

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**TESTOVÁNÍ A TISK MULTIMEDIÁLNÍCH 3D
TYFLOMAP**

Bakalářská práce

Jakub KOHN

Vedoucí práce: RNDr. Alena Vondráková, Ph.D.

Olomouc 2015

Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Tato práce se zabývá možností tisku hmatových map pro zrakově postižené na nízkonákladových 3D tiskárnách typu RepRap, které se v současnosti staly cenově velmi dostupnými a technologicky propracovanými. Práce částečně vychází z informací a poznatků získaných při tvorbě tyflomap metodou 3D tisku, které byly prováděny na Univerzitě Palackého v Olomouci v předešlých letech. Oproti původnímu tisku jsou nové mapy vytisknuty z odlišného a cenově dostupného materiálu, který však vyžaduje odlišný přístup k tisku, především úpravu některých mapových prvků a objektů takovým způsobem, aby byly hmatové mapy použitelné pro svůj účel. Toho bylo docíleno množstvím testovacích výtisků, na základě kterých byly vytisknuty finální plastové tyflomapy, které byly porovnávány s původními. Výsledkem práce jsou vytisknuté nízkonákladové tyflomapy nabízející uživatelům stejnou informační hodnotu jako původně vytisknuté tyflomapy a svou cenovou nenáročností překonávají dosavadní přístupy tvorby hmatových map. Bylo také provedeno zhodnocení využití multimediálních prvků doplňujících tyto nové mapy o geoinformace interpretované pomocí zvukových hlášek. Na závěr byl vytvořen pracovní postup pro tvorbu hmatových map metodou nízkonákladového 3D tisku.

KLÍČOVÁ SLOVA

tyflomapa; 3D tisk; multimediální;

Počet stran práce: 69

Počet příloh: 30 (z toho 9 vázaných a 21 volných)

ANOTATION

This thesis deals with the printing possibilities of tactile maps printed by the RepRap low-cost printers to help visually impaired persons. Nowadays, these printers have become both, affordable and technologically advanced. The thesis is partially based on the information acquired from the findings gained during the making of tactile maps at Palacky University Olomouc in previous years. Opposite to the previous printings, the new maps are printed from a different and cheaper material which also required a different approach towards the printing. In particular, it required a different treatment of the components and objects in a way that the maps would eventually fulfil its purpose. This was accomplished by a number of test printings which lead to the final plastic tactile maps. These were compared with the previous ones. The outcome of this work are low-cost printed tactile maps offering its users a similar information value as the previous maps. Moreover, its undemanding price surpasses the existing approaches towards the tactile map printing. Multimedia components in the form of sound recordings containing geographical information were also evaluated. In conclusion, the working procedure of the low-cost 3D tactile maps creation was described.

KEYWORDS

tactile map; 3D print; multimedial

Number of pages 69

Number of appendixes 30

Prohlašuji, že

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl 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 nevydělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk bakalářské práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- 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 práce 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).

V Olomouci dne

plné jméno autora

Jakub Kohn

podpis autora

Na tomto místě bych chtěl vyjádřit své poděkování vedoucí mojí bakalářské práce RNDr. Aleně Vondrákové, Ph.D. za podněty, konzultace a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji konzultantce Mgr. Veronice Růžičkové Ph.D. z Ústavu speciálněpedagogických studií na Univerzitě Palackého v Olomouci a Mgr. Darině Růžičkové z organizace Tyfloservis Olomouc o.p.s. za odborné konzultace a zprostředkování testování s nevidomými uživateli.

Vevázaný originál **zadání** bakalářské/magisterské práce (s podpisem vedoucího katedry a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

Zde je konec prvního oddílu, kde není číslování stránek. Následující strana patří již do druhého oddílu, který má nastaveno číslování stránek.

OBSAH

ÚVOD	9
1 CÍLE PRÁCE	10
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	11
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	15
3.1 Hmatové vnímání osob s poruchou zraku	15
3.1.1 Hmatové mapy	15
3.2 Moderní trendy v tyflokartografii	16
3.2.1 Ariadne GPS	16
3.2.2 TouchOverMap.....	16
3.2.3 Pocket Navigator	16
3.2.4 LightHouse – Tactile a Talking maps	16
3.2.5 Haptické mapy Seznam.cz	17
3.3 3D tisk	17
3.3.1 RepRap 3D tiskárny	17
3.3.2 Percepce geoprostoru prostřednictvím tyflomap moderního typu	18
3.4 Zahraniční přístupy	19
4 KOMPLETACE PŮVODNÍCH TYFLOMAP	20
4.1 Osazení tyflomapy tlačítky	20
4.2 Připojení tlačítek ke zvukovému modulu.....	21
4.3 Montáž součástí zvukové krabice	21
4.4 Tvorba a nahrání hlášek do zvukového modulu	22
5 MOŽNOSTI NÍZKONÁKLADOVÉHO 3D TISKU	24
5.1 Přetisk původních modelů.....	24
5.2 Úprava mapových prvků	26
5.3 Tvorba a testování Braillova písma	28
5.4 Soubor pokusných výtisků.....	29
6 PRVNÍ TESTOVÁNÍ KONCOVÝMI UŽIVATELI	32
6.1 Průběh testování.....	32
6.2 Testované výtisky a vyvozené poznatky	33
7 PRACOVNÍ POSTUP TVORBY TYFLOMAP PRO NÍZKONÁKLADOVÝ 3D TISK	34
7.1 Příprava softwaru	34
7.2 Volba a úprava dat	34
7.2.1 Shlazení vstupních dat	35
7.2.2 Převod dat do 3D.....	36
7.3 Tvorba 3D modelu mapy	37
7.3.1 Import do 3D softwaru	37
7.3.2 Modelace podkladové platformy	37
7.3.3 Modelace kompozičních prvků	38
7.4 Modelace Braillova písma.....	39

7.4.1	Model polokoule	39
7.4.2	Přidání 2D textu.....	40
7.4.3	Nanesení polokoulí na 2D text	41
7.5	Převod do formátu pro 3D tisk	41
7.6	Nastavení parametrů 3D tisku	41
7.6.1	Základní úpravy modelu a export	42
7.6.2	Nastavení tisku	42
7.6.3	Nastavení tiskového materiálu	43
7.6.4	Nastavení tiskárny	44
7.7	Výsledný 3D tisk.....	44
7.8	Dodatečné úpravy	45
7.9	Možnost 3D tisku haptických map od společnosti Seznam.cz	45
8	DRUHÉ A TŘETÍ TESTOVÁNÍ KONCOVÝMI UŽIVATELI.....	48
8.1	Průběh testování.....	48
8.2	Porovnání nově vytvořených produktů s původními	49
8.3	Testování jednotlivých nových map	50
8.3.1	Tematické mapy České republiky.....	50
8.3.2	náměstí Národních hrdinů v Olomouci.....	50
8.4	Třetí testování.....	52
8.5	Možnosti využití testovaných tyflomap.....	53
9	VYUŽITÍ MULTIMEDIÁLNÍCH PRVKŮ NÍZKONÁKLADOVÝCH TYFLOMAP.....	53
9.1	Potenciál multimediálních tyflomap.....	53
9.2	Realizace nízkonákladové multimediální tyflomapy	54
9.2.1	Volba optimálního rozměru	54
9.2.2	Modelace a tisk mapy	54
9.2.3	Slepení jednotlivých dílů.....	54
9.2.4	Připojení multimediálních prvků.....	55
10	FINANČNÍ NÁROČNOST 3D TISKU.....	56
10.1	Finanční srovnání tiskáren	56
10.2	Finanční srovnání výtisků.....	56
10.3	Finanční možnosti multimediálních tyflomap.....	57
11	VÝSLEDKY	59
11.1	Kompletace původních výtisků	60
11.2	Návrh nízkonákladového 3D tisku	60
11.3	Pracovní postup tvorby tyflomap	60
11.4	Výsledky testování cílovými uživateli	61
11.5	Soubor finálních výtisků	61
11.6	Zabudování multimediálních prvků.....	63
12	DISKUZE	64
13	ZÁVĚR	66
	POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE.....	67
	PŘÍLOHY.....	71

ÚVOD

Podle Světové zdravotnické organizace na světě žije 161 milionů osob se zrakovým postižením (Finková a kol. 2010), které je velmi omezuje při orientaci v prostoru a rozpoznávání běžného prostředí v jejich okolí. Pro tyto osoby je hlavním orientačním smyslem sluch a především hmat. Za účelem vhodného vyjádření prostorové představivosti se pro tyto osoby vyrábí hmatové mapy, díky kterým získají ucelenou představu o daném prostoru. Zmínky o tvorbě jednoduchých map pro zrakově postižené jsou již z 18. století (Tyflonet, 2010). Metod pro tvorbu hmatových map existuje velké množství s různou kvalitou vyjádření geoprostoru – od jednoduché kresby na dlaň nevidomého po složitou strojovou výrobu map. Při tvorbě kvalitních hmatových map, tzv. tyflomap které mají vysokou informační hodnotu, jsou v dnešní době největším problémem finanční náklady, kvůli kterým se vyrábí tyto mapy v omezeném množství znázorňující pouze vybrané území bez ohledu na individuální požadavky nevidomých.

S postupujícím technologickým a infromatickým vývojem se však otevírají nové možnosti pro tvorbu kvalitních hmatových map, které by byly svými nízkými finančními náklady více dostupné a díky tomu by mohly splňovat individuálnější požadavky nevidomých osob. Jednou z těchto rychle se vyvíjejících technologií je technologie 3D tisku, která umožňuje výrobu dobře hmatatelných prostorových map.

Tvorbou hmatových map metodou 3D tisku se zabýval výzkum na Univerzitě Palackého v Olomouci, který vyprodukoval velmi kvalitní tyflomapy vytvořené metodou sádrového 3D tisku, avšak stále finančně nákladné. Velkým přínosem tohoto výzkumu jsou především získané poznatky a zásady pro tvorbu tyflomap metodou 3D tisku.

V současné době se velmi rozšířil trh s nízkonákladovými 3D tiskárnami, jejichž pořizovací ceny i provoz jsou dostupné téměř komukoliv. Díky těmto skutečnostem je velkou výzvou tvorba hmatových map právě na těchto tiskárnách, kdy finanční náklady výsledného tisku tvoří pouze zlomek ceny stávajících přístupů výroby hmatových map.

1 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zkompletovat a otestovat tyflomapy, které byly vytvořené v rámci výzkumu na Katedře geoinformatiky UP v minulých letech a následně vytvořit a otestovat 3D tisk tyflomap na nových nízkonákladových 3D tiskárnách, které jsou k dispozici na Katedře geoinformatiky UP. Jednotlivé dílčí cíle byly stanoveny následovně:

- ✓ teoretická rešerše stavu řešené problematiky
- ✓ finalizace rozpracovaných multimediálních tyflomap z předchozího výzkumu na Katedře geoinformatiky UP
- ✓ návrh a otestování tvorby hmatových map na RepRap tiskárnách (dostupných na Katedře geoinformatiky UP)
- ✓ testování hotových hmatových map uživateli
- ✓ návrh manuálu pro tisk hmatových map na RepRap tiskárnách.

Jak je uvedeno výše, na základě předešlých poznatků bylo potřeba upravit staré tyflomapy pro potřeby 3D tisku na nových nízkonákladových tiskárnách a po otestování tyflomap a zjištění nových trendů vytvořit návrh tvorby využití nízkonákladových tiskáren pro tvorbu nových tyflomap. Dále bylo cílem práce provést zhodnocení možnosti využití multimediálních prvků u těchto nově vytvořených produktů. Součástí výstupů práce by měl být návod pro tvorbu tyflomap na nízkonákladových 3D tiskárnách. Výsledek práce by měl umožnit tvorbu hmatových map na 3D tiskárnách, jejichž výsledné náklady budou mnohonásobně levnější než stávající přístupy.

V průběhu realizace práce tedy ještě byly doplněny dva dílčí cíle, a to:

- ✓ zhodnocení možnosti využití multimediálních prvků na nových tyflomapách
- ✓ druhé uživatelské testování po zapracování připomínek a poznatků z prvního testování

Pro dosažení stanovených cílů byl zvolen postup, který byl konzultován se školitelkou práce a s odbornými konzultanty z Ústavu speciálněpedagogických studií Univerzity Palackého v Olomouci a z Tyflocentra.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Studium literatury

Před realizací práce bylo nejprve zapotřebí podrobné studium mnoha prací a projektů zabývajících se stejnou nebo podobnou problematikou a také návštěva a konzultace odborných pracovišť a organizací zabývajících se prací se zrakově hendikepovanými lidmi. Popis získaných poznatků je v kapitole *Stav řešené problematiky*. Z tohoto studia vyplývá, že existuje velké množství přístupů výroby tyflomap, avšak tvorba tyflomap metodou jednotlivého 3D tisku (tj. nikoliv hromadná výroba vakuových fólií, ale tisk jednotlivých map) je velmi málo rozšířená, jelikož je tato metoda poměrně novou a méně rozšířenou technologií a do poslední doby také finančně nákladnou. Finanční náklady na 3D tisk se však značně snížily se vstupem nízkonákladových 3D tiskáren na trh, které si s jejich pořizovací cenou může dovolit téměř každý. Tvorbou tyflomap na 3D tiskárnách se zatím ve světě zabývá jen několik projektů, které jsou taktéž popsány v kapitole *Stav řešené problematiky*.

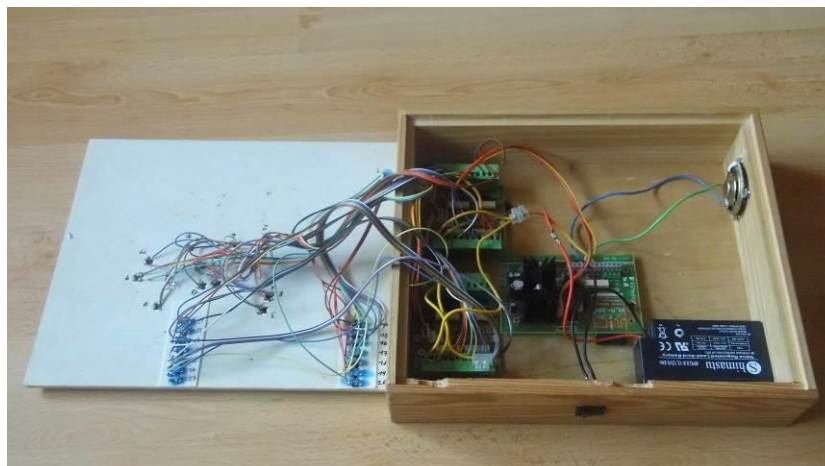
Studium současného stavu řešené problematiky

Jedním z projektů řešících studovanou problematiku byl projekt *Percepce geoprostorovu prostřednictvím tyflomap moderního typu*, který probíhal na Univerzitě Palackého v Olomouci v letech 2008 až 2010 a na němž se podílela Katedra geoinformatiky a Ústav speciálněpedagogických studií UP. Cílem tohoto projektu bylo zhodnotit a rozpracovat aspekty interpretace a percepce geoprostoru prostřednictvím prostorových informací na hmatových mapách (tyflomapách) moderního typu z pohledu současného stavu technologie kartografické tvorby v České republice (Voženílek a kol., 2010). Na základě studia tohoto projektu bylo snahou co nejvíce využít jeho poznatků a postupů při tvorbě tyflomap metodou 3D tisku. Významnými projekty pro tvorbu tyflomap prostřednictvím 3D tisku jsou také zahraniční přístupy, především výzkum Timo Goetzelmana, který popisuje v knize *Computers Helping People with Special Needs*, ve které je celá jedna část věnována inovacím a výzkumu v problematice hmatového vnímání nevidomých lidí. Tato část obsahuje kapitolu *Towards Automatically Generated Tactile Detail Maps by 3D Printers for Blind Persons*. Dalšími studovanými projekty věnujícími se 3D tisku tyflomap byly *Haptorender*, *TMACS*, *Versoteq* a *TMAP*.

Kompletace původních tyflomap

Pro kompletaci rozpracovaných tyflomap bylo zapotřebí nastudovat technické zpracování multimediálních tyflomap vytvořených v minulých letech na Katedře geoinformatiky UP a na jejich základě provést kompletaci těchto multimediálních 3D tyflomap. Tyto mapy byly vytisknuty v rámci projektu *Percepce geoprostorovu prostřednictvím tyflomap moderního typu*, avšak finančně náročnou cestou, jelikož tyto mapy byly tisknuty na 3D tiskárně s vysokými pořizovacími a provozními náklady (první prototyp stál v řádu desetitisíců korun). Bylo zapotřebí osvojit si jednotlivé fáze výroby a celkovou funkci zvukových modulů i se všemi jejich součástmi, kterými byly multimediální mapy osazovány. Jednalo se o přetvoření tyflomap typu A, které obsahují pouze hmatové informace, na typ C (klasifikace podle Voženílek a kol., 2010). Tato úprava spočívala v doplnění map o zvukovou složku. Zvuková mapa, nazvaná jako tyflomapa typu C, představuje kombinaci mapy typu A umístěné na krabici obsahující reproduktor, baterii a zvukový modul s nahranými zvukovými geoinformacemi

spustitelnými přes dotyková čidla přímo v tyflomapě (Voženílek a kol., 2010). Konkrétně byly navrtány otvory pro dotyková tlačítka, poté byla tlačítka nainstalována a propojena se zvukovým modulem, ke kterému je připojen zdroj energie a reproduktor.



Obr. 2.1 Zkompletovaná multimediální tyflomapa

Návrh tvorby tyflomap na nízkonákladových 3D tiskárnách

Na základě odborných konzultací, poznatků a zkušeností získaných studiem a kompletací tyflomap vyrobených v rámci projektu *Percepce geoprostorovu prostřednictvím tyflomap moderního typu* byl vytvořen návrh tvorby tyflomap tisknutelných na dostupných nízkonákladových 3D tiskárnách, který vycházel z podobného postupu kartografické tvorby jako původní tyflomapy. Změna spočívala především v úpravě mapových prvků, objektů v mapě a Braillova písma takovým způsobem, aby bylo možné je vytisknout z nových materiálů, které jsou běžně používány při tisku na nízkonákladových tiskárnách. Těchto změn bylo docíleno pomocí množství pokusných výtisků a testování jak autorem práce, tak i osobami se zrakovým postižením. Tyto výsledky jsou dále popsány v kapitole 5.

Testování uživateli a zapracování úprav

Po výtisku nízkonákladových 3D tyflomap a pokusných výtisků bylo zapotřebí zprostředkovat testování cílovými uživateli, díky kterým bylo realizováno porovnání kvality nových map s původními výtisky vzniklými v rámci projektu *Percepce geoprostorovu prostřednictvím tyflomap moderního typu* a následné zapracování nedostatků zjištěných na základě testování. Testování probíhalo ve spolupráci s Ústavem speciálněpedagogických studií a organizací Tyfloservis Olomouc.

Tvorba multimediálních 3D tyflomap

Proběhlo zapracování nedostatků zjištěných předchozím testováním a proběhla realizace nové multimediální tyflomapy, která probíhala obdobným způsobem jako tvorba původních tyflomap, avšak její základ tvoří mapa vytisknutá na nízkonákladové tiskárně a zvukový modul se všemi součástmi je uložen v plastové krabici. Díky těmto změnám má takto vyrobená mapa menší hmotnost a manipulace s ní je značně jednodušší.

Testování multimediálních 3D tyflomap

Po vytvoření multimediálních 3D tyflomap proběhlo další uživatelské testování, které bylo soustředěno především na nedostatky týkající se geoinformací interpretovaných ve zvukové formě a umístění jednotlivých dotykových senzorů.

Výsledný návrh obecného postupu tvorby

Výsledky všech těchto šetření a vypracování jsou shrnuty ve výsledném návrhu obecného postupu tvorby nízkonákladových 3D tyflomap, který je obsažen v přílohách této práce.

Výstupy práce

Finální výstupy práce jsou tvořeny vyhotovenou odbornou rešerší, sestavenými multimediálními 3D mapami vytisknutými v rámci projektu *Percepce geoprostorovu prostřednictvím tyflomap moderního typu*, vytisknutými a otestovanými nízkonákladovými mapami typu A a C, vytvořeným obecným postupem tvorby nízkonákladových map na základě předchozích poznatků, souborem doporučení a samotným textem této bakalářské práce.

Použité metody

Při tvorbě práce byly použity tyto metody:

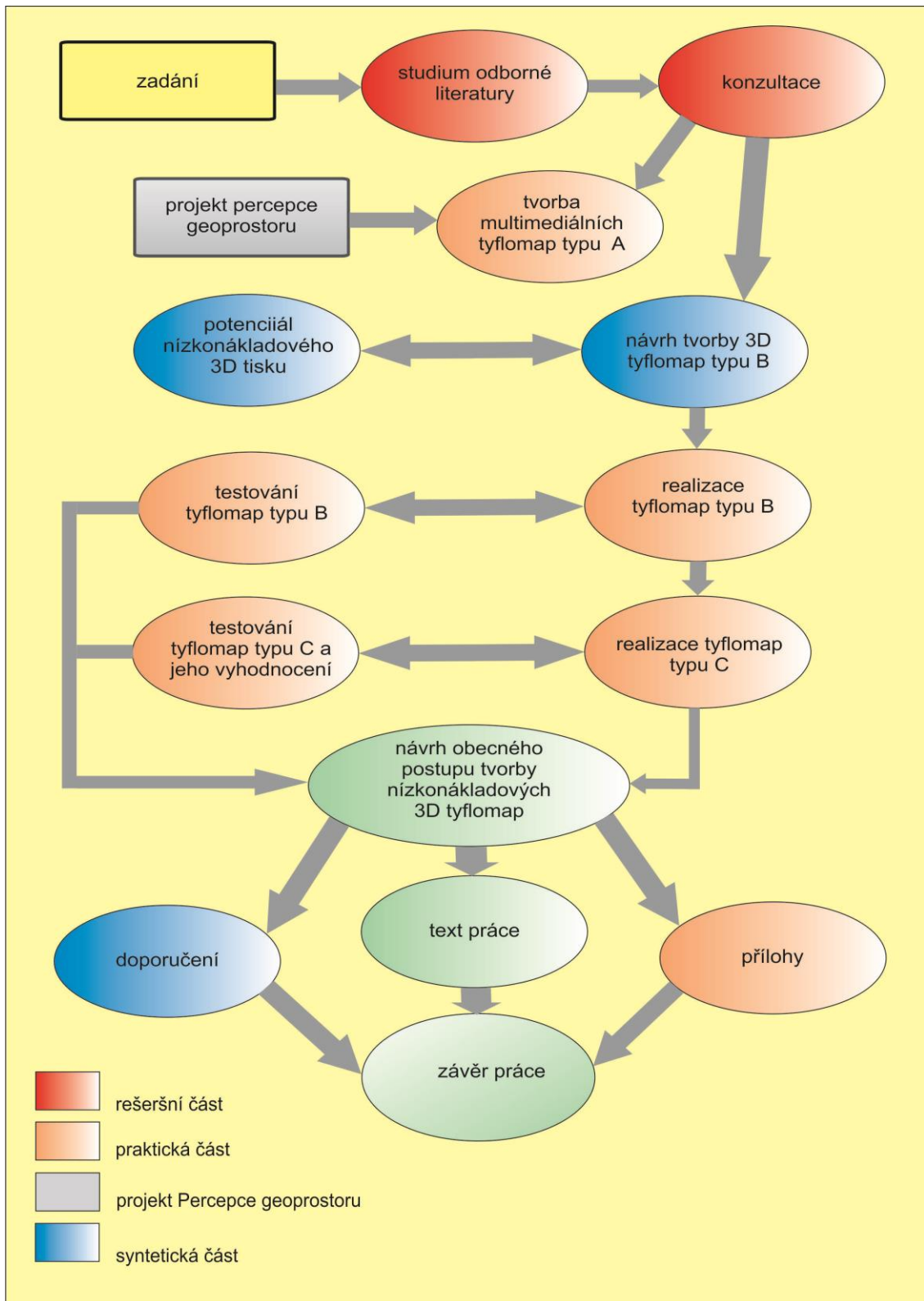
- Studium odborné literatury
- Odborné konzultace
- 3D modelace
- 3D tisk výsledných produktů
- Testování koncovými uživateli
- Návrh pracovního postupu

Použitá data

Pro tvorbu 3D tyflomap byla použita vlastní vytvořená data, datová sada ArcČR 500 a data vytvořená v rámci projektu Percepce geoprostoru

Použité programy

ArcGIS for Desktop 10.2, Blender 2.74, netfabb Basic 5.2, slic3r, Pronterface, RAMBO drivers, Voice Reader Studio 15 online demo, Audacity 2.1, bmp2iges



Obr. 2.2 Schéma pracovního postupu

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1 Hmatové vnímání osob s poruchou zraku

Většinu informací (80-90%) o okolním prostoru a prostředí člověk vnímá zrakovou cestou, proto je zrak jedním z nejdůležitějších smyslových analyzátorů našeho těla (Šikl, 2012). Osoby se zrakovým postižením se potýkají se závažnými problémy v oblasti prostorové orientace a také se sníženým příjmem informací o okolním světě (Červenka, 1999). Zrakový deficit je proto nahrazován nepoškozenými smysly, které částečně přebírají, zastupují a nahrazují jednotlivé funkce poškozeného analyzátoru. Nejvíce využívaná kompenzace je prostřednictvím hmatu a sluchu (Jesenský, 1988).

