poskytnuté k úpravě byly ve formátu SKP, což je nativní formát programů z rodiny SketchUp.

4.2.1 Základy práce ve SketchUp Make 2017

Ve SketchUp se nachází lišta s nástroji (Obrázek 6), která nabízí různé možnosti pro tvorbu. Nejjednodušejší lze tvořit modely pomocí „kreslení“, kdy se kreslí jednotlivé linie nebo celé plochy. Pomocí nástroje schovaného pod ikonkou tužky lze kreslit buďto právě jednotlivé linie, nebo v režimu „freehand“ více linií naráz. Plocha vznikne spojením a uzavřením minimálně 3 linií. Dále se zde nachází speciální nástroje pro tvorbu oblouků a výřezů z kružnic, nebo spíše z polygonů připomínajících kružnice, jelikož SketchUp neumí tvořit pravou kružnici.



Obrázek 6: Lišta s nástroji ve Sketchup Make 2017.

Co se tvorby celých ploch týče, je zde na výběr z obdélníků, polygonů s vybraným počtem stran a kružnic. Při tvorbě kružnice lze vybrat, kolik bude mít stran. Čím vyšší je zvolený počet, tím více se podobá pravé kružnici, vyšší počet stran však může zvýšit celkovou složitost objektu, což více zatěžuje počítač. Dále jsou dostupné nástroje, které slouží k úpravám již vytvořených ploch. mezi ně se řadí push/pull, offset, rotate, move a scale. Lze zde používat i další funkcionality, jako například vložení referenční fotky, volba textury, popisky, či nastavení různých úhlů kamery. Tyto nástroje však ve většině případů nejsou potřeba pro účely modelování pro 3D tisk. Modely si lze ukládat ve formátu SKP, v této verzi nelze ukládat do formátů jako například OBJ, to je potřeba řešit pomocí rozšíření.

4.2.2 Použitá rozšíření

Pro tvorbu složitějších tvarů, export do jiných formátů nebo ke kontrole modelu, zda splňuje zásady pro modely pro 3D tisk zmíněné níže, je tedy potřeba stáhnout rozšíření, které tyto pokročilé funkcionality umožňují. Rozšíření lze získat z oficiálních stránek *Extension Warehouse* nebo z jiných externích zdrojů. Při práci byla použita následující rozšíření:

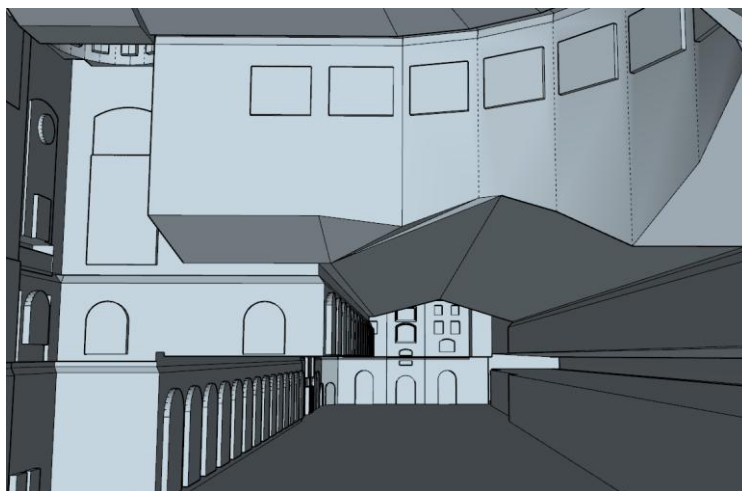
- *CleanUp³* – Byl využíván primárně k čištění modelů od přebytečné geometrie, jako jsou zapomenuté stěny nebo hrany bez stěny, které vznikly například nechtěným kliknutím nebo nedotažením.

- *STL Import & Export* – Toto rozšíření umožňuje importovat a exportovat modely ve formátu STL. Rozšíření bylo použito z důvodu absence možnosti exportu v tomto formátu ve SketchUp Make.
- *Solid Inspector*² – Umožňuje kontrolu celistvosti modelu, tedy zda v něm nejsou díry a vše je řádně uzavřené. Dále lze pomocí tohoto rozšíření zkontrolovat orientaci stěn nebo přebytnou geometrii. Chyby na modelu jsou označeny červeně a je možnost některé chyby opravovat automaticky.
- *Fredo 6 Fredo Tools* – Rozšíření přidává řadu možností pro úpravy a tvorbu geometrie. Není tedy třeba se spoléhat pouze na jednodušší možnosti ze „základní verze“ SketchUp.
- *Universal Importer* – Rozšiřuje možnosti importu modelů do SketchUp, také umožňuje importovat modely v již nepodporovaných verzích formátů SKP.

4.2.3 Specifika tvorby modelů pro 3D tisk

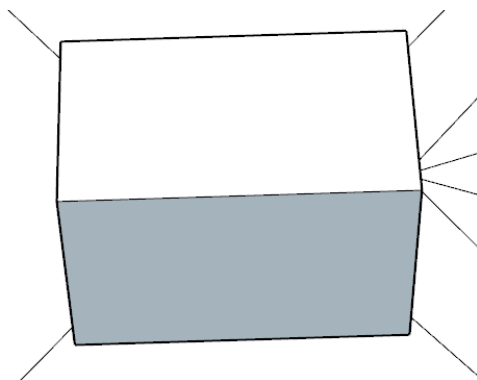
Při tvorbě modelů určených k 3D tisku je nutné dodržovat určité zásady. Tím se zajistí, že model půjde správně slicovat, nedojde k chybám při tisku a konstrukce se vlivem nedostatečného podepření nezhroutí. Problémům je třeba se vyhnout již při modelování, jelikož opravovat a předělávat již hotové modely může být velmi složité.

Jednou z nejdůležitějších zásad je tzv. vodotěsnost modelu. To znamená, že model tvoří jedinou uzavřenou skořápku bez jakýchkoliv mezer či děr. S touto problematikou úzce souvisí rovněž **eliminace přebytné geometrie**. Ta netvoří součást samotné uzavřené skořápky, nýbrž volně zasahuje do vnitřního prostoru modelu, případně z něj vyčnívá. Pro dodržení těchto pravidel je nejdůležitější pečlivost při modelování, řádně dotahovat hrany a uzavírat stěny. Tyto zásady byly kontrolovány pomocí rozšíření *CleanUp*³ a *Solid Inspector*².



Obrázek 7: Model bez vnitřních stěn a volných hran

Důležitá je také **správná orientace stěn** modelu. Přední lící strana by měla vždy směřovat ven z modelu a vnitřní rubová strana musí být uvnitř uzavřené skořápky modelu. V prostředí SketchUp je možné orientaci stěn zobrazit (Obrázek 8) tak, že vnější stěna se zobrazuje jako světlá a vnitřní jako tmavě modrá. Orientace stěn byla ohlídána i pomocí rozšíření *Solid Inspector*², které dokáže špatně orientované stěny otočit, avšak správnost automatických oprav nebyla vždy stoprocentní.



Obrázek 8: Licní strana stěny nahoře a rubová dole

Při modelování je také důležité přizpůsobit **tvar a velikost modelu** limitům tiskárny a účelu modelu. Je zásadní, aby měl model stabilní tvar a při tisku se nezhroutil. Správnému vytisknutí lze pomoci podpěrami, které podrží strukturu modelu při tisku, druhou možností je modelovat tak že budou eliminovány plochy, u kterých by hrozilo zhroucení. Tomu lze zabránit tak, že místo horizontální roviny, která nemá přímý kontakt s podložkou, se vymodeluje šikmá rovina, která vychází pod úhlem 45° a menší ze stěny, jež se dotýká podložky. Omezení se netýkají pouze tisku, modely je potřeba přizpůsobit i způsobu užívání. Pokud je tedy například nějaká část modelu již dostatečně široká pro bezproblémový tisk, tak stále nemusí být dostatečně pevná, aby vydržela používání modelem hmatem. Při tvorbě modelů pro zrakově postižené je vhodné již při modelování eliminovat ostré hrany a jiné útvary, které by mohly být pro uživatele nepříjemné či dokonce nebezpečné.

4.3 Tvorba jednotlivých modelů

Výsledkem práce v programu SketchUp byl vždy model ve formátu STL, který lze dále importovat do sliceru pro předtiskovou přípravu. Jejich tvorba probíhala podle principů popsanych v předchozí podkapitole (4.2) Tato kapitola pak více přibližuje úpravy jednotlivých objektů a popisuje jejich specifika.

Hotel a televizní vysílač na Ještědu byl modelován v reálných rozměrech jako zcela nový model. Jelikož bylo potřeba vytvořit pouze samostatnou budovu, která je zasazena do vrcholu kopce, byla budova usazena na pomocný čtverec a okolní terén byl zanedbán. Byly zgeneralizovány různé antény a zábradlí, špička vysílače byla vymodelována tlustší, aby byla odolnější při používání hmatem. Pro tvorbu zakřivených ramp vedoucích ke vstupům byly využity nástroje z rozšíření *Fredo 6 Fredo Tools*.

Olomoucký hrad bylo potřeba importovat do SketchUp pomocí rozšíření *Universal Importer*, jelikož byl ve starší verzi formátu SKP. Následně byl zkontrolován a byly nalezeny díry v geometrii poblíž malých věží katedrály. Tyto chyby byly úspěšně opraveny a model byl tak připraven pro bezproblémový vícebarevný 3D tisk.

Fantova budova byla modelována v reálných rozměrech a původně byla vymodelována pouze samotná budova, která je specifická svým podlouhlým tvarem, avšak pro maximální využití tiskové plochy byly domodelovány i oblouky haly kryjící nástupiště. Jelikož byla stále dostupná vhodná barva, kterou je lze vizualizovat při vícebarevném tisku.

Základní členění půdních horizontů bylo modelováno přímo ve velikosti tisku, během modelování bylo dbáno na dodržení minimální velikosti prvků definované Jesenským. Konkrétně se jednalo o velikost bodů a linií, které reprezentovaly fragmenty v jednotlivých vrstvách. Tato pravidla byla také aplikována na mezery mezi jednotlivými částmi podloží.

Druhy oblaků byly zkontrolovány a nebyly nalezeny žádné chyby, nemuselo tedy dojít k žádným dalším úpravám.

Poutní kostel sv. Jana Nepomuckého na Zelené hoře byl otevřen ve formátu SKP ve SketchUp, avšak rozšíření *Solid Inspector*² našlo stovky automaticky neopravitelných chyb geometrie. Byla identifikována problematická místa pod střechou specifického obloukového tvaru, který byl pravděpodobně modelován pomocí specifického nástroje v neznámém rozšíření. Došlo k pokusům model manuálně opravit jak ve SketchUp, tak použít nástroje pro opravu modelů v *3D Builder*. Avšak v žádném z nich se nepovedlo model zcela opravit, byl tedy slicován i s chybami.

5 TISK FYZICKÝCH MODELŮ

Výsledkem této fáze práce jsou hotové sady barevných modelů. Samotnému tisku předcházela ještě výběr barevných palet, finální úpravy modelů a předtisková příprava ve sliceru.

