

TVORBA A UŽIVATELSKÉ TESTOVÁNÍ TYFLOMAP PRO VÝUKU ZEMĚPISU V ČESKU

Kateřina BEČICOVÁ, Alena VONDRÁKOVÁ

Creation and user testing of tactile maps for teaching geography in Czechia

Abstract: The needs pupils with visual impairment in geographic learning are very specific. Therefore, it is important to address this topic to provide these pupils with quality education in the geographical area. The development of compensation aids, mainly tactile maps, is very important, and modern technologies are implemented to create teaching aids for pupils with visual disabilities. The paper aims to present an educational set of geographical tactile maps and their design and production process. The task was to design a set of tactile maps using TouchIt3D technology. This technology connects the 3D printed plastic maps with smart devices (tablet) and makes the tactile map interactive. The solution is based on classical 3D printing technology. The maps were modelled in SketchUp and then printed on 3D printer Ultimaker 3. User testing focused on comprehensibility, readability, and understanding of the created tactile maps was performed with respondents aged 6–26. The whole map design process was discussed with experts on special pedagogy. The resulting sets of tactile maps include a set using TouchIt3D technology and TactileMapTalk application, a set of plastic 3D maps for common use, and a set of black and white outline tactile maps printed by the fuser. The resulting maps are used directly in teaching geography. Thanks to TouchIt3D technology, pupils with visual impairment are provided with more spatial information in a modern and attractive way.

Keywords: tactile cartography, tactile map, 3D print, geography, TouchIt3D technology

Úvod

Podle Světové zdravotnické organizace (World Health Organisation, WHO) trpí zrakovým postižením nebo slepotou 2,2 miliardy lidí, přičemž nejméně u jedné miliardy se jedná o středně těžké nebo těžké postižení (WHO, 2020). V České republice není dostupná přesná statistika, uvádí se však, že zrakovým postižením zde trpí přibližně 100 tisíc osob, z nichž 10 tisíc je nevidomých nebo s těžkým zrakovým postižením, a toto číslo se neustále zvyšuje (Světluška, 2019). Přestože je zrakové postižení často získáno až v průběhu dospělého života, nejčastěji postupnou progresí zrakové vady nebo úrazem, nemalou část osob se zrakovým postižením tvoří děti.

Vzdělávání dětí s těžkým zrakovým postižením má mnoho specifík, která je potřeba zohlednit. Z hlediska organizace vzdělávání jsou vyžadována různá režimová opatření, která například zavádějí maximální počet žáků ve třídě, využívány jsou speciální didaktické postupy a také specifické výukové pomůcky. Mezi tyto speciální výukové pomůcky patří i tyflomapy, které prezentují prostorové informace ve hmatově vnímatelné podobě.

Tento příspěvek je zaměřen na prezentaci tvorby moderních tyflomap pro výuku zeměpisu, kdy je využito moderního nízkonákladového 3D tisku v kombinaci se smart zařízením, které mapu obohacuje o interaktivní obsah prostřednictvím technologie TouchIt3D. Součástí prezentovaného přístupu je návrh a tvorba tyflomap, včetně uživatelského testování s cílem implementace v praktické výuce. Výzkum tvorby hmatových map s využitím technologie TouchIt3D si kladl za cíl přispět ke kvalitnější výuce zeměpisu u žáků s těžkým zrakovým postižením, proto bylo důležité také porovnat tyflomapy v běžném provedení s navrženými moderními tyflomapami s technologií TouchIt3D.

1. Percepce geoprostoru osobami s těžkým zrakovým postižením

Uvádí se, že lidé vnímají asi 85 % podnětů z okolí pomocí zraku (Voženílek et al., 2010). Z hlediska vnímání a získávání prostorových informací je zrak jednoznačně dominantní. Osoby s těžkým zrakovým postižením však možnost získávání informací zrakem nemají, případně je tato schopnost výrazně limitována. Tento deficit má sekundárně výrazný vliv na kvalitu jejich života v řadě oblastí. Předně se jedná o dopad na základní dovednosti člověka, mezi které patří samostatný pohyb v prostoru. Ten je bez zrakové percepce velmi obtížný, navíc potenciálně nebezpečný. Prostor, ve kterém se lidé pohybují a který vnímají svými smysly, je označován jako geoprostor (Voženílek et al., 2010).

Díky nízké úrovni pochopení geoprostoru je orientace osob s těžkým zrakovým postižením velmi obtížná a bez výrazné pomoci se neobejdou. Základní znalostí pro snazší orientaci v geoprostoru je čtení map. Jakmile si nevidomí osvojí správně čtení hmatové mapy, není pro ně pohyb v neznámém prostředí tak náročný. Pokud se navíc tyto osoby seznámí s hmatovými mapami již na základní škole, začnou rozvíjet svoji kartografickou gramotnost a jejich prostorová orientace se výrazně zlepšuje. Jsou schopni lépe vnímat prostor, analyzovat prostorové souvislosti a hledat například vhodnou trasu pro pohyb.

V kontextu vzdělávání je získávání prostorových informací a pochopení jejich vzájemných souvislostí důležité ke studiu mnoha oborů, které se odkazují na geografické charakteristiky. Proto je důležité umožnit osobám s těžkým zrakovým postižením přijímat informace způsobem, který je pro ně vhodný.

2. Tyflokartografie a tyflomapy

Tyflokartografie se zabývá tvorbou plánů, map a glóbulů pro zrakově postižené. Podle Vondrákové et al. (2020a) se mapy vyhotovené pro účely zrakově postižených nazývají hmatové mapy nebo tyflomapy, v anglickém jazyce je používán termín „tactile maps“, ojediněle také „finger maps“. Tyflokartografie má své místo i v Mezinárodní kartografické asociaci prostřednictvím *Komise pro mapy a grafiku pro nevidomé a zrakově postižené* (ICA, 2020).

Oproti kartografii tyflokartografie skutečnost více zjednodušuje a snaží se podávat informace tak, aby byly hmatem správně vnímatelné a byly dobře pochopeny. Vzhledem k tomu, že tvorba tyflomap není příliš ekonomicky zajímavá pro komerční produkci, není nabídka těchto kompenzačních pomůcek nijak široká. Současně není systematickému pojetí a zdokonalování tyflokartografických postupů věnováno tolik prostoru, jako jiným oblastem. Často se tak vychází z principů tyflografiky, které stanovil Jesenský v 70. letech minulého století a novější práce tyto údaje většínou pouze reprodukuje (Vondráková et al., 2020a).

Dostupné tyflomapy, včetně těch používaných ve výuce, jsou z různých materiálů a v různé kvalitě zpracování. Rešerše těchto pomůcek proběhla ve spolupráci s Gymnáziem pro zrakově postižené a Střední odbornou školou pro zrakově postižené v Praze, poznatky byly následně verifikovány na Základní škole pro žáky s poruchami zraku v Praze. Velkou část učebních pomůcek tvoří plastové jednobarevné mapy vytvořené metodou termovakuového tisku, přičemž tyto mapy jsou často desítky let staré. Část map tvoří plastické mapy, které jsou určeny běžně vidícím osobám, ale s doprovodným výkladem slouží jako vhodná pomůcka i pro osoby se zrakovým postižením. Některé pomůcky jsou získány jako hračky z běžného prodeje, jedná se například o puzzle regionů České republiky. Část modernějších pomůcek má pak tu nevýhodu, že jsou získány ze zahraničí a mají tedy popisy nebo interaktivní funkce v cizím jazyce. Část manuálně vytvářených pomůcek a map také vzniká díky zájmu a kreativě speciálních pedagogů, kteří však nejsou schopni zastupovat roli kartografů. Díky rozvoji moderních technologií se v posledních letech v České republice tvorba hmatových map ale přeci jen rozvíjí a zdokonaluje, a to především na akademické půdě.

Na prvním místě je potřeba uvést projekt Haptické mapy. Internetový portál Mapy.cz od společnosti Seznam.cz poskytuje od roku 2014 službu tvorby podkladů pro tisk hmatových map. Na podpoře výzkumu a realizaci se Seznam.cz podílel se středisky pro podporu studentů se specifickými potřebami Elsa na ČVUT v Praze a Teiresiás na Masarykově univerzitě v Brně. Projekt Haptických map je založen na převádění běžných internetových map do podoby map hmatových. Jejich mapový podklad je převzat z běžných map a podroben generalizaci podle zásad tyflografiky.