Podle Litvaka (1979) je oko i ruka nezávisle na sobě schopna vnímat tvar, velikost, směr, trojrozměrnost, klid a pohyb. Na základě těchto vlastností je tedy člověk s úplnou nebo částečnou ztrátou zraku schopen utvořit si představu o světě kolem sebe prostřednictvím hmatu. Při ohmatání předmětu rukou je nevidomý schopen získat o předmětu stejné informace jako zrakově s výjimkou barvy. Nevidomý si tedy pomocí hmatu prohlíží veškeré obrazy, glóbusy, mapy, plány a ostatní věci. (Jurášková 2010)

Pro tuto práci jsou podstatné především mapy uzpůsobené pro čtení hmatovým vnímáním.

3.1.1 Hmatové mapy

„Hmatová mapa je jednoduše definována jako mapa upravená pro vnímání hmatem. Hmatové kartografické dílo zahrnuje hmatové mapy a mapám příbuzná znázornění, především hmatové trojrozměrné modely a hmatové glóby“ (Červenka, 1999, s. 19).

Nevidomý si vytváří představu o lokalitě jako celku i o jednotlivých detailech dané lokality. U hmatových map není důležitý vzhled, ale její hmatový obsah. (Šplíchalová, 2012). Možností produkce tyflomap je několik. Nejjednodušší metodou je tzv. manuální technologie výroby, kdy je geoinformace zprostředkována kresbou na dlaň nebo na ruku, ruční výšivkou, ruční kresbou na slepecký papír nebo nanášení rychleschnoucích hustých barev. Dále se k tvorbě hmatových map používají strojové technologie výroby, jejichž společným znakem je vytlačení geoinformací do papíru, plastu a kovu. Dalšími strojovými technologiemi je tepelný tisk, tisk pogumovanými barvami a tisk jednoduchých grafík na braillovských tiskárnách (Voženílek a kol., 2010). Mapy vytvořené těmito strojovými metodami jsou kvalitní a dobře čitelné, avšak jejich výroba je poněkud technologicky a finančně náročná.

3.2 Moderní trendy v tyflokartografii

S rozvojem GPS navigace po roce 1999 a následně s rozšířením mobilních telefonů s dotykovými displeji vznikla řada moderních tyflokartografických řešení, umožňujících navigaci v geoprostoru s pomocí GPS integrované v přenosném zařízení s dotykovým displejem, nejčastěji v mobilním telefonu nebo tabletu. Pro tato zařízení vzniklo množství lokačních služeb a aplikací založených na využívání GPS, avšak většina podává informace pouze prostřednictvím vizuálních map pro zprostředkování prostorových informací. Řešením tohoto problému je použití nevizuální prezentace prostorových dat prostřednictvím zvukové a hmatové odezvy (Poppinga a kol. 2011). V současnosti se stále rozšiřuje nabídka aplikací, zprostředkovávajících geoinformace na základě GPS polohy a zvuku nebo vibrací. Jejich velkou výhodou je snadná přenositelnost a objemné množství informací, které mohou poskytnout. Mezi nejvýznamnější moderní tyflokartografické aplikace lze zařadit:

3.2.1 Ariadne GPS

Například aplikace Ariadne GPS vyvinutá pro chytré mobilní telefony umožňuje uživatelům seznamování s mapou města, názvy ulic nebo body zájmu dotekem displeje, kterým je spuštěna zvuková informace o daném místě (Zeng a Weber 2011). Aplikace zobrazuje polohu uživatele vždy uprostřed mapy. Uživatel může také prozkoumávat i ostatní místa mimo jeho polohu pomocí hlasového zadání adresy atd. (Ariadne GPS, 2015).

3.2.2 TouchOverMap

Podobnou funkci představuje i aplikace TouchOverMap, dostupná pro mobilní telefony s operačním systémem Android, která testuje použití zvuku a vibrací pro navigaci nevidomého po mapě zobrazené na displeji smartphonu. V současnosti je aplikace ve stádiu prototypu a prozatím je funkční pouze pro Švédsko a Velkou Británii.

3.2.3 Pocket Navigator

Velmi propracovanou a funkční aplikací je i aplikace PocketNavigator, která vyvinutá v rámci projektu *Haptimap*. Nevidomého naviguje pomocí intervalů vibrací telefonu. Každý směr představuje jinou frekvenci vibrace. Na rozdíl od zvukových navigací umožňuje tato aplikace plné soustředění nevidomého na zvuky kolem sebe, především dopravu a ostatní pohyb. (Pocket Navigator, 2015)

3.2.4 LightHouse – Tactile a Talking maps

Další moderní tyflokartografickou aplikací jsou zvukové mapy od americké organizace LightHouse. Oproti ostatním moderním řešením nefungují na principu GPS, ale tyto mapy jsou vytisknuty na speciálním papíře, jejichž obsah je zvukově interpretován prostřednictvím speciálního „chytrého“ pera Livescribe, které pomocí senzoru nahrává znaky a text do vlastní paměti a při pohybu perem nad těmito znaky je zvukově interpretuje uživateli.

3.2.5 Haptické mapy Seznam.cz

V rámci české republiky vznikl nový, finančně nenáročným projekt ve spolupráci společnosti Seznam.cz a středisek pro podporu vysokoškolského studie ELSA na ČVUT v Praze a Teiresiás na Masarykově univerzitě v Brně. Tento projekt umožňuje nevidomým možnosti, kdy si za pomoci webových map vytisknou jakékoliv území v České republice během několika minut. Vybraný mapový podklad je s ohledem na tyflografická pravidla převeden do grafického dokumentu, který je navržen pro technologie využívající takzvaný mikrokapslový papír. Na jeho teplocitlivou vrstvu se předloha standardním způsobem vytiskne a ve speciálním zařízení pomocí infračervené lampy zahřeje. Tímto tmavé kontury vystoupí nad povrch papíru a vytvoří hladký, dobře hmatný reliéf (Pavlíček, 2014). V rámci této práce byl proveden zkušební tisk těchto map metodou 3D tisku (viz. podkapitola 7.9)

3.3 3D tisk

Dalším, poměrně novým způsobem tvorby tyflomap je metoda 3D tisku. Technologie 3D tisku je velmi perspektivní pro tisk hmatových map – tzv. tyflomap pro lidi s postižením zraku, pro něž je prostorové vymodelování mapy nezbytné (Doležal, 2010).

Podle Matouška (2013), se vynález 3D tisku se datuje do 80. let 20. století, odkdy byl z velké části využíván především v průmyslu, kde má jedinečné uplatnění i dnes, avšak už jen třetinovým podílem. Největším využitím 3D tisku v průmyslu je tvorba prototypů, jejichž výroba jinými postupy by byla finančně a technicky náročnější. Efektivní využití v průmyslu má 3D tisk také při tvorbě součástí se složitou strukturou, které by jinými metodami nebylo možné vyrobit. Například součástky do letadel je možné pomocí 3D tisku vyrobit se stejnou pevností, ale nižší hmotností než původními metodami.

Kromě využití 3D tisku v průmyslu se v dnešní době používá například i pro tvorbu dokonalých implantátů lidského těla vytvořených 3D tiskem z kolagenové hmoty (Matoušek, 2013).

Metoda 3D tisku je v současné době velmi rychle se rozvíjející technologií. Počátek tohoto rozmachu nastal po roce 2003, kdy došlo k vypršení platnosti některých patentů.

Proto se v nedávné době na trhu objevily 3D tiskárny, jejichž pořizovací náklady jsou dostupné téměř komukoliv a je možné tyto tiskárny jakkoliv upravovat pro potřeby uživatele. Většina těchto dostupných tiskáren tiskne na principu nanášení vrstev roztaveného plastu. Díky tomuto trendu je v současnosti 3D tisk velmi rozšířený a nachází uplatnění v mnoha oborech.

V geoinformatice a geografii, je 3D tisk využíván především pro trojrozměrné modelování reliéfu a pro tvorbu modelů měst a budov (Doležal, 2010).

3.3.1 RepRap 3D tiskárny

Jelikož tato práce zahrnuje zhodnocení možností 3D tisku tyflomap na nízkonákladových tiskárnách, probíhal tisk na 3D tiskárně Prusa i3 od společnosti Prusa research, která vyrábí tiskárny typu RepRap. Hlavní ideou projektu RepRap bylo navrhnout 3D tiskárnu, na které bude možné vytisknout součástky na stavbu jiné 3D tiskárny. Tento projekt je Open Source, což umožňuje zapojit se do spolupráce nadšencům z celého světa. Díky tomu jsou nyní RepRap tiskárny nejrozšířenějším

druhem tiskáren na celém světě a jim také vděčíme za všechny dnešní tiskárny v hobby a polo profi segmentu (Průša, 2014).

Nejdůležitějšími částmi tiskárny *Prusa i3* jsou extruder a vyhřívaná podložka, na které dochází ke kompletaci výtisku. Jako tiskový materiál používá několik typů plastu.

Podle J. Průši (2014) je nejčastěji využíván plast typu ABS, který je také nejpoužívanějším typem pro 3D tisk a typ PLA, který je vhodný pro tisk modelů o větší velikosti než 20 × 20 cm. Tyto dva typy plastů by dle J. Průši 2014 měla podporovat každá 3D tiskárna.

3.3.2 Percepce geoprostoru prostřednictvím tyflomap moderního typu

Tento projekt probíhal v letech 2008 až 2010. Hlavní náplní tohoto projektu bylo zhodnocení a interpretace geoinformací prostřednictvím hmatových map vyrobených metodou 3D tisku a přiblížení české kartografické produkce hmatových map světové úrovni. Úkolem projektu bylo také zprostředkování možností pro další produkci a výzkum na poli tvorby map pro zrakově postižené (Voženílek a kol., 2010). Výstupy tohoto projektu byly nově vytvořené, v České republice naprosto ojedinělé prototypy tyflomap vyrobené metodou 3D tisku a výsledky testování mapových znaků pro využití v tyflomapách. Nově vzniklé tyflomapy moderního typu byly rozděleny do kategorií – A, B a C, podle množství informací, které podávaly. Tyflomapa typu C představuje kombinaci tyflomapy typu A umístěné na krabici obsahující reproduktor, baterii a zvukový modul s nahranými zvukovými geoinformacemi spustitelnými přes dotyková čidla přímo v tyflomapě (Voženílek a kol., 2010).

Tyflomapy vytisknuté v rámci tohoto projektu se setkaly s velmi pozitivním ohlasem zrakově postižených, avšak jejich velkou nevýhodou je značná křehkost a vysoké náklady na tisk, jelikož byly tisknuty metodou 3D tisku, která používá jako materiál sádrový prášek a speciální pojivo. Navíc byly tyto tyflomapy tisknuty na tiskárně s vysokou pořizovací cenou, která se promítla i do výsledné ceny produktu. Naopak výhodou tohoto tisku byla možnost různorodé barevnosti výtisků, která dle V. Voženílka a kol. (2010) je důležitá pro uživatele se zbytkem zraku i vidící pedagogy a rodiče.

Tvorbou tyflomap pomocí 3D tisku se ve své bakalářské práci zabýval také student katedry geoinformatiky na Univerzitě Palackého v Olomouci Jan Doležal, který se věnoval především problematice programové přípravy 3D dat pro tisk tyflomap. V této práci řešil převod formátu Esri shapefile do trojrozměrného prostoru, umožňující následné prostorové modelování. Tohoto převodu dosáhl pomocí exportu mapového souboru z prostředí softwaru ArcMap do formátu SVG (scalable vector graphics) a následně importu do open source softwaru pro práci s 3D grafikou Blender 2.49b.

Základem tvorby tyflomapy metodou 3D tisku je tedy značně zgeneralizovaná mapa s objekty vystouplými do prostoru a doplněná o titul, legendu a popis v Braillově písmu. Tyflomapy představují mnohem lepší a rychlejší způsob seznámení nevidomého s geoprostorem, který vnímá prostřednictvím hmatu a v případě tyflomap typu C i sluchu, než pouze čtený text (Voženílek a kol., 2010).

Největším přínosem projektu *Percepce geoprostoru prostřednictvím tyflomap moderního typu* je vytvoření základů a postupů pro tvorbu moderních tyflomap metodou 3D tisku, především díky rozsáhlému testování a výzkumu mapových prvků použitých v tyflomapách. Jelikož šlo o úspěšný projekt s velkým potenciálem, jsou v této práci využity prototypy tyflomap a poznatky získané v rámci tohoto projektu.

3.4 Zahraniční přístupy

Zahraniční trendy tvorby tyflomap metodou 3D tisku představují obecně především snahy o vytvoření systému automaticky generujícího tyflomapy území dle požadavků uživatele. Jedná se o velmi ojedinělé projekty, z nichž je velká část ve stádiu testování, a nejsou příliš rozšířené.

Ze zahraničních prací je významná pro tvorbu hmatových map především druhá část knihy *Computers Helping People with Special Needs*, ve které je celá jedna část věnována inovacím a výzkumu v problematice hmatového vnímání nevidomých lidí. Tato část obsahuje kapitolu *Towards Automatically Generated Tactile Detail Maps by 3D Printers for Blind Persons*. Götzelmann a Pavkovic (2014) v této kapitole popisují postup (polo)automatické tvorby detailních tyflomap, které je možné vytisknout na běžných 3D tiskárnách. Jejich práce je založena na definování souboru určitých pravidel a vyfiltrování některých informací z mapy, které nejsou v tyflomape žádoucí. Tento soubor pravidel obsahuje především míru generalizace map a přiřazení každé vrstvě rozdílnou výšku. Pro aplikaci pravidel využívají software Maperitive, který umožňuje nadefinování vlastních pravidel a možnost exportu výsledného mapového dokumentu do mnoha formátů. Výsledkem je rastrový soubor v odstínech šedi, kde je výška objektu vyjádřena odstínem šedi poloha. Finální fází je konstrukce geometrického modelu, který jsou schopné zpracovat běžné 3D tiskárny. Je vytvořena tzv. 3D síť, která obsahuje síť bodů se souřadnicemi X, Y, Z předdefinovaného modelu. Souřadnice Z tvoří zadaná výška jednotlivých pixelů rastru v odstínech šedi.

Podobným typem práce se zabývá slibně vypadající německý projekt **Haptorender**, který odstartoval v roce 2009, avšak stále je ve stádiu vývoje a byly prezentovány pouze prototypy manuálně vytvořených tyflomap vytisknutých na běžných 3D tiskárnách. V rámci Haptorenderu byla v roce 2009 vytisknuta první známá tyflomapa založená na datech OpenStreetMap (Haptorender 2009).

Další zahraniční významnou prací je japonský projekt **TMACS**, který pracuje jako automatický systém, ve kterém si uživatel zadá adresu nebo jméno budovy a je mu vytisknuta tyflomapa s tímto místem. Pracuje také s mapovými daty OpenStreetMap a tisk je realizován na kapsulový papír nikoliv metodou 3D tisku, avšak je možné vygenerovanou mapu vytisknout i na běžné 3D tiskárně (Watanabe 2014).

Metodou 3D tisku jsou vytvářeny mapy finské společnosti **Versoteq**, která se soustředí na tvorbu tyflomap pro veřejná prostranství. Versoteq vytváří 3D tyflomapy pomocí CAD softwaru a následně tiskne mapy ze sádrového prášku a pojiva. Díky tomu jsou tyto tyflomapy plně barevné a se značnou mírou detailnosti. Do budoucna chtějí převádět 2D data na 3D na základě databází OpenStreetMap. Tyto mapy pro veřejná prostranství obsahují i vlastní internetové stránky, kde je možné získat více informací v podobě zvukových hlášek (Versoteq, 2015)

Velmi významný je také americký projekt **TMAP**, který byl založen v roce 2003 s cílem vyvinout webově založený software pro rychlou tvorbu tyflomap ulic kdekoli v USA, které jsou navíc doplněny o audionahrávky, podávající neslyšícímu více informací o daném místě. V roce 2005 došlo v rámci projektu TMAP ke spolupráci se společností Touch Graphic, Inc. vyrábějícím Talking Tactile Tablet, který umožňuje kombinaci hmatového a sluchového vjemu (TMAP 2004).

4 KOMPLETACE PŮVODNÍCH TYFLOMAP

Tato kapitola obsahuje podrobný popis kompletace vytvořených tyfloomap v rámci projektu Percepce geoprostoru, které byly vytisknuty metodou 3D tisku z kombinace sádrového prášku a pojiva. Šlo především o doplnění tyfloomap o zvukovou složku umožňující hlasový popis objektů obsažených v mapě. Tyto zvukové geoinformace byly spustitelné tlačítka zabudovanými v mapě a připojenými na zvukový modul. Byly zkompletovány celkem čtyři tyfloomapy, z toho tři památek UNESCO v České republice a jedna mapa států Evropy.

4.1 Osazení tyfloomapy tlačítka

Pro zabudování tlačítek bylo nejprve zapotřebí vyvrtat do tyfloomap vhodné otvory, do kterých byly následně instalována tlačítka. Avšak tyfloomapy vytvořené na 3D tiskárně, používající jako tiskový materiál sádrový prášek s pojivem jsou velmi křehké a z tohoto důvodu bylo zapotřebí provádět vyvrtání otvorů velmi opatrně. Při neopatrném postupu navrtávání mohlo dojít k nenávratnému poškození tyfloomapy. Pro osazení tyfloomap byly vybrány mikrospínače na 12V s rozměry 9 x 6 mm.



Obr. 4.1 Tlačítka použitá pro instalaci do tyfloomapy (zdroj: GM ELECTRONIC)



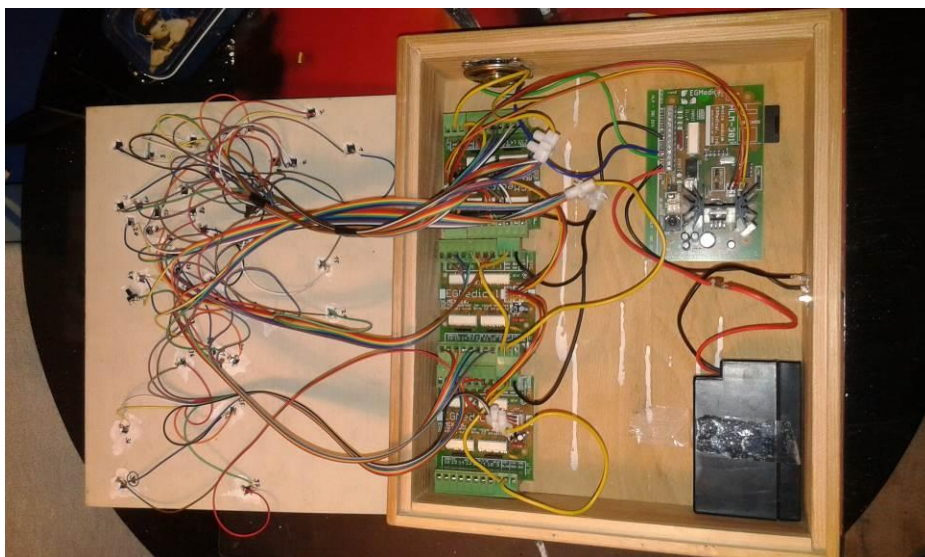
Obr 4.2 Nainstalované tlačítko v tyfloomapě – horní a spodní strana tlačítka

Následný krok spočíval v upevnění tlačítek do vyvrtaných otvorů v mapě. Tento krok byl zrealizován pomocí akrylátového tmelu, který musel být nanesen správným způsobem tak, aby tlačítko ve vyvrtaném otvoru sedělo pevně a zároveň aby nebyl tmelen ucpán mechanismus tlačítka s kontakty pro zapojení vodičů.

4.2 Připojení tlačítek ke zvukovému modulu

Po instalaci tlačítek do předvrtaných otvorů byla tlačítka připojena ke zvukovému modulu HLM-301 prostřednictvím expandéru, který umožňuje připojení až šestnácti vstupů pro spouštění šestnácti různých hlášek. Připojení tlačítek bylo provedeno metodou letování, kdy ke každému tlačítku byly přiletovány dva vodiče, z nichž jeden směřuje do svorkovnice na expandéru, která je označena čísly pro snadnější rozlišení a očíslování hlášky. Druhý vodič pak směřuje do společného umístění na svorkovnici, které je určeno pro záporné póly. Expandér je připojen čtyřžilovým kabelem k desce zvukového modulu do čtyřpinové zásuvky. Tento čtyřbodový kabel přenáší data a současně i napájení napětí pro expandér.

Při kompletaci tyflomapy států Evropy muselo být přistoupeno k použití tří expandérů připojených ke zvukovému modulu, jelikož mapa států Evropy obsahuje 38 zvukových hlášek. Do volné čtyřpinové zásuvky prvního expandéru byl připojen vodičem expandér druhý a do jeho volné zásuvky expandér třetí.