5.1 Volba vhodných barev a filamentů

Před zahájením předtiskové přípravy bylo nutné zvolit vhodné barvy. Rychlý výběr byl klíčový i z logistických důvodů, aby bylo možné veškerý materiál včas objednat a předejít tak zdržení praktické části práce.

Kontrastní barvy

Volba kontrastních barev byla relativně snadná, neboť vycházela z barevných palet vytvořených Čechem (2024). Všechny modely v rámci jedné sady sdílely stejných pět barev, pro tisk tak stačilo vybrat pouze dvě konkrétní palety (Obrázek 9). Zvolena byla jedna paleta s tlumenějšími odstíny (vlevo) a druhá s výraznějšími, křiklavějšími barvami (vpravo). Přestože zadání vyžadovalo práci s minimálně jednou kontrastní paletou, pro vyšší objektivitu testování a eliminaci chyb způsobených případnou nevhodnou volbou byly vybrány palety dvě.

RGB	Označení	RGB	Označení
Black	Černá	Green	Green
Blue	Modrá	Blue	Modrá
Yellow	Yellow	Bright Orange	Bright Orange
Red	Just Red	Violet glass	Violet glass
White	Bílá	Růžová	Růžová

Obrázek 9: Barevná schémata použita pro tisk kontrastních modelů

Barvy připomínající realitu

Výběr barev připomínajících reálné barvy objektů byl složitější, jelikož bylo potřeba provést optickou generalizaci založenou na expertním úsudku. Vzhledem k omezení na pět tiskových hlav nemohly být na výsledných modelech reprezentovány všechny barvy, které se vyskytují v realitě. Nejprve byly zcela vyřazeny barvy zastoupené pouze na drobných detailech. Následně došlo k vhodné agregaci zbylých odstínů (například sjednocení různých tónů zeleně) tak, aby výsledkem bylo přesně pět barev, ke kterým bylo možné najít filament s dostatečnou vizuální shodou. Při výběru byl brán ohled i na univerzálnost barev. Byly vybírány takové barvy, které lze použít na tisk více modelů, čímž byla snížena finanční náročnost a nedocházelo ke vzniku velkého množství nevyužitého přebytkového materiálu. Ve volbě hrála roli velkou i dostupnost filamentů, kdy byla provedena rešerše dostupných filamentů ještě před samotnou generalizací na pět barev. To určilo, jaké barvy jsou dostupné a všechny následné kroky vedly ke generalizaci na vhodných barev z filamentů. Nákup filamentů byl také optimalizován na jednoho prodejce a byl zohledněn i čekací čas na specifické barvy dostupné pouze na objednávku.

Použité filamenty

Byly použity primárně filamenty výrobce *Polymaker*, které byly objednány z e-shopu *3djake.cz*. Na jednotlivé modely v barvách připomínajících realitu byly použity následující filamenty běžného průměru 1,75 mm z materiálu PLA:

- **hotel a televizní vysílač na Ještědu**
 - Polymaker Panchroma Pristine White (bílá část těla budovy)
 - Polymaker Polyterra Galaxy Silver (stříbrná část těla budovy)
 - Polymaker Polyterra Vanilla White (špička budovy)

- Polymaker Polyterra Wood Brown (základna budovy a podstava)
- Polymaker Polyterra Sapphire Blue (okna budovy odrážející oblohu)
- **Olomoucký hrad**
 - Polymaker Panchroma Matte Ash Gray (střechy budov)
 - Polymaker Polyterra Green (travní pokryv okolí)
 - Polymaker Polyterra Teal (střechy věží katedrály)
 - Polymaker Polyterra Fossil Grey (Chodníky, Okna, hradby)
 - Polymaker Polyterra Peanut (stěny budov)
- **Fantova budova**
 - Polymaker Polyterra Fossil Grey (hala nástupišť, okna)
 - Polymaker Polyterra Peanut (části fasády)
 - Polymaker Polyterra Lava Red (střecha, barevné detaily)
 - Polymaker Polyterra Teal (průčelí, hlavní vstup)
 - Polymaker Polyterra Cotton White (stěny budovy)
- **Základní členění půdních horizontů**
 - Polymaker Polyterra Matte Ash Grey (horizont O)
 - The Filament Bison Brown (horizont A)
 - Polymaker Polyterra Earth Brown (horizont B)
 - Polymaker Polyterra Wood Brown (horizont C)
 - Polymaker Polyterra Fossil Grey (podloží)
- **Druhy oblaků**
 - Polymaker Polyterra Cotton White (světle bílé mraky)
 - Polymaker Polyterra Fossil Grey (tmavší šedé mraky)
 - Polymaker Polyterra Matte Ash Gray (nejtmavší šedé mraky)
 - Polymaker Polyterra Sapphire Blue (obloha)
 - Polymaker Polyterra Green (ZEMĚ)
- **Poutní kostel sv. Jana Nepomuckého na Zelené hoře**
 - Polymaker Polyterra Cotton White (stěny budov)
 - Polymaker Polyterra Teal (střecha kostela)
 - Polymaker Polyterra Lava Red (střecha budov)
 - Polymaker Polyterra Green (okolní travní porost)
 - Polymaker Polyterra Fossil Grey (chodníky, okna)

Pro tisk modelů v kontrastních barvách byly použity následující filamenty:

- **kontrastní 1**
 - Polymaker Polyterra Black
 - Polymaker Polyterra Yellow
 - Polymaker Polyterra Sapphire Blue
 - Polymaker Polyterra Red
 - Polymaker Panchroma Red
- **kontrastní 2**
 - Polymaker Polyterra Green
 - Polymaker Polyterra Sapphire Blue
 - Polymaker Polyterra Sunrise Orange
 - Polymaker Polyterra Army Purple
 - Polymaker Panchroma Magenta

Celkem bylo objednáno 20 kg filamentů, ze kterých se během realizace spotřebovala více než polovina.

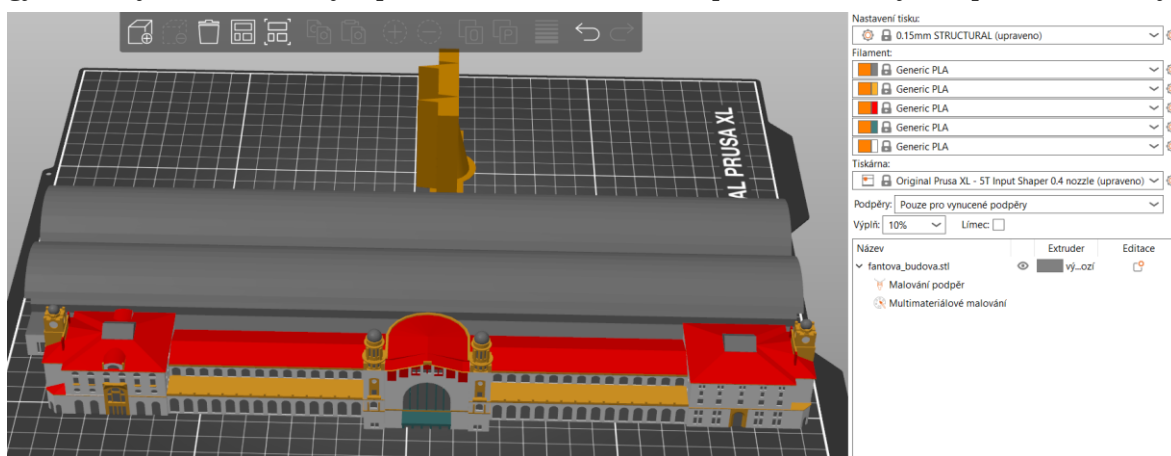
5.2 Předtisková příprava

Přípravy na tisk, které zahrnovaly závěrečné opravy, přiřazení tiskových hlav k jednotlivým částem modelů, slicování a export G-kódu, probíhaly v programu *PrusaSlicer*. Jde o open-source software vyvinutý společností *Prusa Research*. Ten je určen primárně pro tiskárny *Prusa*, avšak podporuje i širokou škálu tiskáren třetích stran, pro které jsou v programu připraveny profily.

5.2.1 Nastavení tisku

Jako první byl zvolen odpovídající profil tiskárny *Original Prusa XL - 5T Input Shaper 0.4 nozzle*, který odpovídal konfiguraci použité tiskárny. Použití správného profilu zajistí přednastavení správné velikosti tiskového prostoru, parametry tiskových hlav a další nezbytné charakteristiky.

K modelům byly následně manuálně přidány podpěry. K automatickému generování nebylo přistoupeno z důvodu snahy o eliminaci kritických míst již ve fázi samotného 3D modelování. Výška vrstvy tisku byla nastavena na 0,20 mm, s výjimkou Olomouckého hradu, kde byla kvůli problémům při tisku přenastavena na 0,15 mm. Tato velikost byla preventivně nastavena i u Fantovy budovy (Obrázek 10), jelikož se zde nacházelo taktéž velké množství malých detailů. Těmto zmíněným modelům byla také přidána čistící věž, která může eliminovat vznik defektu způsobených vynecháním materiálu při špatně natlakované trysce při výměně materiálu. Výplň byla u všech modelů nastavena na 15 % gyroid. Zbýlá nastavení byla ponechána na hodnotách předdefinovaných z profilu tiskárny.



Obrázek 10: Model v prostředí PrusaSlicer, vlevo lze vidět některá nastavení

Dále byl model ve sliceru virtuálně obarven, což v praxi znamená přiřazení jeho jednotlivých částí ke konkrétním tiskovým hlavám a jejich filamentům. To bylo vykonáno pomocí nástroje *Multimateriálové malování*, který umožňuje vybírat plochy nebo malovat pomocí standardní funkce štětce. Připravený model se správným nastavením bylo již možné slicovat. Při tomto procesu převedl slicer model na vrstvy, které se budou tisknout. Tyto vrstvy lze zobrazit přímo v rozhraní a je možné provést vizuální kontrolu. Závěrečným krokem byl export dat do formátu G-kódu a jejich přenos pomocí USB disku do tiskárny.

5.3 Průběh tisku

Tisk byl proveden na *tiskárně Original Prusa XL 5-toolhead*, která disponuje prostorem pro tisk 360×360×360 mm, možností tisku z pěti filamentů, 0,4 mm tryskou, 0,10 až 0,30 mm výškou vrstvy a je dostupná na katedře geoinformatiky. Pořadí tisku bylo zvoleno tak, aby bylo co nejefektivnější a bylo potřeba co nejméně měnit filamenty. Jako první tedy byly vytištěny modely v opakujících se kontrastních paletách.

5.3.1 Problémy a nedokonalosti při tisku

Při pokusu o tisk ne zcela geometricky čistého modelu kostela na Zelené hoře došlo k nedokonalému spojení vrstev, což způsobilo pád střechy budovy modelu (Obrázek 11). Je pravděpodobné, že k problému došlo kvůli vícebarevnému tisku, jelikož k chybě došlo v místě, kde se střetávají dvě barvy. Tento model byl převzat z předchozích prací, kde byl tištěn v jednobarevné variantě. Během tisku byly provedeny další pokusy o opravu modelu i pomocí algoritmů k opravám přímo ve sliceru. Avšak kvůli časové tísni a dostatku modelů bylo rozhodnuto o neprovedení dalších pokusů o tisk.