Následně je konvertován do grafického dokumentu a optimalizován pro technologie využívající tisku na takzvaný mikrokapsulový papír. Na jeho teplocitlivou vrstvu se předloha natiskne a ve speciálním zařízení pomocí infračervené lampy se list zahřeje. Tím tmavé kontury nabydou na objemu, vystoupí nad povrch papíru a vytvoří dobře hmatný reliéf (Červenka et al., 2014). Například ve Středočeském kraji vznikly hmatové mapy pro nevidomé z dotačních fondů EU (ČT24, 2011). Formou plastických foliových map jsou prezentovány nejdůležitější informace o pohořích, vodstvu, okresních městech a památkách. To motivovalo k vytváření map pro nevidomé i další kraje, např. Moravskoslezský, Plzeňský nebo Jihomoravský.

Katedra geoinformatiky na Univerzitě Palackého v Olomouci (KGI UP) se problematice tvorby hmatových map věnuje ve spolupráci s Ústavem speciálněpedagogických studií UP již od roku 2008. Od té doby se na tvorbě hmatových map projevil rychlý rozvoj moderních technologií, který vyústil v současně nejmodernější využívanou technologii TouchIt3D. Rozsáhlá publikace shrnující poznatky z oblasti tyflokartografie a speciální pedagogiky, včetně výzkumu, který byl na uvede-ných pracovištích v uplynulých letech realizován, byla publikována v loňském roce (Vondráková et al., 2020a).

3. Vzdělávání žáků s těžkým zrakovým postižením

Současně s rozvojem společnosti je vyvíjen velký tlak na integraci osob (nejen) se zrakovým postižením do běžného života. To se dotýká i školství, kde dochází k postupné inkluzi. Ta má za cíl podporovat rovné šance dětí na vzdělání, a to i v tom ohledu, že umožňuje dětem s různým druhem postižení navštěvovat školu, která je v místě jejich bydliště. Tato situace pak zvyšuje nároky na zmíněné výukové pomůcky, protože v běžných školách například nejsou dostupné sady tyflobyť tak, jako ve speciálních školách pro zrakově postižené. A i v těchto školách je velký prostor pro zlepšení. Jak totiž vyplynulo z terénního šetření, pomůcky pro vzdělávání dětí, i obecně osob se zrakovým postižením, jsou často staré a neodpovídají současným technologickým možnostem.

Podle Finkové et al. (2007) jsou cílovou skupinou práce s tyflobyťmi jedinci od sedmi do osmnácti let, což je období přípravy na budoucnost, ve kterém se klade důraz na získávání dovedností, rozvoj schopností a osvojení poznatků. Řada studií ukazuje, že strategie, které si nevidomí osvojili při používání hmatových byť, tedy při čtení prostorových informací a pochopení jejich vzájemných souvislostí, zvyšuje efektivitu získávání nových prostorových informací a zlepšuje jejich pohyb a orientaci v prostoru (Ungar et al., 2004; Voženílek et al., 2012; Almeida et al., 2015).

Vzdělávání žáků se zrakovým postižením probíhá podle Školního vzdělávacího programu (ŠVP), který je zpracován podle Rámcového vzdělávacího programu (RVP) základního vzdělávání platného pro základní školy v České republice od roku 2013 (s pravidelnými revizemi), a to bez konkrétních specifických změn. Školský zákon č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání, však jasně uvádí, že jedinec se zrakovým postižením má právo na vzdělání, jehož obsah, metody a formy odpovídají jeho vzdělávacím možnostem a potřebám, a kdy je nutné vytvořit odpovídající podmínky pro jeho edukaci. Vyhláška č. 73/2005 Sb., o vzdělávání dětí, žáků a studentů se speciálními vzdělávacími potřebami a dětí, žáků a studentů mimořádně nadaných, následně ustanovuje systém podpůrných opatření, což jsou speciální metody, formy, postupy a prostředky vzdělávání, včetně učebních, kompenzačních a rehabilitačních pomůcek, speciálních učebnic apod. Do této kategorie tedy patří i opatření týkající se vzdělávání žáků se zrakovým postižením a použití tyflobyť jako kompenzační pomůcky je přímo podporováno.

Kromě standardní výuky ve školách mohou žáci se zrakovým postižením navštěvovat speciálně pedagogická centra (SPC). Rozmístění SPC je v České republice velmi nerovnoměrné, kdy největší množství SPC je soustředěno ve velkých městech, naopak v odlehlejších regionech tento druh pomoci žákům úplně chybí (Voženílek et al., 2014). Z tohoto důvodu i úroveň spolupráce mezi školami a SPC, které například může použití kompenzačních pomůcek doporučit, je na různé úrovni intenzity.

Jak již bylo zmíněno, pedagogové v České republice používají k výuce zeměpisu nejčastěji lisované reliéfní plastové fólie, jejichž informační kapacita je omezená a v některých případech je reliéf natolik složitý, že nelze dojít ke správnému pochopení informací. Popis a vysvětlivky reliéfu

ních map jsou provedeny v Braillově písmu a jsou doplněny přepisem do latinky pro osoby s lehkým postižením zraku, pedagogům, asistentům a jiným vidícím uživatelům. Dalšími pomůckami jsou například plastový globus nebo Haptické mapy od Mapy.cz, mapy vyrobené „na míru“ z plsti, vrstveného papíru apod. Tyto mapy však neodpovídají technologickým možnostem současné doby. Snahou proto bylo nabídnout alternativu, která bude využívat moderní přístupy, zvýší efektivitu informační komunikace mezi tyflomapy a jejím uživatelem a současně zvýší informační hodnotu tyflomap.

4. Tvorba tyflomap

Předmět *Zeměpis* vychází z oblasti *Člověk a příroda*, navazuje na předměty *Vlastivěda a Prvouka* a je zaměřen na získání poznatků o přírodních, hospodářských a sociálních podmínkách. Žáci se seznamují se životem lidí v místní krajině a blízkém regionu, v České republice, v Evropě a dalších světadílech. Osvojují si základní vědomosti o Zemi jako vesmírném tělese a učí se chápat význam přírodních podmínek pro existenci lidské společnosti.

Tvorba tyflomap je posloupností několika kroků od výběru témat, přes návrh obsahu map, tvorbu a modelaci 3D modelů map, až po výsledný tisk a technologické zpracování. Nezbytnou součástí procesu tvorby tyflomap je přitom komunikace s cílovou skupinou uživatelů, a to formou zjištění jejich potřeb a preferencí před zahájením tvorby mapy a provedení uživatelského testování nad navrženými prototypy.

4.1 Výběr témat a návrh obsahu tyflomap

Témata tyflomap byla vybírána s důrazem na pokrytí nejdůležitějších částí výuky a efektivitu práce s mapami pro pochopení okolního prostředí. Při výběru byla zohledňována technologická proveditelnost a snadná pochopitelnost map uživateli (Vondráková et al., 2019). Po nastudování ŠVP v části věnující se výuce zeměpisu byla provedena analýza Školního atlasu světa Kartografie Praha (2019), nejpoužívanějšího atlasu světa ve výuce zeměpisu v České republice. To proto, že i v návaznosti na RVP a ŠVP se jeho obsah od výuky zeměpisu u žáků se zrakovým postižením podstatně neliší. Na základě těchto dvou kroků byl sestaven rozsáhlý seznam možných témat tyflomap. Bylo přitom dbáno na maximální pokrytí učiva zeměpisu, ale také na využití různých měřítek od zobrazení města, států, světadílů až po celý svět.