Obr. 4.3 Připojení tlačítek tyflomapy států Evropy

4.3 Montáž součástí zvukové krabice

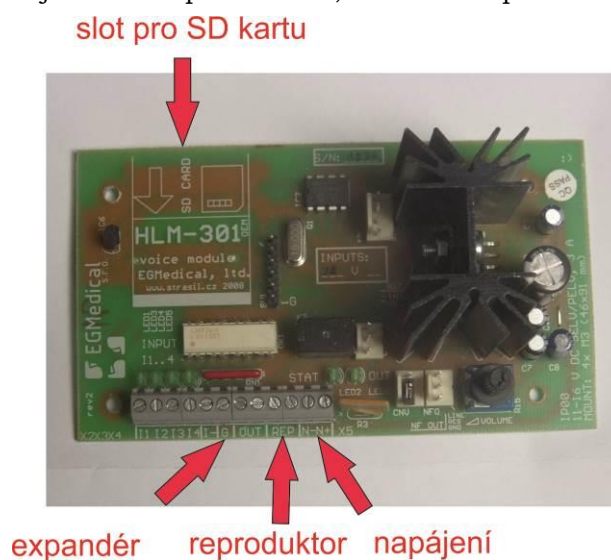
Zvuková krabice, na niž je tyflomapa nasazena obsahuje kromě zvukového modulu a expandéru také zdroj napětí, kterým je baterie nebo zdiřka pro napájecí kabel se zástrčkou do běžné elektrické zásuvky a reproduktor. Celá zvuková krabice funguje pod napětím 12V. Jelikož dochází k odběru energie i při klidovém režimu zvukového modulu, bylo zapotřebí doplnit zvukovou krabici o vypínač, který je umístěn ve vyvrtaném otvoru na přední straně zvukové krabice. Reproduktor je osazen podobným způsobem do vyvrtaného otvoru jako vypínač. Baterie byla ve zvukové krabici upevněna pouze páskou, jelikož nevyžaduje žádné specifické přístupy pro instalaci do zvukové krabice, ale bylo nutné zabránit jejímu volnému pohybu.

Nejdůležitějším prvkem celé zvukové krabice ale pořád zůstává zvukový modul HLM-301 od firmy Strašil Elektronika složka EG Medical, s.r.o.

Zvukový modul HLM-301 je automatický digitální hlásič. Jako paměť používá paměťovou SD kartu o kapacitě do 2GB, speciální verze může využívat paměťovou kartu o kapacitě až 8GB.

Zvukový modul tvoří centrum celé zvukové krabice, jelikož propojuje veškeré součásti zvukové krabice a umožňuje vstup i výstup nahraných zvukových geoinformací. Stejně jako expandér je zvukový modul připevněn ke zvukové krabici čtyřmi šrouby, které se umísťují do děr na desce zvukového modulu.

Hlásič je stejně jako expandér osazen svorkovnicí s označenými vstupy pro snadné připojení vodičů směřujících od reproduktoru, baterie a expandéru (viz. Obr. 4.4.).



Obr. 4.4 Zvukový modul HLM-301 s popisky pro zapojení

4.4 Tvorba a nahrání hlášek do zvukového modulu

Při dokončení montáže veškerých součástí zvukové krabice dochází k finálnímu nahrání hlášek na paměťovou kartu, která slouží jako zdroj dat pro zvukový modul.

Nahrávání hlášek probíhá pomocí softwaru DirectDisc, který je dodáván společně se zvukovým modulem na CD nosiči, nebo na webových stránkách výrobce. Aby program DirectDisc mohl komunikovat s SD kartou, musí být karta naformátována. Naformátování paměťového média probíhá při spuštění programu DirectDisc, který se uživatele sám dotazuje, zda má být SD karta naformátována.

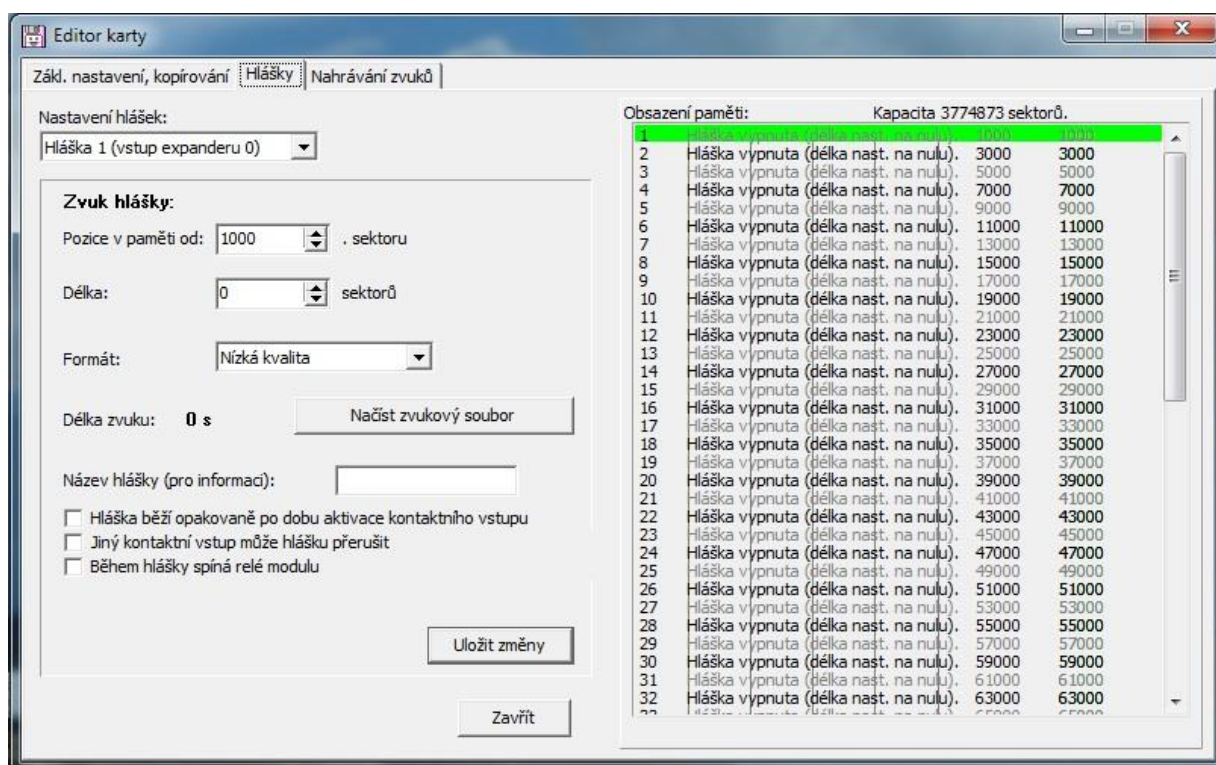
Před samotným nahráním hlášek na paměťové médium, je zapotřebí vytvořit potřebné zvukové stopy. Tento krok lze provést pomocí libovolného softwaru umožňujícího převod textu na řeč a následného exportu do formátu mp3. Po vyhodnocení možností využití jednotlivých softwarových řešení se jeví jako optimální použití softwaru Voice Reader Studio 15 online demo. Tento software má velmi kvalitní interpretaci českého jazyka, velmi dobře rozeznává diakritiku i interpunkci.

Ojedinele dochází ke špatnému skloňování číslic, kterému je možné zamezit zadáním číslice v textovém přepisu.

Po uložení nahraných zvukových hlášek je zapotřebí je následně upravit tak, aby bylo možné je nahrát na specificky naformátovanou paměťovou kartu určenou pro komunikaci se zvukovým modulem HLM-301. Zvukový modul a jeho nahrávací software DirectDisc totiž umožňují nahrát pouze stereo zvukové stopy nahrané v kmitočtu 44100 Hz. Avšak software Vocice Reader ukládá pouze mono zvukové soubory v kmitočtu 22050 Hz. Úpravu uložených zvukových souborů je tedy nutné provést v audio

editačním softwaru, který hlášky uloží v požadované podobě. K této úpravě byl zvolen freeware software Audacity 2.1 především z důvodu jeho dostupnosti a množství funkcí, které nabízí. V prostředí softwaru Audacity 2.1 je vybraný zvukový soubor zduplikován a následně jsou tyto dvě shodné zvukové stopy exportovány jako stereo zvuk v kmitočtu 44100 Hz.

Po dokončení potřebných zvukových editací uložených hlášek dochází k samotnému nahrání těchto zvukových souborů na paměťovou kartu. Nahrávání probíhá jednotlivě soubor po souboru, kdy má každá stopa přiřazené číslo, pod kterým je označena pro snadné přiřazení hlášky a vstupního tlačítka spouštějícího nahranou zvukovou hlášku. Při nahrávání je důležité dbát na rozložení datového toku, kdy musí být soubory na paměťové kartě uloženy tak, aby se vzájemně nepřekrývaly. Toto překrytí může nastat z důvodu specifického formátování paměťové karty pro zvukový modul, kdy jsou zvukové soubory na paměťové kartě uloženy ve formě souvislého bloku dat – metodu uložení je možné připodobnit k magnetofonové páске s počítadlem. Pro každý zvukový soubor je třeba nastavit určitý datový sektor.



Obr. 4.5 Prostředí softwaru DirectDisc pro nahrání zvukových souborů

5 MOŽNOSTI NÍZKONÁKLADOVÉHO 3D TISKU

Po nastavení optimálních parametrů pro 3D tisk byl proveden pokusný nátisk tyflomap. K tomuto účelu byly použity počítačové modely tyflomap tištěných v minulosti v rámci projektu Percepce Geoprostoru a další, nově vytvořené pokusné výtisky. Tyto modely bylo nutné především specificky přepracovat pro potřeby 3D tisku na nízkonákladových tiskárnách, u nichž je tisk realizován z odlišného materiálu, než pro který byly původní tyflomapy navrženy. Na základě poznatků získaných studiemi tvorby původních tyflomap, odborných konzultací, technologických možností 3D tiskárny a softwaru pro 3D tisk byl navržen koncept tvorby tyflomap na nízkonákladových tiskárnách, který obsahuje především skloubení tyflografických pravidel a technologických možností 3D tiskárny. Veškerý tisk byl realizován na tiskárně Prusa i3.

5.1 Přetisk původních modelů

V první řadě bylo zapotřebí vytisknout původní tyflomapy bez jakýchkoliv úprav a změn, aby bylo možné porovnat původní výtisky s novými a detekovat nedostatky při tisku na nízkonákladových 3D tiskárnách. Původní tyflomapy byly získané ve formě 3D modelů vytvořených v open source softwaru pro 3D modelaci Blender. Data pro tisk těchto modelů byla patřičně převedena tak, aby je bylo možno odeslat do 3D tiskárny.

Veškerý 3D tisk byl realizován na tiskárnách *Prusa i3* typu *RepRap*. Při 3D tisku bylo zapotřebí nejprve vyřešit rozměrové omezení tiskárny, které neumožňuje tisk většího modelu než je 19 × 19 cm. Podle zavedených pravidel pro tvorbu tyflografiky by veškeré informace v mapě měly být v dosahu rozevřených rukou (Voženilek a kol., 2010). Na základě těchto pravidel byly původní tyflomapy tisknuty v rozměrech cca 25 × 25 cm a bylo zapotřebí modely před odesláním k tisku rozřezat na menší díly. Z původních dat byly tisknuty tyto tyflomapy:

- **Nezaměstnanost v krajích ČR k 31. 12. 2008** (viz. Obr. 5.1)
- **část přednádražního prostoru v Olomouci** (viz. Obr. 5.4)
- **část Pámátek UNESCO v ČR**



Obr. 5.1 Míra nezaměstnanosti v krajích ČR – původní verze a přetisk

Po vytisknutí původních tyflomap na nízkonákladových 3D tiskárnách bylo následně vysledováno, že tento tisk je realizován s menší mírou detailnosti než původní sádrové výtisky, kdy je tiskový materiál nanášen ve vrstvách po 0,5 mm a z tohoto důvodu není možné na této tiskárně vytisknout menší objekt. Tento problém byl vysledován především při tisku Braillova písma a tisku drobných struktur povrchů. Další problém tvořily především příliš tenké a příliš vystouplé objekty, které byly u nového tisku náchylnější k odlomení při neopatrné manipulaci s tyflomapou. To se projevovalo například při vytisknutí přednádražního prostoru v Olomouci, kde se při přetisknutí na 3D tiskárně Prusa i3 některé části odlamovaly nebo byly velmi nepříjemné na dotek na rozdíl od původního výtisku (obr. 5.4).

Další významnou změnou oproti předešlým výtiskům je jednobarevnost výtisků při nízkonákladovém 3D tisku, která zhoršuje orientaci v mapě uživatelům se zbytky zraku nebo asistentům. Existují i RepRap vícebarevné tiskárny, ty jsou však stále řádově nákladnější, než tiskárny jednobarevné.



Obr. 5.4 Část tyflomapy přednádražního prostoru – nový výtisk a původní sádrový

Pro vyhovující výsledek tisku je také zapotřebí vhodně zvolit materiál, ze kterého bude model vytisknut. Nízkonákladové 3D tiskárny používají v drtivé většině jako tiskový materiál plast, avšak ten se dělí na mnoho druhů s různými vlastnostmi. První výtisky byly provedeny z ABS plastu, který se ovšem ukázal jako velmi nevyhovující, jelikož umožňoval pouze tisk objektů se základnou maximálně 16 × 16 cm. Při tisku o větších rozměrech podléhal kroucení a deformaci z důvodu značné tepelné roztažnosti.

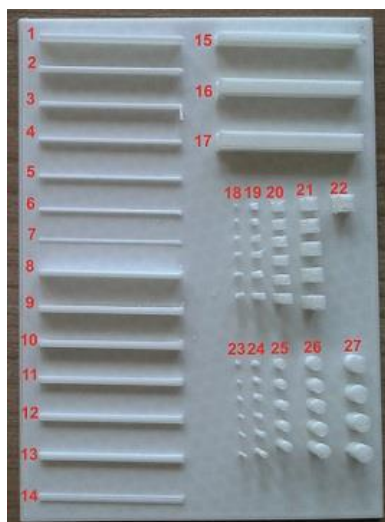


Obr. 5.2 Pokusný výtisk č.1 z ABS plastu o rozměrech 14 × 9 × 0,4 cm

Provedením mnoha tiskových pokusů se pro tisk tyflomap na nízkonákladových 3D tiskárnách nejlépe osvědčil tiskový materiál PLA – polylactid acid, který má velmi malou teplotní roztažnost a proto je ideální pro tisk rozměrnějších modelů nad 16 × 16 cm. Jeho další výhodou je jeho biologická odbouratelnost v rámci měsíců, jelikož je vyroben z kukuřičného škrobu.

5.2 Úprava mapových prvků

Na základě vyhodnocení poznatků při 3D tisku původních tyflomap na nových 3D tiskárnách byl vytvořen návrh pro tvorbu nových tyflomap přizpůsobených pro tisk z plastového materiálu PLA používaného v nízkonákladových 3D tiskárnách moderního typu. Tento návrh vznikl na základě pokusného tisku, jehož cílem bylo otestování pevnosti a hmatatelnosti vytisknutých objektů. Byly zkoumány především možnosti, do jaké míry zmenšení je objekty možné vytisknout, aby byly zachovány již zmíněné vlastnosti.



Obr. 5.1 vytisknutý vzorník linií a objektů

Testovací tisknutí bylo zaměřeno na výšku a tloušťku liniových prvků, velikost základních geometrických tvarů, vlastností Braillova písma a rozměrů prohloubených míst v tyflomapě. Testování probíhalo pomocí vytisknutých vzorníků obsahujících rozměrové možnosti jednotlivých mapových prvků. V případě vzorníků zaměřených na otestování odolnosti proti odlomení objektů bylo testování provedeno pouze autorem práce. Při testování Braillova písma a rozměrů prohloubených míst v mapě byly tyto

vzorníky testovány nevidomými osobami při prvním a druhém testování (viz. kapitola 6 a 8). Při testování liniových prvků byly vytisknuty linie o délce 4 cm a tloušťce a výšce v rozsahu 1 cm až 1 mm. Vlastnosti jednotlivých liniových prvků je uveden v tabulce 5.1. Při testování linií bylo vysledováno, že by se v mapě neměly vyskytovat příliš tenké a vysoké linie, které jsou jednak příliš ostré při hmatovém kontaktu a navíc hrozí jejich odlomení. Na základě těchto pokusů je doporučeno netisknout linie s menší tloušťkou než 3 mm tak, aby výška přesahovala jejich tloušťku. Testovací tisk objektů byl realizován s nastavenými parametry pro detailní tisk rozměrných modelů – tedy z materiálu PLA, průměrem trysky 0,4 mm a výškou nanášené vrstvy 0,152 mm (viz. podkapitola 7.6)

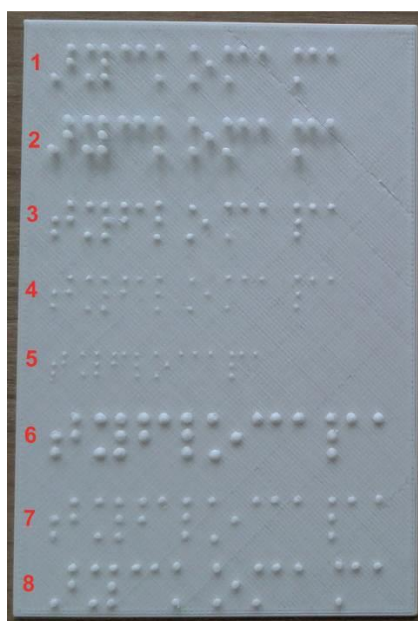
Tab. 5.1 Vlastnosti testovacích výtisků linií

číslo linie na vzorníku	rozměr	pozitiva	negativa
1	40 × 1 × 5 mm	-	ostrá, odlomitelná
2	40 × 1 × 4 mm	-	ostrá
3	40 × 1 × 3 mm	pevná	ostrá
4	40 × 1 × 2 mm	pevná	-
5	40 × 1 × 1 mm	-	-
6	40 × 1 × 0,5 mm	-	-
7	40 × 1 × 0,3 mm	-	hůře hmatatelná
8	40 × 2 × 5 mm	-	odlomitelná
9	40 × 2 × 4 mm	-	-
10	40 × 2 × 3 mm	-	-
11	40 × 2 × 2 mm	-	-
12	40 × 2 × 1,5 mm	-	-
13	40 × 2 × 1 mm	-	-
14	40 × 2 × 0,5 mm	-	-
15	40 × 2 × 5 mm	-	-
16	40 × 3 × 5 mm	-	-
17	40 × 4 × 5 mm	-	-

Další testování bylo založeno na určení možnosti, jakou minimální velikost objektu lze v tyflomapě použít, aby byl objekt hmatově dobře čitelný, vhodně rozlišitelný od ostatních objektů a odolný proti odlomení. K tomuto účelu byl vytvořen vzorník kvádrů a válců, jejichž rozměry byly od 0,5 mm do 5 mm. Z těchto testovacích výsledků vyplynulo, že při tisku objektu o rozměru základny 0,5 × 0,5 mm dojde vždy k odlomení. Při tisku objektu o základně 1 × 1 mm dochází k odlomení při vyšší výšce než 1 mm, u objektů se základnou 2 × 2 mm může dojít k odlomení objektu při výšce nad 3 až 4 mm. U objektů s plošnými rozměry 4 × 4 mm už nedochází k odlomení ani při výšce 8 mm. Větší výška se však u takto tenkých objektů nedoporučuje. Jednotlivé pevnostní vlastnosti objektů závisí také na momentální tiskové kvalitě tiskárny, jelikož občas při výtiscích docházelo k výtisku objektů o různé výsledné kvalitě tisku při opakovaném tisku stejného modelu. Hmatové rozlišení jednotlivých objektů je jednoznačné od rozměrů geometrického tvaru 3 × 3 mm. Tohoto zjištění bylo dosažení na základě testování s koncovými uživateli, kdy bylo testováno, od jakého rozměru je jednoznačně hmatem rozlišitelná krychle od válce.

5.3 Tvorba a testování Braillova písma

Náročnou částí této práce bylo vytvoření Braillova písma pro popis v tyflomapách tak, aby byly zachovány jeho tyflografické zásady a aby jeho tvorbu umožnily technologické vlastnosti 3D tiskárny. Pro nalezení optimálního řešení při 3D tisku Braillova písma bylo provedeno velké množství tiskových pokusů, které byly následně testovány a hodnoceny jejich tyflografické vlastnosti. Výstupem těchto testování jsou vytisknuté vzorníky, na nichž byly testována vhodnost využití pro popis v tyflomapách vytvořených metodou nízkonákladového 3D tisku. Tiskové nastavení bylo shodné jako v předešlém případě, tedy realizován s nastavenými parametry pro detailní tisk rozměrných modelů – tedy z materiálu PLA, průměrem trysky 0,4 mm a výškou nanášené vrstvy 0,152 mm (viz. podkapitola 7.6) Vlastnosti jednotlivých druhů písem jsou uvedeny v tabulce 5.3.



Obr 5.1 Vytisknutý vzorník Braillova písma

Tab. 5.3 Vlastnosti testovacích výtisků Braillova písma



číslo řádku vzorníku	rozměr bodu	pozitiva	negativa
1	font z = 1 mm	vhodná čitelnost, neřeže do prstů	náchylné k odlomení
2	font z = 2 mm	vhodná čitelnost	náchylné k odlomení
3	model 2 × 1 mm	velmi pevné, neodlomitelné	místy výskyt ostrých hran
4	model 1 × 1 mm	-	velmi ostré, nečitelné
5	model 1 × 1 mm těsněji	-	velmi ostré a malé, nečitelné
6	model 3 × 1 mm	velmi pevné, dobře čitelné	ojediněle ostré hrany, nestandardní rozměr
7	model 2 × 1 mm	čitelné, pevné	-
8	font size 15 z = 1 mm	čitelné, pevné	-



Při počátečních pokusných výtiscích bylo Braillovo písmo modelováno pomocí nahraného fontu do modelovacího programu Blender 2.73, poté vypsáno do požadovaného textu v Braillově písmu ve 2D následovaného jeho vytažením do prostoru v podobě malých válečků, které se na základě testování projevilo jako nevhodné z důvodu jeho ostrosti při hmatovém čtení a náchylnosti k odlomení při silnějším hmatovém kontaktu.