Obrázek 11: Špatně uchycené části střechy z důvodu chyby v geometrii

Dále došlo k nedokonalému vytisknutí modelu Olomouckého hradu. Nedokonalost byla v podobě vroubků ve střední části modelu (Obrázek 12). Tento problém mohl být způsoben více faktory, jedním z nich může být příliš velká výška vrstvy filamentu a vysoká členitost modelu v této úrovni. To mohlo způsobit nedokonalosti při výměně filamentů, kdy došlo k posunutí vrstev. Pro eliminaci tohoto problému byla snížena výška vrstvy z 0,20 na 0,15 a byla přidána čistící věž. Po úpravě nastavení již při opakovaném tisku k problémům nedocházelo.



Obrázek 12: Část modelu s nechtěnými vroubkami

5.4 Hotové modely

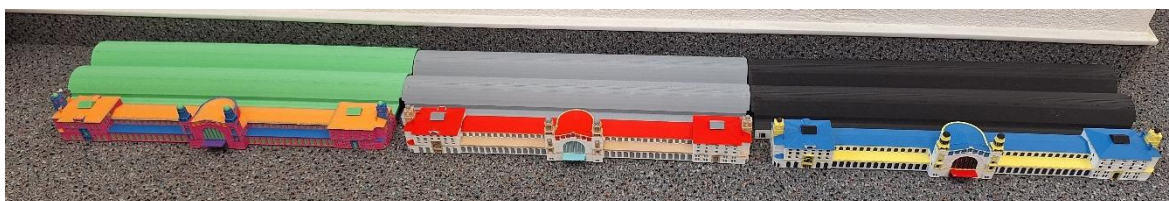
Celkem tedy vzniklo 15 fyzických modelů, tři barevné varianty od každého z pěti objektů. Následující fotografie (Obrázek 13, Obrázek 14, Obrázek 15, Obrázek 16 a Obrázek 17) zobrazují všechny modely a jejich barevné varianty v pořadí *kontrastní 2*, *barvy podobné realitě*, *kontrastní 2*.



Obrázek 13: Modely hotelu a televizního vysílače na Ještědu (měřítko modelu cca 1 : 330)



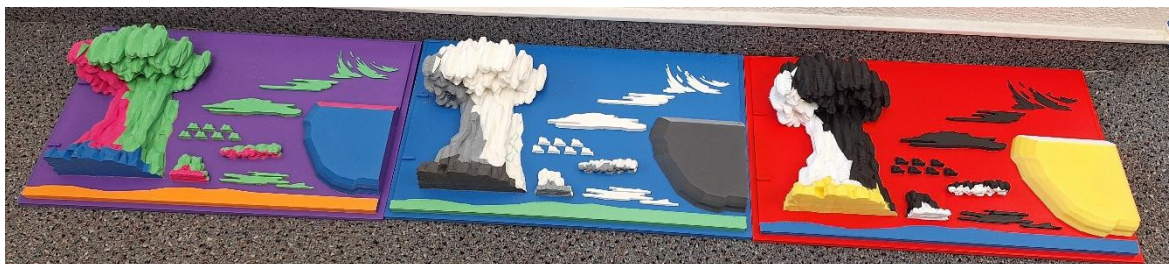
Obrázek 14: Modely Olomouckého hradu (měřítko modelu cca 1 : 800)



Obrázek 15: Modely Fantovy budovy (měřítko modelu 1 : 730)



Obrázek 16: Modely základního členění půdních horizontů



Obrázek 17: Modely druhů oblaků

6 UŽIVATELSKÉ TESTOVÁNÍ

Uživatelské testování bylo stěžejní částí práce. Skládalo se z bodované části, kde respondenti plnili úkoly a byli ohodnoceni na základě své úspěšnosti. Tato část měla přinést objektivní zjištění o potřebách uživatelů. Druhá část se zaměřila na preference, kdy respondenti uváděli, své preference, jaké varianty při používání upřednostňují. Zároveň byly během celého testování zaznamenávány poznámky z pozorování respondentů z jejich komentářů během práce s modely. Po skončení testování také dostali prostor k doplnění dalších postřehů. Během práce s modely byla tedy provedena i metoda think-aloud.

6.1 Návrh testování

První návrhy vznikly již v průběhu tvorby modelů, avšak finální verze byla vytvořena až po vytištění všech modelů, aby bylo testování sestaveno na míru specifikům jednotlivých modelů. Pro každý model bylo navrženo pět testovacích otázek, přičemž za správnou správou odpověď mohl respondent získat 2 body a za špatnou žádný. Pokud byla odpověď částečně správná, mohl být udělen jeden bod. Jednalo se hlavně o otázky, které záležely více na subjektivním vnímání respondenta (Kde si myslíš, že...). Primárním úkolem těchto otázek bylo donutit respondenty k práci s modely, pozorovat je při tom a získat jejich zpětnou vazbu.

Otázky byly koncipovány tak, aby se ze začátku respondenti zaměřili více na prohlížení modelu a zorientovali se v něm, a až další otázky požadovaly hledání větších detailů. Některé otázky šlo lehce zodpovědět jen s použitím hmatu, naopak u některých hrály barvy větší roli a bez jejich rozlišení bylo obtížné je zodpovědět.

6.2 Testové otázky

Otázky hodnocené bodově:

- **Hotel a televizní vysílač na Ještědu**
 - Ukaž, ve které úrovni začíná podstava „kužele“ Ještědu?
 - Kolik pater se nachází pod podstavou kužele?
 - Dokážeš popsat/ukázat, kde všude se vyskytují okna?
 - Kolik si myslíš, že je vchodů do budovy?
 - Je nějaká nepravidelnost ve tvaru budovy?
- **Olomoucký hrad**
 - Kolik je celkem na modelu věží? Ukaž je.
 - Co je dominantou této scény?
 - Kolik věží má samotná katedrála?
 - Má něco stejnou barvu jako střecha věže?
 - Ukaž přístupové cesty na náměstí.
- **Fantova budova**
 - Kolik má budova celkem věží?
 - Kde je hala pro nástupiště?
 - Z kolika oblouků se hala skládá?
 - Kde si myslíš, že se nachází hlavní vchod do budovy?
 - Jaké vidíš rozdíly mezi křídly budovy?
- **Základní členění půdních horizontů**
 - Najdeš pevné podloží?
 - Kolik vrstev na modelu identifikuješ?
 - Ve které vrstvě jsou největší kameny/úlomky?

- Která vrstva je nejmocnější?
- Která vrstva je nejužší?
- **Druhy oblaků**
 - Kolik typů mraků zde vidíš/dokážeš identifikovat?
 - Které mraky jsou nejvýše (nad zemí)?
 - Který z mraků je nejvyšší?
 - Který z mraků by mohl být bouřkový?
 - Kolik mraků je ve skupince malých mraků?

Po dokončení práce s modely byly respondentům položeny další otázky, které se týkaly převážně jejich preferencí. Respondenti hodnotili každý model na škále 1 (souhlas, ano) až 5 (nesouhlas, ne), podobně jako ve škole, u následujících výroků a otázek:

- Jdou na modelu dobře identifikovat detaily?
- Má model vhodný tvar pro práci?
- Je velikost modelu optimální?
- Právě barvy mi pomohly představit si, jak místo vypadá.
- Měl jsem problém s orientací na modelu v reálných barvách.
- Kontrastní barvy pro mě byly užitečné díky vyššímu kontrastu.
- Reálné barvy byly nápomocné díky podobnosti s realitou.

Dále byli dotázáni, které barevné varianty (kontrastní / spíše kontrastní / bez preference / spíše reálné / reálné) preferují (nebo by preferovali) v následujících situacích:

- Pro navigaci v prostoru
- Pro lepší viditelnost detailů
- Pro rychlejší orientaci
- Z estetického hlediska se mi líbí více

6.3 Průběh testování

Testování bylo realizováno na Gymnáziu pro zrakově postižené Praha, kde nám bylo pro naše potřeby k dispozici deset studentů. Z časových důvodů bylo nakonec otestováno pouze sedm z nich. Žáci byli testováni po jednom a každému bylo věnováno přibližně 30 minut času. Studenti se usadili ke stolu, který byl umístěn proti oknu s přirozeným světlem a zároveň byl osvětlen lampou s umělým světlem. Autor práce se jim následně představil a seznámil je s cíli výzkumu, u každého byl zjišťován jeho věk a forma zrakového postižení.

Po úvodním seznámení jim byly postupně odhalovány modely. Každému respondentovi byly modely a jejich barevné varianty předkládány v jiném pořadí. Při představení každého modelu byl respondent dotázán, zda dané místo nebo jev zná osobně či z fotografií (Obrázek 18). U prvních čtyř modelů pracovali vždy pouze s jednou barevnou variantou, u posledního pátého mohli již od začátku pracovat se všemi barevnými variantami. Po ukončení jim byly odhaleny i zbylé barevné varianty prvních čtyř modelů, aby je mohli porovnat a okomentovat (Obrázek 19). Studenti mohli s modely pracovat dle své libosti a možnosti, mohli je tedy libovolně ohmatávat, přibližovat si je k očím a podobně.



Obrázek 18: Uvedení modelu před prací



Obrázek 19: Respondent porovnávající barevné varianty modelu

Studenti byli v průběhu testování velmi aktivní, komentovali a připomínkovali modely a to, co zrovna vidí. Při práci jim byly pokládány i další doplňkové otázky k jejich komentářům. Testování bylo tedy oboustranně velmi dynamické a bylo během něj získáno mnoho poznatků a názorů respondentů. Tyto postřehy byly zaznamenávány do papírového bloku, aby nebyla narušena dynamika testování neustálým sledováním monitoru notebooku.

7 ZJIŠTĚNÍ Z TESTOVÁNÍ

7.1 Individuální rozbor respondentů

Respondent 1

19 let, od narození prakticky nevidomý

Tento respondent znal reálie a přibližný vzhled většiny modelů, a možnost je testovat si velice pochvaloval a ocenil by jejich zapojení do výuky. Obzvláště pochválil model oblaků v reálných barvách, jelikož podobný model nikdy neviděl. U modelu oblaků uváděl, že díky zvolené tmavě modré na variantě s reálnými barvami jsou mraky na podkladu dobře rozeznatelné, a to dokonce lépe než na modelech kontrastních.

U modelu Ještědu uvedl, že dokázal bez problému rozlišit šedé a bílé části a že si díky reálnému modelu dokázal představit skutečnou budovu. Pro orientaci na modelu však užíval primárně hmat a barvy mu tedy sloužily spíše až při bližším zkoumání a případně představení si reality. S modelem Olomouckého hradu se již setkal v minulých letech, kdy měl možnost testovat jeho jednobarevnou variantu. Nyní se vyjádřil, že v barevném provedení je to úplně jiné, přičemž sympatie vyjádřil hlavně variantě v barvách podobajícím se realitě.