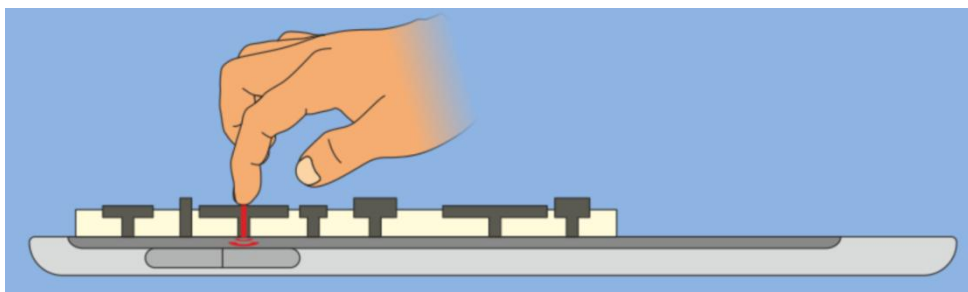
Hlavním určujícím kritériem pro výběr témat k realizaci byly odborné konzultace s pedagogy a také technické parametry. Tyflomapy bylo potřeba přizpůsobit rozměru tabletu, aby mohly být vytvořeny technologií TouchIt3D. Proto byla některá témata map vyřazena, například fyzická mapa světa, pro kterou by byla potřeba větší velikost, než je velikost tabletu, jinak by nebyly zachyceny důležité fyzickogeografické prvky. V současné době pokračuje na KGI výzkum, který řeší tvorbu rozměrově větších map při využití stejné technologie, nicméně toto řešení je stále ve vývoji. Dále byla zohledněna schopnost uživatelů číst v mapě. Na tyflomapách musí být informace zobrazeny přehledně a srozumitelně. Pomocí hmatání lze rozlišit pouze prvky do určité podrobnosti a v určitém množství. I proto byly vyřazeny mapa Evropy se zemědělskou a průmyslovou výrobou a další.

Po zvážení tří uvedených kritérií, a to velikost tabletu, přehlednosti a srozumitelnosti zobrazení, byla vybrána stěžejní témata pro zeměpis na základní škole. Tato témata by měli ovládat všichni žáci, aby se dokázali i s postižením orientovat v prostoru a získali obecný přehled o planetě Zemi (Bečicová, 2020). Při zohlednění preference použití různých měřítek tak vznikl návrh pro sadu: vesmír, svět, Evropa, Česko a plán města.

4.2 Technologie řešení tvorby tyflomap

Vybraná témata map byla zpracována do výsledných tyflomap s využitím technologie TouchIt3D, díky které se do map dostávají interaktivní prvky. Ty vznikají propojením tabletu a plastové mapy. Mapy jsou vytištěny tak, že část modelu je z nevodivého barevného materiálu a druhá část modelu je vytištěna vodivou hmotou s příměsí grafitu. Mapa se umístí do předem připraveného upínacího systému, který mapu umístí na tablet. Na tabletu je nainstalována aplikace, která po stisknutí vodivé části modelu (obr. 1) spustí zvukovou nahrávku, která danému místu přísluší. Například u mapy pohoří je tak možné do zvukové nahrávky umístit informace o daném pohoří, nej-

vyšší hoře nebo jakékoliv další doplňující údaje. Díky vodivému materiálu dojde k propojení uživatele, mapy a tabletu a mapa se stane informačně velmi bohatou.



Obr. 1 Princip technologie TouchIt3D. Po podržení prvku z vodivého materiálu se impuls dostane až k tabletu a spustí se hlasová smyčka příslušná k danému bodu. (Barvůf, 2017)

Po diskuzích s pedagogy, kteří žáky se zrakovým postižením vzdělávají, bylo přistoupeno i k tvorbě dalších dvou typů „alternativních“ tyflomap. Mapy navržené pro technologii TouchIt3D byly zjednodušeny pro tradiční 3D nízkonákladový tisk, a tyto tyflomapy byly ještě dále zjednodušeny pro tisk na mikrokapsulový papír. Důvody pro tento postup byly dva. Prvním důvodem byla budoucí výzkumná otázka, zda TouchIt3D tyflomapy poskytnou žákům více informací a lepší jejich informační percepci a prostorovou orientaci. Druhým důvodem byla ryze praktická otázka finančních nákladů, kdy k TouchIt3D tyflomape je zapotřebí vhodného tabletu s upínacím mechanismem, což je pro většinu škol zatím nereálné v množství pro všechny žáky. Žák je proto při individuální výuce seznámen s TouchIt3D mapou, má čas na její studium a pochopení. Pokud nemá k dispozici vhodné zařízení pro vlastní potřebu, je mu následně poskytnuta „obyčejná“ plastová 3D mapa, která mu slouží k opakování si získaných prostorových poznatků. V případě nedostupnosti této technologie je pak „nejobyčejnější“ variantou tzv. fuzerový tisk, tedy tisk na mikrokapsulový papír, přičemž tato technologie je běžně dostupná v zařízeních pro osoby se zrakovým postižením a mapa pro opakování tak může být vytvořena i tímto způsobem s minimalizací časových i finančních nákladů.

K tisku TouchIt3D tyflomap a běžných plastových map byla využita 3D tiskárna Ultimaker 3, dostupná na KGI UP. Tato tiskárna využívá technologii Fused Deposit Modeling (FDM) od společnosti Strasys, která je založena na tavení plastové struny v extruderu tiskárny a postupném nanášení vrstev roztaveného materiálu přes trysku na tiskovou podložku, kde materiál tuhne (Barvůf, 2017). Model se tiskne na základní desce, která se po dokončení tisku jedné vrstvy posune o kousek dolů. Charakteristická je vysoká pevnost a přesnost modelů (Chalupa, 2012).

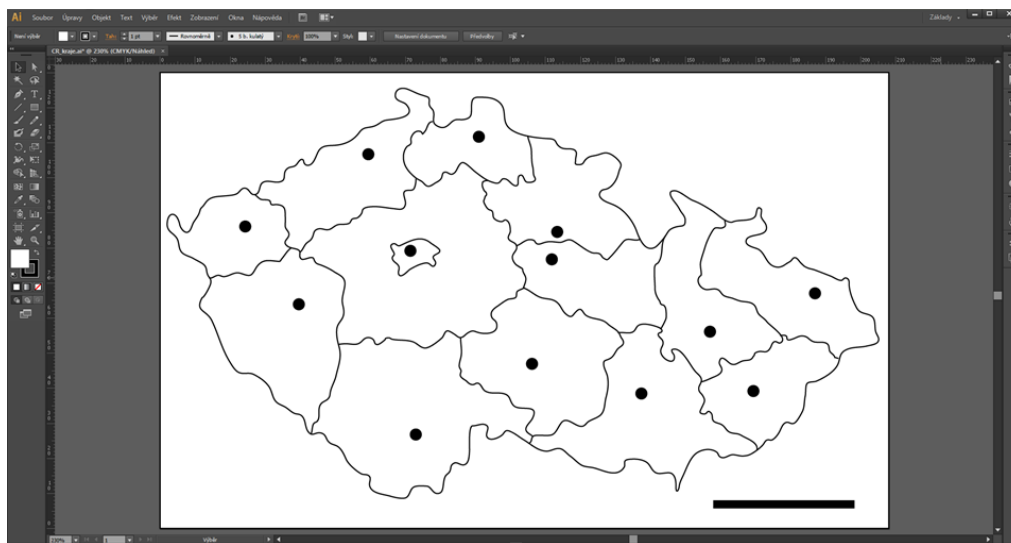
Tiskárna Ultimaker 3 disponuje dvěma extrudery a tryskami, což umožňuje tisk buď dvou menších modelů ze stejného materiálu zároveň, nebo s materiály dvojího druhu, modelovacího a podpůrného. Pro tisk tyflomap byl zvolen materiál PLA (polylactic acid, kyselina polymléčná), bioplast vyráběný z kukuřičného škrobu (Materialpro3d.cz, 2020) se stejnými vlastnostmi jako plast vyráběný z ropy. Není zdravotně závadný, je v přírodě rozložitelný a vyznačuje se vysokou pevností a snadnou manipulací při tisku (Materialpro3d.cz, 2020). Pro vodivý materiál byl využit Proto-pasta Conductive PLA s příměsí uhlíkových částic, díky kterým je materiál vodivý a má svůj typický matný vzhled.