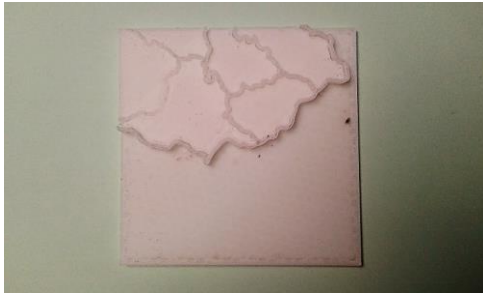
Na základě množství pokusů bylo přistoupeno k modelaci Braillova písma pomocí vymodelovaných polokoulí, které byly rozmístovány do souborů odpovídajícím podobě jednotlivým znakům Braillova písma. Poté byla testována velikost jednotlivých polokoulí a jejich vzájemné rozmístění tak, aby se výsledek co nejvíce přibližoval podobě Braillova písma dle tyflografických pravidel. Na základě tohoto testování byla zvolena optimální varianta modelace Braillova písma v podobě polokoulí o rozměrech 2 × 1 mm s mezerou mezi nejbližšími polokoulemi o velikosti 2 mm. Pro usnadnění modelace Braillova písma při tvorbě jednotlivých tyflomap byla na základě těchto poznatků vymodelována abeceda a číselné znaky v Braillově písmu. Z tohoto modelu pak byly jednotlivé znaky dle potřeb kopírovány a vkládány do nově modelovaných tyflomap určených pro výrobu nízkonákladovým 3D tiskem.

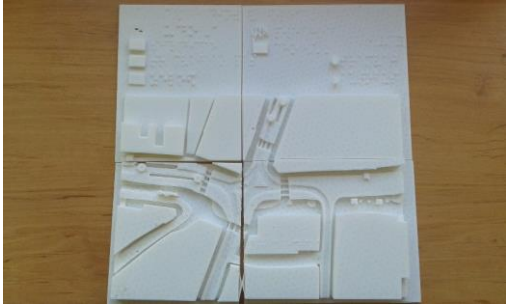
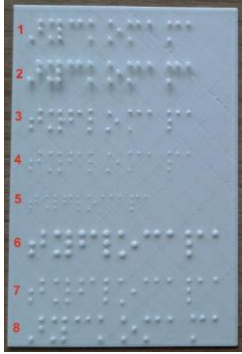
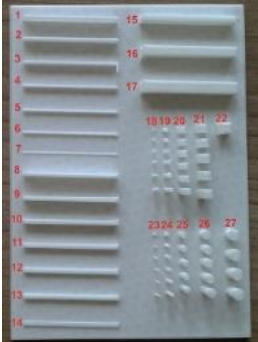
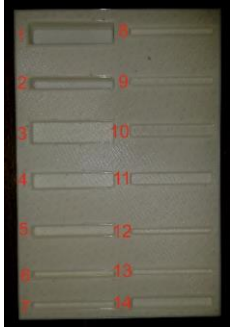
5.4 Soubor pokusných výtisků


Pro ucelenou přehlednost o realizovaných výtiscích a jejich výsledcích byl vytvořen soubor všech těchto pokusných výtisků, obsahující informace o jejich negativěch, pozitivěch, jejich celkových vlastnostech. Na základě těchto výtisků bylo přistoupeno ke změnám vedoucím k opravě a dosažení finálních výtisků bez chyb.

Název mapy/pokusu: Česká republika - pokus 1		Název mapy/pokusu: nám. Národních hrdinů - pokus 2	
Cíl: ověření základních možností 3D tisku		Cíl: ověření detailnosti tisku a tisku nového modelu	
Rozsah testování: testováno autorem práce		Rozsah testování: testováno autorem práce	
Použitý materiál: ABS plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0.252 mm)		Použitý materiál: ABS plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0.252 mm)	
Rozměr: 14 × 9 × 0,4 cm		Rozměr: 14 × 14 × 0,6 cm	
Foto: 		Foto: 	
Negativa	Pozitiva	Negativa	Pozitiva
omezený rozměr	vysoká odolnost	omezený rozměr	vysoká odolnost
kroucení ABS plastu	splněn cíl výtisku	kroucení ABS plastu	částečně splněn cíl výtisku
malá detailnost		malá detailnost	

Název mapy/pokusu: Míra nezaměstnanosti v krajích ČR		Název mapy/pokusu: Míra nezaměstnanosti v krajích ČR	
Cíl: přetisk datového modelu původní mapy		Cíl: finální výtisk mapy	
Rozsah testování: testováno autorem práce		Rozsah testování: testováno autorem práce a při prvním testování uživateli	
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,252 mm)		Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm)	
Rozměr: 25 × 21 × 1 cm		Rozměr: 32 × 25 × 1,5 cm	
Foto:		Foto:	
			
Negativa	Pozitiva	Negativa	Pozitiva
velmi nízká detailnost	částečně splněn cíl výtisku	příliš vysoké písmo	vhodný rozměr
špatný přetisk Braillova písma a struktury povrchu	vhodný rozměr	písmo tisknuto v podobě malých válečků	vše dobře hmatatelné až na písmo použitelné

Název mapy/pokusu: část přednádražního prostoru		Název mapy/pokusu: část mapy památek UNESCO	
Cíl: přetisk datového modelu původní mapy		Cíl: přetisk datového modelu původní mapy	
Rozsah testování: testováno autorem práce		Rozsah testování: testováno autorem práce	
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm)		Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,252 mm)	
Rozměr: 14,5 × 12 × 1,5 cm		Rozměr: 14,5 × 12 × 1 cm	
Foto:		Foto:	
			
Negativa	Pozitiva	Negativa	Pozitiva
odlamování některých částí	částečně splněn cíl výtisku	vytisknutí hranic krajů "do vzduchu"	částečně splněn cíl výtisku
špatný přetisk Braillova písma a struktury povrchu		špatný přetisk Braillova písma a struktury povrchu	

Název mapy/pokusu: nám. Národních hrdinů Cíl: finální výtisk nového modelu Rozsah testování: testováno autorem práce Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm) Rozměr: 24,5 × 24,5 × 1,5 cm Foto: 		Název mapy/pokusu: vzorník Braillova písma Cíl: otestování možnosti Braillova písma Rozsah testování: testováno nevidomými osobami v rámci prvního i druhého testování Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm) Rozměr: viz. tab. 5.3 Foto: 	
Negativa	Pozitiva	Negativa	Pozitiva
špatný výtisk Braillova písma drobné deformace při tisku	model vhodný, ale je zapotřebí zvětšit výtisk	viz. tab. 5.3	
špatně hmatatelné některé části			
nesplněn cíl			
Název mapy/pokusu: vzorník linií a objektů Cíl: otestování pevnosti a hmatatelnosti objektů v mapě Rozsah testování: testováno nevidomými osobami v rámci prvního i druhého testování a autorem práce Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm) Rozměr: viz. tab. 5.1 Foto: 		Název mapy/pokusu: vzorník prohlubní Cíl: otestování hmatatelnosti prohloubených míst v mapě Rozsah testování: testováno autorem práce Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm) Rozměr: viz. kapitola 5.2 Foto: 	
Negativa	Pozitiva	Negativa	Pozitiva
viz. tab. 5.1		viz. kapitola 5.2	

Název mapy/pokusu: vzorník Braillova písma	
Cíl: otestování velikosti a tvaru modelovaného Braillova písma	
Rozsah testování: testováno autorem práce a nevidomými při prvním testování	
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm)	
Rozeř: -	
Foto:	
	
Negativa	Pozitiva
většina pokusů nepoužitelných	částečně splněn cíl výtisku
množství ostrých řádků	zjištěna vhodnější metoda
některé řádky velmi nestandardní	modelace jednotlivých bodů

6 PRVNÍ TESTOVÁNÍ KONCOVÝMI UŽIVATELI

Po zaznamenání veškerých výsledovaných poznatků proběhlo testování doposud vytisknutých pokusných map a vzorníků pro stanovení základních pravidel pro tisk tyflomap na nízkonákladových 3D tiskárnách. Připomínky vznesené při tomto zpracování byly pečlivě zaznamenány jednotlivé modely příslušně opraveny. Především došlo ke zvětšení rozměrů některých map a optimalizaci Braillova písma.

6.1 Průběh testování

Testování bylo realizováno na základě konzultací a doporučení osvojených ve spolupráci s Ústavem speciálněpedagogických studií na Univerzitě Palackého v Olomouci. Pokusné výtisky byly realizovány především na základě studia literatury, a proto bylo nezbytné je zkonzultovat a otestovat odborníky a cílovými uživateli. Respondenti se skládali ze dvou nevidomých pracovníků Ústavu speciálněpedagogických studií UP a jednoho nevidomého studenta Přírodovědecké fakulty na Univerzitě Palackého. Byly testovány především kvalitativní aspekty zahrnující tvar a čitelnost Braillova písma, hmatatelnost všech objektů v mapě a jejich rozlišení od ostatních objektů. Jednalo se o podrobné kvalitativní testování, kdy bylo s respondenty o mapách podrobně hovořeno. Proto je počet tří respondentů dostačující. Z testování nebyly vyvozovány žádné kvantitativní údaje.

6.2 Testované výtisky a vyvozené poznatky

Při prvním testování byly testovány následující mapy (podrobnější charakteristika v kapitole 5.4) s následujícími nejdůležitějšími poznatky:

- **Míra nezaměstnanosti v krajích ČR – finální výtisk**

Tato tyflomapa byla shledána jako velmi vhodná, ovšem s nutností změny Braillova písma, které bylo vymodelováno příliš vystouplé ve tvaru válečků a tudíž mimo standardy pro tvorbu Braillova písma

- **Náměstí Národních hrdinů – finální výtisk nového modelu**

Bylo shledány pozitivní ohlasy ohledně výběru lokality, jelikož se jedná o velmi nepřehlednou část města s frekventovanou dopravou. Bylo doporučeno pozměnit především rozměr tyflomapy takovým způsobem, aby byly i úzké prohlubně dostatečně hmatatelné.

- **Vzorník Braillova písma - otestování velikosti a tvaru modelovaného**

Braillova písma – většina řádků byla shledána jako velmi se odlišující od standardů – jako vhodné se jevily pouze dva řádky vytvořené modelací polokoulí umístěných ve tvaru znaků Braillovy znakové abecedy

7 PRACOVNÍ POSTUP TVORBY TYFLOMAP PRO NÍZKONÁKLADOVÝ 3D TISK

Na základě skloubení tyflografických pravidel a technologických možností 3D tiskárny, získaných poznatků při úpravě mapových prvků a Braillova písma pro 3D tisk na nízkonákladových tiskárnách společně s výsledným testováním u koncových uživatelů byl vytvořen přesný pracovní postup pro tvorbu nových tyflomap na těchto tiskárnách. Pro názornou ukázkou je v tomto postupu prezentována tvorba tyflomapy památek UNESCO v České republice, jelikož pro každou mapu jsou upravována jiná data s odlišnými hodnotami.

7.1 Příprava softwaru

Prvním krokem postupu představuje instalaci softwaru nezbytného pro tvorbu nových tyflomap. Uvedený software byl zvolen na základě doporučení pracovníků katedry geoinformatiky UP, výrobce 3D tiskárny a na základě autorova zkoumání možností jednotlivých programů. Jako nejvhodnější řešení byly vybrány tyto programy:

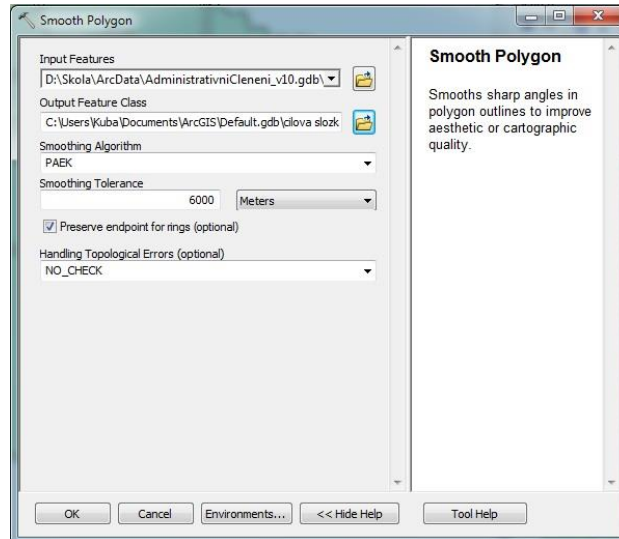
- **ArcGIS 10.2 for Desktop** – nezbytný pro export mapy z formátu ESRI shapefile do 3D formátu vrml potřebný pro další 3D modelaci
- dostupný na Katedře geoinformatiky UP
- **Blender 2.73** – opensource software pro rozmanitou 3D modelaci. Do tohoto softwaru jsou importovány soubory ve formátu vrml a následně domodelovány do podoby modelu tyflomapy. Software je dostupný ke stažení na webových stránkách neziskové organizace Blender Foundation: <https://www.blender.org/download/>
- **Netfabb Basic 5.0** – potřebný pro případnou opravu modelů exportovaných z programu Blender do formátu stl. Postačující demo verze je ke stažení na webových stránkách: <http://www.netfabb.com/downloadcenter.php?basic=1>
- **Slic3r 1.2.4 + Pronterface + Rambo drivers** – balíček softwaru doporučený výrobcem tiskárny pro její optimální nastavení a následný tisk dostupný na webu výrobce - <http://www.prusa3d.cz/ovladace/>
- **Audacity 2.0.6** – opensource software použitý pro úpravu zvukových hlášek pro multimediální tyflomapy dostupný na <http://audacityteam.org/>
- **HLM 300** – program pro nahrání hlášek do zvukového modulu tyflomapy dostupný na stránkách výrobce nebo dodán na CD ke zvukovému modulu.

7.2 Volba a úprava dat

Jako počáteční datový formát pro tvorbu tyflomap byla vybrána vektorová data ve formátu Esri shapefile, jelikož se jedná o ideální formát pro tvorbu mapových výstupů. Soubory v tomto formátu byly patřičně upraveny. Z důvodu následné 3D modelace bylo nutné všechna vektorová data převést na polygony a dostatečně shladit. Poté byly dále exportovány pro zpracování ve 3D modelačním softwaru. Pro tvorbu mapy památek UNESCO v ČR byla použita datová sada ArcČR 500 – polygonová vrstva státu, polygonová vrstva krajů a bodová vrstva obcí, v níž se nachází památky UNESCO. K této úpravě dat byl vybrán software ArcGIS 10.2 for Desktop (ArcMap + ArcScene)

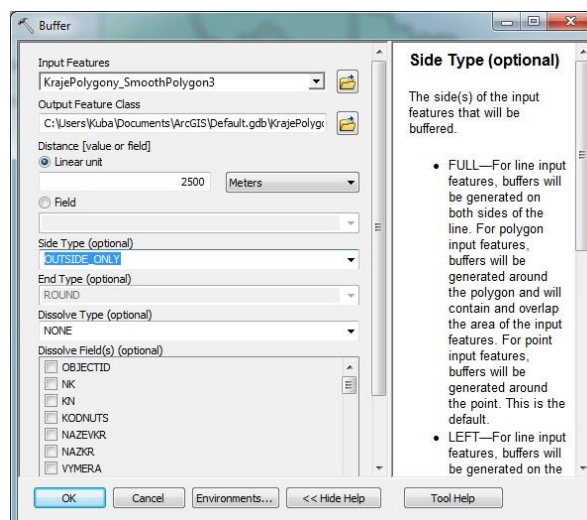
7.2.1 Shlazení vstupních dat

Z důvodů zhoršeného vnímání detailů prostřednictvím hmatu na rozdíl od zrakového vjemu je zapotřebí data generalizovat, aby byla vhodně „shlazená“. Generalizace u polygonových vrstev byla provedena nástrojem *Smooth Polygon (Cartography)*. Na Obr. 7.1 je uvedeno optimální nastavení pro generalizace vrstvy kraje – polygony.



Obr. 7.1 Nástroj *Smooth polygon* a zadané hodnoty pro shlazení polygonové vrstvy krajů

Další krok představoval upravení shlazené vrstvy krajů takovým způsobem, aby z ní bylo možné získat pouze hranice krajů. Pro tento krok byl zvolen nástroj *Buffer (Analysis)* s nastavenou hodnotou *Linear Unit* = 2500 metrů a výsledným polygonem pouze kolem hranic zadáním *Side Type* = *OUTSIDE_ONLY* (viz. Obr. 7.2) Stejný nástroj je použit i pro získání polygonů z bodové vrstvy obcí s památkou UNESCO.

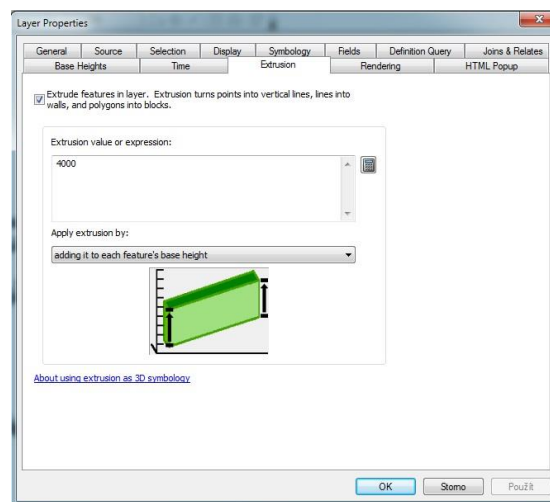


Obr. 7.2 Nástroj *Buffer* pro získání hranic krajů v podobě polygonů

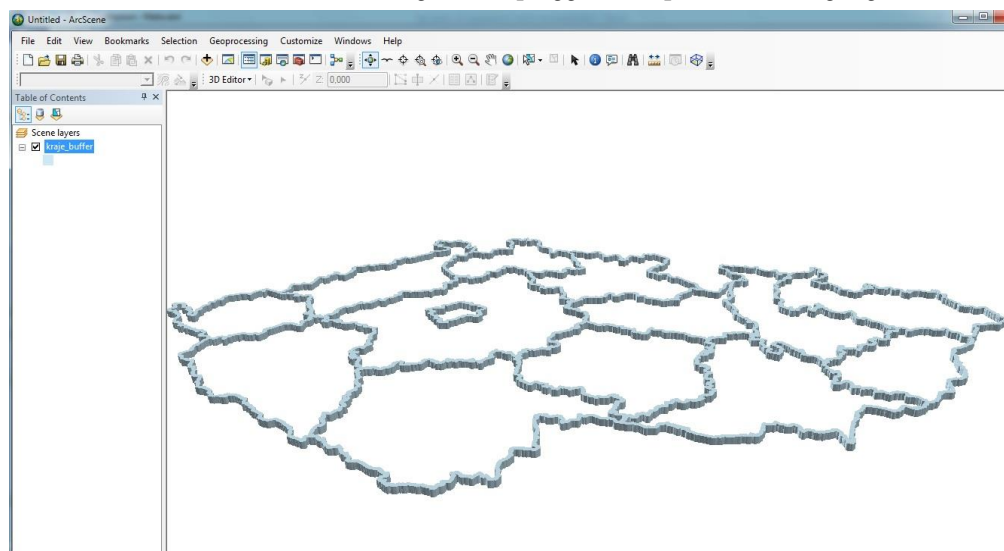
7.2.2 Převod dat do 3D

Převod vektorových, patričně upravených dat byl proveden v softwaru ArcScene 10.2, který představuje několik kroků:

1. **Import dat do ArcScene 10.2** – prostřednictvím volby *Add Data* v horní nástrojové liště
2. **Zadání výšky do atributové tabulky** – do atributové tabulky každého polygonu je přidán sloupec obsahující požadovanou výšku v metrech
3. **Vytažení polygonu do zadané výšky** – kliknutím na vrstvu pravým tlačítkem, volba *Properties* – *Extrusion* a zadání pole obsahující údaje o výšce polygonu, nebo přímým vepsáním výšky
4. **Export výsledků** – pomocí volby *File* – *Export Scene* – *3D* jsou převedeny vytažené polygony exportovány do 3D formátu vrml, se kterým pracuje většina 3D modelační programů



Obr. 7.3 Nastavení „vytažení“ polygonu do požadované výšky



Obr. 7.4 Vyzdvižené hranice krajů do požadované výšky

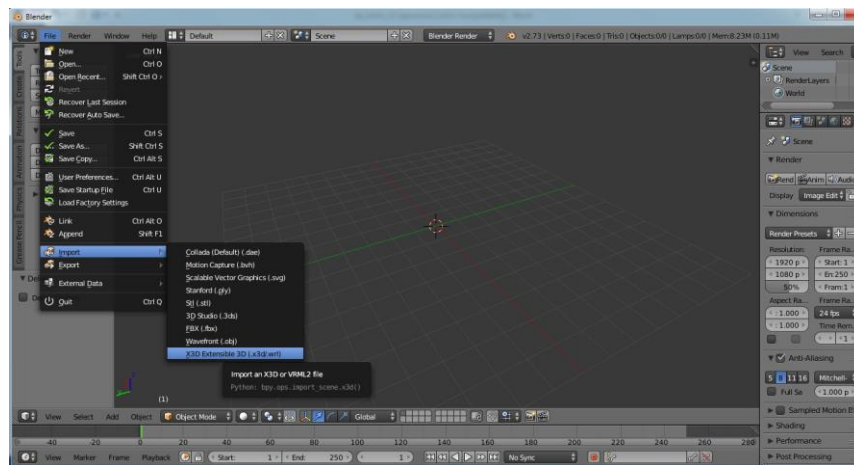
7.3 Tvorba 3D modelu mapy

Po úpravě a převedení dat do trojrozměrného prostoru v prostředí ArcGIS 10.2 for Desktop následuje import a modelace trojrozměrných dat do podoby 3D modelu mapy. Tento krok představuje časově nejnáročnější část procesu tvorby tyflomapy.

7.3.1 Import do 3D softwaru

Pro modelaci tyflomap v trojrozměrném prostoru byl zvolen opensource program Blender 2.73 především pro jeho širokou škálu funkcí a množství formátů, s nimiž je kompatibilní. Další jeho výhodou je možnost vytváření vlastních funkcí pomocí příkazového řádku v programovacím jazyce Python. Jeho nevýhodou je poměrně komplikovanější uživatelské prostředí. Import byl realizován v několika krocích:

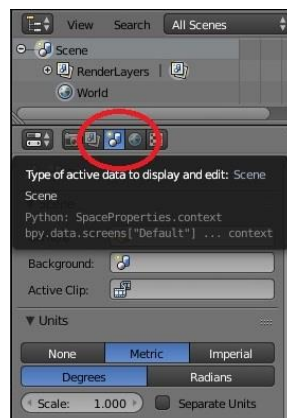
1. **Po otevření programu stisk klávesy A** – označení všech původních modelů a poté jejich odstranění stiskem klávesy *delete*
2. **Import dat** – pomocí volby v horní liště: *File – Import – X3D Extensible 3D* + výběr požadovaných dat ve formátu vrml



Obr. 7.5 Import vrml souboru do programu Blender 2.73

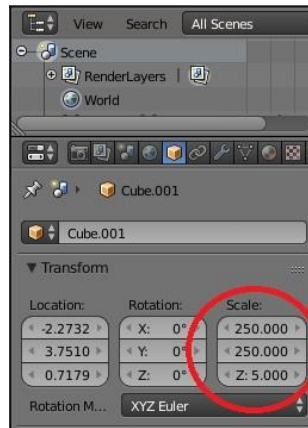
7.3.2 Modelace podkladové platformy

1. **Zadání měrných jednotek** – pro přesnou modelaci je potřebné zadat jednotky, ve kterých bude model měřen. Tento krok je proveden kliknutím na vlastnosti scény v nástrojové liště v pravé části pracovního okna (viz. Obr. 7.6) V záložce *Units* je vhodné zvolit *Metric*. Tato volba umožňuje měřit model v milimetrech.