Respondent 2

17 let, od narození slabozraký

Respondent při plnění úkolů uvedl, že se orientuje spíše hmatem a pomocí velikosti a tvaru objektů na modelu. Dále uvedl, že pro orientaci pomocí zraku (při prohlížení zblízka) preferuje spíše kontrastní modely, avšak pokud dané místo zná a ví, co hledat, nemá problém ani s variantami v barvách připomínajících realitu. U modelu členění půdních horizontů v barvách připomínající realitu pochválil viditelnost změny odstínu hnědé, kterou dokázal rozeznat a představit si tak reálný jev. Avšak také uvedl, že na této variantě modelu se mu hůře orientuje kvůli nižšímu kontrastu.

Respondent 3

17 let, od 6 let makulární degenerace

Respondent u většiny modelů preferoval barvy reálné, u modelu Olomouckého hradu si pochvaloval i jednoduchou vizuální orientaci na modelu v paletě *kontrastní 2* (tuto paletu většina respondentů nepreferovala jak pro orientaci, tak z estetického hlediska). U modelu Fantovy budovy, neměl na rozdíl od ostatních respondentů problém rozeznávat i nejmenší detaily. Pro ostatní byly často detaily moc malé (nedokázali rozeznat například okna).

U modelu Ještědu uvedl, že pro vizuální orientaci je lepší model v *kontrastní 1* paletě (např. kvůli viditelnosti detailů, jako jsou okna). V kombinaci s hmatem však preferuje barvy reálné, jelikož mu k orientaci stačí hmat a díky reálným barvám si může představit reálný vzhled místa. Respondent obecně k orientaci nepotřeboval kontrastní barvy. U kontrastních modelů docházelo k chybné asociaci barev, i když věděl, že se jedná jen o zástupné barvy. Například u modelu půdy uvedl že, by si na první pohled myslel, že modrá vrstva znamená nějakou podzemní vodu a s humorem dodal, že ještě červená asi nějakou lávu.

Celkově respondent u všech modelů silně preferoval barvy reálné, jelikož je dokázal bez větších problémů rozeznat a nebyly pro něj tolik křiklavé a kýčovitě jako barvy kontrastní.

Respondent 4

19 let, od narození silná, postupně zhoršující se slabozrakost

Respondent pro svou silnou slabozrakost drtivě preferoval kontrastní barvy (hlavně paletu *kontrastní 1*), sice se primárně orientoval hmatem, ale i kontrastní barvy mu lehce pomáhaly při bližším zkoumání modelů. Jediný model, kde částečně preferoval i barvy reálné bylo schéma mraků, kde bez problému dokázal rozeznat rozdíl mezi bílými a tmavě šedými/černými mraky, a i si to dokázal lehce spojit s realitou.

Respondent uvedl, že pro něj reálné barvy nemají žádný význam, jelikož nedokáže dostatečně rozeznat rozdíly a ani mu to nic neasociuje.

Respondent 5

18 let, původně nevidomý, postupné zlepšení pouze na slabozrakost

Respondent silně preferoval reálné barvy, jelikož je dokázal bez problémů rozeznat. U modelu Ještědu uvedl, že detaily (okna) jsou lépe vidět na modelu Ještědu jsou detaily dobře vidět na barevné paletě *kontrastní 1*. Jinak všude preferoval barvy reálné, které mu pomáhaly si představit dané místo.

Respondent 6

18 let, od 1 roku glaukom

Pro orientaci používal respondent primárně hmat. U modelu půdních horizontů uvedl, že mu zde u kontrastních modelů pomáhá i zrak (jedná se o plochý model bez nějakých významnějších hmatatelných orientačních bodů). Při bližším průzkumu modelu reálného nádraží uvedl, že budovu zná, a vybavuje si ji z fotografií, že by to tak nějak mohlo vypadat. U modelu Olomouckého hradu v pravých barvách uvedl že mu barvy splývají. Celkově nevyjádřil žádnou preferenci ke kontrastní nebo reálné variantě, vždy záleželo na konkrétním modelu.

Respondent 7

16 let, od 3 měsíců krátkozrakost a světloplachost

Respondent uvedl, že modely v reálných barvách jsou esteticky povedené a dokážou mu pomoci s představivostí reálného místa, avšak je pro něj těžké s nimi pracovat a orientovat se na nich. U reálných modelů byl odkázán hlavně na orientaci hmatem, i tak se však snažil používat i zrak k poznávání barev. Uvedl, že si dokáže dobře představit Fantovu budovu, kterou blíže zná, navzdory tomu, že jsou pro něj barvy těžko rozeznatelné.

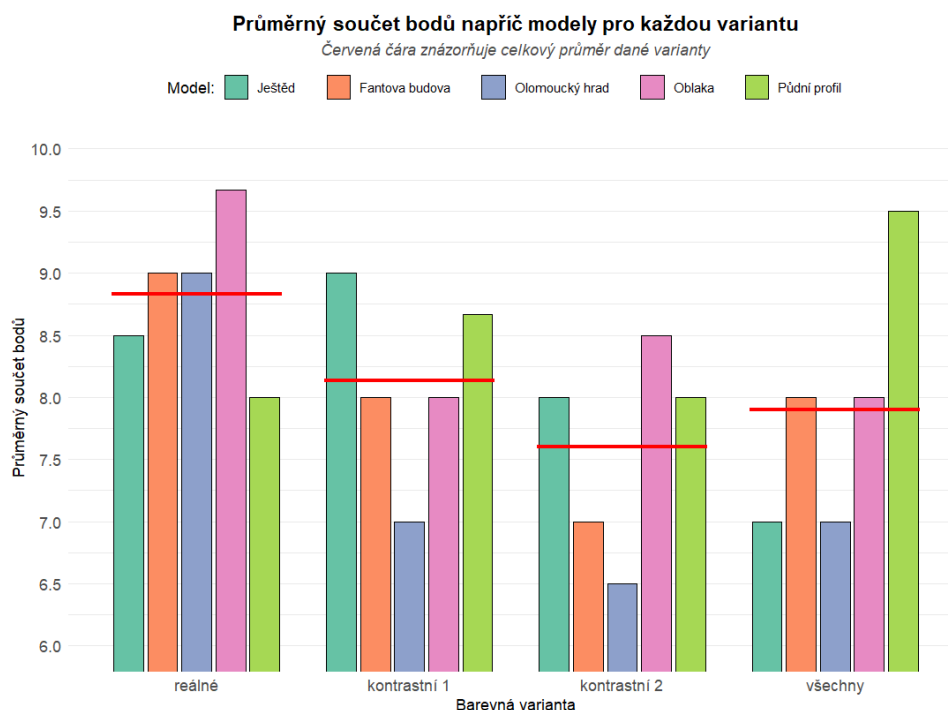
7.2 Respondenti jako celek

Byla provedena analýza dat z odpovědí respondentů a, kde to bylo vhodné, byly vytvořeny grafické výstupy v programu *RStudio*. Jelikož byla skupinka respondentů relativně malá, byl při interpretaci těchto výsledků brán velký ohled také na jejich komentáře a chování při testování. Díky tomu lze lépe interpretovat data, která pocházejí pouze od menší skupiny.

Bodový zisk z úloh

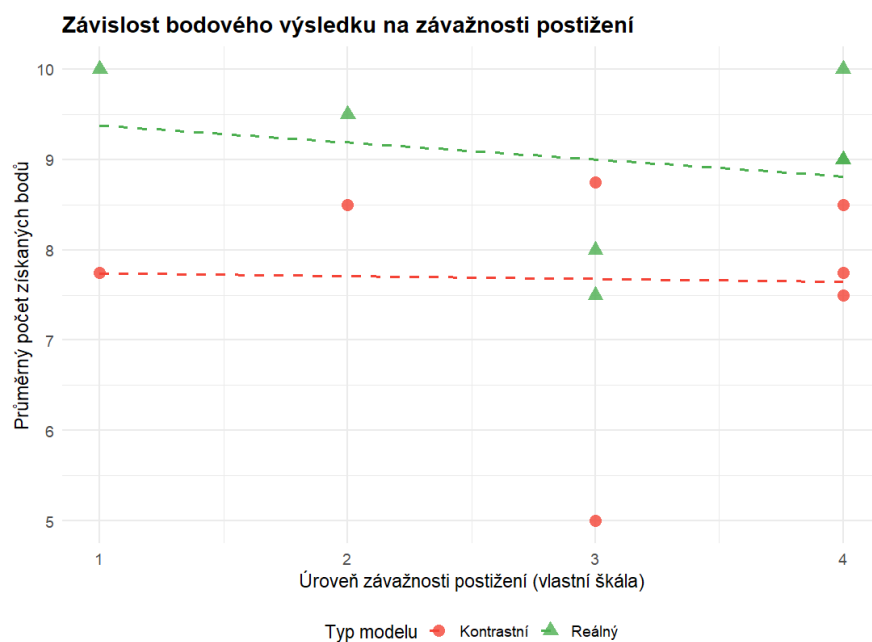
Na vizualizaci (Obrázek 20) lze vidět, že nejúspěšněji si respondenti vedli při práci s modely připomínajícími realitu, dobrou úspěšnost mají i modely v paletě *kontrastní 1*. U modelů v paletě *kontrastní 2* je úspěšnost nejnižší. V situaci, kdy mohli respondenti používat všechny tři barevné varianty, je úspěšnost také nižší. To mohlo být způsobeno i tím, že při plnění úkolů se respondenti fixovali hlavně na jeden model, se kterým pracovali, i když byli vyzýváni ke střídání modelů. Zároveň pro ně může být složitější se při střídání modelů znovu zorientovat, jelikož musí to, co hledají, znovu nahmatat.

Dále si lze povšimnout vyšších bodových zisků u výukových pomůcek ve všech variantách. To může být způsobeno samotným principem schémat, která jsou vytvořena tak, aby informaci předala co nejjednodušeji, na rozdíl od modelů budov, které se snaží zachovat všechny prvky.



Obrázek 20: Průměrný bodový zisk u každé varianty modelu

Ačkoli bylo střídáno pořadí respondentů, výsledky u jednotlivých modelů mohou být stále ovlivněny jejich nízkým počtem. Proto je potřeba tyto výsledky podpořit. Graf (Obrázek 21) ukazuje, že respondenti s těžším postižením nedosahovali horších výsledků než ti s lehčí formou. Pro účely vizualizace a statistického vyhodnocení závažnosti postižení na ose X byla autorem vytvořena zjednodušená čtyřstupňová škála, která je volně inspirována klasifikací zrakových vad podle MKN-11. Jelikož respondenti nedisponovali přesnou klinickou diagnózou podle této normy, byla jejich úroveň postižení na této škále odhadnuta na základě symptomů a limitací, které sami uvedli během úvodního rozhovoru. Pokud má tedy nějaká z variant modelů nižší hodnocení, není pravděpodobné, že je to způsobeno tím, že s ní pracovali pouze respondenti s horším zrakem.