Pro tisk na mikrokapsulový papír byl využit tzv. fuzér pro výrobu reliéfních obrázků na speciální vzpěňovací papír. Jedná se o tiskárnu P.I.A.F. (Pictures in a Flash). Produktem je hmatný obrázek, který věrně kopíruje černotiskovou konturu předlohy.

Zvukové nahrávky byly formou programového kódu vloženy do aplikace TactileMapTalk (2021). Po přiložení mapy s prvky vodivého plastu na tablet dojde s použitím této aplikace při podržení libovolného vodivého prvku ke spuštění zvukové (hlasové) smyčky s informacemi, které byly bodu přiřazeny v programovém kódu.

4.3 Příprava topografických dat

Nejdříve byla vyhledána prostorová data odpovídající vybraným tématům. Pro mapy Česka byly využity administrativní hranice a výšková data z Data200 (2020), mapa Evropy vznikla využitím administrativních hranic států z prostorových dat portálu EUROSTAT (2019). Data byla generalizována v QGIS (verze 3.10.2) a exportována do Adobe Illustrator CS6 pro sestavení předloh všech map (obr. 2). V předlohách byla řešena kompozice, obsah a znakový klíč. Výpočtem bylo určeno měřítko (měřítková linie), pomocí kterého nevidomí uživatelé odvozují vzdálenosti v mapě.



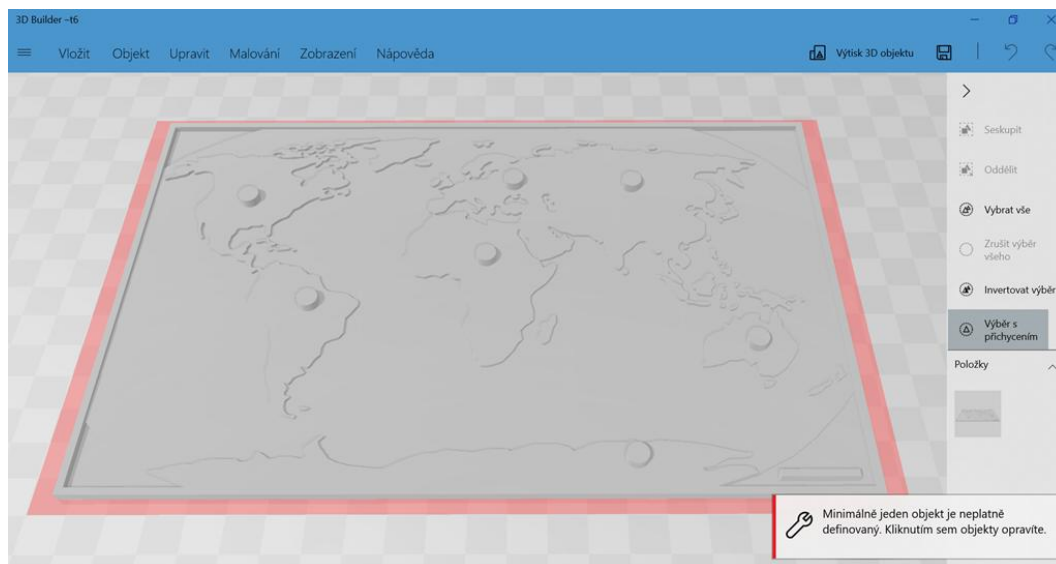
Obr. 2 Sestavení předlohy mapy krajů ČR v programu Adobe Illustrator CS6 při řešení kompozice mapy a měřítka

4.4 Modelování a tisk tyflomap

Modelování tyflomap proběhlo v programu SketchUp (verze 2017). Výšky vrstev pro hmatání byly stanoveny v kroku 1 mm vytažením ohraničených vrstev. Pro mapy s vodivými prvky byl model rozdělen na dvě části. Jedna část pro vodivé prvky, druhá pro zbytek mapy z nevodivého materiálu. Při přípravě map bez vodivého plastu (popsány dále), byly mapy upraveny podle potřeby na jednotlivý model a byl přidán název mapy v Braillově písmu. Po vymodelování byl model vyexportován do souboru .stl, a to po nainstalování extenze STL import & export. Další používanou extenzí v programu SketchUp byla extenze CleanUp3, která odstraňuje nepotřebné čáry v modelu. Vyexportovaný model ve formátu .stl byl nahrán do programu 3D Builder a v něm byly opraveny drobné nepřesnosti (obr. 3). Tím byl model připraven pro 3D tisk. Extenze jsou k dispozici prostřednictvím SketchUp Extension Warehouse (2021).

V programu Ultimaker Cura (verze 4.0) byl model připraven k tisku na tiskárně Ultimaker 3. Když byl model chystán pro interaktivní mapu, tak se skládal ze dvou částí. Části z nevodivého plastu bylo přiřazeno číslo jedna, což označuje číslo extruderu, v tomto případě levá tryska; části z vodivého plastu číslo dva pro pravou trysku. Parametry tisku byly nastaveny pro obě trysky stejně. Nastavovanými parametry byly například: materiál – PLA, profil – fast (0,2 mm), výplň – 90 %, zapnutá změna Z souřadnice (ve vertikálním směru) při přesunu trysky mezi tisknutými objekty. Při tisku barevných map bylo zapotřebí zadat, kdy se má tisk zastavit, aby bylo možné vyměnit materiál. Po nastavení všech potřebných parametrů pro tisk byl model tzv. naslicován, což znamená, že model byl rozdělen na jednotlivé vrstvy, po kterých ho bude tiskárna tisknout. Zároveň se vygeneruje kód pro tiskárnu (G-code), kde jsou všechny pokyny a souřadnice pro správné

vykonání tisku. Dalším krokem byl už samotný 3D tisk. U barevných map bylo potřeba tiskárnu hlídat pro výměnu materiálu.



Obr. 3 Automatické rozpoznání neplatně definovaných objektů provádí nad vymodelovaným modelem program 3D Builder. Uživateli stačí pouze kliknout vpravo dole na ikonu klíče a program model sám opraví

Pro umožnění interaktivity byly sestaveny zdrojové kódy do aplikace TactileMapTalk (obr. 4 vlevo), díky kterým se ozve zvuková smyčka pro jednotlivé prvky. Ke každému prvku je uložena souřadnice x, y, šířka a délka tlačítka a informace o objektu spouštěná po podržení zvoleného tlačítka. Psaní kódů proběhlo v aplikaci Poznámkový blok. Výsledkem byly soubory s příponou .json, které byly do aplikace TactileMapTalk importovány. V současné době je již dostupný konfigurator na adrese <http://hmatovemapy.upol.cz/konfigurator/>. Po dokončení byl kód přenesen do tabletu a nahrán do aplikace. Na obr. 4 vpravo lze vidět ukázkou zobrazení v aplikaci. V aplikaci TactileMapTalk lze mít nahráno více kódů pro více map, což je přívětivé pro uživatele, protože lze jednoduše přecházet mezi jednotlivými mapami.

První sadu map (obr. 5) tedy tvoří mapy vytištěné technologií TouchIt3D, přičemž k mapám je naprogramovaná aplikace a při použití s tabletem jsou mapy interaktivní (obr. 6).

Druhá sada map je odvozena od sady s vodivým materiálem a je určena pro běžné použití bez tabletu. Velikost map je různá, liší se podle tématu a zaplněnosti mapy. Všechny mapy mají na stejném místě, tj. v levém horním rohu, název v Braillově písmu, podle kterého se dá určit natočení mapy. Body s informativním charakterem, které byly v sadě TouchIt3D tyflomap vytištěny vodivým plastem, byly ve druhé sadě ponechány pouze u témat, kde byly vhodné.