Obr. 7.6 Zadání metrických jednotek pro modelaci

- 2. Modelace platformy pod importovaná data** – v případě, pokud nebyla platforma kolem zobrazovaného území vytvořena již ve formátu ESRI shapefile s následným exportem do 3D formátu, je zapotřebí ji vymodelovat jako první. Modelace probíhá pomocí volby *Add* na spodní liště – *Add – Mesh – Cube*. Následujícím krokem je zadání požadovaných rozměrů ve vlastnostech objektu, které se nachází opět v pravé nástrojové liště v poli *Scale*. (viz. Obr. 7.7.)



Obr. 7.7 Zadání rozměrů vytvořené krychli pro účel podkladové platformy

- 3. Připojení platformy k zobrazovanému území** – po vymodelování platformy s požadovanými rozměry bylo provedeno její připojení k importovaným datům. Tento krok byl proveden kliknutím pravého tlačítka myši a posunem do požadované pozice. Při tomto kroku i dalších připojení objektů je velice důležité dbát na správné spojení. Při nedokonalém propojení, představující mezeru mezi objekty o velikosti i desetiny milimetru, by mohlo dojít k vadnému výtisku celého modelu.

7.3.3 Modelace kompozičních prvků

Z důvodu omezených možností při převodu kompozičních prvků vytvořených v programu ArcGIS 10.2 do 3D, je zapotřebí kompoziční prvky vymodelovat dodatečně v 3D modelovacím softwaru Blender.

- 1. Legenda** byla vytvářena okopírováním objektů obsažených v mapě. Na základě rozměrů a tvaru objektu byla v programu Blender vymodelována jeho kopie obdobným způsobem, uvađeným v podkapitole 7.3.2 přes volbu *Add* ve spodní liště a následnou úpravou jeho rozměrů a podoby. Rozměry byly okopírovány pomocí nástroje *Ruler/Protractor* nacházejícím se v levé nástrojové liště v záložce *Grease Pencil*. Tento nástroj funguje jako virtuální pravítko.

- Měření je prováděno stiskem levého tlačítka myši a pohybem v požadovaném směru.
- Stiskem *Ctrl* a levého tlačítka myši je zahájeno nové měření
- Kliknutím do středu měření se pravítko změní na úhломěr
- Stiskem klávesy *Esc* je ukončen režim měření

Takto vytvořená kopie byla použita v legendě. Pro znázornění rozsáhlejších objektů, jako jsou budovy, silnice atd. byly vymodelovány kvádry reprezentující pouze jejich rozdílnou výšku.

- 2. Měřitko** bylo provedeno opět za pomoci nástroje *Ruler/Protractor*, kterým byl změřen rozměr modelovaného území, a na základě poměru zmenšení oproti jeho reálné velikosti bylo vymodelováno měřitko v podobě vystouplé linie představující určitý délkový úsek.

Příklad:

reálná délka ČR od západu k východu 493 km
délka modelu 25 cm



1 cm v modelu = 20 km v reálném ekvidistantním rozměru Na základě tohoto příkladu bude měřitko vymodelováno v podobě vystouplé hmatatelné linie o délce 5 cm vyjadřující měřitko 1 : 2 000 000.


- 3. Textové části** – veškeré kompoziční prvky v podobě textu nebo obsahující text musely být provedeny v Braillově písmě, jehož tvorba je časově poměrně náročná, a proto je mu věnována samostatná podkapitola.

7.4 Modelace Braillova písma

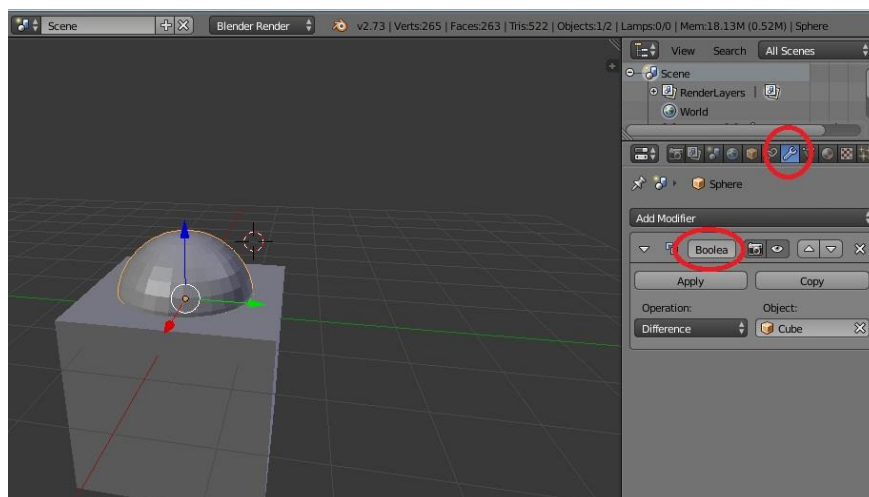
Modelace Braillova písma představovala náročnou část především z důvodu hledání optimálních parametrů jednotlivých bodů, aby byly vhodně vytisknuty a zároveň se alespoň blížily standardům pro podobu a čitelnost Braillova písma. (viz. kapitola 5.3) Při počátečních výtiscích bylo Braillovo písmo modelováno pomocí nahraného fontu do programu Blender, který byl následně vytažen do prostoru. Tento přístup byl poměrně nenáročný, avšak následně se ukázal jako nevhodný především pro jeho tvar v podobě drobných válečků, které neodpovídaly standardům a navíc byly náchylné k odlomení. Poté bylo přistoupeno k modelaci Braillova písma v podobě jednotlivých polokoulí o rozměru 2 × 1 mm, který se blíží standardu a má i vysokou pevnost. Nevýhodou je jeho náročnost tvorby a potřebná znalost znaků Braillova písma, jelikož písmo bylo modelováno bod po bodu. Jako optimální řešení se ukázala kombinace obou těchto metod, kdy bylo písmo vepsáno do mapy pomocí 2D fontu, který posloužil jako šablona pro následné vkládání jednotlivých polokoulí.

7.4.1 Model polokoule

Model polokoule byl vytvořen pomocí volby *Add – Mesh – UV Sphere*. Tato volba vytvořila v modelu kouli, která byla v její polovině seříznuta. Seříznutí bylo provedeno pomocí Booleanské operace, jejíž nastavení probíhá v několika krocích:

1. Výběr tlačítka *Modifiers*  v pravé nástrojové liště a zde volba *Add Modifer - Boolean*
2. Pravým tlačítkem myši označit kouli, která bude řezána
3. V kolonce *Operation* zadat *Difference*
4. Do kolonky *Object* zadat objekt, kterým bude koule seříznuta
5. Potvrzení operace tlačítkem *Apply* a odmazání objektu, kterým byla koule řezána


Vzniklá polokoule byla následně upravena do požadovaného rozměru 2 × 1 mm.

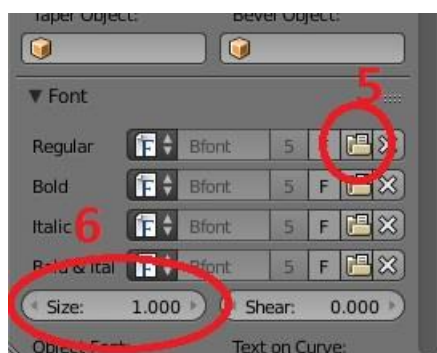


Obr. 7.8 Výroba bodu Braillova písma pomocí rozřznutí koule

7.4.2 Přidání 2D textu

Pro optimální rozmístění vymodelovaných polokoulí do tvaru znaků Braillova písma je vhodné si do modelu nejprve vložit šablonu písma v podobě 2D textu. Text je do modelu vložen pomocí těchto kroků:

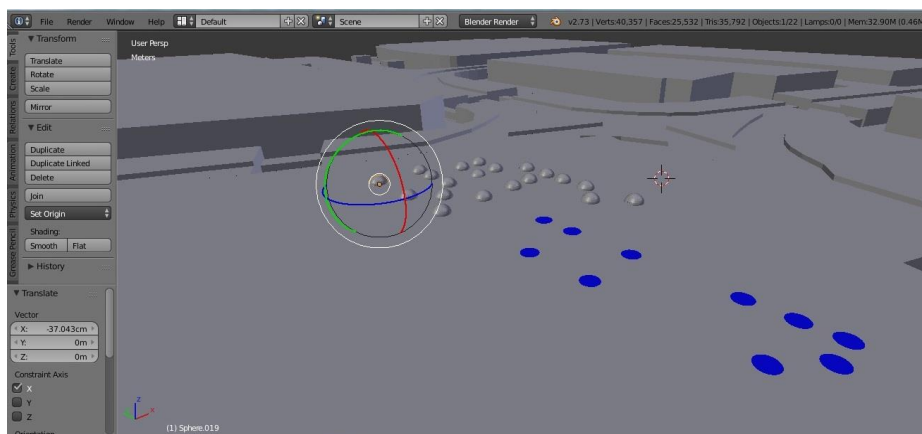
1. **Stažení fontu** Braillova písma z webových stránek tyflokabintu České Budějovice na <http://www.tyflokabinet-cb.cz/brail.htm>
2. **Uložení fontu** do adresáře C:/Windows/Fonts
3. **Přidání textu do modelu** Volbou *Add – Text* na spodní liště pracovního okna – zobrazí se úvodní slovo „Text“. Je možné požadovaný text vepsat do modelu pomocí klasické latinky a až následně jej změnit na Braillovo písmo dle kroků 4 a 5
4. V pravé nástrojové liště výběr nástroje *Text* 
5. Po otevření nástroje pro editaci textu vybrání Braillova písma z adresáře Fonts, kam bylo uloženo (viz. Obr. 7.9)
6. Úprava velikosti písma v poli *Size* na hodnotu 12, která nejlépe odpovídá rozměrům pro Braillovo písmo (viz. Obr. 7.9)



Obr. 7.9 Nastavení fontu a velikosti písma

7.4.3 Nanesení polokoulí na 2D text

Po vytvoření optimálního modelu polokoule a vytvoření šablony v podobě 2D textu následovala časově nejnáročnější část, která představuje nanášení jednotlivých polokoulí na body. Jako u všech operací zde bylo zapotřebí klást důraz na optimální spojení polokoule s povrchem bez mezer a ve stejné výšce jako ostatní polokoule. Nanášení bylo realizováno pomocí polokoule, která byla kopírována klávesovou zkratkou *Ctrl +C/V* a následně dle potřeb posouvána po osách X,Y,Z.



Obr. 7.10 Tvorba Braillova písma v prostředí softwaru Blender

7.5 Převod do formátu pro 3D tisk

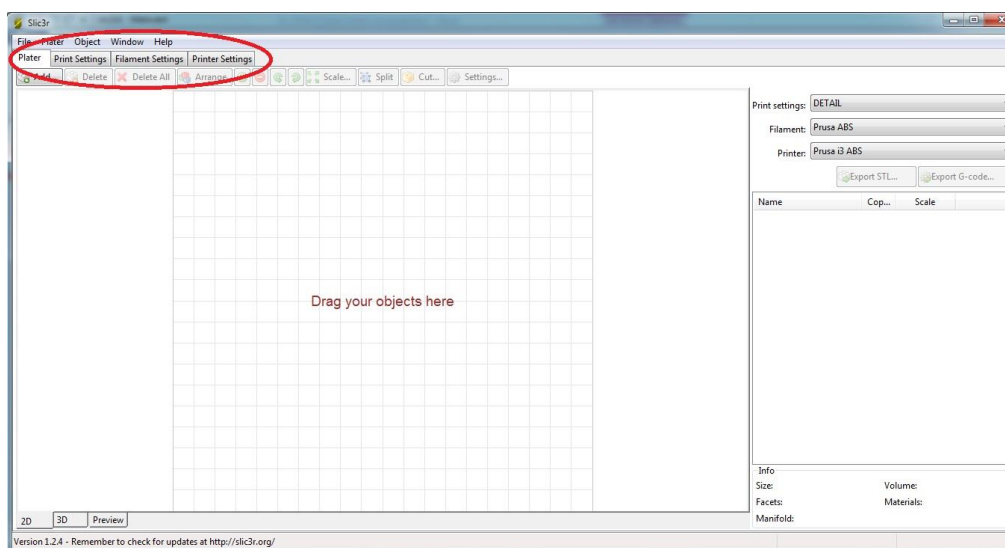
Po dokončení částí popsaných výše došlo k exportu modelu do STL formátu, který představuje základní formát pro jakýkoliv 3D tisk. Tento formát převede model do souboru polygonových plošek. Export do formátu STL je součástí programu Blender přes volbu *File – Export – Stl* v horní liště pracovního okna. Před exportem je důležité označit všechny objekty, které chceme exportovat. Tento krok provedeme jednoduchým stiskem klávesy *A*. Po tomto kroku vznikne STL soubor, který je možné odeslat k tisku.

7.6 Nastavení parametrů 3D tisku

Po zkompletování původních multimediálních tyflomap bylo zapotřebí provést první výtisky na nízkonákladové 3D tiskárně. Avšak před zahájením počátečních tiskových pokusů bylo zapotřebí vhodně nastavit samotnou 3D tiskárnu a parametry tisku. Veškerý 3D tisk v rámci této práce byl realizován na nízkonákladové RepRap 3D tiskárně Prusa i3 od české společnosti Prusa Research, která je dostupná na katedře geoinformatiky na Univerzitě Palackého v Olomouci. Před zahájením jakéhokoliv tisku je zapotřebí tiskárnu správně nastavit a zvolit požadované parametry tisku tak, aby výsledný produkt odpovídal požadavkům. Nastavení tiskárny a parametrů tisku bylo realizováno na základě konzultací s pracovníky a studenty katedry geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci a na základě doporučených nastavení od výrobce. Veškerá nastavení tisku byla prováděna v opensource programu slic3r 1.2.4, který je dostupný volně ke stažení jako součást balíčku na webových stránkách výrobce tiskárny Prusa i3 na adrese <http://www.prusa3d.cz/ovladace/>. Po otevření programu jsou v horní části pracovního okna záložky, z nichž každá představuje nastavení jednotlivých kroků tisku. Jednotlivá nastavení je možné ukládat do profilů, představujících soubory nastavení. Níže je uveden stručný popis těchto záložek a hodnoty použité při tisku v rámci této práce.

7.6.1 Základní úpravy modelu a export

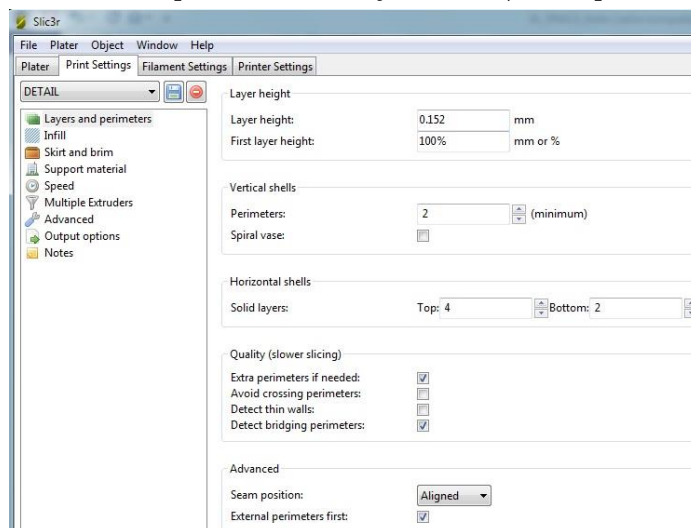
Při spuštění programu Slic3r se uživateli zobrazí pracovní okno záložky *Plater*. Nahrání modelu do softwaru je realizováno pomocí tlačítka *Add*. Ve spodní části pracovního okna je pak možné přepínat mezi 2D a 3D pohledem na nahraný model. Dále první záložka *Plater* umožňuje základní úpravy modelu obsahující rotaci modelu, řezání na jednotlivé díly, úpravu rozměrů modelu a export do formátů STL a G-code. Exportovaný model ve formátu G-code je poté importován do tiskárny prostřednictvím softwaru Pronterface.



Obr. 7.11 Uživatelské rozhraní programu Slic3r 1.2.4

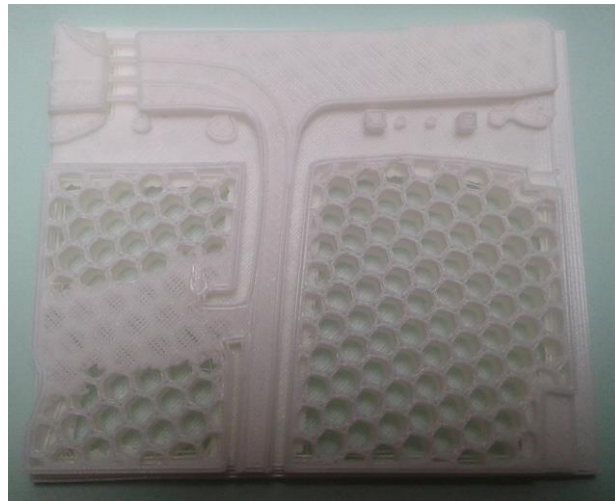
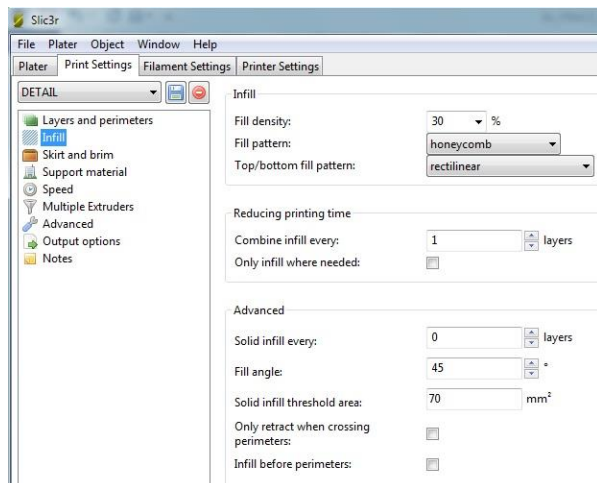
7.6.2 Nastavení tisku

Nastavení vlastností samotného tisku v záložce *Printer Settings* obsahuje zadání tloušťky jednotlivých horizontálně nanášených vrstev. Čím nižší tloušťka nanášených vrstev je použita, tím je výsledný výtisk přesnější a detailnější, avšak jeho tisk je časově náročnější. Pro tisk tyflomap byla použita tloušťka vrstvy 0,152 mm, jelikož bylo zapotřebí značné detailnosti při tisku některých částí (viz. kapitola 5).



Obr. 7.12 Nastavení hodnot záložky *Printer Settings*

Dalším důležitým parametrem je nastavení struktury a hustoty vnitřní výplně tisknutých modelů. Tato výplň je určující při výsledné pevnosti modelů a náročnosti na spotřebovaný materiál a dobu tisku. V tomto případě se na základě konzultací a pokusů nejvíce osvědčila výplň ve tvaru medových pláství (honeycomb) s hustotou výplně 30%



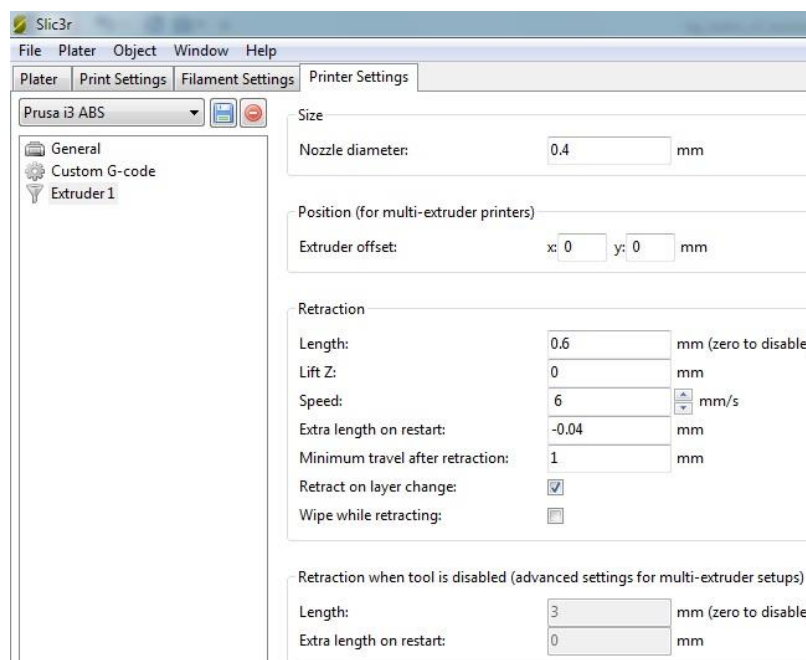
Obr. 7.13 Nastavení hodnot výplně a vytisknutá výplň honeycomb (30%)

7.6.3 Nastavení tiskového materiálu

Důležitý krok při nastavení tisku představuje nastavení tiskového materiálu tzv. filamentu. Jelikož existuje velké množství tiskových materiálů, pro každý je potřebné nastavit určité parametry. Nastavení filamentu spočívá především v nastavení teplot a zadání tloušťky používané filamentové struny. Tiskárna Prusa i3 pracuje s filamentem o tloušťce 2,9 mm, ale je možné se setkat i s filamentem o tloušťce 1,75 mm. Zadání teplot pro daný filament bylo nastaveno na hodnotu 0 z důvodu nastavení teplot až při spouštění tiskárny v softwaru Proterface. Pro tisk v rámci této práce byl na základě pokusů a konzultací zvolen filament z PLA plastu o teplotě tisku 205 °C (viz. kapitola 5).