Obrázek 21: Závislost bodového zisku na závažnosti postižení

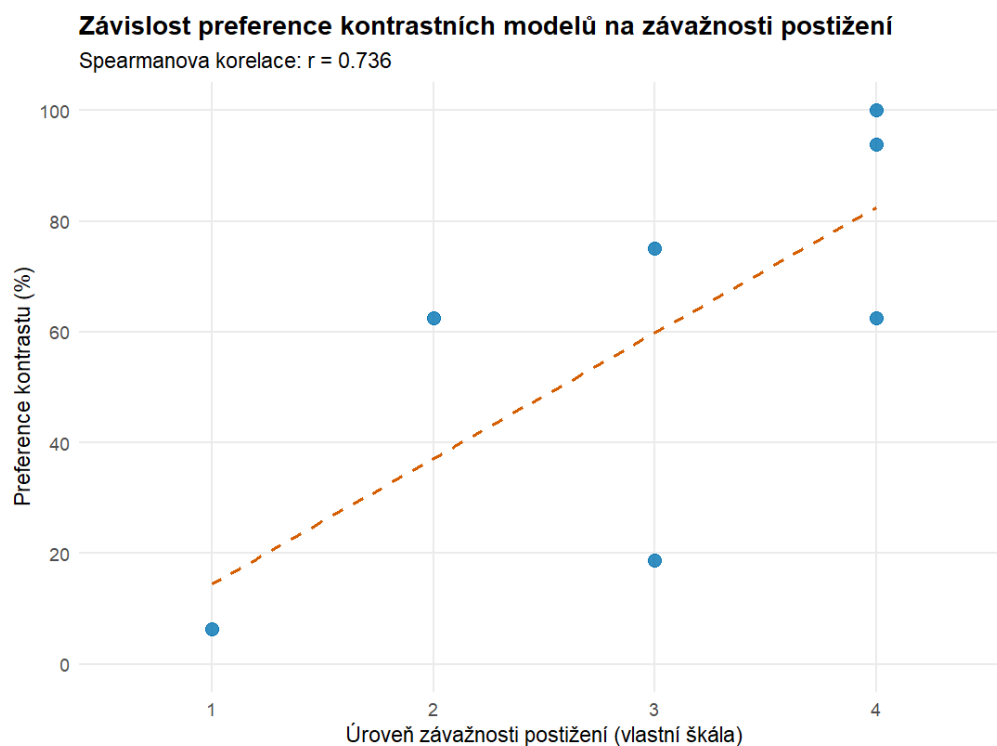
Preference uživatelů

Co se týče uživatelských preferencí (Obrázek 22) v různých situacích, pro navigaci a viditelnost detailů respondenti jednoznačně preferovali barvy kontrastní. Co se týče použití modelu pro rychlou orientaci, zde jsou odpovědi již odlišné. U estetické líbivosti respondenti jednoznačně preferují modely v barvách připomínajících realitu.



Obrázek 22: Preferované varianty modelů dle účelu

Již vytvořená klasifikace závažnosti postižení byla využita i k další vizualizaci (Obrázek 23), která ukazuje korelaci mezi závažností postižení a mírou preference kontrastních modelů. Je zde vidět, že uživatelé s horším postižením preferovali modely v kontrastních barvách více. Preference kontrastu byla vypočítána ze stejných dat, jaká jsou zobrazena na (Obrázek 22). Pokud respondent uvedl, že preferuje „reálné“, získal 0 bodů, v každém stupni se přičítal jeden bod až po „kontrastní“, kdy za tuto odpověď byly 4 body. Celkem odpovídal ve čtyřech kategoriích, takže mohl získat až 16 bodů, což byl ekvivalent 100 %.



Obrázek 23: Závislost preference kontrastu na úrovni zrakového postižení

7.3 Hodnocení jednotlivých modelů a palet

Barvy podobné realitě

Tyto barvy se setkaly s velmi pozitivním ohlasem většiny respondentů. Obecně neměli ani problémy s prací s těmito modely, což je potvrzeno i výsledky bodovaných otázek. Někteří však měli problémy s rozlišením některých barev, a i když třeba zblízka dokázali barvu rozpoznat, tak z dálky byli odkázáni spíše na hmat, i přesto však ocenili snahu o přiblížení barev realitě. Modely s barvami připomínající realitu komentovali slovy jako: „Nikdy jsem to neviděl, rád se podívám, jak to asi vypadá.“, „Takové modely bychom mohli mít ve škole.“, „To znám, vím že to takhle vypadá!“, „Huř se na tom orientuji.“, „Barvy těžko rozliším, nemá to pro mě skoro žádný přínos.“

Barevná paleta kontrastní 1

Tato paleta byla taktéž relativně úspěšná, respondenti si pochvalovali dobrý kontrast mezi jednotlivými barvami, které zároveň nebyly moc křiklavé a nepůsobily až moc rušivě. Pozitivní ohlasy respondentů byly opět podpořeny dobrými výsledky bodovaných úloh. Také uváděli že na ní dobře vidí malé detaily a nemají problém k orientaci používat také barvy. Jako negativa uvedli že barvy mohou být matoucí, o to víc když model porovnají s tím v barvách reálných, když si snaží představit reálný objekt. Modely s touto paletou komentovali slovy jako: „Pěkně vidím detaily, i ta malá okna rozeznám.“, „Jen pomocí barev

rozliším jednotlivé prvky na modelu“, „Takové modely by byly dobré do školy“, „Barvy jsou trochu matoucí“, „Myslel jsem, že to modré je voda, ale v realitě to tam není.“

Barevná paleta kontrastní 2

U této palety respondenti bodovali nejméně, a také jejich názory nebyly nikterak pozitivní. Většina respondentů si stěžovala hlavně na nepříliš atraktivní kombinaci barev, s tím že přidaná hodnota kontrastu moc tato negativa nepřebije. Tyto barvy hodnotil pozitivně pouze jeden respondent, který si chválil jejich kontrast. Modely s touto paletou komentovali slovy jako: „Má to dobrý kontrast, jednotlivé barvy z toho dobře vystupují.“, „Barvy jsou matoucí, nepodobá se to ničemu z reality.“, „Barvy jsou moc křiklavé.“

Hotel a televizní vysílač Ještěd

Na tento model nahlíželi respondenti většinou pozitivně. Líbila se jim jeho varianta v reálných barvách, která jim pomáhala představit si skutečnou podobu budovy. Někteří neměli problém s rozeznáním šedých a bílých částí. Často se však objevovala poznámka ohledně drobných detailů (např. oken), pro jejich zkoumání a celkovou vizuální orientaci respondenti doporučovali spíše kontrastní barvy. V praxi se ukázalo jako ideální spojení obou vjemů: k hrubé orientaci po modelu a hledání detailů využít hmat (nebo kontrastní barvy) a reálné barvy si ponechat pro představu skutečného vzhledu místa.

Olomoucký hrad

Hodnocení tohoto modelu bylo poměrně smíšené a hodně záviselo na typu zrakové vady. Jeden z respondentů, který model znal již z minulosti v jednobarevné variantě, byl nadšený a barevné provedení (zvláště to reálné) velmi chválil, protože model získal zcela jiný rozměr. Naopak pro jiného respondenta reálné barvy na tomto konkrétním modelu příliš splývaly. Zajímavostí je, že jeden respondent si u tohoto hradu pochvaloval jednoduchou vizuální orientaci pomocí palety "kontrastní 2", ačkoliv tuto paletu jinak většina testovaných neměla ráda.

Druhy oblaků

Tento model sklídl u respondentů mimořádný úspěch, a to zejména ve variantě s reálnými barvami. Pozitivně ho hodnotil i respondent s těžkou slabozrakostí, který u ostatních modelů vyžadoval striktně kontrastní barvy. Respondenti ocenili, že na tmavě modrém podkladu byly mraky velmi dobře rozeznatelné (dokonce lépe než na kontrastních variantách) a bez problému dokázali rozlišit bílé a tmavě šedé/černé mraky. Model jim velmi dobře pomohl představit si reálný jev, přičemž pro jednoho z respondentů šlo o zcela unikátní zážitek, jelikož podobný model nikdy neviděl.

Fantova budova

Tento model dobře fungoval jako pomůcka pro představivost, zejména u respondentů, kteří budovu již znali z reality nebo z fotografií. Prohlížení modelu jim potvrdilo jejich vizuální představu. Hlavním problémem tohoto modelu však byla velikost detailů. Většina respondentů měla potíže s rozeznáváním drobných prvků (například oken), které na ně byly zkrátka příliš malé. Pouze jediný respondent s makulární degenerací neměl s nejmenšími detaily u této budovy problém. Pro některé bylo také náročné rozeznat na modelu reálné barvy, přestože model jako celek hodnotili esteticky kladně.

základní členění půdních horizontů

U tohoto modelu se naplno projevil konflikt mezi vizuální orientací a představivostí. Protože se jedná o spíše plochý model bez výraznějších hmatatelných orientačních bodů, respondenti se na něm hůře orientovali čistě po hmatu a zrak zde hrál větší roli. Reálné barvy byly chváleny pro viditelnost postupných změn odstínů hnědé, což pomohlo k představě reálné půdy. Daní za to byl ale horší kontrast a obtížnější orientace. Kontrastní modely zde sice orientaci usnadnily, ale u některých vyvolávaly humorné chybné asociace.

7.4 Doporučení používání barev

Za pomoci interpretovaných dat získaných z uživatelského testování, a hlavně připomínek a komentářů respondentů byly vypracována obecná doporučení pro použití barev při 3D tisku pro osoby se zrakovým postižením. Ty jsou dostupná také v příloze této práce, která byla vypracována v aplikaci *Canva*, ve zjednodušeném podání provádí výběrem barev a 3D tiskem pro zrakově postižené. Příloha nese název: *Příručka pro tisk vícebarevných 3D modelů pro osoby se zrakovým postižením*.

Doporučení pro použití barev

Seznámení se s místem – Pokud se uživatelé s místem nebo jevem znázorněným na modelu setkávají poprvé, je vhodné zvolit výrazně kontrastní barvy. Při úvodním seznamování s prostorem jim právě kontrast pomůže snáze odlišit jednotlivé prvky a lépe tak porozumět celému modelu.

Bližší poznání místa – Naopak pokud již uživatelé dané místo znají, může se jednat například o budovu, kde se denně pohybují, nebo slavnou památku, kterou znají, tak již se nepotřebují seznamovat s topologií místa. V tomto případě může být tedy vhodné použít barvy připomínající realitu, aby se uživatelé mohli seznámit i s barevnými reáliemi daného místa. Někteří aktivnější jedinci dokonce můžou prahnout po poznání a ocenění reálné barvy i za cenu nižšího kontrastu.