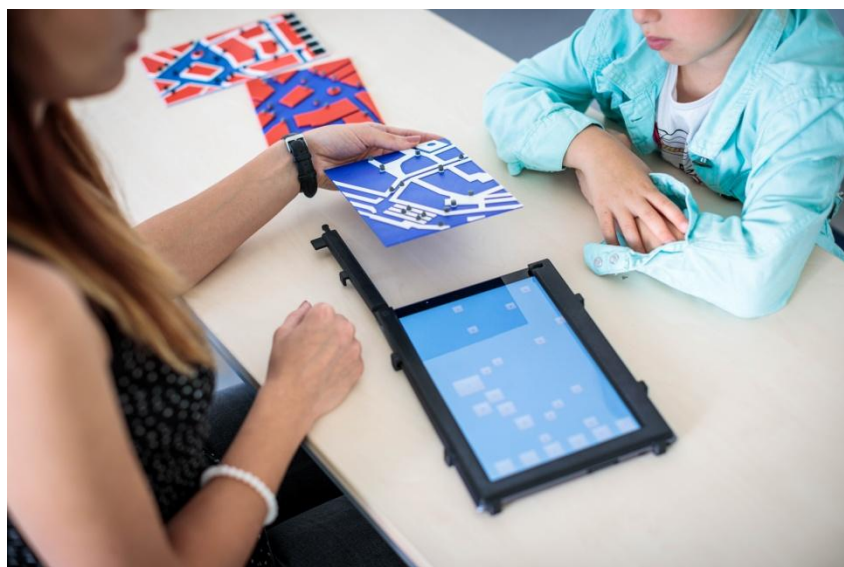
Třetí sada map je složena z černobílých obrysových map. Tyto mapy vznikly z předloh map vytvořených v programu Adobe Illustrator CS6. Pro tisk třetí sady map byl využit P.I.A.F. fúzer. Na speciální vzpěňovací (mikrokapsulový) papír se natiskne sytě černou barvou obrázek nebo mapa. Po vložení do fúzeru, který vysílá tepelné záření, nabude plocha pod černou barvou na svém objemu, čímž vznikne hmatný reliéf. Výhodou této technologie je rychlé dosažení výsledků a relativně nízká pořizovací cena. Naopak nevýhodou je skutečnost, že ve výsledku vznikne reliéf o jedné konstantní výšce, což neumožňuje správně zobrazovat složité mapy, fotografie a jiné obrazové prvky. Díky své nízkonákladovosti a jednoduchosti tvorby může druhá a také třetí sada map sloužit jako pomůcka k opakování a ověřování získaných prostorových souvislostí. Porovnání tří typů jedné mapy je na obr. 7.



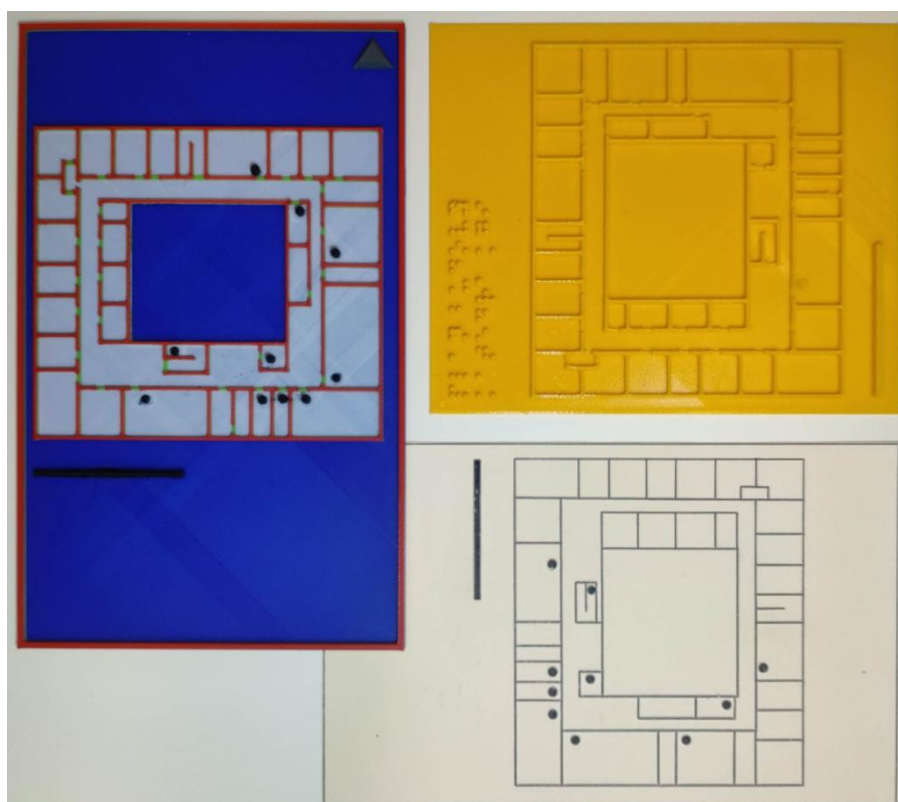
Obr. 4 Část kódu pro čtyři body s jejich umístěním, velikostí i obsahem (vlevo) a zobrazení kódu na tabletu v aplikaci TactileMapTalk s oblastmi jednotlivých bodů (vpravo)



Obr. 5 Sada vytištěných map využívajících technologii TouchIt3D



Obr. 6 Použití mapy s tabletem. Mapa je žákovi vždy představována pedagogem nebo jeho asistentem



Obr. 7 Porovnání interaktivní TuchIt3D mapy (vlevo nahoře), jednobarevné alternativy vytištěné na běžné nízkonákladové 3D tiskárně (vpravo nahoře) a fuzerový tisk obrysových map (vpravo dole)

4.5 Uživatelské testování

Uživatelské testování je velmi významnou součástí procesu tvorby map (Vondráková et al., 2016). Uživatelské testování probíhalo v červnu a červenci roku 2020, a to na Gymnáziu pro zrakově postižené v Praze (dva respondenti), v organizaci KAFIRA, o. p. s., v Ostravě (pět respondentů, organizace KAFIRA je neziskovou organizací se záměrem pomáhat lidem s těžkým zrakovým postižením) a také prostřednictvím individuálního kontaktu (jeden respondent s těžkým zrakovým postižením). Uživatelského testování se zúčastnilo celkem osm respondentů ve věku 6–26 let. Tento počet byl po konzultacích se speciálními pedagogy i kartografy shledán jako dostačující, protože uživatelské testování bylo vyhodnoceno kvalitativně s ohledem na specifické charakteristiky každého respondenta. Původní testování více respondentů nebylo realizováno kvůli platným protipandemickým opatřením. Mapy byly v procesu tvorby konzultovány s pedagogy, kteří žáky se zrakovým postižením vyučují, se speciálními pedagogy, kteří se věnují tyflopédii, a se zástupci cílové skupiny uživatelů, kteří poskytli své zkušenosti a znalosti k zajištění vhodnosti a správnosti map.

Uživatelské testování nebylo zaměřeno na haptickou gramotnost uživatelů, ale na testování vytvořených TouchIt3D prototypů tyflomap. V úvodu testování byl každému z respondentů nejprve představen průběh vlastního testování. Testování proběhlo s každou tyflomapou ze sady devíti map s vodivým materiálem. Mapa byla nejprve respondentovi představena (co mapa zobrazuje). Poté si každý respondent mapu prohlédl a vyzkoušel, jak technologie TouchIt3D funguje. Otázky byly zaměřeny na pochopení prvků v mapě, práci s měřítkem a práci s informacemi, které se respondent dozvěděl po stisknutí vodivého tlačítka. Zdatnějším uživatelům byly pokládány doplňkové otázky na souvislosti mezi mapami navzájem a doplňkové úlohy pro prokázání pochopení geoprostoru. Počet otázek a jejich náročnost se odvíjela od věku uživatele a od jeho individuálních schopností pochopit mapy a znázorněný prostor.

4.6 Výsledky uživatelského testování

Každý z osmi respondentů dokázal odpovědět téměř na všechny položené otázky správně. Každý však potřeboval rozdílně dlouhý čas k prozkoumání mapy (obr. 8) a odpovědím na otázky. Pro některé z uživatelů byla práce s touto novou technologií zpočátku obtížná, ale postupem času dokázali s mapami pracovat snáz a rychleji. Všichni se však shodli, že právě využití moderní technologie je to, co je na mapě láká.



Obr. 8 Prozkoumání mapy krajů ČR respondentem. Respondent si mapu nejprve prohmatával a pak odpovídal na otázky týkající se konkrétní mapy

Nejmladšímu z respondentů bylo 6 let. Byly mu kladeny jen základní otázky na práci s mapou. Dokázal odpovídat na otázky spojené s informacemi, které slyšel, a dokázal spočítat prvky, na které byl dotazován. Naopak na otázky spojené s měřítkem mapy a na složitější úkoly nedokázal odpovědět.