7.6.4 Nastavení tiskárny

Tato část nastavení obsahuje především informace o typu tiskárny, na které je realizován tisk. Do této části nebylo během práce zasahováno a její změna je zapotřebí pouze při změně 3D tiskárny nebo tiskového extruderu. V rámci práce bylo tisknuto na tiskárně s nastavenými parametry uvedenými na obrázku 7.14

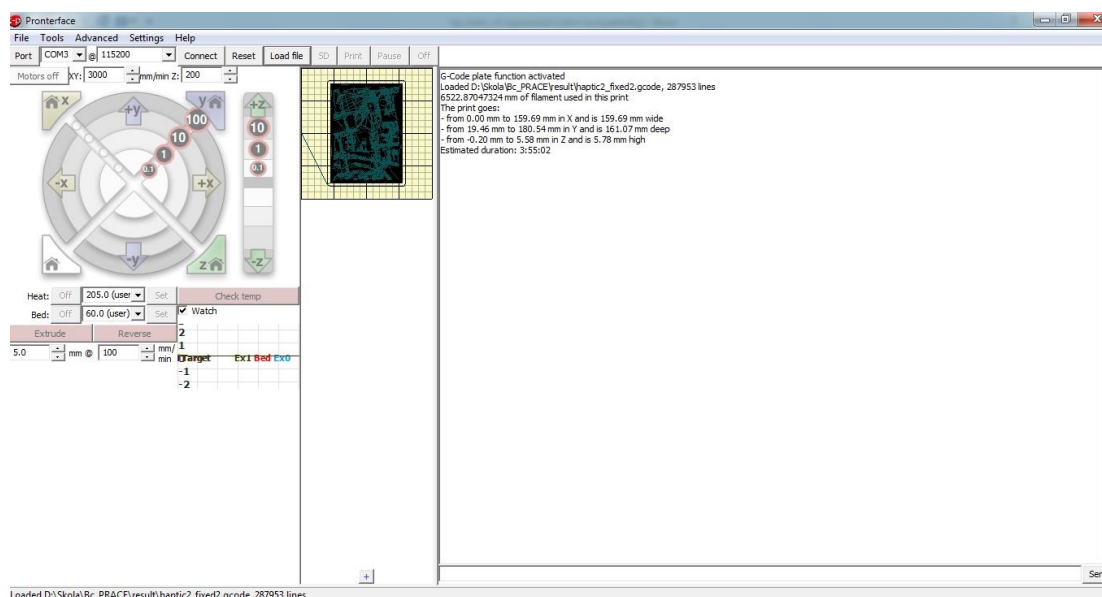


Obr. 7.14 Parametry použité 3D tiskárny

7.7 Výsledný 3D tisk

Po vymodelování požadované tyflomapy, nastavení tisku přes software Slic3r a exportu modelu do Gcode formátu následuje provedení samotného 3D tisku. Ovládání 3D tiskárny je prováděno prostřednictvím softwaru Pronterface, jehož prostřednictvím jsou nastavovány tiskové teploty, kalibrovány pohyby a polohy extruderu a ovládány jednotlivé procesy tisku jako je nahrání souboru do tiskárny, pozastavení tisku, či restart tisku. V pravé části pracovního okna software indikuje průběh tisku, odhadovanou dobu, informace o tisknutém souboru atd. Finální spouštění tisku probíhá v několika krocích:

1. Zapnutí a připojení tiskárny přes USB port k počítači
2. Nastavení teplot pro tisk v levé části pracovního okna
Heat = teplota extruderu, *Bed* = teplota podložky. Pro tisk v rámci této práce bylo tisknuto při teplotě extruderu 205°C a 60°C pro tiskovou podložku
3. Vyčkat na zahřátí tiskárny – nastavená a aktuální teplota je indikována v levé spodní části pracovního okna
4. Načíst požadovaný soubor pomocí tlačítka *Load File*
5. Po načtení souboru do tiskárny a zahřátí tiskárny je možné spustit tisk tlačítkem *Print*
6. Průběh tisku je doporučeno sledovat a při komplikacích tisk zastavit a odstranit nedostatky



Obr. 7.15 Pracovní prostředí softwaru Pronterface

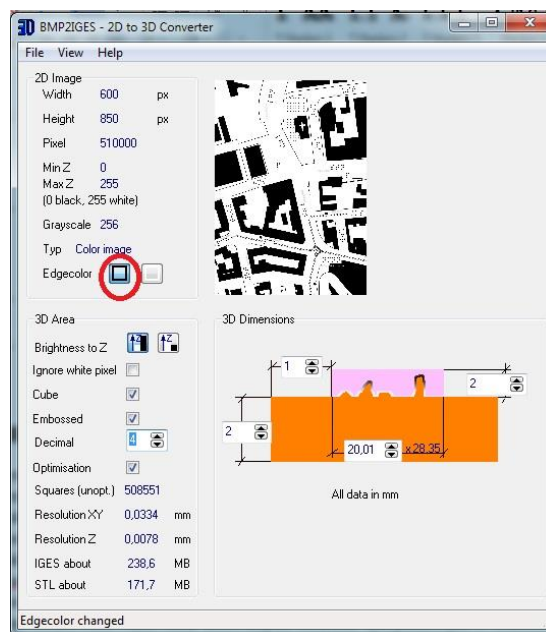
7.8 Dodatečné úpravy

Při tisku rozměrnějších modelů tyflomap přesahujících velikost 19×19 cm je zapotřebí takové modely rozřezat a případně řezané modely opravit, protože může dojít ke vzniku chybných částí modelu. Pro řez modelů tyflomap byla použita demoverze softwaru netfab Basic 5.0, který nabízí uživatelsky velmi snadné možnosti řezání a oprav modelu. Po realizaci 3D tisku s rozřezaným modelem je vhodné tyto díly pevně slepit a případně vyhladit některé tiskové chyby smirkovým papírem, aby na sebe jednotlivé díly hladce přiléhaly. V rámci práce došlo k ruční úpravě smirkovým papírem a následnému slepení jednotlivých dílů. Jako velmi vhodné lepidlo pro slepení jednotlivých dílů se osvědčil rozpuštěný tiskový materiál ABS v acetonu v poměru cca 2:1.

7.9 Možnost 3D tisku haptických map od společnosti Seznam.cz

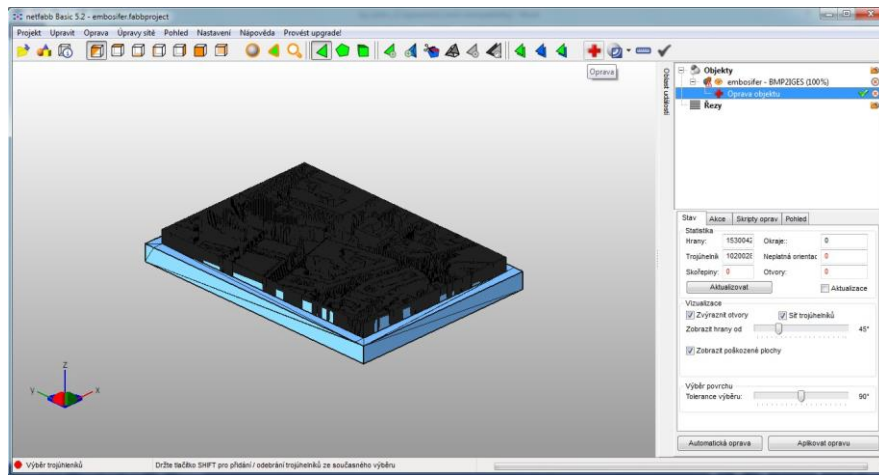
V rámci této práce byla otestována také možnost tisku haptických map od společnosti Seznam.cz na 3D tiskárně Prusa i3. Tato možnost byla realizována na základě pokusných postupů, jejichž cílem bylo nalezení optimální cesty pro tvorbu tyflomap metodou 3D tisku způsobem umožňujícím vytváření tyflomap osobami z laické veřejnosti. Tisk haptických map od společnosti Seznam.cz se ukázal jako vhodná možnost výrobně snadného procesu pro tisk tyflomap na 3D tiskárně Prusa i3. Tato tvorba je méně dokonalá než předchozí postup výroby tyflomap prostřednictvím modelovacího softwaru, avšak její nižší kvalita je vyvážena malou časovou a výrobní náročností. Základním prvkem tohoto postupu je jednoduchý software *bmp2iges*, který umožňuje převod rastrových dat na STL, kdy rastr převede do odstínu šedi a na základě podílu černé barvy v pixelu určí výšku na Z souřadnici exportovaného STL modelu. Průběh tisku je shrnut v těchto krocích:

1. Instalace softwaru:
 - a.) **bmp2iges** – potřebný pro převod rastrového mapového listu na STL soubor. Dostupný na webu vývojáře: <http://geisel.ba-bautzen.de/bmp2iges.htm>
 - b.) **netfabb Basic** – pro potřebné úpravy STL souboru převedeného z rastrových dat. Postačující demo verze je ke stažení na webových stránkách: <http://www.netfabb.com/downloadcenter.php?basic=1>
 - c.) **Slic3r 1.2.4 + Pronterface + Rambo drivers** – balíček softwaru doporučený výrobcem tiskárny pro její optimální nastavení a následný tisk dostupný na webu výrobce - <http://www.prusa3d.cz/ovladace/>
2. Výběr požadovaného území pro tisk pomocí vyhledávače na webu <http://hapticke.mapy.cz/> a následně kliknutím výběr požadovaného mapového listu
3. Volba tlačítka *Tisknout* pro uložení zvoleného mapového listu – mapový list je uložen do zadaného adresáře jako složka *result* obsahující daný list v rastrovém formátu PNG
4. Nahrání mapového listu do softwaru **bmp2iges** pomocí volby *File – Open*
5. Výběr možnosti tisku nejtmavších pixelů jako nevíce vystouplých pomocí volby *Edgecolor* (viz. Obr 7.15)



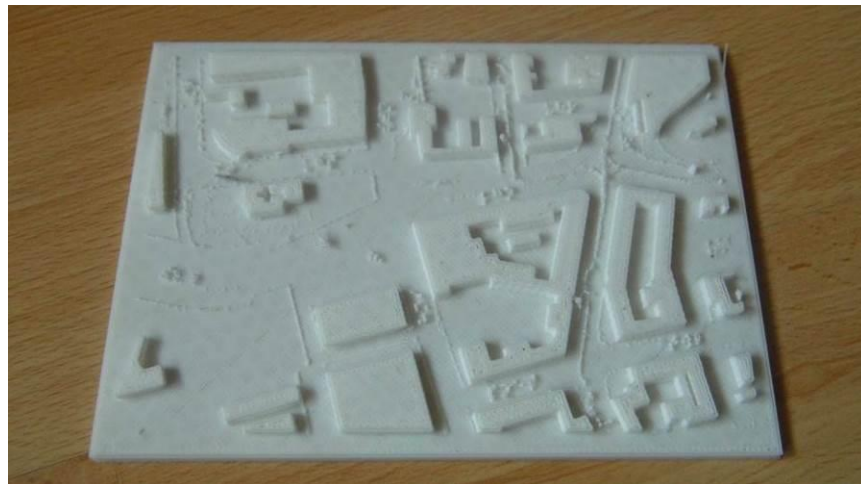
Obr. 7.15 Pracovní prostředí programu *bmp2iges*

6. Export rastrových dat do formátu STL pomocí volby *File – Calculate and Save*
7. Úprava STL modelu v softwaru **netfabb Basic** – z důvodu velkého objemu dat způsobeného velkým počtem nepotřebných drobných plošek výsledného STL souboru je doporučeno provést jeho úpravu v **netfabb Basic** pomocí funkce oprava kliknutím pravým tlačítkem na model a poté volbou *Oprava – Automatická Oprava* (viz. Obr. 7.16).



Obr. 7.16 Funkce Oprava v prostředí programu netfabb Basic

8. Úprava rozměrů modelu, která je provedena opět v programu netfabb kliknutím pravým tlačítkem na model a výběrem funkce *Změna velikosti* – jako optimální rozměr byl shledán $180 \times 170 \times 4$ mm především z důvodu nečitelnosti a špatného výtisku popisků v Braillově písmu při menších rozměrech
9. Export upraveného STL kliknutím pravým tlačítkem na model a výběr možnosti *Export objektu – jako STL*
10. Výtisk modelu pomocí softwaru Slic3er a Pronterface dle kapitoly 7.6 a 7.7



Obr. 7.17 Haptická mapa od Seznam.cz vytisknutá 3D tiskárnou

8 DRUHÉ A TŘETÍ TESTOVÁNÍ KONCOVÝMI UŽIVATELI

Po vytisknutí nových, nízkonákladových tyflomap vytvořených na základě poznatků získaných předešlým studiem testovacích vzorků bylo provedeno testování těchto produktů u koncových uživatelů, tedy osob s postižením zraku, které se orientují v prostoru hmatovým vnímáním. Testování bylo zprostředkováno díky asistenci Ústavu speciálněpedagogických studií Univerzity Palackého a organizací *Tyflo servis* a *Tyflocentrum* v Olomouci. Testování bylo prováděno na osmi respondentech. Věkové složení testovaných uživatelů tvořili lidé od dvaceti let po respondenty v postproduktivním věku. Mezi testovanými osobami byli jedinci jak s vrozenou, tak i se získanou slepotou. Při testování respondentů byla vysledována velmi individuální schopnost práce s mapami a rychlost orientace ve hmatových mapách.



Obr. 8.1 Testování hmatových map ve sdružení *Tyflo servis*, o.p.s. Olomouc

8.1 Průběh testování

Testování bylo zaměřeno především na hodnocení kvalitativních aspektů nových tyflomap, především na celkovou čitelnost a technologickou kvalitu mapy, rozlišení jednotlivých prvků v mapě a čitelnost a kvalitu Braillova písma. Testování mapy náměstí Národních hrdinů bylo realizováno dotazníkovým šetřením, ve kterém si respondent prostudoval mapu a poté odpověděl na otázky (viz. tab. 7.1), ke kterým měl možnost vznést své vlastní názory a připomínky. U ostatních tyflomap bylo testování zaměřeno především na porovnání s původními výtisky, které probíhalo zapisováním jednotlivých poznatků.

8.2 Porovnání nově vytvořených produktů s původními

První část testování představovala porovnání výsledných výtisků s původně vytvořenými tyflomapami ze sádrového prášku a pojiva. Většina uživatelů hodnotila původní výtisky jako příjemnější na omak. Tato skutečnost vychází především z důvodu absence některých na dotyk ostřejších prvků, které při tisku z plastu v některých částech mapy samovolně vznikají díky samotné technologii výroby. Těmto ostřejším částem je možné z větší části zamezit manuální úpravou mapy, kdy jsou místa nepříjemná na dotek shlazena smirkovým papírem. Testování uživatelé také velmi citlivě pocítovali jakékoliv drobné vady tisku, které i jen nepatrným způsobem narušovaly výslednou strukturu vytisknuté mapy. Často byly hmatově rozpoznávány i lepené spoje jednotlivých mapových dílů.

Jako velkou výhodou nově vytisknutých tyflomap shledávali uživatelé v použitém výrobním materiálu, díky kterému jsou tyto výrobky velmi lehké a oproti původním tyflomapám téměř nezničitelné, kdy i pád z větší výšky novým nemultimediálním produktům nijak neuškodil. Velmi pozitivně byl hodnocen použitý materiál díky jeho povrchu, který je příjemný na hmatový kontakt.

Dalším hodnotícím aspektem bylo porovnání jednotlivých mapových prvků, zejména popisu v Braillově písmu a legendy. V tomto ohledu bylo shledáno Braillovo písmo původních výtisků jako příjemnější na dotek a lépe čitelnější, avšak jako čitelné bylo shledáno i na nově vytisknutých tyflomapách, jen s tím rozdílem, že jeho čtení zabralo více času. Z důvodu menší míry detailnosti nízkonákladového 3D tisku bylo Braillovo písmo vytisknuto s občasnými ostrými hranami, které byly místy při čtení nepříjemné na dotek. Tato ostrá místa byla také manuálně upravena smirkovým papírem, avšak na základě testování se nové Braillovo písmo stále nevyrovnalo popisu v původních tyflomapách. Tato skutečnost je také ovlivněna drobnými technologickými nepřesnostmi nízkonákladového tisku, kdy si někteří uživatelé všimli textů, které byly z poloviny dobře čitelné a hmatatelné, avšak na druhém konci slova bylo písmo ostré a nepříjemné na dotek i při zpracování celého textu stejným způsobem. Při porovnávání legendy, interpretace prostorových informací a celkové čitelnosti mapy nebyl shledán žádný zásadní rozdíl mezi nízkonákladovými a původními výtisky tyflomap.

Tab. 8.2 Srovnání původních a nových výtisků na základě testování

Srovnání původních výtisků s novými na základě testování			
původní výtisk		nízkonákladový výtisk	
+	-	+	-
příjemnější na dotek	hmotnost výtisku	nižší hmotnost	ostrá místa
lépe čitelné Braillovo písmo	náklady na výrobu	lepší manipulovatelnost	hůře čitelné písmo

8.3 Testování jednotlivých nových map

Pro účely testování byly vytisknuty čtyři tyflomapy, z toho dvě tematické mapy znázorňující území České republiky, jenž obsahově vycházely z původních tyflomap vytvořených v předešlých letech a dvě analytické mapy náměstí Hrdinů v Olomouci. Celkově byly v rámci druhého testování otestovány následující výtisky:

- **náměstí Národních hrdinů v Olomouci – finální výtisk 1**
- **náměstí Národních hrdinů v Olomouci – kapesní verze 1**
- **Památky UNESCO v České republice – finální výtisk**
- **Nezaměstnanost v krajích ČR k 31. 12. 2009 – finální výtisk**
- **vzorník Braillova písma**
- **vzorník linií a objektů**

8.3.1 Tematické mapy České republiky

U těchto map nebyly shledány nedostatky kromě již zmíněného Braillova písma. Respondenti oceňovali především získání představy o uceleném vzhledu České republiky, uspořádání jednotlivých krajů a porovnání vzdáleností mezi jednotlivými místy v České republice. Někteří respondenti také uváděli, že si díky mapě lépe ujasnili rozložení jednotlivých míst, která si představovali jinak.

8.3.2 náměstí Národních hrdinů v Olomouci

O něco větší pozornost byla věnována třetí tyflomapě, která znázorňuje náměstí Národních hrdinů v Olomouci, po kterém se testování respondenti téměř denně pohybují. Tato mapa je určena uživatelům pro vytvoření představy o rozmístění a složení této frekventované křižovatky, případně pro nahmatání území před nácvičkou pohybu v tomto území. Pro testování této tyflomapy byly vytvořeny dotazníky dotazující se především na kvalitu vyhotovení. Jednotlivé odpovědi jsou shrnuty v tabulce 8.1.

Celkově byla tyflomapa velmi kladně hodnocena především pro její výškovou členitost, se kterou se u běžných tyflomap příliš nesesetkávají a pro propracovanost veškerých důležitých detailů. Jako nedostatek byly shledány snížené chodníky, které zhoršovaly prostorovou představivost z důvodu vžitě představy chodníku nacházejícího se většinou výše, než je vozovka. Dalším nedostatkem byl nevhodně umístěn popis podél jednotlivých ulic, který komplikoval jeho čtení. Jako vhodnější řešení se ukázalo umístění veškerého popisu jako stejně orientovaného. Tyto připomínky byly zapracovány ve výtisku náměstí Národních hrdinů v Olomouci – finální výtisk 2, který byl testován v rámci třetího testování viz. podkapitola 8.5.

Tab. 8.1 Vyhodnocené odpovědi z dotazníku náměstí Národních hrdinů

dotaz	počet odpovědí		nejčastější připomínky
	ano	ne	
Je mapa rozměrově vyhovující?	8/8	0/8	-
Je materiál použitý pro výrobu tyflomapy příjemný na dotek?	8/8	0/8	především rovné plochy
Obsahuje mapa některé prvky nepříjemné na dotek? (příliš ostré hrany apod.)	3/8	5/8	místy je ostré Braillovo písmo a některé hrany a rohy
Jsou jednotlivé objekty v mapě dobře rozlišitelné od ostatních?	8/8	0/8	bylo by vhodné odlišit objekty odlišnou povrchovou strukturou
Jsou prohloubená místa v mapě dostatečně hmatatelná?	6/8	2/8	Místy nejde nahmatat dno prohlubně
Je vhodně umístěn popis v Braillově písmu?	4/8	4/8	vhodnější by bylo vytvářet veškerý popis ve stejném směru
Je Braillovo písmo vhodně čitelné a příjemné na dotek?	5/8	3/8	místy rozdíly v ostrosti a čitelnosti
Uvítal/a byste v mapě nějakou informaci, kterou mapa neobsahuje? (Jakou?)	2/8	6/8	bylo by vhodné více popisků

Kromě samotné tyflomapy náměstí Národních hrdinů byla vytvořena také kapesní verze této verze s invertovanými výškami jednotlivých objektů. Výsledkem tedy byla tyflomapa s vystouplými chodníky a zastávkami MHD. Tento výtisk vyvolal velmi rozdílné názory mezi testovanými uživateli. Mnozí měli problém s představou budov jako prohloubených míst oproti mapě ve větším rozměrech.

Pro některé se kapesní verze jevila jako málo čitelná, avšak při nahmatání jejího velkého provedení si dovedli představit orientaci na místě podle této invertované zmenšeniny. I přes veškeré nedostatky ale byla tato kapesní verze shledána jako velmi kvalitní a zajímavou inovací pro orientaci mezi překážkami. Neinvertovaná verze se ukázala jako nepřehledná z důvodů splývání jednotlivých prvků a navíc v některých případech nebyly chodníky v úzkých ulicích vůbec nalezeny.

8.4 Třetí testování

Třetí testování bylo zaměřeno především na otestování multimediálních tyflomap, haptických map vytisknutých na podkladech od společnosti Seznam.cz a upravené verze mapy náměstí Národních hrdinů v Olomouci. Testování se účastnilo šest respondentů, kteří se účastnili i předešlých testování. Dále byly u nevidomých osob zjišťovány jejich osobní zkušenosti s hmatovými mapami a jejich případné požadavky na tyto produkty. V rámci testování byly testovány následující produkty:

- **náměstí Národních hrdinů – finální výtisk 2**

- Druhý, rozměrově menší výtisk obsahoval zapracování připomínek k prvnímu výtisku. Oproti předchozímu výtisku se liší především vytažením chodníků do výšky a naopak silnice byly umístěny nejnižší. U respondentů se toto řešení ukázalo jako vhodnější pro snadnější představu prostoru. Další modifikaci představoval popis ulic s jednotnou orientací, který usnadnil jeho čtení, avšak byl shledán problém s přiřazením popisu k dané ulici. Tento problém by mohl být v budoucnu odstraněn přidáním šipky k popisu, která by odkazovala na danou ulici, nebo by mapa mohla obsahovat pouze číselné identifikátory, které by byly pospány v legendě mapy. Třetí změnou tohoto výtisku bylo jeho doplnění o směrovku určující sever.

- **Památky Unesco v ČR – multimediální nízkonákladová**

- **Památky Unesco v ČR – multimediální**

Velkým úspěchem u testovaných respondentů představovaly multimediální mapy. Pro pět z šesti testovaných byly tyto mapy naprosto novou zkušeností. Tři z šesti dotazovaných osob se setkaly s mapami doplněnými o zvukové informace pouze v podobě informačních veřejných tabulí, které navíc nebyly přímo určené nevidomým. Zbývající respondenti se setkali s informacemi interpretovanými buďto pouze zvukovou formou, nebo pouze hmatem.



Obr. 8.2 Testování multimediálních tyflomap

8.5 Možnosti využití testovaných tyflomap

Na základě testování a konzultací s odbornými pracovníky organizace Tyfloservis, bylo navrženo několik možností pro využití těchto nově vytvořených produktů. Tyto mapy mohou sloužit jako edukační materiály na školách pro děti s vadou zraku, především tematické tyflomapy obsahující památky UNESCO v České republice a Míru nezaměstnanosti v jednotlivých krajích doplněné o multimediální prvky. Dalším využití tyflomap, jako je mapa náměstí Národních hrdinů by mohlo být uplatněno při nácviku pohybu nevidomých osob komplikovanějšími místy, kdy by si pomocí tyflomapy nahmatal orientační místa v území a díky tomu by si vytvořil představu o procházeném území jako celku. Všichni dotazovaní nevidomí uživatelé při testování uváděli, že by pro vlastní potřebu uvítali především hmatové plánky menších území, jako jsou okolí bydliště a často navštěvovaná místa. Velký zájem vzbudily především multimediální tyflomapy, o které byl zájem především z řad pracovníků společnosti Tyfloservis, kteří by je mohli využít pro další vzdělávací činnost pro nevidomé osoby.