Závažnost postižení – Osoby s těžší formou zrakového postižení preferují spíše barvy kontrastní, které jim můžou pomoci při orientaci rozlišit jednotlivé části modelu. Naopak barvy podobné reálným jim mohou v mnoha případech splývat a modely mohou mít stejnou informační hodnotu, jako by byly jednobarevné. Proto je vhodnější obarvovat reálnými barvami modely, které budou určeny pro osoby s méně závažným postižením. Je důležité myslet také na to, že každé zrakové postižení má svá specifika. Uživatelé mohou mít i různé formy vnímání světla a barev, a to i u „lehčích“ forem postižení. Není tedy vhodné potenciální uživatele modelů příliš generalizovat a, pokud je to možné, zaměřit se na jejich individuální potřeby. Pokud budou uživatelé ze skupiny s různými postiženími, bylo by vhodnější volit kontrastnější barvy, které dokáže rozeznat většina.

Způsob orientace – Osoby se zrakovým postižením jsou odkázány na orientaci pomocí hmatu, a čím závažnější je jejich postižení, tím více jsou závislé na použití hmatu při prohlížení modelů. Barvy jsou používány spíše k bližšímu ohledání modelu, kdy si uživatel model přiblíží k očím a za pomoci kombinace zraku a hmatu si ho podrobněji prohlíží. Dále záleží na zkušenostech uživatele, jak obecně s hmatáním, tak s prací s modely, kdy zkušenější uživatelé již vědí, jak s modely pracovat efektivně. A opět platí to, že specifika orientace závisí na individuálních potřebách spjatých s postižením každého uživatele. Způsob orientace bývá založen na podobném principu a jeho detaily se vždy liší dle daných specifik uživatele. Nelze tedy volit barvy podle způsobu orientace, ale podle jiných proměnných.

Preference uživatelů – Hlavně u uživatelů s méně poškozeným zrakem dochází k preferenci barev připomínajících realitu, s tím, že výrazné kontrastní barvy mohou vnímat jako zbytečně křiklavé až ošklivé. Avšak i tak uvádějí, že pro navigaci nebo pro lepší viditelnost detailů by volili modely s vhodně zvolenými kontrastními barvami. Jako příklad příliš křiklavých barev uváděli výraznou růžovou nebo fialovou. Co se týče rychlosti orientace, zde se názory uživatelů více rozcházejí. Někteří, spíše ti s lehčím postižením, preferují pro rychlou práci barvy reálné, naopak jiní preferují barvy kontrastní. Z hlediska líbivosti a estetické atraktivity modelů uvedla většina respondentů, že preferují modely v barvách připomínajících realitu. Uváděli také, že by se jim takové modely líbily například ve škole nebo v muzeích.

Velikost modelů – Na modelech menšího měřítka dochází často k velkému zmenšení některých jejich částí, které by byly hůře viditelné i v barvách kontrastních. Tomu je potřeba přizpůsobit i volbu barev. U modelů malého měřítka je vhodné volit barvy kontrastní, aby nedocházelo ke ztrátě informace. Pokud ale chcete model malého měřítka v barvách připomínajících realitu, tak je potřeba zgeneralizovat prvky, které by na výsledném modelu byly malé a zanikaly. Generalizaci lze buďto provést tak, že prvky spojíte, nebo je vypustíte úplně (například udělat jedno velké okno, nebo vypustit skupinku malých oken). Prvky, které by byly obtížně naležitelné i pro osoby bez zrakové vady, nemají své místo ani na kontrastních modelech.

Finance a udržitelnost – Při tisku modelů v barvách připomínajících realitu je potřeba pro každý jedinečný model zakoupit potřebné filamenty, pokud se jedná o specifickou barvu, tak může být použito jen trochu filamentu, který bude dále ležet nevyužitý. Naopak pro tisk kontrastních modelů lze opakovaně používat stejnou barevnou paletu filamentů pro různé modely.

Příklady situací použití barev:

Ve výuce – Mnoho žáků prahne po poznání a dokáže dobře vytvořené modely ocenit. Do výuky je proto vhodné začlenit jak kontrastní, tak reálné barvy. Žáci si lépe představí reálný vzhled budovy nebo jevu a studenti se závažnějším postižením využijí kontrast. Bonusem může být i zapojení 3D tisku do výuky.

Známá památka – Uživatelé památku mohou znát, ale kvůli svému postižení si ji nemohou zblízka prohlédnout v celé její kráse. Když však budou mít k dispozici model v reálných barvách, mohou si ho prohlédnout i ohmatat. A takový model může samozřejmě sloužit i osobám bez postižení.

Orientace na novém místě – Například v nové škole nebo v nákupním centru nezáleží tolik na barvách, ale na topologii jednotlivých prvků. Ty je tedy vhodné zvýraznit kontrastními barvami při tvorbě modelů nebo plánek.

8 VÝSLEDKY

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vyhodnotit vhodnost použití barev pro tisk multibarevných 3D modelů a zjistit, zda jsou pro hmatové modely určené osobám s těžkým zrakovým postižením vhodnější barvy kontrastní, nebo barvy přibližující se realitě. Dosažené výsledky, které tento cíl naplňují, se opírají o praktickou tvorbu modelů a následnou analýzu dat z uživatelského testování. Práce jako celek jednoznačně potvrdila potenciál k použití barev přibližujících se realitě k tvorbě 3D modelů určených pro osoby s těžkým zrakovým postižením. Z práce vyplývá, že při tvorbě tyflomodelů nelze spoléhat výhradně na funkční kontrast. Zásadní roli hraje také vnitřní citění uživatele a přirozená touha po autentickém poznání skutečné podoby objektů.

8.1 Vytvořené digitální a fyzické 3D modely

V rámci praktické části bylo pro účely testování vytvořeno a upraveno celkem pět digitálních modelů ve formátu 3MF, které jsou přímo navrženy pro vícebarevný 3D tisk. Z hlediska tematického rozdělení vznikly dva zcela nové digitální modely budov (hotel a televizní vysílač na Ještědu, Fantova budova) a jedna nová výuková pomůcka (základní členění půdních horizontů). Dále byl upraven jeden existující model budovy (Olomoucký hrad) a jeden model výukové pomůcky (druhy oblaků).

Vzniklo celkem 15 fyzických modelů. Každý z pěti objektů byl zhotoven ve třech specifických barevných variantách:

- V barvách přibližujících se realitě.
- V kontrastních barvách podle navržené palety *kontrastní 1*.
- V kontrastních barvách podle palety *kontrastní 2*

K výrobě byla využita aditivní metoda FFF na 3D tiskárně *Original Prusa XL 5-toolhead*, která umožnila tisk až z pěti filamentů najednou, modely vzniklé v rámci práce jsou z materiálu PLA od výrobce Polymaker.

8.2 Uživatelské potřeby zjištěné z uživatelského testování

Klíčovým výsledkem práce je analýza dat z uživatelského testování, které bylo realizováno se sedmi studenty na Gymnáziu pro zrakově postižené Praha. Testování zahrnovalo jak bodované plnění úloh, tak řízené rozhovory zaměřené na subjektivní preference. Z hlediska objektivního hodnocení (bodového zisku při plnění zadaných úloh) bylo zjištěno následující:

- Nejvyšší úspěšnost: Respondenti dosahovali nejlepších výsledků u modelů v barvách přibližujících se realitě a u modelů vytištěných v paletě *kontrastní 1*.
- Nejnižší úspěšnost: Modely využívající paletu *kontrastní 2* zaznamenaly u respondentů nejnižší bodový zisk.
- Vliv typu modelu: Vyšších bodových zisků bylo dosahováno u výukových pomůcek (oblaka, půdní horizonty) v porovnání s modely architektonickými. Tento výsledek je dán schematičností těchto pomůcek, jež informaci předávají podstatně jednodušeji a bez složitých detailů.
- Vliv závažnosti postižení: Výsledná analýza ukázala, že závažnost zrakového postižení nevedla k horším bodovým výsledkům v testu. Tento fakt dokládá, že navržené modely byly z hlediska hmatové čitelnosti vhodně navrženy pro celé spektrum cílové skupiny.

8.3 Uživatelské preference a hodnocení barevných palet

Hodnocení jednotlivých barevných variant se odvíjelo nejen od zrakových možností respondentů, ale také od primárního účelu vizualizace:

Hodnocení barev přibližujících se realitě

Modely v reálných barvách zaznamenaly obrovský úspěch z hlediska estetické líbivosti a schopnosti podpořit představivost. Uživatelé velmi chválili snahu o reálné přiblížení vzhledu objektů, což jim často zprostředkovalo hlubší zážitek z poznávání. Jednoznačně se tak potvrdilo, že i pro osoby se zrakovým handicapem má estetický a umělecký vjem nezastupitelnou přidanou hodnotu a dokáže výrazně obohatit jejich vnímání prostoru. Avšak bylo zjištěno, že při snaze o rychlou orientaci nebo detailní zkoumání mohly reálné barvy některým uživatelům splývat a ztěžovat navigaci po modelu.

Hodnocení kontrastních palet

- Paleta *kontrastní 1*: Byla vyhodnocena jako funkčně nejideálnější pro uživatele vyžadující vyšší kontrast. Poskytovala vyvážený kontrast nezbytný pro rozeznání drobných detailů a pro spolehlivou vizuální orientaci, aniž by působila přehnaně rušivým dojmem.
- Paleta *kontrastní 2*: Tato varianta byla vyhodnocena jako ne zcela nevhodná. Většina testovaných osob ji vnímala jako matoucí a esteticky nepovedenou (příliš křiklavou), přičemž ani vysoký vizuální kontrast tyto nedostatky nedokázal kompenzovat.

Z analýzy uživatelských preferencí pro konkrétní situace jasně vyplynulo, že pro navigaci a viditelnost malých detailů uživatelé jednoznačně upřednostňují barvy kontrastní. Naopak z estetického hlediska a pro podporu představivosti dominují barvy reálné.

8.4 Vyhodnocení specifik jednotlivých modelů

Výzkum přinesl zjištění i pro modely, ta formovala výsledná doporučení pro 3D tisk:

- Hotel a vysílač Ještěd: Uživatelé ocenili reálné barvy pro představivost, ale pro identifikaci drobných oken doporučovali využití palety *kontrastní 1*. V praxi se jako optimální ukázalo spojení obou vjemů. Hmat pro lokaci detailů a zrak (reálné barvy pro celkovou představu).
- Olomoucký hrad: Percepce tohoto modelu byla závislá na typu vady a znalosti daného místa. Zatímco uživatelům obeznámeným s modelem reálné barvy velmi pomohly dotvořit prostorový vjem, u jiných docházelo k vizuálnímu splývání ploch a preferovali více kontrastní barvy.
- Druhy oblaků: Tento model zaznamenal jednoznačný úspěch. Reálné barvy (tmavě modré pozadí s odstíny bílé a šedé), které měly samy o sobě dobrou rozlišitelnost pro osoby se zrakovým postižením, zde fungovaly lépe než vysoce kontrastní palety a skvěle fungovaly i pro respondenty s těžkou slabozrakostí.
- Fantova budova: Vysoká členitost modelu ukázala měřítkové limity. Detaily byly pro většinu respondentů příliš malé pro hmatovou i zrakovou identifikaci. I tak však mnoho respondentů preferovalo reálné barvy, protože jim to připomínalo jim dobře známé místo, a dokázali si ho představit alespoň jako celek.
- Základní členění půdních horizontů: U plochého modelu hrál zrak primární roli. Reálné barvy skvěle ilustrovaly postupný přechod zemin, ale chyběl jim kontrast. Respondenti se sice na modelu hůře orientovali, ale ocenili viditelnost přechodu do tmavší hnědé.