Další z respondentů měl 8 let. Dokázal dobře odlišit jednotlivé prvky v mapách. Práce s měřítkem částečně zvládal, ale pláněk budovy by mu pro lepší pohyb v ní nepomohl. Počítání prvků nebylo přesné. Otázky spojené s určováním světových stran v mapě byly obtížné, ale po delší době se zlepšil.

Třetímu respondentovi bylo 9 let. Počítání prvků v mapě bylo správné. U plánu budovy vrstvu dveří dobře rozpoznal, ale až po delší době. Dokázal dobře odlišit budovy a silnice na mapě městské části. Práce s měřítkem byla vyhovující. I na otázky spojené s určováním světových stran odpovídal téměř bez problémů.

Čtvrtému z respondentů bylo 14 let. Práce s mapami už pro něj byla jednodušší než pro mladší respondenty. Počítání prvků i orientaci ve světových stranách zvládl bez problémů. Také pochopení znázorněných prvků bylo téměř správné. Ale v mapě části města neurčil správně ulice a umístění řeky. Práce s měřítkem byla složitější a zabrala mu delší časový úsek.

Pátý respondent měl 17 let. Práce s měřítkem mu činila obtíže, stejně jako počítání prvků v mapě. Pro tohoto respondenta byl celkový pohyb v prostoru obtížný, a proto i práce s mapami pro něj nebyla snadná. Jednotlivé prvky v mapě rozpoznal a také s informacemi, co slyšel po podržení tlačítek, uměl správně pracovat.

Šestámu respondentovi bylo také 17 let. Snadno pracoval s mapami a správně odpověděl na všechny otázky. Prvky v mapě pro něj byly dobře hmatatelné a dobře odlišitelné. Práce s měřítkem byla nejsložitější, ale i tyto úkoly zvládl dobře.

Sedmému respondentovi bylo 21 let (obr. 9). Práce s měřítkem byla obtížná a zabrala největší časový úsek z testování každé mapy, přesto dokázal přibližně určit vzdálenosti na mapách. U mapy krajů mu chyběly části hranic sousedních států a jejich zkratky v Braillově písmu. V mapě Evropy pro něj byly obtížné hmatatelné hranice států a uvítal by tlačítko pro zastavení zvukové informace.



Obr. 9 Uživatelské testování prototypů map

Poslednímu, nejstaršímu respondentovi bylo 26 let. Je zvyklý hmatat oběma rukama a tato technologie pro něj znamenala problém v tom, že zvuk se spouští po krátkém podržení bodu. Takže když četl mapu, informace se postupně spouštěla z více bodů a nebyla ani dokončena kvůli začátku jiné informace. Proto by pro něj bylo přijatelnější jiné gesto pro spuštění informace. Obtížně hmatatelný byl pro něj reliéf v mapě pohoří Česka, což potvrzuje dřívější výzkumy (Voženílek, Růžičková et al., 2012), kde vnímání a schopnost rozlišení výšky vrstev byly mezi uživateli různé. Každému z respondentů byla mapa položena správně orientovaná, nebylo zapotřebí zjišťovat, jak má být natočena. Poslední respondent ovšem poznamenal, že by mapy měly mít prvek pro správné natočení samotným uživatelem, proto byla po schválení konzultujícími pedagogy tato označení do výsledných map doplněna.

Uživatelské testování ukázalo, že každý uživatel vnímá mapy odlišně a pro každého je jinak vysoký práh citlivosti na výšku vrstev. Pro většinu uživatelů byly mapy dobře hmatatelné a také dokázali správně odlišovat vybrané prvky od jiných. Pro všechny nevidomé byla nejtěžší práce s měřítkem a odhadování vzdáleností v mapách. Mapy se dobře četly všem uživatelům. Při revizi tyflomap byly zapracovány většinou jen drobné připomínky, např. chybějící orientační prvek pro správné natočení tyflomap. Všichni uživatelé i jejich pedagogové se však shodli na tom, že informační hodnota map je v porovnání s běžnými pomůckami nesrovnatelně vyšší a současně že je pro ně práce s interaktivní mapou mnohem atraktivnější a zajímavější.

5. Výsledné mapy

Podle výsledků uživatelského testování byly mapy z testovací sady přemodelovány a znovu vytištěny. Mapy se liší v měřítku a počtu vrstev (tab. 1). Mapy ze sady pochopení geoprostoru byly ve finální verzi vytištěny barevně. Až 90 procent osob s těžkým zrakovým postižením má totiž nějaké pozůstatky zrakového vjemu, a ten využívají v maximální možné míře. Při použití kontrastních barev tak jsou schopni tyto uživatelé v mapách vidět kontury jednotlivých vrstev. Na každou barevnou mapu byl také přidán orientační prvek ve tvaru trojúhelníku (vrchol směřuje k hornímu okraji mapy, protilehlá přepona je k tomuto okraji rovnoběžná) do pravého horního rohu pro správnou orientaci mapy samotným uživatelem.

Tab. 1 Rozdělení a atributy map v třech sestavených sadách popsaných v kap. 4.4

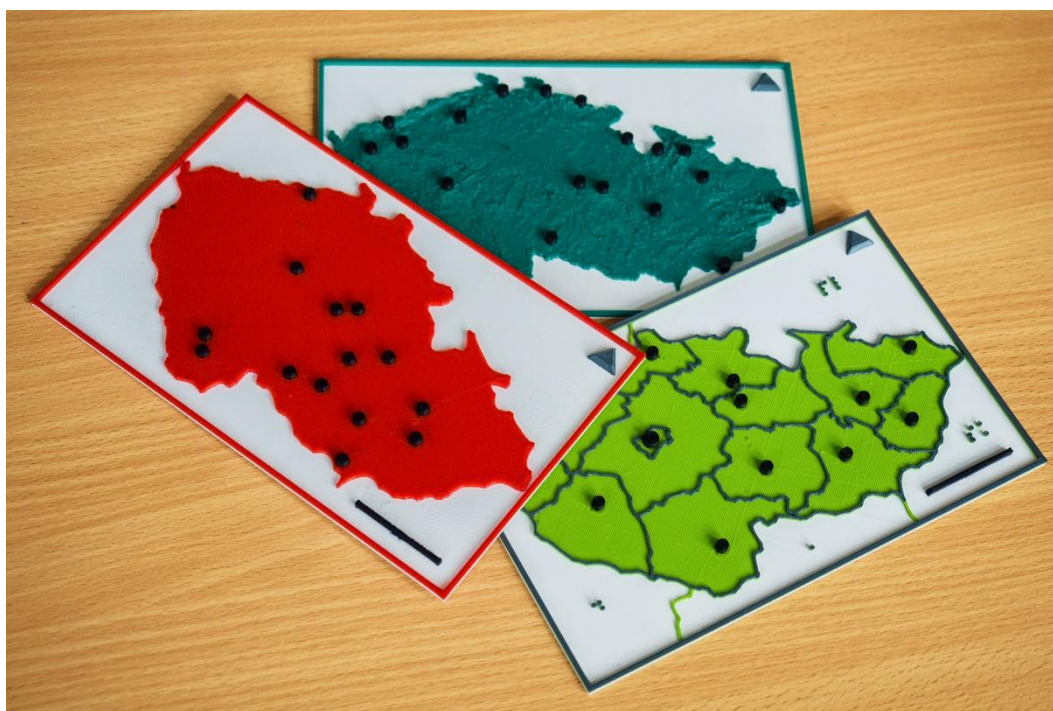
Sada pro pochopení geoprostoru	Měřítková linie*	Počet vrstev	Vrstvy**
Budova	20	5	stěny budovy, dveře, základní vrstva (podklad)
Část města	100	6	budovy, travnaté plochy, silnice, řeka
Město	5 000	6	centrum, celé území obce, řeka, základní vrstva (podklad)
Česká republika	100 000	5	krajské hranice, území Česka, základní vrstva (podklad)
Evropa	1 000 000	5	hranice států, pevnina, moře
Svět	3 000 000	5	světadíly, zeměkoule, základní vrstva (podklad)
Doplňkové mapy			
Pohoří ČR	100 000	4	reliéf povrchu, podklad
Památky UNESCO ČR	100 000	4	území Česka, podklad
Sluneční soustava	schéma	2	vesmírná tělesa, podklad

* Délka ve skutečnosti v metrech, kterou značí linie v mapě.