9 VYUŽITÍ MULTIMEDIÁLNÍCH PRVKŮ NÍZKONÁKLADOVÝCH TYFLOMAP

Multimediální tyflomapy představují skupinu hmatových map, které zprostředkovávají geoinformace nejen prostřednictvím hmatu, ale také prostřednictvím zvuku, vibrací atd. Jedním z cílů práce bylo zhodnocení využití multimediálních prvků u tyflomap vytvořených nízkonákladovým 3D tiskem a zhodnocení jejich potenciálu pro jejich využití. Stejně jako u původních výtisků bylo provedeno zabudování zvukových tlačítek do nově vytisknuté hmatové mapy, kterými byly spustitelné jednotlivé zvukové soubory doplňující tyflomapy o více informací. Tlačítka byla nalepena do předvrtaných otvorů, které je teoreticky možné i přímo vymodelovat při softwarovém zpracování mapy a poté vytisknout, avšak v případě této práce nebylo vymodelování otvorů možné z důvodu exportů přes více formátů. Všechny ostatní práce byly podobné jako u kompletace původních tyflomap až na odlišné použití výsledného materiálu tyflomapy.

9.1 Potenciál multimediálních tyflomap

S rozvojem a klesající cenou elektrotechniky, je tvorba multimediální mapy snažší a cenově dostupnější. Jejich hlavním přínosem je především objem informací, jejichž nositelem mohou být. Díky multimediálním tyflomapám je také možné do mapy zakomponovat množství informací, které by pouze pro hmatové vnímání byly interpretovány dlouhými texty v Braillově písmu. Například mapu zastávek MHD je možné doplnit o zvukové soubory podávající informace o číslu a směru dopravního prostředku zastavujícího na dané zastávce. Pro mnoho nevidomých uživatelů jsou multimediální mapy přínosem také z důvodu menší znalosti a schopnosti čtení Braillova písma – především pro osoby, které se staly nevidomými v pokročilejším věku a pro něž je výuka Braillova písma velmi náročná. Multimediální mapy v podobě, ve které byly vyhotoveny v rámci této práce by byly přínosem především pro organizace sdružující větší množství nevidomých lidí, než pro osobní využití. Kromě zvukových výstupů je možné použít i interpretaci informací prostřednictvím vibrací např. mobilního telefonu nebo samotné fyzické tyflomapy (viz. kapitola 3.3).

Tab 9.1 Porovnání vlastností běžných a multimediálních tyflomap vytvořených 3D tiskem

Porovnání vlastností běžných a multimediálních tyflomap			
běžná tyflomapa		multimediální tyflomapa	
+	-	+	-
snazší a rychlejší výroba	méně informací	objem informací	časově a finančně náročnější výroba
energetická nenáročnost	nutná znalost Braillova písma	možnost dodatečné úpravy informací	horší manipulace
lepší manipulace		rychlá interpretace informací	
		nenáročná na znalost Braillova písma	

9.2 Realizace nízkonákladové multimediální tyflomapy

Při realizaci nové multimediální hmatové mapy bylo vycházeno z původně zkompletovaných tyflomap, jejichž kompletace je uvedena v kapitole 4. Pro možnost porovnání jednotlivých multimediálních map byla vytisknuta stejná tematická tyflomapa Památky UNESCO v ČR. Tvorba nízkonákladové tyflomapy spočívala v následujících krocích:

9.2.1 Volba optimálního rozměru

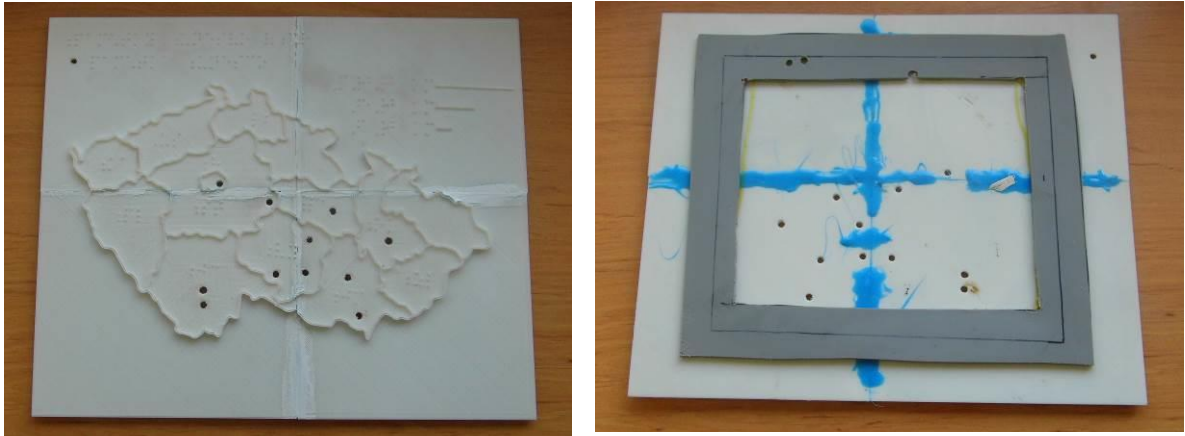
Z důvodu možnosti porovnání původních multimediálních tyflomap a nově realizované tyflomapy, byl zvolen stejný rozměr 28,5 × 24 × 1,5 cm.

9.2.2 Modelace a tisk mapy

Vymodelování požadované mapy bylo realizováno způsobem uvedeným v kapitole 7. Oproti postupu, jenž je uveden v kapitole 7 byly prováděny pokusy o vymodelování jednotlivých otvorů pro senzory pomocí Boleanských operací, které by umožnily mapu vytisknout s otvory. Toho nebylo dosaženo z důvodu množství konverzí, kterými modelovaná data prošla. Výtisk byl realizován z PLA plastu, s **výplní modelu 90% honeycomb** a výškou tiskové vrstvy 0.252 mm. Nastavení hustoty výplně 90% je důležité především pro následnou nutnost vyvrtání otvorů pro senzory. Nižší hustota výplně způsobovala u pokusných výtisků deformaci celé mapy při vrtání otvorů pro senzory. Následně byl proveden samotný tisk mapy, který musel být rozřezán na čtyři díly v softwaru *netfabb Basic* z důvodu rozměrového omezení tiskové plochy.

9.2.3 Slepění jednotlivých dílů

Slepění čtyř dílů mapy bylo provedeno lepidlem vyrobeným rozpuštěním ABS plastu v acetonu, které se osvědčilo jako velmi pevné a vhodné pro lepení výtisků z PLA plastu. Lepidlo vzniklo rozpuštěním ABS plastu v acetonu při poměru cca 2:1. Po nanesení lepidla na požadovanou plochu bylo dostačující přidržení dvou dílů u sebe po dobu dvaceti vteřin. K úplnému zatuhnutí dochází cca po hodině. Pro dosažení úplné pevnosti mapy byla ze spodní strany přilepena podpůrná plastová konstrukce ve tvaru rámu. Z estetického hlediska byly lepené spoje přetřeny bílou barvou překrývající barevné lepidlo. Na závěr byly vyvrtány otvory v požadovaných místech pro následnou instalaci tlačítek.



Obr. 9.1 Spleená tyflomapa s předvrtanými otvory na tlačítka

9.2.4 Připojení multimediálních prvků

Jak je uvedeno výše, realizace vycházela z kompletace původních multimediálních tyflomap a tím pádem veškeré elektronické součásti byly použity ve stejné soustavě popisované v kapitole 4. Oproti původnímu přístupu byla tlačítka lepena k mapě pomocí již zmíněného ABS lepidla, které po zaschnutí vytvořilo kolem tlačítka pevný plastový obal.



Obr. 9.2 Tlačítka připevněná ABS lepidlem



Obr. 9.3 Zkompletovaná multimediální tyflomapa

10 FINANČNÍ NÁROČNOST 3D TISKU

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2, 3D tisk se stává s postupujícím rozvojem technologií dostupnějším pro stále širší okruh uživatelů, a to především díky klesající ceně jak samotných 3D tiskáren, tak i nákladů spojených s 3D tiskem. V rámci této práce bylo provedeno přibližné zhodnocení finanční náročnosti 3D tisku hmatových map zaměřené především na porovnání tyflomap vytvořených v rámci projektu *Percepce geoprostoru prostřednictvím hmatových map moderního typu* a tyflomap vytvořených v rámci této práce.

10.1 Finanční srovnání tiskáren

Oproti původním výtiskům byla pro tuto práci použita cenově dostupná 3D tiskárna *Prusa i3*, která je založena na opensource řešení RepRap, které umožňuje jak vlastní úpravu tiskárny, tak i výrobu dílů pro stavbu nových tiskáren. Jako stavebnici ji výrobce *Prusa Research* nabízí za částku 16 990 Kč. Sestavenou je možné ji zakoupit od výrobce za 24 200 Kč. Pořizovací cena 3D tiskárny, na které byly tisknuty původní hmatové mapy se v době jejich tisku pohybovala v řádu milionů.

10.2 Finanční srovnání výtisků

Finanční náklady na uvedené tiskárny se projevují i v jejich výsledných produktech. Původní výtisky byly tisknuty v roce 2010 společností DIGIS, kdy se prototypový výtisk pohyboval v rozmezí desítek tisíc Kč. Vícenákladový tisk pak představoval cca 5000 Kč za jeden výtisk (Vondráková, 2014). Při tisku na 3D tiskárně *Prusa i3* byl stejný model vytisknut v rozmezí cca do 100 Kč (zahrnutý pouze náklady na tiskový materiál). Díky této skutečnosti je možné na tiskárnách *Prusa i3* realizovat vícenákladový tisk velmi levných tyflomap, které by pořizovací cenou nepřesáhly 500 Kč a mohly by být přizpůsobovány individuálním potřebám uživatelů, kteří se při testování jednohlasně shodly na tom, že by za takto vytvořené tyflomapy byli ochotni zaplatit cca 500 Kč a maximálně do 1000 Kč za jeden výtisk. Porovnání jednotlivých výtisků je shrnuto v tabulce 10.1.

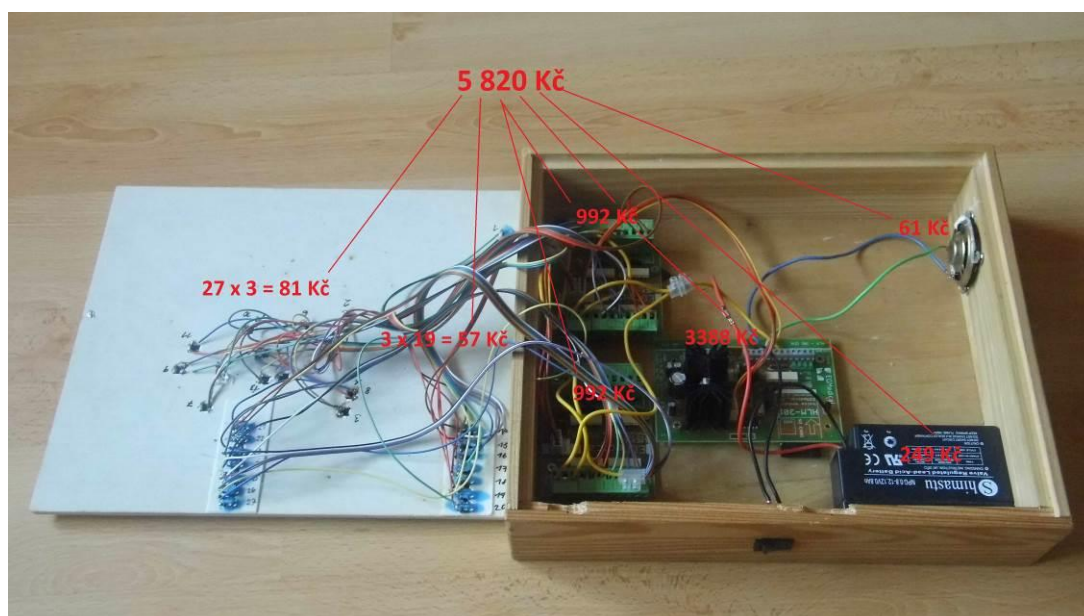
Tab. 10.1 Srovnání původních a nízkonákladových tyflomap

Srovnání původních výtisků s novými na základě testování			
původní výtisk		nízkonákladový výtisk	
+	-	+	-
příjemnější na dotek	hmotnost výtisku	nižší hmotnost	ostrá místa
lépe čitelné Braillovo písmo	náklady na výrobu	lepší manipulovatelnost	hůře čitelné písmo

10.3 Finanční možnosti multimediálních tyflomap

Přestože nemultimediální mapy je možné tisknout s velmi nízkými finančními náklady, jejich osazení multimediálními prvky představuje překročení udávané hranice 1000 Kč za jeden výtisk. Tato skutečnost je dána především použitím nákladné a již poněkud zastaralé technologie. Při kompletaci veškerých multimediálních tyflomap v rámci této práce byl použit materiál dodaný Katedrou geoinformatiky UP. Tento materiál obsahoval především elektronické součástky od firmy *EGM energo s.r.o.*, jejichž finanční náklady se pohybují v řádů tisíců Kč viz. Obr. 10.1 (EGM energo, 2015). Ceny uvedeny dle e-shopu firmy *EGM energo* a *GM Electronic*.

1. Hlásič HLM – 301, vč. Paměťové karty a čtečky – 3388 Kč
2. Expandér – 16 napětím spínaných vstupů – 992 Kč
3. Olověný akumulátor Shimastu NPG0.8-12, 12V 0.8Ah – 249 Kč
4. Reproduktor KSM – 450008 – P – 61 Kč
5. Plochý kabel čtyřžilový FBK10H - 19 Kč
6. Mikrospínač – 3 Kč



Obr. 10.1 Materiální náklady multimediálních prvků

Přestože byly veškeré multimediální prvky v této práci připojeny poměrně nákladným způsobem uvedeným výše, je při dalších zpracováních možné použít modernější a cenově dostupnější přístupy. Bylo zamýšleno nad použitím speciálně nastaveného mp3 přehrávače připojeného k senzorům. Tato možnost by velmi zjednodušila celou kompletaci a navíc by značně snížila náklady. Nebylo by nutné používat těžký akumulátor, ale stačila by interní baterie mp3 přehrávače napojeného na malý přenosný reproduktor nebo sluchátka. Celou multimediální tyflomapu by pak bylo možné nabíjet pouhým propojením přes USB port nebo mikro USB adaptérem.

Další možností zdokonalení těchto map je propojení jednotlivých tlačítek v mapě pomocí technologie Bluetooth s mobilním telefonem, mp3 přehrávačem nebo počítačem. Tato možnost by umožnila absenci rozměrné a těžké zvukové krabice plné vodičů. Příkazy pro přehrání jednotlivých hlášek by mohly být přenášeny pomocí Bluetooth přímo do přehrávacího zařízení. Obě možnosti jsou však značně náročné na realizaci a bylo by zapotřebí spolupráce s odborníkem na elektrotechniku a informatiku.

11 VÝSLEDKY

Hlavními cíli této bakalářské práce bylo zkompletovat a otestovat tyflomapy, které byly vytvořené v rámci výzkumu na Katedře geoinformatiky UP v minulých letech a následně vytvořit a otestovat 3D tisk tyflomap na nových nízkonákladových 3D tiskárnách, které jsou k dispozici na Katedře geoinformatiky UP. Na základě předešlých poznatků upravit staré tyflomapy pro potřeby 3D tisku na nových nízkonákladových tiskárnách a po otestování tyflomap a zjištění nových trendů vytvořit návrh tvorby využití nízkonákladových tiskáren pro tvorbu nových tyflomap. Dále provést zhodnocení možnosti využití multimediálních prvků u těchto nově vytvořených produktů. Součástí výstupů práce je návod pro tvorbu tyflomap na nízkonákladových 3D tiskárnách. Výsledek práce umožní tvorbu hmatových map na 3D tiskárnách, jejichž výsledné náklady budou mnohonásobně levnější než stávající přístupy.

Dílčí cíle stanovené na začátku práce byly splněny následovně:

- ☞ **teoretická rešerše stavu řešené problematiky**
 - ✓ *splněno odborným studiem literatury a konzultacemi, výsledky v kapitole 3 Současný stav řešené problematiky*
- ☞ **finalizace rozpracovaných multimediálních tyflomap z předchozího výzkumu na Katedře geoinformatiky UP**
 - ✓ *splněno kompletací map, dokumentováno v kapitole 4 Kompletace a testování původních tyflomap*
- ☞ **návrh a otestování tvorby hmatových map na RepRap tiskárnách (dostupných na Katedře geoinformatiky UP)**
 - ✓ *splněno analýzou možností a tvorbou testovacích výtisků, popsáno v kapitole 5 Možnosti nízkonákladového 3D tisku*
- ☞ **testování hotových hmatových map uživateli**
 - ✓ *splněno kvalitativním testováním se 3 nevidomými respondenty, popsáno v kapitole 6 První testování koncovými uživateli*
- ☞ **návrh manuálu pro tisk hmatových map na RepRap tiskárnách.**
 - ✓ *splněno návrhem a podrobným popisem postupu – popsáno v kapitole 7 Pracovní postup tvorby tyflomap pro nízkonákladový 3D tisk*
- ☞ **zhodnocení možnosti využití multimediálních prvků na nových tyflomapách**
 - ✓ *splněno analýzou možností a praktickou realizací multimediální tyflomapy z nových 3D tisků – popsáno v kapitole 9 Využití multimediálních prvků nízkonákladových tyflomap*
- ☞ **druhé uživatelské testování po zapracování připomínek a poznatků z prvního testování**
 - ✓ *splněno kvalitativním testováním s 8 respondenty, popsáno v kapitole 8 Druhé testování koncovými uživateli*

11.1 Kompletace původních výtisků

Prvním cílem této práce bylo zkompletovat a otestovat tyflomapy, které byly vytvořené v rámci výzkumu na Katedře geoinformatiky UP. Tento cíl byl splněn dokončením těchto multimediálních tyflomap. Dokončení spočívalo v doplnění map o multimediální prvky, které představovaly nahrané zvukové hlášky, které doplňovaly hmatové mapy o další, v některých případech i neprostorové informace. Konkrétně bylo zapotřebí osadit mapu tlačítka a ty následně připojit ke speciálnímu zvukovému modulu (viz. kapitola 4)

Při tomto kroku byly zkompletovány celkem čtyři tyflomapy, z nichž tři představovaly tematické mapy památek Unesco v České republice. Čtvrtá zobrazovala jednotlivé státy Evropy.

11.2 Návrh nízkonákladového 3D tisku

Následujícím cílem bylo vytvořit a otestovat 3D tisk tyflomap na nových nízkonákladových 3D tiskárnách, které jsou k dispozici na Katedře geoinformatiky UP.

Tento krok zohledňuje především změny oproti původnímu tisku. Tyto změny zahrnují především odlišný tiskový materiál a odlišnou technologii 3D tisku.

K výslednému návrhu bylo postupováno pomocí testovacích výtisků jak celkových map, tak i jednotlivých mapových prvků jako je např. popis v Braillově písmu. Na základě těchto pokusných tisků a testování bylo stanoveno několik zásad založených na skloubení tyflografických pravidel s technologickými možnostmi 3D tiskárny. (viz. kapitola 5.2)

Konkrétně jde o stanovení rozměrů liniových a bodových prvků společně s Braillovým písmem a prohloubenými liniemi v mapě. Při testování linií bylo vysledováno, že by se v mapě neměly vyskytovat příliš tenké a vysoké linie, které jsou jednak příliš ostré při hmatovém kontaktu a navíc hrozí jejich odlomení. Na základě těchto pokusů je doporučeno netisknout linie s menší tloušťkou než 3 mm tak, aby výška přesahovala jejich tloušťku. U bodových prvků je dále doporučeno zamezit výskytu menších prvků v tyflomapě, než o velikosti 3 × 3 mm, jelikož při menším rozměru dochází k odlomení a jsou hůře hmatově čitelné a odlišitelné od ostatních prvků. U modelace Braillova písma pak bylo stanoveno modelování polokoulí o rozměru 2 × 1 mm takovým způsobem, aby co nejvíce odpovídalo standardu. Ke zjednodušení další tvorby Braillova písma byla vymodelována abeceda jednotlivých znaků spolu s číselnými znaky (viz. obr. 5.1). Při testování použití prohloubených míst v mapě bylo shledáno jako ideální použití rozměrů umožňujících mezeru nahmatat celou dotykovou plochou prstu, aby bylo dosaženo i na spodní část prohlubně.