8.5 Příručka pro tvorbu vícebarevných 3D modelů

Veškerá získaná data a poznatky byly nakonec syntetizovány do finálního praktického výstupu práce, kterým je Příručka pro tisk vícebarevných 3D modelů pro osoby se zrakovým postižením. Výsledkem je tedy soubor doporučení pro určený primárně pro začátečníky z řad kartografů, učitelů a jiných tvůrců tyflomodelů, kteří by chtěli vytvářet vícebarevné modely.

DISKUZE

Generalizace barev připomínajících realitu

Pro tvorbu modelů v reálných barvách, bylo potřeba celý objekt zgeneralizovat pouze na pět barevných filamentů které budou dostatečně reprezentativní a zároveň budou dostupné i vhodné barvy filamentů. Autor si byl vědom velké míry subjektivity při této generalizaci, proto probíhala volba dle nabídky na trhu, tedy že první proběhne rešerše vhodných a dostupných filamentů a až dle nich se řídily další kroky generalizace. Tento postup může být velmi dobrý hlavně pro praxi, kdy osoby tisknouce modely mohou mít omezené množství filamentů nebo menší finanční prostředky, tudíž se budou rozhodovat hlavně dle dostupnosti filamentů. Pro osoby se zrakovým postižením jsou navíc menší rozdíly odstínu barev přibližujících se realitě často zanedbatelné. Co se týče pohledu z vědeckého hlediska, zde je prostor pro další rozšiřování, například použití jiné technologie 3D tisku umožňující lepší reprodukci barev, nebo možností použití a reprodukce barev pro fyzické modely určené jak pro osoby s postižením i bez něj.

Chyby při 3D tisku

Při 3D tisku došlo k problémům s tiskem Olomouckého hradu, tento problém byl úspěšně vyřešen změnou nastavení. Dále došlo k chybě při tisku kostelu na Zelené hoře. Tento problém pramenil z chybné geometrie modelu, který byl původně vytvořen pro jednobarevný tisk kde tyto nedostatky nejspíše nevadily a v celé síle se projeví až při tisku s více filamenty. Došlo k několika pokusům o opravu geometrie, manuálně i automaticky, žádný z algoritmů si však neodkázal úspěšně poradit. Došlo také k pokusu o opravu v programu *Meshmixer*, kde se sice model podařilo uzavřít, avšak za cenu velkých deformací. Pokusy o opravu probíhaly během tisku ostatních modelů, po úspěšném vytisknutí ostatních modelů, jejichž množství bylo již výrazně více než jsou minimální požadavky zadání, bylo usouzeno že neproběhnou další pokusy o tisk.

Uživatelské testování

Testování respondentů je v tyflografii často problematické, jelikož ho mohou podstupovat jen osoby se zrakovým postižením. Větší skupiny těchto osob lze sehnat například ve spolupráci s tyflocentry nebo specializovanými školami, tak jako to bylo provedeno pro účely této práce. Na gymnáziu bylo otestováno celkem „pouze“ sedm respondentů, což je docela nízký počet. K dispozici pro testování nám bylo poskytnuto celkem 10 žáků, kteří se různě střídali, odcházeli do hodin, takže nebylo možné otestovat všechny z dostupných žáků. Tři žáci navíc by nemusel být nijak závratný počet, i když by to byl nárůst skoro o polovinu původního počtu, ale jejich připomínky by i tak mohly přispět k podepření a upřesnění výsledků práce.

Je možné že ani testování 20 nebo 30 respondentů by nepřineslo závratnější zobektivnění výsledků. Ano počet odpovědí v bodovaných otázkách by se zvýšil, vizualizace dat a jejich interpretace by tak byla založena na vyšším počtu odpovědí. Avšak také by se více diverzifikovala testovaná skupina, co se týče různých zrakových vad a jejich závadností, tudíž by bylo stále potřeba dbát na potřeby jednotlivců s různými postiženími. Takže ano, výsledky by byly objektivnější, avšak stále by bylo hodně pracovat se subjektivními názory respondentů.

Testování bylo také zatíženo vyšším počtem modelů, než bylo původně plánováno, jelikož bylo přistoupeno k variantě testovat modely ve dvou kontrastních provedeních. Přirozeně se tak z tohoto důvodu musely ustranit jiné modely, jelikož bylo potřeba otestovat celkem 15 modelů místo 10 a zároveň dát respondentům stejný prostor při práci s různými variantami. Tento přístup však nakonec přinesl spíše užitek, jelikož odhalil různá vnímání

odlišných kontrastních palet respondenty. Pokud se pracovalo pouze s jednou kontrastní variantou, mohly by být celkové názory respondentů ovlivněny nevhodně zvolenými kontrastními barvami.

Tyto dílčí nedostatky však neznamenaají, že práce postrádala smysl. Právě naopak práce odhalila možný potenciál 3D tištěných modelů v barvách připomínajících realitu, pro použití v tyflografice a jasně z ní vyšlo, že zájem o používání těchto modelů je i ze strany uživatelů.

Absence verifikačního testování

Verifikační testování nebylo požadováno zadáním práce, ani nebyly nikdy v jejím průběhu plánovány. Také samotné jeho provedení by bylo časově a finančně náročné, pokud by se například upravovaly některé z modelů či jejich barevné varianty. Proto bylo již první testování bylo koncipováno jako poslední a byl při něm dbán ohled hlavně na uživatele, a ne na nedostatky samotných modelů.

Porovnání s výsledky jiných prací

Kontrastní varianty modelů byly převzány z palet, které Čech (2024) navrhl v rámci své práce a otestoval jejich rozlišitelnost osobami se zrakovým postižením. Avšak Čech se zaměřit primárně na samotnou rozlišitelnost oněch barev a podrobněji již nezohledňoval další preference a potřeby uživatelů v kontextu konkrétních úloh. Právě tato práce toto téma i v kombinaci s barvami připomínající realitu zkoumala blíže a odhalila, že pouze rozlišitelnost není vše, a že vnímání barev a modelů závisí i na individuálních potřebách a preferencích uživatelů a na situaci či účelu pro které jsou modely použity.

Zjištění a výsledky této práce jsou také v souladu se zjištěními Wabińskiho a Śmiechowska-Petrovskij (2024), kteří porovnávali kontrastní palety pro tvorbu tyflomap a zjistili, že není žádná jednoznačná shoda na vhodnou kontrastní stupnici. Výstupy této práce absenci univerzálně optimálních barev potvrzují, avšak rozšiřují dosavadní poznatky i o barevné palety přibližující se realitě a blíže specifikují konkrétní situace, ve kterých je vhodné jednotlivé varianty aplikovat.

Bečicová (2020 a 2023) pracovala na tvorbě výukových modelů a tyflomap pro výuku zeměpisu i s využitím technologie TouchIt3D. Ve své novější práci navíc upozorňovala na důležitost barev, ačkoliv byla omezena technologií jednobarevného tisku. Autorka potvrdila jednoznačný přínos těchto modelů pro výuku. Stejně tak i v této práci byly ověřeny výhody asociativnosti a preference uživatelů k barvám připomínajícím realitu u výukových pomůcek. V budoucnu by tedy mohlo být vhodné zaměřit se více na implementaci vícebarevných výukových pomůcek do výuky i s použitím jiných technologií.

Zwirowicz-Rutkowska a kol. (2023) pomocí 3D tisku tvořili tyflomapy, jejichž znakový klíč měl navíc předávat i informace o umělecké hodnotě daného místa. Tato práce na tyto snahy plynule navazuje, neboť zjistila silné preference uživatelů k čerpání informací právě ohledně estetického a reálného vzhledu objektů, k čemuž jim modely v realistických barvách prokazatelně pomáhají.

9 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit vhodnost použití barev připomínající realitu pro 3D tisk hmatových modelů pro osoby s těžkým zrakovým postižením. Byly také analyzovány asociativnost, rozlišitelnost a celkové vnímání a schopnost práce s barevnými modely. Pro objektivitu byly modely v barvách připomínající realitu porovnávány v uživatelském testování s modely v kontrastních barvách.

Pro úspěšné naplnění cílů byla nejprve provedena rešerše problematiky, kde se autor seznámil se specifiky zrakových postižení a tyflografických potřebách osob jimi trpících. Při rešerši potřeb došlo i k zaměření na použití kontrastních barev, kdy na základě zjištění předchozích prací byly vybrány vhodné kontrastní barvy pro modely. Dále byla provedena rešerše možností 3D tisku se zaměřením na vícebarevný tisk technologií FDM, jelikož se jednalo o technologii, která byla dostupná na KGI pro tvorbu této bakalářské práce. Zvolena byla konkrétně tiskárna Original Prusa XL s pěti tiskovými hlavami, která umožnila vícebarevný tisk pěti filamenty.

V praktické části byly vymodelovány 3D modely, které byly následně připraveny k vícebarevnému tisku a vytištěny. Celkem vzniklo 15 modelů (pět unikátních modelů vytištěných ve třech barevných variantách: jedné realistické a dvou odlišných kontrastních paletách). Tyto modely reprezentovaly různé typy jevů, jako architektonických dominant, jako je vysílač Ještěd či Fantova budova, až po výuková schémata půdních horizontů a oblaků. Následně byly podrobeny uživatelskému testování se studenty gymnázia pro zrakově postižené. Úkolem testování bylo nasbírat data a poznatky, které odpoví na otázku, zda jsou modely v barvách přibližující se realitě vhodné pro používání osobami se zrakovým postižením.

Poznatky z uživatelského testování byly analyzovány a bylo zjištěno že **barvy přibližující se realitě jsou vhodné** pro 3D tisk hmatových modelů pro osoby s těžkým zrakovým postižením a že asociativnost a vnímání pravých barev mají i pro osoby s postižením důležitou roli. Modely jim přinášejí totiž nejen praktické informace o vzhledu objektů, ale i hlubší estetický a autentický zážitek z poznávání. Avšak nelze říct, že tyto barvy jsou vhodné univerzálně. S jejich použitím se pojí mnoho dalších faktorů, jako účel modelu, osobní preference uživatelů, měřítko zobrazení a podobně. Výsledky ukázaly, že u známých objektů uživatelé preferují realistické barvy pro lepší představivost, zatímco u neznámých prostorů je spíše požadavek vysokého vizuálního kontrastu pro lepší orientaci na novém modelu.

Na základě zjištění byla formulována doporučení, která hovoří o možnostech používání barev přibližujících se realitě a barev kontrastních v kontextu oněch různých faktorů. Tato doporučení jsou také formulována do příručky, která je přílohou této práce a poslouží jako návod a nápověda hlavně pro začínající tvůrce tyflopomůcek.