** Všechny mapy (kromě schématu Sluneční soustava) s technologií TouchIt3D obsahují nejvyšší vrstvu interaktivních bodů a druhou nejvyšší vrstvu měřítkovou linii

Sada map pro pochopení geoprostoru a měřítka, obsahující mapu budovy, části města, města, krajů ČR, Evropy, světa a schéma Sluneční soustavy, je založena na práci s mapami různých měřítek, od 1 : 400 až po 1 : 150 000 000 (schéma Sluneční soustavy je bez měřítka). Uživatelé mohou při užívání této sady map snáze pochopit prostor kolem nich v kontextu větších územních celků, což je pro osoby s těžkým zrakovým postižením často velmi obtížné.

Sada map pochopení geoprostoru a měřítka je také doplněna o mapy k učivu zeměpisu (obr. 10 – mapy ČR: mapa krajů, mapa s terénem a vyznačenými vrcholy hor, mapa památek UNESCO). Tyflomapy tak lze využít jak k simulaci geoprostoru, tak k prezentaci dat s určitým tématem. Záleží jen na pedagogovi, jaká témata zvolí. Využití technologie TouchIt3D umožňuje přiřadit nespočet témat jedné mapě. Například pro mapu světa je možné vytvořit zvukovou stopu s informacemi o přírodních podmínkách jednotlivých kontinentů, pro mapu České republiky zvukovou stopu o průmyslové výrobě v jednotlivých krajích. Ostatní mapy pojednávají o tématech, která by v předchozích mapách nemohla být znázorněna. Mezi ně patří dvě mapy pro území České republiky a také plán Sluneční soustavy. Jedna mapa České republiky je reliéfní a zobrazuje vrcholy jednotlivých pohoří a na mapě druhé jsou zachyceny památky UNESCO.



Obr. 10 Tři různé mapy pro výuku o České republice – mapa krajů, mapa s terénem a vyznačenými vrcholy hor, mapa památek UNESCO

Závěr

Studium současného stavu problematiky tyflografie, výuky zeměpisu a pomůcek při výuce zeměpisu s žáky s těžkým zrakovým postižením a technologií výroby tyflomap se zaměřilo na domácí i zahraniční výzkumy, využito bylo také poznatků z dlouholetého výzkumu na KGI UP.

V rámci realizace bakalářské práce Bečicové (2020) byl na základě analýzy ŠVP sestaven seznam vhodných témat pro tvoření hmatových map, který byl dále konzultován. V praktické části práce byly vytvořeny návrhy map pro jednotlivá témata. Výběr témat a jejich forma zpracování se může různit podle věku cílové skupiny uživatelů. V případě hromadné produkce by bylo vhodné

vytvořit zvlášť sadu pro předškolní děti, I. stupeň základních škol, II. stupeň základních škol a pro střední školy. V rozsahu prezentovaného výzkumu však byla vytvořena sada s jednotnou mírou podrobnosti, přičemž na specifika věku u respondentů byl brán zřetel při vyhodnocení uživatelského testování.

Pro tvorbu map byly využity dostupné softwarové nástroje. Vznikly tři sady map: jednoduché obrysové mapy vytištěné pomocí fuzéru, plastové 3D mapy vytištěné v jednobarevném i vícebarevném provedení, a mapy využívající technologii TouchIt3D, která byla vyvinuta na KGI UP pod vedením dr. Jana Bruse. Postupy pro tvorbu a implementaci map jsou popsány v publikacích Vondrákové et al. (2020a, 2020b) a Barvíře et al. (2020).

V průběhu realizace probíhala spolupráce s Ústavem speciálněpedagogických studií UP, a to především s dr. Veronikou Růžickovou a dr. Kateřinou Kroupovou, které se tyflopodagogikou dlouhodobě zabývají. Konzultace řešily uživatelské testování a vnímání vytištěných map ze speciálněpedagogického hlediska. Uživatelské testování s jednotlivými respondenty bylo zahájeno po doladění obsahu a tisku hmatových map. Na závěr byly tyflobyly upraveny podle poznatků z uživatelského testování. Toto uživatelské testování bude probíhat i nadále a jeho poznatky budou dále součástí vývoje nových prototypů tyflobyly. V současné době probíhá projekt (TA ČR TL03000679), který využívá podobného přístupu pro hodnocení prostorové představivosti osob s těžkým zrakovým postižením, výsledky výzkumu jsou tak nadále aktivně využívány.

Prezentovaná tvorba tyflobyly navazuje na dlouhodobý výzkum Katedry geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Využívá rozsáhlou znalostní základnu v oblasti 3D tisku a vybavení 3D laboratoře na KGI UP. Zaměřuje se na tyflobyly, které jsou v současnosti k výuce zeměpisu u osob s těžkým zrakovým postižením využívány, řeší poznatky o nedostatečnosti dostupných materiálů a napomáhá ke zvýšení motivace cílové skupiny respondentů používat tyflobyly. Výzkum na KGI UP dále pokračuje, nicméně prezentované mapy již své uplatnění ve výuce žáků s těžkým zrakovým postižením našly.

Poděkování: Výzkum byl realizován v rámci projektu Rozvoj samostatného pohybu prostřednictvím taktilně-auditivních prostředků, podpořeného Technologickou agenturou České republiky (reg. č. TL01000507).

Literatura

- ALMEIDA, M. de F. X.M., MARTINS, L. B., LIMA, F. J. (2015). *Analysis of wayfinding strategies of blind people using tactile maps*. Recife (Federal University of Pernambuco). [online] [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915007179#bibl0005>
- BARVÍŘ, R. (2017). *3D tisk tyflobyly propojitelných s mobilními zařízeními*. Diplomová práce. Olomouc (Univerzita Palackého v Olomouci).
- BARVÍŘ, R., LICZKA, T., VONDRÁKOVÁ, A. (2020). *Tvorba hmatových map TouchIt3D*. Olomouc (Univerzita Palackého v Olomouci).
- BEČICOVÁ, K. (2020). *Tvorba tyflobyly pro výuku zeměpisu*. Bakalářská práce. Olomouc (Univerzita Palackého v Olomouci).
- ČERVENKA, P., SEIFERT, R., BŘINDA, K., VITINGER, A. (2014). *Internetové mapy pro nevidomé uživatele*. [online] [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: https://www.elsa.cvv.cz/media/BFM_INSP02014_sbornik.pdf
- CHALUPA, M. (2012). 3D Tisk. *GeoBusiness*, 1, 26-28.
- ČT24 (2011). Nevidomí turisté si mohou číst v mapě. [online] [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/1284967-nevidomi-turiste-si-mohou-cist-v-mape>
- Data200 (2020). Český úřad zeměměřický a katastrální. [online] [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(gy5fsaoroi0fl1agbhezgvas\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=mapy_data200&text=dSady_mapyData200&head_tab=sekce-02-gp&menu=229](https://geoportal.cuzk.cz/(S(gy5fsaoroi0fl1agbhezgvas))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=mapy_data200&text=dSady_mapyData200&head_tab=sekce-02-gp&menu=229)
- EUROSTAT (2019). [online] [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- ICA (2020). [online] [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://icaci.org/commissions/>
- Materialpro3d.cz (2020). PLA [online] [cit. 2020-11-02]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>