11.3 Pracovní postup tvorby tyflomap

Součástí výstupů práce je návod pro tvorbu tyflomap na nízkonákladových 3D tiskárnách. Toho bylo dosaženo díky poznatkům získaným při pokusných výtiscích, na základě kterých bylo přistoupeno k vytvoření pracovního postupu pro tvorbu nízkonákladových hmatových map. Výsledkem je přesný postup zahrnující softwarové řešení umožňující převod běžných GIS dat do 3D modelačního softwaru, jejich následnou úpravu až po výsledný 3D tisk. V návodu je zmíněna potřebná úprava dat



v GIS a jejich následný export do formátu s nímž je možné pracovat v dalším kroku, který představuje 3D modelování Braillova písma a dalších prvků. Tyto prvky nebylo možné v prostředí GIS vytvořit takovým způsobem, aby je pak bylo dále možné exportovat do trojrozměrného obrazu. Návod také obsahuje nutné úpravy, které je zapotřebí provést, aby byla domodelovaná mapa kvalitně vytisknuta bez chyb, které mohly vzniknout během množství datových exportů. (viz. kapitola 7)

11.4 Výsledky testování cílovými uživateli


Jedním z výstupů práce jsou výsledky testování finálních tyflomap a jejich porovnání s původními výtisky. Finální vytisknuté mapy tvoří multimediální mapa památek UNESCO v České republice, mapa míry nezaměstnanosti v krajích ČR a mapa náměstí Národních hrdinů v Olomouci. Tato testování byla realizována ve spolupráci s Ústavem speciálněpedagogických studií na Univerzitě Palackého a ve spolupráci s organizacemi Tyfloservis Olomouc a TyfloCentrum. Výsledky testování tvoří poznatky získané pomocí dotazníků, které byly vyplněny na základě odpovědí a připomínek jednotlivých testovaných cílových uživatelů. Kromě testovaných respondentů se zrakovým postižením byly vedeny i konzultace s odbornými pracovníky, kteří s nevidomými denně pracují. Tyto poznatky a doporučení byly pečlivě zaznamenány a využity při zpracování dalších map, případně zmíněny v textové části práce. (viz. kapitola 6 a 8)

11.5 Soubor finálních výtisků

Výsledkem práce jsou finální výtisky tyflomap vytvořených na základě zjištěných poznatků uvedených v kapitole 5 a na základě zapracování nedostatků zjištěných při testování nevidícími uživateli (viz. kapitola 6 a 8). Výsledným výtiskům předcházela řada pokusných tisků, jejichž soubor je uveden v kapitole 5.4

Název mapy: Památky UNESCO v ČR 1 - multimediální	Název mapy: Památky UNESCO v ČR 2 - multimediální
Použitý materiál: Sádrový prášek	Použitý materiál: Sádrový prášek
Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm	Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm
Počet čidel: 13	Počet čidel: 27
Hmotnost: 2,1 kg	Hmotnost: 2,1 kg
	

Název mapy: Památky UNESCO v ČR 3 - multimediální	Název mapy: Státy Evropy
Použitý materiál: Sádrový prášek	Použitý materiál: Sádrový prášek
Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm	Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm
Počet čidel: 27	Počet čidel: 38
Hmotnost: 2,1 kg	Hmotnost: 2,5 kg
	
Název mapy: Nezaměstnanost v krajích ČR k 31. 12. 2009	Název mapy: náměstí Národních hrdinů v Olomouci - výtisk 1
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm)	Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm)
Rozměr: 32,5 × 24,5 × 1 cm	Rozměr: 47 × 30 × 2 cm
Hmotnost: 420 g	Hmotnost: 650 g
	
Název mapy: náměstí Národních hrdinů v Olomouci - výtisk 2	Název mapy: náměstí Národních hrdinů v Olomouci - kapesní
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,252 mm)	Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm)
Rozměr: 32 × 23 × 1 cm	Rozměr: 16,5 × 12 × 0,5 cm
Hmotnost: 380 g	
	

Název mapy: Památky UNESCO v ČR 4 - multimediální
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,252 mm)
Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm
Počet čidel: 13
Hmotnost: 1,5 kg


11.6 Zabudování multimediálních prvků

Jedním z cílů práce bylo provést zhodnocení možnosti využití multimediálních prvků těchto nově vytvořených produktů. Tohoto výsledku bylo docíleno podobným způsobem jako u kompletace starších tyflomap (viz. kapitola 4). Rozdílem oproti původním multimediálním mapám je jednodušší manipulace s mapou díky její nižší hmotnosti a odolnému plastovému materiálu. Multimediální prvky zde fungují stejným způsobem jako u původních tyflomap.



Obr. 11.1 Zabudovaná čidla v nízkonákladové tyflomapě

12 DISKUZE

Účelem této práce bylo navázat na výzkum hmatových map, který byl realizován v letech 2008–2010 na Katedře geoinformatiky UP pod vedením prof. Voženilka a zkusit zkombinovat výsledky tohoto výzkumu se současným výzkumným směrem Katedry geoinformatiky, kterým je 3D tisk pod vedením dr. Bruse. Na téma 3D tisku vznikla na Katedře geoinformatiky již první bakalářská práce Radka Barvíře (2015), kde jsou popsány podrobně aspekty tisku na RepRap tiskárnách, potřebné technologické přístupy a nastavení, proto je tato bakalářská práce vhodná i pro zájemce o tisk hmatových map na těchto tiskárnách.

V průběhu realizace práce byly dohotoveny tyflomapy z předchozího výzkumu tak, aby mohly být využívány k praktické výuce cílových osob i k dalšímu výzkumu hmatových map. Především však byly zhodnoceny přínosy nového nízkonákladového tisku a byl navržen pracovní postup pro tvorbu nízkonákladových hmatových map na 3D tiskárnách RepRap.

Hlavní část této práce představovala hledání optimálních nastavení 3D tiskárny takovým způsobem, aby na ni bylo možné tisknout hmatové mapy splňující tyflografická pravidla pro tvorbu těchto map. Sjednocení těchto pravidel a nastavení bylo dosaženo a na základě toho je tisk hmatových map na nízkonákladových tiskárnách typu *RepRap* určitě možný, avšak převod mapy do takové podoby, aby ji bylo možné vytisknout na 3D tiskárně stále vyžaduje řadu manuálních zásahů. Především množství datových exportů vytváří ve výsledném modelu chyby, které je zapotřebí opravovat speciálními programy a tvorbu tyflomapy prodlužují.

Kromě toho se během řešení práce nepodařilo najít optimální opensource řešení, které by umožňovalo minimum finančních nákladů investovaných do softwaru. V rámci práce byl převáděn formát ESRI shapefile do 3D formátu VRML za pomoci licencovaného softwaru ArcScene 10.2. Do budoucna by bylo velmi vhodné přijít na postup, který by umožňoval převod formátu ESRI shapefile do 3D formátu například prostřednictvím softwaru Quantum GIS (QGIS).

Dalším významným problémem, který byl při zpracování shledán, je tvorba Braillova písma, která musela být prováděna manuální modelací v modelovacím softwaru Blender. Původně bylo písmo vytvářeno pomocí vložení fontu Braillova písma do programu a jeho následné vytažení do prostoru. To se však ukázalo jako nevhodné především pro jeho snadné odlomení a muselo být přistoupeno k manuální tvorbě bod po bodu. Tím vznikaly jednak nechtěné nepřesnosti jednotlivých znaků a značně se prodlužovalo časové zpracování. I při zapracování veškerých nedostatků bylo písmo místy tisknuto nekvalitně, avšak čitelně. Optimální standardizovaná podoba Braillova písma je nejspíše nad technologické možnosti 3D tiskárny, na které bylo tisknuto. Jednou z možností jak se vyhnout tomuto nedostatku je olepení hmatových map štítky se standardizovaným písmem vytvořeným například pomocí dymo kleští.

Dalším nedostatkem shledaným při této technologii je jednobarevný tisk, který omezuje využití vytisknutých map pro uživatele se zbytky zraku, kteří si hmatově získané kontroly prostřednictvím kontrastních barev v mapě. Pro tento účel by bylo zajímavým řešením využít pro tisk tyflomap 3D tiskárny od společnosti Mcor, která umožňuje 3D tisk papíru v široké škále barev. Ovšem při porovnání pořizovací ceny tiskárny typu RepRap a Mcor je tato možnost diskutabilní.

I přes veškeré nedostatky byly vytvořené hmatové mapy odborníky i osobami se zrakovým postižením shledány jako velmi přínosné pro jejich nízkou cenu a prostorové vykreslování s různou výškovou členitostí, která se u produkovaných tyflomap jinými metodami pohybuje jen v řádech milimetrů. Navíc pokud by byla zjednodušena celková softwarová příprava spolu se zdokonalením a zrychlením tvorby Braillova písma, nebo pokud by byla dokonce celá datová příprava zautomatizována způsobem umožňujícím nevyškolenému uživateli, například asistentovi nevidomého vytisknout tyflomaps aktuálně požadovaného území na podkladu veřejně dostupných webových map, představoval by nízkonákladový 3D tisk tyflomap obrovský potenciál do budoucna, díky kterému by osoby se zrakovým postižením získaly dodnes nepředstavitelné možnosti prostorové orientace za zlomek ceny oproti stávajícím přístupům.

Budoucí využití práce je praktické z hlediska možnosti tvorby nových hmatových map, ale závěry práce poskytují také prostor pro další výzkum hmatových map, kdy by bylo ve spolupráci s širší skupinou respondentů stanoveno, jaké jsou technologické možnosti pro optimalizaci výstupů a k čemu všemu by se hmatové mapy daly využít. Nápadem školitelky bylo například vytvořit velký plán (např. 40 × 60cm) určité oblasti (přednádraží, náměstí Národních hrdinů, apod.) a k tomu malou „přehledovou“ mapu pohlednicového formátu, kterou by mohli mít uživatelé při sobě v pohybu terénem. Tato možnost však nebyla testována z důvodu časové náročnosti a konceptu této bakalářské práce, nicméně je to možný směr budoucího vývoje této problematiky.

13 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo otestovat možnosti tisku hmatových map na nízkonákladových 3D tiskárnách typu RepRap dostupných na katedře geoinformatiky, díky kterým se finanční náklady na výrobu zmenší na zlomek ceny původně vytvořených tyflomap metodou 3D tisku na Univerzitě Palackého i jakoukoliv stávající metodou.

Počáteční krok představoval zabudování multimediálních prvků do původních tyflomap. Tyto multimediální prvky představovaly zvukové soubory nahrané na zvukovém modulu propojeném s tlačítky v mapě, která byla osazena na krabici obsahující veškeré komponenty nutné pro funkčnost zvukových hlášek. Celkem byly zkompletovány čtyři tyto původní mapy.

Na základě poznatků získaných studiem těchto původních tyflomap a studiem technologických možností 3D tiskárny byla provedena řada pokusných výtisků, které měly datový základ z původních tyflomap. Po realizaci těchto výtisků bylo zjištěna nutnost provést úpravy některých mapových prvků a objektů takovým způsobem, aby byly vhodně vytisknutelné na nízkonákladových tiskárnách. Tyto úpravy se týkaly především popisu v Braillově písmu a některých příliš tenkých a vysokých prvků, které se při hmatovém kontaktu odlamovaly. Po zaznamenání a odstranění veškerých úskalí, jež nastala při tisku na nových tiskárnách, byl vypracován návrh tvorby tyflomap na těchto tiskárnách zahrnující omezení, kterým by se mělo při dalším zpracování vyvarovat.

Další krok představoval tvorbu nových nízkonákladových tyflomap se zahrnutými předešlými poznatky. Tyto nové mapy byly následně otestovány osobami se zrakovým postižením a na základě jejich připomínek byly zapracovány úpravy. Za pomoci těchto ucelených poznatků byl vytvořen podrobný návod pro tvorbu těchto nových tyflomap, který je obsažen v příloze této práce a ve stručné podobě v samotném textu práce. Zároveň byly vytvořeny tři finální hmatové mapy, z nichž dvě představují tematické mapy – mapu památek Unesco v České republice a mapu s mírou nezaměstnanosti v krajích České republiky. Třetí mapa znázorňuje frekventovanou křižovatku na náměstí Národních hrdinů v Olomouci.

Finální mapy byly opět konzultovány s odborníky a testovány koncovými uživateli. Při tomto testování bylo navrženo využití těchto tyflomap, jež představuje jednak edukační potenciál tematických map České republiky a také orientační potenciál především mapy náměstí Národních hrdinů, která může sloužit například jako pomůcka při výuce pohybu nevidomého po daném území.

Na závěr byla nová hmatová mapa památek Unesco přetvořena na tyflomapsu typu C, což zahrnuje doplnění mapy o zvukové hlášky spustitelné tlačítky v mapě a připojenými ke zvukovému modulu v krabici pod mapou.

Všechny stanovené cíle práce byly realizovány po konzultaci se školitelkou práce a s odbornými konzultanty. Výstupy práce mohou sloužit k praktickým účelům výuky cílových uživatelů, ale především jako podklad pro možné budoucí rozšíření výzkumu tvorby hmatových map.

O bakalářské práci byly vyhotoveny webové stránky dostupné na Katedře geoinformatiky UP a všechny fyzické výtisky byly uloženy u vedoucí bakalářské práce.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Ariadne GPS: An innovative app for your mobility [online]. 2015 [cit. 2015-07-12]. Dostupné z: <http://www.ariadnegps.eu/>

BARVÍŘ, Radek. 2015. Implementace 3D tisku pro tvorbu fyzických modelů reliéfu a povrchu. Olomouc. Dostupné také z: http://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/bakalarske/barvir15/download/bp_barvir_2015.pdf. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Jan BRUS, Ph.D.

BLENDER FOUNDATION. *Blender 2.75* [online]. 2015 [cit. 2014-11-14]. Dostupné z: <https://www.blender.org/>

ČERVENKA, Petr. *Mapy a orientační plány pro zrakově postižené: metody tvorby a způsoby využití*. Vyd. 1. Praha: Aula, 1999, 66 s. ISBN 80-902667-4-6.

DOLEŽAL, Jan. 2010. *Programová podpora přípravy 3D dat pro tisk tyflomap*. Olomouc. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

EGM ENERGO. *Zakázkový vývoj elektroniky: AKUSTICKÝ HLÁSIČ HLM-301 NA DIN LIŠTU NEBO NA PANEL* [online]. 2015 [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: <http://www.egmenergo.cz/index.php?text=hlm301>

FINKOVÁ, Dita, Veronika STOKLASOVÁ a Kateřina STEJSKALOVÁ. *Úvod do speciální pedagogiky osob se zrakovým postižením*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-244-2517-7.

GÖTZELMANN, Timo a Aleksander PAVKOVIC. Towards Automatically Generated Tactile Detail Maps by 3D Printers for Blind Persons: 14th International Conference, ICCHP 2014, Paris, France, July 9-11, 2014, Proceedings, part II. New York: Springer, s. 33 – 38 ISBN 978-3-319-08598-2

HaptoRender. 2009. *HaptoRender* [online]. [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/HaptoRender>

HAPTIMAP. *Pocket Navigator* [online]. 2015 [cit. 2015-07-23]. Dostupné z: <http://www.pocketnavigator.org/index.php>

JESENSKÝ, Ján. *Hmatové vnímání informací s pomocí tyflografiky*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988, 226 s. Knižnice speciální pedagogiky.

JURÁŠKOVÁ, Kateřina. 2010. Uplatnění tyflografiky v práci s dospělými osobami se zrakovým postižením. Olomouc. Dostupné také z: <http://theses.cz/id/jpn5l2/82580-542949691.pdf>. bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

LIGHTHOUSE. *Braille and Tactile Maps* [online]. San Francisco, USA, 2013 [cit. 2015-07-23]. Dostupné z: <http://lighthouse-sf.org/braille-translation/braille-tactile-maps/>

LITVAK, A. G. Z teorie pedagogiky a psychologie zrakově postižených. 1. vydání. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 1979. 172 s.

MATOUŠEK, Miroslav. 2013. Moderní nástroje tisku využívající 3D technologie, pro čipy i biomolekuly. In: *Moderní nástroje tisku využívající 3D technologie, pro čipy i biomolekuly* [online]. [cit. 2015-04-23]. DOI: CZ.1.07/2.3.00/20.0148. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_239_nanotech/nanolabsys/seminare_5mz/S46_2014_p.pdf

PAVLÍČEK. 2014. POSLEPU: Pomoc slepým uživatelům. *POSLEPU: Pomoc slepým uživatelům* [online]. [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://poslepu.cz/tag/hmatove-mapy/>

POPPINGA, Benjamin. *TouchOver Map: Audio-Tactile Exploration of Interactive Maps*. Stockholm, Švédsko: NY: ACM, 2011. ISBN 9781450305419. Dostupné také z: http://www.benjaminpoppinga.de/wp-content/uploads/2011/07/MobileHCI11_-_TouchOver_Map_final.pdf

PRŮŠA, Josef. 2014. *Základy 3D tisku* [online]. 1. vydání. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>

PRUSA RESEARCH. *3D TISKÁRNA PRUSA I3 PLUS* [online]. 2015 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/#i3-printer>

ŠPLÍCHALOVÁ, Romana. 2012. Školní atlasy pro slabozraké. Brno. diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

ŠIKL, Radovan. *Zrakové vnímání*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 312 s. Psyché (Grada). ISBN 9788024730295.

TYFLOKABINET ČESKÉ BUDĚJOVICE. *Tyflokabinet České Budějovice: Braillovo písmo* [online]. 2010. [cit. 2014-3-11]. Dostupné z: <http://www.tyflokabinet-cb.cz/brail.htm>

TMAP. 2004. *TMAP* [online]. [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: <http://www-test.ski.org/Rehab/TMAP/>

Tyflonet: Historie vzdělávání nevidomých a slabozrakých. *Tyflonet* [online]. 2010 [cit. 2015-02-05]. Dostupné z: <http://www.tyflonet.cz/informacni-zdroje/historie-pece-o-osoby-se-zp-1>

VERSOTEQ 3D SOLUTIONS OY. *Versoteq: Tactile Maps* [online]. Espoo, Finsko, 2015 [cit. 2015-07-23]. Dostupné z: <http://versoteq.com/tactile-maps>

UNIVERZITA PALACKÉHO. *Percepce geoprostoru prostřednictvím tyflomap moderního typu* [online]. 2010. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.tactilemaps.upol.cz/>

VOŽENÍLEK, Vít. *Hmatové mapy technologií 3D tisku*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010, 82 s. ISBN 978-80-244-2697-6.

WATANABE, Tetsuya a kol. *Tactile Map Automated Creation System Using OpenStreetMap: 14th International Conference, ICCHP 2014, Paris, France, July 9-11, 2014, Proceedings, part II*. New York: Springer, s. 42 – 49 ISBN 978-3-319-08598-2

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy


- Příloha 1.1 Datový list - Nezaměstnanost v krajích ČR k 31. 12. 2009
- Příloha 2.1 Datový list - náměstí Národních hrdinů v Olomouci – verze 1
- Příloha 3.1 Datový list - náměstí Národních hrdinů v Olomouci –kapesní verze
- Příloha 4.1 Datový list - náměstí Národních hrdinů v Olomouci – verze 2
- Příloha 5.1 Datový list - Památky UNESCO v České republice 1 – multimediální
- Příloha 6.1 Datový list - Památky UNESCO v České republice 2 – multimediální
- Příloha 7.1 Datový list - Památky UNESCO v České republice 3 – multimediální
- Příloha 8.1 Datový list - Památky UNESCO v České republice 4 – multimediální
- Příloha 9.1 Datový list - Státy Evropy - multimediální

Volné přílohy

- Příloha 1.2 tyflomapa Nezaměstnanost v krajích ČR k 31. 12. 2009
- Příloha 2.2 tyflomapa náměstí Národních hrdinů v Olomouci verze 1
- Příloha 3.2 tyflomapa náměstí Národních hrdinů v Olomouci –kapesní verze
- Příloha 4.2 tyflomapa náměstí Národních hrdinů v Olomouci verze 2
- Příloha 5.2 tyflomapa Památky UNESCO v České republice 1 – multimediální
- Příloha 6.2 tyflomapa Památky UNESCO v České republice 2 – multimediální
- Příloha 7.2 tyflomapa Památky UNESCO v České republice 3 – multimediální
- Příloha 8.2 tyflomapa Památky UNESCO v České republice 4 – multimediální
- Příloha 9.2 tyflomapa Státy Evropy – multimediální
- Příloha 10.2 Česká republika - pokus 1
- Příloha 11.2 nám. Národních hrdinů - pokus 2
- Příloha 12.2 Míra nezaměstnanosti v krajích ČR – pokus
- Příloha 13.2 Míra nezaměstnanosti v krajích ČR – pokus 2
- Příloha 14.2 část přednádražního prostoru
- Příloha 15.2 část mapy památek UNESCO
- Příloha 16.2 nám. Národních hrdinů – pokus 3
- Příloha 17.2 vzorník Braillova písma
- Příloha 18.2 vzorník linií a objektů
- Příloha 19.2 vzorník prohlubní
- Příloha 20.2 vzorník Braillova písma 2
- Příloha 21.2 DVD s daty k bakalářské práci

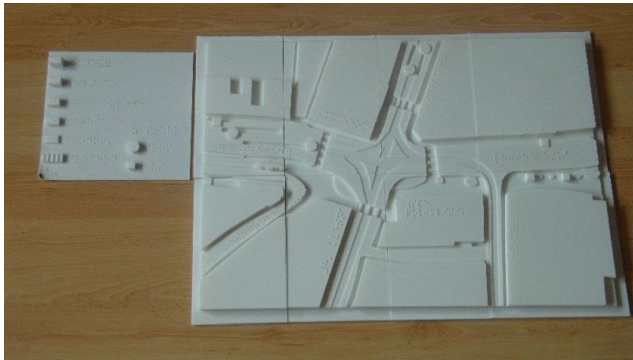
Příloha 1.1

Datový list k tyflomapě Nezaměstnanost v krajích ČR k 31. 12. 2009

Název mapy: Nezaměstnanost v krajích ČR k 31. 12. 2009
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm)
Rozměr: 32,5 × 24,5 × 1 cm
Hmotnost: 420 g


Příloha 2.1

Datový list k tyflomapě náměstí Národních hrdinů v Olomouci – verze 1

Název mapy: náměstí Národních hrdinů v Olomouci - výtisk 1
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm)
Rozměr: 47 × 30 × 2 cm
Hmotnost: 650 g


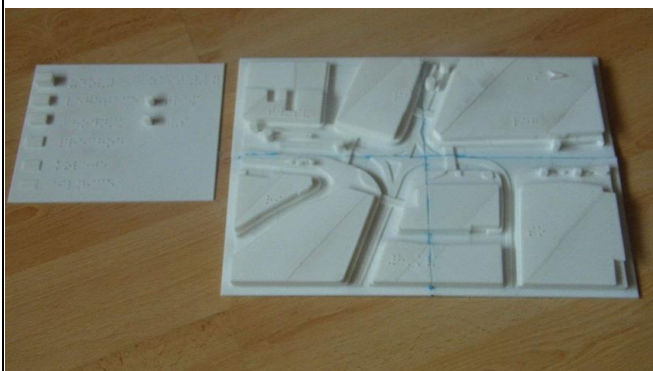
Příloha 3.1

Datový list k tyflomapě náměstí Národních hrdinů v Olomouci – kapesní verze

Název mapy: náměstí Národních hrdinů v Olomouci - kapesní
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,152 mm)
Rozměr: 16,5 × 12 × 0,5 cm


Příloha 4.1

Datový list k tyflomapě náměstí Národních hrdinů v Olomouci – verze 2

Název mapy: náměstí Národních hrdinů v Olomouci - výtisk 2
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,252 mm)
Rozměr: 32 × 23 × 1 cm
Hmotnost: 380 g


Příloha 5.1

Datový list k tyflomapě Památky UNESCO v České republice 1 multimediální

Název mapy: Památky UNESCO v ČR 1 - multimediální

Použitý materiál: Sádrový prášek

Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm

Počet čidel: 13

Hmotnost: 2,1 kg



Příloha 6.1

Datový list k tyflomapě Památky UNESCO v České republice 2 multimediální

Název mapy: Památky UNESCO v ČR 2 - multimediální

Použitý materiál: Sádrový prášek

Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm

Počet čidel: 27

Hmotnost: 2,1 kg




Příloha 7.1

Datový list k tyflomapě Památky UNESCO v České republice 3 multimediální

Název mapy: Památky UNESCO v ČR 3 - multimediální
Použitý materiál: Sádrový prášek
Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm
Počet čidel: 27
Hmotnost: 2,1 kg


Příloha 8.1

Datový list k tyflomapě Památky UNESCO v České republice 4 multimediální

Název mapy: Památky UNESCO v ČR 4 - multimediální
Použitý materiál: PLA plast (tryska 0,4 mm, vrstva 0,252 mm)
Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm
Počet čidel: 13
Hmotnost: 1,5 kg


Příloha 9.1

Datový list k tyflomapě Státy Evropy – multimediální

Název mapy: Státy Evropy
Použitý materiál: Sádrový prášek
Rozměr: 30 × 25 × 6,5 cm
Počet čidel: 38
Hmotnost: 2,5 kg