Závěrem lze konstatovat, že stanovené cíle bakalářské práce byly splněny. Práce otevírá prostor pro další výzkum v oblasti personalizace tyflomodelů a dokazuje, jak mohou moderní technologie aditivní výroby efektivně přispět k inkluzi, lepším edukačním možnostem nebo rozvoji představivosti.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

BAMBU LAB, 2025c. *Bambu Lab X1 Series*. Online [vid. 2025-11-01]. Dostupné z: <https://bambulab.com/en/x1>

BANA, 2010. *Guidelines and Standards for Tactile Graphics*. Online [vid. 2026-01-04]. Dostupné z: <https://www.brailleauthority.org/tg/web-manual/index.html>

BEČICOVÁ, Kateřina, 2020. *TVORBA TYFLOMAP PRO VÝUKU ZEMĚPISU*. No publisher. n.p.

BEČICOVÁ, Kateřina, 2023. *VÝUKOVÉ ZEMĚPISNÉ 3D MODEL Y PRO ŽÁKY SE ZRAKOVÝM POSTIŽENÍM*. Olomouc. Univerzita Palackého v Olomouci.

BRUS, Jan; Radek BARVIR a Alena VONDRAKOVA, 2023. Multi-colour 3D printing for supporting tactile perception of geospatial visualizations. *Abstracts of the ICA*. Online. **6**, 1–2. Dostupné z: doi:10.5194/ica-abs-6-26-2023

ČECH, Václav, 2024. *NÁVRH BAREVNÝCH SCHÉM AT PRO TVORBU TYFLOMAP*. Olomouc. Univerzita Palackého v Olomouci.

ČERVENKA, Petr, 1999. *Mapy a orientační plány pro zrakově postižené: metody tvorby a způsoby využití*. Praha: Aula. ISBN 8090266746.

FINKOVÁ, Dita, 2010. Inovace přístupů v prostorové orientaci osob se zrakovým postižením prostřednictvím tyflomap. *e-Pedagogium*. Online. **10**(89), 533–537. ISSN 12137758. Dostupné z: <https://e-pedagogium.upol.cz/artkey/epd-201089-0053.php>

FIT ČVUT, 2025. *Tisk: Vícebarevný tisk*. Online [vid. 2026-01-03]. Dostupné z: <https://courses.fit.cvut.cz/BI-3DT/tutorials/multicolor.html>

FS ČVUT, 2025. *Rozdělení technologií*. Online [vid. 2026-01-03]. Dostupné z: <https://fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/rozdeleni-technologie-3dtisk/>

ICA, 2025. *Our goals*. Online [vid. 2026-12-04]. Dostupné z: <https://inclusive-cartography.icaci.org/objectives/>

JESENSKÝ, Ján, 1988. *Hmatové vnímání informací s pomocí tyflografiky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.

JEVAUGHN, Henry, 2024. *MULTICOLOUR 3D-PRINTED GEOVISUALISATION*. No publisher. n.p.

KUCHYNKA, Pavel, 2007. *Oční lékařství*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1163-8.

LÉKAŘSKÁ FAKULTA MU, 2021. 24. *Vyšetření zrakové ostrosti a barvocitu*. Online [vid. 2026-01-04]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js21/fyziologie/web/pages/24_zrakova_ostrot.html

NOVOHRADSKÁ, Hana, 2013. *VYBRANÉ KAPITOLY Z OFTALMOPEDIE*. Online. [vid. 2026-01-04]. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://projekty.osu.cz/svp/opory/pdf-33-Novohradska-SO.pdf

NZIP, 2025. *Oči*. Online [vid. 2026-01-12]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/kategorie/48-oci>

O'CONNELL, Jackson, 2023. *The Types of FDM 3D Printers: Cartesian, CoreXY & More*. Online [vid. 2026-01-03]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>

OLIVER, Stephanie, 2025. *Designing Maps for Colorblind Readability*. Online [vid. 2026-01-11]. Dostupné z: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/mapping/designing-maps-for-colorblind-readability>

PRUSA RESEARCH, 2025a. *Original Prusa XL Semi-assembled 5-toolhead 3D Printer*. Online [vid. 2026-01-03]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/en/product/original-prusa-xl-semi-assembled-5-toolhead-3d-printer/>

PRUSA RESEARCH, 2025b. *Typy tiskáren a rozdíly mezi nimi*. Online [vid. 2026-01-03]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mez-nimi_112464

REDWOOD, Ben.; Filemon. SCHÖFFER a Brian. GARRET, 2020. *The 3D printing handbook: technologies, design and applications*. No publisher: 3D Hubs B.V. ISBN 9789082748505.

RNIB, 2020. *Colour and contrast for people with sight loss*. Online. [vid. 2026-01-12]. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://media.rnib.org.uk/documents/Colour_and_contrast_for_people_with_sight_loss_2020.pdf

RŮŽIČKOVÁ, Veronika a Kateřina KROUPOVÁ, 2020. *Tyflografika: Reliéfní grafika a její role v životě osob se zrakovým postižením*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouc. ISBN 978-80-244-5732-1.

SHIRAZI, Guy, 2025. *Advanced Multi-Color and Full-Color 3D Printing*. Online [vid. 2026-01-03]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/en/resources/blog/full-color-3d-printing/>

SCHWAAR, Carolyn, 2025. *All 3D Printing Filament Types Explained – Properties, Printing & Best Uses (2025 Update)*. Online [vid. 2026-01-03]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>

SNAPMAKER, 2025. *Snapmaker J1s High Speed IDEX 3D Printer*. Online [vid. 2026-01-14]. Dostupné z: <https://www.snapmaker.com/en-US/j1s-idex-3d-printer>

STRATASYS, 2018. *Legal*. Online [vid. 2026-01-13]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/en/stratasysdirect/about-us/legal-terms/>

SVĚT HARDWARE, 2019. *3D tisk: jak funguje FDM/FFF tiskárna?* Online [vid. 2026-01-03]. Dostupné z: <https://svethardware.cz/article/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna?chapter=2>

VESELÝ, Petr a Svatopluk SYNEK, 2012. Opakovatelnost a spolehlivost vyšetření zrakové ostrosti na optotypových tabulích logMAR ETDRS a Snellen. Online. [vid. 2026-01-04]. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-oftalmologie/2012-2/opakovatelnost-a-spolehlivost-vysetreni-zrakove-ostrosti-na-optotypovych-tabulich-logmar-etdrs-a-snellen-38467/download?hl=cs

VONDRÁKOVÁ, Alena, 2012. Kartografická sémiologie v moderním typu 3D tyflomap a její vnímání uživateli.

VONDRÁKOVÁ, Alena; Veronika RŮŽIČKOVÁ; Radek BARVÍŘ; Jan BRUS; Gabriela ŠPINAROVÁ; Veronika VACHALOVÁ; Jakub ŽEJDLÍK; Rostislav KRUŠINSKÝ; Marcela FOJTÍKOVÁ ROUBALOVÁ a Kateřina BEČICOVÁ, 2023. *TYFLOMAPY – TYFLOMODELY – TYFLOPOMŮCKY*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-6382-7.

VONDRÁKOVÁ, Alena; Veronika RŮŽIČKOVÁ; Kateřina KROUPOVÁ; Radek BARVÍŘ; Jan BRUS a Vít VOŽENÍLEK, 2020. *TYFLOMAPY – TYFLOGRAFIKA – TYFLOKARTOGRAFIE Percepce prostoru prostřednictvím audio-taktilních map*.

VOŽENÍLEK, Vít, 2010. *Hmatové mapy technologií 3D tisku*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-2697-6.

VOŽENÍLEK, Vít a Jaromír KAŇOK, 2011. *Metody tematické kartografie: Vizualizace prostorových jevů*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 9788024427904.

WABIŃSKI, Jakub; Albina MOŚCICKA a Emilia ŚMIECHOWSKA-PETROVSKIJ, 2025. Comparative Evaluation of Production Techniques for Tactile Map Rendering. *IEEE*

Transactions on Haptics. Online. 1–17. ISSN 1939-1412. Dostupné z: doi:10.1109/TOH.2025.3647374

WABIŃSKI, Jakub a Emilia ŚMIECHOWSKA-PETROVSKIJ,
2024. Evaluation of Qualitative Colour Palettes for Tactile Maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. Online. **13**(3), 94. ISSN 2220-9964. Dostupné z: doi:10.3390/ijgi13030094

WALLACH KLOSKI, Lisa a Nick KLOSKI, 2017. *Začínáme s 3D tiskem*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-4876-1.

WHO, 2023. *Blindness and vision impairment*. Online [vid. 2026-01-03]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>

WHO, 2025. MKN-11 pro statistiky úmrtnosti a nemocnosti . 11. Online [vid. 2026-01-04]. Dostupné z: <https://icd.who.int/browse/2025-01/mms/cs#1103667651>

ZWIROWICZ-RUTKOWSKA, A.; A. MOŚCICKA; A. ARASZKIEWICZ; J. WABIŃSKI a D. KILISZEK,
2023. Tactile maps of historical gardens: method of content selection. *Heritage Science*. Online. **11**(1), 45. ISSN 2050-7445. Dostupné z: doi:10.1186/s40494-023-00886-8

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Volné přílohy

Příloha 1 Příručka pro tisk vícebarevných 3D modelů pro osoby se zrakovým postižením

Příloha 2 Digitální modely pro vícebarevný tisk

- 2.1 – jested.3mf
- 2.2 – olomoucky_hrad.3mf
- 2.3 – fantova_budova.3mf
- 2.4 – pudni_profil.3mf
- 2.5 – oblaka.3mf

Příloha 3 3D tištěné modely

- 3.1a – Hotel a televizní vysílač Ještěd v barvách připomínající realitu
- 3.1b – Hotel a televizní vysílač Ještěd v barvách palety *kontrastní 1*
- 3.1c – Hotel a televizní vysílač Ještěd v barvách palety *kontrastní 2*
- 3.2a – Olomoucký hrad v barvách připomínající realitu
- 3.2b – Olomoucký hrad v barvách palety *kontrastní 1*
- 3.2c – Olomoucký hrad v barvách palety *kontrastní 2*
- 3.3a – Fantova budova v barvách připomínající realitu
- 3.3b – Fantova budova v barvách palety *kontrastní 1*
- 3.3c – Fantova budova v barvách palety *kontrastní 2*
- 3.4a – Základní členění půdních horizontů v barvách připomínající realitu
- 3.4b – Základní členění půdních horizontů v barvách palety *kontrastní 1*
- 3.4c – Základní členění půdních horizontů v barvách palety *kontrastní 2*
- 3.5a – Druhy oblaků v barvách připomínající realitu
- 3.5b – Druhy oblaků v barvách palety *kontrastní 1*
- 3.5c – Druhy oblaků v barvách palety *kontrastní 2*

Příloha 4 Poster

Popis struktury a obsahu odevzdávaných digitálních dat na datové úložiště katedry.

zabransky26

- poster.jpg
- poster.pdf
- zabransky_BC.docx
- zabransky_BC.pdf
- prirucka_pro_3D_tisk.pdf
- modely
- web