- SketchUp Extension Warehouse (2021). Trimble [online] [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://extensions.sketchup.com/>
- Školní atlas světa (2019). Praha (Kartografie Praha). [online] [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://www.kartografie.cz/skolni-program/skolni-zemepisne-atlasy/skolni-atlas-sveta>
- Školský zákon č. 561/2004 Sb. (2021). Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy [online] [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://www.msmt.cz/dokumenty-3/novela-skolskeho-zakona-c-472-2011-sb-vyklady-a-informace>
- Světluška (2019). Nadační fond Českého rozhlasu. Výroční zpráva [online] [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.svetlaska.cz/>
- TactileMapTalk (2021). [online] [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <http://hmatovemapy.upol.cz/tactr/service/tactilemaptalk/>
- UNGAR, S., SIMPSON, A., BLADES, M. (2004). *Strategies for organizing information while learning a map by blind and sighted people*. Madrid (Universidad Nacional de Educación a Distancia). [online] [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: https://www.academia.edu/761275/Strategies_for_organising_information_while_learning_a_map_by_blind_and_sighted_people
- VONDRÁKOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V. (2016). User issues in geovisualization. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 3*, 599-606, 2016. 3, 2016.
- VONDRÁKOVÁ, A., BARVÍŘ, R., BRUS, J. (2019). Modern Tactile Maps In *Special Education. International Conference on Education and Educational Psychology (ICEEPSY)*, 418-426. DOI 10.15405/epsbs.2019.11.40
- VONDRÁKOVÁ, A.; RŮŽIČKOVÁ, V., KROUPOVÁ, K., BARVÍŘ, R., BRUS, J., VOŽENÍLEK, V. (2020a). *Tyflomapy–Tyflografika–Tyflokartografie: Percepce prostoru prostřednictvím 3D audio-taktilních map*. Olomouc (Univerzita Palackého).
- VONDRÁKOVÁ, A., RŮŽIČKOVÁ, V., KROUPOVÁ, K., BARVÍŘ, R. (2020b). *Didaktika práce s TouchIt3D mapami*. Olomouc (Univerzita Palackého v Olomouci).
- VOŽENÍLEK, V., LUDÍKOVÁ, L., RŮŽIČKOVÁ, V., FINKOVÁ, D., VONDRÁKOVÁ, A., KOZÁKOVÁ, M., DOLEŽAL, J., REGEČ, V. (2010). *Hmatové mapy technologií 3D tisku*. Olomouc (Univerzita Palackého v Olomouci).
- VOŽENÍLEK, V., RŮŽIČKOVÁ, V., FINKOVÁ, D., LUDÍKOVÁ, L., NĚMCOVÁ, Z., DOLEŽAL, J., VONDRÁKOVÁ, A., KOZÁKOVÁ, M., REGEČ, V. (2012). Hypsometry in Tactile Maps. In Buchroithner, M. (ed.): *True-3D in Cartography – Autostereoscopic and Solid Visualisation of Geo-data*. Berlin (Springer).
- VOŽENÍLEK, V., MICHALÍK, J., VONDRÁKOVÁ, A., BRYCHTOVÁ, A. (2014). Spatial distribution of special education for vision impaired people. In *International Scientific Conference on Society, Society, Integration, Education*, 3, 2014. Proceedings of the International Scientific Conference.
- Vyhledávací zákon č. 73/2005 Sb. (2021). Národní ústav pro vzdělání [online] [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/t/vyhledavaci-c-73-2005-sb-1>
- WHO (2020). Blindness and vision impairment [online] [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- Základní škola pro žáky s poruchami zraku (2017). Školní vzdělávací program [online] [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: [https://www.skolazrak.cz/upload/files/VP-konen-verze\(1\).pdf](https://www.skolazrak.cz/upload/files/VP-konen-verze(1).pdf)

Summary

Creation and user testing of tactile maps for teaching geography in Czechia

This paper aims to present the design and production process of an educational set of modern interactive tactile maps designed to teach geography to pupils and students with severe visual impairments. The presented research of tactile maps follows the long-term research of the Department of Geoinformatics, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc (KGI UP), in cooperation with the Institute of Special Education Studies, Faculty of Education, Palacký University in Olomouc. It uses an extensive knowledge base in the field of 3D printing and 3D laboratory equipment at KGI UP. The article focuses on individual parts of cartographic production and creation.

In the first phase, the research of existing approaches and solutions was conducted. The literature from special pedagogy teachers, cartographers, and experts on tactile technology, brought the basic knowledge for further work. A detailed analysis of tactile maps used to teach geography to people with severe visual impairments was performed. Also, there the available technologies, such as TouchIt3D (Fig. 1), were analysed.

The School Educational Program (SEP) was analysed in the second phase, and suitable map themes were invented. The list of themes was discussed with teachers, and then the process of map creation started. The maps were designed in 2D space (Fig. 2) and then modelled into 3D spatial form in SketchUp (Fig. 3). These

models were ready to print and printed on a common 3D printer. The interactive maps were printed by combining conductive and non-conductive materials, so it was possible to use TouchIt3D technology to connect maps with special application TactileMapTalk (Fig. 4), and maps became interactive to use.

Three sets of maps were created: simple outline maps printed using a PIAF fuser, plastic 3D tactile maps printed in monochrome and multicolour (Fig. 5), and interactive tactile maps using TouchIt3D technology (Fig. 6). After the touch on conductive parts of the TouchIt3D tactile map, the particular audio track is replayed, which was a part of the user testing (Fig. 6). The comparison of interactive TouchIt3D map (same as multicolour tactile maps), monochrome alternatives printed on a standard low-cost 3D printer, and contour map printed by fuser are presented in Fig. 7.

User testing took place in the Czech Republic and was intended for respondents from 6 to 26 years of age. A total of eight respondents participated in user testing. The qualitative methods of analyses were applied to the user testing data. The lower number of respondents is due to the Covid-19 pandemic and related restrictions.

After performing user testing (Fig. 8, 9), the maps were remodelled based on the knowledge gained from user testing. Subsequently, the resulting teaching sets of the tactile map were printed (Tab. 1). Maps can be divided into two groups. The first group consists of six maps and focuses on understanding the geospace by the user with severe visual impairment (Fig. 5). It presents the geospace from the building's scale through the street, city, region, country, continent, and the world, to the space scale. The main goal of these maps is to show users with severe visual impairment what the connection is between distances they cannot imagine in the real world. The second group includes three maps, which can be used for teaching thematic content in the geography of Czechia (Fig. 10). As written above, one set of maps uses TouchIt3D technology and TactileMapTalk application. This combination requires the presence of an assistant (teacher), but it is most attractive to users, and the content of the map is enriched with a large amount of information thanks to the audio component. The second set of maps is a set for common use without interactive elements. The creation of these maps is relatively inexpensive, and the user can work with the map in detail and perceive the spatial context even without an assistant and interactive part. The third set of maps was created using PIAF fuser technology in black and white outline maps, which is the most common technology available in all schools for children with visual impairment in Czechia and is the cheapest tactile maps production variant. A student can work with these maps, for example, when repeating the curriculum.

The created maps were provided to cooperating teachers. Research at KGI UP continues; however, the presented maps have already found their application in the teaching of pupils with severe visual impairments.

Fig. 1 Principle of TouchIt3D technology. After holding the element made of conductive material, the impulse reaches the tablet, and the voice loop corresponding to the given point is started (Barvíř, 2017)

Fig. 2 Completing the template of the region map of the Czech Republic in Adobe Illustrator CS6 when arranging the map layout and map scale

Fig. 3 3D Builder automatically detects invalidly defined objects over the modelled model. The user only needs to click on the spanner icon at the bottom right and the program will repair the model itself

Fig. 4 Part of the code for the four points with their location, size and content (left) and displaying the code on the tablet in the TactileMapTalk application with the areas of each point (right)

Fig. 5 A set of maps based on TouchIt3D technology

Fig. 6 Using a map with a tablet. The map is always presented to the student by the teacher or by the assistant

Fig. 7 Comparison of interactive TouchIt3D map (top left), monochrome alternatives printed on a standard low-cost 3D printer (top right) and contour map printed by fuser (bottom right)

Fig. 8 Examination of the map of the regions of the Czech Republic by the respondent. The respondent first felt the map and then answered questions about a specific map

Fig. 9 User testing of tactile map prototypes

Fig. 10 Three different maps for teaching about Czechia – map of regions, map of terrain with mountain peaks, and map of UNESCO monuments

Tab. 1 Distribution and attributes of the maps in three map sets presented in chap. 4.4

Prijaté do redakcie: 13. január 2021

Zaradené do tlače: jún 2021